

화학적으로 강하다. 하지만, 할로젠 합성체, 지방족 탄화수소, 방향족 탄화수소에는 그 기능을 발휘하지 못하며, 천연고무보다 유연성이 떨어지고 찢김에도 강하지 못하다(박원철, 2013).

따라서 휘발성이 큰 에스테르류와 케톤류 사용에 가장 적합하지만 가솔린, 방향족지방족할로젠화 탄화수소류에 취약하다. 대부분의 가스 및 수증기 침투에 대해 가장 높은 저항력을 가진다.

11.3.2.1.7. 불소고무(viton, 바이톤)

Trifluoro chloro ethylene과 Vinylidene fluoride 이원 공중합체 물질인 Fluoro rubber의 합성고무로 내열성, 내한성, 내유성, 내약품성이 우수하다. 안감이 없는 비보강형 장갑으로만 사용되며, 방향족(벤젠, 톨루엔, 크실렌 등) 화학물질 취급에 적합하며 특히 케톤류 화학물질 취급에 유용하다. Ref: www.superiorglove.com



또한 발암성, 독성 화학물질에 사용한다.

450 ~ -70℃까지 사용가능하며 합성고무 중 내후성과 내오존성이 가장 뛰어나지만, 가격이 비싸고 자체적으로 경화성을 띄기 때문에 탄성과 신축율이 약하다. 또한 알칼리성에 부식되는 특성을 보인다.

11.3.2.2. 화학물질별 보호장갑의 선택

높은 급성독성 및 고농도의 부식성 화학물질 등을 다루거나 장시간 손을 담그고 화학물질을 다룰 때 일회용이나 비닐장갑은 적합하지 않으므로 화학물질의 성질과 특성에 따라 적합한 화학물질용 보호장갑을 선택해야한다(Table 11-30, 11-31).

Table 11-30. 화학물질에 대한 보호장갑의 화학저항성 평가(OSHA, 2006)

화학물질	네오프렌	라텍스	부틸고무	니트릴	화학물질	네오프렌	라텍스	부틸고무	니트릴
Acetaldehyde	VG	G	VG	G	Ketones	G	VG	VG	P
Acetic acid	VG	VG	VG	VG	Lacquer thinners	G	F	F	P
Acetone	G	VG	VG	P	Lactic acid (85%)	VG	VG	VG	VG
Ammonium hydroxide	VG	VG	VG	VG	Lactic acid (36%)	VG	F	VG	VG
Amyacetate	F	P	F	P	Lineolic acid	VG	P	F	G
Aniline	G	F	F	P	Linseed oil	VG	P	F	VG
Benzaldehyde	F	F	G	G	Maleic acid	VG	VG	VG	VG
Benzene	P	P	P	F	Methyl alcohol	VG	VG	VG	VG
Butyl acetate	G	F	F	P	Methylamine	F	F	G	G
Butyl alcohol	VG	VG	VG	VG	Methyl bromide	G	F	G	F

화학물질	네오프렌	라텍스	부틸고무	니트릴	화학물질	네오프렌	라텍스	부틸고무	니트릴
Carbon disulfide	F	F	F	F	Methyl chloride	P	P	P	P
Carbon tetrachloride	F	P	P	G	Methyl ethyl ketone	G	G	VG	P
Castor oil	F	P	F	VG	Methyl isobutyl ketone	F	F	VG	P
Chlorobenzene	F	P	F	P	Methyl methacrylate	G	G	VG	F
Chloroform	G	P	P	F	Monoethanolamine	VG	G	VG	VG
Chloronaphthalene	F	P	F	F	Morpholine	VG	VG	VG	G
Chromic acid (50%)	F	P	F	F	Naphthalene	G	F	F	G
Citric acid (10%)	VG	VG	VG	VG	Napthas, aliphatic	VG	F	F	VG
Cyclohexanol	G	F	G	VG	Napthas, aromatic	G	P	P	G
Dibutyl phthalate	G	P	G	G	Nitric acid	G	F	F	F
Disel fuel	G	P	P	VG	Nitric acid, red and white fuming	P	P	P	P
Diisobutyl ketone	P	F	G	P	Nitromethane (95.5%)	F	P	F	F
Dimethylformamide	F	F	G	G	Nitropropane (95.5%)	F	P	F	F
Diethyl phthalate	G	P	F	VG	Octyl alcohol	VG	VG	VG	VG
Dioxane	VG	G	G	G	Oleic acid	VG	F	G	VG
Epoxy resins, dry	VG	VG	VG	VG	Oxalic acid	VG	VG	VG	VG
Ethyl acetate	G	F	G	F	Palmitic acid	VG	VG	VG	VG
Ethyl alcohol	VG	VG	VG	VG	Perchloric acid (60%)	VG	F	G	G
Ethyl ether	VG	G	VG	G	Perchloroethylene	F	P	P	G
Ethylene dichloride	F	P	F	P	Petroleum distillates (naphtha)	G	P	P	VG
Ethylene glycol	VG	VG	VG	VG	Phenol	VG	F	G	F
Formaldehyde	VG	VG	VG	VG	Phosphoric acid	VG	G	VG	VG
Formic acid	VG	VG	VG	VG	Potassium hydroxide	VG	VG	VG	VG
Freon 11	G	P	F	G	Propyl acetate	G	F	G	F
Freon 12	G	P	F	G	Propyl alcohol	VG	VG	VG	VG
Freon 21	G	P	F	G	Sodium hydroxide	VG	VG	VG	VG
Freon 22	G	P	F	G	Styrene	P	P	P	F
Furfural	G	G	G	G	Sulfuric acid	G	G	G	G
Gasoline, leaded	G	P	F	VG	Tannic acid (65)	VG	VG	VG	VG
Gasoline, unleaded	G	P	F	VG	Tetrahydrofuran	P	F	F	F
Glycerin	VG	VG	VG	VG	Toluene	F	P	P	F
Hexane	F	P	P	G	Toluene diisocyanate (TDI)	F	G	G	F
Hydrazine (65%)	F	G	G	G	Trichloroethylene	F	F	P	G
Hydrofluoric acid (48%)	VG	G	G	G	Triethanolamine (85%)	VG	G	G	VG
Hydrogen peroxide (30%)	G	G	G	G	Tung oil	VG	P	F	VG
Hydroquinone	G	G	G	F	Turpentine	G	F	F	VG
Isooctane	F	P	P	VG	Xylene	P	P	P	F
Kerosene	VG	F	F	VG	※ VG: Very Good, G: Good, F: Fair, P: Poor(추천안함)				

Table 11-31. 화학물질 종류에 대한 보호장갑의 재질 선택

화학물질 종류	보호용 장갑 재질의 선택
지방족탄화수소류	• 니트릴 고무(nitrile rubber)
	• 바이톤(viton)
	• 폴리비닐알코올(polyvinyl alcohol) (시클로헥산(cyclohexane) 제외)
방향족탄화수소류	• 폴리비닐알코올에틸(polyvinyl alcohol ethyl)(벤젠 제외)
	• 바이톤(니트릴 고무)
할로겐화탄화수소류	• 폴리비닐알코올
	• 바이톤 (염화메틸렌(methyl chloride), 할로탄(halothane)제외)
알데히드류, 아민류, 아미드류, 에스테르류	• 부틸 고무(butyl rubber) (부틸라민, 트리에틸라민(triethylamine) 제외)
	• 부틸 고무(부틸아크릴산염 제외)
	• 폴리비닐알코올(di-N-octyl phthalate 제외)
무기알칼리류	• 네오프렌 고무(neoprene rubber)
	• 니트릴 고무
	• 폴리비닐
유기산류	• 네오프렌 고무(아크릴산, 메타크릴산 제외)
	• 부틸 고무
	• 니트릴 고무(아크릴산, 메타크릴산, 아세트산 제외)
무기산류	• 네오프렌 고무(크롬산 제외)
	• 염화폴리비닐(30~70% 플루오린화수소산 제외)
	• 천연고무(30~70% 크롬산, 질산, 황산 제외)
	• 니트릴 고무(30~70% 플루오린화수소산 제외)
	• 30~70% 질산, 황산 제외

11.3.2.3. 파우더/단백질이 함유된 보호장갑의 선택

기본적인 성능 외로 사용의 용이성이나 알레르기 유발을 막기위한 파우더나 단백질이 포함된 보호장갑이 있다. 파우더가 사용된 보호장갑은 장갑을 끼고 벗기 쉽게 하기 위해 장갑 내부에 파우더를 사용하는데, 파우더의 옥수수전분과 탄산칼슘이 피부 알레르기와 알레르기 천식을 유발할 수 있다. 또한 천연고무라텍스에 포함되어 있는 단백질이 알레르기를 일으킬 수 있고, 파우더는 천연라텍스의 단백질과 결합하는 능력이 있어 장갑을 끼고 벗다가 단백질이 코팅되어 있는 파우더가 공기 중에 날려 흡입, 섭취할 수 있다. 따라서 일회용 천연고무라텍스장갑을 선택할 경우에 알레르기가 있는 연구자는 저단백질-무파우더 장갑(low-protein and powder-free)을 대신 착용해야 한다.

11.3.2.4. 업무적 특성 등 기타요인에 따른 보호장갑의 선택

미생물 취급하는 업무를 수행할 경우, 보호장갑은 미생물 취급 실험 등의 경우 필요한 기준에 적합해야 한다. 특히, 유럽연합기준(EN 374-2)에서는 수분 및 미생물 침투력에 의해서도 장갑을 분류하고 있다. 다만 국내에서는 미생물 침투에 대한 규정을 따로 마련하고 있지 않다. 또한 장갑에 요구되는 물리적 성질(마모저항, 절삭저항, 인열강도, 뚫림강도)별로 5단계로 구분한 성능 수준에 따라 업무에 맞춰 장갑을 선택해야 한다. 이때 장갑의 표면아래에 색깔이 변하는 패드를 활용하여 오염정도를 분석하고, 이를 활용하여 화학물질이 침투되는 시점을 추정, 교체 주기를 결정할 수 있다. 그외 찰과상, 열상, 창상, 진동 혹은 고온과 같이 손에 대한 복합적인 보호기능이 있는 장갑도 있으므로, 선택에 해당 요인을 고려하여야 한다.

11.3.3. 보호장갑의 착용 및 탈용

장갑은 개인보호구 착용 시 가장 마지막에 착용하고 개인보호구 탈의시 가장 많이 오염되었다고 추정되어 가장 먼저 탈용을 한다. 이때 장갑은 실험실 밖에서 착용하지 않는다. 또한 장갑에 구멍이 나거나 찢어졌을 경우 장갑을 벗고 손소독 후 새로운 장갑을 착용한다. 착용 시, 인체에 해를 줄 수 있는 물질을 다룰 때에는 추가로 덧소매를 착용하여 손목이나 팔 등의 피부가 직접 노출되는 것을 방지한다. 착용 후에는 손의 움직임이 좋고 편하도록 매무새를 잡고 피부 보호를 위해 착용한 장갑 소매 끝이 소매를 덮도록 한다(Figure 11-9).

(A) 실험가운



(B) 보호복



(C) 결함 확인법



Figure 11-9. 복장에 따른 보호장갑 착용법

장갑 착용 후에는 얼굴을 만지거나 신체를 접촉하지 않도록 주의하며, 오염된 장갑으로 인하여 감염성 물질이 퍼질 수 있기 때문에 실험실 내 물건 및 실험대 등 표면에 오염된 장갑이 가능한 접촉하지 않게 주의한다.

장갑을 벗을 때는 장갑 손목 부위 가장자리를 잡고 장갑의 깨끗한 면(안쪽 면)이 바깥으로 향하도록 뒤집어서 벗는다. 이는 감염성물질이 직접 닿지 않았던 부분이 보이도록 벗는 방식이다. 이때 에어로졸 발생 및 확산의 위험이 있을 수 있으므로, 장갑의 손가락 부분을 잡아 당겨서 벗지 않는다. 제거한 장갑은 장갑을 착용한 손으로 잡는다. 이후 장갑을 탈용한 쪽 손가락으로 장갑을 벗지 않은 쪽 손의 손목 부분의 장갑 안쪽으로 밀어 넣어 먼저 벗은 장갑을 감싸면서 깨끗한 면(안쪽 면)이 바깥으로 향하도록 뒤집어서 벗겨낸다(Figure 11-10). 벗은 장갑은 의료폐기물 용기에 버린다.



Figure 11-10. 보호장갑 탈용절차

11.4 보호복 및 보호가운

실험보호복은 병원체 등 미생물 및 유해화학물질을 다루는 실험실에서 개인 의복의 오염을 방지하고 유해물질이 실험자의 피부에 직접적으로 노출되는 것을 보호하는 필수적인 개인보호구이다. 보호복은 사용 목적, 환경 및 취급 물질 등에 따른 위험요소로부터 시험·연구종사자를 보호할 수 있는 재질로 구성되어야 하며, 신체 치수에 맞는 크기로 머리부터 발목까지 보호할 수 있어야 한다. 실험복은 통상적으로 일회용이거나 재사용이 가능하며, 액체성의 유해요소에 대한 보호용도이다.

실험실 종사자는 취급하는 감염성 물질의 위험도에 따라 실험보호복의 재질 및 디자인을 선택하여야 하고, 실험자의 사이즈에 맞는 실험보호복을 착용하여야 한다. 따라서 실험보호복은 비인화성이어야 하며, 소매접단(cuffed sleeves)은 실험실 작업시 소매가 풀리거나 걸리지 않도록 하여야 한다. 또한 비상시 실험복을 재빨리 벗을 수 있도록 똑딱단추의 사용을 권장한다. 실험복의 착의 및 탈의는 밀폐구역 외부에서 이루어져서는 안된다.

보호복의 국제적 기준으로 가장 널리 적용되는 것은 유럽기준 EN340이다. 이 규정은 단독으로 사용되기 보다는 다른 여러 규정들과 함께 사용되며 보호복에 대하여 6가지 유형으로 분류하고 있다. 보호복 유형별로 복합적으로 기능을 하고 있으므로, 작업 조건에 맞는 것을 선택하여 착용한다.

감염성물질, 독소 또는 인수공통감염병에 감염된 동물을 취급하는 높은 등급의 밀폐구역에서는 추가적인 전용보호복이 필요하다. 이 추가적인 전용보호복은 손목이 꼭 끼는 고정전면가운(solid-front gowns), 방수앞치마(waterproof aprons), 헤드커버 및 추가적인 장갑을 포함한다.

고형전면, 후면폐쇄형 가운은 몸통을 보호하고 감염성물질이나 독소용기를 열 때 입을수 있다. 외과수술복(surgical scrubs)은 보호하는 외부의 파괴로 인해 개인의복이 오염될 가능성을 피하기 위해 보호복 외부에 입을 수 있다. 외과수술복은 재사용을 위해 멸균 및 세탁될 수 있으며, 일반적으로 동물실이나 높은 등급의 밀폐 구역 내 전용 PPE로 비치된다. 수술실에서 이용되도록 설계된 수술용 가운(surgical gowns)은 모든 유체저항성을 제공하기 위해 불침투성 직물로 보강되고, 덮는 범위를 증가시키기 위해 뒷면 끈을 이중으로 처리되었다. 앞치마는 일반적으로 부검실의 부검복으로 이용된다. 앞치마는 감염성 물질 또는 독소의 튀어나 옆질러지는 것에 대해 방호하기 위해 실험보호복 또는 가운 위에 덧입는다.

전체적인 보호복과 추가장비는 폐기물 처리나 물질 재이용시에도 사용한다. 대형동물을 취급하는 작업시에도 일반적으로 해당 보호복과 장비를 모두 사용한다. BL3 및 BL4 시설에서 감염성 물질을 취급할 경우 일회용 소매덮개의 사용이 권장되며, 양압복은 머리에서 발끝까지 방호력을 제공한다.

11.4.1. 실험보호복 관련 국내외 규정

보호복(protective clothing) 관련 국내규정은 『산업안전보건법』제34조제1항, 『산업안전보건법』시행령 제28조제1항 3호관련「보호구안전인증고시(2014-46호)」제9장 보호복 근거에 따라 국내 제작 보호복의 생산 및 판매가 되고 있다.

국내에서 보호복은 ‘방열복’과 ‘화학물질용 보호복’으로 나누며, 화학물질용 보호복은 전신보호복과 부분보호복으로 구분된다. ‘화학물질용 보호복’은 화학물질이 피부를 통하여 인체 흡수되는 것을

방지하기 위한 것으로 신체의 전부 또는 일부를 보호하기 위한 옷이며, ‘전신보호복’은 신체의 모든 부분을 보호하기 위한 옷이며, ‘부분보호복’은 신체의 일부를 보호하기 위한 옷이다. 이러한 보호복은 모두 6개 형식으로 세분화된다.

국외의 경우, 유럽 기준(european norm, EN)이 전 세계적으로 사용되고 있으며, 유럽 보호복 기준은 화학물질뿐만 아니라 항바이러스에 대한 성능테스트를 하여 바이러스 등 각종병원체 및 감염매체에 대한 보호력을 가진 전신보호복을 규정하고 있다. 또한 전신보호복 성능기준을 6 type으로 분류하고 있다(Table 11-32).

Table 11-32. 유럽기준에 따른 전신보호복 성능기준

규 정	구 분		표 시	특 성
EN943-1	Type 1	가스 차단 보호복 (gas tight suit)		주위 환경으로부터 완전 차단, 완전 밀폐
EN943-1	Type 2	비 기체 차단 보호복 (non-gas tight suit)		가스 이외의 유해인자의 유입 차단, 완전 밀폐는 되지 않음
EN14605	Type 3	액상 차단 보호복 (liquid tight suit)		인체 위험이 높은 방향성 액상 화학물질 등에 대한 보호능
EN14605	Type 4	스프레이 차단 보호복 (spray tight suit)		보호복에 고일 정도로 분사되는 응축 액상 물질에 대한 보호능
EN13982	Type 5	분진 차단 보호복 (dry particle tight suit)		유해 분진입자들로부터의 보호능
EN13034	Type 6	제한적 스프레이 차단 보호복 (limited spray tight suit)		비방향성 액상 화학물질의 분무에 대한 보호능
EN1149	/	정전기 방지		보호복의 정전기 발생방지 및 전자 분산 능력
EN10703	/	방사능 오염		방사능 입자에 대한 보호능
EN14126 ASTM1671	/	항바이러스 보호력		바이러스, 박테리아, 체액 등과 같은 감염성물질에 대한 보호능

국내에서 보호복의 성능기준은 고시 제25조 별표 8의2, 시험방법은 별표 8의4에서 6개 형식(type)으로 구분하여 제시되어 있다. 숫자가 낮을수록 화학물질 저항성이 높다고 판단할 수 있으며, 3종 시험(재료에 대한 시험, 솔기 및 접합부에 대한 시험, 완성품에 대한 시험)을 실시하여 각 형식에서 요구하는 등급을 확보해야 한다. 등급은 각 시험별로 1 ~ 6등급(class)까지 존재한다. 이때 숫자가 높을수록 화학물질 저항성이 높다고 판단할 수 있다.

종합적으로 살펴보면, 국내 보호복의 등급과 유형분류에 적용되고 있는 기준인 산업안전보건법 보호구 안전인증고시는, 화학보호용 보호복의 측면에서는 그 유형과 등급이 유럽의 EN기준 (EN943-1:2002, EN14605:2005, EN13982-1:2004, EN13034:2005)과 일치한다.

Table 11-33. 보호복 관련 우리나라와 유럽규정 비교

항 목	의 미	한 국	유 럽
관련법률	근로자 보호 및 보호구 기준 제시	산업안전보건법 제34조	EC Personal Protective Equipment Directive (89/686/EEC)
1형식	가스 차단	보호구 안전인증고시 (2014-46호) '화학물질용 보호복의 성능기준' 별표8의2	EN 943-1:2002
2형식	비가스 차단		EN 943-1:2002
3형식	액체 분사 차단		EN 14605:2005
4형식	액체 분무 차단		EN 14605:2005
5형식	분진 차단		EN 13982-1:2004
6형식	제한적 액체(liquid) 차단		EN 13034:2005
Bioprotection	감염성물질 차단	없음	EN 14126:2003

다만 우리나라의 경우 방열 및 화학물질에 초점이 맞추어져, 유럽과 같은 Bioprotection에 대한 인증기준이 마련되어 있지 않아, 방사능, 항바이러스 등의 성능테스트를 실시하지 않고 있는 상황이다(Table 11-33).

유럽의 Bioprotection 인증기준인 EN 14126:2003을 위한 시험절차는 2가지로 구성되어 있다. ISO 16603, ASTM F1670에 의거한 합성혈액투과시험이며, 이는 혈액과 물리적 특성이 유사하도록 합성된 용액을 일정 온도에서 보호복 표면에 접촉시킨 후 그 투과여부를 확인하여 보호능을 시험하는 방법이다. 이와 더불어 바이러스 투과시험을 실시하는데 ISO 16604, ASTM F1670에 제시된 절차에 따른다. 해당 시험은 Hepatitis B, C, HIV virus와 물리적으로 유사한 특성을 지니고 있는 Phi-X174라는 박테리오파지를 사용하여 실시되는데 보호복에 해당 바이러스를 떨어뜨린 후 가압 수준을 높여가며 그 투과여부를 확인하는 시험법이다.

다만 유럽기준인 EN에는 감염성물질 차단성능을 확인할 수 있도록 EN14126:2003 시험절차를 마련하여 시행하고 있지만, 한국에서는 감염성물질 차단성능에 대한 시험절차 및 인증제도가 마련되어 있는 않으므로 Bioprotection 성능에 대한 기준에서는 유럽의 기준을 차용할 수밖에 없다(Table 11-34).

Table 11-34. 유럽의 보호복 관련 기준

항목	내 용
기준	Harmonized European Standards for Personal Protective Equipment • 보호복 일반요건: EN 340:2003 • 화학방지 기준 : 1유형에서 6유형 • 생물방지 기준 - 감염성물질 차단성능 : EN 14126:2003 ※ 인증시 화학방지 유형 뒤에 '-B'를 붙임(예: 'C-B')
보호복 형식	• 화학물질용 보호복은 1 ~ 6형(type)으로 구분됨 - 숫자가 낮을수록 화학물질 저항성이 높다고 판단할 수 있음 - 3형식의 경우, 화학물질을 강력한 제트(jet)로 분사하여 테스트 실시 - 4형식의 경우, 낮은 압력이지만 상당한 양의 화학물질을 분사하여 테스트 실시 - 3, 4형식은 스프레이테스트를 제외한 모든 시험에서는 동등함. 또한 접합부(seam)에 밀봉처리가 되어야 하며, 적어도 1개 이상의 화학투과성 시험을 실시하여 1등급이상을 만족해야함. • 등급은 각 시험별로 1 ~ 6등급(class)까지 존재함 - 숫자가 높을수록 화학물질 저항성이 높다고 판단할 수 있음 - 유럽의 Bioprotection에 대한 인증기준이 마련됨(EN 14126:2003)

미국의 경우 미연방규정(code of federal regulation, CFR) 29조의 보호장비(protective gear) 등급에 관한 일반사항에 관한 규정을 두고 있으나, 보호복의 인증제도에 있어서는 EN기준을 일반적으로 사용하고 있다. 초동대응요원들에 대한 개인보호와 관련하여 미국 환경청과 산업보건안전청에서 주관하고 있는 규정인 CFR 29조에서는 개인보호수준을 A부터 D까지 4단계로 나누어 구별하고 있으며 각 단계별로 요구되는 개인보호구의 조합(combination)을 기술하고 있다. 다만 이 기준은 개인보호구류의 조합에 대해 명시하고 있기 때문에 보호복의 성능 규정하는데 있어서는 한계가 있다(Table 11-35).

Table 11-35. 미국 CFR 29조에 의한 개인보호수준 단계 조합

등급 (level)	개인보호구 조합	사용조건	비 고
A	• SCBA (self contained breathing apparatus) • 밀폐형화학보호복(totally encapsulated chemical and vapor protective suit) • 화학보호장갑, 화학보호장화, 안전모(선택) 안면보호구(선택)	호흡기, 안구, 피부에 대한 최고수준 보호가 필요시	

등급 (level)	개인보호구 조합	사용조건	비 고
B	- SCBA (self contained breathing apparatus) - 후드형화학보호복(hooded chemical resistant suit) - 전신보호복 - 화학보호장갑, 화학보호장화, 안전모(선택) - 안면보호구(선택)	호흡기에 대한 최고수준 보호가 필요하지만 피부에 대한 위험이 덜할시	
C	- 정화식호흡보호구 (air purifying respirator) - 후드형화학보호복 (hooded chemical resistant suit) - 전신보호복 - 화학보호장갑, 화학보호장화, 안전모(선택) - 안면보호구(선택)	공기중 부유물질의 유형과 농도를 알고 있으며 정화식 호흡보호구 사용기준을 충족할시	
D	- 전신보호복 - 화학보호장화 - 장갑(선택), 안전모(선택), 고글(선택) - 안면보호구(선택)	최소수준의 보호가 필요할시	

11.4.2. 실험보호복의 탈의·착의

생물안전(biosafety level, BL) 1 및 2등급 실험실에서는 위해도가 비교적 낮아 주로 일반 실험복 (lab coat, gown)을 착용하나, BL3등급 실험실에서는 튜방지(EN13034, 소량의 액체에 대한 방수능), 정전기방지(EN1149), 감염성물질보호(EN14126), 분진보호(EN13982-1) 등을 인증 받은 제품을 사용하여 한다(생물안전 3등급 연구시설 설치·운영 해설서, 2014, 질병관리본부). 또한 생물안전 4등급 실험실에서는 가스 밀폐 시험법(EN464)에 따라 가스 누기 시험을 정기적으로 실시한 양압복을 착용하도록 권장하고 있다(생물안전 4등급 연구시설 설치·운영 해설서, 2013, 질병관리본부).

실험복은 실험실 내에서 항상 착용해야 하며, 계절에 상관없이 평상복을 모두 덮을 수 있는 긴 소매여야 한다. 실험복은 평상복과 구분하여 실험구역 내 지정된 장소에 보관하여야 하며, 실험실의 사무 공간, 화장실 등 일반구역은 실험복 탈의 후 출입하여야 한다.

감염성 물질이 튀거나 묻은 경우에는 적절한 소독 또는 멸균법을 선택하여 불활성화시켜 폐기하거나 세탁하여 재사용하여야 한다. 혈액 검체나 화학물질 취급 등 위험물 취급으로 인하여 많은 주의가 요구되는 경우 실험복이나 가운위에 앞치마 및 팔토시 등 추가 보호복을 겹쳐 착용할 수 있다.

REFERENCES

1. 고용노동부. 보호구 안전 인증고시 제8장 전동식 호흡보호구. 고용노동부 고시 제2014-46호; 2014
2. 박원철. 개인보호구의 올바른 사용-실험용 장갑에 대하여. 화학세계. 2013;6:46-52.
3. 질병관리본부. 실험실 생물안전지침. 오송: 질병관리본부; 2015.
4. 한국산업안전보건공단. 호흡용 보호구의 사용지침. 울산: 한국산업안전보건공단; 2015.
5. 화학물질안전원. 유해화학물질 취급자를 위한 작업상황별 호흡보호구 사용지침 마련. 대전: 화학물질안전원; 2016.
6. American Biological Safety Association (ABSA). Position Paper on the Use of Ultraviolet Lights in Biological Safety Cabinets. [Internet]. [IL]: ABSA; 2012 Retrieved 03/20, Available: www.ehs.umass.edu/ABSA%20UV%20light%20paper.pdf
7. Department of Health and Human Services (DHHS). Primary Containment for Biohazards: Selection, Installation and Use of Biological Safety Cabinets 2nd ed). Bethesda MD: DHHS; 2000.
8. Lisa C, Edie AS, William AR, David JW, Mark S. Virus Transfer from Personal Protective Equipment to Healthcare Employees' Skin and Clothing, Emerging Infectious Diseases. 2008;14(8):1291-1293.
9. Infection Control Unit (ICU). How to use powered air purifying respirator(PAPR). Toronto: Princess Margaret Hospital; May 2003.
10. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). Biosafety Manual - Appendix F: Decontamination and Antimicrobials. [Internet]. [Berkeley California]: LBNL; 2012 Retrieved 03/20. Available : www.lbl.gov/ehs/biosafety/manual/html/AppxF.shtml
11. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Small Entity Compliance Guide for the Respiratory Protection Standard. Washington: OSHA; 2006
12. Public Health Agency of Canada (PHAC). Canadian Biosafety Standards and Guidelines First Edition. Ottawa: PHAC; 2013
13. World Health Organization (WHO). Laboratory biosafety manual Third edition. Geneva: WHO; 2004.
14. World Health Organization (WHO). Laboratory Biorisk Management Strategic Framework for Action 2012-2016. Geneva: WHO; 2012.
15. Vanessa R. To PAPR or not to PAPR?. Canadian Society of Respiratory Therapists. 2014;50(3) Autumn.

12

감염성 물질의 안전관리

김정목(한양대학교 의과대학)·김종민(한국바이오협회)·유민수(코라 공공컨설팅&솔루션)

최근 신종 인플루엔자 등과 같은 인체 위해 신·변종 병원체 감염병이 전 세계적으로 확산됨에 따라 인체위해성 병원체의 생물안전과 보안의 중요성이 부각되고 있다. 또한 ‘생물테러’에 이용될 수 있는 병원체인 ‘생물무기’의 제조와 사용을 금지하고, 생물무기에 의한 질병예방 및 보호, 기타 비평화적 목적으로의 사용을 제한하는 국제적 인식 공유 및 조치가 강화되었다.

‘감염성 물질(infectious substance)’이란 병원체(pathogen)를 보유한 것으로 추정되는 물질 또는 병원체를 보유하는 물질로써 검체(specimen), 배양체(cultures), 병원체 자체를 의미한다. 병원체는 사람을 포함한 생물체에 질병을 일으킬 수 있는 박테리아, 바이러스, 리케치아, 기생충, 진균 및 프리온 등의 미생물(유전자변형미생물 포함)을 말한다. 배양체는 병원체 증식을 목적으로 한 미생물 배양 결과물로서 검체는 배양체에 해당되지 않는다. 검체는 질병 진단, 조사 및 질병 치료와 예방 등의 목적으로 사람 또는 동물에서 직접 채취한 배설물, 분비물, 혈액과 그 구성분, 조직과 조직액, 인체 조직 일부 및 인체에 감염원이 될 수 있는 동물 조직 또는 가검물 등을 말한다.

12.1 국내외 감염성 물질 안전관리 제도(Table 12-1)

12.1.1. 독일의 감염병예방법

독일은 『감염병예방법』(infektionsschutzgesetz, IfSG)을 통하여 감염성 물질에 대한 예방과 관리를 하고 있다. 이 법률은 총 16장 77개 조문으로 구성되어 있으며 병원체 관련 종사자, 병원체의 양도, 시설에 관한 규정을 담고 있다. 감염의 예방을 위하여 감염병의 위험과 방지에 대한 일반인의 교육을 강조하고 있으며, 질병의 감시를 위하여 학교뿐만이 아니라 공중시설, 보육원, 어린이 놀이방, 각종 교육시설 등의 질병감시에 대한 규정을 두고 있다.

이 법률에는 신고대상 질병의 목록과 더불어 감염병원체의 목록을 두고 있으며, 사람에게 감염되는 병원체뿐 아니라 인수공통감염병원체, 혈액과 장기, 물과 식품까지 사람에게 감염되는 경로 대부분을 규정하고 있다. 독일 감염병예방법이 적용되는 병원체의 수출입 시에는 그 병원체를 인도, 보존하기 위해 관할관청의 허가를 받아야 한다. 또한 병원체의 인도 및 양도는 허가받은 종사자나 감독 하에

업무를 수행하는 자에게만 허용하도록 하고 있다.

독일의 생물안전 관련 법제로는 『유전공학법』이 있다. 동법 제6조는 유전공학 시설물의 운영자에 대한 기본의무를 규정하고 있다. 즉, ① 위해성평가, ② 종사자 보호와 사전예방, ③ 표지, ④ 안전관리자 임명에 관한 의무를 명시하고 있다.

12.1.2. 캐나다의 인체감염병원체 및 독소법(Human Pathogens and Toxin Act)

캐나다 정부는 국민안전 보호와 테러 대응을 위하여 Public Safety Act 2002를 제정하였다. 이 법률은 테러리스트의 공격에 대한 캐나다 정부의 대처능력 강화방법과 대응대책을 포함하고 있다. 이 법률에 의거하여 국민안전 강화를 위한 법안 내용을 개정하고 있으며, 생물 및 독소 무기협약의 이행과 관련된 법률제정 등의 변화를 가져왔다. 그러나 이 법률에 의한 병원성미생물의 안전관리 방안은 다소 미흡한 부분이 있었다.

이와 같은 단점을 보완하기 위하여 캐나다 정부는 총 14장 73조로 구성된 감염성 물질 관리법 성격의 『캐나다 인체감염병원체 및 독소법』(Human Pathogens and Toxin Act)을 제정하였다. 이 법률은 인체감염성병원체 및 독소로 인한 위해로부터 공공의 건강과 안전을 확보함에 그 목적이 있다.

이 법률에서 인체감염병원체는 WHO에서 정의한 위험군(risk group)을 참고하여 정한 병원체를 의미한다. 또한 이들 병원체 및 독소에 대한 수출입에 대한 규제를 명시하였지만, 수출에 대해서는 캐나다 외무성이 요구하는 Export control list에 해당하지 아니하는 병원체만을 대상으로 하고 있다.

이 법률에서는 캐나다 국내에서 취득하거나 수입된 병원체의 관리, 개인보안관리 및 병원체 목록 관리, 모든 병원체의 이동에 관한 감독, 의도적 방출과 생산, 실험실획득감염에 대한 신고사항을 규정하고 있다. 또한 보건복지부 인가 없이는 RG 2 ~ 4 병원체 및 독소를 소유, 양도, 보존, 처분, 수입, 수출하는 행위를 금지하고 있다. 그리고 취급하는 병원체 및 독소에 대한 정보제공 및 신고 의무를 부과하고 있으며, 감염사고가 발생하였을 경우 지체 없이 신고하도록 하고 있다.

12.1.3. 싱가포르의 생물병원체독소법 2005

싱가포르는 2003년 SARS 실험실 감염사고로 인한 인명피해가 발생한 것으로 계기로, 2005년 총 8장 65조로 구성된 매우 강력한 생물테러방지 및 감염성 물질관리법인 『생물병원체독소법 2005』(Biological Agents and Toxin Act 2005)를 제정하여 시행하고 있다. 이 법률은 생물병원체와 독소 그리고 불활성 생물병원체의 보유, 사용, 수입, 선적, 이동 및 수송을 금지하거나 규제하고 있다. 즉, 생물병원체와 독소 취급에 대한 안전관리를 제공하고, 감염성질환법과 관련된 수정조항을

만들기 위한 법으로써, 2005년 싱가포르 의회의 승인을 얻어 대통령에 의해 공포되었다.

이 법률은 생물병원체의 유형별로 안전관리 준수사항을 규정하고 있다. 특히 규제내용이 가장 많은 제1목록군의 경우 소유, 취급, 사용, 이동 등의 사항에 대해 허가를 받아야 한다.

이 법에서는 생물병원체를 5개의 목록으로 구별하고 있다. 즉, 제1목록과 제2목록에 해당하는 생물병원체와 제5목록에 해당하는 독소는 심각한 질병을 초래할 수 있기 때문에 엄격한 통제와 관리를 규정하고 있다. 법률에서 명시한 관리대상 병원체는 총 93종이며, 독소는 5종이 관리대상으로 포함되어 있다. 이중에서 37종(제1목록 Part 2와 제2목록에 해당하는 병원체)은 생물테러가 가능한 물질로 간주하며 어느 누구도 비평화적 목적으로 생물병원체를 소유, 개발, 생산, 획득, 저장, 보존, 직접·간접적으로 타인에게 양도하지 못하도록 하고 있다.

한편 병원체관리자, 생물안전위원회, 시설 운영자의 의무와 책임규정을 두고 있으며, 병원체와 독소 운송책임자의 의무와 책임까지 규정하고 있다.

12.1.4. 일본의 감염증예방법

일본은 『감염증예방 및 감염증환자의 치료에 관한 법률』을 일부 개정하여 감염병의 원인이 되는 병원체를 관리할 수 있는 규정을 신설하여 2007년 6월 1일부터 시행하고 있다.

법 정의규정에서 특정병원체에 대하여 목록화하고 있으며, 이 특정병원체에 대한 관리규정 35개 조항을 신설하여 ① 병원체의 소지, 수입, 양도·양수의 허가 및 신고에 관한 사항, ② 병원체 관련 종사자 및 방문자에 대한 교육훈련에 관한 사항, ③ 병원체 관련 종사자 및 방문자에 대한 교육훈련에 관한 사항, ④ 병원체 멸균 및 처리에 대한 사항, ⑤ 장부 기재에 관한 사항, ⑥ 특정 병원체 등의 보관, 사용 또는 멸균 등을 하는 시설의 위치, 구조 및 설비기준에 관한 사항, ⑦ 특정 병원체의 보관, 사용, 운반 또는 멸균 등 기술상의 기준에 관한 사항, ⑧ 병원체 운반에 관한 신고, ⑨ 사고 발생 신고 및 응급조치에 관한 사항, ⑩ 병원체 취급시설에 대한 후생노동대신 및 경찰관의 감독에 관한 사항 등을 규정하고 있다.

이와 같은 법률 개정에 따라 병원체 안전관리가 강화된 것에 대해 다양한 의견이 제시되고 있다. 예를 들어, 법률의 개정목표가 병원체에 대한 안전관리인지, 대테러방지인지 모호하다는 점, 그리고 병원체 안전관리라고 한다면 지나친 규제강화라는 의견이 나오고 있다. 또한 이 법률에 의하면 병원체를 이용한 연구 활동에 큰 지장을 초래할 수 있다는 일부 의견도 있다.

Table 12-1. 국내외 병원체 등 감염성 물질의 안전관리 법률 비교

	우리나라	미국	호주	일본	캐나다	싱가폴
병원 체명	고위험병원체	Select Agents and Toxins	Security Sensitive Biological Agents	특정병원체	Human Pathogens and Toxins	Biological Agents and Toxins
관련 법률	감염병의 예방 및 관리에 관한 법률 (2010 개정)	42 CFR Part73 Select Agents and Toxins의 보유, 취급, 이동에 관한 미연방 규정 (2012.10.개정)	SSBAs Scheme 2009 SSBAs Standards 2011	감염증의 예방 및 감염증 환자에 대한 의료에 관한 법률 (2011 개정)	Human Pathogens and Toxins Act 2009	Biological Agents and Toxins Acts 2005
관리 목적	생물테러 목적으로 이용되거나 유출될 경우 국민건강에 심각한 위험을 초래할 수 있는 병원체를 지정 관리	공중보건과 동식물에 심각한 위험을 가할 수 있는 생물제와 독소 (생물테러위험성 높은 병원체)지정 • 최근 생물안전 및 생물보안 강화	의도적 유출시 국민 건강과 경제에 심각한 위험을 초래할 수 있는 생물체 특별관리	감염증의 원인이 되는 병원체 및 독소를 1종 ~ 4종으로 분류하여 안전 및 보안관리	국민건강과 안전을 위하여 인체병원체와 독소를 지정하여 안전 및 보안관리	생물안전, 생물보안 위험수준에 따라 5개 그룹으로 나누어 생물 테러 방지 및 감염성 물질 관리
관리 대상 병원 체수	총 36종 • 세균 및 진균 14종 • 바이러스 및 프리온 22종	총66종 • 보건부 SAT 34종 (병원체 25종, 독소 9종) • 농무부 SAT 21종 (병원체) • Overlap SAT 11종 (병원체) - Tier 1 13종: 특별보안관리대상 - 지정 SAT (병원체 12종, 독소 1종)	총20종(2016.3) • Tier 1: 12종 • Tier 2: 8종	총 55종류 81종 (2015.5) • 1종 6종류 14종 • 2종 6종류 6종 • 3종 25종류 37종 • 4종 18종류 24종	총 302 종 이상 (2015.12) Schedule 1 ~ 5로 분류 • 1군: 독소 28종 • 2군: RG 2 116종 • 3군: RG 3 138종 • 4군: RG 4 19종 • 5군 Part 1: 독소/ 해당없음 Part 2: 두창 1종 - RG 2 이상의 모든 병원체는 법률 적용	총 383종 이상 (2016.2) Schedule 1 ~ 5로 분류 • 1군 Part I 59종, Part II 18종 • 2군: 고위험18종 • 3군: 3종 • 4군: 감염병 병원체 277종 • 5군: 독소 8종 - 원충, 기생충 등 포함
관리 기준	• 취급시설 허가 또는 신고 필요 • 반입(수입)허가 • 분리, 이동, 인수 신고 • 반기별 보존현황 신고 • 매년 현장점검	• 취급시설등록 • 수입허가 • 분리, 보유, 취급 신고 • 이동신고 및 승인 • Select Agents Program으로 관리	• 수입허가 • 보유상황보고 • 2년마다 목록 점검 • 감염을 생물보안으로 격상, Biosecurity Bill 제정(2012.8.)	• 수입(신고, 허가, 금지) • 보유(신고, 허가, 금지) • 시설기준, 보관기준 규정	• 허가받은 시설만 보유, 취급, 이용, 생산, 보관, 이동, 수입, 수출 등 가능 • 수입허가 • 보유 90일 내 보고	수입허가(1 ~ 5군), 환적허가, 보유승인, 생산승인, 시설등록, 보안시설, 이동신고, 특별취급승인 등 위험군에 따라 적용 • Inactivated 1군 Part I, Part II, 2군대상 수입허가
반입 허가	반입(수입)허가	반입허가	반입허가	1종: 반입금지 2종: 반입허가 3종: 반입신고	5군: 반입금지 2, 3, 4군: 반입허가	반입허가

12.1.5. 우리나라의 병원체 안전관리 체계

우리나라는 캐나다와 싱가포르와 같은 종합적인 병원체 안전관리에 관한 법률이 2020년 현재 제정되어 있지 않다. 단, 『감염병의 예방 및 관리에 관한 법률』(이하 『감염병예방법』)의 개정하여 생물테러에 이용될 수 있거나 외부로 유출시 국민건강에 심각한 위해를 줄 수 있는 병원체를 ‘고위험병원체’로 지정하고, 고위험병원체 국가안전관리체계를 구축하였다. 이 체계에는 고위험 병원체의 분리·이동 신고 및 보존현황 보고체계를 도입하여 생물보안을 포함한 생물안전 관리를 강화하는 내용이 포함되어 있다. 지정된 고위험병원체는 『감염병예방법』과 『화학무기·생물무기의 금지와 특정화학물질·생물작용제 등의 제조·수출입 규제 등에 관한 법률』(이하 『생화학무기법』)로 공동되어 관리되고 있다. 또한 병원체의 유전자를 변형할 경우에는 『유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률』로 관리되고 있다.

이와 관련하여 고위험병원체 국가안전관리의 주관기관인 질병관리청은 고위험병원체의 검사, 취급 및 보존에 따른 생물안전관리의 효율적 수행과 고위험병원체로부터 초래될 수 있는 위험을 방지하고 국민의 건강을 보호하기 위하여 「실험실생물안전지침」, 「고위험병원체 실험실 진단지침」, 「고위험병원체 보존 및 안전관리 매뉴얼」, 「고위험병원체 수송 매뉴얼」 및 「고위험병원체 MSDS (material safety data sheets)」를 발간한 바 있다. 그 외에 동물질병 원인체에 대한 안전관리는 『가축전염병 예방법』을 통해 이루어지고 있다.

병원체를 바라보는 시각은 크게 2가지로 구분된다. 즉, (1) 국내 관련 질병의 발생을 방지하고 관련된 위험을 최소화하는 질병방역의 측면과 (2) 병원체를 유전자원으로 규정하여 그 가치를 보존하고 활용하는 자원보존의 측면이 고려되고 있다.

인체감염성 병원체의 경우, 질병방역의 측면에서 수행되는 안전관리는 『감염병예방법』을 따르고 병원체를 이용한 생물무기의 개발·제조를 금지하는 측면에서 수행되는 보안관리는 『화학무기·생물무기의 금지와 특정화학물질·생물작용제 등의 제조·수출입 규제 등에 관한 법률』에 따르고 있으며, 자원보존의 측면에서는 『국가 병원체자원의 수집·관리 및 활용 촉진을 위한 법률』이 이에 해당한다.

가축 및 동물질병 병원체의 경우, 질병방역의 측면에서 수행되는 안전관리는 『가축전염병예방법』에 따르고 병원체를 이용한 생물무기의 개발·제조를 금지하는 측면에서 수행되는 보안관리는 『화학무기·생물무기의 금지와 특정화학물질·생물작용제 등의 제조·수출입 규제 등에 관한 법률』에 따르고 있으며, 자원보존의 측면에서는 『농수산생명자원의 보존·관리 및 이용에 관한 법률』을 근거로 ‘가축 전염병 병원체 등 수의유전자원 관리규정(농림축산검역본부 고시 제2016-13호)’를 따르고 있다.

가축 및 동물질병 병원체의 관리는 기본적으로 연구자의 병원체에 대한 지식과 개인안전, 병원체를

사용하는 시설의 실험실 안전과 관리, 그리고 병원체의 폐기와 안전한 마무리에 중점을 두고 있다. 이와 같은 내용들은 병원체를 보유하고 있는 기관에서 중점적으로 확인하고 있는 사항이다. 이에 따라 2014년에 개정되어 2015년부터 시행되고 있는 「가축 전염병 병원체 등 수의유전자원 관리규정」에 포함된 관련 조항에 따라 시설의 안전과 사용목적을 사전에 확인하고 있다.

12.2 고위험병원체 등 감염성 물질

고위험병원체를 취급 또는 보존하고 있는 고위험병원체 취급기관 내 실험실은 사고가 발생할 가능성이 있다. 즉, 이들 실험실 감염사고나 병원체 유출 등은 실험 종사자 개인뿐만 아니라 지역 사회 확산 및 국가적 생물재해재난으로 확산될 가능성이 높다. 『감염병예방법』에 따른 고위험병원체 중 생물테러감염병을 일으키는 생물테러감염병원체의 경우 사고발생시 그 피해와 파급효과가 더욱 클 것이다. 이와 같은 이유 때문에 고위험병원체 취급에 따른 위험을 사전에 방지하고 안전과 보안을 유지하는 것은 매우 중요하다. 이를 위하여 고위험병원체 취급기관은 보안 요소를 포함한 생물안전을 확보하고 유지·관리하여야 한다. 생물테러감염병원체 취급기관은 제23장(생물보안 관리체계)를 참조하여 생물안전뿐만 아니라 생물보안을 확보하고 유지·관리하여야 한다.

고위험병원체 취급 시 권장되는 생물안전 밀폐등급은 실질적으로 고위험병원체를 이용하는 실험을 안전하게 이행할 수 있는 조건을 갖춘 적절한 밀폐등급이어야 한다. 이러한 취급시설의 밀폐등급은 『유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률』에 따른 시설의 생물안전등급 기준을 준용하고 있다.

고위험병원체 취급기관의 장은 해당 고위험병원체를 안전하게 취급할 수 있는 적절한 생물안전 밀폐등급시설을 확보해야 한다. 유전자재조합실험을 함께 수행할 경우, BL1 및 BL2 시설은 과학 기술정보통신부에 신고해야 하며 BL3 이상의 시설은 질병관리청의 허가를 받아야 한다. 이후 연구 시설의 기관장은 실험에 대한 위해성 평가를 수행하여 실험실 작업환경 내에 있는 위험요소를 인지하고 잠재적인 위해상황을 파악하여 이에 대응할 수 있는 조치를 강구해야 한다. 연구책임자는 연구 및 실험의 계획단계에서 총체적인 위해성 평가를 이행해야 하며, 실험 종사자는 사전에 실험 절차로 인하여 발생할 수 있는 위해성을 숙지해야 한다.

오늘날 고위험병원체를 비롯한 병원체와 독소는 질병치료 및 예방을 위한 연구 및 실험에 이용되고 있다. 그러나 일부 비도덕적인 개인 또는 집단에 의하여 사회적, 정치적 혼란을 유도하기 위한 목적으로 의도적으로 질병 발생 또는 확산에 이용되기도 했다. 이와 같은 과거 경험 때문에 실험실 생물보안체계는 고위험병원체 취급기관별 특성을 반영하여 관리책임자 및 실무자, 생물안전관리자,

실험 종사자, 행정요원 및 보안요원 등으로 구성하고 각 담당자들 간에 책임과 권한, 해당 역할 및 수칙을 명확히 제시되어야 한다.

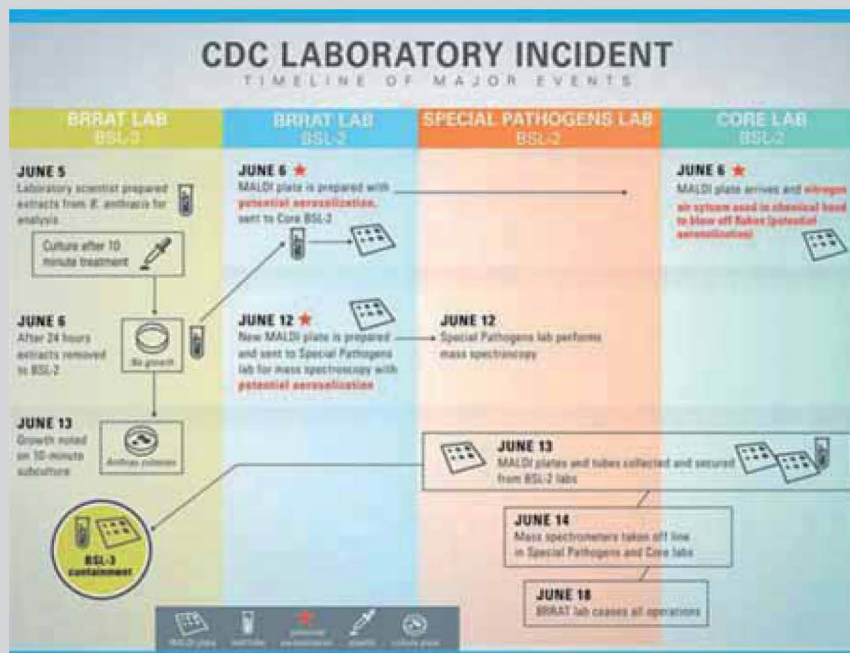
고위험병원체 취급기관의 장은 관리 책임자와 실무자를 지정하여 고위험병원체의 안전관리를 이행해야 한다. 관리 책임자 또는 실무자는 고위험병원체의 수량, 사용 시기 및 용도, 폐기, 기관 내 이동 등 변경사항을 파악하고 관리대장을 기록해야 한다. 또한 지정구역에 대한 보안시스템을 운영하고, 실험자들의 신원 파악, 출입자의 신분증 패용, 임의 출입자의 제한조치 등 통제관리를 수행하고 정기적 점검을 통해 고위험병원체의 유출 및 도난 등을 방지해야 한다.

또한 고위험병원체 취급기관의 장은 고위험병원체의 검사, 실험 및 폐기 등 취급에 따른 실험실 생물안전성을 확보하기 위하여 ‘기관생물안전위원회(institutional biosafety committee, IBC)’를 구성하여 운영해야 한다. 고위험병원체를 이용하는 유전자 재조합실험을 실시하고자 하는 경우, 반드시 실험 전에 『유전자변형생물체법』에 의거하여 질병관리청의 실험승인심사를 신청하여 승인을 획득해야만 한다. 고위험병원체의 실험실 생물안전관리를 위한 기관 자체 ‘실험실 생물안전규정’을 마련하고 ‘생물안전관리자’를 지정하여 안전관리체계를 운영하고, 실험종사자들이 안전수칙을 준수하도록 지속적인 생물안전교육 및 지도, 건강검진 및 조사를 실시해야 한다.

미국 BRRAT BL 3등급 실험실의 탄저균 노출 사고사례

미국 질병통제센터(centers for disease control and prevention, CDC)는 감염병을 예방하고 생물테러를 사전에 감지하고 대응하는 연구를 수행하는 기관이다. 이 연구의 일환으로 생물/화학적 공격 및 공중보건 위기에 대응할 수 있는 실험실 대응 네트워크(laboratory response network, LRN)를 운영하고 있다. 이에 따라 미국 CDC의 BRRAT (bioterrorism rapid response and advanced technology) 실험실에서는 LRN에 참여하고 있는 150여개 실험실에 과학적, 기술적인 지원을 하고 있다. 이러한 미국 CDC BRRAT 실험실에서 2014년 6월 탄저균이 노출되었을 가능성이 있는 사고가 발생하였고, 2014년 7월 미국 CDC에서 사고보고서를 발표하였다.

구체적으로 2014년 6월 5일, 미국 CDC BRRAT BL3 실험실에서 박테리아 종을 빠르게 확인할 수 있는 말디토프 질량분석기술(MALDI-TOF mass spectrometry)을 이용하기 위하여 탄저균을 포함한 8종류의 선택된 감염물질(select agents)을 전처리하였다. 전처리한 샘플은 10분간 formic acid 처리 후 24시간 배양하여 생존여부를 확인한 후, 말디토프 장비로 분석하기 위해 BL2 시설로 옮겼다. BRMiniRAT 실험실에서는 BL3시설에서 BSC내에서 병원체를 프로토콜에 따라 전처리 하였고, 전처리한 샘플을 배양한 후 탄저균이 불활성화 된 것을 확인하고, 폐기를 위하여 formic acid/acetonitrile 용액으로 10분 처리하였다. 화학적 처리 후 집락(colony)이 형성되지 않은 배지를 고압증기멸균으로 최종 폐기할 예정이었다. 그러나 고압증기멸균기가 비정상적으로 작동하였기 때문에 화학적 처리된 배지를 다시 배양기에 넣어 두었다. 이와 동시에 전처리한 샘플을 BL2 실험실로 이동하여 말디토프 분석을 하였고, 6월 6일, 11일, 12일에 BSPB 실험실 및 BCFB 실험실로 이동시켰다. 그리고 6월 13일 BRRAT BL3실험실 연구자가 배양기에 넣어두었던 배지를 폐기 처리 중 배지에 집락이 형성되어 있음을 발견하였다. 형성된 집락의 균체는 real-time PCR을 통해 탄저균임을 확인하였다.



[미국 BRRAT BL3 실험실에서의 탄저균 노출사고 일지]

그 후 화학적 처리를 한 탄저균 샘플을 24시간 배양하였을 때 배지에 균체 집락을 형성하지 않았지만 8일간 배양한 결과 화학적 처리로 불활성화 되지 않았음을 확인하였다. 이 사고는 즉시 미국 CDC의 select agent 관리 담당자에게 알렸고, 미국 CDC에서는 탄저균이 노출되었을 가능성이 있는 연구자에게 예방조치를 취하고, 실험실 공간 및 장비, 실험대, 실험실문 손잡이 등을 소독조치 하였다. 또한 탄저균 노출 가능성이 있는 연구자를 예방 조치하고 지속적으로 모니터링하였다. 그러나 사고 후 한 달 동안 탄저균 감염 증상이 나타난 연구자 및 관련자는 없었다.

사고가 확인된 후 미국 CDC 실험실과 MDCH (michigan department of community health) 실험실에서 formic acid와 acetonitrile 처리가 탄저균을 불활성화하기에 적절한 화학 소독제인지 확인하기 위한 연구가 시행되었다. 미국 CDC 실험실에서는 탄저균의 균체와 아포에 formic acid를 10분 처리 후, formic acid/acetonitrile를 각 6시간, 24시간 처리 후 8일간 매일 생존여부를 확인하였고, MDCH 실험실에서는 탄저균 균체에 formic acid를 즉시, 1시간 또는 24시간 처리 후 formic acid/acetonitrile를 재 처리를 한 후 8일간 매일 생존여부를 관찰하였다. 그 결과, formic acid와 formic acid/acetonitrile는 탄저 균체를 멸균시키는데 효과적이었으나, 탄저 아포를 완전히 제거하기에는 적절하지 않았다(50,000개의 아포를 24시간 처리 시 8일 배양 결과 4개 집락 형성). 그러나 여러 상황을 검토하였을 경우, 샘플 내에 포함된 탄저균은 10분간의 화학적 처리로 불활성화 되었을 것으로 판단되며, 실험실 종사자에게 탄저균 노출 가능성은 아주 희박하다고 결론을 내렸다.

이번 사고는 미국 CDC BRRAT 실험실에서 일어난 첫 번째 사고가 아니다. 지난 10년 동안 4건의 사고가 있었다. 2006년에 미국 로렌스 리버모어 국립연구소(lawrence livermore national laboratory, LLNL)와 사설 연구소에 탄저균 DNA를 보냈는데, LLNL에서 샘플 검사 결과 살아있는 탄저균이 감지된 사례가 있었다. 그 후 BRRAT 실험실은 DNA 샘플을 준비할 때 불활성화 여부를 보장하기 위해 새로운 품질보증 절차를 시행하였고, select agent의 부산물을 이동하기 전에 연구책임자가 서명을 하도록 규정을 개선 시켰다. 그러나 이번 사고에서는 DNA 샘플 준비과정이 아니기 때문에 이러한 절차를 이행하지 않았고, 샘플을 화학적 처리 후 생존여부 확인을 위한 배양시간(24시간) 또한 과학적 근거가 아닌 연구자의 개인적인

판단에 의해 정해진 것으로 확인되었다.

이번 사고원인 중 가장 큰 요소는 연구 설계가 실험실 안전 요구사항에 충족하는지 적절한지에 대한 선임 연구자 또는 과학적 전문가의 검토 및 승인이 되지 않은 점이다. 또한 샘플 처리 절차 프로토콜에는 병원체의 불활성화를 확인하는 SOP가 포함되지 않았으며, BL2 실험실에서도 이동 전 불활성화 되었음을 증명하는 서류를 확인하지 않았다. 이외에도 실험에 비병원성 균주 사용이 가능함에도 불구하고 병원성 균주를 사용한 점, BRRAT 실험실 관리자 및 연구자의 실험내용에 대한 충분한 전문지식 습득 부족, select agent의 이동 및 불활성화 표준운영절차와 방법 등의 규정 결여가 문제점으로 밝혀졌다.

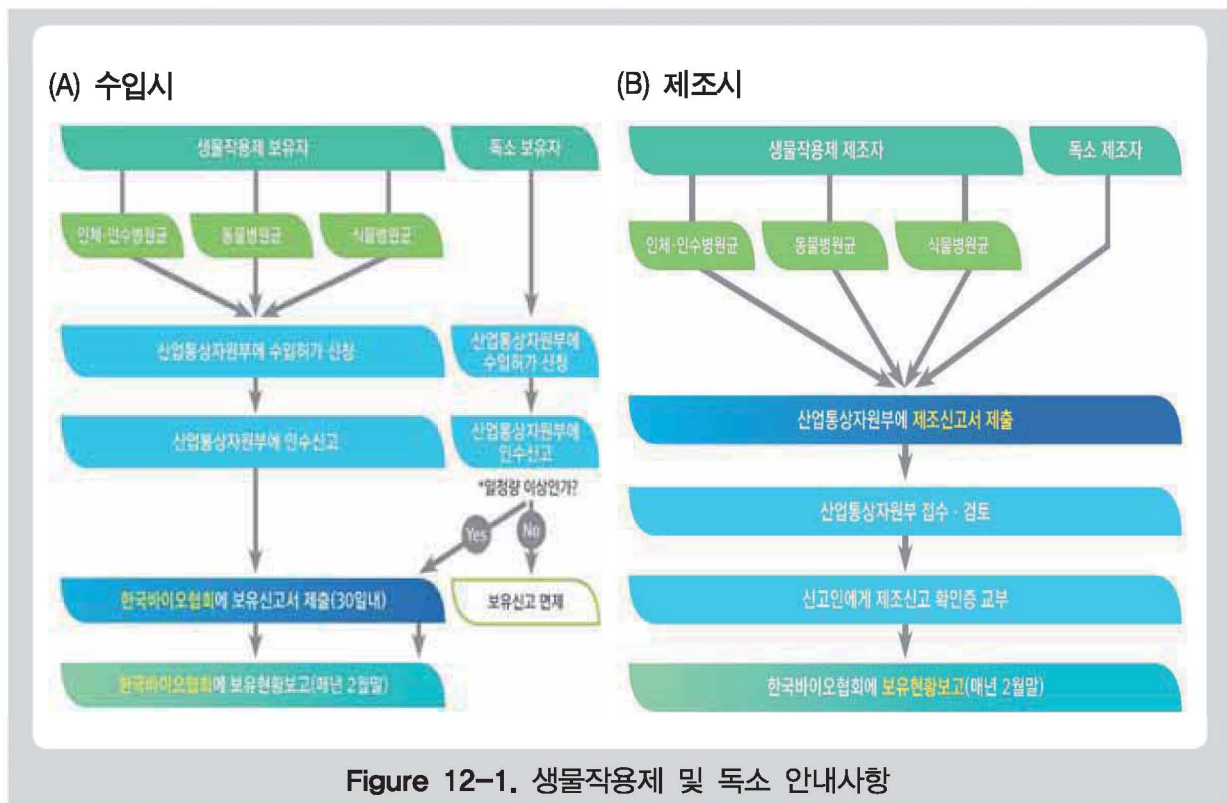
이에 따라 미국 CDC에서는 각 실험실의 모든 절차와 규정을 검토 및 개선할 때까지 각 실험실의 연구 활동을 중단시켰다. 이번 사고를 계기로 생물안전 관련 각 담당 임무를 부여하여 책임감 있게 관리할 수 있고, 외부 전문가 그룹을 통하여 조언 및 검토를 받을 수 있도록 생물안전을 강화하는 방안을 모색 중이다.

12.3 생물작용제 및 독소의 안전관리

생물작용제(biological agent) 및 독소의 안전관리는 기본적으로 1975년 발효된 생물무기금지협약(Biological Weapons Convention, BWC)의 국내이행에 따른 것이다. BWC는 생물작용제 또는 독소를 폭탄이나 포탄 등의 운반 장비를 이용하여 인간이나 동식물의 기능 또는 수명에 영향을 줄 수 있는 생물무기의 개발·생산·비축의 금지와 보유하고 있는 생물무기의 완전 폐기를 목적으로 제정된 협약이다. 이를 위해 생물무기로 활용가능한 생물작용제/독소의 생산 보유 금지(제1조)와 협약 이행을 위한 당사국의 국내이행조치의무(제4조)를 회원국에 부여하고 있다.

우리나라는 1897년에 BWC에 가입하여 현재까지 활동하고 있으며, 2004년 4월 UN안전보장이사회의 ‘대량살상무기 비확산 결의’에 따라, 생물무기관련 행위를 규제할 수 있도록 법체계를 마련한다는 내용의 UN 안보리 이행계획서를 UN에 제출하였다. 이에 따른 BWC의 국내이행을 위해, 기존의 화학무기금지협약 이행법률에 생물무기분야를 추가하여 『화학무기·생물무기의 금지와 특정 화학물질·생물작용제 등의 제조·수출입 규제 등에 관한 법률』(생화학무기법)로 개정하여 2007년 1월 1일부터 시행하였다.

생화학무기법은 생물무기를 개발 또는 제조목적으로 생물작용제의 개발·제조·획득·보유·비축·이전·운송 또는 사용하는 것을 금지하고 있으며, 질병의 예방과 치료 등 평화적 목적으로 사용할 경우 사전에 제조신고(생물작용제 또는 독소를 배양·추출·합성하거나 독소를 생성하는 생물체 또는 생물작용제의 유전자를 변형하는 것), 보유신고 수출입허가를 받도록 하고 있다(Figure 12-1). 주관 기관은 산업통상자원부이며, 생물작용제등의 제조 및 보유자에 대한 정기·수시검사를 이행하는 의무를 수행한다.



규제대상 생물작용제는 인체감염성 병원체·동물전염성 병원체·식물병원체 및 독소 67종을 규정하고 있다. 규제대상 생물작용제는 그 특성상 질병관리청이 관리하는 고위험병원체, 농림축산검역본부가 관리하는 동물병원체 및 식물병원체와 공동되어 관리되고 있다. 이에 따라, 생화학무기법에서는 감염병예방법 또는 『가축전염병예방법』, 『식물방역법』에 따라 신고하거나 허가를 받은 경우 생화학무기법에 의해 신고하거나 허가받은 것으로 간주해주는 규정이 있으나, 그 대상과 조건이 제한적이기 때문에 해당 규정의 적용여부는 반드시 확인이 필요하다(Table 12-2).

생화학무기법에 의해 생물작용제 및 독소의 제조자나 보유신고자는 정기검사를 받아야 한다. 산업통상자원부장관은 2년마다 정기검사를, 유출 또는 오염 등의 사고가 발생한 경우 등 필요시 수시검사를 실시한다. 단, 제조·보유신고자의 부담을 최소화하기 위해 관련기관으로부터 유사한 검사를 받고 있는 시설의 경우 합동조사를 실시하고 있으며(Table 12-3), 기존에 관련기관의 검사를 받지 않는 시설의 경우에만 산업통상자원부가 단독으로 정기 및 수시검사를 시행하고 있다.

이때 생물작용제 제조·보유신고자는 생물작용제의 월별 제조량 및 보유량, 원료물질 사용량, 국내 인도·인수량 및 인도·인수자명, 국가별 수출입량을 기재한 장부를 비치하고, 기록·유지해야 한다. 산업통상자원부 장관은 비치 의무자에 대해 자료를 제출하게 할 수 있으며, 비치 의무자는 정당한 사유가 있는 경우 외에는 10일 이내에 자료를 제출해야 한다.

Table 12-2. 생물작용제 및 독소 신고/허가의 관련법률 및 기타사항

구 분	종 류	기 간	내 용	제출기관
생화학 무기법	제조(변경)신고	제조(변경) 전 신고	제조목적, 제조량, 폐기방법 등	산업통상자원부
	지위승계신고	지위 승계한 날로부터 30일 이내	승계일, 승계사유 등	
	제조폐지신고	제조폐지 전 신고	폐지 수량, 제조 폐지일, 제조 폐지 사유 등	
	양도신고	양도 전 신고	양도물질, 양도수량 등	
	폐기신고	폐기 전 신고	폐기 수량, 폐기 사유 등	
	수출허가	수출 전 허가	물질명, 수출국가, 수출량, 수출사유 등	
	인도신고	수출허가 후 인도 전 신고	수량, 인도일, 인도장소 등	
	수입(변경)허가	수입(변경) 전 허가	물질명, 수입국가, 수입량, 수입사유 등	
	인수신고	수입허가 후 인수 전 신고	수량, 인수일, 인수장소 등	
	보유신고	보유한지 30일 내	보유량, 보유경위 등	한국바이오협회
	보유현황보고	매년 2월 말까지	보유량 및 변동사항	
감염병 예방법	분리·이동신고	사전신고(즉시)	병원체명, 분리일자, 이동계획 등	질병관리청
	보존현황신고	매년 1월 31일까지	병원체명, 수량, 보존상태 등	
	보유허가 (생물테러감염병병원체)	사전 허가 (단, 환자, 토양 등에서 분리하는 경우 보유즉시 허가)	병원체명, 보유경위, 보유목적, 보유기간 등	
가축전염병 예방법	분리신고	분리 후 신고	병원체명, 분리일자, 분리장소 등	농림축산검역본부
	관리목록 신고	매년 1월 15일까지	병원체 보유현황	
	수입허가	수입 전 허가	품명, 수량, 수입목적, 수송 후 관리방법 및 장소 등	
식물방역법	도착사실 신고, 금지품 관리상황카드 기록·비치	도착 후 즉시, 금지품관리해제까지	도착사실 신고, 금지품 관리상황	농림축산검역본부 (지역본부·사무소)
	수입허가	수입 전 허가	인력, 시설, 장비구비와 시험연구 및 안전관리 계획서 첨부	

※ 생물작용제 및 독소 수출은 대외무역법 근거 '전략물자 수출입고시' 준용

Table 12-3. 생물작용제 및 독소의 안전관리 합동조사 점검표

생물작용제 등의 안전 및 보안관리 점검표			
“생물작용제 등” : 「화학무기·생물무기의 금지와 특정화학물질·생물작용제 등의 제조·수출입 규제 등에 관한 법률」에 따른 “생물작용제 및 독소” : 「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률」에 따른 “고위험병원체” : 「가축전염병예방법」에 따른 “가축전염병병원체” : 「식물방역법」에 따른 “식물 병해충”			
기관명 :		점검일시 :	
대표자명 :		사업자등록번호 :	
기관 구분 : ☐ 기관(연구기관) ☐ 기업 ☐ 대학(병원)			
주소(본사) :			
주소(소재지) :			
생물안전시설의 밀폐등급은? ☐ BL1 ☐ BL2 ☐ BL3 ☐ BL4 ☐ 기타 ()			
생물안전시설의 시설번호는? [제KCDC-HP- - 호], [제 LML - 호] [제QIA- - 호]			
관리책임자 :	전화 :	휴대폰 :	전자우편 :
실무관리자 :	전화 :	휴대폰 :	전자우편 :
관리책임자 및 실무관리자 외 생물작용제 등의 취급자: ☐ 있음 (명) ☐ 없음 ※ 취급자 정보(여러 명일 경우 별도첨부)			
성명 :			
보안 담당자: ☐ 있음 ☐ 없음	보안관리 책임자 :	소속부서 및 직급 :	소속기관내 근무기간 :
	안전 및 보안 자격증 보유 : ☐ 네 (종류:) ☐ 아니요	전 화 :	전자우편 :
		휴대폰 :	
	보안관리 실무관리자 :	소속부서 및 직급 :	소속기관내 근무기간 :
안전 및 보안 자격증 보유 : ☐ 네 (종류:) ☐ 아니요		전 화 :	전자우편 :
	휴대폰 :		
생물안전 담당자:	생물안전관리 책임자 :	소속부서 및 직급 :	소속기관내 근무기간 :

☐ 있음 ☐ 없음	안전 및 보안 자격증 보유 : ☐ 네 (종류:) ☐ 아니요	전 화 : 휴대폰 :	전자우편 :
	생물안전 관리자 :	소속부서 및 직급 :	소속기관내 근무기간 :
	안전 및 보안 자격증 보유 : ☐ 네 (종류:) ☐ 아니요	전 화 : 휴대폰 :	전자우편 :
	생물작용제 등의 보유 및 보유량 확인		
	명 칭 :		
	특 성 :		
보 유 량 :			
용 도 : ☐ 검사용 ☐ 연구용 ☐ 생산용 ☐ 보존용 ☐ 기타 ()			
용도서술 :			
물질형태 : ☐ 용액 ☐ 펠렛 ☐ 동결건조 ☐ 조직표본(조직절편) ☐ 기타 ()			
보존상태 : ☐ 고형 또는 액체배지 ☐ 동결 ☐ 기타 ()			
생물작용제 등의 보존 장비 또는 시설은? ☐ 냉동고(-70℃ 이하) ☐ 냉동고(0℃ 미만) ☐ 냉장고 ☐ 액체질소탱크 ☐ 기타 ()			
최초보유일 :			
명 칭 :			
특 성 :			
보 유 량 :			
용 도 : ☐ 검사용 ☐ 연구용 ☐ 생산용 ☐ 보존용 ☐ 기타 ()			
용도서술 :			
물질형태 : ☐ 용액 ☐ 펠렛 ☐ 동결건조 ☐ 조직표본(조직절편) ☐ 기타 ()			
보존상태 : ☐ 고형 또는 액체배지 ☐ 동결 ☐ 기타 ()			
생물작용제 등의 보존 장비 또는 시설은? ☐ 냉동고(-70℃ 이하) ☐ 냉동고(0℃ 미만) ☐ 냉장고 ☐ 액체질소탱크 ☐ 기타 ()			
최초보유일 :			

미신고 생물작용제 등의 보유 및 보유량 확인
미신고 생물작용제 등: ☐ 있음 ☐ 없음
명 칭 :
특 성 :
보 유 량 :
용 도 : ☐ 검사용 ☐ 연구용 ☐ 생산용 ☐ 보존용 ☐ 기타 ()
용도서술 :
물질형태 : ☐ 용액 ☐ 펠렛 ☐ 동결건조 ☐ 조직표본(조직절편) ☐ 기타 ()
보존상태 : ☐ 고형 또는 액체배지 ☐ 동결 ☐ 기타 ()
생물작용제 등의 보존 장비 또는 시설은? ☐ 냉동고(-70℃ 이하) ☐ 냉동고(0℃ 미만) ☐ 냉장고 ☐ 액체질소탱크 ☐ 기타 ()
최초보유일 :
관리장부 및 기록 관리
생물작용제 등의 유래 및 특성, 사용 및 용도, 보존수량, 분리, 이동, 폐기 등 정보를 관리(사용내역)대장에 기록하여 보관하고 있는가? ※ 관리(사용내역)대장은 생물작용제 등의 폐기 후 5년간 보관 ☐ 네 ☐ 아니요
생물작용제 등의 전부 폐기 또는 타 기관 이동 등으로 해당 생물작용제 등을 보존하지 않는 경우에는 관리(사용내역)대장에 그 내용을 기록하고 관계 행정기관의 장에 통지하고 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당 없음
생물작용제 등의 월별 제조량, 또는 보유량 및 보유경위 등이 관리장부에 기록되어 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당 없음
생물작용제 등의 제조를 위하여 사용된 주요 원료물질의 월별 사용량이 기록되어 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당 없음
생물작용제 등의 월별 국내 인도·인수량 및 인도·인수자명이 기록되어 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당 없음
생물작용제 등의 월별 · 국가별 수출입량이 기록되어 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당 없음
생물작용제 등의 관련 대장 및 관련자료(파일포함)의 보안이 유지되고 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요

341

☐ 해당 없음(고압증기멸균 방법 이외 폐기 시 또는 점검 미실시)
고압증기멸균기나 소각, 폐기 시설 또는 장비의 도입기간(사용기간)은? ☐ 5년 이하 ☐ 10년 이하 ☐ 15년 이하 ☐ 기타
인적 보안
보안관리(생물작용제등의 보안관리 포함) 책임자가 지정되어 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요
생물작용제 등의 관리자, 취급자 등을 채용하기 전에 이력서와 과거업무경력을 확인하는가? ☐ 네 ☐ 아니요
생물작용제 등의 관리자, 취급자 등의 행동을 평가하는 지표가 마련되어 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요
생물작용제 등의 관리자, 취급자 등이 부주의하거나 의심스러운 행동을 하는 것이 발견된 경우 어떤 조치를 취해야 하는지에 대한 지표가 마련되어 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요
생물작용제 등을 작업할 경우 단독으로 출입하여 작업하지 못하게 하는 “두 작업자 규칙”을 시행하고 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당 없음(보존용의 경우)
생물작용제 등 관리자, 취급자 등에게 생물보안교육을 하고 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요
운송 보안
생물작용제 등을 소속기관 또는 타 기관 등으로 운송하는 경우 법령에 따라 신고하고 진행하고 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당 없음(운송하지 않는 경우 또는 신고가 필요없는 경우)
생물작용제 등을 수입이나 수출하는 경우 법령에 따라 허가를 받아서 진행하고 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당 없음(수출입하지 않는 경우)
생물작용제 등을 소속기관 또는 타 기관 등으로 분양·양도하는 경우 기관 확인과 분양하는 생물작용제등의 사용용도 및 목적을 확인하고 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당 없음(분양·양도하지 않는 경우)
운송관련문서(운송계획서, 운송보고서, 인수확인증 등)에는 생물작용제 등에 대한 설명과 정확한 수량이 포함되어 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당 없음(운송하지 않는 경우)
생물작용제 등을 운송할 경우 도난 및 탈취를 방지하기 위한 적절한 포장방법을 사용하고 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당 없음(운송하지 않는 경우)
운송에 대한 규정이나 매뉴얼이 마련되어 있거나 관련 가이드라인 등을 구비하고 있는가? ☐ 네(종류 :) ☐ 아니요 ☐ 해당 없음(운송하지 않는 경우)
생물작용제 등을 소속기관 또는 타 기관 등으로 운송하는 경우 운송방법은? ☐ 자체운송 ☐ 운송업체 이용 ☐ 해당 없음(운송하지 않는 경우)

사고대응 매뉴얼을 보유하고 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요
사고발생에 대한 비상대응체계(응급처치, 비상조치 등 안전관리방안)가 마련되어 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요
감염성물질 안전수송지침이 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요
생물작용제 및 관련 검체 등의 수송시 감염성 물질은 쉽게 파손되지 않고 밀폐할 수 있는 1차 수송용기 내에 담고, 사고 등에 대비하여 내용물이 외부로 유출되지 않도록 3중 포장하고 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
생물작용제 및 관련 검체 등의 수송시 생물작용제 및 검체 등의 특성이 보존될 수 있도록 적절한 온도 등 수송조건을 유지하고 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
생물작용제 및 관련 검체 등의 수송시 3차 포장용기에 취급 시 주의사항 및 위해 표시를 부착하고 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
생물작용제와 생물작용제가 포함되는 검체 등 감염성 물질을 폐기하는 경우 생물작용제 등의 특성 및 보존형태 등을 고려하여 고압증기멸균 등 적합한 방법으로 사멸시킨 후 「폐기물관리법」에 따라 처리하고 있는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
생물작용제 등의 불활성화시 불활성화 방법에 대해 사전에 기관생물안전위원회의 심의를 거쳐 기관장의 승인을 받는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
생물작용제 등의 불활성화시 불활성화 처리과정을 기록하여 보관하는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
불활성화된 생물작용제 등을 신고 또는 허가받는 취급시설 외부로 반출하는 경우에는 비가역적으로 생육이 불가능한 것을 확인하는가? ☐ 네 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
종합평가

	소 속	성 명	서 명
점검기관			
수검기관			

미국의 생물작용제 유출 등 사고사례

미국 의회에서는 2001년 탄저테러 사건 이후 대량살상무기가 될 가능성이 있는 생물작용제 및 독소 (biological select agent and toxin, BSAT)에 의한 위험이 점점 커지고 있는 것을 인식했다. 이에 따라 생물작용제 및 독소를 관리하는 'The Possession, Use or Transfer of Agents and Toxins' 법안을 확대하여 2002년에 'The Public Health Security and Bioterrorism Preparedness and Response Act'와 'The Agricultural Bioterrorism Protection Act'를 제정하였다. 이러한 법률은 미국 보건사회복지부 (health and human services, HHS)와 농무성 (united states department of agriculture, USDA)에서 미국 CDC와 미국 동식물검역소(animal and plant health inspection service, APHIS)에 위임하여 시행하고 있다.

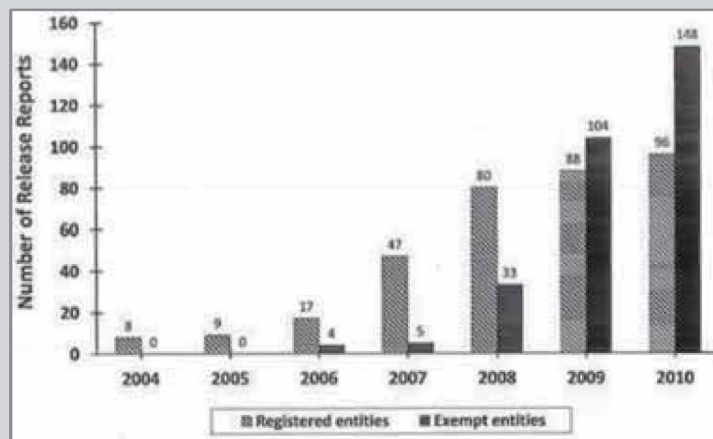
미국에서는 생물작용제 및 독소를 보유, 사용, 이동할 경우에 미국 CDC와 APHIS에 기관을 등록해야 하고, 사전 승인된 취급자만 생물작용제 및 독소에 접근이 가능하다. 임상 및 진단 검사실은 일상적으로 생물작용제 및 독소를 취급할 수 있으나 기관 등록 면제 기관이다. 그러나 등록기관 뿐 아니라 면제기관도 생물작용제 및 독소의 도난, 분실, 유출 사고가 의심되거나 발생했을 경우에 즉시 미국 CDC 또는 APHIS에 보고해야 할 의무가 있다. 또한 생물작용제 및 독소의 도난, 분실 유출사고 후 생물작용제 및 독소를 회수하고 책임기관이 확인했다 하더라도 이러한 상황에 대하여 미국 CDC 또는 APHIS에 보고해야 한다. 이와 관련하여 미국에서 발생한 생물작용제 및 독소의 도난, 분실 유출 사고 모니터링을 위한 전국적인 프로그램을 이행하고 있는데, 2004 ~ 2010년에 미국 CDC에 보고된 사고 정보를 요약하여 소개한다.

2004년 ~ 2010년 미국에서 발생한 생물작용제 및 독소의 도난, 분실, 유출 사고는 총 727건이다. 생물 작용제 및 독소의 도난 사고는 없었으나, 분실 사고 88건 및 유출에 의한 사고 639건이 보고되었다. 또한 639건의 유출사고로 인하여 11건의 실험실획득감염이 발생하였다. 구체적으로 *Brucella melitensis* (4건), *B. suis* (2건), *Francisella tularensis* (4건), *Coccidioides immitis/posadasii* (1건)으로 인한 실험실 획득감염이 보고되었다. 실험실획득감염으로 인한 사망한 사례는 없고, 2차 감염은 발생하지 않았다. 실험실

획득감염 경로는 종사자가 인지하지 못하는 에어로졸로 인한 감염으로 추정된다.

생물작용제 및 독소의 사고보고는 2004년 16건이 보고된 이후 2006년까지 매년 20여건 이하로 보고되었으나, 2007년에는 57건이 보고되어 전년대비 2배 이상 증가하였다. 사고보고는 2008년 128건으로 급격히 증가하였고, 2009년 이후 매년 200건 이상의 사고가 보고되었다. 2007년 ~ 2010년 4년간 발생한 사고는 분실사고의 94%(88건 중 62건), 유출사고의 94%(639건 중 601건)로 보고된 사고의 대부분이 해당되었다. 2008년 이후 생물작용제 및 독소에 대한 사고보고 건수가 급격히 증가한 이유는 미국 CDC에서 2008년 1월 상황별, 사례별 시나리오를 포함한 생물작용제 및 독소에 관한 사고 가이드를 제공함에 따라 사고보고에 대한 교육 및 홍보 때문으로 추정하고 있다.

2006년 이전 면제기관은 생물작용제 및 독소의 유출사고가 발생하지 않았으나, 2006년 4건을 시작으로 매년 면제기관의 유출사고 보고 건수가 급격히 증가하였다. 또한 2009년, 2010년에 면제기관의 유출사고는 등록기관의 유출사고 수를 넘어섰다. 그 기간 동안 면제기관의 생물작용제 및 독소의 분실사고는 1건이 보고되었다



[미국의 생물작용제 및 독소의 분실사고 모니터링 결과]

생물작용제 및 독소의 분실 또는 유출사고는 동물연구시설보다 생물안전연구시설에서 더 많이 발생하였다. 등록기관의 생물작용제 및 독소 분실사고의 92%는 생물안전연구시설에서 발생하였고, 이 중 68%는 BL3 실험실에서 발생하였다. 미국 CDC에 보고된 분실사고의 65.9%는 관리대장의 재고수량 불일치로 인한 사고보고였고, 그 외에 폐기 샘플(16%), 선적/수송의 오류(18%)로 보고되었다. 생물작용제 및 독소의 분실사고 중 특이한 사례는 *Coccidioides immitis*가 선적 수송 중 분실사고가 발생하여 FBI를 중심으로 사고 조사를 하였다. 그 결과, 미국 내 상업적 선적시설에서 선적 과정 중 완전히 파손된 것으로 결론 내렸다. 또한 생물작용제 및 독소의 분실 및 유출 사고 발생은 등록기관의 경우 발생한 사고의 68%가 BL3에서, 면제기관의 경우 91%가 BL2에서 발생하였다.

생물작용제 및 독소의 유출사고는 세균 유출 사고가 70.9%로 가장 많았으며, 특히 면제기관의 경우, 생물체 유출 사고 중 세균의 비중이 높았다(81%). 미국 CDC에 보고된 639건의 유출사고와 관련된 BSAT는 총 676개였다. 면제기관의 경우 진균 유출 사고가 15.9%이고, 바이러스 유출 사고는 2%에 불과하였다. 그러나 등록기관의 경우 진균 유출 사고는 2.9%, 바이러스 유출 사고는 22.8%로 면제기관의 유출 사고와 차이를 보였다.

생물작용제 및 독소의 사고 모니터링 결과, 미국에서는 약 300여개의 기관에서 약 10,000여명이 국가의 허가를 받아 생물작용제 및 독소를 보유, 이동 및 취급을 하고 있으며, 실험실획득감염 사고 발생정도는 미국 CDC에 승인된 취급자 1,000명 당 최소 1명(2005년)에서 최대 9명(2010년)이었다. 또한 국가에 등록된 기관 100개 당 사고 보고건수는 최소 2.8건(2005년)에서 최대 29.6건(2010년)이었다.

REFERENCES

1. 질병관리본부. 실험실 생물안전지침. 오송: 질병관리본부; 2019.
2. Richard DH, Thomas M, Robin SW. Monitoring Select Agent Theft, Loss and Release Reports in the United State 2004~2010. *Applied Biosafety*. 2012;17(4):171-180.
3. Public Health Agency of Canada (PHAC). Canadian Biosafety Standards and Guidelines First Edition, Ottawa: PHAC; 2013
4. World Health Organization (WHO). Laboratory biosafety manual Third edition, Geneva: WHO; 2004.

13

실험실 생물안전 준수사항

김동욱(서울대학교 환경안전원)·손운목(경상대학교)·유민수(코라 공공컨설팅&솔루션)·
이남진(질병관리청)·이미경(중앙대학교)·이동규(고신대학교 보건복지대학)·
장원중(건국대학교 의과대학)·조신형(질병관리청)·홍성중(중앙대학교)

다양한 실험실 사고와 업무 관련 감염은 실험자의 감염에 대한 감수성, 병원체의 독력과 감염력, 실험자의 실수와 부실한 실험기법, 설비의 잘못된 사용, 작업환경, 감염관리 등의 원인으로 발생된다(WHO, 2004). 실험자는 감염성 병원체에 노출될 위해성에 대해 큰 우려를 하고 있으며, 이에 대한 적절한 교육 및 훈련은 사고의 예방 및 노출 후 관리에 필수적이다(PHAC, 2013).

실험실에서 발생하는 생물안전사고로 대표적인 것이 실험실 획득 감염(laboratory acquired infection, LAI)이다³²⁾. LAI는 증상의 발현 여부와 관계없이 실험실 관련활동 또는 실험실을 통해 획득되는 모든 감염을 의미한다. LAI는 세균, 바이러스, 진균 및 기생충 등 다양한 미생물에 의해 발생할 수 있다. LAI에 대한 가장 큰 조사결과는 1976년에 이루어진 159개 생물학적 요인에 의한 4,079건의 사례보고로(Pike, 1976) 10개의 생물학적 요인이 전체 LAI 사고의 50%를 차지하였다. 이후 2006년 22명의 사망한 1,267건의 LAI 사고가 보고되었으며(Harding & Byers, 2006), 1980년에서 2015년까지 전세계 BL 3등급 이상에서 220건의 LAI 사례가 발생한 것이 보고되었다(Table 13-1; Wurtz *et al.*, 2016 일부수정). 그러나 LAI는 대개 증례 보고나 검사실 조사를 통하여 보고되고 있고, 흔하지 않은 감염이 흔한 감염에 비해 많이 보고되는 경향이 있어, 정확한 빈도를 알기 어려운 현실이다.

진균에 의한 LAI는 1980년대 이후 드문 것으로 알려져 있으며, 주 감염경로는 분생자를 흡입하거나 손상된 피부나 점막 접촉 및 동물과의 접촉에 의해 발생한다.

Table 13-1. 전세계 생물안전 3등급 이상 실험실에서 발생한 실험실 획득감염 조사결과

생물학적 요인	BL 등급	보고된 LAI 사례	사망자	생물학적 요인	BL 등급	보고된 LAI 사례	사망자
<i>Yersinia pestis</i>	3	1		<i>Brucella ovis</i> 를 제외한 <i>Brucella</i>	3	71	
Sabia virus	4	2		<i>Burkholderia mallei</i>	3	2	
Ebola virus	4	3	1	<i>Burkholderia pseudomallei</i>	3	1	
Marburg virus	4	2	1	<i>Francisella tularensis</i>	3	5	
SARS-CoV	3	4	1	Hantaan virus	3	126	
<i>Bacillus anthracis</i>	3	1		Seoul virus	3	1	

※ 조사기간: 1980 ~ 2015년

32) BMBL 등에서 Laboratory associated infection으로 표기하기도 한다.

LAI는 감염성 물질 취급활동에 따라 감염될 수 있는 병원체도 다르며, 비의도적으로 노출되는 노출원의 다양성에 따라 감염되는 질병도 매우 다양하므로(Table 13-1 및 13-2) 조건과 상황에 맞춘 사고예방 및 노출 후 관리절차가 필요하다(HSA, 2013). 예를들어 LAI로 발생하는 혈액매개 감염은 약 80%가 주사바늘에 찔림으로서 발생한다. 이를 위한 안전관리 절차는 체계화 될수록 취급자 및 실험자에게 잘 전달되므로, 표준작업절차(Standard Operating Procedures, SOP)와 같이 문서로 만드는 표준화(standardization) 작업이 수행되어야 한다.

시험·연구기관 내 연구시설은 크게 일반구역과 실험구역으로 구분할 수 있다. 일반구역은 사무실, 복도, 화장실 등 실험을 수행하지 않는 구역이며, 실험구역은 동물실, 실험실, 세포배양실, 실험기기실 등 직·간접적으로 실험을 수행하는 구역이다. 실험동을 포함한 대부분의 실험구역은 BL2 이상의 시설로 생물안전과 관련된 실험실의 사용 및 관리는 연구(실) 책임자가 관장하며, 시험·연구종사자 및 연구 환경에 대한 생물안전을 확보하기 위해 실험실 생물안전수칙을 마련하여 준수토록 한다. 또한 기관 내 설치되어 있는 BL3 이상의 연구시설은 별도의 특별 운영 규정을 마련하여 시설 사용자가 준수하도록 관리·운영한다(질병관리본부, 2019).

다만 연구시설에서 사용하는 운영규정이나 절차들은 실험환경과 취급 병원체 및 동물 등의 다양성에 따라 적용방법이나 순서가 다를 수 있다. 따라서 연구기관내 수행되는 실험의 절차와 장비, 취급생물체와 생물보안 사항 등을 바탕으로 기관생물안전관리자(institutional biosafety officer, IBO)는 기관생물안전위원회(institutional biosafety committee, IBC)의 검토를 거쳐 기관별 특성에 따라 최적화되어야 한다. 일반적으로는 사전유해인자위험분석 등과 같은 실험실 위해성평가(laboratory risk assessment)를 통해 수립되는 생물안전관리 프로그램(biosafety management program)이 이에 해당한다.

Table 13-2. 일반적인 감염성 물질 취급활동별 노출원에 의한 감염사례(HSA, 2013)

노출원 활동구분		혈액, 체액, 체조직	노폐물 (대변, 오줌, 토사물)	피부접촉	감염성 에어로졸 (기침, 재채기)	환경미생물
인체보건관련 활동		HBV & HCV, HIV	출혈성 대장염/용혈성 요독증후군, 바이러스성 위장염, 이질(shigellosis), 살모넬라증, A형 간염	백선 (ringworm)	폐결핵, SARS	
동물 관련 활동	말		살모넬라증	백선		파상풍(토양) 라임병(동물 및 채소의 진드기), 방선균 및 진균
	소	소결핵, 큐열, BSE	렙토스피라증, 출혈성 대장염/용혈성 요독증후군, 큐열, 크립토스포리디움증, 살모넬라증	백선	소결핵	
	양/염소	Chlamydiosis,	큐열, 출혈성 대장염/용혈성 요독증후군,	양두(orf)		

노출원 활동구분	노출원	혈액, 체액, 체조직	노폐물 (대변, 오줌, 토사물)	피부접촉	감염성 에어로졸 (기침, 재채기)	환경미생물
		Scrapie	살모넬라증, 크립토스포리디움증, 톡소포자충증			
	고양이		톡소포자충증	백선		
	개		렙토스피라증, 개회충증, 광견병	백선		
	양계	클라미디아감염 증, 캄필로박터 감염증	캄필로박터 감염증, 살모넬라증		Chlamydiosis	
	비둘기 및 기타 조류	Chlamydiosis	살모넬라증		Chlamydiosis	
	쥐		렙토스피라증			
	파충류		살모넬라증			
	돼지	사슬알균감염증		백선		
하수도, 폐기물관리 및 개선			렙토스피라증, HAV, Hantavirus 감염, 소화기계통 병원체 감염증			레지오넬라증, 방선균 및 진균
건설, 광업, 채석 및 요업			히스토플라스마 감염증(진균감염증)			방선균 및 진균
전문적, 과학적 및 기술적 활동						방선균 및 진균

기관 내 생물안전관리 프로그램은 단순히 수립을 하였다고 하여 종료되는 것은 아니다. 실험자가 취급하는 생물체는 끊임없이 증가하거나 변화하고, 실험절차도 연구과제 및 장비나 기기의 새로운 도입에 따라 달라진다. 또한 취급자가 변경되거나 안전관리 법률규제의 변동에 의해, 기관 내 생물안전관리 프로그램은 끊임없이 변화할 수밖에 없다. 또한 프로그램이 저비용-고효율로 운영 되기 위해서는 현장에서 검증을 거쳐야 하며, 개선사항과 문제점들의 확인 및 검사를 통한 환류 (feedback)결과가 다시 기관 내 생물안전관리 프로그램에 반영되어야 한다(Figure 13-1).

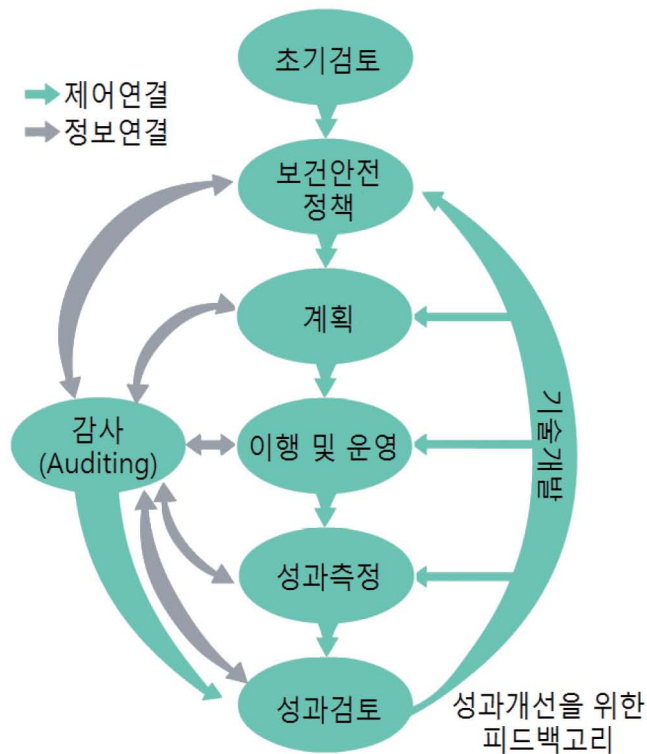


Figure 13-1. 보건 및 안전관리 프로그램의 핵심요소 및 체계(HSA, 2013)

운영절차필요사항은 크게 감염성 물질 등 시료의 안전한 이용, 안전장비 사용 및 이용에 대한 사항, 감염성 물질의 확산 및 주입방지 사항, 감염성 물질의 보관, 시료 및 검체 등 감염성 물질 취급시 주의사항으로 세분화 할 수 있다(WHO, 2004). 이러한 필요사항들은 기관 내 생물안전 프로그램에 의해 이행된다.

본 장에서는 감염성 물질과 감염된 실험동물 또는 독소의 취급 시 위해성을 저감할 수 있도록 설계된 운영절차필요사항(operational practice requirements)에 대해 설명하고자 한다.

13.1 미생물 실험 시 요구되는 생물안전수칙

13.1.1. 감염성 물질 등 시료의 안전한 이용(WHO, 2004; 질병관리본부, 2019)

시료용기는 유리 또는 플라스틱 재질을 사용한다. 단단해야 하며 마개로 제대로 막은 상태에서 누출이 없어야 한다. 용기 외부에는 어떠한 물질도 잔류해서는 안 되며, 용기에 라벨을 부착하여 식별을 용이하게 한다. 시료를 설명하는 서류로 주변을 감싸지 않으며, 별도의 방수봉투에 넣어

취급하는 방법이 권고된다.

취급하는 미생물 및 감염성 물질 등의 위험도를 고려한 연구시설의 생물안전등급에 따라 지정된 실험구역에서 실험을 수행한다. 취급하는 미생물, 독소 등의 특성, 실험방법 등을 고려하여 위해성 평가를 실시하고 그 결과에 따라 적절한 물리적 밀폐가 가능한 실험구역을 지정·사용한다.

실험을 수행하기 전에 취급할 미생물과 감염성 물질, 실험방법, 개인보호구(Personal Protective Equipment, PPE)의 탈·착용방법 등을 숙지하고, 감염성 물질 등의 유출사고 및 감염사고 발생 시 응급조치 등에 대한 교육·훈련을 받아야 한다.

깨진 유리조각이나 주사바늘로 상처를 입지 않도록 체계적인 SOP 등을 제정하여 운영하는 것을 권고한다. 가급적 주사바늘 사용을 최소화하고 안전장치를 이용하여 사용하여야 한다. 사용 후 안전한 폐기물용기에 버린다.

기관 내에서 병원미생물 및 감염성 물질 등을 이동할 때에는 2중 밀폐포장하고 견고한 운반 용기에 담아 안전하게 운반한다. 1차 용기는 뚜껑을 돌려 닫는 것으로 잘 깨지지 않는 재질로 밀폐능이 있어야 한다. 2차 용기는 1차 용기를 담을 수 있는 크기로 재질 및 특성은 1차 용기와 같다. 내용물에 대해 표기하고, 2차 용기 표면을 소독하여 실험실 외부로 이동한다.

이동 시, 뛰거나 던지는 등의 위험한 행위는 금한다.

13.1.2. 안전장비 사용 및 이용에 대한 사항(WHO, 2004; 질병관리본부, 2019)

귀마개, 보안면, 보안경 등 필요한 PPE는 실험 수행 방법 및 위해도 등급에 따라 연구(실) 책임자 및 생물안전관리자 등과 상의하여 착용하도록 한다. (예: 초음파 분쇄: 귀마개 착용, 콘택트렌즈 착용자: 보안경 착용 등)

병원성 미생물을 포함한 감염성 물질의 취급은 반드시 생물안전작업대(Biosafety Cabinet, BSC)와 같은 물리적 밀폐가 가능한 실험장비에서 수행한다. BSC는 취급 미생물 및 감염성 물질 또는 수행 실험방법을 고려하여 실시한 위해성 평가 결과를 토대로 알맞은 형태의 것을 선택하여 설치한다. 일반 미생물실험 또는 제2위험군 이상 미생물 실험의 경우, BSC Class II급 이상의 종류를 사용한다.

모든 실험 조작은 가능한 에어로졸 발생을 최소화시키는 방법으로 실시하고 반드시 기계적 피펫팅을 한다. 입으로 피펫을 사용하는 것은 절대 금한다.

13.1.3. 감염성 물질의 확산 및 주입방지 사항(WHO, 2004; 질병관리본부, 2019)

동결건조 물질이 담긴 앰플은 내용물이 감압상태에 있기 때문에 외기로 확산될 우려가 있으므로 BSC에서 개봉한다. 감염성 물질이 함유된 앰플은 폭발하거나 깨질 수 있으므로 액체질소에 담그지

않는다. 보관된 앰플을 꺼낼 때는 외부 표면을 소독해야 한다.

지정된 실험구역에서는 음식섭취, 식품보존, 흡연, 화장 행위 등을 금한다. 음식물의 저장 및 섭취 등은 사무실 등의 비 실험구역을 이용한다. 콘택트렌즈를 착용한 경우, 실험실 내에서의 렌즈 세척, 보관 및 재착용 등은 금지한다. 또한 콘택트렌즈를 착용하고 병원성 미생물, 감염성 물질 등을 취급할 경우 고글, 보안면 등을 사용한다.

취급 미생물 및 감염성 물질에 효과적인 화학(살균)소독제를 선택하여 실험 시작 전과 후에 BSC 및 실험대를 소독한다. 실험 중 유출사고 및 에어로졸이 발생한 경우, 즉시 이를 주변 동료 및 책임자들에게 알려 지시에 따르고 생물학적 유출물 처리함(Biological Spill Kit) 등을 이용하여 소독 및 적합한 조치를 취한다.

실험실의 주 출입문은 항상 닫아 두며 허가받지 않은 사람이 임의로 실험실에 출입하지 않도록 한다. 출입문은 일반구역과 실험구역을 구분하는 중요한 수단이고 실험실에서 발생 가능한 유출 사고 및 에어로졸이 복도, 사무실 등의 일반구역으로 확산되는 것을 일차적으로 차단할 수 있다.

외부인(예: 관련 외부 업체 직원, 운반 회사, 기타 기관 소속이 아닌 일반인 등)이 실험실로 직접 출입하는 것은 금지하며, 출입이 필요한 경우 연구(실) 책임자 또는 부서 담당자의 승인을 받도록 한다.

실험 종료 후, 그리고 실험실을 나올 때에는 반드시 손을 씻는다. 실험구역에 손 세척대, 비누, 종이타월 등은 실험실 출입문 근처 등 사용이 용이한 구역에 설치하여 관리한다. 퇴실 시 손과 신체 노출부위 등을 세척하고 필요한 경우 소독한다.

13.1.4. 감염성 물질의 보관(WHO, 2004; 질병관리본부, 2019)

시료의 접수량이 많을 경우, 별도의 접수실이나 작업실을 운영하는 것을 권고한다. 시료를 접수하고 개봉하는 지는 생물안전교육을 이수해야 하며, 용기가 깨지거나 누출될 경우를 대비한 비상 대응교육 및 훈련을 받아야 한다. 또한 병원성 미생물 및 감염성 물질 등을 취급하거나 보관하는 장소(예: BSC, 배양기, 보관용 냉장고, 냉동고 등)에는 생물위해표시(biohazard mark)를 붙인다.

감염성 물질을 보관하는 냉동고, 초저온냉장고, 드라이아이스 장치의 내용물에 대한 재고기록을 유지하고, 성에 제거 및 청소를 주기적으로 실시하고 보관시 깨진 앰플이나 튜브 등을 제거한다. 청소 시에는 얼굴보호 장치와 내구성이 강한 고무장갑을 착용한다. 냉장고에 보관하는 용기에는 필히 정확한 라벨을 부착한다. 라벨이 없고 오래된 용기나 물건은 고압증기멸균 후 폐기한다.

저온 보관 장소에서 앰플을 꺼낼 때는 눈과 손 보호장치를 착용해야 한다.

병원성 미생물 및 감염성 물질 등을 취급하는 실험으로 발생한 의료폐기물은 『폐기물관리법』에

따라 적합한 의료폐기물 전용용기에 넣어 처리한다. 의료폐기물은 종류에 따라 손상성, 조직물류, 병리계, 혈액오염, 생물화학 의료폐기물로 분리하여 처리한다. 실험 수행 시 폐기물 발생을 최소화 시키고, 의료폐기물은 반드시 전용용기에 보관하며 지정된 기간 내에 폐기한다.

13.1.5. 시료 및 검체 등 감염성 물질 취급시 주의사항(WHO, 2004; 질병관리본부, 2019)

실험 수행 시, 실험복은 항상 착용하고 실험 위해도 등급에 따라 적합한 PPE를 선택하여 착용한다. PPE는 미생물 취급 실험 수행 시 항상 착용하고 올바른 탈·착용 방법을 숙지한다. 실험 수행 중 사무실로 들어 갈 경우, 착용했던 PPE는 탈의하고 손을 세척한 후 입실한다.

화장실, 도서실, 로비, 사무실 등의 일반구역 출입 시에는 실험복, 장갑 등 실험 중에 착용한 PPE를 반드시 탈의한다. 실험복은 평상복과 구분하여 별도의 장소에 보관·관리한다.

연구(실) 책임자 또는 생물안전관리책임자는 의료폐기물의 안전관리를 위해 연구실 내 운영체계를 마련하여 운영한다. 생물안전관리자는 시험·연구종사자에게 생물안전교육을 월 1회 실시하고 필요한 경우 추가로 실시할 수 있으며, 관련 기록을 작성·보관한다. 신규 시험·연구종사자는 소속 기관 또는 전문교육기관에서 실시하는 신규자 대상 생물안전교육을 이수한다. 모든 시험·연구 종사자는 생물안전 정기교육을 이수하여야 한다.

생물안전규정 미준수에 따른 사망사례

2012년 4월 27일 캘리포니아의 한 실험실의 미생물학자가 수막구균성 뇌수막염(meningococcal disease)으로 인하여 사망한 사례가 보고되었다(MMWR, 2012).

당시 25살의 미생물학자는 환자에서 분리된 *Neisseria meningitidis*를 취급 후 두통, 열, 경부통, 경직 증상이 나타나 다음날 아침 소속병원 응급실로 이송되었고, 병원으로 가는 길에 의식을 잃었다. 병원 도착 후 미생물학자는 점상출혈이 확인되었고 수막구균성 뇌수막염이 의심되어 Ceftriaxone를 투약하였다. 그러나 조금 뒤 호흡이 정지되었고, 소생술을 하였으나 사망하였다. 미생물학자가 사망한 당일, 병원에서는 관할 보건국과 CDPH (California division of public health)에 수막구균성 뇌수막염 의심사례로 알렸고, 사망한 미생물학자가 *N. meningitidis* 백신연구를 수행하는 실험실 종사자임을 확인하고 4월 29일에 OSHA와 CalOSHA (california division of occupational safety and health)에 알렸다. CDPH의 Microbial diseases laboratory에서 사망한 미생물학자의 혈액과 조직검체로 확인한 결과, 사망한 미생물학자가 취급하였던 것과 동일한 *N. meningitidis* serogroup B가 분리되었다.

해당 병원은 감염사고가 발생한 실험실 소속 종사자 및 응급실 직원이 잠재적으로 *N. meningitidis*에 노출 되었다고 판단하여, 즉시 모든 종사자에 대한 수막구균성 뇌수막염 검사를 하고, 화학적 예방조치를 하였다. 또한 관할 보건국은 응급실 직원 및 미생물학과 밀접하게 접촉한 가족 등 주변사람을 조사하고 화학적 예방조치를 하였다. 다행히 응급실 직원 및 실험실 종사자 등 2차 감염은 발생하지 않았다.

이후, 실험실 감염사고가 발생한 실험실에 대하여 관할 보건국, CDPH, CalOSHA, OSHA가 합동조사를 하였다. 점검기관에서는 사고 발생 실험실을 점검하고, 실험실 종사자를 대상으로 실험실 운영 규정 및 실험

프로토콜과 실험실 종사자 교육에 대한 조사를 하였다. 그 결과, 사망한 미생물학자 뿐 아니라 해당실험실에서는 다수의 생물안전규정을 어기고 있었음을 확인하였다. 사망한 미생물학자 및 실험실 종사자는 open bench에서 *N. meningitidis*를 취급하였고, 사전에 취급 병원체에 대한 백신접종을 하지 않은 것이 확인되었다.

직업적 노출로 인한 수막구균성 뇌수막염이 감염되는 사례는 드물다. 그러나 미국 내 수막구균성 뇌수막염에 대한 감염 조사 결과, 일반인 보다 실험실 종사자 감염 위험이 더 높으며, 사망률 또한 일반인은 12 ~ 15%인데 비해 LAI의 경우 50%에 이르므로 실험실 생물안전규정을 준수하는 것이 중요하다.

N. meningitidis 실험실 획득감염은 대부분이 BSC 외부 open bench에서 조작하는 과정에서 발생하였다. *N. meningitidis*는 에어로졸로 인한 감염이 발생할 수 있으므로 반드시 BSC 내에서 취급하여야 하고, 공기가 재순환되지 않는 BSC 사용을 권장한다. *N. meningitidis* 취급자는 앞트임이 없는 실험복을 착용하고, 이중장갑, N95필터가 장착된 안면보호장비 또는 그 이상 수준에 해당하는 호흡보호장비, 눈보호장비를 착용하는 것을 권장한다. 또한 ACIP (advisory committee on immunization practices)와 CalOSHA에서는 *N. meningitidis*를 일상적으로 취급하는 사람은 백신 접종을 권장하며, 실험실 관리자는 실험실 종사자에게 실험실 생물안전 규정을 준수하게 하고 정기적인 교육을 이수하도록 권고하고 있다.

SOP 미준수에 따른 LAI 사례

2013년 매사추세츠의 한 대학교 연구소의 실험자(27세, 남)가 실험 중 야생주의 백신니아 바이러스(wild type vaccinia virus)에 감염되는 사례가 발생하였다. 백신니아 바이러스의 실험실 획득감염은 이전에도 발생하였지만, 이번 실험실 획득감염사례처럼 실험 직전 두창백신(ACAM2000)을 접종한 실험자에게서 발생한 것은 처음 보고되었다.



[사고 9일후 병변]

2013년 11월 17일, 실험자는 야생주의 백신니아 바이러스를 실험쥐(mouse)에 접종할 때 사용한 25-gauge 바늘의 뚜껑을 닫는 과정에서 주사바늘에 왼쪽 엄지손가락을 찔렸다. 11월 23일, 실험자는 통증이 없는 발진이 나타나서 지역 응급센터에 진료방문을 하여 백신니아 바이러스 취급 중 바늘에 찔린 사실을 알렸다.

실험자는 발진 이외에 열, 오한 등 다른 전신 증상 및 신경학적 증상이 없었다. 오염된 바늘에 찔린 감염부위에는 초음파 검사에서 작게 고립되어 있는 체액이 확인되었지만 배양검사는 실시하지 않았고 연조직염(cellulitis)으로 진단 받아 병원에 입원하여 치료를 받았다.

11월 24일 실험자는 약을 처방받고, 상처부위 드레싱하는 방법 및 사용한 봉대 등을 폐기할 수 있는 의료폐기물용기(biohazard container)를 받아 퇴원하였다. 또한 의료 기관에서는 실험자에게 소속기관의 진료소(occupational health clinic)에 보고하라고 권고하였으며, 이에 11월 25일 실험자는 소속기관의 진료소를 방문하였다. 방문 당시 실험자의 증상은 왼쪽 엄지손가락에 나타났던 과사병변 증상이 팔로 확장되었고, 왼쪽 팔에 홍반증상이 나타났다. 기관 진료소는 증상을 확인 후 과사성 백신니아 바이러스 감염증으로 진단하고 처방하였다. 또한 기관 진료소는 보스턴 공중보건위원회(boston public health commission, BPHC)의 실험실 규정에 따라 이 사실을 보고하였으며, 보스턴 공중보건위원회는 미국 CDC와 매사추세츠 공중보건부(massachusetts department of public health)에 보고하였다.

11월 26일 BPHC와 미국 CDC는 합동 조사를 착수하였고 사고 경위가 다음과 같이 확인되었다.

실험자가 취급한 바이러스는 약독화된 재조합 바이러스가 아닌 야생주였으며, 실험 시 105 plaque forming unit/ μ l 원액을 10 μ l 사용하였다. 동물실험 시 실험자는 실험쥐를 마취하였고, 실험동물을 마취하는 과정은 class II BSC 내에서 수행하였다. 실험자가 실험쥐에 백시니아 바이러스를 접종 후 주사바늘의 뚜껑을 닫을 때 인근 케이지에 있던 실험쥐들 때문에 집중이 흐트러졌었고, 그 순간 주사바늘이 착용하고 있던 두 겹의 장갑을 뚫고 왼쪽 엄지손가락을 찔렀다. 실험자는 오염된 주사바늘에 찔린 직후 소독제(chlorine dioxide)로 장갑을 소독하여 폐기하였고, 10분간 상처부위에서 피를 짜내면서 비누로 손을 씻었다. 또한 사고보고에 언급된 동물실험실 및 실험실 현장점검결과는 다음과 같다.

연구소의 실험실은 적절한 생물안전 표식 부착, 검증된 BSC를 사용하고 있었으며, 적절한 소독제 및 폐기물 용기를 사용하는 등 잘 운영되고 있었다. 실험자는 실험 전 생물안전교육, 동물실험의 생물안전이 포함된 동물실험 교육과 백시니아 바이러스 취급에 특화된 교육도 모두 이수하였다. 그리고 실험자에 대한 백시니아 바이러스 백신접종 권고사항에 대한 이행 여부를 확인한 결과, 감염된 실험자는 실험 전 기관 진료소에서 두창백신인 ACAM2000을 접종한 것을 확인하였다. 기관 진료소에서 실험자가 백신 접종 수일 후 백신 접종부위에 0.5 cm의 하얀색 병변이 발생하는 등 성공적인 백신접종 반응을 보인 것도 확인하였다.

사고가 발생한 연구소에서는 전체적으로 실험실을 생물안전 규정에 맞추어 잘 운영 하고 있었으나 실험자가 표준실험절차에서 벗어나는 행위인 바늘에 뚜껑을 덮는 과정으로 인하여 감염사고가 발생한 것이다. 이에 BPHC와 미국 CDC는 사고가 발생한 기관에 감염관리를 더욱 강화할 것을 권장하였다. 연구소는 생물안전을 강화하기 위하여 2014년 1월 이후 실험에 대하여 안전주사기(safety syringe)로 교체하고, 생물학적 제제의 안전한 사용을 위해 바늘 뚜껑을 닫는 행위를 제한하였다. 또한 실험동물관리자(animal care staff)가 BL2 동물 실험실에서 실험동물 접종 절차를 재검토하였으며, 연구 시 사용할 수 있는 안전 바늘(safety needle)에 대한 사용정보를 제공하는 등의 조치를 마련하였다. 그리고 감염성 물질을 취급하는 실험자들의 바늘 찔림 또는 사고 보고에 대한 연구책임자들의 책임을 강화하기 위하여 연구책임자를 위한 교육 내용을 보완하는 등 생물안전 강화조치를 하였다.

미국 질병예방통제센터의 예방접종자문위원회(advisory committee on immunization practices, ACIP)에서는 백시니아 바이러스에 감염된 동물 및 배양체를 직접적으로 다루는 실험자에 대한 백신접종을 권고하고 있다. 위해성이 거의 없는 약독화된 백시니아 바이러스를 포함한 백시니아 바이러스 및 두창 바이러스 외 Orthopoxvirus에 속하는 바이러스 취급할 경우 10년 주기로, 원숭이 포스바이러스와 같은 병원성이 비교적 높은 바이러스 취급 시 3년 주기로 백신을 접종할 것을 권고하고 있다.

이번 실험실 획득감염 사례는 실험자가 미국 예방접종자문위원회의 권고 사항을 준수하였음에도 불구하고 실험실 획득감염이 발생하였다. 이와 관련하여 미국 질병통제센터는 실험자의 감염이 더 심각할 수 있었던 증상이 백신접종으로 인하여 완화되었을 수도 있다는 가능성을 제시하였다. 기존 백신접종자가 재접종하는 경우 이미 면역화되어 백신반응을 보이지 않거나 아주 경미한 반응을 나타내는 것으로 볼때, 백신접종이 완전한 면역력을 보장하지는 않지만 최소한 임상 증상의 심각성을 감소시킬 수는 있다는 사실을 뒷받침한다. 감염성 물질 취급 실험실에서는 생물안전규정을 개발하고, 이행할 수 있도록 사전에 훈련 하는 것이 실험실 획득감염에 대한 가장 중요한 예방단계이다. 그러므로 실험실 책임자는 상해 및 감염의 위험을 감소시키기 위해 오염된 주사바늘의 안전한 사용 방법 및 PPE의 사용 등 실험실 안전운영방안을 마련하여야 한다. 실험자는 사고 발생 시 실험실 책임자, 기관 진료소 및 관계 당국에 사고보고 규정에 따라 즉시 보고해야 하는 절차를 인지하고 있어야 한다. 또한, 비의도적 Orthopoxvirus로 인한 실험실 획득감염의 영향을 최소화 하기 위하여 백시니아 바이러스 취급 실험자들의 백신접종이 필요하다.

13.2 동물 실험 시 요구되는 생물안전수칙

13.2.1. 동물실험의 생물안전 준수사항

13.2.1.1. 감염동물실험시설 출입관리

- 감염동물실험시설의 출입은 지문, 홍채 등의 생체정보를 이용하는 방식과 출입카드 또는 태그를 이용하는 방식이 있으며, 현재 대부분의 시설에서는 각 개인별로 발급되는 출입카드를 이용하는 방식을 활용하고 있다.
- 감염동물실험시설은 동물실험수행자, 시설유지·관리담당자, 사육관리담당자 등 관련자만이 출입이 가능해야 한다. 이러한 주요 관련자에 대한 출입통제가 제대로 이루어지지 않을 경우 생물학적 위해물질에 의한 실험실 획득감염이 발생할 수 있으며, 생물학적 위해물질의 시설 외부 유출사고가 발생할 수 있다.
- 감염동물실험시설에 출입하고자 하는 자는 동물실험윤리 및 생물안전에 관한 필수 교육을 이수한 후, 출입을 신청하여야 한다.
- 동물실험윤리 및 생물안전 교육을 이수한 자는 시설관리자에게 감염동물실험시설 출입권한을 신청하고, 시설관리자는 교육이수여부, 수행 동물실험과제의 내용 및 생물학적 위해물질 사용계획을 검토한 후, 출입권한을 부여하고 출입카드를 발급한다.
- 출입카드를 발급받은 자는 카드를 대여 또는 양도해서는 안되며, 부정사용이 적발될 경우 출입카드를 회수하고, 감염동물실험시설의 출입을 제한할 수 있다.
- 공용복도, 전실, 감염동물실 및 처치실 등의 모든 실험실 출입문은 닫혀진 상태에서 동물 실험이 실시되어야 한다. 출입문은 일반구역과 오염구역을 구분하는 중요한 수단이며, 감염 동물실 또는 처치실에서 발생 가능한 유출사고 및 에어로졸이 전실, 공용복도를 거쳐 일반 구역으로 확산되는 것을 일차적으로 예방할 수 있다.
- 감염동물실험시설에서는 생물학적 위해물질의 유출 및 실험실 획득감염의 지역사회 전파를 최소화하기 위하여 관련자 이외의 출입을 통제해야 한다. 일반적으로는 카드키 또는 지문, 홍채 등의 생체인식시스템을 활용하여 실제 감염실험 수행자 이외의 외부인은 출입할 수 없도록 통제해야 한다.
- 견학, 시설투어, 시설장비의 유지보수 등을 위하여 출입이 필요한 경우에는 IBC의 승인이 필요하다.

13.2.1.2. 동물실험윤리 및 생물안전교육프로그램

- 감염동물실험시설 출입자를 대상으로 실시하는 동물실험윤리 및 생물안전교육프로그램은 Table 13-3과 같은 내용이 포함되어야 한다.

Table 13-3. 감염동물실험시설 출입예정자의 필수 교육프로그램

구분	동물실험윤리 교육	생물안전교육
교육내용	• 동물실험윤리의 원칙 • 사용자 등록 및 출입관리방법 • 동물실험계획 승인절차 • 실험동물 검역절차 • 실험동물 및 실험물품의 반입·반출절차 • 실험동물 개체식별방법 • 실험동물의 일반증상 관찰방법 • 일일 사육관리 방법 • 청소 및 소독방법 • 폐기물 처리방법 • 투여, 채혈, 부검방법	• PPE의 용도별 종류 • PPE의 착·탈의 방법 • 방진마스크의 올바른 착용법 • 생물안전심의 절차 • 생물학적 위해물질에 관한 교육 • 자체 위해도 평가방법 • 사고 발생 시 대응절차 • 생물학적 위해물질에 따른 폐기물 처리절차 • 생물안전사고 예방방법 • BSC 또는 무균대의 사용방법

- 동물실험수행자, 동물실험시설관리자, 동물실험과제책임자는 반드시 『실험동물에 관한 법률』 제17조에 따라 실험동물의 사용 및 관리 등에 관한 교육을 이수하여야 하며, 이는 출입교육프로그램 이수 여부와 관계없이 이수하여야 한다(Table 13-4).

Table 13-4. 실험동물의 사용 및 관리 등에 관한 교육프로그램

교육과목	교육내용	교육 방법	교육 시간
실험동물과 동물실험 제도	• 『실험동물에 관한 법률』 해설(등록·지정 등에 관한 처벌 규정을 포함 한다) • 동물실험시설 설치자, 실험동물공급자, 관리자 및 동물실험을 수행 하는 자의 준수사항	강의 (집합)	1
동물실험시설 등의 운영관리	• 동물실험시설의 기준 및 운영 • 실험동물생산시설의 기준 및 운영	강의 (집합)	1
실험동물 운영위원회	• 실험동물운영위원회 제도 • 실험동물운영위원회의 기능과 역할	강의 (집합)	1
실험동물의 품질관리 방안	• 실험동물의 미생물 검사 등 품질관리 • 실험동물 사육 관련 물품 등의 품질관리	강의 (집합)	1
실험동물의 복지와 동물실험의 윤리	• 실험동물의 취급과 관리 • 동물실험의 수의학적 관리 • 실험동물의 복지와 동물실험의 윤리	강의 (집합)	2

13.2.1.3. 사고대응 매뉴얼의 숙지

- 감염동물실험 종사자는 실험을 실시하기 전에 필요한 안전작업 요령 및 사고발생 시 응급 조치 등을 충분히 숙지한다.
- 감염동물실험을 수행하기 전에 취급할 미생물의 위해도, 감염성 물질의 사용방법, 상세 실험방법, PPE의 착·탈의 방법 등을 숙지하고, 감염성 물질 등의 유출사고 및 감염사고 발생 시 응급조치 등에 대한 교육·훈련을 이수해야 한다.
- 모든 실험종사자는 생물안전위원회에서 실시하는 신규자 대상 생물안전교육과 동물실험 윤리위원회(Institutional Animal Care and Use Committee, IACUC)에서 실시하는 실험동물 사용 및 관리 등에 관한 교육을 각각 1회 이수하여야 한다.

13.2.1.4. 위해도 평가 및 PPE의 선택적 착용

- 취급해야 할 실험동물, 미생물 및 감염성 물질 등의 위해도를 고려한 시설의 생물안전등급에 따라 지정된 구역에서 해당 동물실험을 실시해야 한다.
- 동물실험은 취급해야 할 병원체의 위해도에 따라 각각 지정된 구역 내에서만 실시해야 한다.
- 모든 동물실험은 IACUC로부터 사전 심의·승인을 받아야 하고, 동물실험에 병원체의 감염, 유전자재조합물질, 방사성동위원소 등의 생물학적 위해물질을 사용하는 경우에는 IBC로부터 사전 심의·승인을 받은 후 실시되어야 한다.
- IBC 심의 결과에 따라 적절한 PPE를 선택하여 착용해야 한다. 취급하고자 하는 생물학적 위해물질의 호흡기 감염위험이 적은 경우에는 1회용 멸균 실험복, 장갑, 마스크, 신발덮개를 착용해야 한다.
- 실험동물에 대해 직접적인 생물학적 위해물질의 투여, 혈액채취, 부검, 원심분리, 진탕기의 사용이 필요한 경우에는 고글을 착용하여 점막감염으로부터 보호해야 한다.
- 취급하고자 하는 생물학적 위해물질의 호흡기 감염위험이 높은 경우에는 반드시 방진1급 이상의 마스크를 착용해야 하며, 직접 감염성 물질과 실험동물을 취급해야 할 때에는 전동 호흡보호구(Powered Air Purifying Respirator, PAPR)를 착용하여야 한다.
- 실험동물을 직접 손으로 보정하고, 감염성 물질을 투여하거나, 증상을 관찰하고자 하는 경우에는 반드시 물림방지장갑을 착용하여 실험동물로부터 물리거나 할증을 당하는 일이 없도록 주의해야 한다.

13.2.1.5. 올바른 방법의 PPE 착·탈의(Figure 13-2)

- PPE의 착·탈의는 규정된 탈의실내에서 이루어져야 하며, PPE 착의 후에는 올바른 착용 되었는지 같이 입실하는 다른 출입자와 서로 확인해주어야 한다.
- 먼저 첫 번째 실험장갑을 착용하고, 1회용 전신실험복을 착용한다. 실험복에 붙어 있는 후드를 머리카락이 노출되지 않도록 뒤집어쓴다.
- 다음으로 신발덮개를 착용한다. 신발덮개는 보행에 지장이 없도록 신발덮개 조임끈이 바닥에 끌리지 않도록 당겨 묶는다.
- 방진1급 마스크를 착용하고, 코 위의 고정판을 코의 모양대로 눌러 자가 마스크 착용 검사를 실시한다. 마스크를 착용한 후 호흡하여 들숨 때 음압이 걸리면 제대로 착용된 것이다. PAPR의 경우에는 항상 양압으로 호흡마스크 내부 환경이 유지되므로 별도의 마스크 착용 검사는 불필요하다. 다만, PAPR의 작동에 있어서 중요한 배터리 잔량 및 공기공급관의 꼬임 등을 검사한다.

(A) 전동식 호흡보호구



(B) N95 마스크를 포함한 개인보호구 착용



Figure 13-2. 전동식 호흡보호구와 N95 마스크를 포함한 개인보호구 착용

- 마지막으로 두 번째 장갑을 착용한다.
- PPE를 탈의할 때에는 착의와 반대순서로 진행하되, 전신 실험복, 마스크 및 장갑의 외부는 감염성 물질에 노출된 상태이므로, 손이 닿지 않도록 주의한다.

13.2.1.6. 실험동물의 검역

- 질병에 이환된 실험동물이 동물실험시설에 도입될 경우, 실험동물 간, 실험자 등에 감염될 위험이 있다(Table 13-5, 13-6). 또한 질병에 이환된 실험동물을 이용하여 감염실험을 수행할 경우, 재현성 있는 결과를 얻기 어려우므로, 이러한 동물이 실험에 사용되는 것을 방지하기 위해 검역을 실시해야 한다.
- 동물실험시설에 도입할 실험동물은 식품의약품안전처에 등록된 우수실험동물 생산시설에서 생산된 특정병원체무재동물(specific pathogen free, SPF)을 도입해야 한다. 야생동물을 도입할 경우에는 인수공통감염병에 대한 백신접종 후 도입한다. 인수공통감염병을 유발하는 병원체의 위해도에 따른 구분과 각 실험동물 종별 주요 인수공통감염병은 아래 표와 같다.
- 실험동물이 생산업체로부터 배송되어 오면 실험동물 운송박스에 기재되어 있는 동물종, 계통, 연령, 체중, 성별, 마리 수 등을 확인하고, 운송업체 담당자로부터 계통증명서와 건강 모니터링 증명서를 인계받아 이상이 없는 경우, 운송된 실험동물을 격리된 검역실로 반입한다.
- 도입된 실험동물은 격리된 검역실에서 1주일간 사육하며 실험동물의 건강상태를 면밀히 관찰하여 이상이 없는 동물을 선별하여 동물실험시설 내로 반입하여야 한다. 주요 관찰항목과 순서는 다음과 같다.
 - i. 전신상태의 이상(사망, 쇠약, 수척)을 관찰하고, 필요시 체중을 측정한다.
 - ii. 눈, 귀, 입, 치아, 코, 털, 항문 등의 이상 또는 출혈, 화농, 심한 오염의 유무를 관찰하여 기록한다.
 - iii. 털이나 피부의 이상(색깔, 광택여부, 외상, 탈모 등)을 관찰한다.
 - iv. 저체온증과 호흡의 속도를 관찰한다.
 - v. 움직임, 사료 및 물을 섭취하는 행동, 보행 등의 이상을 관찰한다.
 - vi. 안면부의 떨림, 한쪽방향으로의 움직임 등 신경이상을 관찰한다.
 - vii. 접촉 시 자극, 빛, 소리 등에 대한 반응이상 등을 관찰한다.

Table 13-5. 인수공통감염병을 유발하는 병원체의 구분(충북대학교, 2017)

구분	정의
A	동물에 의해 매개되어 사람에게 전염성 질병을 야기할 수 있는 병원체 (zoonotic and human pathogens carried by animal) 예: Hantavirus, Lymphocytic choriomeningitis virus (LCMV), <i>Salmonella</i> spp., Dermatophytes
B	동물에게 치명적인 병원체(pathogens fatal to animal)
C	치명적이지 않으나, 이환된 동물에게 질병을 야기할 수 있으며, 생리기능에 영향을 줄 수 있는 병원체 (pathogens not fatal but can cause disease in animals and affect their physiological functions)
D	동물에 기회감염을 일으킬 수 있는 병원체(opportunistic pathogens for animal) 예: <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>
E	동물 개체 또는 사육 집단에 대한 미생물학적 상태의 마커가 되는 병원체(indicators of the microbiologic status of an animal or colony) 예: ectoparasities, intestinal protozoa, pinworm

Table 13-6. 마우스, 랫드 및 햄스터 유래의 인수공통감염병(충북대학교, 2017)

동물종	구분	병원체	감염 경로	동물의 주요증상	병리소견	진단 (검사시기)	사람의 주요증상	예방
마우스, 랫드, 햄스터	B	<i>Lymphocytic choriomeningitis</i>	피부	통상 불현성 감염	예외적인 홍복강액 증가, 지방간	(이상발생시 검사)	인플루엔자성 발열, 드물게 치사적인 뇌막염	손을 잘 씻고 장갑착용
	B	<i>Streptobacillus moniliformis</i>	교상	무증상	비종	(필요에 따라 검사)	교상부위 염증, 발열, 임파절 종창	물리지 않도록 조심
	C	<i>Salmonella</i> spp.	경구	급성: 체중감소, 입모, 사망 만성: 설사, 체중감소	급성: 패혈증 만성: 간, 비장종대, 과사소	응집반응, 배양 (정기검사 월1회)	설사, 장염	손을 잘 씻고 장갑착용
	C	<i>Trichophyton</i> spp. <i>Microsporum</i> spp.	피부	피부염		(이상발생시 검사)	피부염	손발을 깨끗이 건조
	B	<i>Toxoplasma gondii</i>	경구	뇌염, 기생충혈증		혈구응집반응 (이상발생시 검사)	발열, 설사, 뇌염	손을 잘 씻고 마스크, 장갑착용
토끼	B	<i>Lymphocytic choriomeningitis</i>	피부	통상 불현성 감염	예외적인 홍복강액 증가, 지방간	(이상발생시 검사)	인플루엔자성 발열, 드물게 치사적인 뇌막염	손을 잘 씻고 장갑 착용
기니픽	B	<i>Listeria monocytogenes</i>	안, 비, 구강등의 점막	유약동물: 사약, 사망 임신동물: 유산	유약동물: 간, 심, 비장의 소상괴사, 임신동물: 자궁염, 복막염	(이상발생시 검사)	수막염, 뇌염, 패혈증, 불현성감염이 많음	손을 잘 씻고 마스크, 장갑 착용

동물종	구분	병원체	감염 경로	동물의 주요증상	병리소견	진단 (검사시기)	사람의 주요증상	예방
	C	<i>Salmonella</i> spp.	경구	급성: 체중감소, 입모, 사망	급성: 패혈증 만성: 간, 비장종대, 괴사소	응집반응, 배양 (정기검사 월1회)	설사, 장염	손을 잘 씻고 마스크, 장갑 착용
	C	<i>Toxoplasma gondii</i>	경구	뇌염, 기생충 혈증	간, 비장, 괴사, 각 장기에 충체존재	(이상발생시 검사)	발열, 설사, 뇌염	손을 잘 씻고 마스크, 장갑착용
개	B	Rabies virus	교상	통상 불현성 감염	뇌막충혈, 뇌척수부종, 출혈반	(이상발생시 검사)	신경통성 동통, 불안감, 공수발작, 감각과민	손을 잘 씻고 장갑착용
	B	<i>Leptospira canicola</i>	개→들쥐→ 뇨→식물→ 개, 사람의 경구, 경피감염 개 ↔사람 (에어졸, 식물)	식욕부진, 구토, 발열, 근육강직, 황달, 구강 출혈, 출혈 성사	급성신염, 간염, 출혈성황 달, 만성위축시 신장	(이상발생시 검사)	개와 동일	들쥐의 침입을 방지하고 개에 예방접종 마스크착용, 양치질
	B	<i>Mycobacterium tuberculosis</i> <i>Mycobacterium bovis</i>	경구, 비, 안점막	기관지폐염, 삭쇄, 피부파괴괴양	결핵결절(전장 기 특히 임파 절) 복막염	(이상발생시 검사)	설사, 장염	양성개를 도살하고 손을 잘 씻고 마스크, 장갑착용
	B	<i>Brucella canis</i>	개, 쥐, 식물, 사람	발열없음, 피모광택소실, 운동소실, 피로	고환팽대 수축, 임파절염	혈액배양, 응집반응(입하 검역시)	피부염	손을 잘 씻고 마스크, 장갑착용
	C	<i>Salmonella</i> spp.	경구	뇌염, 기생충혈증	장염	분변배양 (입하검역시)	발열, 설사, 뇌염	양성개를 도살하고 손을 잘 씻고 마스크, 장갑착용
	B	<i>Toxoplasma gondii</i>		발열, 식욕부진, 폐염 설사, 발진, 뇌염	폐와 간의 괴 사, 비종, 카탈 성장염	혈구응집반응 (입하검역시)	인프렌자성 발 영, 드물게 치 사적인 뇌막염	
	C	<i>Toxocara canis</i>	경구	체중감소, 장폐색	임파관, 간, 심폐등의 조직파괴	(이상발생시 검사)	교상부위 염증, 발열, 임파절 종창	손을 잘 씻고 마스크, 장갑착용

동물종	구분	병원체	감염 경로	동물의 주요증상	병리소견	진단 (검사시기)	사람의 주요증상	예방
	C	<i>Dirofilaria immitis</i>	개→충→ 개, 사람	폐빈혈, 호 흡곤란	손환장애, 간경 변, 위장장애, 복수증가	말초혈관종의 Microfilaria검 출 (이상발생시 검사)		구충제
고양이	B	<i>Mycobacterium tuberculosis</i> <i>Mycobacterium bovis</i>	경구, 에어졸	피부결핵이 많음 노약, 발열	(피부결핵) 각장기, 임파절의 결핵결절	균분리 (이상발생시 검사)	노약, 발열, 수막염, 뇌염, 패혈증, 불현성감염이 많음	마스크, 장갑착용, 양치질
	B	<i>Bordetella bronchiseptica</i> <i>Pasteurella multocida</i>	경구, 에어졸	호흡곤란, 식욕 감퇴, 노약	기관지 폐염 충혈, 경화	균분리(비강, 인두) (이상발생시 검사)	발열, 호흡곤란, 식욕부진, 노약	마스크, 장갑착용
	C	<i>Trichophyton belineum</i>	접촉	머리, 안면부 전지가피	피부염	(이상발생시 검사)		장갑착용
	C	<i>Toxoplasma gondii</i>	창상 감염, 경구	발열, 호흡곤란	각 장기에 충체존재	혈구응집반응, (충체검사, 색소시험, 입하검역시 양성개체 도살)	발열, 설사, 뇌염	손을 잘 씻고 마스크, 장갑착용
원숭이	B	<i>Herpesvirus simiae</i>	창상 (타액, 혈액)	설, 순, 구강점막수두, 괴양	좌측과 동일	(이상발생시 검사)	중추신경증상 을 유발하고 치사를 매우높음	물리지 않도록 조심
	B	Marburg virus	불명	실험예에서는 사람의 증상과 비슷하고 자연예에서는 불명	피부출현, 간괴사, 비종	(이상발생시 검사)	노약, 구토, 동통, 결막염, 황달, 출혈, 발진	
	B	Rabies virus	교상	광폭, 침울, 공수발박, 유연	수막충혈, 뇌, 척수부종, 출혈반	(이상발생시 검사)	신경통성 동통, 불안감, 공수발작, 운동지각마비, 감각과민	보호구를 착용하고 원숭이에 물리지 않도록 주의
	B	Monkey pox virus Variola virus.	접촉, 에어졸	발열, 노약, 전신발진, 가피, 안면부종	피부발진, 간 소상괴사, 임파 절 종대	(이상발생시 검사)	피부발진, 종두 경우에 따라 천연두성 증상	WHO지정 오염 지구에서 입하한 원숭이는 검역을 철저히 함
	B	Poliovirus	경구 에어졸	사지, 흉부근육 의 진행성 마비	뇌, 척수의 출혈, 괴사를 수반한 종창	(이상발생시 검사)	설사, 발열, 사지운동마비, 호흡마비	양성원숭이 도살

동물종	구분	병원체	감염 경로	동물의 주요증상	병리소견	진단 (검사시기)	사람의 주요증상	예방
	B	Hepatitis virus	경구	식욕부진, 구토, 발열, 설사, 황 달	간괴사	(이상발생시 검사)	원숭이와 동일	손을 잘 씻고 마스크, 장갑착용, 양성원숭이 도살
	A	<i>Shigella</i> spp.	경구	대장염	대장염	분변배양(입하 검역시)	원숭이와 동일	
	B	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	에어졸 경구	각 장기, 임파절의 결핵결절	각 장기, 임파절의 결핵결절	TUBERCULIN 반응 (입하검역)	원숭이와 동일	마스크 착용, 양성원숭이 도살
	B	<i>Pseudomonas pseudomallei</i>	경구, 경피	폐결절, 화농성결절, 간종대, 소상괴사	폐결절, 화농성결절, 간종대, 소상괴사	(이상발생시 검사)	결핵성 증상의 다발성만성농 양, 치사율 높음	손을 잘 씻 고 마스크, 장갑착용
	C	<i>Salmonella</i> spp.	경구	장염	장염	분변배양 (입하검역시)	원숭이와 동일	손을 잘 씻고 마스크, 장갑착용, 양성원숭이 도살
	C	<i>Bordetella</i> spp. <i>Diplococcus</i> spp. <i>Klebsiella</i> spp. <i>Pasteurella</i> spp.	에어졸 경구	폐의 충혈, 경화, 간의 편화	폐의 충혈, 경화, 간의 편화	비강, 인두점막액 배양 (이상발생시 검사)	발열, 호흡곤란, 식욕부진, 노약	마스크, 장갑착용
	B	<i>Blastomyces</i> spp.	불명	피부, 폐, 골의 화농성육아 성병변	피부, 폐, 골의 화농성육아 병변	(이상발생시 검사)	피부 및 내부 장기 만성농상에 의한 각종 장해	마스크, 장 갑착용
	B	<i>Cryptococcus neoformans</i>	불명	부위에 따라 여러 상해가 다름	폐, 중추신경의 육아성병변	(이상발생시 검사)	심한 두통, 오심, 발열	마스크 착용
	B	<i>Histoplasma capsulatum</i>	토양유래 에어졸	설사, 노약, 임파절 종창	임파절, 기타 장기의 육아성 변화, 장점막괴양	(이상발생시 검사)	폐, 피부의 소결절성병소, 구강소화기 괴양, 빈혈	마스크 착용
	C	<i>Aspergillus fumigatus</i>	접촉 에어졸	부위에 따라 다름	폐, 귀, 비강, 피부 육아성 병변	(이상발생시 검사)	객담, 객혈 (기관지염, 폐염)외이감염	마스크 착용
	C	<i>Trichophyton</i> spp. <i>Microsporum</i> spp.	접촉	피부의 작은수 두, 홍반, 편형반, 탈모	피부염	(이상발생시 검사)	원숭이와 동일	장갑, 장화착용 손발을 깨끗이 건조

동물종	구분	병원체	감염 경로	동물의 주요증상	병리소견	진단 (검사시기)	사람의 주요증상	예방
	A	<i>Entamoeba histolytica</i>	창상 감염, 경구	점혈성 설사	대장염, 간농양	(이상발생시 검사)	원숭이와 동일	마스크, 장갑착용, 양성원숭이 도살
	B	<i>Plasmodium</i> spp. <i>Hepaticystis</i> spp.	경구, 에어졸	외견적으로는 무증상 (발열, 빈혈, 식욕감퇴)	비종, 간종대	(이상발생시 검사)	주기적인 발열, 발작, 빈혈, 비종, 황달	
	B	<i>Toxoplasma gondii</i>	경구, 에어졸	발열, 식욕부진, 폐염, 설사, 발진	폐 및 간의 괴사, 비종	(이상발생시 검사)	혈구응집반응 (임하검역시)	
	C	<i>Oesophagostomum</i> spp.	접촉	설사, 빈혈	대장벽 농포	(이상발생시 검사)	설사, 빈혈	손을 잘 씻고 마스크, 장갑착용, 동물의
	C	<i>Bertiella</i> spp.	창상감염, 경구	별다른 장애가 없음		(이상발생시 검사)	복통, 설사, 빈혈이 수반되나 반드시 중증은 아님	

- 1주일간의 검역기간 중 감염 또는 질병으로 의심되는 임상증상이 발현되지 않은 실험동물에 대해서는 검역을 종료하고, 실험동물 사육실로 반입하여 동물실험을 실시한다.
- 1주일간의 검역기간 중 감염 또는 질병으로 의심되는 임상증상이 발현된 경우에는 함께 배송되어 온 모든 실험동물을 안락사 처리하고, 일부는 부검하여 미생물모니터링 검사를 실시한다.
- 해당 검역실은 과산화수소 등 멸균용 제제를 이용하여 벽, 천정, 바닥, 사육장비, 테이블 등을 훈증 소독한다.
- 검역실의 청정화가 완료된 후, 실험동물 공급업체로부터 실험동물을 재공급 받아 다시 검역 절차를 수행한다.
- 미생물모니터링 검사결과, 인수공통감염병이 확인된 경우에는 검역을 실시했던 담당자를 병원으로 이송하여 감염여부를 검사하고, 예방을 목적으로 백신, 항혈청 또는 특이적인 치료제를 투여하고, 완치될 때까지 동물실험시설의 출입을 제한하면서 치료하도록 한다.

위하여 1회용 케이지를 이용하여 폐갈짚을 별도처리하지 않고, 1회용 케이지와 함께 멸균 처리할 수 있다.

- BSC는 취급 미생물 및 감염성 물질 또는 수행 실험방법을 고려하여 실시한 위해도 평가 결과를 토대로 알맞은 수준의 것을 선택하여 사용한다. 취급하고자 하는 병원체의 위험군이 2등급 이상인 경우 Class II급의 BSC를 사용해야 한다. BSC 사용 전에 올바른 사용법, 관리방법 및 일반적인 미생물 취급방법에 대해 숙지해야 한다.
- 감염동물실 및 처치실에서 실험을 수행한 후에는 소독액을 이용하여 실험대, BSC, 원심분리기, 동물실 바닥 등을 소독액을 5분이상 적용하여 소독해야 한다. 소독액은 제조사가 제시한 희석방법에 따라 즉시 희석하여 사용하고, 병원성 미생물이 증식하지 않도록 습기를 완전히 제거한 후 퇴실해야 한다.
- 염소계 소독제를 사용하는 경우에는 스테레스 재질의 실험대나 BSC 등의 부식을 야기하여 장비의 성능을 저하시키므로, 염소계 소독제 적용 후에는 반드시 멸균수가 묻어있는 젖은 수건으로 닦아내야 한다.
- 소독제는 병원체가 내성을 획득하지 않도록 서로 다른 작용기전을 갖는 소독제 2 ~ 3 가지를 교대로 사용해야 한다. 또한 실험자가 필요시 손을 소독할 수 있도록 손소독기를 공용복도, 사육실 내부 및 실험실 내부에 비치해야 한다.
- 사료 및 갈짚을 교환할 때 외에는 실험동물 사육실 내에 사료, 갈짚, 음수병 및 빈 케이지 등을 방치해서는 안 된다. 이러한 사료, 갈짚 등의 사육기자재는 진균류 서식처가 되어 실험자의 건강상 위해를 초래할 수 있다.
- 모든 출입문을 통과할 때에는 실간 차압의 유지를 위하여 출입문의 개폐시간을 최소화하여야 한다.

13.2.2. 동물실험의 생물안전사항

13.2.2.1. 감염성 물질의 조작 시 주의사항

- 실험자의 손가락에 바늘을 찌르는 사고나 에어로졸의 발생을 막기 위해서도, 다른 기구로 대응할 수 있는 조작이라면, 가능하면 주사기의 사용을 피해야 한다.
- 조작 시에는 주사기를 쥐 손은 불필요하게 빈번히, 또 급속하게 움직일 필요가 없는 수순을 미리 머릿속에 생각해 두어야 한다.
- 시료의 흡입, 배출은 천천히 하고 거품이 생기지 않도록 주의해야 한다.
- 기포를 뺄 때에는, 침 끝을 알코올 솜으로 완전히 닦아낼 것
- 동물접종은 미리 동물을 충분히 보정하여 실수로 실험자의 몸을 찌르지 않도록 사전에

충분히 실험동물의 보정과 투여에 대한 교육·훈련을 이수해야 한다.

- 실험동물의 보정과 투여를 위하여 물림방지장갑을 착용하고 실험을 실시한다.
- 실험동물에 접종 후에는 접종부위를 소독해야 하며, 주사바늘 찔림 사고가 발생할 위험이 높으므로, 주사바늘의 덮개를 입이나 손으로 다시 씌우려 해서는 안 된다.
- 사용한 주사바늘을 손으로 분리하려 하지 말고, 손상성 폐기물 전용용기의 전용 흡을 이용하여 주사바늘을 분리하고, 즉시 고온고압멸균 후 폐기하여야 한다.
- 투여를 위해 주사기에 감염성 물질을 충전할 때, 내부의 기포를 제거하기 위하여 주사기 몸체를 텅기거나, 빠른 속도로 피스톤을 움직여서는 안 된다. 감염성 물질의 충전부터 투여 종료까지의 모든 작업은 BSC 내부에서 실시해야 하며, 피스톤을 천천히 움직여 에어로졸의 발생을 최소화해야 한다.
- 피펫 팁은 내부에 필터가 장착된 팁을 사용하여 감염성 물질이 팁의 외부로 흘러나오지 않도록 주의하고, 감염성 물질이 포함된 액체를 팁의 내부로 흡인할 때에는 천천히 작업하여 에어로졸의 발생을 최소화해야 한다.
- 감염성 물질이 들어있는 튜브를 원심분리할 때에는 덮개(cap)가 장착된 로터(rotor)를 사용하여 에어로졸의 발생을 최소화하고, 원심분리 중 튜브의 손상이 발생하더라도 로터 외부로 감염성 물질이 유출되어 오염되지 않도록 한다.

13.2.2.2. 실험동물의 탈출 및 절지동물의 유입 방지

- 감염된 실험동물 또는 유전자변형생물체를 보유한 실험동물이 사육실 밖 또는 동물실험 시설 밖으로 탈출하게 되면 그 감염원이 유출되어 지역사회의 감염병이 발생할 수 있으며, 변형된 유전자와 다른 동물과의 교미로 인하여 유전적 오염으로 신종생물체가 발생할 우려가 있다(Table 13-8).
- 동물실험시설에서는 실험동물이 사육실 밖으로 탈출할 수 없도록 개별환기사육장비에서 실험동물을 사육하고, 모든 각 사육실 출입구에는 실험동물 탈출방지턱을 설치하여야 한다. 또한 각 동물실험구역과 일반구역 사이의 출입문에도 탈출방지턱 또는 기밀문을 설치하여 탈출한 동물이 시설 외부로 유출되지 않도록 한다.
- 실험동물 사육실로부터 탈출한 실험동물을 발견했을 때에는 즉시 안락사 처리 후 고압증기 멸균하여 사체를 폐기하고, 시설관리자에게 보고해야 한다. 시설관리자는 실험동물이 탈출한 호실과 해당 실험과제, 사용병원체, 유전자재조합생물체 적용 여부 등을 확인하여야 한다.
- 모기, 파리, 진드기 등의 절지동물은 혈액 매개 전염병원 주요한 매개체이며, 이러한 절지동물이 감염동물시설 내·외부를 출입할 수 있게 되면, 고위험병원체의 지역사회로의 실험실

획득감염사고가 발생할 수 있다. 또한 실험동물의 병원체가 실험자와 접촉하지 않고서도 감염사고가 발생할 수 있어 철저한 방제대책이 필요하다.

- 절지동물이 출입할 수 있는 모든 창문에는 개폐식 방충망을 설치하여 창문을 개방할 때에는 반드시 방충망을 작동시켜야 한다. 또한 실험동물사육구역, 처치구역 등에 설치된 창문은 개폐가 불가능한 밀폐형 창문으로 설치해야 한다.
- 절지동물의 주요한 증식 또는 출입경로인 하수구에는 덮개를 장착하여 하수를 흘려보내지 않을 때에는 밀폐시켜야 하며, 하수를 흘려보낸 후에는 희석된 차아염소산염과 같은 소독액으로 하수구를 소독해야 한다.
- 감염실험동물 사육구역의 주요 출입구 근처에는 절지동물을 유인하여 살충하는 살충등을 설치하고, 살충등 주위의 절지동물 사체를 수시로 제거하고, 소독을 실시하여야 한다.
- 살아있는 절지동물 또는 사체가 발견된 경우에는 절지동물을 향하여 희석된 소독액을 분무하여 절지동물이 움직이지 못하도록 하고, 사체를 제거한 후 다시 해당 장소를 소독한다.

Table 13-8. 절지동물이 매개하는 인수공통감염병(James *et al.*, 2015)

종	질 병	자연숙주	감염원
좀진드기(Mites)			
Obligate skin mites			
<i>Sarcoptes scabiei</i>	움진드기	포유류	
<i>Notoedres cati</i>	흡윤개선(mange)	개, 고양이, 토끼	
Nest inhabiting parasites			
<i>Ornithonyssus bacoti</i>	피부염, 발진열	설치류, 새 등 척추동물	Western equine encephalitis (WEE), St. Louis encephalitis (SLE), <i>Rickettsia mooseri</i>
<i>Ornithonyssus bursa</i>	피부염	조류	WEE, Eastern equine encephalitis (EEE), SLE viruses
<i>Ornithonyssus sylviarum</i>	피부염, 뇌염	조류	
<i>Dermanyssus gallinae</i>	피부염, 뇌염	조류	
<i>Allodermanyssus sanguineus</i>	피부염, 리케치아두창	설치류. 특히 <i>Mus musculus</i>	<i>Rickettsia mooseri</i>
<i>Ophionyssus natricis</i>	피부염	파충류	
<i>Haemogamasus pontiger</i>	피부염	조류, 포유류, 건초, 깔짚	
<i>Haemogamasus casalis</i>	피부염	조류, 포유류, 건초, 깔짚	
<i>Eulaelaps stabularis</i>	피부염, 아토피	작은 척추동물, 건초, 깔짚	<i>Francisella tularensis</i>
<i>Glycyphagus cadaverum</i>	피부염, 앵무병	조류	<i>C. psittaci</i>

종	질 병	자연숙주	감염원
<i>Acaropsis docta</i>	피부염, 앵무병	조류	<i>C. psittaci</i>
<i>Trixacarus caviae</i>	피부염	기니픽	
편리(facultative) 좀진드기			
<i>Cheyletiella</i> spp.	피부염	개, 고양이, 토끼, 갈비	
<i>Dermatophagoides schermteuwskyi</i>	피부염, 요로감염, 모호충병 (pulmonary acariasis)	깃털, 사료, 조류등지	
<i>Eutrombicula</i> spp.	흑사병, 국소 화농염	닭, 포유류	
<i>Laelaps echidnirus</i>			잠재적인 아르헨티나 출혈열
<i>Ixodides</i> (tick, 참진드기)			
<i>Rhipicephalus sanguineus</i>	자극(irritation), 로키마운틴열 (RMSF), 야토병 등	개	<i>Rickettsia rickettsii</i> , <i>Francisella tularensis</i>
<i>Dermacentor variabilis</i>	자극, RMSF, 진드기성 야토병 등	야생설치류, 토끼, 고유지역 내 개	<i>Rickettsia rickettsii</i> , <i>Francisella tularensis</i>
<i>Dermacentor andersoni</i>	자극, 콜로라도진드기열, RMSF	작은 포유류, 드물지만 개	Rhabdoviruses 그룹이 아닌 <i>Rickettsia rickettsii</i> , <i>Francisella tularensis</i>
<i>Dermacentor occidentalis</i>	자극, 콜로라도진드기열, RMSF, 야토병	작은 포유류, 드물지만 개	Rhabdoviruses 그룹이 아닌 <i>Rickettsia rickettsii</i> , <i>Francisella tularensis</i>
<i>Amblyomma americanum</i>	자극, RMSF, 야토병	야생설치류, 개	
<i>Ixodes scapularis</i>	자극, 야토병	야생설치류, 개	
<i>Ixodes</i> spp.	라임병	개, 고양이, 야생설치류	<i>Borrelia burgdorferi</i>
<i>Ornithodoros</i> spp.	자극, 화귀성 발열	포획된 파충류, 야생동물, 돼지	<i>Borrelia recurrentis</i>
<i>Argas persicus</i>	자극, 드물게 사람을 물, 탄저로 이행될 수 있으나 발열은 없음	산업 조류	<i>Borrelia recurrentis</i>
벼룩(fleas)			
<i>Ctenocephalides felis</i>	피부염, <i>Hymenolepis diminuta</i> , <i>Dipylidium caninum</i> 의 매개체	개, 고양이	
<i>Xenopsylla cheopsis</i>	피부염, 페스트 매개체, <i>H. nana</i> , <i>H. diminuta</i>	마우스, 랫드, 야생설치류	<i>Yersinia pestis</i>
<i>Nasopsyllus fasciatus</i>	피부염, 페스트 매개체, <i>H. nana</i> , <i>H. diminuta</i> , 발진열	마우스, 랫드, 야생설치류	<i>Yersinia pestis</i>
<i>Leptopsylla segnis</i>	<i>H. nana</i> , <i>H. diminuta</i> , 발진열 매개체	랫드	<i>Salmonella</i> 잠복
<i>Echidnophaga gallinacea</i>	잠재적인 감염병 매개체	가금류	
<i>Pulex irritans</i>	자극	산업동물, 사람	

* 절지동물이 매개하는 원인체의 최종숙주를 자연숙주로 표기하였음.

13.2.2.3. 실험동물에 물렸을 경우 대응방법

13.2.2.3.1. 실험동물에 물렸을 경우의 응급처치

- 실험동물에게 물리면 우선 상처부위를 압박하여 약간의 피를 짜낸 다음 70% 알코올 및 기타 소독제(povidone-iodine 등)을 이용하여 소독을 실시한다.
- Rat에 물린 경우에는 Rat bite fever 등을 조기에 예방하기 위해 고초균(*Bacillus subtilis*)에 효력이 있는 항생제를 투여한다.
- 고양이에 물리거나 핏줄이었을 때 원인 불명의 피부질환 발생우려가 있으므로 즉시 70% 알코올 또는 기타 소독제(povidone-iodine 등)를 이용하여 소독한다.
- 개에 물린 경우에는 70% 알코올 또는 기타 소독제(povidone-iodine 등)를 이용하여 소독한 후, 동물의 광견병 예방 접종 여부를 확인한다.
- 광견병 예방접종 여부가 불확실한 개의 경우에는 시설관리자에게 광견병 항독소를 일단 투여한 후, 개를 15일간 관찰하여 광견병 증상을 나타낼 경우 개는 안락사 시키며 사육 관리자 등 관련 출입인원에 대해 광견병 백신을 추가로 투여한다.

13.2.2.3.2. 실험동물이 의도되지 않은 감염이 의심되는 경우 대응방법

- 실험동물이 질병에 감염되었다고 의심이 가는 경우에 시설관리자에게 보고한다(Table 13-9).
- 시설관리자는 실험동물의 임상증상 확인 및 미생물모니터링을 통해 감염 여부를 확인하여 질병에 감염 되었다고 예상이 되거나, 판단되었을 경우 감염된 동물실을 격리시키고 해당 감염동물실에서 실험중인 동물은 모두 안락사 시킨다.
- 오염확인된 동물실은 과산화수소와 같은 멸균용 제제를 이용하여 훈증소독을 실시하고, 미생물모니터링 검사를 다시 실시하여 청정화가 완료된 후 실험동물을 재입실시킨다.
- 시설관리자는 감염된 동물실의 출입자를 확인한 후 출입자를 지정병원으로 이송하여 감염 여부를 확인 하며, 감염 여부가 확인 될 때 까지 출입을 통제 한다.

Table 13-9. 실험자가 노출될 수 있는 기생동물(Barbara, 2001; 일부수정)

매개체	기생충	노출경로	감염단계	보호방법	진단시험	감염시 임상징후
혈액 및 조직 원생동물						
토양 및 담수	<i>Acanthamoeba</i> spp. (가시아메바)	상처, 눈	영양체 (trophozoite), 낭포(cyst)	장갑, 마스크, 가운, class 2 BSC, 상처 및 바늘예방책	뇌 생검, 배양, 각막찰과상 (혈청학, serology)	두통, 신경학상 감소, 피부 농양, 폐렴, 각막염, 결막염
진드기	<i>Babesia</i> spp.	바늘, 상처, 전달체	적혈구내 단계, 종충 (sporozoite)	장갑, 상처 및 바늘예방책	혈액도말, 혈청학, 동물접종	열, 오한, 피로, 빈혈
토양 및 담수	<i>Balamuthia mandrillaris</i>	상처	영양체, 낭포	장갑, 마스크, 가운, class 2 BSC, 상처 및 바늘예방책	뇌 생검, 배양 (혈청학)	두통, 신경학상 감소, 피부 농양(폐렴)
파리	<i>Leishmania</i> spp. (리슈만편모충)	바늘, 상처, 점막, 전달체	무편모충체 (amastigote), 전편모충 (promastigote)	장갑 ; 상처, 점막 및 바늘예방책	피부: 병변 찰과상, 생검 및 impression smear, 배양, 동물접종 내장: 혈청학, 생검, 배양, 동물접종 점막: 혈청학, 생검, 배양, 동물접종	피부: 흑/궤양 내장: 열(초기), 간비종대 및 범혈구감소증(후기) 점막: 비강-구강인두 점막병변
토양 및 담수	<i>Naegleria fowleri</i> (파울러자유아메바)	점막 (nasopharynx), 에어로졸	영양체 (편모, 낭포)	장갑, 마스크, 가운, class 2 BSC, 상처 및 바늘예방책	CSF 시험 및 배양	두통, 뻣뻣한 목, 혼수상태, 신경학상 감소 (냄새맡는 감각 포함)
모기	<i>Plasmodium</i> spp.	바늘, 상처, 전달체	적혈구내 단계, 종충	장갑, 상처 및 바늘예방책	혈액도말, 혈청학, 배양, 동물접종	열, 오한, 피로, 빈혈
동물 (돼지)	<i>Sarcocystis</i> spp.	경구	Sarcocyst: 접합자(oocyst) 또는 종충	장갑, 손씻기	분변검사, 점막 또는 심장생검	위장염 징후, 호산구증다성근염
동물 (쥐)	<i>Toxoplasma gondii</i>	경구, 바늘, 상처, 점막	접합자, 급분열소체 (tachyzoite), 느린분열소체 (bradyzoite)	장갑, 손씻기 ; 상처, 점막 및 바늘예방책	혈청학, 동물접종, 조직세포배양	림파절증, 열, 불안, 발진
키싱 버그	<i>Trypanosoma cruzi</i> (사카스병)	바늘, 상처, 점막, 전달체(에어로졸 등)	추편모기 (trypomastigote)	장갑 ; 상처, 점막 및 바늘예방책	혈액도말, 배양, 생검, 동물접종, 외인진단법(xenodiagnosis), 혈청학	접종부위가 붓거나 붉게 변함, 열, 발진, 림파절증, 심전계 변화

매개체	기생충	노출경로	감염단계	보호방법	진단시험	감염시 임상징후
파리	<i>Trypanosoma brucei</i> <i>rhodesiense</i> 및 <i>gambiense</i> (수면병)	바늘, 상처, 점막, 전달체(에어 로졸 등)	추편모기	장갑 ; 상처, 점막 및 바늘예방책	혈액도말, CSF 시험, 배양, 생검, 동물접종, 혈청학	접종부위가 붓거나 붉게 변함, 열, 발진, 림파절증, 두통, 피로, 신경학적 징후
장내 원생동물						
동물 (쥐)	<i>Cryptosporidium parvum</i>	경구, 점막	접합자 (종충)	장갑, 손씻기, 점막예방책	집중 및 특별종에 대한 분변시험, 분변내 항원에 대한 면역진단시험	위장염 징후
담수 및 식품	<i>Cyclospora cayetanensis</i>	경구	접합자 (종충)	장갑, 마스크, 손씻기	UV 형광현미경, 집중 및 특별종에 대한 분변시험,	위장염 징후
토양 및 담수	<i>Entamoeba histolytica</i> (이질아메바)	경구	낭충	장갑, 마스크, 손씻기	집중 분변시험, 분변내 항원에 대한 면역진단시험, 혈청학(침습성 질병에 대한)	위장염 징후 (혈변 등)
사람 접촉	<i>Giardia lamblia</i> (람블편모충)	경구	낭충	장갑, 마스크, 손씻기	집중 분변시험, 분변내 항원에 대한 면역진단시험	위장염 징후
토양 및 식품	<i>Isospora belli</i>	경구	접합자 (종충)	장갑, 마스크, 손씻기	UV 형광현미경, 집중 및 특별종에 대한 분변시험	위장염 징후
기타 원생동물						
절지 동물 등	<i>Microsporidian</i> spp.	눈, 점막, 경구	아포	장갑, 마스크, 가운, 손씻기, class 2 BSC, 상처 및 바늘예방책	현미경시험 및 각막찰과상 배양, 피부생검 검체, 대변, 오줌, 가래, 기관지폐포 세척, 점막생검 검체, CSF	각결막염, 피부궤양, 설사, 방광염, 결핵
가생충(Helminths)						
토양	<i>Ascaris lumbricoides</i> (회충)	경구	알	장갑, 마스크, 손씻기	분변검사	기침, 열, 결핵 ;경련성 복통, 설사 또는 변비
사람 접촉	<i>Enterobius vermicularis</i> (요충)	경구	알	장갑, 마스크, 손씻기, 손톱세정	스카치테이프 시험	항문주위 가려움증
수생 식물 및 대동물	<i>Fasciola hepatica</i> (간질)	경구	피낭유충 (metacercaria)	장갑, 마스크, 손씻기	알을 확인하기 위한 분변 또는 답증시험, 혈청학	우상복부통증, 담도산통, 폐쇄성 황달, 높은 transaminase 수준
토양	Hookworm (구충)	경피 (per피부)	애벌레	장갑, 가운, 손씻기	분변검사	동물종: 피부 유충이 행증 또는 포복성발진 (피부) 인체: 설사, 복통, 빈혈

매개체	기생충	노출경로	감염단계	보호방법	진단시험	감염시 임상징후
동물 (쥐)	<i>Hymenolepis nana</i> (왜소조충)	경구	알	장갑, 마스크, 손씻기	분변검사	복통, 설사
물	<i>Schistosoma</i> spp. (주혈흡충)	경피	미충 (cercaria)	장갑, 가운, 손씻기	분변검사, 혈청학	급성 주혈흡충: 피부염, 열, 기침, 간비종대, 림파절증
토양	<i>Strongyloides stercoralis</i> (요충)	경피	애벌레	장갑, 가운, 손씻기	분변검사 (운동성 애벌레는 습한 조건에서 볼수 있음), 혈청학	복통과 경련에 의한 기침 및 흉통
동물 (돼지)	<i>Taenia solium</i> (갈고리촌충)	경구	알, 낭미충 (cysticercus)	장갑, 손씻기	낭충증(cysticercosis): 혈청학, 뇌 스캔, 연조직 엑스레이	벌레: 분변검사 낭충증: 신경학적 증상 벌레: 일반적으로 무 증상이지만 희미한 복통을 야기할 수도 있음
동물	<i>Trichinella spiralis</i> (선모충)	경구	애벌레	장갑, 마스크, 손씻기	혈청학, 점막생검	복통 및 근육통
토양	<i>Trichuris trichiura</i> (편충)	경구	알	장갑, 마스크, 손씻기	분변검사	복통, 이급후증

Cowpox virus에 의한 LAI사례

2010년 미국의 한 실험실에서 Cowpox virus 감염 사례가 보고되었다.

Cowpox virus는 Smallpox virus와 유사한 바이러스로 유럽과 아시아에서는 고양이, 쥐, 동물원의 동물 등과 접촉을 통하여 감염되고 주로 수의사나 동물을 다루는 사람에게 Cowpox virus에 의한 사람 감염 사례가 보고된 바 있다. 미국에서는 이번 사례가 Cowpox virus로 인한 사람 및 동물감염에 대한 첫 사례이다.

Cowpox virus는 Smallpox virus와 vaccinia virus와 같은 Orthopoxvirus속에 속한다. Cowpox virus 감염은 일반적으로 선천성 면역으로 방어가 되는데 피부염이 있거나 습진, 면역력이 약화된 경우 Cowpox virus 감염이 심각하거나 치명적일 수도 있다고 알려져 있다.

2010년 7월 8일, 미국 일리노이대 한 연구원은 손바닥에 궤양이 생기고 통증이 동반되는 증상이 나타났다. 연구원은 증상이 발생한 후 5일동안 손바닥이 부풀어 올랐으며, 림프절이 붓고, 열, 오한, 통증, 두통 증상이 계속 지속되어 기관 의료센터를 내원하였다. 담당 의사는 연구원이 지역 수영장을 다닌다는 사실을 문진하여 *Mycobacterium* spp. 감염으로 추정 진단하였다. 그러나 감염된 연구원은 *Mycobacterium* spp. 감염에 적절한 항생제를 처방받아도 증상이 완화되지 않았고, 조직검사에서도 음성반응이 나타났다. 담당의사는 감염된 연구원이 이전에 기관의료센터에서 Vaccinia 백신 접종 이력이 있는 실험실에서 종사하는 연구원임을 확인하였으며, 연구원의 증상이 Vaccinia virus 감염 증상과 유사하여 Vaccinia virus 인한 실험실 획득 감염을 의심하였다. 그러나 감염된 연구원은 최근에 실험실에서 Vaccinia virus를 취급한 적이 없다고 거듭

강조 하였다.

7월 21일, 연구원은 계속되는 피부 병변 증상으로 피부과를 찾았으며, 과사조직 제거수술을 받았으나 그 후 3개월 동안 연구원은 계속되는 통증을 동반한 부종과 병변 부위 손가락 마비 증상이 나타났다.

10월 5일, 기관 의료 센터에서 연구원을 진료한 의사가 미국 CDC에 Vaccinia virus 감염 의심 환자로 보고하였고, 미국 CDC는 주 공중보건부(state department of public health)에 이 사실을 통보하였다. 미국 CDC와 주 공중보건부는 연구원의 7월 19일과 10월 4일에 채취한 혈청을 검사하였고, 그 결과 Orthopoxvirus 항체를 확인하고 PCR을 통하여 감염된 병원체가 Cowpox virus임을 확인하였다.

연구원이 소속한 실험실은 Cowpox virus를 보유하고 있으나 냉동고에 보관이 되어있는 상태로 최근 5년간 사용하거나 보존 장소를 이동한 적이 없으며, 냉동고에 보관이 되어있는 상태였다. 또한 연구원은 여러 종류의 바이러스를 취급하지만 Cowpox virus는 취급한 적이 없으며, 인체비감염주인 Poxvirus를 취급하였고, 이를 이용한 마우스를 이용한 동물실험과 병리학 실험을 주로 수행하였다. 연구원은 Cowpox virus를 보관하고 있는 실험실과 분리된 실험실에서 실험을 하였고 감염 증상이 나타나기 2주 전까지 병리학적 실험은 수행하지 않았으나 실험동물은 취급하였다고 진술하였다.

연구원의 동료, 가족, 주변사람 등 연구원과 접촉한 사람이나 애완동물에게서는 Cowpox virus로 인한 감염 증상이 나타나지 않았다. 그러나 연구원이 최근에 수행한 동물실험에서 질병을 유발하지 않는 Poxvirus를 접종한 마우스에게 병변이 관찰되었다. 조사결과, 감염된 연구원이 사용한 Poxvirus의 Stock이 Cowpox virus에 오염이 된 것을 확인하였으며, Cowpox에 감염된 연구원은 동물 실험과정 중 주사바늘에 찔리는 등 감염될 만한 사고는 없었다고 말하였다. 그러나 실험실에서는 모든 연구원들이 사용하는 인체 감염이 되지 않는 Poxvirus와 인체감염 바이러스인 Cowpox virus를 분리하여 보관하지 않고 같은 상자에 보관하고 있었으며, 실험실 환경 조사 결과 20개의 샘플 중 바이러스를 보관하고 있는 냉동고 손잡이를 포함한 3개의 샘플에서 Orthopoxvirus 검사에 양성반응이 나타났다.

연구원의 Cowpox virus 감염경로는 확실히 밝히지 못하였으나 Cowpox virus에 오염된 바이러스를 다루거나 Cowpox virus로 오염된 실험실 환경에 접촉하여 감염된 것으로 추정하고 있다.

연구원이 소속한 실험실의 연구책임자는 연구원들이 입사 할 때, Vaccinia virus, Cowpox virus를 포함한 Orthopoxvirus 속의 바이러스를 보유하고 있다는 사실을 알리고 예방접종을 권유하였으나 연구책임자를 제외한 연구원들은 인체 감염주를 취급하지 않는다는 이유로 예방접종을 하지 않았다. 또한 BSC 내에서 바이러스를 취급하는 경우를 제외하고는 장갑 등 PPE 착용을 소홀히 한 것을 확인하였다.

위의 사례에서 확인된 바와 같이, 실험실종사자는 실험실에서 잠재적인 병원체 노출 위험을 미리 숙지하고 적절한 생물안전 연구시설에서 실험을 하고, PPE 착용 및 생물안전 지침을 잘 준수하여야 한다. 사람에게 질병을 유발하는 병원체는 다른 미생물과 분리된 상자에 보관할 것을 권장한다. 기관 의료센터에서는 감별 진단 시 직업상 노출로 인해 감염될 수 있는 가능성까지 확인하여야 하며, 기관에서는 실험종사자들에게 정기적인 생물안전 교육을 실시하여야 한다. 또한 실험실 종사자는 실험실 획득감염이 의심될 때 기관 의료 기관 및 보건당국에 즉시 알려서 적절한 예방과 치료를 받아야하며, 지역사회로 확산되는 것을 막아야 한다.

13.3 곤충 실험 시 요구되는 생물안전수칙

곤충의 취급 및 생물안전 사항과 관련하여 통상적으로 미국에서 발간하는 절지동물 밀폐 가이드라인(arthropod containment guidelines)의 세부규정을 참고하는 것을 권고하나, 해당 사항이 법률적 규제기준으로 지정된 바는 없다. 일반적으로 외래곤충 및 유전자재조합 곤충과 BL 2등급 시설이 필요한 병원체에 감염된 곤충의 실험은 BL 2등급과 유사한 ACL-2 등급에서 이루어지므로 (US CDC, 2009), 기본적인 곤충실험의 생물안전사항은 BL 2등급 시설의 생물안전사항을 참고하여 작성될 수 있다. 다만 생물안전 준수사항은 생물종과 취급 병원체 및 실험 시 감염될 수 있는 질병의 특성을 고려하여 다르게 만들어져야 한다.

13.3.1. 곤충 실험의 생물안전 준수사항(Biotron, 2014; ASTMH, 2001)

13.3.1.1. 실험실 입장 시 고려사항

- 실험실에 들어가기 전에, 전실에서 PPE를 착용한다.
- 실험실 내 온실이나 노지에서 직접적으로 실험할 경우 주의해야 하며, 부득이할 경우 사전에 장화 등 신발보호장구(footwear)를 착용한다.
- 절지동물이 달라붙지 않도록 거울로 스스로를 점검한다.
- 컨테이너 및 카트의 외관 및 하부를 진공청소한다.
- 문은 내부에서 잠겨야 하며, 문이 열릴 때마다 전등이 켜지고 꺼져야 한다.
- 실험자, 방문자, 훈련자 등 실험실에 들어오는 사람은 모두 PPE를 착용해야 한다. PPE는 신발보호장구와 엉덩이를 보호하는 장구를 착용하여야 하며, 실험실내 전 지역에서 입고 있어야 한다.

13.3.1.2. 실험실 퇴장 시 고려사항

- 실험실 퇴장 전, 손을 씻고 절지동물이 붙지 않았는지 육안으로 확인한다.
- 전실(또는 대기실)로 들어가 PPE를 탈의한다.
- 거울을 통해 다시 한 번 절지동물이 붙지 않았는지 육안으로 확인한다. 특히 신발 아랫부분 및 소매 또는 옷깃 아래를 점검한다.
- 컨테이너, 카트 등의 외관 과 실험자의 신발이나 소매 등을 진공청소한다.
- 거울을 통해 다시 한 번 점검한다.
- 다루기 힘든 생물체가 문 주변에 있는지 확인한 후 퇴장한다.

13.3.1.3. 일반적인 규칙

- 가급적 모든 문은 닫고 그 상태를 유지한다.
- 실험실 내에서 음식물, 음료 및 껌의 섭취, 콘택트렌즈 탈착, 화장이나 입술용 크림 등의 사용은 금지된다.
- 곤충이 접촉하거나 달라붙지 않도록 긴 머리카락을 통제(헤어캡 착용 등)한다.
- 밀폐손실, 사고, 탈출 및 유실 등과 같은 상황이 발생 시 연구책임자 및 생물안전관리자에게 보고한다.
- 모든 시약, 물질, 컨테이너 및 기구들은 사용자명과 날짜가 기재된 라벨을 붙인다.
- 방문자 수를 최소화하며, 실험과 관계없는 방문자는 입장하지 못하게 한다. 방문자를 위한 절차가 마련되어야 하며, 동행하는 관리자가 반드시 있어야 한다.
- 세척
 - i. 실험실 내 관리자의 책임 하에 세척하여 청결성과 정돈상태를 유지한다.
 - ii. 모든 실험대 공간은 청결하여야 하며, 이용 후에도 즉시 청소해야 한다. 만일 실험장비가 준비된 채 자리를 이동해야 한다면, 이름과 날짜 및 접촉정보가 기재된 라벨을 붙인다.
 - iii. 배지병 등을 준비한 후 자리를 이동하는 경우에는, 무명천을 덮고 ① 배지명 ② 사용자 ③ 생산날짜 및 시간 ④ 소독일자 및 시간 등을 기재한 라벨을 붙여야 한다. 배지 양생(curing)은 24시간 이상을 유지해서는 안 된다.
 - iv. 사용 후, 모든 유리제품들은 세척 후 건조하여 사용자 책임 하에 비치하여야 한다. 건조대에서 24시간 이상 방치되지 않도록 한다.
 - v. 사용 후, 모든 실험대와 선반들은 표백제 혼합액을 뿌리고 페이퍼타올로 닦아낸 다음 70% 에탄올을 처리하여 다시 페이퍼타올로 닦아낸다.
- 곤충폐기물 처리 시 고려사항
 - i. 최소한, 폐기 24시간 전에 모든 곤충폐기물은 얼려둔다.
 - ii. 냉기저항성이 있는 곤충 종은 고압증기멸균 또는 에탄올 보존 처리한다.
 - iii. 곤충폐기물은 곤충 및 곤충이 접촉한 배양물질이나 먹이를 포함한다.
 - iv. 모든 폐기물은 처치 후 최대한 빨리 버린다.

13.3.1.4. Diet room

- Diet room은 곤충배양을 위한 배지를 준비하거나 시설 내 배양되는 곤충과 관련한 실험 절차가 수행되는, 실험실 사용자를 위한 일반적으로 이용되는 먹이 조제방이다. diet room에 비치된 냉장실, 저울, 핫플레이트, 유리제품, 고압증기멸균기 등 장비는 공유되므로,

특정 프로젝트를 위해서만 사용되지 않으며, 내부 장비를 외부로 반출해서는 안 된다.

- 모든 일반적으로 사용되지 않는 장비에 라벨을 붙여야 한다. 이 장비를 사용하거나 빌려야 할 경우 관리자의 허가를 받아야 한다.
- 배지제작에 관련된 비-유해성 조성물은 출구에 별도로 비치된 벽장에 보관할 수 있다. 해당 공간을 청결히 유지하고, 옆지르는 등의 유출사고를 피하며 사료 등은 밀폐되어 곤충이 들어가지 못하는 용기에 보관하고 라벨을 붙인다.

13.3.1.5. 절지동물의 탈출

- 사육장에서의 탈출은 빈번히 일어날 수 있으므로, 이를 제한시키고 탈출이 발생했을 경우 빠르게 잡아내야 한다.
- 사육장 출입구 대기실에서 어떤 종류의 곤충이라도 발견하면 즉시 잡거나 죽여야 한다. 잡힌 탈출 절지동물은 알맞은 케이지에 넣는다. 절지동물의 출처를 알 수 있다면, 적절한 배양기 내에 해당 케이지를 보관하고 소유자에게 통지한다. 만일 그렇지 않다면, -20℃ 냉동고에 집어넣어 죽인다.
- 실험자가 작업 중 절지동물이 탈출한다면, 즉시 잡는다. 포충망이나 흡입장비 등이 있다면 적절하다. 주위에 도움을 요청하되, 실험실 외부로 도움을 요청할 때는 전화기를 사용한다. 필요하다면 비상연락절차를 이용한다.
 - i. 출구 대기실 문에 '경고, 탈출했다'라고 소리쳐 알린다.
 - ii. 외부에서 실험자를 부른다면, 대기실에 곤충이 들어가지 않도록 조치한다.
 - iii. 곤충을 잡았다면 적절히 처리한다(다만 실험에 다시 되돌릴 것인지 여부를 미리 고려한다). 이후 연구실책임자에게 보고한다.
- 만일 절지동물을 잡지 못했다면 다음의 절차를 따른다.
 - i. 모든 출입구에 '경고: 탈출 중'이라는 표시를 붙인다. 그리고 출입하는 모든 사용자에게 이를 공지한다.
 - ii. 서면으로 탈출보고를 작성하여 전자메일로 보고하고, 연구실책임자에게 사본을 제출한다. 제목을 '긴급: 절지동물 탈출 중'으로 표기한다. 이후 모든 실험실 사용자에게 이를 알린다.
 - iii. 계속해서 절지동물을 잡는다. 잡기 전까지 관리자의 지시를 받는다.

13.3.1.6. 실험실 외부로 절지동물을 이동할 경우 고려사항

- 모든 곤충은 탈출방지장치가 마련된 밀폐용기를 이용하여 이동하여야 한다(Figure 13-3).



Figure 13-3. Oxitec의 곤충 이동시 밀폐용기 이용사례³³⁾

- 만일 곤충이 허가절차를 거쳐 유입되어야 한다면, 포장을 diet room에서 열어서는 안되며, walk-in chamber에서 여는 것이 바람직하다. 포장 재료는 마치 감염된 것처럼 신중하게 처리되어야 한다.
- 만일 곤충이 허가절차를 거쳐 유입되었다면 diet room의 보관소 정보를 추가하고, 실험 종료 후 정보를 갱신한다.
- 실험실 외부로 반출하기 전, 모든 컨테이너 및 배지 내외부에 원하지 않는 개체나 편승한 곤충(hitchhikers)이 있는지 확인한다. 일반적인 출구절차의 일부분으로서 다시 한 번 점검한다.
- 만일 곤충이 병원성 해충이라면 챔버 내 sleeved cage 안에서 포장을 열어야 한다. 포장 재료는 마치 감염된 것처럼 신중하게 처리되어야 한다.

13.3.1.7. 질병 및 기생생물 저감과 살충제 이용

- 기생생물의 유입을 피하기 위하여, 병원소가 혼입될 수 있는 여지를 최대한 줄여야 한다. 만일 피할 수 없다면 최대한의 방역조치를 취한다.
- 기본적으로 실험실 내에서 살충제 사용은 피해야 한다. 만일 살충제를 실험실에서 사용할 경우, 관리자의 감독 하에 SOP에 따라 3개월의 여유기간을 갖고 수행한다.

13.3.1.8. 시료, 배양 및 물질의 라벨링

- 모든 사육챔버 외곽에는 사용자명 및 종명, 온도, 습도 및 조도, 조명의 점멸시간(예: '9시에 전등을 켜' 등을 포함한 '12:12 L:D'), 비상조치연락망 등이 기록된 라벨이 붙어있어야 한다 (Table 13-10).

33) 출처: <https://www.technologyreview.com/s/600821/inside-the-mosquito-factory-that-could-stop-dengue-and-zika/>

Table 13-10. 실험곤충에 따른 사육조건 및 환경조건 사례

곤충명	온도(℃)	상대습도(%)	조도
빨간집모기	(26 ~ 27) ± 1℃	70 ± 5%	06:00 ~ 20:00 (light), 20:00 ~ 06:00 (dark)
작은빨간집모기	28 ± 1℃	70 ± 5%	06:00 ~ 20:00 (light), 20:00 ~ 06:00 (dark)
중국얼룩날개모기	26 ~ 27 ± 1℃	70 ± 5%	06:00 ~ 20:00 (light), 20:00 ~ 06:00 (dark)
지하집모기	20 ~ 26 ± 1℃	70 ± 5%	06:00 ~ 20:00 (light), 20:00 ~ 06:00 (dark)
토고숲모기	25 ~ 26 ± 1℃	70 ± 5%	06:00 ~ 20:00 (light), 20:00 ~ 06:00 (dark)
흰줄숲모기	25 ~ 26 ± 1℃	70 ± 5%	06:00 ~ 20:00 (light), 20:00 ~ 06:00 (dark)
바퀴	25 ~ 29 ± 1℃	70 ± 5%	06:00 ~ 20:00 (light), 20:00 ~ 06:00 (dark)
대잎털진드기	26 ~ 28 ± 1℃	-	-
참진드기	27 ± 1℃	-	12:12 (L:D)

- 각 곤충 케이지 및 배양기에는 식별이 가능하도록 이름, 날짜, 종 등과 같은 적절한 정보가 기록된 라벨이 붙어있어야 한다.
- 적재함 내 모든 물질과 시약은 이름과 내용물이 표기된 라벨이 붙어있어야 한다. 작은 도구(스파츄라, 붓 등)들은 플라스틱 트레이에 모아서 관리하되, 트레이에 라벨을 붙인다.

13.3.2. 주요 실험곤충의 취급시 생물안전사항

13.3.2.1. 사료를 조제할 때의 주의사항

- 사료성분 중 소량으로 들어가는 물질이나 방부제를 균일하게 조성하기 위하여 물에 녹는 것은 가급적 물에 녹이고 지방에 녹는 것은 증발하기 쉬운 아세톤이나 알코올에 녹인다.
- 사료를 조제할 때 살균은 높은 온도에서 하는 것이 좋다. 그러나 높은 온도에서 처리하면 사료의 성분이 변질 또는 분해되기 쉽기 때문에 가급적 낮은 온도에서 짧은 시간에 처리하는 것이 바람직하다. 특히 열에 분해되기 쉬운 아스코빅산(ascorbic acid)은 별도로 첨가할 필요가 있다. 또 유류를 가한 사료에 열을 가하면 사료가 산화되어 변질되기 때문에 항산화제인 tocopherol 혹은 BTB (bromo thymol blue)를 가하는 것이 필요하다.
- 인공사료를 질이 같게 만들려면 질이 같은 재료를 사용해야 된다. 특히 천연물은 같은 것이라도 조제하는 시기와 저장한 상태에 따라 성분이 다를 수도 있다. 인공사료와 대체 사료의 재료는 한꺼번에 구입하여 저온에 저장해 두어야 된다.

13.3.2.2. 사료의 오염방지

인공사료를 사용하여 곤충을 대량 사육할 경우에는 사료가 박테리아, 곰팡이의 번식에 의하여 오염되기 쉽다. 따라서 이러한 미생물의 오염을 방지하는 방법을 사용하여야 하며 그 방법은 다음과 같다.

- **건열살균:** 사육용기 중 유리 또는 금속으로 만든 것은 건열살균기의 180℃에서 1시간 정도 살균하면 대부분의 미생물은 완전히 살균된다. 스테인레스로 만든 사육용기는 높은 온도에 강하기 때문에 대량 사육용으로 널리 사용되고 있다.
- **고압솥을 사용한 살균:** 유리 기구, 인공사료 및 인공사료에 사용하는 용액 등을 고압솥 120℃에서 30분간 처리하면 완전히 살균할 수 있다. 그러나 인공 사료를 이와 같은 조건에서 살균하면 사료성분 중의 포도당과 카세인이 산화되어 적당하지 못한 사료로 변질하기 때문에 다소 낮은 112℃에서 30분 정도의 조건이 적당하다.
- **직사광선에 의한 살균:** 높은 열을 가하여 살균할 수 없는 플라스틱 용기 등은 직사일광에 2 ~ 3시간 쬘이면 바이러스와 박테리아의 살균에 상당한 효과가 있다.
- **곤충의 살균:** 곤충을 인공사료로 사육할 경우 알 또는 번데기를 살균하지 않으면 미생물에 의하여 오염될 우려가 있다. 따라서 알의 표면을 살균하는 데는 포르말린액, 차아염소산나트륨, 승홍, 황산동 및 암모늄 화합물 등의 액을 사용한다. 포르말린은 5 ~ 10% 용액을 만들어 이 액에 15 ~ 20분, 차아염소산나트륨은 0.2 ~ 0.5% 용액에 5 ~ 10분간 담구어 살균한다. 곤충의 알에는 물이 잘 붙지 않는 성질이 있기 때문에 일단 70% 알코올에 침지한 후 살균제에 넣으면 알의 표면에 살균액이 잘 붙는다. 살균된 알은 살균수 또는 70% 알코올에 넣어 잘 씻지 않으면 부화에 영향이 있다. 살균액에 대한 알의 감수성은 대개 알의 발육이 진전된 것일수록 낮아진다. 그러나 곤충의 종에 따라 감수성은 상당히 차가 있기 때문에 예비실험을 하여 살균제의 종류, 농도 및 시간 등을 확인해야 된다.
- **사육용기, 사육실의 살균:** 열을 가하여 살균할 수 없는 플라스틱제 용기는 0.3 ~ 0.5%의 차아염소산나트륨액을 대량으로 만들어 이 액에 하루밤 이상 침지하여 살균한다. 일단 살균한 용기는 가급적 물로 씻은 다음 사용하면 좋다. 같은 사육실에서 같은 곤충을 장기간에 걸쳐 사육하면 사육실 전체가 미생물에 의하여 오염되기 쉽다. 따라서 사육실의 습도를 50% 전후로 조정하고, 포르말린으로 소독을 한다. 포르말린은 유독물질이므로 사육실내의 통기가 잘 되도록 주의할 필요가 있다. 최근에는 ethylene oxide의 가스 살균기를 사용하여 사육용기를 살균하고 있다.

13.3.2.3. 사육곤충의 질병예방

곤충은 바이러스, 박테리아, 사상균 및 포자충 등에 의하여 질병에 걸려 죽는 경우가 상당히 많다. 특히 실내에서 인공사료를 사용하여 곤충을 계속 대량 사육할 경우에는 질병을 예방하지 않으면 사육충이 전멸되거나 다음 세대의 알을 채취 할 수 없기 때문에 연구에 막심한 지장을 초래하는 예가 많다. 따라서 곤충을 사육하면서 질병발생을 예방하는 몇 가지 방법을 기술한다.

- 곤충을 사육하려면 먼저 야외에서 채집한 것부터 시작되는데, 이러한 야외 곤충은 천적의 기생을 받았거나 병원미생물에 감염된 것이 있을 수 있다. 이러한 개체는 사육실에 직접 넣지 않고 예비실에서 1 ~ 2세대 경과시킨 다음 건강한 개체만 선발하여 사육실에 넣어야 된다. 알부터 사육할 경우에는 반드시 알의 표면을 살균하여 대대로 감염되는 것을 차단 하여야 된다.
- 인공사료에는 대개 방부제를 첨가하는데 이는 사료의 방부 뿐만 아니라 곤충의 질병을 예방하는데도 중요하다. 예를 들면, 사료의 방부제로써 사용하는 포르말린은 박테리아에 의한 부패를 방지하는 동시에 바이러스 증식도 억제하는 효과가 있다.
- 사육 기구를 통하여 병균이 감염하는 경우도 많으므로 철저히 살균하여 사용해야 한다. 특히 사육실에서 같은 곤충을 장시간에 걸쳐 사육하면 천정, 벽 및 선반 등이 병원미생물에 오염되기 쉬우므로 주의해야 한다.
- 사육통 내에서 질병에 걸린 곤충은 동작이 활발하지 않으므로 다른 개체에 의하여 잡아 먹히게 된다. 이러한 원인으로 인하여 병균이 전파되어 사육통 내의 모든 곤충이 죽어버리는 경우도 있다. 따라서 사육충에 조금이라도 이상한 개체가 보이면 즉시 없애버려야 된다.
- 사육실에서 여러 가지 종의 곤충을 동시에 사육하면 야외에서 감염성이 거의 없는 병원체 일지라도 사육실 내의 다른 종에서 발생한 것이 원인이 되어 감염되는 경우도 있다. 따라서 가급적 종별로 다른 사육실에서 사육하는 것이 바람직하다.

13.3.2.4. 충질 관리

야외에서 채집한 곤충을 실내에서 누대사육하면 생육이나 증식이 나빠져서 계속적인 사육을 할 수 없게 되는 경우가 있다. 또 사육은 안전하게 계속되지만 야외충과 비교하여 행동력이 약해지는 경우도 있다. 이와 같은 충질의 변화는 먹이, 온도, 습도 및 사육밀도 등의 환경에 의한 변화와 채집조건, 교배 및 사육환경 등이 유전자에 작용한 유전적변화가 원인으로 추정 된다.

- 누대 사육한 곤충의 충질이 변화하는 것은 항상 일어나는 것으로 전제하면서 평가하는

방법을 고려하지 않으면 안된다. 그 평가 대상은 대개 산란수, 부화율, 우화율, 유충의 생육기간, 성충의 생존기간, 유충, 번데기, 성충의 체중 등 생활환의 기본적인 것을 측정하여 충질을 평가한다. 그러나 사육목적에 따라서 평가방법도 달라진다. 예를 들면, 살충제의 검정을 목적으로 한 사육에는 각종의 살충제에 대한 감수성의 변화 여부를 평가하는 것이 중요하다. 또 불임화법으로서 성충을 방사하는 경우에는 비상력의 측정이나 유인제에 대한 반응 등 성충 행동의 변화를 평가해야 된다.

- 곤충을 인위적으로 조성한 환경조건에서 사육할 경우, 질적으로 변화가 전혀 일어나지 않도록 사육하는 것은 거의 불가능할 것이다. 여러 세대를 사육함으로써 충질이 나빠졌을 때에는 먹이, 밀도, 온도 및 습도 등 환경이 오염된 경우가 많기 때문에 사육방법을 재검토 하여 개량함으로써 개선될 수 있다.
- 곤충을 사육할 목적으로 야외에서 곤충을 채집할 경우 많은 수를 채집하여 커다란 집단에서 부터 사육을 시작하여 사육집단 유전자 pool(어떤 종속의 유전자의 총체)을 크게 한다. 지역성이나 약제 감수성이 다른 계통을 채집할 경우에도 마찬가지이다. 사육규모가 작으면 교배할 때 근친교배가 되기 쉬운 동시에 충질의 열성화도 일어나기 쉽다. 따라서 사육규모를 가급적 크게 하여 교배가 임의로 계속되게 함으로써 충질이 나빠지지 않게 사육할 수 있다.
- 그러나, 나비목 곤충과 같이 산란수가 많은 것은 유전자 빈도가 변화되지 않는 규모로 하면 시설이나 노력이 많이 소요된다. 이와 같은 경우에는 Figure 13-4와 같이 3군으로 나누어서 사육하여 순환교배를 시키면 충질의 열화가 방지된다는 사실이 밝혀져 있다.

번데기	A	B	C
	♀♂ ↓	♀♂ ↓	♀♂ ↓
산란상자에 넣는 조합	A♀·B♂	B♀·C♂	C♀·A♂
	↓	↓	↓
그룹	A'	B'	C'

Figure 13-4. 순환교배 방법

13.3.2.5. 사육환경

곤충이 야외에서 생활하는 경우와 인위적으로 조성된 사육실에서 생활하는 경우의 환경조건은 상당한 차이가 있다. 따라서 질적으로 균일한 실험재료를 확보하려면 다음과 같은 여러 가지

환경요인을 조정해야 된다.

- 온도: 자연계의 야외에서 생활하는 곤충은 온도의 일별 또는 계절적 변화와 일장의 변화에 대응하여 휴면과 불휴면을 조성하여 생활환으로서 생활하고 있다. 한편, 사육환경을 조정함으로써 1년 내내 사육할 수 있는 곤충도 많이 있기 때문에 온도는 중요한 역할을 한다. 사육온도는 곤충의 종이나 목적에 따라 다르지만 일반적으로 23 ~ 27℃ 범위에서 사육되고 있다.
- 습도: 곤충의 습도에 대한 감수성은 종이나 발육단계에 따라 다르지만 대개 70 ~ 90%의 높은 습도를 좋아하는 곤충이 많다, 그러나 사육실의 습도가 높으면 먹이에 곰팡이와 세균이 잘 번식하기 때문에 50% 전후로 조정할 수 있도록 사육용기의 구조를 조정해야 된다. 겨울에 곤충을 사육할 경우 온도를 25℃로 조정하면 습도는 20% 이하로 낮아져서 곤충의 생육이나 발육에 영향이 있을 뿐만 아니라 교미와 산란에도 지장을 초래하기 때문에 사육을 계속할 수 없는 경우도 있다.
- 빛: 곤충은 야외에서 생활하면서 빛에 반응하여 여러 가지 행동을 하는 동시에 광주기에 반응한 생활환을 가지고 있다. 곤충의 빛에 대한 반응은 대단히 민감하고 보름달의 빛은 0.7 lx인데 이보다 약간 밝은 1 lx 이상에서는 반응하는 것으로 알려져 있다. 많은 곤충류 중에는 광주기 즉 조명시간과 온도를 조절함으로써 휴면충과 불휴면충을 사육할 수 있는데, 조명시간의 길이는 각각의 곤충이 가지고 있는 임계일장 이상으로 하면 연속하여 사육할 수 있다. 대개 16시간 조명, 8시간 암의 광주기로 하는 경우가 많다. 광주기를 받게 하는 것은 휴면과 불휴면의 문제뿐만 아니라 행동 전반에 일주리듬이 생겨서 교미행동이나 산란 행동도 정상으로 일어나게 된다. 재배한 식물에서 곤충을 사육할 경우 식물이 정상으로 생육하려면 최저 1만 lx의 빛이 필요하다. 현재 이 정도의 조명은 가능하지만 유지비를 감안하면 빛은 자연광을 이용하여 온습도를 조절하는 편이 좋을 것이다.

13.3.2.6. 사육자의 위생

- 규모가 큰 사육실에서 사육 작업을 매일 계속하게 되면 위생상 문제가 생긴다. 특히 나비, 나방류의 곤충을 많이 취급하는 실내에는 비늘가루가 날기가 쉽다. 또 남아 있는 인공사료에 발생한 곰팡이의 포자가 날리거나 곤충이 먹고 남은 먹이나 똥이 건조하여 분진이 된 것이 날리기도 한다. 이와 같은 공기 중의 먼지는 작업자에 대하여 호흡기병을 일으키거나 알레르기원이 되기도 한다. 따라서 이와 같은 작업을 하는 사육실에는 환기장치나 집진기를 부착하여 공기 중의 먼지를 제거하는 동시에 작업자는 항상 마스크를 착용하여 몸을 보호해야 된다.

- 인공사료의 방부제로 사용되는 포르말린에는 암을 유발할 수 있기 때문에 가급적 사용하지 않도록 하고 불가피하게 사용할 경우에는 환기장치가 있는 장소에서 사용하도록 한다.
- 사육용기의 살균에 사용하는 차아염소산나트륨은 강한 알칼리성 물질이므로 손에 직접 닿으면 피부가 손상되기 때문에 항상 장갑을 끼고 사용해야 된다.

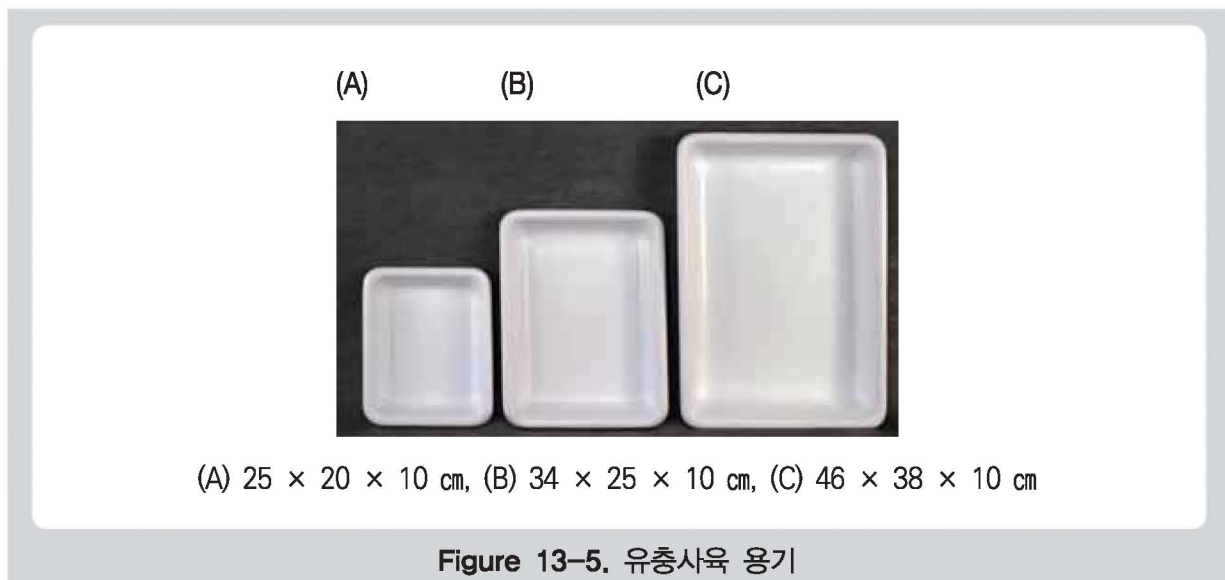
13.3.2.7. 모기

모기의 품종과 성상에 따라 먹이 및 사육통의 조건과 상황이 서로 상이할 수 있다. 따라서 해당 종별 사육절차에 따라 발생 가능한 생물안전상황을 검토하고 이에 대응하여야 한다.

13.3.2.7.1. 실내사육절차

모기 종에 따라 선호하는 산란 장소 및 방법 등의 차이가 있지만 실내사육에 대한 공통된 부분을 아래와 같이 기술한다. 야외에서 채집된 모기가 암컷성충일 경우와 유충일 경우라도 시기에 따른 사육방법은 동일하다.

- 강화 플라스틱 재질의 유충사육 용기(larval pan/vat)의 사용이 일반적이며, 유충밀도에 따라 용기의 크기(Figure 13-5)는 달라질 수 있으나 물의 온도는 약 25 ~ 27 ℃, 적정 수위는 용기 바닥으로부터 약 5.0 ~ 8.0 cm이다.



- 모기유충의 먹이로는 열대어 사료인 테트라민을 물에 녹여 혼합한 후 스포이드를 사용해 일일 1 ~ 2회 제공하거나, 송아지 사료(개사료 대체가능-지방 함유량 5%), 락트알부민, 그리고 이스트를 약 1:1:1 비율로 혼합하여 사용할 수 있다(질병관리청 매뉴얼은 송아지

사료와 에비오제를 9:1 비율로 혼합사용).

알에서 부화 후 일수	0	1	2	3 ~ 7
먹이 양(유충마리 수 당)	0.2 mg	0.3 mg	0.4 mg	0.6 mg

- 유충사육 용기 내부의 수질이 먹이 부패로 인해 과도하게 오염되었을 경우, 물을 추가 공급 또는 교체하거나 관상어용 산소발생기를 설치하여 적정 수질을 유지할 수 있다.
- 모기성충의 사육실 내부 유출을 예방하기 위해 번데기는 스포이드 (50 ml)를 이용하여 일일 2 ~ 3회 이상 채집하여 물을 채운 비커 또는 작은 용기로 옮긴 후 모기 사육케이지 내부에서 성충으로 우화시킨다.
- 사육케이지는 성충밀도에 따라 크기를 달리할 수 있으며 내부 바닥면에 두 겹의 거즈를 덮어 청결 유지 및 청소를 용이하게 한다(Figure 13-6).

(A)



(B)



(A) 40 cm × 40 cm × 80 cm, (B) 45 cm × 45 cm × 35cm)

Figure 13-6. 모기 사육케이지

- 성충먹이로는 5 ~ 10%의 설탕물을 적신 탈지면을 삼각플라스크 (50 ~ 100 ml) 또는 유리 바이알 내부에 채워 입구를 거즈로 씌운 후 모기 사육케이지 내부에 제공하며 일일 1회 교체를 권고한다(Figure 13-7).



Figure 13-7. 설탕물 용기로 사용 가능한 삼각플라스크 및 유리병

- 성충으로 우화된 후 4 ~ 5일이 경과하고 충분한 자연교미가 이루어 졌다고 판단되면 설탕물 공급을 흡혈 12시간 전에 제거하고, 혈액원으로 설치류(쥐, 기니아피그) 또는 토끼 등을 철제망 속에 넣어 암컷모기 흡혈을 유도한다. 그리고 외부에서 유입된 타종(他種)의 모기로 인한 계대사육 오염을 방지하기 위해 혈액원으로 쓰이는 동물은 반드시 모기사육실과 구분된 장소에 사육한다.
- 성충의 수명을 연장하기 위해 아침과 저녁으로 모기사육케이지의 상충과 측면을 젖은 수건으로 매일 덮어 약 70%의 습도를 유지시켜 준다.
- 충분한 양의 모기가 공급되는 경우에는 교미율을 높이기 위해서 일차적으로 확보된 모기 사육케이지에 새롭게 우화된 다수의 수컷을 2 ~ 3회 추가한다.
- 성충흡혈이 이루어진 후 비커에 적당량의 물을 넣고 모기 사육케이지 내부에 넣어 수표면에 모기의 산란을 유도한다.
- 채집한 알은 유충 사육용기에 물과 함께 알을 넣어 부화시킨 후 계대사육을 지속한다. 용기 내부의 적정 유충밀도는 물 1 ml 당 1.4마리를 권장한다.
- 숲모기(*Aedes* 및 *Ochlerotatus*)는 날개로 지면과 수표면이 맞닿는 지점에 산란하는 습성이 있기 때문에 물을 담은 검은색 용기에 거름종이를 넣어 산란을 유도한다. 채집된 검은색 알의 소실을 방지하기 위해 용기 내부의 잔류된 물은 스폰이드로 제거한다. 알이 접착된 거름종이는 온도 25℃, 상대습도 60 ~ 70%에서 보관한다. 약 두 달 후까지 약 95%의 부화율을 나타내므로, 상당기간 저장(최대 8개월)하였다가 사용할 수 있다.

13.3.2.7.2. 생물안전사항(Biotron, 2014; ASTMH, 2001)

- 모기장을 설치(BSC 중심으로)하여 1차적으로 모기장 밖으로의 유출을 방지하고, 오염에

대비하여 훈증 및 폐기가 수월한 재질을 사용한다.

- 모기장 및 연구시설 내 모기 유출시 흡충관(전동식) 또는 모기잡이용 전기충격기를 비치하여 처리한다(Figure 13-8).

(A) 흡충관(aspirator)



(B) 전기충격기

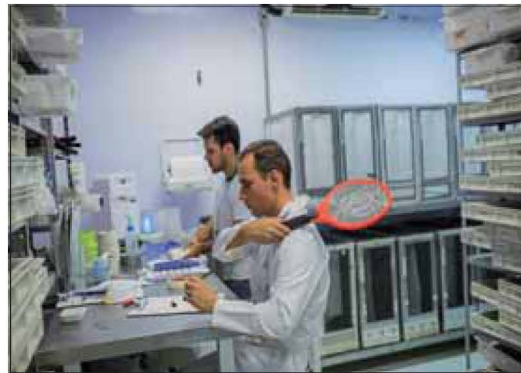


Figure 13-8. 곤충 유출시 사용장비

13.3.2.8. 파리

파리의 품종과 성상에 따라 먹이 및 사육통의 조건과 상황이 서로 상이할 수 있다. 따라서 해당 종별 사육절차에 따라 발생 가능한 생물안전상황을 검토하고 이에 대응하여야 한다.

13.3.2.8.1. 실내사육절차 예시: 초파리(질병관리본부, 2011; Ichinose, 1981)

13.3.2.8.1.1. 사육법

- 사육온도 범위는 15 ~ 29℃가 가장 적당하다. 높은 온도에서는 약하고 성충이 살아 있어도 불임이 되는 경우가 많기 때문에 주의해야 된다. 수컷은 암컷보다 작고 배의 끝부분이 검기 때문에 암·수 거의 같은 수의 성충을 사육병에 넣는다. 이 경우 교배에 대한 신경을 쓸 필요가 없다.
- 파리가 먹이에 붙기 어려울 때는 멸균한 종이수건 조각을 배지에 꽂아서 파리가 앉을 수 있는 장소를 제공해 준다. 1 ~ 3일 정도 지나면 배지에서 암·수 성충을 들어내 버린다. 유충은 밀도가 지나치게 높아지는 경우가 자주 있으나 절대 다 죽지는 않는다.
- 실험용인 경우에는 유충의 밀도를 조절하고 성충과 산란일수는 B배지의 표면적 1cm²당 50마리 전후로 예산하여 조절한다. 산란단계에서 조정되지 않았을 경우에는 주걱을 사용하여 알이나 유충의 일부를 덜어낸다. 지나친 밀도로 말미암아 유충이 죽으면 배지

(특히 B배지)가 나빠진다.

- 25℃에서 사육할 경우 알기간은 1일, 유충기간(3령기)은 4일 그리고 번데기 기간은 4일이다. 암컷성충은 우화 후 1일 만에 알을 낳게 시작하고 조건이 좋아지면 1마리가 1,000 ~ 2,000개의 알을 낳는데 1일 50 ~ 80개씩 낳는다. 25℃에서는 1세대에 10일, 20℃에서는 15일 정도 걸린다.
- 유전실험을 위하여 처녀암컷이 필요할 경우 25℃에서는 우화 후 8시간 이내에 암·수를 분리해 두면 편리하다. 대개 암컷은 수컷보다 빨리 우화하기 때문에 우화가 시작되면 곧바로 처녀암컷을 모아두면 편리하다.
- 사용한 병은 끓는 물에 넣어 성충과 유충 등을 죽이고 씻는다. 이 때 파리가 도망가지 않도록 주의하고 세제는 사용하지 않는 것이 무난하다.
- 초파리를 사육할 때는 잡균이나 좀진드기(mite)³⁴⁾ 침입이 가장 큰 문제가 되기 때문에 배지를 만들 때부터 사육에 이르기까지 이스트균 이외의 잡균이 혼입되는 것을 예방해야 한다. 또 배지를 만든 후 2 ~ 3일간 실온에 방치하여 잡균이 없는 것을 확인후 사용해도 된다. 좀진드기가 혼입되면 그 병을 가열 멸균한 후 버린다. 그리고 보기닝용액을 침투시켜서 말린 종이를 사용하기 전에 배지에 끼워 두면 좀진드기의 침투를 방지하는데 효과가 있다. 또 알이나 유충을 주워 70% 에탄올에 소독해도 된다.

13.3.2.8.1.2. 사육배지 제조법(Table 13-11)

Table 13-11. 초파리용 배지의 예

배지	물	한천*	옥수수가루	벌꿀	설탕	건조 이스트	프로피온산	보기닝용액**
A	1,000 mL	5 ~ 6 g	100 g	500 mL		4 mL		
B	1,000 mL	7 ~ 14 g		50 g	200(80) g	5 mL	10 mL	

* 막대한천일 경우 다량, 한천가루는 소량, 막대한천은 잘 뺏아서 물에 녹인다. 한천이 적고 부드러운 배지는 파리의 산란을 촉진하지만 건조하기 쉽고 오래 보존하기 어렵다.

** 70% 에탄올에 Paraol 안식향산 butyl(상품명: 보기닝B)을 10%로 녹인 것

- 실험재료로 사육되는 초파리는 유충이나 성충 다같이 이스트균을 먹고 사는데 사육배지는 이스트균을 생육시켜 먹이로 하는 것(옥수수, 벌꿀배지 A)과 이스트균을 끓인 무균배지(살균한 이스트, 설탕배지 B) 등이 있는데 배지 A는 항상 이스트균이 조금씩 번식하여

34) 진드기목에는 4개 아목이 있는데 이 중 후기문아목은 체장이 큰 종류(1~9 mm)를 'tick'으로 부르고, 나머지 3개 아목의 종류는 체장이 작은(0.1~0.5 mm) 종류로 'mite'라 한다. 'mite'를 국내 동물분류학회에서는 '응애' 또는 '좀진드기'를 종류에 따라 혼용하고 있으며, 농학에서는 '응애', 위생곤충학에서는 '좀진드기'로 사용한다. 본 안내서에서는 위생 곤충학의 관점에서 좀진드기로 표기한다.

- 유충의 먹이가 되고 있으므로 영양은 충분하지 않아도 장기간에 걸쳐 성충이 우화된다.
- 배지 B는 영양조건은 좋지만 균체의 공급이 일정하고 또 먹이를 일괄적으로 주기 때문에 유충의 밀도가 높지 않도록 주의해야 된다. 이 배지로서 사육하면 우화는 균일하게 잘 되지만 다음 세대의 성충을 모을 수 있는 기간이 짧고 또 무균배지이기 때문에 잡균이 번식되기 쉽다.
 - 계통을 유지하려면 A, 실험용에는 B가 적당하다. 그러나 A, B 양 배지의 성분을 합하여 적당하게 혼합하여 양쪽의 잇점을 합하여 사육할 수도 있다.
 - A배지: 옥수수를 물 1/3컵에 녹여서 덩어리가 없도록 준비해두고 남은 물에는 한천을 넣고 끓인다. 그리하여 벌꿀을 가한 후 다시 끓이고 또 물에 녹인 옥수수를 가한 후 2 ~ 3분 정도 끓여서 찰기가 생길 무렵부터 다시 열을 가한 다음 프로피온산을 가하고 휘저어 섞어 붓는다. 이때는 식히지 않아도 된다.
 - B배지: 물, 한천 및 이스트 등을 혼합하여 10분 정도 끓인 다음 설탕을 가하여 다시 10 ~ 15분간 끓인 후 프로피온산과 보기닝액을 가한다. 천천히 휘저어 섞으면서 찬물로 45 ~ 50℃까지 식혀서 나누어 붓는다. 그런데 식히는 방법이 서툴면 나누어 부은 후에 이스트균체가 가라앉아 버리기 때문에 배지가 두 개의 층으로 나누어져 버린다. 두 가지의 배지는 다 같이 열을 가할 때에 타지 않도록 늘 휘저어 섞어야 된다.
 - 배지를 넣을 병이나 솜마개는 미리 120℃에서 건열 멸균해 둔다. 특히 한번 사용한 솜마개는 수분을 함유하여 열이 잘 통하지 않기 때문에 1시간 정도의 멸균을 2회 반복하는 것이 좋다.
 - 사육병은 대개 직경 2 ~ 3 cm, 높이 10 cm정도의 관병 또는 유리병이 사용되는데 배지를 1.5 ~ 2 cm정도의 길이로 붓는다. 배지를 병에 붓는 수가 적을 경우에는 한 손잡이 냄비에 유리 막대를 통해서 붓도록 한다. 각 병에 나누어 부은 다음 멸균한 수건이나 종이로 당분간 덮어 두었다가 사육병 내부의 물방울이 없어질 때까지 기다린다.
 - A배지에는 멸균한 물에 소량의 이스트균을 현탁시킨 액을 떨어뜨려 둔다. 그 후 탈지면을 가제에 싸서 마개를 한다. 이 솜마개는 뽑아 올렸을 때에 병이 넘어지지 않을 정도로 단단해야 좋다. 그리고 마지막에는 종이로 이름표를 붙인다.
 - 배지는 만든 후 1주일 이상 두었다가 사용한다. 또 오래되어 이스트가 지나치게 번식한 A배지나 두드러지게 오그라든 B배지는 실험에 좋지 못한 점이 많으므로 사용하지 않아야 된다.

13.3.2.8.2. 생물안전사항(Biotron, 2014; ASTMH, 2001)

- 초파리의 경우, 표준 항-진드기 절차(선반에 항-진드기 용지 비치, benzyl benzoate 처리된 스토퍼 등)를 준수한다.
- 정기적으로 모든 적재물품(초파리 등)의 진드기 감염 등을 모니터링 한다.
- 만일 진드기가 함께 있는 배양액을 부득이하게 사용해야 할 경우, ① 항-진드기 용지를 배양기 내 모든 선반에 간다. ② 진드기 구충제(benzyl benzoate)가 처리된 꼭 끼는 스토퍼가 모든 컨테이너에 적용되어야 한다. ③ 바닥과 외부 표면을 포함한 배양기는 매 3일마다 10% 표백제 처리 후 70% 에탄올로 닦아내고 해당 절차를 기록한다. ④ 실험실 작업대 위의 배양 취급시 항-진드기 용지 처리하며, 사용 후 즉시 에탄올과 chlorox로 표면을 닦는다. 모든 도구(솔, 포셉 등)는 사용 및 보관 전(에탄올)에 청소한다. ⑤ 감염된 배양기의 내용물을 처리할 때에는 별도의 실험복과 장갑을 착용하여야 하며 감염되지 않은 배양기와 접촉 전에 환복 하여야 한다.
- 진균 또는 바이러스 감염 전이를 피하기 위해 주의해야 한다. 조심스럽게 위생을 유지한 상태로 감염된 물질을 폐기(에탄올 처리 또는 고압증기멸균)하는 것이 필수적이다. 곰팡이 포자의 에어로졸 발생을 줄이기 위해 가습 처리된 컨테이너나 플라스틱봉투 내에 진균에 감염된 사체를 버린다.
- 기생충의 침입이나 질병의 가장 일반적인 원인은 온실로부터 들어온 식물이나 토양이다. 이러한 물질은 매우 신중하게 다루어져야 하며, 사육통 또는 가능하다면 밀봉된 컨테이너에 넣어 이동한다.

13.3.2.8.3. 실내사육절차 예시: 파리(Ichinose, 1981)

집파리의 사육은 유충을 사육하는 배지에 따라 몇 가지 방법이 있다. 미국에서는 알팔파(alfalfa: 지주개자리, *Medicago sativa* L.) 분말과 밀기울을 주성분으로 한 유충의 사료가 시판되고 있으며 이 방법은 집파리를 사육하는 표준법으로 되어 있고 일본에서는 인공고형사료를 개발하여 사육하고 있다.

13.3.2.8.3.1. 유충의 사육법

- 유충사육용 배지는 곤충사육용 고형사료 80g, 밀기울 80g, 건조효모 3g을 혼합한 것에 물 160ml를 가하여 충분히 휘저어 섞은 다음 이것을 플라스틱 또는 유리그릇(직경 10 ~ 12 cm, 깊이 수 cm)에 넣어 두었다가 사용한다.
- 우화 후 5일 이상 경과한 성충 사육 케이지의 내부에 따로 준비한 소량의 유충 사육배지를

30ml 정도의 비커에 넣고 몇 시간 방치하여 산란시킨다. 이때 이미 수일동안 산란시키지 않은 경우에는 암컷의 난소 내에 많은 성숙란이 저장되기 때문에 30분 정도 방치해 두어도 된다.

- 채란된 알 500개를 유충 사육배지에 접종한다. 접종하는 알의 수는 숙련이 되면 눈으로 짐작할 수 있게 되나 처음에는 수취기로 접종하는 것이 안전하다. 알을 너무 많이 접종하면 유충이 성장되지 않고 성장되어도 실험에 사용할 정도로 커다란 성충이 되지 않는다.
- 알은 배지에 드문드문하게 접종할 필요가 없고 배지의 한 가운데에 작은 홈을 만들어 거기에 알을 놓아두고 배지로서 얇게 덮어 둔다.
- 접종 후에는 용기를 공기가 통할 수 있는 가아제나 수건 등으로 덮고 또는 고무줄로 매어 고정시키고 사육통에서 실내로 빠져나온 다른 성충이 침입하여 산란하는 것을 방지하여 25 ~ 30℃의 사육실에 놓아둔다.
- 2 ~ 3일 후에 배지를 휘저어 섞어서 유충이 순조롭게 생육하고 있는 것을 확인하면서 유충을 배지 중에 골고루 분산시킨다.
- 알을 접종한 5 ~ 8일 후에, 유충은 배지 뒷면의 건조한 곳에 기어 나와서 번데기가 되기 때문에 그 번데기를 모아서 성충 사육통으로 옮긴다.
- 많은 계통과 집단을 사육할 경우에는 위의 방법을 다시 간편하게 하는 방법이 있다. 이 방법은 유충 사육용의 배지를 비닐로 만든 주머니(적당한 크기)에 넣고 그 주머니를 사육 용기에 넣은 다음 주머니속의 배지에 알을 접종하여 유충을 사육한다.
- 번데기가 다 되고 나면 주머니속의 번데기를 성충 사육케이지에 옮긴 다음 성충을 우화시킨다. 우화 후에는 주머니의 배지를 통해서 들어내어 버린다.
- 이 방법은 유충 사육기의 청소 또는 번데기를 선별하는 작업을 생략하는 장점이 있다.

13.3.2.8.3.2. 성충의 사육법

- 집파리의 성충은 대개 25 ~ 39℃의 사육실내에서 사육한다.
- 집파리는 교미하는데 넓은 공간이 필요하지 않기 때문에 대개 30 cm의 스테인레스로 만든 사육통이 사용되며 이 사육통으로 1,000 ~ 1,500마리의 성충을 사육할 수 있다.
- 성충에는 탈지분유와 설탕을 1: 1로 섞은 것과 물을 따로 준다. 탈지한 분유와 설탕을 물에 녹여 주면 1 ~ 2일 만에 썩기 때문에 교환해 주는 번거로움을 덜기 위해서 고체 그대로 주는 것이 좋다. 물을 페트리접시에 넣고 파리가 빠져죽지 않도록 탈지면을 물에 담가 둔다.

13.3.2.8.3.3. 알 채집법

- 어떤 장소에 서식하는 집파리의 살충제에 대한 감수성을 조사하려면 야외에서 채집한 파리를 누대 사육하여 시험재료로 이용한다. 이와 같이 야외에서 집파리를 채집할 경우 쓰레기를 버리는 장소 또는 가축사에서 포충망으로 성충을 잡아 실험실로 운반하여 산란시키는 것이 가장 간단한 방법이다.

13.3.2.8.4. 생물안전사항(Biotron, 2014; Ichinose, 1981)

- 야외의 집파리는 질병에 걸린 것이 있으므로 채집한 파리를 직접 사육실에 가지고 들어오면 병원체를 사육실에 오염시킬 우려가 있으므로 채집한 파리는 사육실 밖에서 산란시킨 후 알만을 사육실로 운반하여야 한다.
- 진균 또는 바이러스 감염 전이를 피하기 위해 주의해야 한다. 조심스럽게 위생을 유지한 상태로 감염된 물질을 폐기(에탄올 처리 또는 고압증기멸균)하는 것이 필수적이다. 곰팡이 포자의 에어로졸 발생을 줄이기 위해 가습 처리된 컨테이너나 플라스틱봉투 내에 진균에 감염된 사체를 버린다.
- 기생충의 침입이나 질병의 가장 일반적인 원인은 온실로부터 들어온 식물이나 토양이다. 이러한 물질은 매우 신중하게 다루어져야 하며, 사육통 또는 가능하다면 밀봉된 컨테이너에 넣어 이동한다.

13.3.2.9. 진드기

진드기의 품종과 성상에 따라 먹이 및 사육통의 조건과 상황이 서로 상이할 수 있다. 따라서 해당 종별 사육절차에 따라 발생 가능한 생물안전상황을 검토하고 이에 대응하여야 한다.

13.3.2.9.1. 실내사육절차 예시: 털진드기(질병관리본부, 2011)

- 털진드기는 정포, 알, 유충, 제1약충, 제2약충, 제3약충의 절차를 거쳐 성충이 된다. 사육통은 충분한 수분이 있는 Charcoal plate가 들어있는 것을 사용한다.
- 제2약충은 제1약충을, 제3약충은 제2약충을, 성충은 제3약충을 먹기도 하므로, 서로 분리한다.
- 유충은 붓을 이용해 물이 든 Glass blow에 넣는다. 털진드기는 몸에 난 털 때문에 물위에 떠다닌다. 털진드기가 하나의 덩어리를 이룰 때까지 1시간 정도 놓아둔다.
- Charcoal이 채워진 사육통에 필터지를 2 ~ 3장 깔고 7일령 쥐(mice) 사육통에 넣고 털진드기를 한 붓에 묻혀 현미경 아래에서 쥐의 몸에 붙여 Feeding을 수행한다.

- Feeding이 시작되면 사육통 뚜껑을 닫고 놓아둔다. 이후 매일 사육통을 확인하여 털진드기를 회수한다.
- 제2약충은 2일에 1회 톡토기 알을 마리당 5개 주며 사육한다.
- 성충은 매일 톡토기 알을 마리당 10개 주며 사육한다.

13.3.2.9.2. 생물안전사항(Biotron, 2014; ASTMH, 2001)

- BSC가 설치되어 있는 곳을 중심으로 실험장소 및 배양기 구역에 실험장소와 그 외의 장소를 구분하는 곤충용 끈끈이 테이프를 설치한다.
- 진드기 사육용기의 뚜껑부위를 파라필름으로 밀폐시키고, 진드기 유출시 100% 에탄올을 분무하여 사멸시킨다.

13.3.2.10. 바퀴(Table 13-12)

13.3.2.10.1. 실내사육절차 예시(질병관리본부, 2011; Ichinose, 1981)

- 바퀴의 사육용기는 바퀴의 발육상태를 관찰하기 용이하도록 투명한 유리나 아크릴 용기를 이용하는 것이 좋다.
- 질병관리청에서 사용하는 것은 원통형을 사용하고 있으며, 지름 약 40cm, 높이 약 20 ~ 40 cm의 것을 사용하고 있다.
- 바퀴사육 용기의 모양과 크기는 정해진 것은 없으나, 바퀴의 생태적 특성을 고려해 볼 때, 입구와 높이 모두 약 20 cm 이상이 되어 바퀴가 탈출하지 못하고 먹이통과 물을 용이하게 공급할 수 있는 것을 선택한다.
- 사육 용기 뚜껑은 16메시의 철망이나 모기장을 씌우고, 뚜껑을 열었을 때 바퀴가 도망가지 못하게 안쪽벽의 윗면에는 4 ~ 5 cm 폭으로 와셀린과 유동파라핀 혼합물(1:1)을 발라둔다.
- 바퀴의 먹이는 사육종을 불문하고 송아지사료, 탈지분유, 설탕, 물 등을 동시에 공급한다. 또는 생쥐 사육용으로 판매되고 있는 건조효모의 고품사료가 편리하다. 밀가루, 분유 및 건조빵효모를 각각 50: 45: 5로 혼합한 것도 좋다. 물은 삼각 플라스크 또는 병에 넣고 여기에 탈지면을 담근 것을 사육통에 넣어준다. 쥐와 닭의 사육에 사용하는 조그마한 급수기를 이용하면 더욱 편리하다. 먹이는 소모되는 양을 확인하여 보충하여 주고, 오염되는 경우 새것으로 교체하여 청결을 유지한다.
- 이상과 같은 먹이를 장기간(수개월간) 먹이는 경우 날개의 크기가 작아지고 체중이 줄어드는 등의 영양실조에 걸려 사육이 잘 안되는 경우가 있다. 이런 경우, 삶은 계란 노른자, 치즈 등 지방과 단백질이 풍부한 식품을 2주에 한 번씩 2회 정도 제공하면 바퀴의 생장을

도울 수 있다.

- 바퀴류의 적온범위는 의외로 좁으며 고온이나 저온에 약하다. 따라서 온도는 25 ~ 28℃, 습도는 60 ~ 70%가 적당한데, 집바퀴는 이 정도의 환경조건에서 1세대가 2 ~ 3개월 걸리고 이질바퀴는 이보다 더욱 길다. 바퀴류는 어두운 조건에서 사육하여도 관계가 없다. 발육이 고른 약령충을 얻으려면 암컷의 배에 붙어있는 알주머니를 떼어서 사육하면 일별로 부화 유충을 모으면 된다.
- 바퀴는 기본적으로 어둡고 습하며 좁은 틈을 좋아하므로 사육용기 안에 골판지 입구의 넓이를 약 2 ~ 3 cm 크기로(이질바퀴의 경우 이보다 크게 제작) 삼각기둥 및 사각기둥으로 약 15 ~ 20 cm 길이로 제작한 은신처를 제공한다. 제작된 은신처는 사육용기의 바닥을 모두 채우고 약간 겹쳐질 정도로 넣어준다.
- 사육용기 갈이는 새로운 세대를 구분하여 사육하거나 사육용기를 청소할 경우에 실시한다.
 - i. 독일바퀴는 알집(난협, egg cases)을 부화하기 바로 직전에 떨어뜨리기 때문에 사육통 갈이를 할 경우 탄산가스를 사육용기에 유입시켜 마취시킨 후, 난협을 형성한 암컷만을 선별하여 새로운 사육통에 넣고, 먹이와 은신처를 제공하여 준다.
 - ii. 이질바퀴, 집바퀴 및 먹바퀴 등은 난협이 생성되면 보통 사육통 안에 넣어준 은신처 안쪽에 점착물질을 이용해 난협을 붙여 놓는 습성이 있다. 따라서 통 갈이가 필요하면 은신처만을 분리하여 새로운 통에 넣어 주면 된다.
- 바퀴류는 고밀도에 대하여 비교적 저항력이 강하기 때문에 별로 나쁜 영향을 받지 않지만 과밀도가 되면 흥분하여 밖으로 탈출하려는 습성이 있다. 따라서 이질바퀴의 성충이나 노령 유충은 대형사육 용기에서 사육할지라도 80 ~ 100마리의 밀도가 적당하다.

Table 13-12. 바퀴의 발육과 산란

	산란전 기간(일)	산란가격 (일)	암컷의 난초수	난초당 난 수	난기간 (알)	유충기간 (일)
이질바퀴	7 ~ 12	3 ~ 7	30 ~ 40	10 ~ 16	30 ~ 40	120 <
먹바퀴	7 ~ 14	3 ~ 7	20 ~ 20	16 ~ 24	32 ~ 45	110 <
집바퀴	12 ~ 14	29 ~ 45	6 ~ 7	23 ~ 45	20 ~ 30	40 ~ 50

※ 25 ± 2℃, 습도 50 ~ 70% 조건

13.3.2.10.2. 생물안전사항(Biotron, 2014; ASTMH, 2001)

- 사육실에는 이산화탄소통을 비치하여 바퀴를 다른 사육 용기에 옮길 때에는 이산화탄소를 사육용기 내에 주입하여 30초 정도 뚜껑을 덮어두면 기절하게 한 후 옮기게 되면 도망가는

것을 방지할 수 있다.

- 바퀴벌레를 사육할 때 좁진드기가 혼입한 먹이로 인해 사육통이 오염되는 경우가 있으므로 70% 알코올을 이용하여 사육통의 주기적인 청소와 소독이 필요하다. 또 먹이를 만든 후 2 ~ 3일간 실온에 방치하여 좁진드기가 없는 것을 확인한 다음 사용해도 된다.
- 바퀴 사육실 및 연구시설 내 바퀴 유출시를 대비하여 사육통 주변과 실내 곳곳에 끈끈이 트랩을 설치한다. 바퀴 사육통 외부벽에 양면 테이프를 부착하면 1차적인 탈출을 방지할 수 있다.

실험곤충 탈출로 인한 중남미의 사가스병 토착화사례

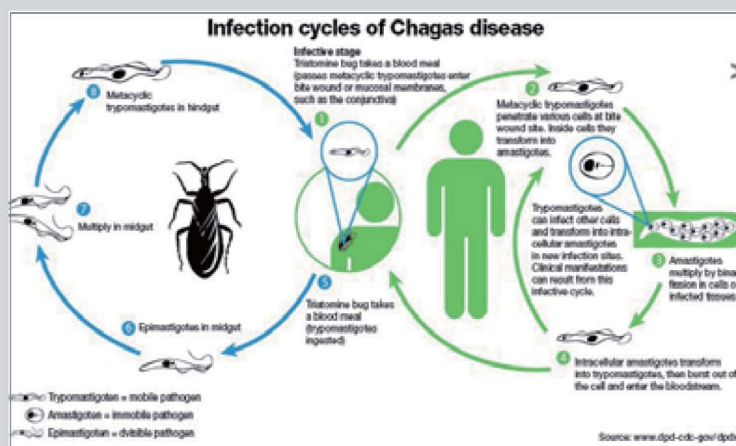
키싱버그(kissing bug)라고도 불리는 *Rhodnius prolixus*는 중남미간에 불연속적으로 분포되어 있는 침노린재과의 흡혈곤충으로, 파나마와 남부 코스타리카에서는 보고된 바 없다.



[Kissing Bug]

역사적인 기록(Zeledón, 1996)에 의하면 중앙아메리카에서 *Rhodnius prolixus*는 1915년 실험실에서 키우던 곤충이 사고로 탈출함으로써 유래되었으며, 1915년 Neiva에 의해 엘살바도르(El Salvador)에서 처음 보고되었다. 이후 사람들의 이동에 따라 전파되었는데, 1934년에 과테말라까지 번졌으며 1950년대에는 온두라스와 니카라과까지 확산되었다. 1953년에는 니카라과에서 여행자에 의해 코스타리카로 번졌으나, 방역에 의해 확산이 중단되었다.

*Rhodnius prolixus*는 사가스병(chagas disease)을 일으키는 매개체로 알려져 있다. 사가스병은 기생충의 일종인 크루스파동편모충(*Trypanosoma cruzi*)에 의해 감염되는 열대질환으로 침노린재를 매개체로 하며, 수혈이나 장기 이식, 오염된 음식물 섭취를 통해 확산된다.



[*Trypanosoma cruzi*의 생활사 의한 사가스병 감염경로]

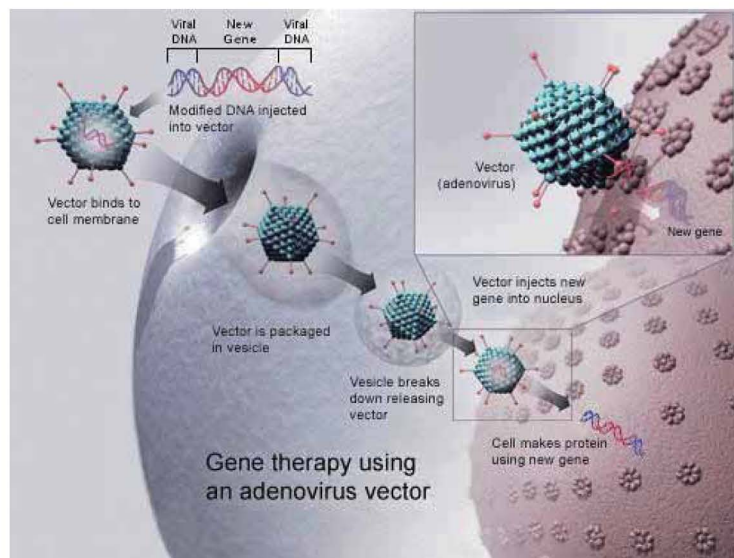
사가스병의 증상은 감염 후 경과에 따라 다양하다. 잠복기는 1-2주인데 급성 감염은 침노린재에 물린 자리가 심하게 부어오르고 한쪽 또는 양쪽 안검에 생긴 부종이 특징적이지만 눈에 띄는 증상이 나타나는 것은 20%에 불과하고 다른 경우는 가벼운 열, 림프절이 붓는 등의 국소병변이 나타나거나 아무런 증상도

나타나지 않는 경우가 많다. 이후에는 만성적 경과를 보이는데 주로 심장증후군, 특히 부정맥이 많이 나타나고 때로는 심장근육 속에 기생충이 자라고 염증이 생겨서 심부전이 올 수도 있다. 샤가스병 환자의 약 1/3은 중증 심질환을 일으키며, 가볍게 앓을 수도 있지만 어린이에게서는 사망을 초래하기도 한다.

Nifurtimox를 어른은 8-10 mg/kg, 소아는 15-20 mg/kg을 90-120일간 경구로 분복 투여하거나, benznidazole을 5 mg/kg을 60일간 경구투여하면 어른에게서는 70%의 치료력을 보인다.

13.4 바이러스 벡터 및 세포주 실험 시 요구되는 생물안전수칙

‘분자·세포생물학백과’에 의하면 바이러스 벡터(viral vector)는 DNA나 RNA와 같은 유전물질을 세포나 생체에 주입하기 위하여 바이러스를 이용하여 개발된 운반체이다. 최근에는 바이러스 벡터는 치료 효능을 달성하는데 중요한 요소인 표적 세포 및 조직에 유전자를 전달하는 효과적인 도구로 입증되고 있어 분자생물학계에 주요한 관심대상이 되고 있다(sumit, 2020). 또한 바이러스 벡터 활용은 유전자 치료, 암 치료, 백신뿐만 아니라 임상시험(clinical trial), 생명의학 계열 실험(gene expression) 등에서도 많이 이용되고 있다(Figure 13-9).



출처: http://en.wikipedia.org/wiki/Gene_therapy

Figure 13-9. 아데노바이러스 벡터를 이용한 유전자 치료

실제 바이러스 벡터와 세포주의 사용에서는 다음과 같은 위해성을 가지고 있다. 렌티바이러스

벡터(Lentiviral vector)를 인체 대상으로 DNA 변형시키려는 의도로 고용량 제공된 경우 유전자 돌연변이로 인한 백혈병(leukemia) 등이 발병하는 것으로 알려져 있다(schlimgen *et al.*, 2016). 미국 국립보건연구원(National Institutes of Health, NIH) '재조합 DNA 자문위원회(Recombinant DNA Advisory Committee, RAC)'³⁵⁾에서는 렌티바이러스 벡터에 의한 종양발생 유발 등의 위해성에 대하여 언급하였다(NIH OBA, 2006). 또한 오염되지 않은 세포 배양물은 직접적인 피부 접종(inoculation)으로도 국소 염증을 유발할 수는 있으나 심각한 위험은 없지만 다수의 외래 물질(*Mycoplasma pneumoniae* 등)의 오염 또는 복제 능력이 있는 세포주일 경우 위험성에 주의해야 한다(HKU, 2013).

이에 바이러스 벡터 및 세포주의 사용자는 바이러스 등과 관계된 실험 및 이용 방법의 기원이나 바이러스 및 세포주를 사용하는 것이 어떤 의미를 내포하고 있는지 잘 알고 있어야 하겠다. 본 안내서에서는 실험실에서 자주 이용되는 바이러스 벡터(Adenoviral vector 등 6종)를 대상으로 국내의 관련 규정 및 지침, 위해성평가, 바이러스학, 임상적 특징, 유행, 치료, 실험실 내 위험요소, PPE, 소독 및 불활성화 그리고 동물에 사용하는 경우 등의 생물안전 정보를 설명하고자 한다. 또한 세포주 취급자의 안전 확보를 위한 안전 사용 지침을 확인하여 기술하였다.

13.4.1. 바이러스 벡터와 생물안전 정보(UK, 2006; US, 2013; DC, 2018)

바이러스는 세포를 감염시키기 위해 진화 과정을 통해 설계된 세포 내 기생충이며 종종 특정 세포 유형(tropism)에 큰 특이성으로 인해 이들은 자신의 핵산을 숙주 세포로 형질도입(transfection) 시키는데 매우 효율적인 경향이 있어 유전자 전달의 주요한 수단 중 하나로 선택되고 있다(UC, 2014). 바이러스 벡터는 전통적인 형질도입과 비교하여 유전 정보를 전달 할 수 있는 더 큰 가능성을 가지고 있으며 현재는 바이러스 벡터 상용화로 인해 연구를 위한 벡터 취득이 편리해졌다. 바이러스 벡터의 분류는 그들의 게놈이 숙주 세포 염색질(onco-retrovirus, lentivirus 등) 내로 통합되는지 또는 주로 염색체 외 에피솜(episome) (Adeno-associated virus, Adenovirus, Herpes virus 등)으로 세포핵에 유지되는지에 따라 2개의 그룹으로 분류하였다(sumit, 2020).

이러한 바이러스 벡터의 생물안전 관련 국내의 규정 및 지침은 미국 NIH에서 1994년부터 'Guidelines for research involving recombinant of synthetic nucleic acid molecules(Section III-D-3, III-E-1, Appendix B)'제정하여 바이러스 사용 실험, 바이러스 위험군(risk group)의 정보를 제공하고 있으며(NIH OSP, 2019), 기관별 관련 지침, 권고사항 등을 만들어 준수하고 있다. 국내에서도

35) 「재조합 DNA 자문위원회(RAC)」는 1년에 4회 분기별로 재조합 DNA 연구에 의한 잠재적인 공중 보건과 환경 상 위해 뿐만 아니라 이러한 첨단기술과 결부된 중대한 윤리적·법적·사회적 쟁점(새로운 벡터를 사용하는 경우)들을 논의하기 위해 일반 공중에게 공개된 자문 회의 기구이다.

『유전자변형생물체 국가간 이동 등에 관한 법률』뿐만 아니라 「유전자재조합실험지침」(질병관리본부, 2019), 바이러스 벡터 이용 LMO 연구 안전관리 가이드라인(과학기술정보통신부 국가연구안전관리본부, 2018) 그리고 대학기관 안전관리 지침(서울대학교 생물안전관리지침, 2014) 등이 마련되어 있어, 바이러스 벡터 관련 법 규정 및 생물안전수칙을 참고하면 될 것이다.

바이러스 벡터의 안전한 사용은 기본적으로 위해성평가를 수행하여야 하며 이때 고려되어야 하는 사항은 바이러스 벡터 설계에 사용한 모든 생물체의 위험 요소(hazard), 생물체 친화성(tropism; ecotropic, amphotrophic, pantropic), 도입유전자의 성격, 벡터 특성(vectors safety features; viron 생성 등), 벡터 생존성(stability) 등 여러 요소들이 있다(Table 13-13).

Table 13-13. 생물안전 고려사항 및 위험수준(NIH OBA, 2006; UK, 2006; 일부수정)

생물안전 고려사항		고위험	저위험
벡터 설계 (위험 요소, 복제)	수용생물체	• 2개 플라스미드 벡터 패키징 기능 • 바이러스 유전자 발현	• 다수 플라스미드 분리된 벡터 및 패키징 기능 • 바이러스 유전자 결손
	공여생물체		
도입유전자	병원성	• 종양유전자	• 비 종양유전자
	발현정도, 안전성		
벡터 생성 (실험규모)		• 대량 규모	• 실험용 규모
동물 숙주 (숙주범위, 유전자도입 등)		• 허용하는 숙주 • 인간 세포 접촉된 동물	• 허용하지 않는 숙주
동물실험		• 벡터 투여 (주사기 등 날카로운 기구 사용)	• 하우징 및 사육 (날카로운 기구 미사용)

이에 각 벡터 시스템마다 생물학적 안정성을 위한 격리 수준을 다르게 적용해야 한다. 벡터나 곤충에 따라 몇몇 경우에는 높은 수준의 격리 장비가 요구된다. 성장 조절 산물, 순환계로 분비되는 산물, 숙주의 면역체계에 전반적인 영향을 미칠 수 있는 산물 등을 생산하는 유전자를 포함한 바이러스 벡터를 취급(보관, 운반, 폐기 등)하는 데에는 특별한 관리가 필요하다. 생물안전 1등급으로 분류된 바이러스 벡터를 이용하는 실험에는 생물안전관리 프로그램의 승인이 필요 없다. 일반적인 예로 Baculovirus와 아데노 관련 바이러스(발암유전자나 독소가 벡터에 클로닝 되어 있지 않는 경우), 동종지향성 쥐백혈병바이러스(moloney murine leukemia virus, MMLV) 등이 있다. 생물안전 2등급이나 생물안전 3등급으로 실험을 하는 경우는 실험 전에 IBC의 검토와 승인을 받아야 한다.

13.4.1.1 아데노바이러스(Adenovirus)

아데노바이러스는 감염성 인체 바이러스로 종종 가벼운 호흡기 통증을 일으키고, 가벼운 감기 또는 위장염을 일으킨다. 그러나 드물게 심각한 병을 일으키기 때문에 유전자 실험에서 벡터로 사용하기 위해서는 적절한 격리 장비와 훈련이 필요하다. 데노바이러스 벡터를 다루는 데에는 BL2 시설이 적절하다. 삭제된 아데노바이러스 유전자에 의해 생산되는 생산물과 유사한 생산물을 만드는 유전자를 포함하는 벡터를 다룰 때에는 특별한 주의가 요구된다.

13.4.1.1.1 바이러스학(virology)

이중가닥 DNA를 가진 중간 크기(90-100nm)의 외피(envelop)가 없는 이십 면체 바이러스로 사람에게 감염을 일으킬 수 있으며, 면역학적으로는 전혀 다른 49가지 이상의 타입이 있다(A부터 F까지의 6개의 아속). 아데노바이러스는 특이하게 화학, 물리 약품에나 불리한 pH 조건에도 안정하여 체내에서 오래 살아있을 수 있다. 감염주기는 바이러스 DNA 복제를 기준으로 2단계로 나뉜다. 1단계 'early' phase에서는 바이러스가 숙주세포로 들어가고 다시 바이러스 유전체가 핵 속으로 들어가는 단계이다. 후기유전자는 주요 후기 프로모터(major late promoter)로부터 전사된다. 2단계에서는 캡시드 단백질(바이러스의 핵산을 감싸는 단백질)을 조립하고 생산하는 과정에 관련된 유전자 생성물을 만들어낸다(Table 13-14).

Table 13-14. 아데노바이러스 유전자 기능

아데노바이러스 유전자	유전자 기능
초기 유전자(E): E1A, E1B, E2, E3, E4	아데노바이러스 유전자 전사, 복제, 숙주 면역 억제, 숙주 세포 자살 억제
지연된 초기 유전자: IX, IVa2	패키징
주요 후기 단일체(L)	조립

아데노바이러스를 기반으로 한 벡터를 이용하여 HEK293 세포에 transfection(동물세포에 외래 유전자를 벡터를 이용하여 주입하는 것)하여 얻어진 패키징된(packaged) 바이러스는 인간세포를 감염시킬 수 있다. 세포배양 상층액에는 벡터에 삽입된 유전자에 따라 잠정적으로 위험한 재조합 바이러스가 포함되어 있을 수 있다. 유사한 아데노바이러스 벡터들이 인간 유전자 치료의 임상시험에 승인되었으며 이는 생체 내에서 삽입된 유전자가 발현될 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 재조합 아데노바이러스를 생산하거나 취급할 때에는 각별히 주의를 기울여야 한다. 복제 가능한 아데노바이러스(replication competent adenovirus, RCA)를 생산할 수 있는 가능성이 비록 낮다고는 해도 반복된 증폭과정을 통해 그 가능성이 증가할 수 있다. RCA는 아데노바이러스 DNA가 HEK293

세포에서 E1 유전자를 포함하는 genomic DNA와 재결합할 때 만들어진다. 따라서 추가적인 아데노바이러스 증폭이 필요할 때에는 초기 증식 아데노바이러스의 보관 샘플(early amplification stock)을 사용할 것을 권장한다.

13.4.1.1.2 임상적 특징(clinical features)

아데노바이러스는 흔히 호흡기 질환을 일으킨다. 그러나 감염 항원 형에 따라 위장염, 결막염(pink eye), 방광염 또는 발진과 같은 다른 다양한 질환을 일으킬 수 있다. 아데노바이러스에 의한 호흡기 질환의 증상은 보통 감기에서부터 폐렴, 위막성 후두염 또는 기관지염에까지 이른다. 면역 반응이 제대로 발휘되지 못하는 환자는 전신 질환을 유도할 수 있는 합병증(hepatitis 등)에 취약하다.

13.4.1.1.3 역학(epidemiology)

아데노바이러스의 역학적 특징은 타입에 따라 다르지만 그 원인은 모두 직접적인 접촉이나 대변-구강 경로, 때때로 수인성 매개에 의한 것이다. 특정 타입은 편도선, 아데노이드, 그리고 감염된 숙주의 장에서 지속적으로 자각 증상이 없이 감염되며, shedding (탈출, 복제된 virus가 탈피하고 DNA가 밖으로 나옴)이 수개월에서 수년까지 일어날 수 있다. 항원형 1, 2, 5, 6과 같은 아데노바이러스는 풍토성을 보이며 감염은 대체로 유년기에 일어난다. 다른 타입의 아데노바이러스들은 산발적이며 우발적인 감염을 일으킨다. 예를 들어, 유행성 각 결막염은 아데노바이러스 항원형 8, 19, 37과 관련이 있다. 결막염을 동반하는 열병은 몇몇 아데노바이러스 타입의 수인성 전염과 관련 있다. 급성호흡기질환은 미국에서는 타입 4, 7 아데노바이러스와 가장 연관이 있고, 장 아데노바이러스 40, 41은 주로 어린이에게 위장염을 일으킨다. 특정 아데노바이러스 항원형은 감염 부위에 따라 임상적 스펙트럼이 달라진다. 예를 들어, 흡입에 의한 아데노바이러스 7 감염은 심각한 하부호흡기 질환을 일으키지만 구강 매개로는 질환을 유도하지 않거나 약한 증상만을 보인다.

13.4.1.1.4 치료(treatment)

대부분의 아데노바이러스 감염은 증상이 가벼워서 별다른 치료가 필요하지 않거나 증상완화를 위한 치료만이 요구된다. 바이러스에 대한 특이치료법은 없기 때문에 심각한 아데노바이러스 질환은 감염 증상이나 합병증을 치료함으로써 처치한다.

13.4.1.1.5 생물안전사항

아데노바이러스는 Table 13-15와 같이 음식물 등의 섭취, 점막으로의 접촉 등의 실험실 위험 요소에 따라 BSC에서 실험하는 것 이외에 추가적으로 PPE를 착용해야 한다. 또한 1% 차아염소산 나트륨, 2% 글루타르알데하이드, 0.25% sodium dodecyle sulfate 등의 소독제에 감수성 (susceptibility to disinfectants)이 있는 소독제를 사용해야 한다. 생물안전 2등급 실험실에서 취급해야 하며 동물에 사용할 경우 바이러스가 주입/노출(injection/exposure)된 동물은 그 후 48시간 동안 동물이용 생물안전 2등급 실험실에 수용해야 한다.

Table 13-15. 실험실 위험요소별 개인보호구 착용

실험실 위험요소	개인보호구
점막의 노출(눈, 코, 입)	보안경이나 얼굴가리개 얼굴 전체 마스크 사용
주사	안전한 바늘의 사용; 바늘을 주사기에서 제거하거나 다시 뚜껑을 씌우지 않기
에어로졸 흡입	적절한 호흡기 보호
피부와 의 직접적인 접촉	장갑(필요시 이중 장갑 착용), 실험복, 발을 다 감싸는 신발

13.4.1.2 아데노 관련 바이러스(Adeno-associated virus, AAV)

아데노 관련 바이러스는 감염성 인체 바이러스이나 이 바이러스로 유발된 질환으로 알려진 것은 없다. 몇몇 아데노 관련 바이러스는 일반인에게서도 흔히 발견되며, 이 바이러스는 숙주의 염색체로 끼어 들어갈 수 있다. 미국 NIH 지침에 따르면 'type 1부터 4까지, 그리고 재조합 AAV구조로 분류되며, 도입된 유전자가 발암성 유전자나 독성 물질을 코딩하고 있지 않고, 조력자 바이러스(helper virus)가 없는 경우 생산되는 AAV'는 대부분의 경우 생물안전 1등급으로 취급될 수 있다. 이 수준의 격리는 다른 고려 사항에 의해 수정 될 수 있다.

13.4.1.2.1 바이러스학(virology)

AAV는 parvoviridae과 dependovirus속에 속하는 바이러스 군으로서 가장 작은 바이러스의 하나이다. 지름이 20~25nm인 이십 면체이며 외가닥사슬 DNA 유전체와 단백질 capsid로 되어 있다. AAV는 감염성이 있는 인체 바이러스이나 이 바이러스가 원인으로 밝혀진 질환은 없다. 몇몇 아데노 관련 바이러스는 정상인에게서도 흔히 발견되며, 이 바이러스는 숙주의 염색체로 끼어 들어갈 수 있다. AAV는 복제되기 위해서는 야생 아데노바이러스나 허피스바이러스의 도움이 필요하며, 이들 helper virus가 없는 상태에서는 숙주세포의 유전체사이로 끼어 들어

가게 된다. helper virus와 같이 감염되면 숙주세포에 위해한 용균성 생활사(lytic cycle)로 들어가게 된다. 야생형 AAV는 인간 염색체 19q13.3-qter에 우선적으로 들어가게 되나, 재조합 벡터는 이러한 특성을 잃어버리고 무작위로 염색체에 끼어 들어가기 때문에 삽입돌연변이의 유발 가능성이 있다.

13.4.1.2.2 임상적 특징(clinical features), 역학(epidemiology) 그리고 치료(treatment)

야생형 AAV serotype 2의 경우 알려진 병원성이 없다. 명확히 보고된 사례는 없으나, 구강, 식도, 장 점막을 통해 감염되는 것으로 생각되고 있다. AAV에 특화된 치료방법은 없다.

13.4.1.2.3 생물안전사항

아데노 관련 바이러스는 Table 13-15와 같이 음식물 등의 통한 섭취, 점막 비말 노출, 직접적인 주사 등의 실험실 위험요소에 따라 BSC에서 실험하는 것 이외에 추가적으로 PPE를 착용해야 한다. 또한 1% 차아염소산나트륨, 2% 글루타르알데하이드, 0.25% sodium dodecyle sulfate 등의 소독제에 감수성이 있는 소독제를 사용해야 한다. 생물안전 1등급 또는 생물안전 2등급 실험실(helper virus가 존재 시)에서 취급해야 하며 동물에 사용 할 경우 동물이용 생물안전 1등급 실험실 또는 동물이용 생물안전 2등급 실험실(helper virus가 존재 시)에 수용해야 한다.

13.4.1.3 렌티바이러스(Lentivirus)(CMU, 2020)

렌티바이러스는 RNA 종양 바이러스의 일종으로 숙주의 염색체에 끼어 들 수 있으며, 분열하지 않는 세포를 감염시킬 수 있다. 이 바이러스는 숙주에 심각한 면역학적 그리고 신경학적 질병을 일으킬 수 있다. 렌티바이러스 벡터 시스템에는 시미안 바이러스(simian virus)와 인체 바이러스(human virus, HIV) 뿐 아니라 비인간 유래 바이러스(고양이 면역부전 바이러스; feline immunodeficiency virus, 말 전염성 빈혈 바이러스; equine infectious anemia virus 등)도 포함된다. 최근에 개발된 벡터는 유전자 재조합에 의해 감염성 바이러스가 될 가능성이 낮도록 디자인되어 있다. 보통 렌티바이러스 벡터는 의사형 외피 단백질(pseudotyped enveloped protein)로 싸여 있으며 가장 일반적인 외피 단백질은 소수포성 구내염 바이러스(vesicular stomatitis virus)로부터 유래된 단백질이다. 대부분의 경우 인간을 감염시킬 수 없는 비인간 렌티바이러스를 이용한 실험에는 생물안전 2등급이 적용되고, 시미안 바이러스나 인간 렌티바이러스(SIV, HIV)와 같은 바이러스를 이용하는 실험에는 더 높은 수준의 격리가 요구된다.

13.4.1.3.1 바이러스학(virology)

레트로바이러스과의 속으로 다양한 장기에 질병을 일으키는 비발암성 레트로바이러스로 이루어져 있으며 오랜 잠복기를 갖는다. 숙주에 따라 다섯 가지 항원형이 알려져 있고 HIV-1은 모식종(type species) 이다.

- 소 렌티바이러스(소 면역결핍 바이러스, 켈브라나 병 바이러스)
- 말 렌티바이러스(말 전염성 빈혈 바이러스)
- 고양이 렌티바이러스(고양이 면역결핍 바이러스)
- 양/염소 렌티바이러스(염소 관절염-뇌염 바이러스, 양 렌티바이러스, 비스나 (visna) 바이러스)
- 영장류 렌티바이러스 그룹
 - 인체 면역결핍 바이러스(HIV) 타입 1-3
 - 유인원 AIDS 레트로바이러스 SRV-1
 - 인체 T림프 영양성 바이러스 타입 I, II
 - 유인원 면역결핍 바이러스

현재 사용되고 있는 대부분의 렌티바이러스 벡터는 HIV 유래 벡터이다. 렌티바이러스의 시스와 트랜스(cis, trans) 작용요소는 별도의 플라스미드 벡터이며 트랜스 작용 요소에 의해 패키징(packaging)된다. 벡터 construct는 cis 구성요소, 패키징 서열, Rev 반응 구성요소(RRE), 도입유전자로 구성되며, 증식하거나 그리고 증식하지 않는 세포에 모두 감염이 가능하다. Lentiviral vector는 바이러스 복제에 필요한 유전자를 제거한 상태로 deletion 혹은 mutation 되어 완화된 상태에 있으나, 복제 가능한 상태로 전환될 가능성이 있다. 비록 이런 상황은 잘 일어나지 않지만, 실험실의 안전을 위하여 이러한 가능성을 배제 할 수 없다.

13.4.1.3.2 렌티바이러스 슈도타이핑(lentiviral pseudotyping)

HIV 외피의 당단백질을 소낭성 구내염 바이러스의 G 당단백질(VSV-G)로 교체하게 되면 벡터가 넓은 숙주 범위를 갖게 되고 바이러스 입자(particle)를 원심분리로 농축시킬 수 있게 된다.

13.4.1.3.3 임상적 특징(clinical features)

렌티바이러스의 발병학(병원론)으로 볼 때 몇 가지 주요 특징은 다음과 같다. 렌티바이러스는 숙주 염색체로 들어가거나 숙주의 면역계로 침투하여 평생 잠복한다. 이 바이러스는 자가 돌연변이를 잘 일으키고 면역세포(대식세포 그리고 HIV의 경우에는 T세포)를 감염시킬 수 있기

때문에 면역계로의 침투가 가능하다. 렌티바이러스는 자가 돌연변이를 일으킬 수 있다. 렌티바이러스는 복제, 돌연변이 할 수 있고 숙주 면역 반응을 피해갈 수 있다. 감염은 최소 3가지 단계로 진행된다.

- 최초(급성) 렌티바이러스 감염 시 바이러스는 빠른 속도로 복제되어 퍼져나가며 일시적인 질환을 일으킨다.
- 잠복기에는 바이러스는 면역제어를 받아 질환은 발생하지 않는다.
- 바이러스 복제가 빠르게 활성화되고 몇 번에 걸쳐 재개되면 질환을 일으킨다.

13.4.1.3.4 역학(epidemiology)

감염된 사람의 체액(피, 정액), 성적 접촉, 깨끗하지 않은 바늘을 공유하는 것과 같은 직접적인 노출에 의해 사람에서 사람으로 옮겨진다. 태반을 통한 전염도 가능하다.

13.4.1.3.5 생물안전사항

렌티바이러스 벡터는 Table 13-15와 같이 눈, 코, 입 점막 또는 피부와의 직접적 접촉, 우발적 비경구 주사, 농축 에어로졸 물질의 흡입 등의 실험실 위험요소에 따라 BSC에서 실험하는 것 이외에 추가적으로 PPE를 착용해야 한다. 또한 1% 차아염소산나트륨, 2% 글루타르알데하이드, 폼알데하이드, 에탄올 등의 소독제에 감수성이 있는 소독제를 사용해야 한다.

13.4.1.3.6 실험실에서의 사용

렌티바이러스 벡터와 관련된 작업은 반드시 생물안전 2등급 실험실에서 행해져야 하고 IBC의 절차를 따라야 하며 반드시 실험 시작 전에 승인을 받아야 한다. 연구책임자는 생물안전 2등급 실험실 설치운영기준에 맞는 실험을 디자인 하고, 승인 받은 시설에서 실험을 수행하여야 한다. 렌티바이러스 벡터를 다룰 때는 다음과 같은 안전한 도구가 권장된다.

- 생물안전작업대(BSC Class II)
- 에어로졸이 최소화된 원심분리기 로터/안전캡
- Vacuum lines은 in-line HEPA filter 와 10% bleach 용액이 섞인 vacuum flash

13.4.1.3.7 설치류에 사용

- 접종: ABL2에서 수행함
- 2차 방지 내에 동물 수술지역으로 벡터 등 이동함

- BSC 내에서 동물에게 접종한다. 이중 장갑과 보호가운을 포함한 적절한 PPE를 착용. 동물 마취 시에 puncture resistant 장갑을 사용함
- 안전하게 설계된 바늘 또는 needleless 시스템을 사용함
- 모든 작업대는 자주 소독함
- 케이지와 오래된 깔짚은 멸균하고 깔짚은 폐기물 전용용기에 모으고 소각함

접종된 동물들은 “not doing well” 또는 아픈 상태임을 표시하고 모니터 해야 한다. 이러한 동물에 대한 적절한 행동은 연구책임자와 상의하며 관리수의사에 의해 결정하도록 한다. 렌티바이러스로 동물실험을 시작하기 전에, 연구자와 동물 관리자는 기관생물안전위원회에 승인을 받아야 하며, 적절한 생물안전과정이 수행되기 위해 BL2 이상의 시설과 생물안전관리자의 안전관리가 요구된다.

13.4.1.3.8 설치류 외 동물 사용

실험동물에 따라 개별적으로 평가할 것이고, 실험 시작과 고려전에 IBC에 문의한다.

13.4.1.3.9 행정적 규제(administrative controls)

렌티바이러스 벡터는 생물안전 교육을 받은 숙련된 사람만이 다룰 수 있다(이론 및 실습). 실험실은 반드시 생물위해표시(biohazard mark)를 부착해야 한다. 계획절차에 대한 SOP를 반드시 적고 실험실에 항상 구비해 두어야 한다.

13.4.1.3.10 특별 사용수칙

- 렌티바이러스 벡터에 노출된 세포들은 입증된 절차에 의해 불활성화된 상태에서만 실험실에서 제거 할 수 있다.
- 배양이 필요한 경우, 에어로졸 발생을 최소화해야 한다. 이것은 BSC class II 안에서 수행할 것을 권장한다.
- 샘플을 파이펫팅 혹은 부을 때, 천천히 부드럽게 하며, BSC class II 안에서 수행할 것을 권장한다.
- 날카로운 것을 실험에 사용할 때에 주의가 필요하다. 가능하면 그러한 도구를 실험에 사용하지 않도록 하는 것이 좋다. 바이러스 펠렛을 수거 할 때나 렌티바이러스에 감염된 세포를 배양할 때에는 날카로운 것 (바늘과 pasteur 파이펫)을 사용하지 말고 유리 pasteur 파이펫 대신 플라스틱 aspiration 파이펫을 사용한다.

- aspiration는 살균에 견디는 접하지 않은 튜브를 사용한 second vacuum 플라스크가 backup으로 연결된 플라스틱 vacuum 플라스크를 사용한다.

13.4.1.3.11 오염 제거/세정 절차

렌티바이러스 벡터와 접촉한 모든 물질은 폐기 전에 1:10 bleach 용액을 사용하여 소독하여야 한다. 모든 작업의 표면도 매번 일이 끝날 때와 하루 작업이 끝날 때 1:10 bleach 용액으로 소독해야한다(오염제거를 위해서는 15분 정도 접촉해야 함).

13.4.1.3.12 폐기물 처리 절차

- 날카롭지 않은 폐기물은 모든 배양관련 및 세포와 연관된 도구들은 폐기물 전용용기에 버리기 전에 소독되고 멸균되어야 한다.
- 날카로운 폐기물은 모든 바늘, 주사기, 면도기, 메스, pasteur 파이펫, 파이펫 팁 등은 승인된 puncture resistant sharps container에 버려야 한다. sharps container 는 2/3 이상 채워지지 않도록 한다.

13.4.1.3.13 상처 및 노출 사고 절차

- splash 혹은 에어로졸에 의해 눈 등의 점막 부분의 노출의 경우: 눈 세척장비를 사용하여 15분 이상 물로 씻어낸 뒤 연구책임자에게 즉시 연락한다.
- 피부에 오염된 경우: 비누 등을 이용하여 15분 이상 물로 씻어 낸 뒤 연구책임자에게 즉시 연락한다.
- 날카로운 물질에 찔렸을 경우: 비누 등을 이용하여 15분 이상 물로 씻어 낸 뒤, 즉시 연구책임자에게 연락한다. 사고경위보고서를 작성하고 해당 연구책임자에게 제출하며 또한 노출 24시간 안에 IBC로 연락한다.

13.4.1.3.14 유출물 처리 절차

- 일단 멈추고 다른 사람들에게 알리고 그 구역을 구분한다.
- 적절한 PPE를 착용한다(실험복, 장갑, 눈과 얼굴 가리개).
- 스쿱이나 겹자를 이용하여 단단하고 puncture resistant container 안으로 유리 및 덩어리를 제거한다.
- Small spills- place paper towels를 bleach에 적서 옆지른 곳에 바로 올리고 20분 동안 스며들게 한다.

- 그 지역을 닦아낸 뒤 폐기물 전용용기에 타올을 버린다.
- 옆지른 지역이 완전히 깨끗해 질 때까지 bleach에 적신 페이퍼 타올로 계속 닦아 낸다.
- 모든 유출 처리물품을 폐기물 전용용기에 버린다.
- 손을 깨끗이 닦는다.

13.4.1.4 쥐백혈병바이러스(Moloney murine leukemia virus, MMLV)

재조합 MMLV 벡터의 숙주 범위는 바이러스 외피의 특이성에 의존한다. Ecotropic(동종지향성) 외피 유전자는 설치류 세포만 감염시키는 입자를 생성한다. Amphotropic 외피 유전자는 인간 세포를 포함하여 murine 및 non-murine 세포의 감염을 허용한다. VSV-G 외피는 광범위한 포유류 및 비 포유류 세포에서 감염을 허용한다. MMLV의 취급은 BL2 시설이 적합하지만, 재조합된 유전자에 따라 더 높은 수준의 생물안전 시설이 필요할 수 있다.

13.4.1.4.1 바이러스학(virology)

MMLV는 레트로바이러스과의 gammaretrovirus속으로 분류되며 쥐에서 백혈병을 유발하는 현상을 보여 쥐백혈병 바이러스로 명명되었다. MMLV는 직경 100nm의 정이십면체 외피를 보유하고 있으며 RNA 유전체로 구성되어있다. MMLV는 분열하는 세포에만 감염되며 숙주의 세포질에서 역전사 반응을 통하여 DNA를 합성하고 게놈에 삽입되어 DNA 프로바이러스 형태로 존재한다. MMLV는 본래 설치류 세포에만 감염되지만 외피에 VSV-G 단백질을 발현시킬 경우 설치류 외에 포유류 및 비포유류 세포로의 감염이 가능해진다. 스스로 복제 가능한 레트로 바이러스의 만성적인 감염은 삽입 돌연변이를 일으켜 세포의 변이와 종양을 발생시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한 삽입되는 유전자의 종류에 따라 그 위험성이 증가될 가능성이 있다.

13.4.1.4.2 임상적 특징(clinical features), 역학(epidemiology) 그리고 치료(treatment)

임상적 특징은 현재까지 보고된 바 없다. MMLV는 분열하는 세포에만 감염되며 쥐에서는 혈액을 통하여 모체에서 태아로 감염된다. 생식세포의 감염에 의해서도 전파될 가능성도 있다. 인체에 감염을 일으키기 위해서는 슈도타이핑된 바이러스의 직접 주사가 필요하다. 권장되는 치료법은 없다.

13.4.1.4.3 생물안전사항

MMLV는 Table 13-15에서와 같이 감염 72시간 이내에 동물의 대소변에 의한 접촉, 감염된 동물의 조직이나 체액과의 접촉, 바이러스의 직접 주입, 삽입 돌연변이(발암유전자 또는 잠재적

발암유전자의 삽입) 등의 실험실 위험요소에 따라 BSC에서 실험하는 것 이외에 추가적으로 PPE를 착용해야 한다. 또한 1% 차아염소산나트륨, 2% 글루타르알데하이드, 폼알데하이드, 에탄올 등의 소독제에 감수성이 있는 소독제를 사용해야 한다. BL1 실험실(동종지향성, ecotrophic) 또는 BL2 실험실(슈도타이핑 바이러스, 독소 및 발암 유전자 함유)에서 취급해야 하며 동물에 사용할 경우 ABL1(동종지향성) 실험실 또는 ABL2(숙주의 범위가 넓거나, amphotropic, 또는 슈도타이핑 된 바이러스) 실험실에서 수행해야 한다.

13.4.1.5 엡스타인-바 바이러스(Epstein-barr virus, EBV)

EBV라고도하는 Epstein-Barr 바이러스는 헤르페스 바이러스 제품군의 구성원이며 가장 일반적인 인간 바이러스 중 하나이다. 이 바이러스는 전 세계적으로 발견되며 대부분의 사람들은 평생 동안 EBV에 감염된다. EBV는 형질 전환 바이러스이며 종종 불멸화된 세포주를 생성하는데 사용된다. 대부분 BL2 시설에서 수행하는 것이 적절하다.

13.4.1.5.1 바이러스학(virology)

EBV는 이중나선 DNA의 유전체를 보유하고 있으며 정이십면체의 외피를 보유하고 있다. EBV는 헤르페스 바이러스 과에 속하며 흔하게 발견되는 B림프구 친화성 바이러스이다. EBV는 여러 종양세포에서 발견되어 왔고 B림프구를 불멸화시킬 수 있으며 여러 동물 모델에서 림프종을 유발하는 능력이 확인되었다.

13.4.1.5.2 임상적 특징(clinical features)

- 전염성 단핵증: 급성 바이러스 증상으로 발열, 인후염, 비장종대,
- 임파선염: 1주~수주유지, 치명적일 확률은 낮음.
- 버킷 림프종: 주로 어린이에서 나타나는 단클론성 B림프종으로 턱에 주로 발병함; AIDS 환자에서는 25~30%가 EBV와 연관되어 발병함.
- 비인두암: 20~40세 성인에서 발병하는 인두 상피세포의 악성종양.

13.4.1.5.3 역학(epidemiology) 및 치료(treatment)

EBV는 전 세계 성인의 80~90%가 감염되어 있으며 전염성 단핵증은 선진국 청년층에서 호발하는 질환이다. 버킷 림프종 또한 전 세계적으로 발병하지만 열대 아프리카와 같은 말라리아 유행지역에서 더 높은 발병률을 보인다. 비인두암 또한 전 세계적이지만 동남아시아와 중국의 발병률이 가장 높다. 전염성 단핵증은 침을 통한 구강인두경로의 직접감염 및 수혈로 인한

전염 가능성 있다. 버킷 림프종의 경우 초년기에 EBV의 감염 후 면역 억제나 EBV의 재활성화로 인하여 발병되며 말라리아가 중요한 보조인자이다. 비인두암 또한 초년기의 EBV 감염 후 재활성화 및 상피 침투와 관련되어 있다. 특별한 치료법이 없다.

13.4.1.5.4 생물안전사항

EBV는 Table 13-15에서와 같이 섭취, 주사, 점막을 통한 노출, 에어로졸 흡입, 세포주들이 EBV에 의한 변이 등의 실험실 위험요소에 따라 BSC에서 실험하는 것 이외에 추가적으로 PPE를 착용해야 한다. 또한 1% 차아염소산나트륨, 2% 글루타르알데하이드, 폼알데하이드, 에탄올 등의 소독제에 감수성이 있는 소독제를 사용해야 한다. BL2 실험실에서 취급해야 하며 동물에 사용 할 경우 동물이용 생물안전 실험실에서 수행해야 한다.

13.4.1.6 헤르페스 바이러스(Herpes virus)

헤르페스 바이러스에는 가장 일반적으로 사용되는 벡터 시스템인 Herpes simplex virus-1 (HSV-1)과 같은 감염성 인간 바이러스가 포함된다. HSV-1은 일반 인구에서 흔하지만 드물게 뇌염을 일으킬 수 있다. 벡터 시스템으로서의 유용성은 광범위한 숙주 세포 범위, 뉴런을 형질 도입하는 능력 및 큰 삽입 용량에 기인한다.

13.4.1.6.1 바이러스학(virology)

헤르페스 바이러스는 헤르페스 바이러스과에 속하며 이중나선 구조의 선형 DNA 바이러스이다. 직경 110~200nm의 정이십면체 지질 외피를 보유하고 있으며 Herpes simplex virus(HSV)는 면역학적으로 1형과 2형으로 분류된다. HSV에서 유래하는 벡터는 넓은 범위의 숙주 선택성을 나타냄으로써 대부분 척추동물의 거의 모든 세포종류에서 감염이 가능한 것으로 알려져 있다. 헤르페스 바이러스 벡터는 분열 후의 신경세포에 감염 가능한 성향을 보유하여 신경계 유전자 치료 벡터로서 높은 관심을 받고 있다.

13.4.1.6.2 임상적 특징(clinical features)

- HSV-1 일차 감염의 대표적인 질환은 헤르페스성 치은구내염이다. 구강점막에 발생하며 일차 감염은 대부분 경미하고(10% 정도는 중증임) 어린 시절에 나타난다.
- 바이러스의 잠복감염 활성화의 결과로 물집 또는 단순포진이 얼굴과 입술 주위에 나타나며 수일 내로 가라앉는다. 중추신경계에 감염된 경우 치료하지 않을 시 치사율이 70%에 이르기도 한다.

- 급성 인두편도염 원인의 2%정도를 차지한다.
- HSV-2의 대표적인 감염증은 음부포진으로서 성관계를 통하여 전파되며 분만 시 신생아에 전염되어 무균성 수막염을 일으켜 뇌염과 사망의 원인이 될 수 있다.
- HSV-1, 2 모두 생식기관이나 구강점막을 통하여 전염될 수 있다.

13.4.1.6.3 역학(epidemiology) 및 치료(treatment)

HSV-1는 보균자의 침에 의한 접촉, 의료진의 손을 통해서 감염되며, HSV-2는 일반적으로 성관계를 통하여 전염, 증상이 없거나 있는 환자의 감염성 분비물에 의해 감염될 수 있다. 바이러스는 회복 후에도 타액에서는 7주까지, 생식기 병변에서는 7~12일 까지 분비된다. 생식기나 구강의 증상 없이 일시적으로 바이러스를 분비하는 것이 일반적이다. 잠복바이러스의 재활성화는 과도한 햇빛 노출, 열, 신체적 또는 감정적 스트레스, 음식, 항암요법제와 같은 약물에 의해 유발된다. HSV는 점막부위에서 간헐적으로 수년간 방출되며 이러한 현상은 평생 이어질 수 있다.

HSV는 상피나 점막의 직접적인 접촉에 의해 전염되며 대략적으로 성인의 50~90%가 HSV-1 항체를 보유하고 있다. 성인의 20~30%는 HSV-2 항체를 보유하고 있다. 바이러스의 잠복 후 재활성화 경로는 많이 연구되지 않았다. HSV 벡터를 감염시킬 경우 야생형 바이러스를 재활성화시킬 가능성이 있으며, 바이러스의 재활성화 환경이 지속될 경우 복제 불가능하도록 제작된 벡터의 복제능력이 회복될 가능성이 있다. 치료약은 증상완화를 위한 항바이러스제가 있다.

13.4.1.6.4 생물안전사항

헤르페스 바이러스는 Table 13-15와 같이 섭취, 주사, 액체의 눈 코 구강점막을 통한 노출, 농축된 에어로졸 흡입 등의 실험실 위험요소에 따라 BSC에서 실험하는 것 이외에 추가적으로 PPE를 착용해야 한다. 또한 1% 차아염소산나트륨, 2% 글루타르알데하이드, 폼알데하이드, 에탄올을 포함한 요오드 용액 등의 소독제에 감수성이 있는 소독제를 사용해야 한다. BL2 실험실에서 취급해야 하며 동물에 사용할 경우 ABL1시설(amplicon³⁶⁾만 사용할 경우) 또는 동물이용 생물안전 실험실에서 수행해야 한다.

13.4.2. 세포주와 생물안전 정보(HKU, 2016)

세포주는 줄기 세포(induced pluripotent stem cell), 종양 세포주, 바이러스 또는 세균 플라스미드

36) 「amplicon」은 증폭산물이라고 부르며 자연적 또는 인위적으로 증폭(amplification)된 DNA 조각을 말한다.

(bacterial plasmid) 벡터를 이용하여 제작한 세포 등이 있다. 세포주를 취급하는 실험실에서 주사 바늘 찔림 사고에 의해 인간 종양 세포주가 인체에 감염되어 종양이 자란 사례와 암의 이식 중에 사람 사이에 전이되었다는 보고가 있다. 세포주로부터 종양 세포의 성장은 건강한 개인에게는 가능성이 높지 않지만 면역 체계가 손상된 사람은 위험할 수 있다. 이러한 세포주 사용에도 세포 형태에 따라 필요한 격리 수준과 생물안전수칙을 준수해야 한다(Table 13-16).

Table 13-16. 세포 배양 실험 시 생물안전수칙(Geraghty RJ *et al.*, 2014; HKU, 2016)

위험요소(hazard)	세포 유형(cell type)	격리 수준(containment)
저위험	실험자에게 명백한 해를 끼치지 않는 내인성 생물학적 작용제 및 감염 위험이 낮은 인간 또는 영장류 기원의 세포주	생물안전 1등급(BL1)
중간위험	내인성 생물학적 작용제의 고 위험성이 제외되거나 약독화된 인간 또는 영장류의 유래 cell lines/strains(혈액 매개 바이러스)	생물안전 2등급(BL2)
고위험	내인성 생물학적 작용제를 포함하고 있는 세포주 또는 의도적으로 감염되어진 세포	생물체에 적합한 격리 수준 (HIV에 감염된 T 세포는 생물안전 3등급 격리 수준 필요)
	인간 또는 유인원(simian)의 혈액 유래 primary cell 또는 lymphoid cell	위험성에 적절한 격리 수준
세포주 실험 시 생물안전수칙(biosafety procedure) • 기관 생물안전 규정 및 안전수칙 숙지 • 인체 조직 시료를 잠정 감염성 물질처럼 취급 • 실험 시작하기 전에 모든 유형 실험실 폐기물 적정 처리 확립 • 실험자 모두 안전교육 이수 • 공인 검증된 기관의 배양액과 시약(혈청 등) 구입 • 모든 배양액과 시약의 상품 번호 기록 • 모든 일상적인 실험실 절차에 대해 SOP를 설정 • 실험실 장비(BSC, 배양기, 고압증기멸균기 등)의 정상 작동 상태 확인 • 실험 전 역상 현미경으로 세포 검사(일상적인 배양을 위해 매일 세포 검사 등)		

13.4.3. 바이러스 벡터와 세포주의 생물안전 종합사항

유전자재조합 기술이 인간에게 적용됨에 따라 생물안전 문제가 최전방에 있다. 그러므로 현대의 복잡해져 가고 있는 벡터 시스템을 잘 이해해야 한다. 이에 최적의 벡터 선택과 사전 위해성평가를 통한 모든 위험요소를 파악하고 바이러스 벡터 관련 생물안전수칙을 준수함으로써 안전이 확보 되어져야 한다(Jonathan YR, 2000; Diane OF, 2006).

Lentiviral vector, Sendaiviral vector 그리고 Adenoviral vector와 같은 바이러스 벡터를 이용하는 일부 실험자는 대부분 상업적으로 자가복제 검사(replication competency testing, RCT)가 검증된 제품을 구매(ViraPower™ Lentivirus Expression System; Invitrogen, AdEasy™ Adenoviral Vector System; Stratagene 등) 하여 사용하고 있다.

바이러스 벡터 제품은 자가복제 기능이 삭제되어 안전하다고 생각 될 수 있지만 바이러스 전문가에 의하면, Lenti, Adeno, Sendai viral vector에 의해서 생산되는 바이러스입자는 다양한 세포에 쉽게 형질도입(transduction)이 될 수 있고 이에 따라 삽입된 유전자에 의해 발현되는 산물이 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 또한 삽입된 유전자 산물이 발현되어 세포에 사소한 영향을 미칠 수도 있지만 종류에 따라 생식계열(germline)에 삽입되어 후손까지 전달될 수 있는 등 심각한 영향을 미칠 수도 있어 이와 같은 이유로 바이러스 벡터를 이용하여 생산되는 입자들을 이용하는 전체 과정을 통해 사용자 또는 실험자가 노출되지 않도록 주의가 필요하다(Table 13-17). 세포주 이용에도 관련 안전 지침을 준수하여 이용자 또는 실험자 보호 그리고 주변 환경오염에 의한 이차 확산 방지 등의 기본적인 개념으로 안전을 확보하여야 한다.

Table 13-17. 바이러스 벡터 사용 시 주의 사항(UK, 2006; 일부수정)

바이러스 벡터	위험군	생물안전등급		주의 사항	소독제
		<i>in vitro</i>	<i>in vivo</i>		
아데노바이러스 (Adenovirus)	2	BL2+	ABL2*	아데노바이러스 벡터를 동물에 주입 시 반드시 BL2 실험실에서 수행해야 한다. * 아데노바이러스 주입 후 72시간 동안은 ABL2 실험실에서 수행해야 한다.	0.5%~1% 차아염소산나트륨(sodium hypochlorite)이 효과적이다. 알코올은 아데노바이러스의 소독제로 적합하지 않다.
아데노 관련 바이러스 (Adeno-associated virus)	2	BL1/ BL2*	ABL1 /ABL2*	* 아데노 관련 바이러스를 만들 때는 반드시 BL2 실험실에서 수행해야 하며, 만들어진 바이러스는 BL1 실험실에서 사용할 수 있다. * 아데노 관련 바이러스가 주입된 동물은 ABL1 실험실에서 수행할 수 있으나, 조력자 바이러스(helper virus)가 존재 시 ABL2 실험실에서 수행해야 한다.	0.5%~1% 차아염소산나트륨(sodium hypochlorite)이 효과적이다. 알코올은 아데노 관련 바이러스의 소독제로 적합하지 않다.
레트로바이러스/렌티바이러스 (Retrovirus/Lentivirus)	2	BL2+	ABL2*	렌티바이러스 벡터를 동물에 주입 시 반드시 ABL2 실험실에서 수행해야 한다. * 렌티바이러스 주입 후 72시간 동안은 ABL2 실험실에서 수행해야 한다.	0.5%~1% 차아염소산나트륨(sodium hypochlorite)이 효과적이다.
레트로바이러스/쥐백혈병 바이러스 (Retrovirus/murine leukemia virus)	1/ 2	BL1/ BL2*	ABL1/ ABL2*	* 동종지향성 쥐 레트로바이러스는 BL1/ABL1 실험실에서 취급 할 수 있다. 숙주의 병위가 넓거나 슈도타이핑된 쥐 레트로바이러스의 경우, 바이러스 주입 후 72시간 동안 반드시 BL2/ABL2 실험실에서 수행해야 한다.	0.5%~1% 차아염소산나트륨(sodium hypochlorite)이 효과적이다.
엡스타인-바 바이러스 (Epstein-Barr virus)	2	BL2	ABL2	엡스타인-바 바이러스 벡터를 동물에 주입 시 반드시 ABL2 실험실에서 수행해야 한다. 엡스타인-바 바이러스 주입 후 반드시 ABL2 실험실에서 수행해야 한다.	0.5%~1% 차아염소산나트륨(sodium hypochlorite)이 효과적이다.
헤르페스 바이러스 (Herpes virus)	2	BL2	ABL2	헤르페스 바이러스 벡터를 동물에 주입 시 반드시 ABL2 실험실에서 수행해야 한다. 헤르페스 바이러스 주입 후 반드시 ABL2 실험실에서 수행해야 한다.	0.5%~1% 차아염소산나트륨(sodium hypochlorite)이 효과적이다.

13.5 진균 실험 시 요구되는 생물안전수칙

지금까지 알려진 진균에 의한 LAI의 원인 병원체는 이상성 진균(두형태 곰팡이, dimorphic fungus), 피부사상균, *Sporothrix schenckii*, *Cryptococcus neoformans* 등이 있다. 감염 경로는 접촉에 의한 표재성 감염이 산발적으로 보고되기는 하지만, 대부분 이상성 진균의 감염성 분생자(cinidia)를 흡입함으로써 발생하는 호흡기 감염의 경우이다. 이상성 진균에는 *Blastomyces dermatitidis*, *Coccidioides immitis*, 및 *Histoplasma capsulatum*이 주요 병원체이고, 미국에서 발생하는 진균에 의한 LAI의 가장 흔한 원인이다. 이상성 진균은 특정 지역의 자연계에 서식하면서 호흡기 감염과 같은 심부 감염을 일으키지만, 국내에서는 자연계에 거의 분포하지 않고 드물게 해외 유입 감염의 형태로 발생하고 있다. 그러나 국가 간 이동이 급격하게 증가하고 있고 기후 등의 자연 환경도 변화하고 있으므로, 감염원에 노출 시의 주의 사항을 숙지할 필요가 있다.

비토착지역의 검사실에서 발생한 *Coccidioides* 검사실 노출사례

2017년 8월, 칠레의 임상 미생물검사실(BL-2, 검사건수 150,000 건 이상/년)에서 20세 남자 환자의 기관지폐포세척액(bronchoalveolar lavage)의 배양이 의뢰되어 BSC Class II에서 배양을 위한 검사가 진행되었다. 35°C에서 배양 7일 후 사상형 진균(mould)이 자라기 시작하여 25°C와 35°C에 각각 계대배양을 시행하였다. 배양 13일째 일차 배지에서 흰색 솜털모양의 집락이 자라 현미경으로 격막이 있는 균사(septate hyphae)와 분절포자(arthroconidia)가 관찰하였고, 배양 17일째 MALDI-TOF MS 방법으로 *Coccidioides immitis*로 동정되었다. 예상하지 못했던 결과에 직면하여, 검사실에서는 환경오염과 검사실 직원의 노출을 통제하기 위하여 아래 단계의 과정을 수행하였다.

- 1) 응급 회의 소집
- 2) 검사실 직원과 외부 용역 청소담당자에게 구두와 서면으로 사건정보 전달
- 3) 환경 통제: 에어컨 정지, 미생물검사실 폐쇄, 노출된 모든 영역의 철저한 청소와 소독(10% 염소 용액), 배양배지 등 밀봉
- 4) 임상 역학정보를 얻기 위하여 주치의에게 연락
- 5) 검사실 노출과 진단에 관한 정보를 위해 국내외 문헌 검색과 국제 센터 등에 조연 요청
- 6) 검체와 관련된 모든 행위의 타임 라인 재구성(일시, 위치 등)
- 7) 노출자 관찰: 혈액 채취(노출 시와 6주 후), 임상적 추적 관찰(6개월까지)
- 8) 고위험 노출자에게 예방적 투약 권고: 6주 동안 항진균제(fluconazole 400 mg/일) 투여

*C. immitis*는 미국 남서부에는 토착화된 진균으로 임상 검체에서 분리될 가능성과 경험을 가지고 있지만, 칠레와 같은 비토착 지역에서 예상하지 못한 상황에서 검사실에서 배양되어 검사실 직원들이 이 균에 노출된 경우였다. 총 44명의 직원이 노출된 것으로 조사되었고, 이중 4명(의사, 검사실 직원, 기술자, 청소원)은 고위험 수준으로 노출되었다.

고위험 노출자 모두 6주 동안 예방적 항진균제를 투여하였고, 모든 노출자에서 감염은 발생하지 않았다. 그러나 일시적인 일상 업무 중단, 비용, 불안감, 항진균제 투여로 인한 불편함 등이 발생하였다.

결론적으로 이번 노출 사고를 통하여 이 검사실에서는 생물안전 조치가 수정, 강화되었고, 이를 전 직원이 재교육을 받는 계기가 되었다(J Hosp Inf 2019;102:461-464).

국내에서도 미국 로스엔젤리스의 교포가 호흡기 증상을 치료하기 위하여 귀국하여 *C. immitis*가 분리된 경우가 있다. 이 균은 BSC Class III에서 검사를 진행하여야 하며, 배양 후 4일부터 분절포자를 생성하기 시작하여 7-10일에 최대에 달하는 것으로 알려져 있다.

만약 검사실에서 노출된다면 인지하는 즉시 실험복을 벗고 가능한 한 호흡을 참은 채 노출된 장소를 벗어나서 대피하여야 한다. 노출된 장소의 문과 창문은 최대한 밀봉하고 환풍기는 끄고, 이후 오염된 장소는 보호복을 입은 건강한 직원이 비누와 소독제로 오염원을 제거하여 고압 멸균한다. 노출된 피부는 즉시 비누로 철저히 씻어낸다

13.6 기생충 실험 시 요구되는 생물안전수칙

실험실 안전은 실험실 내 실험 수행의 모든 절차와 시설에 대한 유해요소를 검토하고, 안전관리 항목과 잠재적 유해성에 대하여 안전성과 운영 효과 향상을 위한 조치사항을 규정한다. 기생충의 감염단계를 다루는 실험 작업 시 보호 장비 및 시설을 사용하기를 권장한다.

실험할 때는 항상 실험복을 착용한다. 실험 중에 혹은 실험을 마치고 사무실로 들어갈 때에는 착용했던 실험복을 탈의하고 손을 세척한 후 입실한다. 일반구역인 사무실, 복도, 회의실, 화장실 등을 출입할 때에는 실험복, 장갑 등 실험 중에 착용한 PPE를 반드시 탈의한다. 실험복은 평상복과 구분하여 별도의 장소에 보관 및 관리한다.

본 장에서는 기생생물에 따라 조직과 기관이 발달한 후생동물인 기생연충류와 단세포 단위로 구성되어 있는 원생류로 나누어 설명을 하고자 한다.

13.6.1. 기생연충류에 대한 실험실 안전

실험실 안전에 위협 요인이 되는 기생충 중 연충류(Helminth)에는 크게 선충류(회충, 고래회충, 개회충, 구충류, 편충, 선모충, 분선충, 요충), 흡충류(간흡충, 폐흡충, 장흡충류, 주혈흡충) 및 조충류(유구조충, 무구조충, 아시아조충, 동해열두조충, 만손열두조충, 왜소조충, 쥐조충, 단방조충, 다방조충) 등이 포함된다.

13.6.1.1. 선충류에 대한 실험실 안전

실험실 안전에 위협을 초래하는 선충류로는 회충(*Ascaris lumbricoides*), 고래회충(*Anisakis*

simplex), 개 및 고양이 회충(*Toxocara* spp.), 브라질구충(*Ancylostoma braziliense*), 개구충(*A. caninum*), 편충(*Trichuris trichiura*), 분선충류(*Strongyloides* spp.), 요충(*Enterobius vermicularis*), 선모충류(*Trichinella* spp.), 사상충(*Wuchereria bancrofti* and *Brugia* spp.) 등이 있다. 실험자는 이 선충들의 각 발육단계 중 감염형 충란 및 유충을 실험에 사용할 때 주의해야 한다.

13.6.1.1.1. 실험실 감염

구충류, 회충류, 요충 및 분선충류 등의 실험실 감염이 종종 보고되었다(Herwaldt, 2001) (Herwaldt, 2006) (Pike 1976). 회충 및 동물 회충류의 다양한 항원 성분에 대한 알레르기반응은 민감한 사람에게 위해가 될 수도 있다. 선충류의 실험실내 감염은 무증상적일 수도 있지만 감염 충충 및 숙주내 감염부위에 따라 임상증상 발현의 범주가 다양하게 나타날 수도 있다. 동물 구충류 감염은 피부에 피내이행증 또는 포행진으로 나타난다. 회충류 감염은 유충의 폐이행으로 인해 기침, 발열 및 폐렴 등의 증상이 나타나고 소장내 회충 성충의 감염은 복부 팽만, 설사 및 변비 등의 증상을 야기한다. 인체에서 요충은 일반적으로 항문주위 가려움증을 야기하고 동물 분선충은 유충피내이행증을 유발할 수 있다.

개 및 고양이 구충 감염은 전 세계적으로 널리 유행한다. 인체 감염은 이들 동물 구충의 제 3기 유충이 피부를 뚫고 들어올 때 야기되며 유충피내이행증 또는 사행성 포행진 형태의 병소로 나타난다. 구충의 유충이 입으로 섭취되었을 때도 물론 감염될 수 있다. 개구충이 아주 드물게 인체 장내에서 비수태 성충으로 발육하는 경우가 있지만 통상적으로 개구충의 유충은 인체 장내에 정착하지 못한다. 회충 감염은 감염형 충란(embryonated egg)을 우연히 섭취함으로써 이루어진다. 대변으로 배출된 미성숙 충란이 2-3주 후에 감염형으로 발육하며 자연환경 속에서 생존력이 매우 강하다. 요충은 전 세계적으로 널리 분포하며 성인에서 보다는 학령기 아동들에서 높은 감염률을 나타내는 경향이 있다. 요충 감염도 감염형 충란을 섭취함으로써 이루어지는데 항문주위 가려운 피부를 긁은 오염된 손가락을 통하여 충란이 입으로 들어가는 경우가 가장 빈번하다. 요충은 감염 기간이 비교적 짧은(평균 60일) 편이나 재감염으로 인하여 지속적인 감염이 유지된다. 동물 분선충 감염도 전 세계적으로 널리 유행한다. 감염형인 사상 유충이 사람의 피부를 뚫고 들어올 때 감염되며 유충피내이행증 또는 사행성 포행진으로 발전한다. 선모충은 감염 동물의 근육을 날로 또는 부적절하게 익혀 먹었을 때 감염된다. 감염 초기에는 유충이 소장내에서 발육하여 성충이 되고 암.수 성충이 교미한 후 유충을 산출하는 시기로 식중독과 비슷한 증상이 나타난다. 그 후 유충이 혈류를 타고 근육내로 옮겨가 정착하는 시기에는 발열, 오한, 근육통 등과 같은 몸살증상이 나타난다. 실험실내에서 선모충의 충충을

유지하면서 감염실험을 위해 인공소화법으로 유충을 수집하고자 할 때 유충이 함유된 동물근육이 절구에서 튀어서 우연감염이 발생할 수 있다. 사상충은 감염된 매개 모기에 물려서 감염된다. 실험실내에 모기 사육실을 두고 감염실험을 포함한 여러 가지 실험조작을 할 때 우연히 감염될 수 있다.

13.6.1.1.2. 실험실 안전 및 권장사항

대부분의 선충류 충란 및 유충은 신선변 내로 배출되었을 때는 감염력이 없다. 이들 충란 및 유충이 감염형으로 발육하는데는 하루에서 여러 주일이 걸린다. 감염형 충란의 섭취 또는 감염형 유충의 피부 침입은 실험실 종사자와 동물관리자에게 주요한 위해가 된다. 회충류의 공기 중 항원에 자주 노출되는 실험실 종사자는 과민반응이 발병하는 경우가 흔하므로 눈, 코, 입 점막이 이런 항원에 노출되지 않도록 보호장구를 착용해야 한다. 회충류 충란은 끈적 끈적하기 때문에 오염된 실험 테이블과 장비를 완벽하게 깨끗이 하는 특별한 조치를 취하여야 한다. 회충류 충란은 포르말린 용액내에서도 생존력을 유지하면서 계속 감염형으로 발육하기 때문에 포르말린 고정 대변검체를 다룰 때도 주의하여야 한다 (Ash, 1991). 회충류 충란을 죽이는 가장 확실한 방법은 70℃ 이상의 고온수로 씻는 것이다.

개, 고양이 회충 및 *Baylisascaris* spp. 등과 같은 회충류의 감염형 충란을 다루는 실험실 종사자는 감염 시 눈과 중추신경계 침입을 포함한 유충내장이행증 발병 가능성이 있으므로 주의하여야 한다. 분선충은 면역억제된 사람에서 생명을 위협하는 전신성 중감염이 발생할 수 있기 때문에 특별히 주의하여야 한다. 요오드액(Lugol's iodine)이 선충류의 감염형 유충에 대해 살충효과를 나타내므로 오염되었을 때 피부나 실험실에 뿌리면 효과적이다. 선모충 유충이 포함된 신선한 동물의 조직이나 소화된 조직을 우연히 섭취하였을 경우 선모충에 감염될 수 있으므로 얼굴 보호장구를 착용하고 실험조작할 것을 권장한다. 사상충 유충에 감염되어 있는 절지동물도 실험실 종사자에게 잠재적인 위험이 될 수 있으므로 물리지 않도록 전신 보호장구를 착용하고 다룰 것을 권장한다.

13.6.1.1.3. 선충류에 대한 실험용 안전장비 사용에 대한 사항

선충류의 인체 감염형을 다루는 실험은 BL2 및 ABL2 수준의 규정 준수, 보호 장비 및 시설 사용이 권장된다 (Hankenson, 2003). 민감한 회충류의 공기내 항원에 노출되는 것을 피해야 한다. 원천적으로 과민반응을 유발하는 공기내 항원의 발생을 막기 위하여 BSC 안에서 작업할 것을 권장한다.

13.6.1.2. 흡충류에 대한 실험실 안전

실험실 안전에 위험을 초래하는 흡충류로는 간흡충(*Clonorchis sinensis*), 간질(*Fasciola hepatica*) 폐흡충(*Paragonimus westermani*), 장흡충류(*intestinal flukes*), 주혈흡충류(*Schistosoma* spp.) 등이 있다. 실험자는 이 흡충들의 각 발육단계 중 감염형 유충을 실험에 사용할 때 주의해야 한다.

13.6.1.2.1. 실험실 감염

간흡충을 비롯한 다른 종류의 흡충류도 실험실내 위험 인자로 작용할 수 있지만 가장 큰 위험을 주는 흡충은 주혈흡충류이다. 주혈흡충류에는 장간막과 직장의 정맥에 성충이 기생하면서 장주혈흡충증을 일으키는 일본주혈흡충(*Schistosoma japonicum*), 만손주혈흡충(*S. mansoni*) 및 메콩주혈흡충(*S. mekongi*) 등과 끝반 및 방광 등의 정맥에 성충이 기생하면서 방광주혈흡충증을 야기하는 방광주혈흡충(*S. haematobium*)이 있다. 간흡충은 성충이 간내담관에 살면서 간흡충증(clonorchiasis)을 일으키며 심할 경우, 합병증으로 담관암을 유발할 수 있다. 양간흡충(sheep liver fluke)인 간질은 성충이 인체 및 동물숙주의 총수담관 또는 간내담관내에 살면서 간질증을 야기하고 인체에서는 충체가 다른 장기로 이행하여 이소간질증을 일으키곤 한다. 폐흡충은 정상적으로는 성충이 폐실질내에 충낭을 형성하면서 폐흡충증을 일으키지만 비정상적으로 흉부, 복부 및 중추신경계 등으로 이행하여 이소폐흡충증을 일으킨다. 국내에는 11종의 이형흡충류를 포함하여 19종 이상의 장흡충류가 분포한다. 이들 장흡충류는 종류 및 감염충체 수에 따라 다소 차이는 있지만 인체감염 시 복통, 설사, 소화불량, 식욕부진 및 체중감소 등과 같은 임상증상을 나타낸다.

만손주혈흡충과 간질의 실험실내 감염이 보고되어 있으나 다른 종류 흡충류의 실험실내 인체 감염 가능성도 있다(Herwaldt, 2001) (Herwaldt, 2006). 감염의 성격상, 실험동물과 직접적으로 관련된 것은 없고 감염된 패류 중간숙주와 어류, 양서류, 파충류, 갑각류 등의 제 2 중간숙주와 관련이 있다. 우리나라에서 3대 흡충증을 유발하는 간흡충, 폐흡충 및 장흡충류 등은 각각 해당 제 2 중간숙주 동물을 날로 먹거나 부적절하게 익혀서 먹었을 때 감염된다. 만손주혈흡충은 아프리카, 남미 및 카리브해 국가들에 널리 분포한다. 인체감염은 오염된 수생태계에서 자유롭게 유행하고 있는 유미유충에 노출되었을 때 유충이 피부를 뚫고 들어와 혈류를 타면서 이루어진다. 만손주혈흡충의 유충이 발육할 수 있는 자연계 패류숙주는 다양한 종류의 *Biomphalaria* spp. 이다. 간질은 전 세계적으로 널리 분포한다. 염소, 소, 돼지, 사슴 및 설치류 등이 자연계 종숙주에 포함되지만 양을 기르는 지역에서 가장 일반적이고 흔한 흡충류이다. 물달팽이과 패류, 즉 물달팽이(*Lymnaea* spp.)가 제 1 중간숙주이며 감염된 패류에서 유출되어 나온 유미유충이

수생식물에 피낭한다. 사람은 피낭유충이 붙어있는 마름, 물밤, 물냉이와 같은 수생식물을 날로 먹거나 부적절하게 익혀서 먹었을 때 감염된다.

흡충류의 실험실내 감염은 대부분 우발적이며 낮은 빈도로 발생하기 때문에 감염강도가 낮을 것으로 예측된다. 만손주혈흡충 감염시 피부염, 발열, 기침, 간비장비대 및 선병증 등의 임상 증상이 나타난다. 실험실내 간질 감염증은 대부분 무증상적이나 우상복부통, 담석산통, 폐쇄성 황달, 아미노전달효소 레벨상승 등과 함께 충체가 담관내로 이행함에 따라 나타나는 간손상과 관련된 병리학적 소견이 임상증상으로 나타난다.

13.6.1.2.2. 실험실 안전 및 권장사항

국내에서 3대 흡충증을 유발하는 간흡충, 폐흡충 및 장흡충류 등은 다양한 종류의 동물이 감염형 유충인 피낭유충을 보유하는 제 2 중간숙주로 작용한다. 실험실내에서 역학조사의 일환으로 피낭유충 감염상을 조사하거나 다른 연구 목적으로 피낭유충을 분리, 수집하여 실험동물에 감염시키는 일을 할 경우, 피낭유충이 들어있는 실험재료가 입으로 들어가지 않도록 얼굴 보호 장구를 착용하고 작업할 것을 권장한다. 조사 및 실험에 사용하고 남은 어류, 양서류, 파충류, 갑각류 등의 흡충류 제 2 중간숙주 동물은 냉동고에 보관하여 감염력을 없앤 후 폐기 처분할 것을 권장한다.

감염형인 간질의 피낭유충과 만손주혈흡충의 유미유충은 중간숙주 패류를 사육하는 실험실 수조내 수생식물과 물에서 발견될 수 있다. 간질 피낭유충 섭취 및 주혈흡충 유미유충의 피부 침입은 실험실 감염의 근원적인 주 위험이다. 주혈흡충감염 패류의 해부 및 파쇄시 유미유충이 포함된 물방울이 피부 또는 점막에 떨어질 수도 있으므로 얼굴 및 전신 보호장구를 착용하고 실험 조작할 것을 권장한다. 간질 피낭유충이 붙어있는 수생식물 또는 수조를 접촉한 손가락 또는 장갑을 통해 무심결에 손에서 입으로 운반될 수 있으므로 주의하여야 한다.

실험실내 주혈흡충증으로 보고된 모든 증례는 만손주혈흡충에 의한 것이었다. 이는 다른 종류의 주혈흡충에 비해 만손주혈흡충으로 하는 실험이 보다 많다는 것을 반영한다. 그러나 방광주혈흡충, 일본주혈흡충 및 메콩주혈흡충 등의 우연감염도 만손주혈흡충 감염과 같은 방식으로 실험실에서 쉽게 발생할 수 있다. 인체주혈흡충이 아닌 조류 또는 다른 포유류의 주혈흡충 유미유충에 노출되었을 때 정도의 차이는 있지만 피부염(swimmer's itch)이 발생할 수 있으므로 주의하여야 한다.

13.6.1.2.3. 흡충류에 대한 실험용 안전장비 사용에 대한 사항

흡충류의 인체감염 단계를 다루는 실험은 BL2 및 BL2 수준의 규정 준수, 보호 장비 및 시설

사용이 권장된다 (Henkenson, 2003). 인공소화법으로 간흡충, 폐흡충 및 장흡충류 등의 피낭 유충 감염상을 조사하거나 다른 연구 목적으로 피낭유충을 분리, 수집할 경우, 얼굴보호 헬멧과 전신보호 실험복을 착용하여 피낭유충이 들어있는 실험재료가 입으로 들어가지 않도록 하여야 한다. 자연감염 또는 실험감염 패류 중간숙주로부터 유출된 유미유충이 있는 수조의 물 또는 피낭유충이 붙어 있는 수생식물을 직접 접촉할 때는 반드시 장갑을 착용하여야 한다. 수조 근처에서 일할 때 또는 주혈흡충 유미유충이 들어있는 물을 다루는 일을 할 때에는 전신보호 실험복을 입어야 한다. 패류와 유미유충이 들어있는 실험실 수조에서 나온 물은 하수도로 배출하기 전에 에탄올, 염소, 요드 또는 고열 등으로 정화하여야 한다.

13.6.1.3. 조충류에 대한 실험실 안전

실험실 안전에 위협을 초래하는 조충류로는 유구조충(*Taenia solium*), 무구조충(*T. saginata*), 아시아조충(*T. asiatica*), 단방조충(*Echinococcus granulosus*), 다방조충(*E. multilocularis*), 포겔조충(*E. vogeli*) 및 *E. oligarthrus*, 왜소조충(*Hymenolepis nana*), 쥐조충(*H. diminuta*), 동해열두조충(*Diphyllbothrium nihonkaiense*), 만손열두조충류(*Spirometra* spp.) 등이 있다. 실험자는 이 조충들의 각 발육단계 중 감염형 충란 및 유충을 실험에 사용할 때 주의해야 한다.

13.6.1.3.1. 실험실 감염

실험실내 조충 감염은 조충의 종류 및 감염형태에 따라 다양한 임상증상이 발현될 수 있다. 비록 *Echinococcus* spp. 조충과 유구조충의 실험실내 감염이 보고된 적은 없지만 감염이 발생하면 그 결과는 심각한 임상적 수준으로 진행될 수도 있다. *Echinococcus* spp. 조충의 인체 감염시 무증상인 경우에서 아주 심한 증상을 초래하는 경우까지 다양하며 증후의 경중과 성격, 증상은 낭의 위치, 크기 및 상태에 따라 달라진다. 간내 낭종의 경우 간비장비대, 우측 상복부통 및 메스꺼움 등의 임상증상이 나타나고 폐낭종일 경우 흉통, 호흡곤란 및 각혈 등의 증상이 나타날 수 있다. 유구조충 감염자의 대변으로 배출된 충란을 섭취하였을 경우, 낭미충증이 생기는데 낭미충이 피하조직 또는 근간조직에 위치하면 무증상적 낭성 결절 상태이나 중추 신경계에 위치하면 간질발작과 함께 신경학적 증상이 나타날 수 있다.

유·무구조충 및 아시아조충, 단방 및 다방조충, 쥐조충 등과 같은 원엽조충류는 충란속에 들어있는 육구유충(oncosphere)이 중간숙주를 감염시키고 중간숙주내에 있는 유충(metacestode)이 종숙주에서 성충으로 발육한다. 왜소조충은 단일숙주 기생충으로 중간숙주가 필요하지 않다. 인체나 설치류의 대변으로 배출된 충란을 섭취함으로써 바로 감염될 수 있다. *Echinococcus* 속

및 *Taenia* 속 조충은 생활사상 2단계의 숙주가 필요하다. 개, 늑대, 여우, 코요테, 자칼 등의 식육동물들은 단방조충의 종숙주이고 양, 소, 시슴, 말 등의 초식동물들은 중간숙주이다. 개 및 고양이도 물론 다방조충에 감염될 수 있지만 여우와 코요테가 주 종숙주이고 설치류가 중간숙주로 작용한다. 인체는 이들 조충의 중간숙주이며 종숙주 동물의 대변으로 배출된 충란을 우연히 섭취하였을 때 감염된다. 무구조충과 아시아조충은 소와 돼지가 중간숙주이며 유충이 감염되어 있는 소고기나 돼지 내장(특히, 간)을 날로 먹거나 부적절하게 익혀 먹었을 때 이들 조충의 성충에 감염될 수 있다. 유구조충은 돼지가 중간숙주로, 사람이 중간숙주 및 종숙주로 작용한다. 인체 감염은 유충인 낭미충(*cysticercus*)이 감염되어 있는 돼지고기를 날로 먹거나 부적절하게 익혀 먹었을 때 이 조충의 성충에 감염될 수 있다. 유구조충에 감염된 사람 대변으로 배출된 충란을 우연히 섭취하였을 때 중간숙주로써 낭미충에 감염될 수 있다. 쥐조충은 쥐벼룩, 쌀벌레 및 풍뎡이 등의 절지동물이 종숙주인 쥐나 사람의 대변으로 배출된 충란을 먹었을 때 이들 체내에서 유낭미충(*cysticercoid*)으로 발육하고 감염된 절지동물 중간숙주를 사람 또는 쥐가 섭취하였을 때 성충에 감염될 수 있다. 의엽조충류인 동해열두조충과 만손열두조충류는 제 2 중간숙주인 어류, 양서류 및 파충류 등을 날로 또는 부적절하게 익혀서 섭취하였을 때 제 2 중간숙주내에 있는 충미충(*plerocercoid*)이 인체내로 들어와 성충 또는 유충(*sparganum*)으로 발육한다.

실험실내에서 잠재적인 위험이 될 수 있는 조충류에는 단방 및 다방조충, 왜소조충 및 유구조충 등이 있다. 포충증은 *Echinococcus* 속 조충에 의해 야기되며 단방조충은 낭포충증을, 다방조충은 다방포충증을, 포켓조충 및 *E. oligarthrus*는 다낭포충증을 일으킨다. 인체는 중간숙주로 체내에 유충단계(*metacestode*)인 포충낭(*hydatid cyst*)이 형성된다. 왜소조충은 전 세계적으로 널리 분포하며 성충이 소장내에 기생하여 왜소조충증을 일으킨다. 유구조충은 인체의 장내에서 성충감염인 조충증을, 피하 및 근간조직, 중추신경계 등에 유충감염인 낭미충증(*cysticercosis*)을 일으킨다. 동해열두조충은 제 2 중간숙주인 연어, 송어, 숭어 등의 해산 어류를 날로 또는 부적절하게 익혀서 먹었을 때 인체 소장내에 거대한 크기의 성충이 감염되지만 증상 발현은 경미한 것으로 알려져 있다. 만손열두조충류는 개구리, 뱀 등을 날로 또는 부적절하게 익혀서 섭취하였을 때 유충인 고충(*sparganum*)이 인체내로 들어와 주로 피하 및 근간조직으로 이행하며 이동성 결절 형태로 나타난다. 고충은 때로는 눈과 중추신경계 등과 같은 인체내 주요 장기에 침입하여 심각한 임상증상을 유발하기도 한다.

13.6.1.3.2. 실험실 안전 및 권장사항

Echinococcus spp. 조충의 감염형 충란은 식육동물 종숙주의 대변에 섞여서 외계로 배출된다

(Pike, 1976). 단방조충은 가장 일반적이고 광범위하게 분포하는 종류이고 개가 주 종숙주이기 때문에 가장 큰 위험을 준다. 사람 대변으로 배출되는 유구조충의 충란도 인체감염형으로 작용한다. 감염 동물로부터 배출된 감염형 충란의 우연한 섭취가 중요한 실험실 위험이다. *Echinococcus* spp.와 유구조충은 사람이 종숙주 대변으로 배출된 단 하나의 감염형 충란 섭취로도 심각한 질병으로 발전하는 잠재력을 가지고 있으므로 주의하여야 한다. 사람 또는 설치류의 대변에 섞여 나온 왜소조충의 충란을 섭취하면 장내 감염증이 유발된다. 왜소조충은 일종의 접촉감염성 연충이므로 실험실 및 동물실 종사자는 충란이 입으로 들어가지 않게 마스크나 얼굴 보호장구를 착용하고 실험조작 및 동물 돌보기 등에 임할 것을 권장한다. 조사 및 실험에 사용하고 남은 어류, 양서류, 파충류, 절지동물 등의 조충류 중간숙주 동물은 냉동고에 보관하여 감염력을 없앤 후 폐기 처분할 것을 권장한다.

13.6.1.3.3. 조충류에 대한 실험용 안전장비 사용에 대한 사항

조충류의 인체감염 단계를 다루는 실험은 BL2 및 ABL2 수준의 규정 준수, 보호 장비 및 시설 사용이 권장된다(Hankenson, 2003). 개인위생(손 씻기)과 실험실 작업에 특별한 주의를 기울리면 감염형 충란의 우연섭취 위험이 감소될 수 있다. *Echinococcus* spp. 조충 감염 식육 동물변, 유구조충 감염 사람변 및 왜소조충 감염 사람 또는 설치류 변 등으로 오염된 실험대에서 작업하거나 직접 변과 접촉하는 경우에는 반드시 장갑을 착용하여야 한다.

13.6.2. 기생 원충에 대한 실험 안전

실험실 안전에 위협 요인이 되는 기생충 중 혈액과 조직 기생 원충에 말라리아열원충(*Plasmodium* spp.), 톡소포자충(*Toxoplasma gondii*), 자유생활 아메바(가시아메바 *Acanthamoeba* spp.), 파울리아메바(*Naegleria fowleri*), 리슈만편모충(*Leishmania* spp.) 및 파동편모충(*Trypanosoma* spp.), 바베스열원충(*Babesia* spp.) 등이 포함된다. 장내 기생 원충에는 이질아메바(*Entamoeba histolytica*), 람블편모충(*Giardia lamblia*), 와포자충류(*Cryptosporidium* spp.), 사람등포자충(*Isospora belli*) 등이 포함된다.

13.6.2.1. 혈액과 조직 기생 원충에 대한 실험실 안전

실험실 안전에 위협을 초래하는 혈액 및 조직 기생 원충은 말라리아열원충, 톡소포자충, 가시아메바, 파울리아메바, 리슈만편모충 및 파동편모충, 바베스열원충 등이다. 실험자는 이 원충들을 실험에 사용할 때 주의해야 한다.

13.6.2.1.1. 실험실 감염

톡소포자충, 말라리아열원충, 리슈만편모충, 파동편모충에 의한 실험실 감염이 보고되었다. 이 감염은 대부분 바늘에 찔리거나 찰과상과 같은 손상된 피부를 통해서 일어난다.

톡소포자충은 인체 및 동물 조직 검체, 배양액, 계대배양 복수에 들어 있는 tachyzoite 혹은 bradyzoite가 감염형이다. 실험실 종사자들이 손상된 피부나 점막 접촉, 접종용 주사 바늘에 찔려서 감염될 수 있다. 톡소포자충 감염 증상은 발진, 림프절 종대 등이 나타날 수 있다.

피부리슈만편모충은 다양한 유형의 피부 병변을 일으킬 수 있고, 내장리슈만편모충은 발열, 간 비대, 및 범혈구감소증을 일으킬 수 있다. 파동편모충 감염 초기 증상은 매개 곤충에 물린 부위에 발열, 발진, 임파선 병증, 두통, 피로 등이 나타난다.

말라리아 실험실 감염은 매개 모기에 물려서 감염되는 경우가 많다. 바베스열원충 감염은 진드기에 물려서 발생한다. 진드기 사육통을 철저히 관리하여 진드기가 탈출하는 사고가 발생하지 않도록 주의를 기울여야 한다.

13.6.2.1.2. 실험실 안전 및 권장사항

혈액, 뇌척수액, 골수, 생체조직 검체, 병변 삼출물 및 감염된 절지동물은 톡소포자충, 리슈만편모충, 파동편모충의 감염원이 될 수 있다.

기생충에 따라 1차적인 실험실 감염 위험은 상처를 통한 피부 침투, 우발적인 비경구접종, 절지동물 흡혈 등이 있다.

유기체의 에어로졸 또는 액체는 잠재적인 위험 요소이다. 눈, 코, 입 점막이 이런 것들에 노출되지 않도록 보호 장구를 착용해야 한다.

혈액, 조직 균질액, 혈소판 분획은 리슈만편모충, 톡소포자충, 크루스파동편모충의 감염형을 함유할 수 있다. 면역력이 저하된 사람은 살아있는 생물체를 접하는 일을 피해야 한다.

- 톡소포자충: 임신 중이거나 임신할 가능성이 있는 여성들이 감염되면 경태반 태아감염이 발생할 위험성이 있다. 실험자는 의사와 고용주에게 위험 완화를 위한 적절한 방안으로 대체 작업자, 보호장구 등을 요청해야 한다. 감염성 난포낭은 실험실 감염의 가장 큰 위험인자이다. Tachyzoite와 bradyzoite 주입에 사용된 주사바늘은 실험자에게 감염을 일으킬 수 있는 위험이 가장 큰 기구이다. 점막이나 피부 찰과상을 통해서 tachyzoite 혹은 bradyzoite에 감염될 수 있다. 종숙주인 고양이와 고양이과 동물들은 분변으로 난포낭을 배설하고 생활환경을 오염시킨다. 오염된 환경과 실험실은 인체 감염원으로 남아있게 된다. 개인위생 수칙 준행 및 보호장치를 사용해서 톡소포자충 감염을 예방해야 한다.

- 미포자충류: 실험실 감염이 보고되었다. 결막이 포자에 노출되어 각결막염으로 진전하였다. 대변, 소변, 가래, 뇌척수액 또는 배양액에 들어 있는 포자(spore)를 섭취를 섭취하면 감염될 수 있다.
- 자유생활아메바: 가시아메바, 파울리아메바, *Balamuthia mandrillaris*에 실험실 감염된 사례는 보고되지 않았다. 그렇지만, 구강 흡입, 주사바늘에 찔림, 점막, 미세 찰과상이 이 아메바에 노출되면 감염될 수도 있다.
- 폐포자충(*Pneumocystis carinii*): 사람은 대부분 2-4세에 혈청 내에 폐포자충-특이IgG항체 양성으로 나타난다. 면역기능이 저하되면 잠복해 있던 폐포자충이 증식하여 기회감염이 발생될 수도 있다.

면역기능이 저하된 실험지는 조속하게 면역기능을 회복시켜야 한다. 그리고 폐포자충 뿐만 아니라 기회감염을 일으킬 수 있는 모든 병원체에 대한 예방조치를 강구해야 한다.

13.6.2.1.3. 혈액과 조직 기생 원충에 대한 실험용 안전장비 사용에 대한 사항

기생충의 인체감염 단계를 다루는 실험은 BL2 및 ABL2 수준의 규정 준행, 보호 장비 및 시설 사용이 권장된다.

기생충에 감염된 절지동물은 실험자가 노출되거나 곤충이 탈출할 수 없는 시설에서 사육되어야 한다.

실험자가 기생충이 들어 있는 배양, 조직 균질액, 혈액을 가지고 작업할 때는 PPE(예, 실험복, 장갑, 안면 보호대)를 착용하고 BSC 안에서 작업하는 규정을 준수해야 한다.

13.6.2.1.4. 기생 원충의 수입 및 운송

동물의 감염성 기생 원충의 경우 농림축산검역본부의 사전 수입허가 대상에 해당하므로, 동물의 감염성 원충을 외국에서 수입하거나 수출할 경우 농림축산검역본부의 사전 승인이 필요하다. 그러나 국내에서 운송/이동할 경우는 농림축산검역본부의 승인사항이 아니다.

13.6.2.2. 장내 원충 실험안전

장내에 기생하는 원충인 이질아메바(*Entamoeba histolytica*), 람블편모충(*Giardia lamblia*), 와포자충류(*Cryptosporidium* spp.), 사람등포자충(*Isospora belli*) 등을 실험에 사용할 때 주의해야 할 사항이다.

13.6.2.2.1. 실험실 감염

와포자충류, 이질아메바, 램블편모충, 사람등포자충 등에 의한 실험실 감염이 보고되었다. 실험적으로 또는 자연적으로 원충에 감염된 실험동물들의 배설물이 실험자에게 직접적인 감염원이 되었다. 와포자충류의 난포낭을 사용하는 경우, 실험자는 각별한 주의를 기울여야 한다. 소 혹은 송아지에서 난포낭을 채취하여 실험하는 과정에 자주 감염되는 사례가 발생하였다. 실험실과 동물 관리요원은 관리규정을 엄격하게 준행하여 실험실 감염 발생을 감소시켜야 한다.

13.6.2.2.2. 자연 감염 경로

장내 감염을 일으키는 원충은 전 세계적으로 분포한다. 선진국일지라도, 어떤 지역에서는 유병율이 높을 수 있다. 일반적인 감염 경로는 생활환경에 분포되어 있는 난포낭(oocyst) 혹은 포낭(cyst)을 섭취하는 것이다. 와포자충류의 경우, 섭취한 사람의 50%가 감염되는 양(ID₅₀)이 난포낭 5-10개 이다. 장내 원충들은 인체 내에서 분열 증식한다. 그러므로 적은 수의 난포낭이나 원충 포낭을 섭취할 경우에도 감염이 성립되어 증상이 나타날 수 있다.

장내 원충의 경우, 동물 보유숙주가 다양한 역할을 할 수 있다. 사람와포자충은 사람이 주된 숙주이다. 그에 비하여 작은와포자충은 사람, 소, 포유동물들이 보유숙주이며, 오염된 환경과 상수원이 난포낭 공급원 역할을 한다. 램블편모충은 주로 사람-사람 감염이 일어나고 있다. 최근에 동물에 기생하는 램블편모충 종이 사람을 감염시킬 수 있다는 보고가 있다. 이질아메바는 사람이 유일하게 숙주 역할을 한다. 포낭이나 난포낭으로 오염된 음용수 또는 옥외활동용 음료수가 와포자충과 램블편모충의 감염원이 되고 있다.

13.6.2.2.3. 실험실 안전 및 보호 권장 사항

인체 감염형이 실험에 사용하는 대변, 체액과 조직에 존재할 수 있다. 장내 원충의 경우, 입으로 섭취될 가능성이 1차적인 실험실 위험 요소이다. 따라서 면역력이 저하된 사람은 살아 있는 생물체를 사용하는 작업을 피해야 한다. 죽거나 비활성화된 기생충 혹은 기생충 분획은 실험자에게 위험요소가 되지 않는다.

기생충의 인체감염 단계를 다루는 실험은 BL2 및 ABL2 수준의 규정 준행, 보호 장비 및 시설 사용이 권장된다. 특히 와포자충을 가지고 작업할 때는 PPE (예, 실험복, 장갑, 안면 보호대)를 착용하고 1차 보호장치인 BSC 안에서 작업하는 규정 준수가 중요하다. 난포낭은 배설될 때 이미 인체에 대한 감염성이 있다. 대변에 많은 수로 존재하며 환경 조건에 대한

내성이 강하다.



난포낭이나 포낭으로 오염된 실험실 소독

시판되는 요오드 함유 소독제가 효과적이다. 실험실을 오염시킨 이질아메바와 램블편모충 포낭에 대한 소독에 약5% 염소회석액 (표백제 원액1 컵 : 물 1갤런 [1:16, vol/vol])을 사용한다.

실험실에 쏟아진 액체에 외포자충 난포낭이 포함된 경우, 다음과 같은 처리방법이 권장된다. 실험실에 있는 세제를 사용하여 실험대와 장비 표면에 오염된 것을 제거한다. 유기 물질을 제거한 후, 3% 과산화수소를 사용하여 표면을 소독한다. 과산화수소 원액이 들어 있는 투약병(despensing bottle)을 실험실에 비치해야 한다. 쏟아진 액체가 많으면, 종이수선으로 흡수한다. 오염된 표면 전체를 과산화수소용액으로 완벽하게 덮고 30분 동안 기다린다. 과산화수소수를 깨끗하게 닦아내고, 표면을 10-30분 동안 건조시킨 후 사용한다. 오염물 제거에 사용된 종이수건과 소모품들을 멸균소독하여 폐기한다. 실험실 재활용 물품은 실험실 식기 세척기에 염소함유 세척제를 붓고 세척하여 재사용할 수 있다. 대체 방법으로, 오염된 용기들을 50℃로 예열된 물에 1시간 동안 담가 둔 다음 세제/소독제 용액으로 세척한다.

13.6.2.2.4. 장내 기생 원충의 수입 및 운송

동물의 감염성 기생 원충의 경우 농림축산검역본부의 사전 수입허가 대상에 해당하므로, 동물의 감염성 원충을 외국에서 수입하거나 수출할 경우 농림축산검역본부의 사전 승인이 필요하다. 그러나 국내에서 운송/이동할 경우는 농림축산검역본부의 승인사항이 아니다.

REFERENCES

1. 김창효. 곤충의 사육법. 서울: 경상대학교 출판부; 1993.
2. 서울대학교 환경안전원. 실험안전의 길잡이. 서울: 서울대학교 출판부; 2011.
3. 질병관리본부. 실험실 생물안전지침. 오송: 질병관리본부; 2019.
4. 질병관리본부. 위생곤충 사육매뉴얼. 오송: 질병관리본부; 2011.
5. 질병관리본부, 유전자재조합실험지침, 2019.
6. 질병관리본부. 실험동물에 의한 알레르기 예방관리 방안. 서울: 질병관리본부; 2009.
7. 충북대학교 실험동물연구지원센터 [Internet]. 오송: 충북대학교; c2017 [cited 2017 May 2]. Available from: <https://larc.cbnu.ac.kr/Statute/download.php?idx=71>.
8. American Society of Tropical Medicine and Hygiene (ASTMH). American Committee of Medical Entomology of the American Society of Tropical Medicine and Hygiene, Arthropod Containment Guidelines (Ver. 3.1). IL: ASTHM; 2001.
9. Ash LR, Orihel TC. Parasites, a guide to laboratory procedures and identification. Chicago: ASCP Press; 1991.
10. Barbara LH. Laboratory-Acquired Parasitic Infections from Accidental Exposures. Clinical Microbiology Reviews. 2001;14(4):659-688.
11. BC Government and Service Employees' Union (BCGEU) & BC Public Service Agency (BCs), Guide to Prevention and Control of Infectious Diseases in the Workplace. Canada: BCGEU&BCs; 2007.
12. Biotron. Standard Operating Procedures for the Insect Module. London: Biotron; 2014.
13. Carnegie Mellon University. Standard Operating Procedures for Working Safely with Lentiviral Vectors. Pittsburgh PA; 2007.
14. Carnegie Mellon University (CMU) Environmental Health and Safety. Standard Operating Procedures (SOP) for Working Safely with Lentiviral Vectors (January 2020). Available:http://www.cmu.edu/ehs/Laboratory-Safety/biological-safety/documents/SOP_Lentiviral_Vectors.pdf
15. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories 5th Edition. Atlanta: National Institutes of Health; 2009.
16. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Guidelines for Research Involving Recombinant DNA Molecules. Atlanta: National Institutes of Health; 1998.

17. Channing DS, Kathleen H, Jennifer Z, Janice KL, William SP, Michael H, Janice CP, Deborah G, Leonard M. Fatal Meningococcal Disease in a Laboratory Worker-California. *MMWR*. 2014;63(35):770-772.
18. Dartmouth College (DC) Institutional Biosafety Committee. Viral Vector Use Policy # 110,3 (October 2018). Available: Dartmouth College Institutional Biosafety Committee. Viral Vector Use Policy
19. DHHS, Public Health Service, CDC (2009) Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories, 5th ed. NIH, USA. HHS Publication No. (CDC) 21-1112. pp 1-192.
20. Diane OF, Debra H. Biological Safety Principles and Practices, 3rd edition, ASM Press; 2000.
21. Diane OF, Debra LH. Biological Safety: Principles and Practices. V special Considerations for Biosafety (Biosafety and Viral Gene Transfer Vectors, Thomas AK), 4th ed. Washington: ASM Press; 2006. p.522-524.
22. Geraghty RJ, Davis AC, Davis JM, Downward J, Freshney RI, Knezevic I, *et al*. Guidelines for the use of cell lines in biomedical research. *Br J Cancer*. 2014;111:1021-1046.
23. Gerberg EJ, Barnard DR, Ward RA. Manual for mosquito rearing and experimental techniques. American Mosquito Control Association. 1994; Bulletin No. 5.
24. Hankenson FC, Johnston NA, Weigler BJ, *et al*. Zoonoses of occupational health importance in contemporary laboratory animal research. *Comp Med*. 2003; 53: 579-601.
25. Harding LH, Byers KB. Epidemiology of laboratory acquired infections. In: Fleming DO, Hunt DL (eds) Biological safety: principles and practices, 4th edn. Washington DC: ASM Press; 2006.
26. Health and Safety Authority (HSA). Guidelines to the Safety, Health and Welfare at Work (biological Agents) Regulations. UK HSA; 2013.
27. Herwaldt BL. Laboratory-acquired parasitic infections from accidental exposures. *Clin Microbiol Rev*. 2001; 14: 659-88.
28. Herwaldt BL. Protozoa and helminths. In Fleming DO and Hunt DL (eds). 4th ed. Biological Safety: Principles and Practices. Washington, DC, ASM Press, 2006.
29. Ichinose TR. Rearing Methods of Insects (Materials and Experiments). Annapolis MD: Entomological Publication Center; 1981.
30. James G, Glen Otto, Lesley A. Selected Zoonoses In Chapter 28. (eds) Laboratory animal medicine, 3rd edition. London: Elsevier Press; 2015.

31. Jonathan YR. Anthology of Biosafety Series III. Applction of Principles (Chapter2 Biosafety Considerations in rDNA: Vrial Gene Transfer Vectors, DNA-based Vaccines and Xenotransplantation, Claudia M). Mundelein: American Biological Safety Association (ABSA) International; 2000. p.18-19.
32. Messner MJ, Chappel CL, Okhuysen PC. Risk assessment for Cryptosporidium: a hierarchical Bayesian analysis of human dose response data. Water Res 2001; 35: 3934-40.
33. McCollum AM, Austin C, Nawrocki J, Howland J, Pryde J, Vaid A, Holmes D, Weil MR, Li Y, Wilkins K, Zhao H, Smith SK, Karem K, Reynolds MG, Damon IK. Investigation of the first laboratory-acquired human cowpox virus infection in the united states. The Journal of Infectious Diseases. 2012;206(1):63-68.
34. National Institutes of Health (NIH) Office of Biotechnology Activities (OBA) Recombinant DNA Advisory Committee (RAC). Biosafety Considerations for Research with Lentiviral Vector (RAC Guidance Document) (June 2006).
35. National Institutes of Health (NIH) Office of Science Policy (OSP). NIH Guidelines for Research Involving Recombinant or Synthetic Nucleic Acid Molecules (NIH Guidelines) (April 2019). Available: <http://osp.od.nih.gov/biotechnology/biosafety-and-recombinant-dna-activities/> [accessed 23 March 2020].
36. Pike RM. Laboratory-associated infections: summary and analysis of 3921 cases. Health Lab Sci. 1976;13:105-114.
37. Public Health Agency of Canada (PHAC). Canadian Biosafety Standards and Guidelines First Edition. Ottawa: PHAC; 2013
38. Robert KB, Gregg MS. Laboratory animal allergies: An update. ILAR J. 2003;44(1):28-51.
39. Schlimgen R, Howard J, Wooley D, Thompson M, Baden LR, Yang OO, *et al.* Risks Associated With Lentiviral Vector Exposures and Prevention Strategies. J Occup Environ Med. 2016;58(12):1159-1166.
40. Smittle BJ. Cockroaches (in Insect Colonization and Production, ed. by C.N. Smith). New York: Academic Press; 1966.
41. Son TJ, Bae JH, Rhee CS, Seong WK. Prevalence of laboratory animal allergy in laboratory workers, Lab. Anim. Res. 2010;26(2):165-171.
42. Sumit G, Alex MB, Chris J, Katie C. Viral Vector Systems for Gene Therapy: A Comprehensive Literature Review of Progress and Biosafety Challenges. Applied Biosafey.

- 2020;25(1):7-18.
43. The Medical Letter [www.medicalletter.org] New York: The Medical Letter; [cited 2007].
Drugs for Parasitic Infections; [about 24 screens].
44. University of Cincinnati (UC) Biosafety Office. Viral Vectors-Assessing Risks (March 2014).
Available: <http://ce.uc.edu/cpd/Workshops/Index/Biosafety?term=risk>
45. University of Hong Kong (HKU) Safety Office. Guidance on Working with Cell Cultures (Cell
Cultures Safety) (May 2016). Available: <http://www.safety.hku.hk/homepage/pdf/CCSafety2013.pdf>
46. University of Kentucky (UK) Department of Biological Safety. Guidelines for Research Involving
Viral Vectors (May 2006). Available: http://ehs.uky.edu/docs/pdf/bio_viral_vectors_0001.pdf
47. University of Stanford (US) Environmental Health and Safety. Working with Viral Vectors
(2013). Available: <https://ehs.stanford.edu/topic/biosafety-biosecurity/viral-vectors>
48. van Gool T, Biderre C, Delbac F, Wentink-Bonnema E, Peek R, Vivares CP. Serodiagnostic
studies in an immunocompetent individual infected with *Encephalitozoon cuniculi*. *J Infect
Dis* 2004; 189: 2243-9.
49. WHO (2004) Laboratory Safety Manual, 3rd ed. Geneva, Swiss. pp1-98.
50. World Health Organization (WHO). Laboratory biosafety manual Third edition. Geneva:
WHO; 2004.
51. Wurtz AN, Papa M, Hukic A, Caro D, Leparc-Goffart I, Leroy E, Landini MP, Sekeyova Z,
Dumler JS, Bădescu D, Busquets N, Calistri A, Parolin C, Palù G, Christova I, Maurin M,
La Scola B, Raoult D. Survey of laboratory-acquired infections around the world in biosafety
level 3 and 4 laboratories. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2016;DOI
10.1007/s10096-016-2657-1.
52. Zeledh R. Enfermedad de Chagas en Centroamérica, Proceedings of the International
Workshop on Population Genetics and Control of Triatominae, Santo Domingo de los
Colorados, Ecuador (ed. by C. J. Schofield, J. Jurberg and J. P. Dujardin). INDRE, Mexico
City. 1996:40.

14

비상계획과 대응절차

박민우(질병관리청)·유민수(코라 공공컨설팅&솔루션)·장원종(건국대학교 의과대학)

연구시설(실험실) 사고는 『연구실 안전환경 조성에 관한 법률』(이하 『연구실안전법』) 제2조(정의) 7항 “연구실에서 연구활동과 관련하여 연구활동 종사자가 부상, 질병, 신체장애, 사망 등 생명 및 신체상의 손해를 입거나 연구실의 시설, 장비 등이 훼손되는 것을 말한다”고 정의되어있다. 이는 감염성 물질을 취급하는 생물안전 연구시설을 포함한 모든 과학기술분야 연구시설에 포괄적으로 적용되는 개념이다.

연구시설 사고의 위험성은 항시 존재해왔으며 생물학적 위해물질을 취급하는 생물안전 연구시설에서는 일반연구시설에서 있을 수 있는 물리적, 화학적, 방사능적 위해 이외에도 실험실 획득감염(laboratory acquired infection, LAI)의 우려가 존재한다.

LAI는 병원성 미생물 및 감염성물질을 취급하던 중 시험·연구종사자의 신체가 직접 노출되거나 흡입, 섭취, 병원체를 접종한 실험동물에 물리거나 감염성물질이 유출되는 등의 사고로 언제나 발생 가능하다.

생물안전사고가 발생한 경우, 시험·연구종사자는 신속한 응급조치를 실시하여야 한다. 따라서 기본 조치 및 관련 사항에 대한 이해와 숙지는 매우 중요하다. 또한 시험·연구종사자는 응급조치 후 연구(실) 책임자 및 생물안전관리자에게 즉시 보고하여 적절한 의료적 처치 및 후속 조치 등이 신속하게 수행될 수 있도록 해야 한다.

본 장에서는 국내·외 법률과 지침에 있는 비상대응체계관련 주요사항들을 검토하고, 국내외 발표된 자료들을 토대로 연구시설의 사고사례들을 조사하여 비상대응계획 수립 시 고려사항들을 제시할 것이다.

14.1 국내외 규정

고위험병원체를 보유한 모든 기관들은 『감염병의 예방 및 관리에 관한 법률』시행규칙 제21조 제1항에 따른 「고위험병원체 안전관리지침」제11조(안전점검)에 명시된 바와 같이 기관별 사고대응 매뉴얼을 수립하고, 유관기관(경찰, 소방, 의료기관 등)이 포함된 비상연락망을 마련하여야 한다. 이에 질병관리청에서는 2014년 ‘고위험병원체 사고대응 매뉴얼 작성안내서’를 배포하여 고위험병원체

보유기관들이 본 법률을 원활히 이행하도록 지원하였다. 유전자변형생물체의 취급을 위한 생물안전 연구시설의 경우, 『유전자변형생물체법』에 의거하여 국가적인 관리가 이루어지고 있는데, 본 법률에서도 고위험병원체 안전관리지침과 마찬가지로 비상대응체계 수립에 대한 사항이 포함되어 있다. 『유전자변형생물체법』시행령 제26조(위해방지조치)에서는 비상시 피해방지에 관한 조치를 시행하고 국가책임기관의 장에게 위해방지조치관련 정보를 신속히 제공하도록 하고 있으며, 같은 법 시행규칙 제9-2조 제2항 제1호 관련 연구시설의 설치·운영 기준에도 생물안전관리규정(비상대응 절차 포함)을 필수적으로 마련하도록 명시하고 있다.

WHO에서 발간한 생물안전메뉴얼에는 RG 3과 4로 분류된 미생물을 취급하고 있는 시설의 경우 명문화된 비상대응계획이 수립되어 있어야하고 계획 수립단계부터 국가 및 지역 보건당국과 이를 협의하도록 규정하고 있다.

비상대응계획에는 생물안전 관리자, 실험동물 관리자 등 대응관련 책임자들에 대한 역할 및 책임이 명확히 규명되어 있어야할 뿐만 아니라 노출사고 관리 및 제독방안, 인원의 비상탈출(실험 동물 포함)절차, 노출·부상자들의 치료를 위한 의료기관 지정, 의학적 감시체계가 포함되어야 한다고 기술되어있다(WHO, 2004).

미국의 경우, 9/11테러이후 『Public health security and bioterrorism preparedness and response act of 2002』가 제정됨에 따라 유출시 국가보건시스템에 위협을 줄수 있는 병원체인 select agent를 취급하는 시설은 보건복지부(department of health and human services, DHHS) 또는 농무부(department of agriculture, USDA)에 허가를 취득해야하며, 매년 허가기관으로부터 점검(inspection)을 받아야한다.

관련 행정규칙인 42 code of federal regulation 73에는 Select agent를 취급하는 시설이 허가를 얻기 위해 갖추어야할 항목들을 명시하고 있는데 비상대응계획 및 사고보고절차도 포함되어있다. 비상대응계획에 대한 평가는 ‘Inspection checklist for incident response’를 기준으로 이루어지고 있으며, 주요사항으로는 병원체 도난, 자연재해(지진, 기상이변 등), 폭탄테러위협, 의심스런 소포 수령 등 비상 시 대응절차, 책임자 연락처, 지휘보고체계, 계획시 초동대응요원과 협의여부, 응급 의료기관 지정여부, 매년 훈련시행여부 및 필요시 비상대응계획 개정여부 등이 있다(Richmond & Nesby-O'Dell, 2002).

14.2 국내외 연구시설 사고사례

국내 통계자료에 따르면 2014년 한해에 발생한 연구시설 사고건수는 총 166건이었으며 이중

91%에 해당하는 151건이 인적사고 또는 인적·물적사고로 기록되어 연구시설 사고의 상당한 비율이 인적피해로 이어지고 있는 것으로 확인되었다(Figure 14-1).

전체 사고를 발생형태별로 구분한 결과에서는 날카로운 면과의 접촉(찔림사고 포함)이 전체의 28%인 46건으로 가장 많았으며, 화재도 26건(16%)이나 발생하였다. 2014년 1월 국내 모 기업 연구소에서는 뎅기바이러스(dengue virus) 배양 도중 작업자가 주사바늘에 찔려 감염되는 사고가 발생하기도 하였다. 이러한 사례로 볼 때 연구시설 내 높은 빈도로 발생하고 있는 접촉사고 유형들이 감염성물질을 취급하는 생물안전 연구시설에서의 실험실험득감염으로 이어질 가능성이 높다.

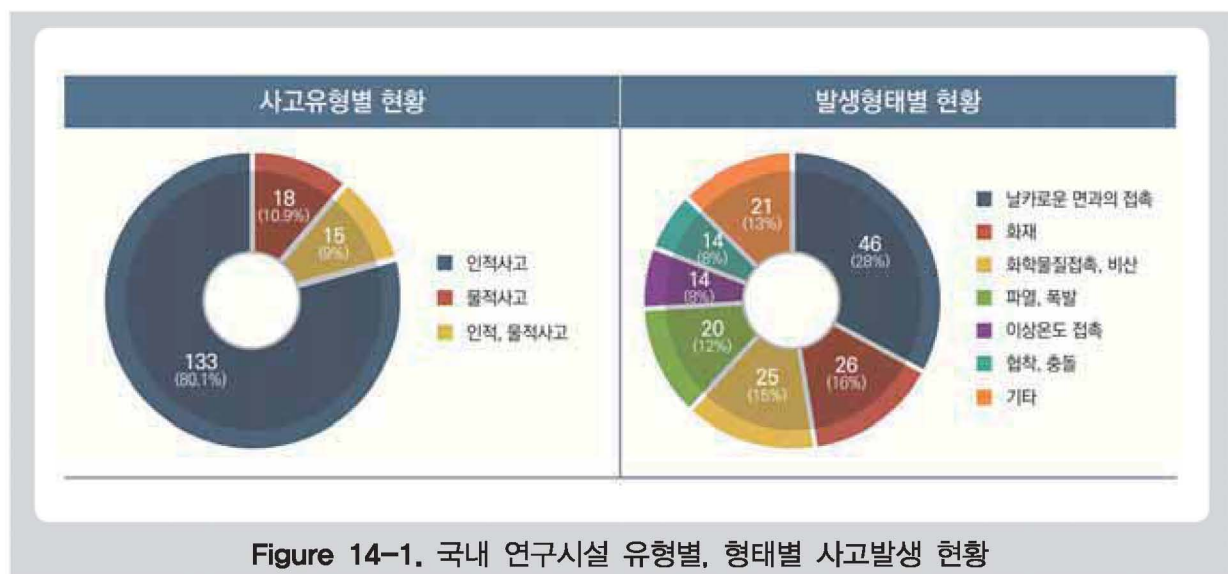


Figure 14-1. 국내 연구시설 유형별, 형태별 사고발생 현황

국외의 경우, 1924년부터 1977년까지 보고된 4,079건의 LAI을 분석한 Pike의 연구결과에 따르면 전체 건수 중 82%는 원인이 규명되지 않은 사고였다. 원인이 규명된 사례들 중에서는 유출(spill) 및 튜브(splash)에 의한 사고의 비율이 27%로 가장 높았으며, 주사바늘 등 날카로운 물질에 의한 사고(25%), 유리제품 사용으로 인한 사고(16%), 실험동물에 의한 물림사고(14%), mouth pipetting에 의한 노출사고(13%)의 순으로 나타났다(Pike, 1979).

2012년 뉴욕 시내 17개 병원의 임상화학 실험실을 대상으로 한 미국 질병통제예방센터(centers for disease control and prevention, CDC)의 실험실험득감염 사례조사에서도 Pike의 연구와 유사한 결과가 도출되었다(CDC, 2012, Table 14-1).

네덜란드의 연구진들에 의해 조사된 실험실험득감염 분석자료에 따르면 주사바늘 찔림사고(accidental needlestick injury), 베임(cut) 등 날카로운 물질의 접촉에 의해 발생하는 감염사고가 대다수를 차지하고 있는 것으로 나타났으며, 그 외 유출사고, 실험동물에 의한 노출사고 등도 실험실 감염을 일으키는 원인으로 확인되었다(Kimman *et al.*, 2008).

특징적인 부분은 취급 시 생물안전 4등급 연구시설(biosafety level 4, BL4)이 요구되는 병원체인 Ebola virus, Lassa virus로 인한 감염사고도 발생하였다는 것이다. BL4 시설에서 근무하는 실험자는 양압복을 착용하도록 되어있어 실험자는 실험실내에서 발생한 감염성 에어로졸로부터 완벽히 보호되고 있다. 이러한 조건에도 노출이 발생한 이유는 우발적 주사바늘 찔림 또는 배임 사고에 의한 노출은 양압복을 착용한다고 해서 근본적으로 방지될 수 없는 것이기 때문이다. 실험자 대상으로 실험수칙에 관한 교육훈련을 실시하여 발생가능성을 최소화 할 수는 있겠지만 근본적인 차단은 불가능한 것이다.

Table 14-1. 미국의 실험실 획득감염 원인과 요소(CDC, 2012)

미생물	건수	종류	가능한 1차 원인	관련 기타 요소들
GMO 재조합 Vaccinia virus	1	연구실험실	쥐 취급시 바늘에 찔림	
	1	연구실험실	Unknown; 취급시 부주의 및 피부보호 조치가 없었음	면역제어(LFA/ICAM-1) 도입으로 인해 감염성 증대 가능; 백신접종 이후 간격이 길었음
	1	연구실험실	바늘에 찔림	
	1	연구실험실	Unknown	선행요인으로 습진(eczema), 안전절차 미준수(장갑 미착용, 최근 백신접종 없었음)
	1	연구실험실	Unknown	가끔 눈 보호구, 보호복 소매가 탄성체가 아니었으며 손목을 보호하지 않음. BSC에서 폐기된 피펫을 불활성화 하지 않음. BSC 외부에서 작업함, 백신접종 없었음
Non-GMOs vaccinia virus	1	연구실험실	미끄러지는 사고로 배임	백신접종 없었음
	1	연구실험실	바늘에 찔림	최근 백신접종 없었음
SARS coronavirus	1	연구실험실	West nile virus 시료와 교차오염으로 의심됨	BL3 절차 위반 및 불충분한 교육
	1	연구실험실	엃지름 사고(BL4 실험실)	
	2	연구실험실	낮은 등급의 실험실로 이송 전 SARS-CoV 집단의 부적절한 불활성화	절차위반(불활성화 검사, 취급자 보건상태 모니터 안함); 또한 부적절한 공기순환, 고압증기멸균기 및 냉동고 위치 부적합, 교육 및 기록유지 부적합
	1	연구실험실	Unknown; 불활성화 부적합 및 BL3 지역 외부 감염	
Marburg virus	25	연구실험실	RG 4 virus 진단 전 우간다 유래 붉은 원숭이 취급	
	2	연구실험실	RG 4 virus 진단 전 사고에 의한 감염	
Ebola virus	1		아프리카 환자유래 물질 처리시 사고로 바늘에 찔림	
	5		영장류와 쥐 취급시 사고로 감염	
	1		기니픽 취급시 바늘에 찔림	

미생물	건수	종류	가능한 1차 원인	관련 기타 요소들
Lassa virus	1		감염된 쥐 및 조직 취급	
Sabia virus	2	진단 및 연구실험실	unknown virus 취급 (진단실험실) 및 원심분리튜브에서 누출(BL3 실험실)	
<i>Burkholderia mallei</i>	1	연구실험실	생물안전절차 미준수(latex 장갑 이용안함)	연구원이 1형 당뇨병이 있음
<i>E. coli</i> O157:H7	5	진단실험실	알려진바 없음	<i>E. coli</i> O157:H7이 RG 3으로 재조정됨
	4	진단실험실	생물안전절차 미준수(latex 장갑 미착용, 손 세척 안함, 실험보호복 개방)	검체량 폭증, 낮은 감염량, stainless-steel 표면에 장기간 생존
<i>Brucella melitensis</i>	5	진단실험실	알려진바 없음	
	7	진단실험실	권장되는 안전절차의 명백한 실패	풍토병 지역에서 한해 분리되는 <i>Brucella</i> spp.의 양이 많음
<i>Brucella melitensis</i> / <i>B. abortus</i>	75	진단실험실	80% 이상에서 생물안전절차 미준수 (BSC 내 작업 실패 및 <i>Brucella</i> 종 분리 인식부족)	한해 분리되는 <i>Brucella</i> spp.의 양이 많음
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	7	공공보건 실험실	바늘에 찔리는 사고 1건; 다른 건은 감염원인을 알 수 없음	부적절한 분리절차, 검체량 많음, 환기결함
<i>Neisseria meningitidis</i>	16	연구실험실	호흡보호구 미착용(15/16 cases)	
	2	임상실험실		미세에어로졸 발생 및 검체량 많음
	5	실험실	BSC 외부작업	

14.3 비상계획 수립 및 이행절차

14.3.1. 비상계획 수립

연구시설 비상대응에 있어 우선적으로 수립되어야 할 부분은 해당 시설에서 발생가능한 비상상황에 대한 대응시나리오를 마련하는 것이다. 감염사고, 옻지름, 화재, 정전 등 시설운영 시 발생할 수 있는 재해의 유형을 규정하고, 아래의 비상대응계획 수립시 고려사항을 참고하여 발생 시 대응 절차를 세부적으로 수립하여야 한다.

- 비상대응시나리오 마련(감염노출사고, 화재, 자연재해, 테러 등)
- 비상대응인원들에 대한 역할과 책임을 규정
- 비상지휘체계 및 보고체계를 마련
- 비상대응계획 수립 시 유관기관(의료, 소방, 경찰)들과 협의
- 비상대응을 위한 의료기관 지정(병원, 격리시설 등)
- 훈련을 정기적으로 실시한 후, 수립된 비상대응계획에 대한 평가를 실시하고 필요시 대응계획을 개정
- 비상대응장비 및 개인보호구에 대한 목록화(위치, 개수 등)
- 비상탈출경로, 피난장소, 사고 후 제독에 대한 사항 명확화
- 피해구역 진입인원 규명
- 비상연락망을 수립하고 신속한 정보공유를 위해 무전기, 핸드폰 등 통신장비 사전 확보
- 재난 시 실험동물 관리 혹은 도태방안 마련

자연적으로 발생하는 재해 외에도 정치·사회적 이슈들로 인한 테러 또는 테러위협은 항상 발생이 가능하다. 국내·외에서 지속적으로 발생하고 있는 전화 및 인터넷 테러위협, 의심스러운 소포전달 사례들은 이를 잘 나타내준다.

비상대응 계획 시 대응에 참여하는 인원들에 대해 역할과 책임을 명시하여야 한다. 만약 역할과 책임을 명시하지 않는다면 동일한 유형의 사고에 대해서도 각기 다른 결정과 대응절차가 적용될 것이며, 결국 대응방식의 일관성 결여 및 비효율화를 초래하게 된다.

비상상황 발생 시 연구시설을 보유한 해당 기관의 인력과 자원만으로는 대처하기 어려운 경우가 많다. 연구시설에서 비상사고가 일어났을 때 사고자를 보호하고 오염 확산 방지를 위해 다양한 대응조치들(노출·부상자 치료조치, 응급이송, 제독, 보안유지 등)이 필요하다. 이러한 대응조치들이 원활하게 이루어지게 하기 위해서는 비상대응계획 수립 시 기관내부 인원들뿐만 아니라 대응 유관 기관이 참여하여 역할과 대응절차를 협의하는 것이 무엇보다 중요하다. 특히 의료기관을 사전에 공식적으로 지정하고 연구시설에서 취급하고 있는 병원체에 대한 정보를 공유하여야 병원체 노출자, 환자발생 시 신속하고 정확한 조치가 가능하다. 만약, 사전에 치료기관으로서 지정되지 않은 의료 기관에 노출자 치료를 요구할 경우, 해당 의료기관의 대응시스템 부재로 인한 원내감염에 대한 우려로 치료가 불가 또는 지연될 수 있다.

BL3와 BL4시설의 경우, 보안시설이라는 연구시설의 특성상 외부인원에 대한 출입이 제한되기 때문에 유관기관들과 연구시설 내 출입가능구역과 출입인원들에 대하여 사전에 합의가 이루어져야 효율적인 대응이 일어날 수 있을 뿐만 아니라 비상 시 보안체계가 유지될 수 있다.

위에서 언급된 요소들을 고려하여 세부적이고 조직화된 비상대응계획이 수립되었다고 할지라도

이를 바탕으로 훈련을 실시하지 않았다면 대응의 효용성은 검증되었다고 가정할 수 없다. 비상대응 계획을 바탕으로 기관내부 담당자는 물론 유관기관이 참여하는 훈련을 정기적으로 실시하고 대응 체계에 대한 객관적인 평가를 시행하여야 한다. 비상대응계획에 대한 평가에서는 각 대응조치별 문제점을 발견하여 개선방안에 대해 논의를 실시하고, 필요시 기존의 비상대응계획에 대한 개정을 시행하는 것이 바람직하다. 이는 안전관리분야에서 일반적으로 적용되는 전략인 PDCA (plan-do-check-act)의 방식과 동일하다. 이러한 과정을 통해 수립된 비상대응계획의 검증은 물론 참여기관들과의 유기적 대응을 촉진하여 기관의 비상대응능력이 향상될 것이다.

14.3.1.1. 비상대응 초기 행동요령

사고가 발생하였을 경우, 절대 서두르지 말고, 상황을 완전히 파악하며 관계자 등을 통해 사고와 관련된 정보를 수집한다. 이후 사고현장 접근 시 풍상방향에서 진입한다. 사고현장을 기준으로 바람이 불어오는 방향을 풍상이라 한다. 화재나 유해물질 사고에 있어서는 풍하방향에서 활동하는 경우가 가장 위험하다. 그리고 바로 위험지역에 접근하지 말고 사람들을 현장에서 이격시켜 충분한 안전지역을 확보 한다.

다음으로 사고와 관련된 위험성을 확인한다. 현장의 표지판, 라벨, 서류(운송서류 등), 관계자 등이 아주 귀중한 정보를 제공하므로 이 정보에 기초하여 위험성을 평가하고 판단하여 초기 안전조치를 취한다. 이때 초기 대응은 최악의 시나리오를 가정하여 조치하며, 유해물질의 특성이 파악되었다면 현장 상황에 맞게 적용한다.

14.3.1.2. 현장상황의 판단 및 대응

초기 행동요령에 따라 사고대응을 위한 기본조건이 갖추어졌다면, 다음의 요인들을 확인하여 전반적인 상황을 파악한다.

- 화재가 발생하고 유해물질이 유출/누출되어 확산되고 있는가?
- 풍향, 풍속, 기온 등 기상조건은 어떠한가?
- 지형 조건은 어떠한가?
- 누가/무엇이 위험에 노출되어 있는가?: 사람, 재산, 환경
- 어떤 조치를 취해야 하는가? / 대피가 필요한가? / 제방을 쌓아야 하는가? / 어떤 지원(인력·장비)이 필요하며, 현장투입이 가능한가?
- 즉각적인 조치로 무엇을 할 수 있는가?

전반적인 상황 파악이 이루어지면 상부에 보고하여 지원과 전문가의 조언을 얻고 현장 진입 여부 결정에 따라 적절한 조치를 취한다.

이후 현장지휘소를 설치하고 통신수단을 확보하며, 희생자는 가능한 신속하게 구조하고 필요할 경우 대피시킨다. 그리고 현장 상황을 계속 파악하고, 상황에 따라 융통성 있게 대처한다. 대응활동의 핵심은 구조대원 등을 포함한 현장의 인원을 보호하는 것이다.

14.3.1.3. 기타 준수사항

유출된 물질을 밟거나 만지지 않는다. 비록 유해물질로 확인되지 않은 경우라도 흙, 연기, 증기 등을 흡입하지 않는다. 또한 냄새가 없다고 가스나 증기가 무해하다고 생각하지 말아야 하며, 냄새 없는 가스도 위험할 수 있다. 그리고 빈 용기를 다룰 때는 잔여 유해물질이 남아 있을 수 있으므로 주의한다.

14.3.2. 실험종사자에 대한 안전조치 이행

14.3.2.1. 감염성물질 등이 안면부에 접촉되었을 때

실험자는 눈에 물질이 튀거나 들어간 경우, 즉시 눈 세척기(eye washer) 또는 흐르는 깨끗한 물을 사용하여 15분 이상 세척하고 눈을 비비거나 압박하지 않도록 주의한다. 필요한 경우 샤워실을 이용하여 전신을 세척한다.

발생 사고에 대해 연구(실) 책임자에게 즉시 보고하고 필요한 조치를 받는다. 연구(실) 책임자는 기관생물안전관리책임자 또는 의료관리자에게 보고하고, 취급하였던 감염성물질을 고려한 적절한 의학적 조치 등을 취한다.

14.3.2.2. 안면부를 제외한 신체에 접촉되었을 때

실험자는 장갑 또는 실험복 등 착용하고 있던 개인보호구를 신속히 벗고, 즉시 흐르는 물로 세척 또는 샤워한다. 이후 오염 부위를 소독하고 발생 사고에 대해 연구(실) 책임자에게 즉시 보고하고 필요한 조치를 받는다.

연구(실) 책임자는 기관생물안전관리책임자 및 의료관리자에게 보고하고, 취급하였던 감염성물질을 고려한 적절한 의학적 조치 등을 취한다.

14.3.2.3. 감염성물질 등을 섭취한 경우

실험자는 즉시 개인보호구를 벗고 즉각적인 의료적 처치가 가능하도록 의료관리자에게

연락하여 조치에 따르고 의료기관으로 이송한다. 섭취한 물질과 사고 사항을 즉시 기록하여 치료에 도움이 될 수 있도록 관련자들에게 전달한다.

14.3.2.4. 주사기에 찔렸을 경우

실험자는 신속히 찔린 부위의 보호구를 벗고 주변을 압박, 방혈한다. 그리고 15분 이상 충분히 흐르는 물 또는 생리식염수로 세척한다. 그리고 발생 사고에 대해 연구(실) 책임자에게 즉시 보고하고 필요한 조치를 받는다.

연구(실) 책임자는 기관생물안전관리책임자 및 의료관리자에게 보고하고, 취급하였던 병원성 미생물 또는 감염성물질을 고려하여 적절한 의학적 조치를 받도록 한다.

14.3.2.5. 기타 물질 또는 실험 중 부상을 당했을 경우

실험자는 발생한 사고에 대하여 연구(실) 책임자 및 의료관리자에게 즉시 보고하여 필요한 조치를 받는다.

연구(실) 책임자는 기관생물안전관리책임자 또는 의료관리자에게 보고하고 취급하였던 감염성물질을 고려한 적절한 의학적 조치 등을 하도록 한다.

14.3.3. 사고 상황에 대한 조치이행

병원성 미생물 및 감염성물질에 관련된 연구를 수행하는 각각의 실험실에는 생물학적 유출물 처리함(biological spill kit) 등을 비치하여 발생할 수 있는 유출사고에 대비하도록 한다. 생물학적 유출물 처리함은 유출사고에 빠르게 대처할 수 있도록 필요한 물품들로 구성되어 있다. 기본 물품으로 소독제, 멸균용 봉투, 종이타월, 소독제, 멸균용 봉투, 종이타월, 개인보호구(일회용 장갑, 보안경, 마스크 등) 및 깨진 유리조각을 집을 수 있는 핀셋, 빗자루 등 의 도구도 필요하다. 또한 화학적 유출물 처리함(chemical spill kit) 등을 함께 구비할 수 있다.

14.3.3.1. 실험구역 내에서 감염성물질 등이 유출된 경우

종이타월이나 소독제가 포함된 흡수물질 등으로 유출물을 천천히 덮어 에어로졸 발생 및 유출 부위가 확산되는 것을 방지한다. 유출 지역에 있는 사람들에게 사고사실을 알려 시험·연구 종사자들이 즉시 사고구역을 벗어나게 하고 연구(실) 책임자 및 관리자에게 보고하고 지시에 따른다.

사고 시 발생한 에어로졸이 가라앉도록 20분 정도 방치한 후, 개인보호구를 착용하고 사고

지역으로 돌아간다. 장갑을 끼고 핀셋을 이용하여 깨진 유리조각 등을 집고, 날카로운 기기 (주사바늘 등) 등은 손상성 의료폐기물 전용용기에 넣는다. 유출된 모든 구역의 미생물을 비 활성화시킬 수 있는 소독제를 처리하고 20분 이상 그대로 둔다.

종이타월 및 흡수물질 등은 의료폐기물 전용용기에 넣는다. 소독제를 사용하여 유출된 모든 구역을 닦는다. 청소가 끝난 후 처리작업에 사용했던 기구 등은 의료폐기물 전용용기에 넣어 처리하거나 재사용할 경우 소독 및 세척한다. 장갑, 작업복 등 오염된 개인보호구는 의료폐기물 전용용기에 넣어 처리하고, 노출된 신체부위를 비누와 물을 사용하여 세척하고, 필요한 경우 소독 및 샤워 등으로 오염을 제거한다.

14.3.3.2. 생물안전작업대 내에서 감염성물질 등이 유출된 경우

생물안전작업대의 팬을 가동 시킨 후 유출 지역에 있는 사람들에게 사고사실을 알리고 연구 (실) 책임자 및 생물안전관리자에게 보고한다. 장갑, 호흡보호구 등 개인보호구를 착용하고 70% 에탄올 등의 효과적인 소독제를 사용하여 작업대 벽면, 작업 표면 및 이용한 장비들에 뿌리고 적정 시간 동안 방치해 둔다. 종이타월을 사용하여 소독제와 유출 물질을 치우고 모든 실험대 표면을 닦아낸다. 생물안전작업대에서 모든 물품들을 제거하기 전에 벽면에 묻어 있는 모든 오염물질을 살균처리 하고 UV램프를 작동시킨다.

청소가 끝난 후 처리작업에 사용했던 기구 등은 의료폐기물 전용용기에 넣어 처리하거나 재사용할 경우 소독 및 세척한다. 장갑, 작업복 등 오염된 개인보호구는 의료폐기물 전용용기에 넣어 소독·폐기하고, 노출된 신체부위를 비누와 물을 사용하여 세척하며 필요한 경우 소독 및 샤워 등으로 오염을 제거한다. 만일 유출된 물질이 생물안전작업대 내부로 들어간 경우, 기관 생물안전관리책임자 및 관련 회사에 알리고 지시에 따른다.

14.4 비상대응 장비와 장구

감염성물질 및 유해화학물질 등 유해물질을 취급하는 연구실에서는 실험실 사고로 인하여 부상, 질병 등의 피해가 발생할 경우를 대비하여 비상조치 및 응급조치 방안을 마련하여야 한다.

산업안전보건법에 의거하여 관리대상유해물질을 사용되는 연구실에는 비상샤워기와 눈 세척 장비를 설치하도록 하며, 특히 산, 알칼리, 기타 부식성 물질 사용 시 비상샤워기는 반드시 설치하여야 한다. 비상샤워기 및 눈 세척 장비는 응급상황에 모든 사람들이 쉽게 접근하여 이용할 수 있는 곳에 설치하고, 항상 사용 가능하게 준비가 되어있어야 한다. 또한 연구자는 비상샤워기 및 눈 세척 장비의 위치와 사용법을 숙지하고 있어야 하며, 기관 안전 관리자는 분기별 1회 이상의

정기적인 장비 점검을 통해 응급 상황에 즉각 대처 할 수 있도록 하여야 한다.

그리고 미생물 및 감염성물질을 취급하는 실험실에서는 실험실종사자가 감염성물질을 엮지르는 등 생물안전사고 발생 가능성이 있으며, 이로 인한 실험실확득감염 사례도 빈번히 보고되고 있다. 이러한 생물안전사고에 대비하여 유출처리키트(spill kit) 및 사고처리 절차 등을 마련하여 발생 가능한 유출사고에 대비하여야 한다.

14.4.1. 사고대응 및 복구장비 세트

사고대응 및 복구장비는 크게 연구실 사고 수습과정에서 작업자를 보호하기 위해 개인이 착용하는 개인보호구(Table 14-2)와 사고 발생 시 사고확대를 방지하고, 신속한 사고 수습이 가능한 장비인 사고 대응 장비(Table 14-3) 등으로 구분한다.

Table 14-2. 화학 및 생물분야 개인보호구 세트

분야	장비	특징	분야	장비	특징
화학 분야	안전 보호의	 - 유기화합물용 보호복으로서 인증기관의 인증을 득한 제품 - 액상 화학물질의 제한적 분무 또는 분사에 대한 적합한 보호도 제공	생물 분야	보호복 (타이벡)	 액체 투과에 대한 저항성이 있고 제봉 마감이 좋을 것
	내화학 장갑	 - 니트릴 혹은 네오프렌재질로 내화학성이 있는 제품 - 인증기관의 인증을 득한 제품		일회용 장갑	 - 라텍스 또는 니트릴재질로 실험실 작업자의 크기에 맞는 크기로 준비 - 작업 중 손상을 대비하여 2겹으로 착용할 것
	내화학 장화	 - 광범위한 유성물 또는 장소에 적합 - 금속성의 발가락 보호쇠(toecap)가 있을 것		토시	 - 제염 시 손목 오염 방지용 - 액체 투과에 대한 저항성이 있을 것
	고글	 - 충격방지 및 화학물질 튜 방지용 - 안경위에 착용 가능하며 내화학성을 지님		일회용 보안면	 - 병원체에 의한 안면보호용 - 작업 후 폐기할 수 있음
	방독 마스크	 - 복합 유독가스로부터 눈과 얼굴을 보호할 수 있어야 함 - 끈 조절이 가능하고 정화통은 쉽게 조립이 되고 탈부착이 쉬울 것		덧신	 액체 투과에 대한 저항성이 있고 제봉 마감이 좋을 것
	활성탄 층 첨가 마스크	 냄새제거 흡착층이 첨가되어 있어 냄새 제거가 가능 할 것		N95 마스크	 - NIOSH(미국)의 기준에 의거한 방진 필터등급 N95이상 또는 국내 인증 기준 1급 이상일 것 - 알레르기 및 독성이 없을 것
	내화학 덧신	 - 유기 화합물용 보호복과 같은 소재로 제작 될 것 - 발목까지 충분한 보호 가능할 것			

Table 14-3. 사고대응장비 세트

분야	장 비		특 징	분야	장 비		특 징
가스 분야	도시가스, LPG 측정기		- 가연성가스 사용 시설에 대한 가스누설여부 확인 - 빗물 침입 등에 의한 고장 방지 기능	소방 분야	집게		작업 중 부상의 위험이 없도록 날카롭지 않을 것
화학 분야	수소가스 측정기		본질안전방폭구조(센서부는 내압방폭구조) 가스 농도가 디지털표시와 analogue bar 표시 동시 적용	기타	살균·소독제		취급하는 병원체에 대한 멸균력이 입증되어 있을 것
	VOC 측정기		- 방폭기기 성능 검증 인정 제품 1ppb 단위로 측정하고, 5초 이내에 측정 가능 할 것 - 모니터 수분침투 방지 기능		축압식 소화기		보통화재(A급), 유류화재(B급), 전기화재(C급) 소화에 사용
	산염기 중화제		유기산, 부식제, 포름알데하이드, 유기용매 등 소규모의 유출을 간편하게 처리 가능		금속화재 소화기		금속화재(D급) 소화에 사용
	화학 흡착포		- 산, 알칼리 등의 액체 유해물 외에도 광범위한 액체물질의 흡착이 가능 할 것 - 화학물질과 결합하여도 화학 반응을 일으키지 않을 것		비상용 방화담요		- 물이나 소화기에 역반응을 일으킬 수 있는 각종 화재의 초기진압에 적합할 것 - 화재시 고온의 열로부터 신체를 보호할 수 있는 비상용 덮개로 사용가능 할 것
	화학물질 유출키트		작업자를 안전하게 보호하며, 손쉬운 대응 가능		접근금지 테이프		피해확대 방지 및 사고 현장 출입 통제 시 사고 현장 주변에 설치
	종이타올 (흡수지)		흡수력이 뛰어나며 물에 잘 찢어지지 않고 2겹 이상으로 되어 있을 것				

14.4.2. 비상샤워시설(emergency shower)

비상샤워시설은 실험도중 실험자의 전신에 화학물질이 튀었거나 옷에 불이 붙었을 경우 그 즉시 온몸을 씻을 수 있고 비상 소화를 위한 시설이다. 비상샤워시설은 설치 방법에 따라 3가지로 나눌 수 있다. 천정에서 수직배관을 연결하거나 벽에서 수평배관으로 머리위에 설치되어 줄을 잡아당기면 물이 나오는 천정/벽 부착형과, 손으로 조작하여 상처부위를 빠르게 씻어낼 수 있는 작업대에 설치되는 호스형, 세안설비와 샤워설비가 같이 설치되어있는 바닥에 설치하는 비상조합형이 있다.

(A) 천정/벽 부착형



(B) 비상조합형



Figure 14-2. 비상샤워시설의 예

비상샤워시설은 응급상황에서 신속하게 접근이 가능한 위치에 설치하고 알기 쉽도록 확실한 표시를 하여야 한다. 연구자들이 눈을 감은 상태에서 도달할 수 있도록 잡아당기는 장치는 모든 사람의 키에 맞도록 높이를 조절해야하고 배수구 근처에 설치하여야 한다. 샤워장치가 작동되는 동안 혼자서 옷, 신발이나 장신구를 벗을 수 있어야 하며, 샤워장치에서 쏟아지는 물줄기는 몸 전체를 덮을 수 있도록 설치해야 한다. 사용자는 최소 15분에서 30분정도 충분히 샤워를 한 후 신속히 병원으로 이동하여야 한다(Figure 14-2).

14.4.3. 눈 세척장비(eye shower)

눈 세척 장비는 실험중 감염성 물질 및 화학물질이 연구자의 눈에 튀었을 때에는 즉시 눈을 씻을 수 있는 장비로 비상샤워시설과 함께 응급 상황 시 사용할 수 있는 장비이다. 눈 세척 장비는

연구실의 모든 장소에서 15 ~ 30초 이내 도달할 수 있는 위치에 확실히 알아 볼 수 있는 표시와 함께 설치되어야 한다. 또한 연구자들은 눈의 오염이나 부상으로 시력이 저하되거나 잃은 상황에서도 쉽게 이용할 수 있는 장소에 설치하여야 한다(Figure 14-3).

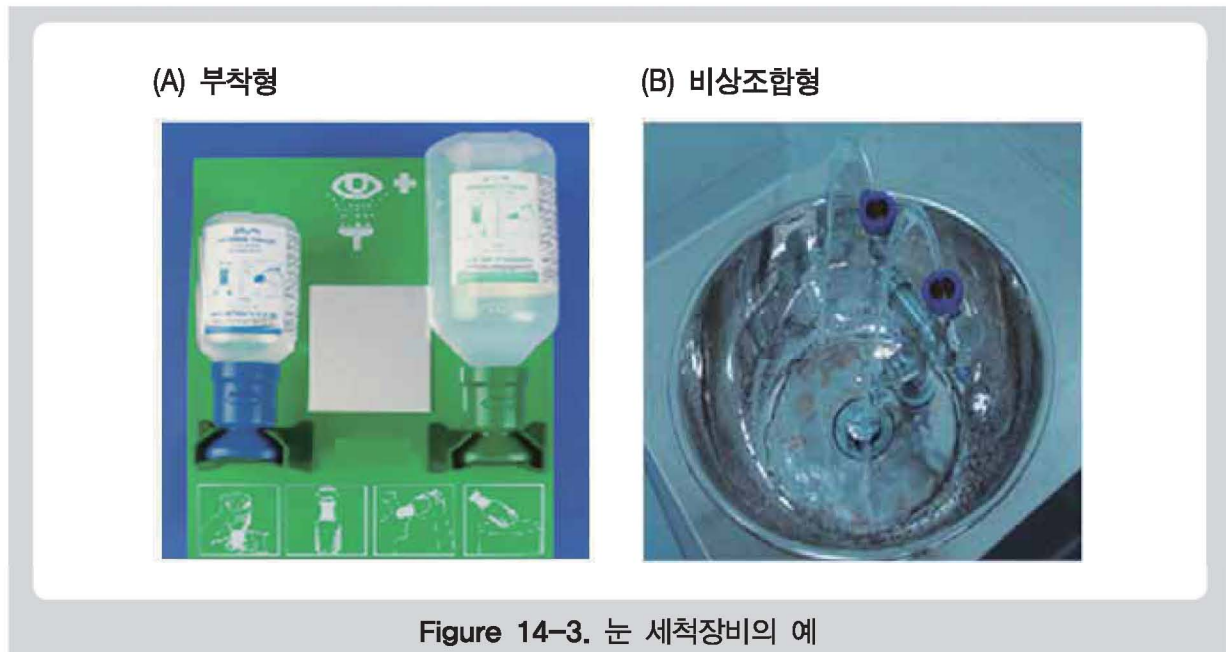


Figure 14-3. 눈 세척장비의 예

보통 눈 부상은 피부 부상을 동반하게 되므로 눈 세척 장비는 샤워시설과 같이 설치하여 눈과 몸을 동시에 씻을 수 있도록 하는 것이 좋다. 눈 세척 장비를 사용할 때는 물 또는 세척제를 직접적으로 눈으로 향하게 하는 것보다는 코의 낮은 부분을 향하도록 하는 것이 좋으며, 코의 바깥쪽에서 귀 쪽으로 세척하여 씻겨진 화학물질이 거꾸로 눈 안이나 오염되지 않은 눈으로 들어가지 않도록 하여야 한다. 연구자들은 실험실 내에서 가능한 렌즈 착용을 피하고, 만약 렌즈를 착용을 하였다면 즉시 렌즈를 제거해야 한다. 눈 세척 시 부식성 화학물질이 눈에 남아 있지 않도록 최소 15분에서 30분간 충분히 세척을 하고 안전 관리자에게 보고를 한 뒤 의학적인 치료를 받을 수 있도록 한다.

14.4.4. 유출처리키트(spill kit)

유출처리키트란 실험실 내 용기 파손, 연구자의 부주의 등으로 발생할 수 있는 감염물질 유출사고에 신속히 대처할 수 있도록 처리물품 및 약제 등을 함께 마련해 놓은 키트이다. 처리대상 물질, 용도, 처리 규모에 따라서 생물학적 유출처리키트(biological spill kit), 화학물질 유출처리키트(chemical spill kit), 범용 유출처리키트(universal spill kit), 수은 유출처리키트(mercury spill kit) 등이 있다.

유출의 위해 가능성이 있는 실험실에서는 취급하는 유해물질 및 병원체를 고려하여 적절한 유출 처리키트를 마련하고 비상사태에 연구자가 쉽고 빠르게 이용할 수 있도록 눈에 잘 띄고 사용하기

편리한 곳에 비치하여야 한다(Figure 14-4).



Figure 14-4. 유출처리키트

유출처리키트의 구성품은 개인보호구, 유출확산 방지도구, 청소도구 등으로 이루어져 있다. 개인 보호구는 일회용 실험복, 장갑, 앞치마, 고글, 마스크, 신발덮개 등이며, 유출확산 방지도구는 확산 방지 쿠션 또는 guard, 고형제 (liquid형 유출물질 Gel화), 흡습지로 구성되어 있다.

청소도구는 소형 빗자루, 쓰레받기, 핀셋 등이며 그 외로 유출처리키트의 성상에 따라 소독제, 중화제, 손소독제, biohazard bag, 손상성 폐기물 용기 등의 부가적인 성상으로 구성되어 있다.

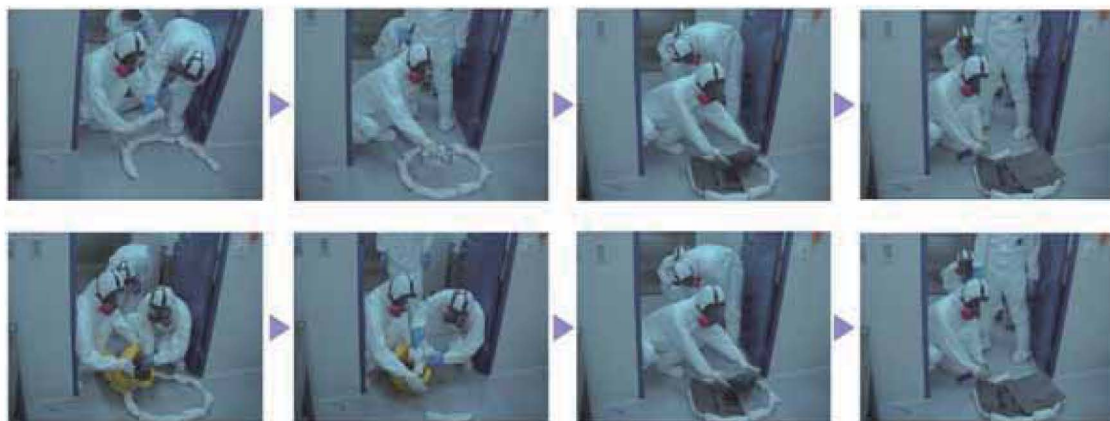


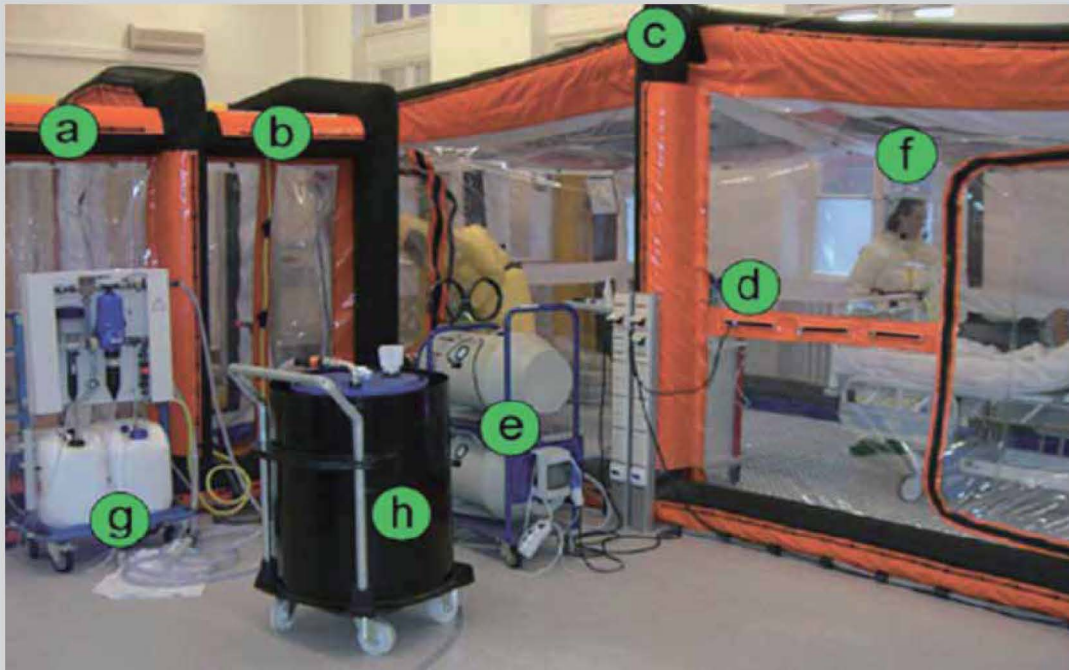
Figure 14-5. 유출처리키트의 이용절차

유출처리키트의 사용방법은 다음과 같다(Figure 14-5).

- 유출 사고 발생 즉시, 유출 구역을 벗어나 유출구역 문을 닫아서 차단한다.
- 동료들이 유출 구역에 들어가지 않도록 주변에 알린다.
- 유출 사고 시 오염된 실험복, 장갑 등을 제거하고, 손, 얼굴 등 노출된 부위를 세척한다.
- 유출구역이 외부환경보다 음압을 띄는 실험실의 경우, 유출 시 발생한 에어로졸을 약 30분가량 가라앉힌 후 처리한다. 일반 실험실의 경우에는 제염할 준비가 되는 즉시 유출물질을 처리하는 것이 좋다. 또한 실험실 외부에서 감염성물질을 다른 구역으로 이동하는 과정에서 유출이 발생할 경우에는 그 즉시 제염을 하여야 한다.
- 실험복, 마스크(호흡기매개 병원체일 경우 N95 마스크 사용), 장갑 등 개인보호구를 착용 후 유출구역으로 들어간다.
- 깨진 유리, 용기, 등을 핀셋이나 집게 등으로 치운다.
- 대량의 유해물질이 유출되었을 경우에는 감염성 물질이 더 이상 확산되지 않도록 확산 방지 쿠션으로 유출된 물질 주변을 차단하고 흡수지, 흡착제 등을 이용하여 유출된 물질을 흡수시켜 확산을 방지한다.
- 소독제를 유출구역 주변에서부터 중심부로 살포한 후 약 20분 방치 한다.
- 오염물질을 흡수한 흡습제 등을 제거 후 오염구역을 반복하여 소독 처리한다. 사용한 유출처리 물품들은 biohazard bag에 넣어 멸균 후 『폐기물관리법』에 의거하여 처리한다.
- 장갑 실험복 등은 폐기 또는 멸균을 하고, 손 등 노출된 신체부위를 씻는다.
- 실험실책임자 및 기관안전관리자에게 생물안전사고를 보고한다. 고위험병원체의 경우 [고위험 병원체 안전관리지침]의 별지 제3호서식(생물안전 사고보고서)를 작성 후 질병관리청장에게 보고한다.

독일의 BL4 비상사고 발생 및 대응사례

독일 함부르크에 위치해있는 BL4 연구시설(bernhard nocht institute for tropical medicine)에서 2009년 3월 연구자가 Ebola virus zaire strain 취급 중 주사바늘에 찔리는 사고가 발생하였다. 사고 직후 사전에 치료병원으로 지정되어있던 대학병원(university medical center hamburg- eppendorf)에 이송하여 치료, 관찰하였다. 해당 병원에는 음압시스템, 헤파필터 등을 갖춘 생물안전 밀폐설비(biocontainment patient care unit, BPCU)를 보유하고 있어 노출자가 발열증상을 나타낸 후 해당 설비로 옮겨 치료를 실시할 수 있었다(Gunther *et al.*, 2011).



[Biocontainment patient care unit, BPCU]

연구소 및 지정병원의 책임자는 노출자 발생 직후 미국 질병통제예방센터와 미국 국립보건원, 미국 육군 감염병연구소, 캐나다 보건청 등 국외 BL4 보유기관들과 화상회의를 개최하여 노출사고 발생에 대해 알리고 가용한 의학적 조치방안에 대하여 논의하였다.

다양한 의학적 조치방안에 대한 검토를 거쳐 허가를 득하지는 않았으나 임상시험을 통해 유효성을 확인한 재조합백신을 노출자에게 투여하도록 결정한 후, 캐나다 보건청으로부터 해당 백신을 긴급 수령하여 조치를 실시하였다. 노출자는 백신접종 후 발열을 나타내었으나 Ebola virus 노출에 의한 증상이 아닌 백신접종에 의한 것으로 확인되었고, 사고자는 회복하여 입원 후 21일째 퇴원하였다.

본 사고는 치료병원의 지정 및 취급병원체 정보공유, 치료병원 내 노출·환자발생에 대비한 시스템 구축이 비상대응에 있어 필수적이라는 것을 확인시켜준 사례였으며, 특히 BL4 보유기관의 경우, 해외 보건기관들과의 국제네트워크를 구축하고 비상시 신속한 커뮤니케이션으로 국제적 지원을 받을 수 있도록 해야 한다는 사실을 나타내준다.

REFERENCES

1. 국립금오공과대학교. 연구실 사고대응 매뉴얼 for kit. 구미: 국립금오공과대학교; 2016.
2. 질병관리본부. 실험실 생물안전지침. 오송: 질병관리본부; 2015.
3. Center for Disease Control and Prevention(CDC). Guidelines for Safe Work Practices in Human and Animal Medical Diagnostic Laboratories, MMWR, 2012;61:1-101.
4. Gunther S, Feldmann H, Geisbert TW. Management of Accidental Exposure to Ebola Virus in the Biosafety Level 4 Laboratory, Hamburg, Germany. The Journal of Infectious Diseases, 2011;204:785-790.
5. Kimman TG, Smit E, Klein MR. Evidence-Based Biosafety: a Review of the Principles and Effectiveness of Microbiological Containment Measures. Clinical Microbiology Reviews, 2008;21:403-425.
6. Pike RM. Laboratory-associated infections: incidence, fatalities, causes, and prevention. Annual Review of Microbiology. 1979;33:41-66.
7. Public Health Agency of Canada(PHAC). Canadian Biosafety Standards and Guidelines First Edition, Ottawa: PHAC; 2013
8. Richmond JY, Nesby-O'Dell SL. Laboratory Security and Emergency Response Guidance for Laboratories Working with Select Agents. MMWR, 2002;51:1-8.
9. World Health Organization(WHO). Laboratory biosafety manual Third edition. Geneva: WHO; 2004.

15

소독과 멸균, 폐기물관리

유민수(코라 공공컨설팅&솔루션)

미생물 및 감염성물질을 취급하는 실험실에서 소독과 멸균에 대한 올바른 이해와 적절한 방법의 선택은 생물안전 확립을 위해 매우 중요하다. 감염력을 저하시키거나 세균의 오염 등을 제거하는 소독과 멸균은 취급하는 미생물, 감염성물질, 오염 정도 등에 따라 종류 및 방법이 달라질 수 있다. 따라서 생물요소의 특성에 따라 제조업체의 규격 문서를 바탕으로 소독 및 멸균제 사용 방법을 정한다. 소독과 멸균에 관한 용어는 다양한데, 가장 많이 이용되는 용어와 그 의미는 다음과 같다 (WHO, 2004).

- 소독(disinfection): 미생물을 죽이지만 아포는 죽이지 않는 물리/화학적 수단. 병원체의 생활력을 멸살 또는 파괴시켜 감염이나 증식력을 제거하는 방법
- 멸균(sterilization): 모든 종류의 미생물과 아포를 죽이거나 제거하는 과정.
- 방부(preventing putrefaction): 미생물의 발육과 생활작용을 억제 또는 정지시켜 부패나 발효를 억제하는 방법으로, 방부를 함으로써 소독의 효과를 기대할 수는 없으나 소독을 하게되면 방부의 효과가 있다.
- 소독제(disinfectant): 미생물을 죽이지만 아포(spore)는 죽이지 않는 화학물질 또는 혼합물
- 항미생물제(antimicrobial): 미생물을 죽이거나 성장과 증식을 억제하는 물질
- 살생물제(biocide): 생물체를 죽이는 물질을 지칭하는 일반적인 용어
- 살미생물제(microbiocide): 미생물을 죽이는 화학물질 또는 혼합물. 살생물제, 화학적 살균제 또는 항미생물제 대신 사용하는 용어
- 화학적 살균제(chemical germicide): 미생물을 죽이는데 사용되는 화학물질 또는 혼합물
- 방부제(antiseptic): 미생물의 성장과 증식을 저해하는 성분. 미생물을 반드시 사멸시키지는 않음
- 살아포제(sporocide): 미생물과 아포를 죽이는데 사용하는 화학물질 또는 혼합물
- 오염제거(decontamination): 오염물질(미생물 등)을 죽이거나 제거하는 과정

15.1 살균·소독 관련 국내외 규정

살균소독과 관련하여 미국에서는 FDA의 연방 식품 의약품 화장품법(Federal Food, Drug and Cosmetic Act, FFDCA)과 EPA의 연방 살충제 곰팡이 제거 및 살서제법(Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act, FIFRA)과 관련하여 소독제에 대한 규정을 제시하고 있다.

유럽연합은 살균소독제를 Biocidal product로서 광범위하게 관리한다. 현재 유럽연합 뿐만 아니라 OECD에서도 이와같은 물질을 살생물제로 정의하고 있다. 유럽연합은 1998년 관련지침(Biocidal Directive 98/8/EC)을 공표하고 2000년 시행하였다. 이 지침은 기존의 화학물질 관련법령에서 다루어지지 않는 화학물질을 모두 포함하고 있는데, 이는 미국의 TSCA(Toxic Substance Control Act)나 우리나라의 유해화학물질관리법과 같이 기존의 법령에 의해 다루어지지 않는 화학물질 관리의 사각지대를 보완하는 형태의 법률이라 할 수 있다.

우리나라에서 공중위생을 위한 소독제는 의약외품 또는 전문의약품으로 관리하고 있으며, 식품에 처리하는 살균소독제는 식품첨가물로 관리하고 있다. 다만 세정제 또는 세척제는 공산품으로 분류된다. 2016년 1월 현재, 우리나라에서 의약품으로 허가받은 소독제 품목은 약 20여종으로 상처 치료제로 사용되고 있다(Table 15-1). 의약외품으로 관리되는 소독제는 8품목으로 피부나 의료용구, 위생소독 등에 사용되고 있다. 그외 공산품으로 유통되고 있는 세정제 또는 세척제는 약 10여종으로 허가없이 유통되거나 식품 등 한시적인 기준 및 규격에 대하여 인정을 받은 품목들이다. 이러한 소독제를 의료기관에서 사용할 경우, 식품의약품안전처에서는 의료기구의 소독은 의약품이나 의약외품 허가를 받은 제품만 사용이 가능하다고 명시하고 있으나, 보건복지부 고시에서는 미국 FDA 또는 유럽 CE 등에서 인증받은 제품도 가능하다고 규정되어 있어, 관련규정의 정비가 필요하다는 의견이 제기되고 있다(데일리팜, 2016).

Table 15-1. 살균소독제 관련 국내외 관리동향 비교(한국보건산업진흥원, 2002; 일부수정)

	우리나라	미국	유럽연합	일본
관련법령	식품위생법 약사법	FFDCA FIFRA	Biocidal product directive	식품위생소독법
	식품첨가물	FFDCA(간접첨가물 중 sanitizing solution) FIFRA (antimicrobial pesticide)	Biocide	식품첨가물(일부에 한함)
관련부처	보건복지부 식품의약품안전처	FDA EPA	EC	-
유효성평가	-	AOAC (EPA document) Antimicrobial testing methods & procedures	CEN	JIS(섬유제품) 제균에 대한 산업체 자가기준 검토중

15.2 살균·소독에 대한 미생물의 저항성

15.2.1. 고유 저항성(instinct resistance, inherent feature)

미생물의 고유한 특성 즉, 미생물의 구조, 형태 등의 특성, 균 속, 균 종 등에 따라 갖게 되는 소독제에 대한 고유 저항성을 의미한다. 그람음성세균은 그람양성세균보다 소독제에 대한 저항성이 강하며, 아포의 경우 외막 등의 구조적 특성 때문에 영양세포보다 강한 저항성을 갖게 된다. 따라서 적합한 소독제를 선택하기 위해 취급 미생물과 소독제에 대한 이해가 필요하다.

15.2.2. 획득 저항성(acquired resistance, develop over time)

미생물이 환경, 소독제 등에 노출되는 시간이 경과함에 따라 발생할 수 있는 미생물의 염색체 유전자 변이 또는 치사농도보다 낮은 농도의 소독제를 지속적으로 사용하는 과정에서 획득되는 내성을 의미한다.

15.2.3. 소독제에 대한 미생물의 저항성

소독제에 대한 미생물의 저항성은 미생물의 종류에 따라 다양하다. 세균 아포가 가장 강력한 내성을 보이며, 지질 바이러스가 가장 쉽게 파괴된다. 영양형 세균, 진균, 지질 바이러스 등은 낮은 수준의 소독제에도 쉽게 사멸되며, 결핵균이나 세균의 아포는 높은 수준의 소독제에 장기간 노출되어야 사멸이 가능하다(Table 15-2).

Table 15-2. 미생물의 내성 수준에 따른 소독과 멸균(질병관리본부, 2015)

미생물	내성	예	필요한 소독수준
프리온	높음  낮음	CJD	프리온 소독
세균 아포		<i>Bacillus subtilis</i>	멸균 수준의 소독
Coccidia		<i>Cryptosporidium</i> spp.	높은 수준의 소독
항산균		<i>M. tuberculosis</i> , <i>M. terrae</i>	높은 수준의 소독
비지질, 소형바이러스		Poliovirus, Cocksackie virus	중간 수준의 소독
진균		<i>Aspergillus</i> spp., <i>Candida</i> spp.	
영양형 세균		<i>S. aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i>	낮은 수준의 소독
지질, 중형 바이러스		HIV, HSV, HBV	

15.3 세척(cleaning)

세척은 물과 세정제 혹은 효소로 물품의 표면에 붙어있는 오염을 씻어내는 것으로 미생물이나 오염물질을 제거하는 과정이다. 세척의 목적은 대상 물품의 외부 표면 등에 부착된 유기물, 토양, 기타 이물질 등을 제거하여 효과적인 소독·멸균이 가능하게 함이다. 소독·멸균 대상품에 부착되어 있는 물질들은 소독·멸균의 효과를 저하시킬 수 있기 때문에 기계적인 마찰, 세제, 효소 등을 사용하여 충분히 이물질 등을 제거 한 후에 소독·멸균 등을 실시한다.

세척에 영향을 미치는 요소에는 물, 세제, 온도가 있다. 적절한 세척이 이루어지기 위해서는 오염의 양과 형태, 수질, 세제의 형태와 농도, 산성도, 기계적인 세척형태 및 세척시간 등을 고려해야 한다.

효과적인 세척을 위해 세정제가 사용되며, 세정제에는 유화제, 가수분해제, 계면활성제, 단백분해 효소, 연화제 등이 있다. 세정제는 오염의 성질 미및 형태와 양, 기구에 붙어있는 혈액이나 체액과 같은 단백질 성분, 소변의 침전물과 같은 알칼리성 오염의 정도 등에 따라서 적절한 것으로 선택하도록 한다.

효소세제는 일반적으로 단백효소제가 기본이며, 지질분해를 위한 리파아제(lipase), 탄수화물 분해를 위한 아밀라아제(amyase)가 포함되기도 한다. 효소세제들은 중성으로 금속기구에 효과적이다. 그러나 효소세제는 소독제가 아니며, 소독제를 불활성화 시킬수 있으므로 사용후 충분한 세척이 중요하다. 불충분한 세척은 기구의 손상이나 취급자에게 발열과 같은 문제를 유발한다. 최근에 개발되어 사용되는 비효소세정제는 과산화수소(H_2O_2)를 기반으로 하고 있으며, 효소세제 만큼 효과적인 것으로 보고되고 있다. 실험자료에 의하면 실온에서 3분만에 미생물의 숫자를 5log 감소시킬 정도로 미생물의 감소효과가 뛰어나지만, 실제 이용시 적용시간, 방법, 취급자에 따라 세정제의 효과가 달라질 수 있다.

자동세척기를 사용할 경우 거품을 발생시키는 계면활성제는 기계의 오작동을 유발하므로 사용하지 않도록 한다. 부식성이 없고, 거품이 적고, 쉽게 헹구어지는 세제를 사용하도록 하며, 중성에 가까운 음이온이나 비이온성세제이어야 한다. 부적합한 세제의 사용은 세척기 내부에 스케일을 형성하므로 제조회사에서 추천한 세제를 사용하는 것이 바람직하다.

15.4 소독(disinfection)

소독은 일반적으로 미생물의 생활력을 파괴시키거나 약화시켜 감염 및 증식력을 없애는 조작을 의미하며, 미생물의 영양세포를 사멸시킬 수 있으나 아포는 파괴하지 못한다. 소독은 크게 물리적인 소독, 자연적인 소독과 화학적인 소독으로 구분되며 실험실에서는 주로 약물소독법을 사용하는데 소독제는 가격이 싸고 소독효과가 높지만 인간 및 환경 위해 가능성 때문에 저장, 취급 등에 주의하고 제조사의 사용설명서와 MSDS (material safety data sheets)을 숙지해야 한다.

물체의 표면에 있는 미생물 및 세균의 아포를 사멸하는데 있어 그 능력별로 수준을 다음과 같이 나눌 수 있다. 사용하는 기구의 종류와 요구되는 소독수준에 따라 필요로 되는 소독 방법을 요약하면 아래 표와 같으며, 요구되는 소독 수준에 따라 알맞은 소독방법을 선택하여 사용해야 한다.

- 높은 수준의 소독(high level disinfection) : 노출시간이 충분하면 세균 아포까지 죽일 수 있으며 모든 미생물을 파괴할 수 있는(germicide) 소독능이다.
- 중간 수준의 소독(intermediate level disinfection) : 결핵균, 진균을 불활성화 시키지만, 세균 아포를 죽일 수 있는 능력은 없다.
- 낮은 수준의 소독(low level disinfection) : 세균, 바이러스, 일부 진균을 죽이지만, 결핵균이나 세균 아포 등과 같이 내성이 있는 미생물은 죽이지 못한다.

소독제의 소독효과는 일반적으로 농도가 높을수록 효과도 높아지지만 기구의 손상을 초래할 가능성도 높아진다. 소독하고자 하는 물체에 부식, 착색, 기능의 이상을 주지 않으면서 살균에 적절한 농도를 유지할 수 있어야 한다.

일반적으로 미생물의 수가 많을수록 소독의 효과는 감소된다. 또한 미생물의 종류에 따라서도 차이가 있다.

혈액, 단백질, 토양 등의 오염물질은 소독제 및 멸균제가 미생물과 접촉하는 것을 방해하거나 불활성화 시킨다. 유기물이 많을수록 소독에 필요한 접촉시간은 지연되므로, 소독을 실시하기 전에 세척 등의 유기물 제거과정이 필요하다. 소독제의 효과가 나타나기 위해서는 일정 시간동안 소독제와 접촉하고 있어야 한다. 필요한 접촉시간은 소독제의 종류와 기타 다른 영향요인들에 의해 결정된다. 일반적으로 노출시간이 길어질수록 미생물의 숫자는 감소한다.

또한 사용하는 희석용매의 물리적·화학적 요인이 영향을 미칠 수 있다. 물에 용해되어 있는 칼슘이나 마그네슘은 비누와 작용하여 침전물을 형성하거나 소독제를 중화시킬 수 있다. 물의 종류 즉, 지하수나 경수, 수돗물 혹은 정제수인지에 따라 영향을 받는다. 온도도 소독제의 효과에 영향을 미친다. 일반적으로 온도가 높을수록 소독력은 증가된다. 기구에 형성된 생막(biofilm)은 소독제로

부터 생막 안쪽의 미생물들을 보호하는 역할을 하여 소독력을 저하시키기도 한다.

15.4.1. 물리적 소독(김근수 등, 2001)

물리적 소독은 건열에 의한 방법과 습열에 의한 방법으로 구분된다.

건열에 의한 방법은 화염멸균법, 건열멸균법 그리고 재생가치가 없는 물건을 태워 없애는 소각법(incineration)으로 나뉜다. 화염멸균법(flaming sterilization)은 연료 등을 이용해 물체를 직접 건열하여 미생물을 태워죽이는 방법으로 아포까지 제거할 수 있다. 이 방법은 주로 백금이나 같은 금속류, 초자기구, 도자기 등의 멸균에 이용되며 최소 20초 이상 물체에 직접 접촉시킴으로서 가능하다. 건열멸균법(dry heat sterilization)은 건열멸균기를 이용하여 미생물을 산화시켜 미생물이나 아포 등을 완전히 멸균하는 방법으로 170℃ 정도의 온도에서 1 ~ 2시간 건열한다. 유지류, 분말, 바셀린 또는 글리세린 등과 같이 습열멸균법에 의해서 소독되지 않는 것의 멸균이나 초자기구, 주사기 등을 멸균하며, 천이나 종이 등은 멸균이 잘 되지 않는다.

습열에 의한 방법은 자비멸균법, 고온증기멸균법, 저온소독법, 유통증기멸균법, 간헐멸균법 및 초고온 순간살균법 등이 있다. 자비멸균법(boiling water sterilization)은 물을 끓인 후 10 ~ 30분간 처리하는 방법으로 아포는 사멸시킬 수 없다. 고온증기멸균법(autoclaving steam sterilization)은 미생물 및 아포까지 멸살시키는 방법으로 고압증기멸균기(autoclave)를 이용하여 120℃에서 20분 이상 멸균하는 방법이다. 저온소독법(pasteurization)은 62 ~ 65℃에서 30분간 건열하여 아포를 형성하지 않는 세균(결핵균, 디프테리아균, 콜레라균, 연쇄상구균 등)을 멸균하는 방법이다. 유통증기법(flowing steam sterilization)은 100℃의 증기로 30 ~ 60분간 건열하여 멸균하는 방법으로 자비소독법과 동일한 효과가 있다. 간헐멸균법(fractional sterilization)은 100℃의 증기로 24시간 마다 15 ~ 30분간 3회씩 반복하는 방법으로 아포형성균을 죽일수 있다. 초고온 순간살균법은 130 ~ 140℃에서 2초간 살균처리하는 방식으로 우유 등의 식품살균에 주로 사용된다.

15.4.2. 자연적 소독(김근수 등, 2001)

건열하지 않는 멸균법은 자외선 멸균법, 여과멸균법, 방사선 멸균법이 있다.

자외선 멸균법(ultra radiation sterilization)은 2,500 ~ 2800 Å의 자외선을 이용한 소독이나 살균법을 의미한다. 자외선 소독은 물체 표면에 한정되어 있기 때문에 투과가 관란하고 유리를 통과하지 못한다.

여과멸균법(filtration)은 열을 가할 수 없는 물질 등을 여과기로 걸러서 균을 제거시키는 방법으로, 세균보다 작은 바이러스는 걸러지지 않는 단점이 있다.

방사선 멸균법은 코발트60(Co60) 등의 방사선 방출물질을 조사시켜 세균을 사멸하는 방법이다.

15.4.3. 화학적 소독

화학적 소독은 소독제(disinfectant) 또는 살생물체(biocide)를 이용하여 짧은 시간에 살균하는 방법으로, 소독제에 따라 살균작용기전에 다소의 차이가 있다.

살생물체는 전통적으로 미생물의 성장을 억제하거나 물리화학적 변화를 만들어냄으로써 활성을 잃게 하거나 또는 사멸하게 하는 작용기전을 가지며(P. Maris, 1995), 살생물체의 효과는 활성물질과 미생물의 특정 표적간의 상호작용에서 나타난다(Araújo *et al.*, 2011). 이러한 활성물질의 표적은 매우 다양하다(Figure 15-1).

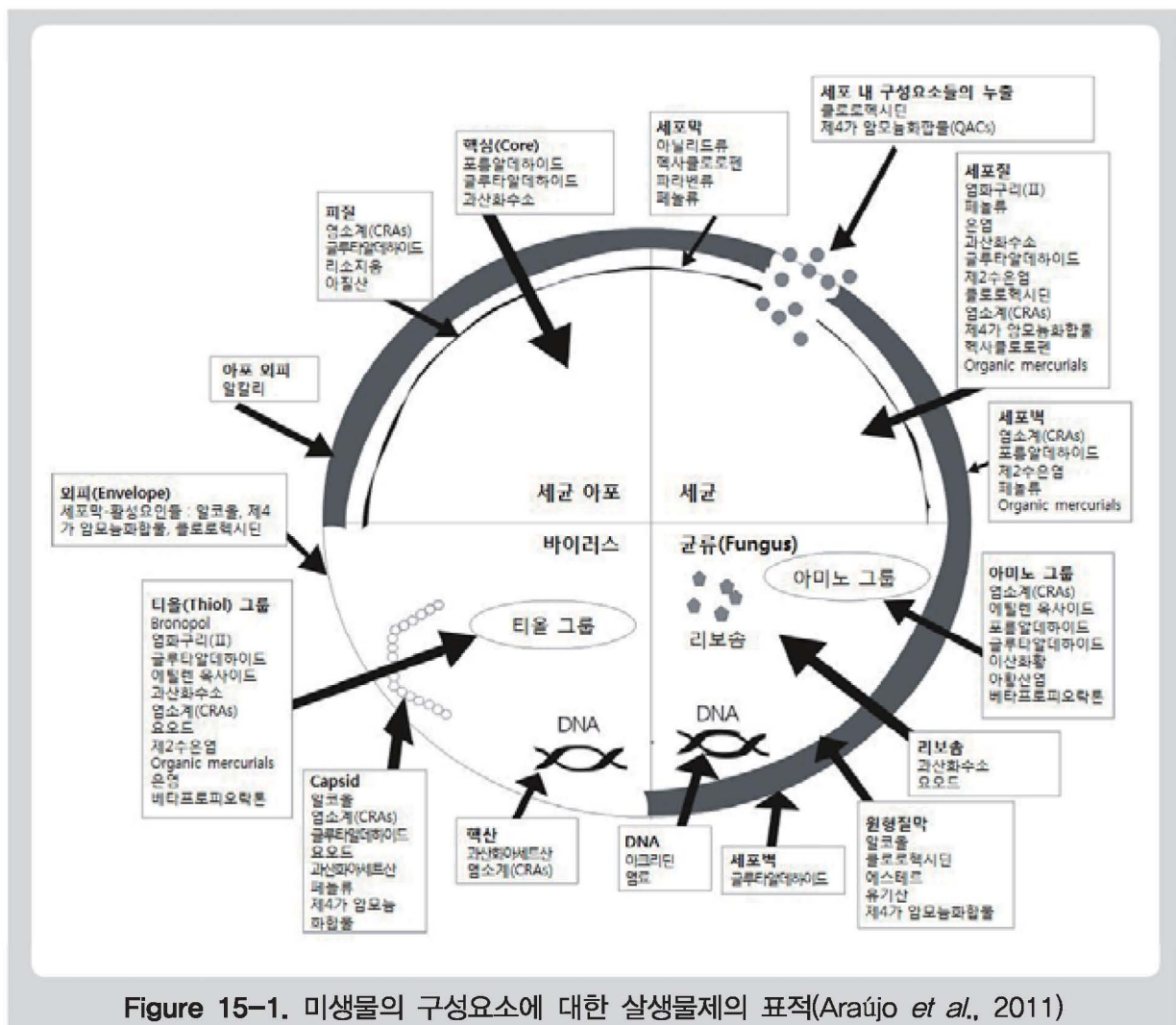


Figure 15-1. 미생물의 구성요소에 대한 살생물제의 표적(Araújo *et al.*, 2011)

이러한 소독제의 성상별 살균작용 기전을 간단히 정리하면 산화작용, 삼투압작용, 대사저해 작용, 단백질 응고작용, 세포막 파괴 작용으로 구분할수 있으며(Table 15-3) 기본적으로 브라운 운동이나

전기적 작용에 의해 미생물과 접촉한다(Figure 15-2).

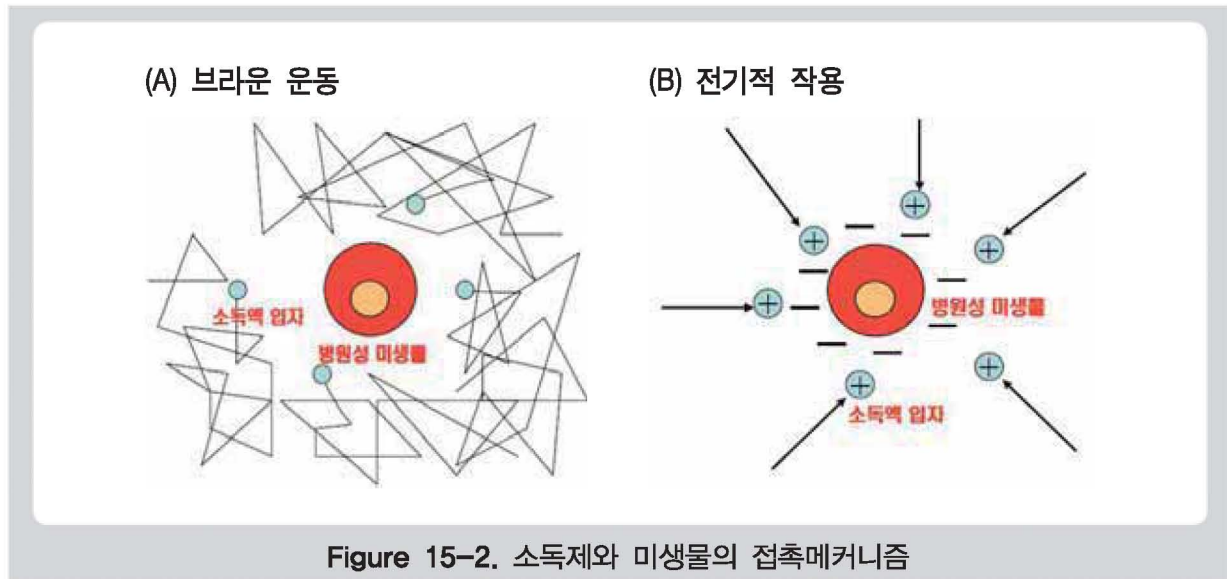


Table 15-3. 생물제의 표적과 작용에 따른 비교(Araújo *et al.*, 2011)

	세포의 표적	항균작용	상호작용 메커니즘	살생물제 예시
화학적 상호작용	티올(thiol ³⁷⁾) 함유 세포질과 세포막 결합효소 예: 탈수소효소	대사저해 (metabolic inhibition)	티올그룹 산화작용 (대부분)	Isothiazolinone Organomercury Salts of heavy metals Hypochlorite
	구핵성(nucleophilic) 단백질, RNA, DNA 등 생분자	세포대사 및 복제 저해. 세포벽 손상 가능	일반적인 Alkylation 작용	Glutaraldehyde Formaldehyde Chloroacetamide
	단백질내 아미노그룹	대사저해로 인한 용해(lysis)	할로겐화	Hypochlorite Chlorine-releasing agents
	효소 및 단백질 티올그룹	대사저해	유리기 산화작용 (예: hydroxyl radicals)	Hydrogen peroxide Peracetic acid
	2가 양이온 매개 외부세포막 완전성, 그람음성 세포벽이 주 표적영역. 금속이온이 필요한 효소 프로세스	세포내용물 유출; High susceptibility to stress; metabolic inhibition.	금속이온들의 킬레이트화	EDTA Oxine
	DNA 염기쌍 사이층	복제기능 손상	사이층 (intercalation)	Aminoacridines
이온 상호작용	세포질막 완전성; 세포막 부착효소 환경 및 기능	누출; 호흡저해; 세포내 응고	인지질내 정전기 상호작용	Quaternary ammonium compounds Clorhexidine Polyhexamethylene Biguanides

	세포의 표적	항균작용	상호작용 메커니즘	살생물제 예시
물리적 상호작용	세포질 pH 변화; 세포막 완전성	누출; 물질전달 파괴, 호흡 및 에너지 결합과정 파괴	인지질 이중막 침투/분할; 인지질 분자의 이동가능; 내부 세포막분자 순환	Phenols Weak acids Parabens Tetrachlorosalisylanilide Phenoxyethanol 2-phenylethanol
	세포막 완전성	누출	인지질 용액	Aliphatic alcohols
	세포질막 완전성; 세포막 부착효소 환경 및 기능	누출, 에너지 결합과정 불결합; 용해	세포막-단백질 가용화(solubilization)	Anionic surfactants

15.4.4. 소독제 선정 및 사용시 고려사항

이상적인 소독제의 특성에 대해서는 일반적으로 Table 15-4와 같이 정의한다. 이러한 선정조건은 낮은 수준의 소독제나 고농도 소독제 모두에 적용되며, 다만 접촉시간과 항균 스펙트럼의 넓이만 다르다.

Table 15-4. 이상적인 소독제의 특성(William & David, 2014)

특 성	세 부 사 항
광범위한 스펙트럼 (broad spectrum)	HAIs 및 유행병을 일으키는 일반적인 원인인 병원체들을 죽이기 위한 요구 사항을 포함하는 넓은 범위의 항균성 스펙트럼을 가져야 함
빠른 활성(fast acting)	빠른 살상시간을 보여야 하며 라벨에 기술된 살상/접촉 시간이 짧아야 함
젖은 상태로 유지(remains wet)	단독으로 사용할 경우 라벨에 기술된 살상/접촉 시간을 충족시키거나 근거 기반 가이드라인에 의해 권장되는 습기를 충족시킬 수 있을 정도로 표면을 젖게 유지해야 함
환경 요인의 영향을 받지 않음 (not affected by environmental factors)	유기 물질(예: 혈액, 객담, 대변)이 활성이 있고 비누, 세제 및 기타 화학 물질과의 상용성이 있어야함
비독성(nontoxic)	사용자, 방문자, 환자에 자극적이어서는 안됨. 알레르기 증상(특히 천식과 피부염)을 유발해서는 안됨. 소독제에 대한 독성 등급은 위험, 경고, 주의 및 없음임. 이상적으로 독성이 가장 낮은 제품을 선택
표면 호환성 (surface compatibility)	일반적인 의료기기 표면 및 장비와 호환 가능해야 함
지속성(persistence)	처리된 표면에 항균 활성 또는 항균 효과가 지속되어야 함
사용 편의성(easy to use)	물티슈 (크고 작은), 스프레이, 푼대기 및 보충 물과 같은 여러 가지 형태로 제공되어야 함. 사용법은 간단해야하며 필요에 따라 PPE에 대한 정보가 있어야 함

37) 티올(thiol) 그룹: 모든 체세포에서 발견되며 생명유지에 필수적인 물질군을 말한다.

특 성	세 부 사 항
허용수준의 냄새 (acceptable odor)	사용자와 환자가 받아들일 수 있는 냄새여야 함
경제성(economical)	제품 기능, 규정에 따른 사용 당 비용 등을 고려하여 소독제 비용을 추정 하지만, 비용이 엄청나게 높아서는 안됨
용해성(solubility)	물에 녹을 것
안정성(stability)	농축 및 희석 사용시 안정해야 함
세척능(cleaner)	씻어내거나 닦아내기 용이하여야 함
불연성(nonflammable)	150°F (65.56°C) 이상의 인화점을 가져야함

실험기구나 보건의료 시설에서의 중요성이 낮은 물품들의 소독을 적용하는 낮은수준의 소독(low-level disinfection)에 사용되는 최적의 소독제를 선택하는 과정은 보편적이지만 이에 관한 연구는 많이 되어있지 않다.

효과적인 소독을 위해서는 적절한 소독제의 선택과 함께 취급자의 실습이 필수적인 구성요소이다. 적절한 소독제제와 취급자의 실습을 결합하면 효과적인 소독 및 위험 및 위해성을 낮추는 효과가 있다(William & David, 2014). 이러한 소독제를 선택할 때 고려해야 할 5가지 주요 사항은 Table 15-5와 같다.

Table 15-5. 소독제 선택을 위한 최적의 고려사항(William & David, 2014)

고려사항	핵심질문
1. 살상 요구사항 (Kill claims)	해당 제품이 대부분의 원내감염이나 대유행을 유발하거나 시설 내 관련된 일반적인 병원체를 죽일 수 있는가?
2. 살상 및 젖은 상태의 접촉시간(Kill and wet-contact times)	- 얼마나 빠르게 일반적인 보건의료 병원체를 죽이는가? - 해당 제품은 라벨에 표기된 살상시간동안 표면을 눈에 보이는 젖은 상태로 유지하는가?
3. 안전성(Safety)	- 해당 제품에 허용되는 독성 등급이 있는가? - 해당 제품에 허용되는 가연성 등급이 있는가? - 필요한 개인보호구의 수준은 최소 등급인가? - 해당 제품이 시설의 일반적인 표면재질과 호환되는가?
4. 사용편의성 (Ease of use)	- 해당 제품의 냄새는 받아들일만한 수준인가? - 해당 제품에는 유효기간이 있는가? - 해당 제품은 귀하의 시설 요구사항(예: 액상, 스프레이, 보충, 다양한 wipe 크기 등)을 충족시키는 편리한 형태로 제공되는가? - 해당 제품이 유기물질이 있을 경우에도 기능하는가? - 해당 제품은 수용성인가? - 해당 제품은 한 번에 소독하고 제거될 수 있는가? - 사용법이 간단하고 명확한가?

고려사항	핵심질문
5. 기타 요인들	• 공급자는 직접적 또는 가상적 모두 포괄적인 훈련 및 지속적인 교육을 제공하는가? • 공급자는 24시간 내내 고객지원을 제공하는가? • 제품의 전반적인 비용(제품 기능, 예방가능한 감염비용, 규정준수 사용 당 비용 등)이 수용가능한가? • 해당 제품이 귀하의 시설에서 사용되는 표준화된 소독제를 지원할 수 있는가?

소독제의 선택시 가장먼저 고려되어야 할 사항은 취급 병원체 혹은 원내감염 병원체에의 활성 여부를 검토하는 것이다. 예를 들어, 병원과 같은 보건의료기관에서 발생하는 보건의료기관 원내 감염(Healthcare-associated infections, HAIs)은 미국에서 매년 170만 건의 감염과 99,000건의 사망이 보고되었다. HAIs는 통상적으로 식물성 박테리아가 대부분의 HAI(79.1%)를 유발하는 것으로 보고되고 있으며, 발병원인의 약 20% ~ 40%는 의료종사자의 환자 접촉 또는 오염된 환경 표면 접촉으로 인한 교차 감염으로 인한 것으로 확인되고 있다. 따라서 보건의료기관에서 사용하는 소독제의 경우 기본적으로 이 병원균에 효과적이어야 한다(Table 15-6).

Table 15-6. 일반적인 보건의료기관 원내감염을 일으키는 병원체

미생물(HAIs 유발비율)	Reference
<i>Staphylococcus aureus</i> (15.6%), <i>Escherichia coli</i> (11.5%), coagulase-negative <i>Staphylococcus</i> (11.4%), <i>Klebsiella</i> (8.0%), <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (7.5%), <i>Enterococcus faecalis</i> (6.8%), <i>Candida albicans</i> (5.3%), <i>Enterobacter</i> spp. (4.7%), 기타 <i>Candida</i> spp. (4.2%), <i>Enterococcus faecium</i> (4.1%), <i>Enterococcus</i> spp. (3.0%), <i>Proteus</i> spp. (2.5%), <i>Serratia</i> spp. (2.1%), <i>Acinetobacter baumannii</i> (1.8%)	HAIs에 가장 일반적인 병원체 (Sievert <i>et al.</i> , 2013)
<i>Clostridium difficile</i> , Norovirus, <i>Aspergillus</i> spp., Rotavirus Adenovirus	발병 및 병동폐쇄의 가장 흔한 병원체로, 사멸이 어려움(Hanson <i>et al.</i> , 2007)
시설-특이 병원체(<i>Burkholderia cepacia</i> 등)	시설에서 취급하거나 관련된 기타 병원체

적절한 소독제는 다음의 조건과 특성(Table 15-7, 15-8)을 고려하여 다음과 같은 순서로 선정한다.

- 병원체의 성상을 확인한다. 통상적인 경우 광범위 소독제를 선정한다.
- 피소독물에 대한 최소한의 손상을 입히면서 가장 효과적인 소독제를 선정한다.
- 소독방법(훈증, 침지, 살포 및 분무)을 고려한다.

- 오염의 정도에 따라 소독액의 농도 및 적용시간을 조정한다.
- 피소독물체의 침투가능 여부를 판단하여 고려한다.
- 소독액의 사용온도 및 습도를 고려한다. 일반적인 소독제는 10℃ 상승시마다 소독효과가 약 2 ~ 3배 상승하므로 미온수가 가장 적당하다. 포르말린 훈증소독의 경우 70 ~ 90% 습도시 가장 효과적이다.
- 소독약은 단일약제로 사용하는 것이 효과적이다.

Table 15-7. 낮은 수준의 소독제 이용시 장단점(William & David, 2014)

소독제	장 점	단 점
알코올	• 살균성, 결핵균멸살성, 살진균성, 살바이러스성 • 빠른 작용 • 비 부식성 • 얼룩이 없음 • 약병의 고무마개와 같은 작은 표면을 소독하는 데 사용됨 • 독성이 없는 잔류물	• 살포할수 없음 • 유기물의 영향을 받음 • 비외피성 바이러스(예: norovirus)에 작용이 낮음 • 세척 또는 세정 속성 없음 • EPA 등록되지 않음 • 일부 기기에 손상을 줌(예: 경화고무, 접착제 열화) • 인화성(다량은 특별한 저장이 필요) • 빠르게 증발하여 접촉 시간 준수가 어려움 • 넓은 표면에 사용하지 않는 것이 좋음 • 오염된 알코올에 의한 대유행 가능
차아염소산 나트륨	• 살균성, 결핵균멸살성, 살진균성, 살바이러스성 • 아포멸살성(Sporicidal) • 빠른 작용 • 저렴함(희석형) • 인화성 없음 • 물의 경도에 영향을 받지 않음 • 표면의 바이오 필름 감소 • 비교적 안정(예: 30일 동안 50% 염소 농도 감소) • 수처리용 소독제로 사용 • EPA 등록	• 산과 암모니아에 반응 위험 • 소금 잔류물을 남김 • 금속에 부식성 (일부 즉시 사용가능(ready-to-use)한 제품은 부식방지제와 함께 배합 될 수 있음) • 불안정한 활성 (일부 즉시 사용 가능한 제품은 안정제로 제제화되어 수명을 연장 할 수 있음) • 유기물의 영향을 받음 • 변색/직물에 얼룩짐 • 트리할로메탄을 생산할 잠재적 위험 있음 • 불쾌한 냄새 (일부 즉시 사용 가능한 제품은 냄새 억제제와 함께 배합 될 수 있음); 고농도 자극성
향상된 과산화수소	• 살균성, 결핵균멸살성, 살진균성, 살바이러스성 • 빠른 작용 • 간편한 젖은 상태의 접촉시간 준수 • 작업자에게 안전함(EPA 독성 카테고리가 가장 낮은 IV임) • 환경에 안전함 • 표면 호환성 • 얼룩과 인화성 없음 • EPA 등록	• 다른 대부분의 살균제보다 비쌈 • 저농도에서는 살포할수 없음
아이오도퍼 (Iodophors)	• 살균성, 미코박테리아멸살성, 살바이러스성 • 인화성 없음 • 혈액 시료병 소독용	• 살포할수 없음 • 실리콘 카테터 성능 저하 • 곰팡이를 죽일 경우, 장기간 접촉해야 함

소독제	장 점	단 점
		· 표면에 얼룩짐 · 주로 소독제가 아닌 방부제(antiseptic)로 사용됨
석탄산 (phenolics)	· 살균성, 결핵균멸살성, 살진균성, 살바이러스성 · 저렴함(희석형) · 얼룩이 없음 · 인화성 없음 · EPA 등록	· 살포할수 없음 · 다공성 물질로 흡수되고 조직을 자극함 · 특정 페놀류에 의한 피부 탈색 · 권장량으로 페놀을 준비하지 않은 경우 신생아에 고빌리루빈혈증(Hyperbilirubinemia)
제4가 암모늄화합물 (예: didecyl dimethyl 브롬화암모늄, dioctyl dimethyl 브롬화암모늄)	· 살균성, 살진균성, 외피바이러스 (예: HIV)에 대한 살바이러스성 · 훌륭한 세척능 · EPA 등록 · 표면 호환성 · 방해받지 않을 경우 지속되는 항균 활성 · 저렴함(희석형)	· 살포할수 없음 · 일반적으로, 비외피성 바이러스에 대해서는 결핵균멸 살성 및 살바이러스성이 없음 · 높은 물의 경도와 면/거즈는 살균력을 줄임 · benzalkonium chloride에 노출된 결과로 천식이 발생 하였음의 보고기록이 몇건 있음 · 유기물의 영향을 받음 · 오염된 benzalkonium chloride에 의한 대유행 다수 발생

Table 15-8. 소독제 종류별 특성 및 사용방법(질병관리본부, 2015)

소독제	장 점	단 점	실험실 사용 범위	상용 농도	반응 시간	세균			바이 러스	비 고
						영양 세균	결핵 균	아포		
알코올 (alcohol)	낮은 독성, 부식성 없음. 잔류물 적고, 반응속도가 빠름	증발속도가 빨라 접촉시간 단축. 가연성, 고무·플라스틱 손상가능	피부소독, 작업대 표면, 클린벤치 소독 등.	70 ~ 95%	10 ~ 30 min	+++	++++	-	++	Ethanol : 70 ~ 80% Isopropanol : 60 ~ 95%
석탄산 화합물 (phenolics)	유기물에 비교적 안정적	자극성 냄새, 부식성이 있음	실험장비 및 기구 소독, 실험실 바닥, 기타 표면 등	0.5 ~ 3%	10 ~ 30 min	+++	++	+	++	아포, 바이러스에 대한 효과가 제한적임
염소계 화합물 (액상의 경우) (chlorine compounds)	넓은 소독범위, 저렴한 가격, 저온에서도 살균효과가 있음	피부, 금속에 부식성, 빛·열에 약하며 유기물에 의해 불활성화 됨	폐수처리, 표면, 기기 소독, 비상 유출사고 발생 시 등	4 ~ 5%	10 ~ 60 min	+++	++	++	++	유기물에 의해 중화되어 효과 감소
요오드 (iodine)	넓은 소독범위, 활성 pH 범위가 넓음	아포에 대한 가변적 소독효과, 유기물에 의해 소독력 감소	표면소독, 기기 소독 등	75 ~ 100 ppm	10 ~ 30 min	+++	++	- / +	+	아포에 효과가 없거나 약함

소독제	장 점	단 점	실험실 사용 범위	상용 농도	반응 시간	세균			바이 러스	비 고
						영양 세균	결핵 균	아포		
제4가 암모늄 (quaternary ammonium compounds)	계면활성제와 함께 소독효과를 나타내고 비교적 안정적임	아포에 효과가 없음, 바이러스에 제한적 효과	표면소독, 벽, 바닥소독 등	제조사 권장 농도	10 ~ 30 min	+++	-	-	+	경수에 의해 효과감소, 10 ~ 30분 반응
글루타알데하이드 (glutaraldehyde)	넓은 소독범위, 유기물에 안정적, 금속 부식성이 없음	온도, pH에 영향을 받음, 가격이 비싸고 자극성 냄새	표면소독, 기기, 장비, 유리제품 소독 등	2%		++++	+++	+++ +	++	반응속도가 느림(침투속도), 부식성이 없음
산화에틸렌 (ethylene oxide)	넓은 소독범위, 열 또는 습기가 필요하지 않음	가연성, 돌연변이성, 잠재적 암 유발 가능성	가스멸균	50 ~ 1200 mg/ℓ	1 ~ 12 hr (gas상)	++++	++++ +	+++ +	++	가스멸균 시 사용, 인체접촉 : 화학적 화상 유발
과산화수소 (hydrogen peroxide)	빠른 반응속도, 잔류물이 없음, 독성이 낮고 친 환경적임	폭발 가능성(고농도), 일부 금속에 부식유발	표면소독, 기기 및 장비 소독 등	3 ~ 30%	10 ~ 60 min	++++	++++	++	++++	6%, 30분 처리 : 아포사멸가능

※ 소독 효과 : ++++ (highly effective) > +++ > ++ > + > - (ineffective)

15.4.5. 소독제 종류별 특성 및 사용방법

15.4.5.1. 알코올(alcohol)

에탄올(에틸알코올, C_2H_5OH)과 2-프로판올(이소프로필알코올, $(CH_3)_2CHOH$)의 소독 특성은 유사하다. 영양형 세균, 진균, 지질 함유 바이러스에 작용하지만, 아포에는 효과가 없다. 비지질성 바이러스에 대한 작용 수준은 다양하다. 약 70%(v/v) 농도의 수용액으로 사용할 때 가장 효과가 좋다. 이보다 더 크거나 낮은 농도에서는 살균제로써 효과가 없을 수 있다. 알코올 수성 용액은 해당 표면에 잔류물을 남기지 않는다는 장점이 있다.

알코올만 사용할 때보다 다른 것과 혼합하여 사용하면 더 효과적이다(예: 70%(v/v) 알코올과 100 g/l 포름알데히드, 2 g/l 유효 염소를 함유한 알코올). 70%(v/v) 에탄올 수성 용액을 피부, 실험실 벤치의 작업 표면, 생물안전작업대의 작업 표면에 사용할 수 있다. 또한 작은 외과 기구를 담가서 처리할 때도 사용한다. 에탄올은 피부를 건조시킬 수 있으므로, 연화제와 혼합하여 사용하기도 한다. 손 씻기가 어렵거나 가능하지 않은 경우에 심하지 않게 오염된 손의 처리 시에 알코올성 손 소독제 사용을 권장한다. 하지만 에탄올은 아포에 효과가 없고 모든 종류의 비지질성 바이러스를 죽이지 못한다는 점을 주의해야 한다.

알코올은 휘발성과 인화성이 있으므로 화기 근처에서 사용해서는 안 된다. 상용 용액을 적절한

용기에 담아 보관하여 알코올이 증발되지 않게 한다. 알코올은 고무를 경화시키고 일부 접착제를 용해시키기도 한다. 에탄올을 적절하게 보관하고 재고 관리를 하는 것이 중요하다. 소독 이외의 다른 용도로 사용하지 않게 한다. 알코올 함유 용액이 담긴 병에 라벨을 명확히 부착하며 고압 증기멸균을 피한다.

15.4.5.2. 염소(차아염소산나트륨)

빠르게 작용하는 산화제인 염소(chlorine)는 널리 사용되는 광범위 화학적 살균제이다. 일반적으로 차아염소산나트륨(NaOCl) 용액 상태인 표백제로 판매되며, 이 용액을 물로 희석하여 유효 염소 농도를 다양하게 만들어 사용한다.

염소(특히 표백제로서)는 알칼리성이며 금속을 부식시킬 수 있다. 염소의 활성은 유기물(단백질)에 의해 크게 감소된다. 표백제 원액이나 상용 용액을 개봉 용기에 담아 보관하면(특히 고온에서), 염소 가스가 방출되어 살균 능력이 약화된다. 표백제 상용 용액의 교체 주기는 함량, 용기의 종류(예: 뚜껑이 있는 용기 또는 뚜껑이 없는 용기)와 크기, 사용 빈도와 특성, 외기 조건 등에 따라 다르다. 일반적으로 하루에도 몇 번씩 고농도의 유기물이 포함된 물품을 처리하는 용액은 적어도 매일 교체하고, 사용빈도가 적은 경우 최대 1주일까지 사용할 수 있다.

일반적인 범용 실험실 소독제는 1 g/l의 유효 염소 농도여야 한다. 생물위해 물질의 유출 상황을 처리하는 경우와 다량의 유기물이 존재할 때는, 유효 염소 농도가 5 g/l인 더 강한 소독제를 권장한다. 가정용 표백제와 같은 차아염소산나트륨 용액은 일반적으로 유효 염소 농도가 50 g/l이므로, 1 g/l와 5 g/l의 유효 염소 농도 용액을 만들려면 1:50 또는 1:10으로 희석한다. 산업용 표백제는 차아염소산나트륨 농도가 120 g/l이므로, 앞서 설명한 것을 감안하여 적절하게 희석한다. 차아염소산칼슘($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) 과립이나 정제의 유효 염소 함유량은 약 70%이다. 1.4 g/l와 7.0 g/l를 함유하는 과립이나 정제로 만든 용액의 유효 염소는 각기 1.0 g/l와 5 g/l이다(Table 15-9).

표백제를 방부제로 사용하는 것은 권장하지 않지만, 표백제를 일반적인 목적의 소독제로 사용할 수 있다. 또한 금속 재질이 아닌 오염된 물건을 담가서 처리하는 용도로도 사용할 수 있다. 비상 상황에서는 유효 염소 농도를 1-2 mg/l로 하여 음용수 소독에 사용할 수도 있다.

염소 가스는 독성이 강하다. 그러므로 환기가 잘되는 곳에서 표백제를 보관하고 사용한다. 또한 표백제를 산과 섞지 않는다. 염소 가스가 빠르게 방출될 수 있기 때문이다. 많은 염소 부산물은 인체와 환경에 유해하므로, 염소 기반 소독제(특히 표백제)를 아무렇게나 사용하는 것은 피한다.

Table 15-9. 염소 방출 화합물의 권장 희석 농도(WHO, 2004)

염소 방출 화합물	깨끗한 경우(clean)	더러운 경우(dirty)
유효염소수준	0.1% (1 g/l)	0.5% (5 g/l)
차아염소산나트륨 용액(5% 유효염소)	20 ml/l	100 ml/l
차아염소산칼륨(70% 유효 염소)	1.4 g/l	7.0 g/l
이염화이소시아누르산나트륨 분말 (60% 유효 염소)	1.7 g/l	8.5 g/l
이염화이소시아누르산나트륨 정 (1 tablet 당 1.5 g 유효 염소)	1 tablet/l	4 tablet/l
클로라민(25% 유효 염소)	20 g/l	20 g/l

15.4.5.3. 이염화이소시아누르산나트륨

분말 형태의 이염화이소시아누르산나트륨(NaDCC)은 유효 염소 함량이 60%이다. NaDCC 분말로 조제한 1.7 g/l 와 8.5 g/l 용액의 유효 염소 함량은 각기 1 g/l 와 5 g/l 이다. NaDCC 정제는 일반적으로 1 tablet 당 1.5 g의 유효 염소에 해당되는 양을 함유한다. 1 L의 물에 정제 1개나 4개를 용해하면 1 g/l 또는 5 g/l 의 농도가 된다. 분말이나 정제 상태인 NaDCC는 보관이 용이하고 안전하다. 고형 NaDCC를 혈액이나 기타 생물 위해 액체 유출물에 가하고 최소 10분간 방치한 다음에 제거한다. 이후 해당 지역을 추가적으로 청소한다.

15.4.5.4. 클로라민

클로라민(chloramine)은 약 25% 유효 염소를 함유한 분말 상태이다. 클로라민은 차아염소산보다 느리게 염소를 방출한다. 그러므로 차아염소산과 동일한 수준의 효과를 달성하기 위해서는 초기 농도가 더 높아야 한다. 반면 클로라민 용액은 차아염소산 용액과 같은 수준으로 유기물에 의해 불활화되지 않으므로, '깨끗한' 상황과 '더러운' 상황 모두에 20 g/l 의 농도가 권장된다. 클로라민 용액은 무취이다. 하지만 여기에 담긴 물품은 충분히 헹구어 클로라민-T(sodium tosylchloramide) 분말에 첨가한 희석제(bulking agent) 잔류물을 제거해야 한다.

15.4.5.5. 이산화염소

이산화염소(ClO_2)는 강력하고 빠르게 작용하는 살균제, 소독제이자 산화제이며, 표백제로써 염소가 필요로 하는 수준보다 낮은 농도에서도 활성을 나타내는 것으로 보고되었다. 이산화염소는 가스 상태로 안정하지 않으며, 염소 가스(Cl_2)와 산소 가스(O_2)로 분해되면서 열이 발생

한다. 하지만 이산화염소는 물에 녹으며 액상에서 안정적이다. 염산(HCl)과 아염소산나트륨(NaClO_2)을 혼합하여 현장에서 생산하는 방법과, 안정화된 형태를 주문하여 필요한 경우에 현장에서 활성화시켜 사용하는 방법 등 2가지 방법으로 이산화염소를 만들 수 있다.

산화성 살생물제 가운데 이산화염소가 가장 선택적인 산화제이다. 오존과 염소는 이산화염소보다 반응성이 훨씬 뛰어나며, 대다수 유기 화합물이 흡수한다. 하지만 이산화염소는 환원 황 화합물, 이차/삼차 아민, 그리고 고도로 환원된 반응성 유기 화합물 일부와 반응한다. 그러므로 염소나 오존을 사용할 때보다 훨씬 적은 용량의 이산화염소를 사용하여 보다 안정적인 잔류물이 생성될 수 있다. 이산화염소의 선택성 때문에 유기물 함유량이 많은 경우에는, 적절하게 생산한 이산화염소가 오존이나 염소보다 더 효과적이다.

15.4.5.6. 글루타알데하이드

글루타알데하이드($\text{OHC}(\text{CH}_2)_3\text{CHO}$)는 영양형 세균, 아포, 진균, 지질/비지질 함유 바이러스에 작용한다. 포르말데히드에 비하여 빠르게 작용하고 비부식성이다. 하지만 세균 아포를 죽이는데 몇 시간이 걸린다.

약 20 g/l (2%) 농도의 글루타알데하이드 용액 상태로 판매되며, 일부 제품은 사용 하기 전에 제품과 함께 제공되는 중탄산염 화합물을 첨가하여 '활성화'(알칼리화)할 필요가 있다. 활성화 상태인 용액은 조성과 유형, 사용 빈도에 따라 1-4주 동안 사용할 수 있다. 글루타알데하이드 용액이 혼탁해지면 폐기한다.

글루타알데하이드는 독성을 띠고 피부와 점막에 자극을 유발하므로 접촉을 피해야 한다. 환기가 잘되는 곳이나 후드에서 사용한다. 환경 표면의 오염 제거를 위해 분무하여 사용하는 방식은 권장되지 않는다. 『화학물질관리법』 시행규칙 '별표1. 유해화학물질 취급기준'을 준수한다.

15.4.5.7. 페놀 화합물

페놀 화합물은 초기에 나온 살균제이며 다양한 종류가 있다. 하지만 최근에는 안전 문제 때문에 페놀 화합물 사용을 제한하는 편이다. 영양형 세균과 지질 함유 바이러스에 작용하며, 적절하게 조제하여 사용하는 경우에는 마이코박테리아에 대해서도 활성을 나타낸다. 아포에 대해서는 효과가 없고, 비지질성 바이러스에 대한 활성도 상황에 따라 다양하다. 환경 표면의 오염 제거에 사용되는 페놀 제품이 많고, 일부(예: 트리클로산, 클로록실레놀) 제품은 방부제로 많이 사용된다.

트리클로산은 손 세척에 많이 사용된다. 주로 영양형 세균에 작용하며, 피부와 점막에도 자극을 주지 않는다. 하지만 실험실 조건에서 실시한 연구에 의하면, 저농도의 트리클로산에 내성을 나타내는 세균은 일부 항생제에도 내성을 보인다. 이 결과의 의미는 아직까지 확실하지 않다.

일부 페놀 화합물은 물의 정도에 민감하며 불활화될 수도 있으므로, 증류수나 탈이온화수로 희석해야 한다.

식품 접촉 표면이나 어린이가 있는 곳에는 페놀 화합물 사용을 권장하지 않는다. 고무가 페놀 화합물을 흡수할 가능성이 있고, 피부를 뚫고 침투할 수도 있으므로 『화학물질관리법』 시행규칙 '별표1. 유해화학물질 취급기준'에 따라 보관해야 한다.

15.4.5.8. 제4가 암모늄 화합물

여러 종류의 제4가 암모늄 화합물(quaternary ammonium compound)이 혼합물로 사용되며, 때로는 알코올 같은 다른 살균제와 함께 사용된다. 일부 영양형 세균과 지질 함유 바이러스에 대해 우수한 활성을 나타낸다. 방부제로 사용되는 것도 있다(예: 염화벤잘코늄). 일부 제4가 암모늄 화합물의 살균 작용은 유기물, 물의 정도, 음이온성 세제에 의해 크게 감소된다. 그러므로 제4가 암모늄 화합물을 소독에 사용할 때는 예비 세척용 물질을 신중하게 선정할 필요가 있다. 제4가 암모늄 화합물 용액에서 유해 세균이 자랄 수도 있다. 생분해성이 좋지 않으므로 제4가 암모늄 화합물이 환경에 축적될 수 있다.

15.4.5.9. 요오드와 아이오도퍼

작용 방식은 염소와 비슷하지만, 유기물에 의한 억제 영향은 다소 적은 편이다. 요오드(iodine)가 섬유와 환경 표면을 오염시킬 수 있으며, 일반적으로 소독제로 사용하기에는 적합하지 않다. 반면 아이오도퍼(iodophor)와 요오드 팅크(tinctures of iodine)는 방부제 효과가 우수하다. 요오드 기반 방부제는 일반적으로 의료용 기기와 치과 기기에 적합하지 않다. 알루미늄이나 구리 재질에는 요오드를 사용하지 않는다. 요오드는 독성을 나타낸다. 유해 세균의 증식을 피하기 위해, 유기 요오드 기반 제품을 4 ~ 10℃에서 보관한다.

15.4.5.10. 과산화수소와 과산

염소와 마찬가지로 과산화수소(H_2O_2)와 과산(peracid)은 강력한 산화제이며 강력한 광범위의 살균제이다. 또한 염소에 비해 사람과 환경에 더 안전하다.

바로 사용할 수 있는 3% 용액이나 5 ~ 10배 희석하여 사용하는 30% 수성 용액(멸균한 물로 희석)이 있다. 하지만 3 ~ 6% 과산화수소 용액은 상대적으로 느리고 살균제로써 효과가 제한적이다. 현재 판매되는 제품은 과산화수소 함량을 안정화시키고 살균 작용을 가속화하며 부식성을 줄이기 위해 다른 성분을 함유한다.

과산화수소는 실험대와 생물안전작업대 작업 표면의 오염 제거에 사용할 수 있으며, 열에 민감한 의료용 기기와 치과 기기를 소독하는데 더 높은 농도의 용액이 적합할 수 있다. 열에 민감한 의료용 기기와 치과 기기의 오염 제거에 과산화수소나 과산화초산(CH_3COOOH) 증기를 사용하려면 특수 설비가 필요하다.

과산화수소와 과산은 알루미늄, 구리, 황동, 아연 같은 금속을 부식시킬 수 있고, 섬유, 머리카락, 피부, 점막을 변색시키기도 한다. 과산화수소와 과산으로 처리한 물품은 충분히 행군 다음에 눈이나 점막에 사용한다. 화기로부터 멀리 떨어진 곳에서 차광하여 보관한다.

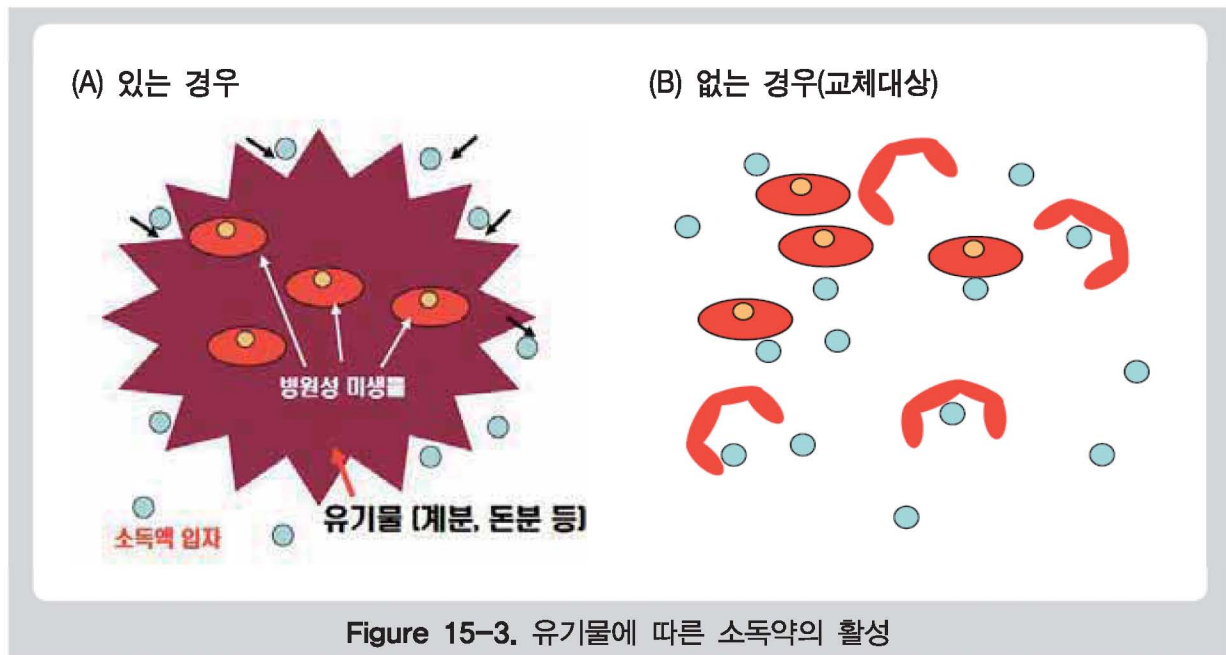
15.5 멸균(sterilization)(Table 15-10, 15-11)

멸균이란 모든 형태의 생물, 특히 미생물을 파괴하거나 제거하는 물리적, 화학적 행위 또는 처리 과정으로 습식멸균, 건열멸균, 플라즈마 및 가스멸균 등이 있다. 건열멸균은 160℃ 또는 그 이상의 온도에서 2~4시간 동안 처리하는 것이고, 습식멸균법은 고압증기멸균기를 이용하여 121℃의 고온에서 15분간 처리하는 것으로 많은 실험실 및 연구시설에서 사용되고 있다. 멸균 방법은 고온을 이용한 방법과 화학적 제제를 이용한 방법으로 분류할 수 있다. 멸균 여부를 확인할 수 있는지, 내부까지 멸균 될 수 있는지, 물품의 화학적, 물리적 변화가 있을지, 멸균 후 인체나 환경에 유해한 독성이 있는지, 경제성 등을 고려하여 선택하도록 한다.

일반적으로 소독·멸균 효과에 영향을 미치는 요소는 다음과 같다.

- 유기물의 양 : 혈액, 우유, 사료, 동물 분비물 등은 소독·멸균 효과를 저하시키며, 많은 종류의 유기물은 소독제를 중화시킨다. 유기물이 있는 경우 소독액 입자가 유기물에 흡착된 후 불활성화 되므로, 효율이 낮아지게 된다(Figure 15-3).
- 표면 윤곽 : 표면이 거칠거나 틈이 있으면 소독이 충분히 될 수 없다.
- 소독제 농도 : 모든 종류의 소독제가 고농도일 때 미생물을 빨리 죽이거나 소독 효과가 높은 것은 아니며, 대상물의 조직, 표면 등의 손상을 일으킬 수도 있다.
- 시간 및 온도 : 적정 온도 및 시간은 소독제의 효과를 증대시킬 수 있으나, 고온 또는 장시간 처리할 경우, 소독제 증발 및 소독효과 감소의 원인이 된다.

- 상대습도 : 포름알데히드의 경우 70% 이상의 상대습도가 필요하다.
- 물의 정도 및 세균의 부착능



멸균을 실시할 때에는 다음과 같은 사항에 주의해야 한다.

- 멸균 전에 반드시 모든 재사용 물품을 철저히 세척해야 한다.
- 멸균할 물품은 완전히 건조시켜야 한다.
- 물품 포장지는 멸균제가 침투 및 제거가 용이해야 하며, 저장 시 미생물이나 먼지, 습기에 저항력이 있고, 유독성이 없어야 한다.
- 멸균물품은 탱크 내 용적의 60 ~ 70%만 채우며, 가능한 같은 재료들을 함께 멸균한다.

멸균이 되었는지를 확인할 수 있는 방법은 일반적으로 다음의 3가지이다. 이 중 하나 만으로는 멸균여부 판단이 어려우므로, 적어도 두 가지 이상을 함께 사용한다.

15.5.1. 기계적/물리적 확인(mechanical/physical indicator)

멸균 과정 동안의 진공, 압력, 시간, 온도를 측정하는 멸균기 소독 차트(chart)를 확인하는 방법이다. 멸균기 취급자는 멸균 과정 동안 멸균 사이클을 표시하고 기록계를 확인해야 한다. 이 방법은 멸균기 내부의 모든 부분에 대한 자료가 아니라 멸균기 내부의 한 시점에서의 상태를 나타내는 것이다.

15.5.2. 화학적 확인

멸균 과정과 관련된 하나 혹은 두 가지 이상의 변수의 변화에 의해 시각적으로 반응하는 민감한 화학제(chemical indicator)를 이용하는 방법이다. 이 방법은 멸균 과정의 오류 발견이 비교적 쉽고 가격이 저렴하다. 그러나 멸균상태를 확인하는 것 보다는 포장 물품이 멸균 과정을 거쳤는지를 확인하는 수준이다.

15.5.3. 생물학적 확인

멸균과정 동안 멸균이 잘 안되는 곳에 *Bacillus subtilis* 혹은 *Geobacillus stearothermophilus* spore를 포함한 생물학적 표지자(biological indicator, BI)를 멸균기에 넣고 멸균을 한다. 멸균 후 BI 내의 세균을 배양하여 멸균 여부를 확인한다. 멸균기를 처음 설치하였을 때나 멸균기의 주요한 수리 후, 멸균기의 위치변경 및 환경적인 변화가 있을 때, 설명할 수 없는 멸균실패가 발생했을 때, 스팀 공급 및 공급라인의 변화, 물품의 적재방법 등의 변화가 있을 때에는 멸균기가 비어있는 상태에서 BI를 사용하여 연속 2회 검사를 시행한다. 2회 모두 멸균판정이 이루어졌을 때 멸균기를 가동시키도록 한다.

Table 15-10. 멸균방법의 종류와 장·단점(William & David, 2016 & William *et al.*, 2016)

멸균 방법	장 점	단 점
스팀(steam)	- 환자, 직원, 환경에 독성이 없음 - 전체과정의 관리 및 감시가 쉬움 - 무기물과 유기물에 의해 영향을 덜 받음 - 전체 cycle 시간이 빠름 - 포장이나 기구의 관을 통과	- 열에 불안정한 기구에 해를 미침 - 연속적 사용은 미세수술기구를 무디게 함 - 물기가 남아있을 경우 부식의 원인이 될 수 있음 - 화상의 가능성 있음
과산화수소 가스플라즈마 (hydrogen-peroxide gas plasma, HP)	- 환경과 의료종사자에게 안정 - 잔류 독성이 없음 - 작용시간 ≥28분, 환기시간 필요 없음 50℃이하에서 작용하므로 열과 습도에 민감한 물품에 사용가능 - 조작과 설비, 감시가 쉬움 - 대부분의 의료기구에 사용 가능 - Electrical outlet만 필요	- 섬유질, 린넨, 액체에는 사용할 수 없음 - 내시경 및 의로기기 제한은 내강 내경 및 길이를 기준으로 함(제조사 기준 참고) - 합성팩(polypropylene포장지, polyolefin봉투)이나 특수한 포장 용기가 필요 - HP는 시간가중평균(TWA) > 1 ppm 수준에서 독성이 있을수도 있음
에틸렌 옥사이드 가스 (100% ETO)	- 포장재질이나 기구의 관속으로 투과 1회용 cartridge를 음압인 챔버에서 가스의 누출이나 EO에 노출 없이 위험을 최소화 하면서 사용 가능 - 운용 및 모니터링이 쉬움 - 대부분의 의료물질에 적용가능	- 잔재 ETO의 제거를 위해 환기 필요 - ETO는 독성이 있고 발암성과 가연성임 - ETO의 방출에 대한 규정은 국가마다 다름. 그러나 촉매세포는 ETO의 99.9%를 CO₂나 H₂O의 형태로 결합하여 제거함 - ETO cartridge는 가연성 액체 보관장에 저장 - 적용 주기와 환기시간이 김

멸균 방법	장 점	단 점
에틸렌 옥사이드 혼합가스(ETO mixture) ① 12% ETO 88% CFC ② 8.6% ETO 91.4% HCFC ③ 10% ETO 90% HCFC ④ 8.5% ETO 91.5% CO ₂	· 의료포장, 플라스틱 포장을 통과 · 대부분의 의료기구들에 사용 가능 · 과정을 관리하고 감시하기가 용이	· 일부 국가에서 ETO의 사용을 90-99.9%로 줄이도록 요구하고 있음 · 1995년 이후 CFC의 사용이 금지됨 · 직원과 환자에게 독성이 있음 · 적용 주기와 정화시간이 길 · ETO는 독성이 있고 발암성과 가연성임
과초산 (peracetic acid)	· 빠른 작용 시간(30-45분) · 낮은 온도(50-55°C에서 침습적인 멸균방법) · 최종산물이 환경 친화적임 · 염, 단백질, 미생물의 제거를 쉽게 하여 내시경 속으로 소독제가 통과됨	· 멸균 후 포장 및 보관이 어려움 · 미생물지표를 일반적인 검사방법으로 사용할 수 없음 · 침적할 수 있는 기계에만 사용 · 일부 재질에서는 사용 못함(알루미늄 피막 처리된 기구는 코팅이 벗겨짐) · 완전 침적방식으로 한 번에 멸균가능 용량이 적음.
기화된 HP	· 환경과 의료종사자에게 안정 · 독성 잔류물을 남기지 않아 환기가 필요없음 · 작용시간 55분 · 열과 습기에 민감한 제품(금속 및 비금속 장치)에 이용가능	· 섬유질, 린넨, 액체, 파우더에는 사용할 수 없음 · 내시경 및 의료기기 제한은 내강 내경 및 길이를 기준으로 함(제조사 기준 참고) · 합성 포장용기(polypropylene)가 필요 · 제한된 재료 호환성 · 임상적 사용 및 비교학적 살균효과 데이터가 제한적임
HP 및 오존	· 환경과 의료종사자에게 안정 · HP와 오존을 이종으로 사용할수 있음 · 독성 잔류물을 남기지 않아 환기가 필요없음 · 일반적인 의료기기와 호환가능 · 작용시간 46분 · FDA는 일반 의료기기, 단일채널 연성 내시경 및 강성 반강체 채널기기에 사용할 승인함	· 내시경 및 의료기기 제한은 내강 내경 및 길이를 기준으로 함(제조사 기준 참고) · 임상적 사용(물질 상용성/침투성/유기물질 저항성 자료 없음) 및 비교학적 살균효과 데이터가 제한적임 · 합성 포장용기(polypropylene 랩, polyolefin 파우치)나 특수한 컨테이너 트레이가 필요

Table 15-11. 요구되는 소독수준에 따른 알맞은 소독방법(질병관리본부, 2015)

	멸 균	높은 수준의 소독	중간 수준의 소독	낮은 수준의 소독
대상	고위험기구	준위험기구	일부 준위험기구 및 비위험기구	비위험기구
노출 시간	각 방법 마다 괄호 안에 표시	20°C 이상에서 12-30분 ^{1,2}	1분 이상 ³	1분 이상 ³
종류 및 방법	고압증기멸균 : 증기 혹은 고열의 공기 (제조업자의 권고 사항 준수, 증기멸균의 경우 3-30분)	글루탈알데하이드 혼합제품 (1.12% 글루탈알데하이드 + 1.93% 페놀, 3.4% 글루탈알데하이드 + 26% 이소프로판올 등)	에탄올 또는 이소프로판올 (70-90%)	에탄올 또는 이소프로판올 (70-90%)

	멸 균	높은 수준의 소독	중간 수준의 소독	낮은 수준의 소독
	에틸렌옥사이드 가스 멸균 (제조업자의 권고사항 준수, 1-6시간의 멸균시간과 8-12시간의 공기정화 시간 필요)	0.55% 이상의 올소-프탈 알데하이드	차아염소산 나트륨 (1:500으로 희석 하여 사용, 검사실 이나 농축된 표본은 1:50으로 희석)	차아염소산 나트륨 (1:500으로 희석 하여 사용)
	과산화수소 가스플라즈마 (제조업자의 권고사항 준수, 내관 구경에 따라 45-72분)	7.5% 과산화수소	페놀살균세정제 (제조회사 지침에 따라 희석)	페놀살균세정제 (제조회사 지침에 따라 희석)
	글루탈알데하이드 혼합제품 (1.12% 글루탈알데하이드 + 1.93% 페놀, 3.4% 글루탈알데하이드 + 26% 이소프로판올 등) (온도와 농도 유의, 20-25℃에서 10시간)	과산화수소/과초산 혼합제품 (7.35% 과산화수소 + 0.23% 과초산, 1% 과산화수소 + 0.08% 과초산)	아이오도퍼 살균 세정제 (제조회사 지침에 따라 희석)	아이오도퍼 살균 세정제 (제조회사 지침에 따라 희석)
	7.5% 과산화수소 (6시간)	세척 후 70℃에서 30분간 습식 저온 살균	-	제4가 암모늄세정제 (제조회사 지침에 따라 희석)
	0.2% 과초산 (50-56℃에서 12분)	차아염소산염(사용장소에서 전기분해로 제조된 것으로 활성 유리염소가 650-675 ppm 이상 함유)	-	-
	과산화수소/과초산 혼합제품 (7.35% 과산화수소 + 0.23% 과초산, 1% 과산화수소 + 0.08% 과초산) (3-8시간)	-	-	-

1. 소독제에 노출시간이 길수록 미생물 제거가 잘된다. 내관이 좁거나 유기물이나 박테리아가 많이 존재하는 곳은 세척이 어렵기 때문에 10분간 노출이 불충분할 수 있다. 결핵균과 비정형성 마이코박테리아를 사멸하는데 필요한 최소 노출시간은 2% 글루탈알데하이드는 20℃에서 20분, 2.5% 글루탈알데하이드는 35℃에서 5분, 0.55% 올소-프탈알데하이드는 25℃에서 5분이다.
2. 튜브제품들은 소독제에 충분히 잠겨야 하며, 공기로 인해 잠기지 않는 부분이 없도록 주의한다.
3. 제조회사에서 과학적 근거에 의해 제시된 시간을 준수한다.

15.6 폐기물 처리 및 관리

「폐기물관리법」 시행규칙 [별표 3]과 관련하여 의료기관 및 시험·검사기관 등 연구시설들은 대부분 의료폐기물 발생기관으로 규정되어 있다(환경부, 2008).

의료폐기물 발생 의료기관 및 시험·검사기관 등(제2조제3항 관련)

1. 『의료법』 제3조에 따른 의료기관
2. 『지역보건법』 제7조 및 제10조에 따른 보건소 및 보건지소
3. 농어촌 등 보건요리를 위한 특별조치법』 제15조에 따른 보건진료소
4. 『혈액관리법』 제6조에 따른 혈액관리업무를 하는 혈액원
5. 『검역법』 제28조에 따른 검역소 및 『가축전염병예방법』 제30조에 따른 동물검역기관
6. 『수의사법』 제2조제4호에 따른 동물병원
7. 국가나 지방자치단체의 시험·연구기관(의학·치과의학·한의학·약학 및 수의학에 관한 기관을 말한다)
8. 대학·산업대학·전문대학 및 그 부속 시험·연구기관(의학·치과의학·한의학·약학 및 수의학에 관한 기관을 말한다)
9. 학술연구나 제품의 제조·발명에 관한 시험·연구를 하는 연구소(의학·치과의학·한의학·약학 및 수의학에 관한 연구소를 말한다)
10. 『장사 등에 관한 법률』 제25조에 따른 장례식장
11. 『행형법』 제2조의 교도소·소년교도소·구치소 등에 설치된 의무시설
12. 『의료법』 제35조에 따라 설치된 기업체의 부속 의료기관으로서 면적이 100제곱미터 이상인 의무시설
13. 『군통합병원령』에 따라 사단급 이상 군부대에 설치된 의무시설
14. 『노인복지법』 제34조제1항제1호에 따른 노인요양시설
15. 법 제46조에 따라 감염성폐기물 중 태반의 재활용 신고를 한 사업장
16. 「인체조직 안전 및 관리 등에 관한 법률」 제13조제1항에 따른 조직은행
17. 그밖에 환경부장관이 정하여 고시하는 기관

그러나 실험실에서 발생하는 폐기물이 모두 의료폐기물은 아니다. 실험실에서 발생하는 폐기물은 지정폐기물에 해당하며 그 중 감염성물질과 접촉·혼합되는 폐기물 등 실험에 사용되는 폐기물은 의료폐기물로 구분된다.

의료폐기물이 아닌 화학물질이나 기타 일반폐기물의 경우, 『연구실 안전환경 조성에 관한 법률』 및 산업안전관리공단의 실험실 안전지침에 따라 취급하면 된다. 하지만 시험·연구기관 내에서 발생하는 의료폐기물은 『폐기물관리법』에서 정한 의료폐기물의 기준 및 방법에 의해 안전하게 처리하여야 한다. 따라서 시험·연구종사자는 『폐기물관리법』 관련 규정을 충분히 숙지하고 처리절차를 준수하여 안전한 폐기물 처리를 위해 노력해야 한다.

15.6.1. 의료폐기물 관련 국내외 규정

WHO에서는 의료폐기물을 일반폐기물, 병리계폐기물, 감염성폐기물, 손상성폐기물, 화학계폐기물, 약제계폐기물, 방사성폐기물, 폭발성폐기물 등 8가지로 구분하고 있다. 미국은 1976년 「자원재생보전법」에서 위임된 유해폐기물 관리체계의 확립을 위해 ‘감염성폐기물 가이드라인’을 제정했으며 1989년에 「의료폐기물추적법(medical waste tracking act)」을 제정하였다. 해당 법률 제4장에 의해 폐기물의 흐름, 즉 수집, 운반자, 처리업자 간에 인수인계 사항과 업무분담 내용을 이서하고 배출사업자가 최종 사본을 송부하여 의료폐기물의 처리를 확인하는 시스템을 구축하고 있다. WHO의 가이드라인은 의료기관 전체의 폐기물을 다루고 있는 반면, 미국 EPA는 감염성폐기물에 한정하여 지침을 두고 있다. WHO와 미국의 차이점은 중간처리 과정에 있다. WHO는 감염성 및 손상성 폐기물은 소각처리할 것을 권장하고 있으나, 미국은 증기멸균, 열처리, 화학멸균을 권장하고 있으며 처리과정의 감시를 위해 생물학적 지표의 사용을 장려하고 있다.

한편 WHO는 병원 건축계획에서부터 폐기물 대책을 수립하도록 하고있으며 교육프로그램을 강조하고 입법을 통한 강력한 규제를 권고하고 있다. 그러나 미국의 경우는 오염물질 처리과정에 대한 세부관리지침만을 작성할 것을 요구하고 있는 등 권장사항이 국가나 기구마다 약간씩 차이가 있다. 그 밖에 독일은 의료폐기물을 특수폐기물로 분류하여 1972년에 「폐기물처리법」을 제정하였으며, 덴마크는 1932년에 「병원위생 청정에 관한 일반적 규칙」을 제정한 바 있다.

일본은 1988년부터 「의료폐기물처리가이드라인」을 제정하여 병원폐기물을 산업폐기물로 분류하고 있다. 일본에서는 의료기관에서 배출된 의료폐기물 중 감염증을 발생시킬 우려가 있는 폐기물을 ‘감염성폐기물’이라고 규정하고 이를 혈액제제, 병리계 폐기물, 혈액 등이 묻은 예리한 것, 병원미생물에 관련된 시험, 검사 등에 사용된 시험기구 및 배양기, 투석기구 및 기타 혈액 등이 묻은 것 등의 5가지로 분류하여 집중적으로 관리하고 있다. 이는 미국의 규정과 유사하지만, 위탁업체가 수집하고 운반업체와 처리업체로 구분되어 있으며 복수관리전표제를 도입하여 효율적으로 전 유통과정을 통제하고 있다. 의료기관은 사전에 위탁계약을 체결해야 하며 폐기물의 양, 종류, 성상을 적하목록에 고지하고 반송목록을 확인해야 할 의무가 있다(이만우, 2009).

우리나라의 『폐기물관리법』에서 정하는 폐기물 분류는 Figure 15-4와 같다.



사업장폐기물은 대기환경보전법, 수질환경보전법 또는 소음·진동규제법의 규정에 의하여 배출 시설을 설치·운영하는 사업장 기타 대통령령이 정하는 사업장에서 발생하는 폐기물을 말하며, 일반 폐기물과 지정폐기물 그리고 건설폐기물로 나뉜다.

일반폐기물은 사업장 폐기물 중 지정폐기물을 제외한 폐기물로서 가연성과 불연성으로 나뉘며, 건설폐기물은 빌딩 건설에 의한 도시 재개발과 고속도로·교량공사 등으로 잔토는 물론 건설폐재, 폐플라스틱, 금속 쓰레기가 대량 배출되는데 이를 건축 폐기물이라 한다. 여기서 건설폐재란, 건축·토목공사 등 건설공사와 시설물철거 등에서 발생하는 토사·콘크리트·아스팔트콘크리트·벽돌 및 건축 폐목재를 말한다.

지정폐기물은 사업장폐기물 중 폐유, 폐산 등 주변환경을 오염시킬 수 있거나 감염성폐기물 등 인체에 위해를 줄 수 있는 유해한 물질로서 대통령령이 정하는 폐기물을 말한다. 감염성폐기물은 지정폐기물 중 인체조직 등 적출물, 탈지면, 실험동물의 사체 등 의료기관이나 시험·조사기관 등에서 배출되는 인체에 위해를 줄 수 있는 물질로서 대통령령이 정하는 폐기물이다.

이와 같이 현 폐기물관리법에서는 감염성폐기물이 지정폐기물 중의 한 품목으로 분류되어 있다. 폐기물관리법 시행규칙에서의 ‘지정폐기물의 유해물질 함유기준’을 보면, 지정폐기물을 01-00-00 ‘특정시설에서 발생하는 폐기물’부터 11-00-00 ‘기타 환경부장관이 지정·고시하는 물질’의 11가지의 항목으로 나누어서 분류번호를 설정해 놓았다. 이중 감염성 폐기물이 10-00-00으로 설정되어 있으며 이에 대한 상세한 분류는 조직물류, 탈지면류, 폐합성수지류, 병리계 폐기물, 손상성 폐기물 그리고 이들이 혼합된 혼합감염성 폐기물로 분리하고 있다.

의료폐기물이란 보건·의료기관, 동물병원, 시험·검사기관 등에서 배출되는 폐기물 중 인체에 감염 등 위해를 줄 우려가 있는 폐기물과 인체 조직 등 적출물(摘出物), 실험동물의 사체 등, 보건·환경보호 상 특별한 관리가 필요하다고 인정되는 폐기물로서 대통령령으로 정하는 폐기물을 말한다. 또한, 기관에서 발생하는 의료폐기물 중 인체, 환경 등에 질병을 일으키거나 감염가능성이 있는 폐기물에 대해서는 소독 및 멸균을 실시하여 오염원을 제거한 후 폐기하는 것이 권장된다.

의료폐기물은 크게 격리, 위해 및 일반 의료폐기물 3가지로 구분하며, 자세한 사항은 아래와 같다(Table 15-12).

15.6.1.1. 격리의료폐기물

『감염병의 예방 및 관리에 관한 법률』 제2조제1항에 따른 감염병으로부터 타인을 보호하기 위하여 격리된 사람에 대한 의료행위에서 발생한 일체의 폐기물을 말한다. 격리대상이 아닌 사람에 대한 의료행위에서 발생한 폐기물은 격리의료폐기물에 해당되지 않는다.

15.6.1.2. 위해의료폐기물

위해의료폐기물은 조직물류폐기물, 병리계폐기물, 손상성폐기물, 생물·화학폐기물로 구분한다. 조직물류폐기물은 인체 또는 동물의 조직·장기·기관·신체의 일부, 동물의 사체, 혈액·고름 및 혈액생성물(혈청, 혈장, 혈액제제)을 말하며, 병리계폐기물은 시험·검사 등에 사용된 배양액, 배양용기, 보관균주, 폐시험관, 슬라이드, 커버글라스, 폐배지, 폐장갑을 말한다. 혈액 오염폐기물은 폐혈액백, 혈액투석 시 사용된 폐기물, 그 밖에 혈액이 유출될 정도로 포함되어 있어 특별한 관리가 필요한 폐기물을 말한다. 생물·화학폐기물은 폐백신, 폐항암제, 폐화학 치료제 또는 이를 담았던 용기 등을 의미한다.

15.6.1.3. 일반의료폐기물

일반의료폐기물은 혈액·체액·분비물·배설물이 함유되어 있는 탈지면, 붕대, 거즈, 일회용 기저귀, 생리대, 일회용 주사기, 수액세트 등이며, 손상성폐기물은 주사바늘, 봉합바늘, 수술용 칼날, 한방침, 치과용침, 파손된 유리재질의 시험기구를 말한다. 체액, 분비물, 배설물만 있는 경우 일반의료폐기물 액상으로 처리한다.

Table 15-12. 의료폐기물 분류, 보관방법 및 기준(환경부, 2008)

폐기물종류		전용용기 (도형색상)	내 용	보 관 시 설	보관 기간
격리의료폐기물		상자형 합성수지류 (붉은색)	감염병으로부터 타인을 보호하기 위하여 격리된 사람에게 대한 의료행위에서 발생한 일체의 폐기물	성상이 조직물류일 경우 : 전용보관시설(4℃이하) 조직물류 외: 전용보관 시설(4℃이하) 또는 전용의 보관창고	7일
위해 의료 폐기물	조직물류 폐기물	상자형 합성수지류 (노란색)	인체 또는 동물의 조직·장기·기관·신체일부, 동물의 사체, 혈액·고름 및 혈액생성물(혈청, 혈장, 혈액제제)	전용보관시설(4℃이하)	15일 (치아는 60일)
		상자형 합성수지류 (녹색)	인체 조직물류 중 태반 (재활용하는 경우)	전용보관시설(4℃이하)	15일
	병리계 폐기물	합성수지류, 골판지류 (노란색)	시험·검사 등에 사용된 배양액, 배양 용기, 보관균주, 폐시험관, 슬라이드, 커버글라스, 폐배지, 폐장갑	전용보관시설(4℃이하) 또는 전용의 보관창고	15일
	손상성 폐기물	상자형 합성수지류 (노란색)	주사바늘, 봉합바늘, 수술용칼날, 한 방침, 치과용침, 파손된 유리재질의 시험기구	전용보관시설(4℃이하) 또는 전용의 보관창고	30일

폐기물종류		전용용기 (도형색상)	내 용	보 관 시 설	보관 기간
	생물화학 폐기물	합성수지류, 골판지류 (노란색)	폐백신, 폐항암제, 폐화학치료제	전용보관시설(4℃이하) 또는 전용의 보관창고	15일
	혈액오염 폐기물	합성수지류, 골판지류 (노란색)	폐혈액백, 혈액투석시 사용된 폐기물, 기타 혈액이 유출될 정도로 포함되어 특별한 관리가 필요한 폐기물	전용보관시설(4℃이하) 또는 전용의 보관창고	15일
일반의료폐기물		합성수지류, 골판지류 (검은색)	혈액·체액·분비물·배설물이 함유되어 있는 탈지면, 붕대, 거즈, 일회용기저 귀, 생리대, 일회용주사기, 수액세트	전용보관시설(4℃이하) 또는 전용의 보관창고	15일

15.6.2. 전용용기의 사용 및 처리

의료폐기물 전용용기는 봉투형 및 상자형 용기로 구분되며 봉투형 용기의 재질은 합성수지류이고 상자형 용기의 재질은 골판지류 또는 합성수지류이다(Figure 15-5).



전용용기는 환경부장관이 지정한 기관이나 단체가 환경부장관이 정하여 고시한 검사기준에 따라 검사한 전용용기만을 사용하여 처리하여야 한다. 또한, 용기 크기는 다양하므로 배출되는 폐기물의 양에 따라 선택하여 사용한다.

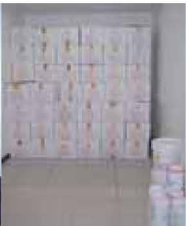
의료폐기물		전용용기 도형색상	보관시설	보관 기간
격리 의료폐기물			조작물류성상:전용보관시설(4℃ 이하) 조작물류 외 :전용보관시설(4℃ 이하) 또는 전용보관창고(상온보관가능)	7일
위 해 의 료 폐 기 물	조직물류 폐기물		전용보관시설(4℃ 이하)	15일 (최아60일)
	손상성 폐기물		전용보관시설(4℃ 이하) 또는 전용보관창고(상온보관가능)	30일
	병리계 폐기물		전용보관시설(4℃ 이하) 또는 전용보관창고(상온보관가능)	15일
	생물화학 폐기물		전용보관시설(4℃ 이하) 또는 전용보관창고(상온보관가능)	15일
	혈액오염 폐기물		전용보관시설(4℃ 이하) 또는 전용보관창고(상온보관가능)	15일
일반 의료폐기물			전용보관시설(4℃ 이하) 또는 전용보관창고(상온보관가능)	15일

Figure 15-6. 의료폐기물 성상별 보관용기 및 시설과 기간

의료폐기물은 발생한 때부터 종류별로 구분하여 전용용기에 넣어 표시 후 보관한다(Figure 15-6). 사용 중인 모든 전용용기에 반드시 뚜껑을 장착하며 항상 닫아둔다. 또한, 주기적으로 소독하여 사용한다(Table 15-13).

Table 15-13. 폐기물의 분류에 따른 전용용기 및 보관시설

폐기물종류	전용용기 (도형색상)	보관용기 예시	폐기물종류	전용용기 (도형색상)	보관용기 예시
격리의료 폐기물	상자형 합성수지류 (붉은색)		손상성 폐기물	상자형 합성수지류 (노란색)	
조직물류 폐기물	상자형 합성수지류 (노란색)		일반의료 폐기물	합성수지류, 골판지류 (검은색)	

폐기물종류	전용용기 (도형색상)	보관용기 예시	폐기물종류	전용용기 (도형색상)	보관용기 예시
병리계, 생물화학, 혈액오염 폐기물	합성수지류, 골판지류 (노란색)		의료폐기물 보관시설 예시		

의료폐기물 전용용기에 처음으로 의료폐기물을 폐기하여야 하는 시점에 사용개시일 등을 기재한다(Figure 15-7). 사용이 끝난 전용용기는 내부 합성수지 주머니를 밀봉한 후 외부용기를 밀폐하여 포장하여야 하며 재사용은 금지된다.

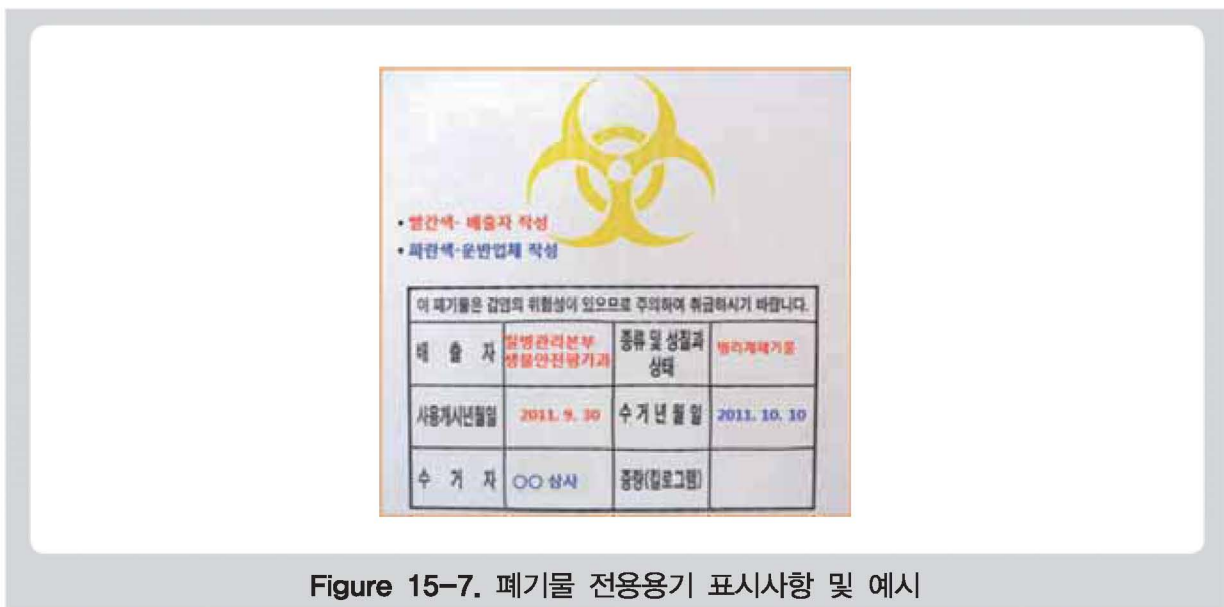


Figure 15-7. 폐기물 전용용기 표시사항 및 예시

의료폐기물은 보관기간을 초과하여 보관해서는 안되며, 감염위험이 있는 폐기물은 고압멸균 등 적절한 방법으로 불활화시킨 후 배출한다.

의료폐기물은 전용용기별로 혼합 가능한 성상이 정해져 있다(환경부, 2008).

골판지류 용기는 고상(병리계, 생물·화학, 혈액오염, 일반의료 폐기물)의 경우 혼합보관이 가능하며, 봉투형 용기는 골판지류 용기와 동일한 기준으로 혼합보관 할 수 있으나 위탁 처리 시 골판지(또는 합성수지류) 용기에 담아 배출하여야 한다.

합성수지류 용기는 액상(병리계, 생물·화학, 혈액오염)의 경우 혼합보관이 가능하나, 보관기간 및 방법이 상이하므로 합성수지류 용기에 보관하는 격리, 조직물류, 손상성, 액상폐기물은 서로 간 또는 다른 폐기물과의 혼합이 금지된다. 단, 수술실과 같이 조직물류, 손상성류(수술용 칼, 주사바늘

등), 일반의료(탈지면, 거즈 등) 등이 함께 발생할 경우는 혼합보관이 허용된다(환경부, 2008).

또한 소형 골판지용기는 대형 골판지용기에 담아 배출이 가능하며, 대형 골판지류용기 사용 시는 동일한 성상의 폐기물이 담긴 합성수지류 용기들을 담아 배출하는 경우에 한하여 허용된다.

소형 합성수지 용기도 대형 합성수지 용기에 담아 배출이 가능하다. 다만 합성수지 용기는 밀폐로 인한 내부 고(高)압, 용제 등의 내용물에 의한 폭발성으로 과도하게 투입될 경우 소각로 운영에 부정적 영향을 미치므로, 처리업체에서 시각적으로 볼 수 없어 별도 분리가 어려운 경우는 금지된다.

치아는 부패할 우려가 없으므로 상온보관(현재는 냉장보관) 및 합성수지류 또는 골판지류 용기에 다른 의료폐기물과 혼합 보관이 가능하다.

합성수지용기 최대 규격인 100 l 를 초과하는 대형 조직물류는 내용물이 보이지않도록 개별포장하여 분비물 등이 유출되지 않도록 배출할 경우 전용용기사용이 제외된다. 단, 폐기물관리법 시행규칙 별표5에 의한 의료폐기물 도형, 취급시 주의사항은 표기하여야 한다.

포르말린과 같은 방부제에 조직물류를 담아 보관하는 경우 부패 우려가 없으므로 냉장보관에서 제외하여 상온보관이 가능하다.

이렇게 혼합보관을 할 경우, 용기의 표기사항은 다음과 같다.

의료폐기물 종류는 양이 가장 많은 것으로 표기하며 보관기간, 보관방법 등에 있어 엄격한 기준을 적용한다. 사용개시일은 혼합된 것 중 가장 빠른 것으로 표기, 보관방법은 상온이 아닌 냉장보관, 용기는 골판지가 아닌 합성수지류를 사용한다. 도형용기 색상은 위해의료폐기물, 일반의료폐기물 혼합 보관에 따른 용기 도형색상은 새로 제작할 경우 노란색으로 하고, 이미 구입한 용기는 그대로 사용한다.

이렇게 보관된 모든 의료폐기물은 소각시설이나 멸균·분쇄시설에서 처리한다. 도서지역 발생 의료폐기물은 생활폐기물 소각시설에서 처리가능하며, 위탁처리는 소각만 허용되고, 자가 처리는 소각 또는 멸균분쇄가 가능하다.

REFERENCES

1. 김근수, 배선향, 송인영, 윤영숙, 이승자, 장미혜, 진종언, 최경임. 소독 및 전염병학. 서울: 도서출판 성화; 2001.
2. 가인호. 소독제가 공산품? 미허가 제품 의약품과 혼동 우려. 데일리팜 [Internet]. 2016 Jan 13. Available: <http://www.dailypharm.com/News/207609>.
3. 이만우. 보건의료기관의 의료폐기물 처리 관련 검토. 서울: 국회입법조사처; 2009.
4. 질병관리본부. 실험실 생물안전지침. 오송: 질병관리본부; 2015.
5. 한국보건산업진흥원. 살균·소독제 안전성·유효성 평가. 오송: 한국보건산업진흥원; 2002.
6. 환경부. 의료폐기물관리 제도 안내. 서울: 환경부; 2008.
7. Araújo P, Lemos M, Mergulhão F, Melo L, Simões M. Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances (Antimicrobial resistance to disinfectants in biofilms). Spain: Formatex research center. 2011:826-834.
8. Hanson S, Stamm-Balderjahn S, Zuschneid I, *et al*. Closure of medical departments during nosocomial outbreaks: data from a systematic analysis of the literature. J Hosp Infect 2007;65:348-353.
9. Maris P. Modes of action of disinfectants. Rev sci tech Off int Epiz. 1995;14(1):47-55.
10. Public Health Agency of Canada (PHAC). Canadian Biosafety Standards and Guidelines First Edition. Ottawa: PHAC; 2013
11. Sievert DM, Ricks P, Edwards JR, *et al*. Antimicrobial-resistant pathogens associated with healthcare-associated infections: summary of data reported to the National Healthcare SafetyNetwork at the Centers for Disease Control and Prevention, 2009-2010. Infect Control Hosp Epidemiol 2013;34:1-14.
12. William AR, David JW, the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities, 2008. Department of health & human service. Washington; 2008.
13. William AR, David JW. Selection of the Ideal Disinfectant, infection control and hospital epidemiology. 2014;35(7):854-865.
14. William AR, David JW. Disinfection and Sterilization in Health Care Facilities: An Overview and Current Issues. Infectious Disease Clinics of Northern America. 2016;30:609-637.
15. World Health Organization (WHO). Laboratory biosafety manual Third edition. Geneva: WHO; 2004.

16

감염성 물질 수송, 수출입, 검역

김종민(한국바이오협회)·유민수(코라 공공컨설팅&솔루션)·이지영(질병관리청)

감염병 진단법 개발, 예방 백신과 치료제 개발 등의 활발한 연구 수행으로 국내·외 의료기관 및 연구기관 사이에 병원체의 이동 및 수송이 증가하고 있다. 감염성 물질의 수송에 관한 용어는 다양한데, 가장 많이 이용되는 용어와 그 의미는 다음과 같다.

- 감염성 물질(infectious substances): 병원체를 보유한 것으로 추정되는 물질 또는 병원체를 보유하는 물질로써 검체, 배양체, 병원체 등을 말함
- 병원체(pathogens): 사람, 동물 및 식물 등의 생물체에 질병을 일으킬 수 있는 박테리아, 바이러스, 리케치아, 기생충, 곰팡이 및 프리온 등의 미생물(유전자변형미생물 포함)을 말함
- 배양체(cultures): 병원체 증식을 목적으로 한 미생물 배양 결과물을 말하며 검체는 해당되지 않음
- 검체(specimens): 질병 진단, 조사 및 질병 치료와 예방 등의 목적으로 사람이나 동물에게서 직접 채취된 배설물, 분비물, 혈액과 그 구성분, 조직과 조직액, 인체 조직 일부 및 인체에 대하여 감염원이 되는 동물 조직 그리고 그 밖의 가검물 등을 말함

국제연합기구(UN)에서는 감염성 물질 이동 시, 부적절한 포장 및 수송 용기의 파손으로 인한 병원체 유출을 방지하고자 ‘UN 위험물수송권고안(UN recommendations on the transport of dangerous goods)’을 제시함으로써 감염성 물질에 대한 국제 수송 규정을 정하고 있다. 또한 국제 항공수송 관련기관인 국제민간항공기구(International civil aviation organization, ICAO)와 국제항공 수송협회(International air transport association, IATA)를 비롯한 만국우편연합(Universal postal union, UPU)과의 공조를 통하여 ‘UN 위험물수송권고안’ 규정을 준수하도록 하고 있다.

세계보건기구(WHO) 역시 ‘UN 위험물수송권고안’에 따라 감염성 물질의 생물학적 위해도를 카테고리 A와 B로 구분하여 포장 방법 및 준수 수칙 등을 정한 ‘감염성 물질의 수송 가이드(Guidance on regulations for the transport of infectious substances 2019-2020)’를 제시함으로써 감염성 물질의 안전한 수송체계 구축에 일조하고 있다.

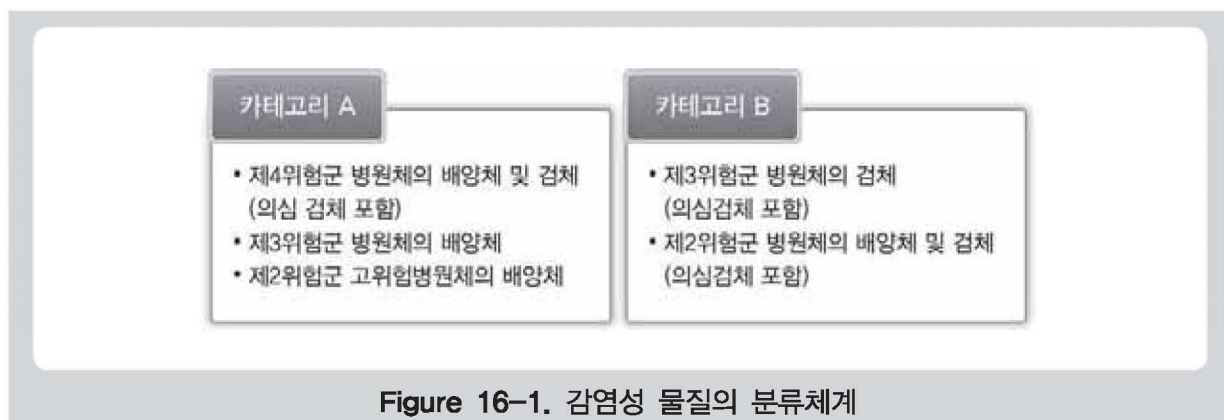
우리나라에서는 감염성 물질의 수송과 관련하여 직접적으로 규정하는 법률은 아직까지 마련되어 있지 않다. 현재로서는 ‘우편금지물품의 내용에 관한 고시’나 ‘우편물의 용적, 중량 및 포장방법’, ‘2019년(2차) 만국우편연합 우편규칙 및 최종의정서’, ‘항공위험물운송기술기준’ 등 운송수단에 따라

세부규칙 내에 감염성 물질의 포장 및 이동에 관한 사항을 언급하고 있다.

질병관리청은 국내 감염성 물질의 안전한 수송을 위하여 병원체의 위해도에 따른 포장 방법 등 국내 감염성 물질 수송 현황을 반영한 현실적인 기준과 함께, 포장·수송 시 생물안전수칙 등을 담아 국내 감염성 물질 안전 수송체계 구축과 생물안전 관리 강화에 도움이 되고자 ‘감염성 물질 안전수송 지침’을 발간하여 이에 대응하고 있다.

16.1 감염성 물질의 분류

감염성 물질 안전수송 지침(이하 수송지침)에서는 UN 위험물수송권고안의 위험물질 분류 및 WHO의 ‘감염성 물질 수송가이드’의 생물학적 위해도에 따른 2가지 카테고리(카테고리 A와 B)를 반영하여 감염성 물질을 분류한다(Figure 16-1).



감염성 물질을 안전하게 포장 및 수송하기 위해, 우선적으로 고려되어야하는 생물학적 위해도에 따른 감염성 물질 분류 절차는 Figure 16-2와 같다.

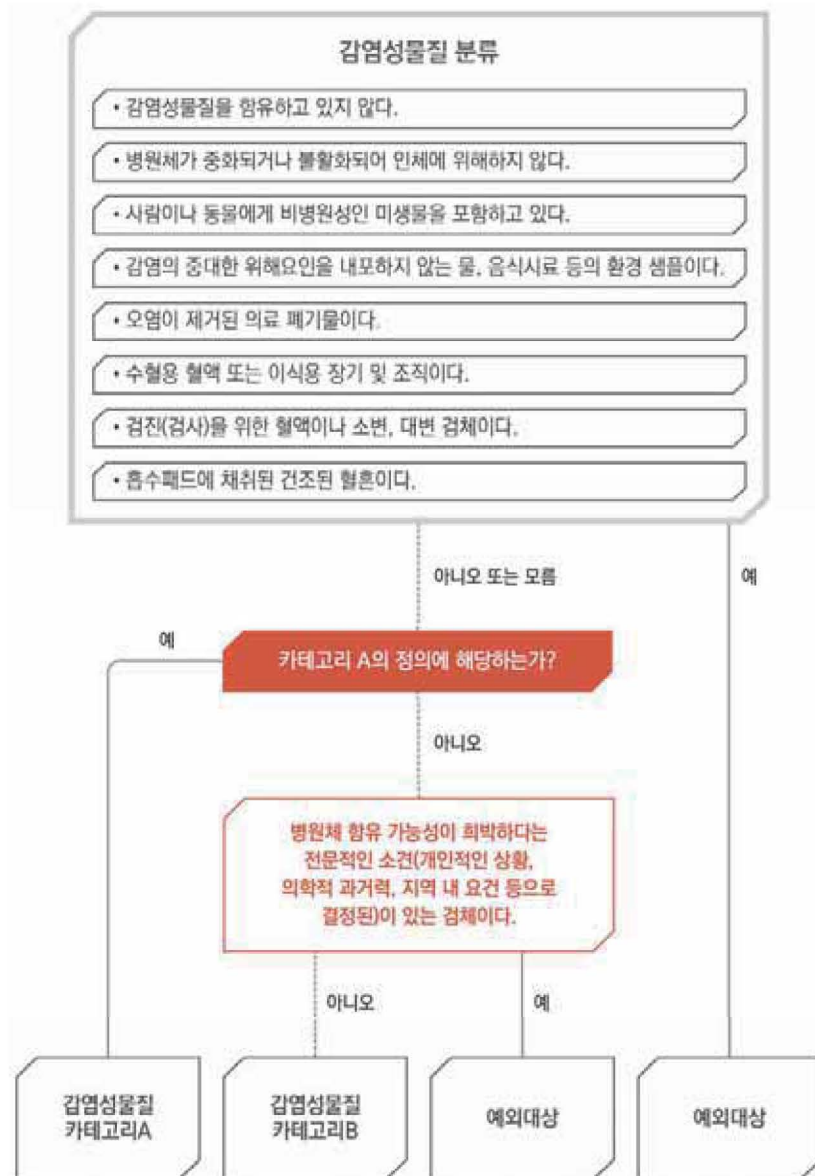


Figure 16-2. 감염성 물질의 분류절차

16.1.1. 카테고리 A(category A)

카테고리 A는 수송과정 중 포장 외부로 유출되어 물리적인 접촉이 있는 경우 건강한 사람이나 동물에게 치명적인 질병이나 영구적 장애를 유발할 수 있는 병원체를 포함하거나, 포함하는 것으로 의심되는 감염성 미생물 배양체 또는 검체이다.

제4위험군(RG 4) 병원체란 「유전자재조합실험지침」(보건복지부고시 제2019-284호)의 분류기준에 따른 병원성 미생물로, 사람에게 감염되었을 경우 증세가 매우 심각하거나 치명적이며 예방 또는

치료가 어려운 질병을 일으킬 수 있는 생물체이다. 카테고리 A에는 RG 4 병원체의 배양체 및 검체(의심 검체 포함)가 포함된다.

제3위험군(RG 3) 병원체란 「유전자재조합실험지침」의 분류기준에 따른 병원성 미생물로, 사람에게 감염되었을 경우 중세가 심각하거나 치명적일 수도 있으나 예방 또는 치료가 가능한 질병을 일으킬 수 있는 생물체이다. 카테고리 A에는 RG 3 병원체의 배양체만 포함된다. 단, 전염성 해면상 뇌병증(BSE, vCJD) 병원체는 검체(의심 검체 포함)도 포함한다.

제2위험군(RG 2) 고위험병원체의 배양체란 「유전자재조합실험지침」 제2위험군 중 고위험병원체³⁸⁾에 해당되는 병원체(배양체)로 보툴리눔균(*Clostridium botulinum*), 이질균(*Shigella dysenteriae* type 1), 콜레라균(*Vibrio cholerae* O1·O139), 클라미디아 시타시(*Chlamydia psittaci*) 등이 해당된다.

16.1.2 카테고리 B(category B)

카테고리 B는 카테고리 A 범주에 속하지 않는 병원체를 포함하거나, 포함하는 것으로 의심되는 감염성 미생물 배양체 또는 검체를 말한다.

16.1.3 예외대상(비감염성 물질)

감염성 물질 카테고리 A와 카테고리 B에 해당하지 않는 비감염성 물질은 수송지침에서 명시한 포장 규정(3중 안전 포장)이 아닌 별도의 안전 포장 및 수송방법을 정하여 수송할 수 있다.

예를 들어, 병원체를 포함하는 물질이 중화되거나 불활화되어 더 이상 질병을 유발할 수 없는 물질(멸균이나 불활화 확인 등의 절차를 거친 후 카테고리 B에 준하는 3중 안전 포장)이나, 비병원성 미생물 또는 이를 포함하는 물질, 음식이나 물 등의 환경시료, 수혈용 혈액과 혈액 구성 요소, 이식을 위한 조직 및 장기, 흡습제에 채취된 건조 혈흔 및 배설물, 오염원이 제거된 의료폐기물, 병원체 함유 가능성이 희박하다는 전문적 소견이 있는 검체가 이에 해당한다.

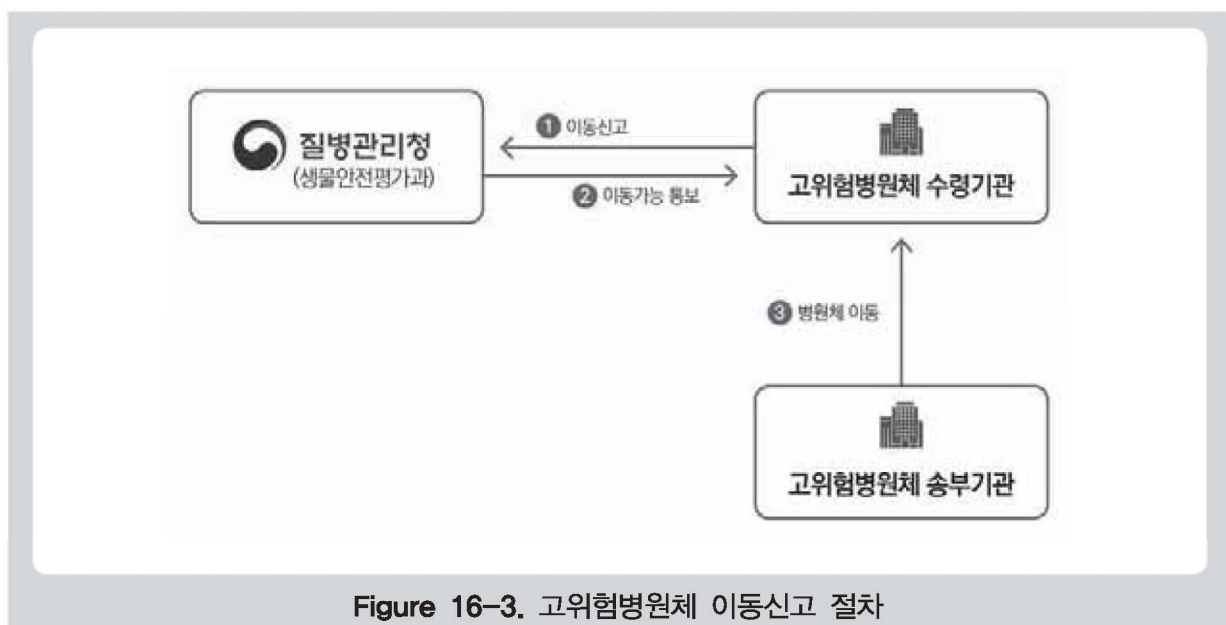
병원체 함유 가능성이 희박하다는 전문적 소견이 있는 검체는 모두 4종류로, ① 포르말린(30ml 이하)으로 고정시킨 조직 검체 ② 파라핀 고정 조직 검체 ③ 고정시킨 세포 도말표본 ④ 항체, 콜레스테롤, 글루코오스, 호르몬, 암진단, 신장 또는 간기능 검사 등 진단시험을 위한 혈액이나 소변 검체 등이 이에 해당한다.

38) 고위험병원체는 「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률」에 따라 생물테러의 목적으로 이용되거나 사고 등에 의하여 외부로 유출될 경우 국민건강에 심각한 위험을 초래할 수 있는 감염병 병원체를 말한다.

16.2 고위험병원체의 이동신고

「감염병예방법」으로 지정된 고위험병원체는 카테고리 A로 분류되며, 고위험병원체를 반입하거나 이동하고자 할 경우 질병관리청에 사전 반입허가 신청 및 이동신고를 해야 한다. 고위험병원체 국내 수송의 경우, 고위험병원체 이동 목적이 있는 기관은 사전에 질병관리청으로 ‘고위험병원체 이동신고서’를 제출하여 안전한 이동계획을 확인한 후 이동하여야 한다(Figure 16-3).

기타 고위험병원체 상세한 내용은 ‘고위험병원체 취급 및 보존 안전관리가이드’, ‘고위험병원체 취급시설 및 안전관리에 관한 고시(보건복지부 공고 제2019-59호)’를 참고한다.



16.3 감염성 물질의 포장 및 표식

감염성 물질을 수송하고자 할 때, 발송자(진단의뢰기관, 분양기관 등)는 국제 기준인 ‘UN 위험물 수송권고안’ 포장기준(packaging instruction, PI)과 생물학적 위해도에 따른 포장 및 표식 기준을 따라 감염성 물질을 3중으로 안전하게 포장한다. 또한 감염성 물질 취급자(포장 작업 등)는 감염성 물질의 위해도 등급에 따라 적합한 개인보호구(장갑, 마스크, 보호복 등)를 착용하며, 사용한 개인 보호구와 기구는 의료폐기물 폐기절차에 따라 폐기한다.

16.3.1. 카테고리 A 감염성 물질 포장

카테고리 A 감염성 물질 전용 수송용기를 사용하여 UN P620 포장기준에 따라 3중으로 안전하게 포장한다.

1차 용기는 누수방지용기로 감염성 물질에 직접 닿는 용기로 방수 가능한 용기를 사용하며, 수송 과정에서 임의의 충격에 의한 파손을 막기 위해 견고한 용기(유리, 금속, 플라스틱용기 등)를 사용한다. 또한 스크류 캡 등 마개로 이용하여 내용물의 유출을 방지하도록 밀봉한다. 1차 용기에 포장 가능한 감염성 물질의 최대 부피는 50ml, 최대 무게는 50g이다. 감염성 물질을 담은 직후, 1차 용기의 외부는 반드시 적절한 소독제(의료용 소독제)를 사용하여 소독한다.

1차 용기와 2차 안전 수송용기 사이에는 흡수제와 충격완화제를 넣는다. 흡수용 패드, 흡수용 젤, 코튼볼 등 흡수제는 1차 용기 파손 시 감염성 물질을 흡수할 수 있는 재질을 사용한다. 또한 수송 시 물리적 충격을 완화시키기 위하여, 1차 용기와 2차 안전 수송용기 사이, 그리고, 2차 안전 수송용기와 3차 포장용기 사이의 공간에는 에어비닐 등과 같은 충격완화제를 채운다.

2차 안전 수송용기는 1차 용기 보호 및 파손을 방지하기 위하여 내구성이 뛰어나야 한다. -40~+55℃ 범위 온도와 95kPa 이상의 압력 차이에서 발생하는 내부압력을 견딜 수 있는 안전성이 입증된 용기여야 하며, 방수 및 누수방지 용기(플라스틱, 철제 등)를 사용한다.

시험의뢰서 등 감염성 물질에 대한 정보는 2차 안전 수송용기와 3차 포장용기 사이에 넣는다. 필요한 경우 감염성 물질의 내용 및 용량을 2차 안전수송용기 표면에 부착한다.

3차 포장용기(외곽 포장 용기)는 2차 안전 수송용기를 담은 최종 외곽 포장 용기이다. 따라서 수송 중 외부로부터 물리적 충격을 견딜 수 있도록 1차와 2차 용기를 포함하여 안전성 인증을 받은 3차 포장 용기 제조 규격 표기 사항(UN 표준마크)이 부착된 용기를 사용한다. 3차 포장 용기는 각 단면이 최소 10cm 이상이며, 3중 안전 포장이 완료된 수송 용기는 최대 부피 4l 또는 무게 4kg을 초과하지 않아야 한다.

16.3.2. 카테고리 B 감염성 물질 포장

카테고리 B 감염성 물질을 UN P650 포장기준에 따라 3중으로 안전하게 포장한다. 1차용기와 2차 안전 수송용기는 누수방지용기로 수송과정에서 임의의 충격에 의한 파손을 막기 위해 견고한 용기(플라스틱용기 등) 사용과 수송 중 물리적 충격을 견딜 수 있는 내구성이 있는 3차 포장용기를 사용한다(Figure 16-4).

1차 용기는 감염성 물질에 직접 닿는 용기이다. 따라서 방수 가능한 용기를 사용하며, 스크류 캡 등 마개로 이용하여 내용물의 유출을 방지하도록 밀봉한다. 1차 용기에 포장 가능한 감염성

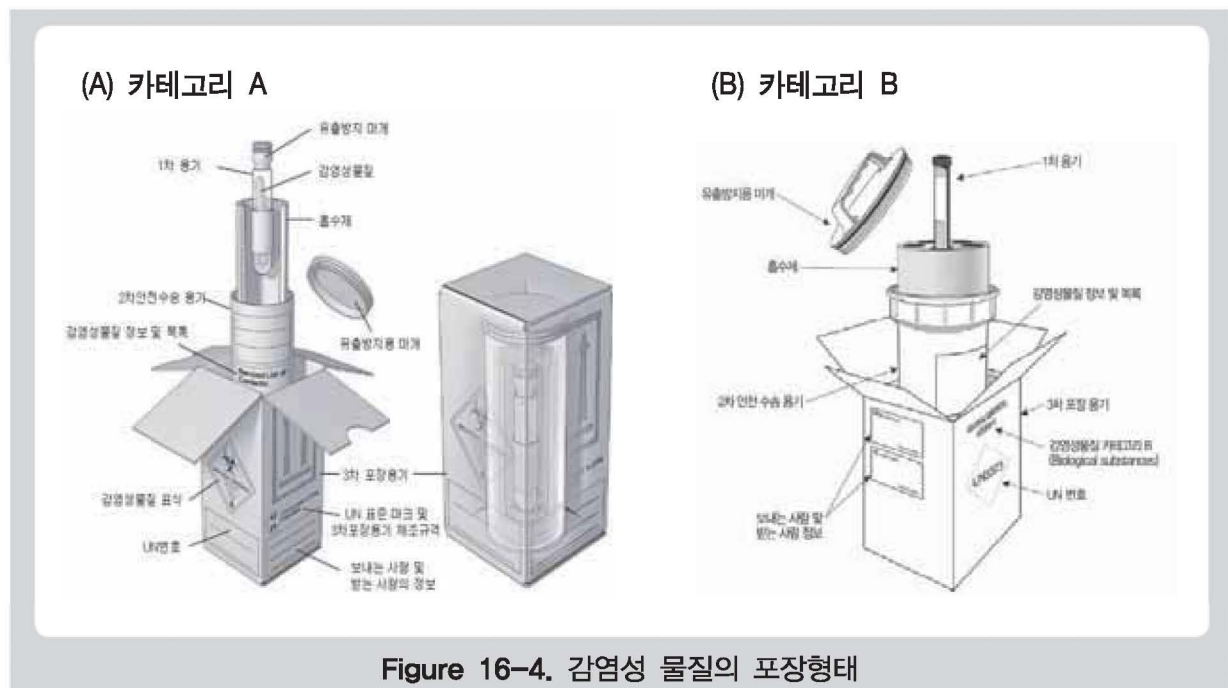
물질의 최대 부피는 1l, 최대 무게는 1kg이다.

1차 용기와 2차 안전 수송용기 사이에는 흡수제를 넣어야 한다. 그 이유는 1차 용기 파손 시 감염성 물질을 흡수할 수 있어야 하기 때문이다. 사용하는 흡수제는 흡수용 패드, 흡수용 겔, 코튼볼 등이 있다.

2차 안전 수송용기는 1차 용기 보호 및 파손을 방지하고자 내구성이 뛰어나야 한다. 수송과정에서 임의의 충격에 의한 파손과 압력변화를 견딜 수 있는 재질로 견고해야 하며, 방수 및 누수방지 용기(플라스틱, 철제 등)를 사용해야 한다. 액상의 감염성 물질의 경우, 95kPa 이상의 압력 차이에서 발생하는 내부압력을 견딜 수 있는 용기를 사용한다. 항공으로 운송되는 액상의 감염성 물질을 포장하는 경우에는 -40~+55℃ 범위 온도와 95kPa 이상의 압력 차이에서 발생하는 내부압력을 견딜 수 있는 용기를 사용한다.

1차 용기와 2차 안전 수송용기 사이, 2차 안전 수송용기와 3차 포장 용기 사이의 공간에 채우는 내용물인 충격완화제(에어비닐 등)는 수송 시 물리적 충격을 완화시킬 수 있는 재질을 사용한다.

3차 포장 용기(외곽 포장 용기)는 각 단면이 최소 10cm 이상이며, 3중 안전 포장이 완료된 수송 용기는 최대 부피 20l 또는 무게 20kg을 초과하지 않는다.



16.3.3. 감염성 물질의 다중 포장(overpack) 및 다수 포장

다중 포장은 동일한 카테고리의 감염성 물질이 개별로 3중 안전 포장된 경우, 하나의 포장단위로 재포장함을 의미한다(Figure 16-5). 동일한 카테고리의 3중 안전 포장된 감염성 물질들을 최종 외곽 포장 용기에 넣은 후, 흔들리지 않고 올바른 방향으로 수송될 수 있도록 고정한다. 이후 최종 외곽 포장 용기에 해당되는 표식을 부착하고, 표기 내용을 기입한다.

다수 포장은 동일한 카테고리의 여러 1차 용기들을 하나의 2차 안전 수송용기 내에 포장함을 의미한다. 감염성 물질은 방수 및 누수방지가 되는 유리, 금속, 플라스틱 재질의 1차 용기에 넣는다. 감염성 물질을 담은 후 즉시 1차 용기의 외부는 반드시 적절한 소독제(의료용 소독제)를 사용하여 소독한다. 1차 용기를 충분한 양의 흡수제로 둘러싼 후 내용물이 수송 중 유출되어 섞이지 않도록, 지퍼백(밀봉 가능한 비닐) 등으로 개별 포장한다. 개별 포장된 1차 용기들을 마개 부위가 위쪽을 향하도록 2차 안전 수송용기에 넣고, 흔들리지 않도록 고정한 후 방수 및 누수방지를 위해 O-링이 포함된 스크류 캡 등 견고한 마개로 닫는다. 그리고 3차 포장용기 안에 수송 중 외부 충격을 감소시키기 위한 에어비닐 등 충격완화제를 넣고, 2차 안전 수송용기는 흔들리지 않도록 고정시킨다.

시험의뢰서 등 감염성 물질 정보는 2차 안전 수송용기와 3차 포장 용기 사이에 넣는다. 필요한 경우 감염성 물질의 내용 및 용량을 2차 안전 수송용기 표면에 부착한다. 3차 포장 용기(외곽 포장 용기)는 각 단면이 최소 10cm 이상이어야 한다.

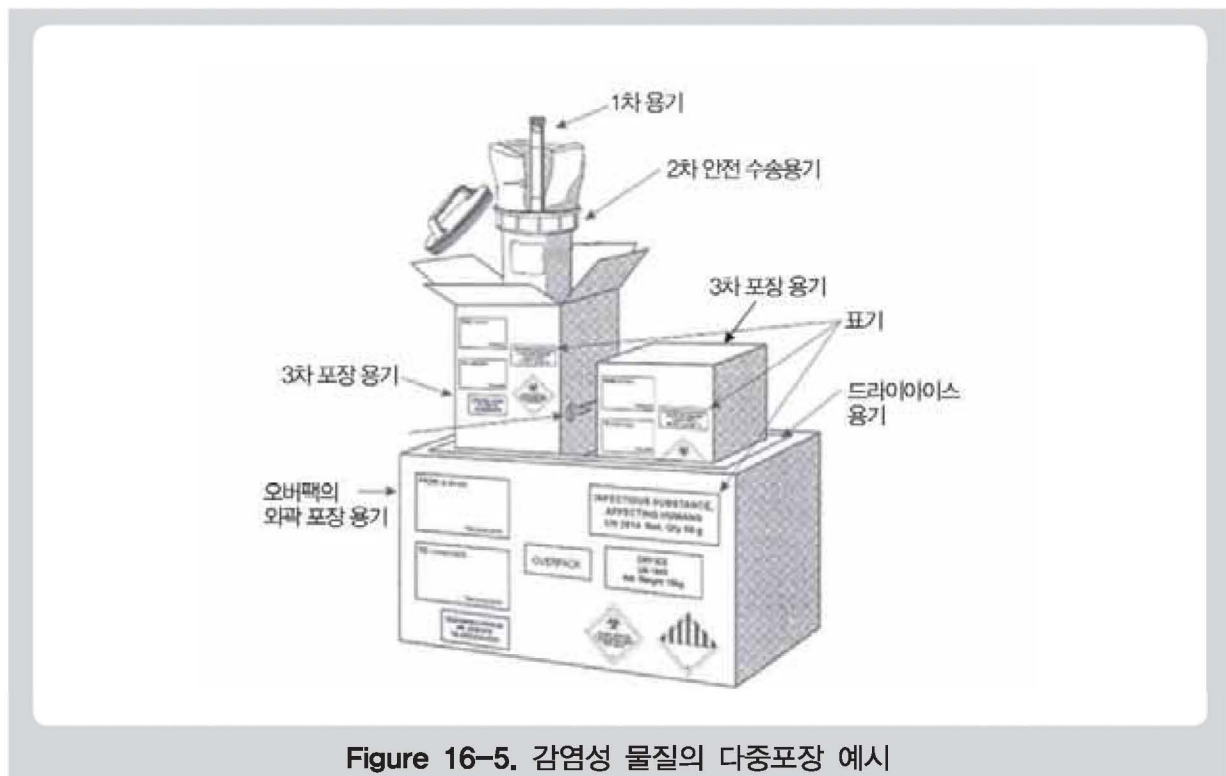


Figure 16-5. 감염성 물질의 다중포장 예시

16.3.4. 포장된 감염성 물질의 표식 및 표기(Table 16-1)

카테고리 A 또는 카테고리 B 감염성 물질을 포장할 때에는 최종 외곽 포장 용기에 직접 연락이 가능한 수신·발송자와 응급상황 시 24시간 연락 가능한 책임자 이름과 연락처를 기록하여 인수인계 확인 및 응급상황 시 비상연락이 가능하도록 해야 한다. 그리고 카테고리 별 해당하는 감염성 물질 마크(생물위해표시)와 방향표식을 부착한다.

감염성 물질 위해 표식(생물위해표시)을 3차 포장 용기 외부에 부착한다. ‘감염성 물질 (Infectious Substance, Category A)’은 글자 높이가 6mm 이상 되도록 기재하며, ‘포장이 손상되거나 감염성 물질의 유출이 있는 경우 보건당국(국제수송) 또는 119(국내수송)에 알려야 한다.’는 문구를 포함한다. 필요한 경우, 다음 안내문 내용을 감염성 물질 포장 외곽에 게시할 수 있다. 즉, “이 물품은 감염성 물질로 개봉 시 감염의 우려가 있습니다. 습득하신 경우, 개봉하지 마시고 상기 연락처 또는 112로 즉시 연락하시기 바랍니다.”

감염성 물질 3중 포장 외곽에 표기사항이 기록되어 있다면 분실사고가 발생하더라도 분실물 습득자가 쉽게 연락을 취할 수 있으므로 반드시 표기사항을 정확하게 기록한다.

16.3.5. 감염성 물질 냉매 포장

감염성 물질 수송 중 저온환경을 유지하기 위해 냉매(예, 얼음, 아이스 팩, 드라이아이스)를 사용하여 포장하는 경우에 해당한다. 감염성 물질 카테고리 분류 별 포장 기준에 따라 안전하게 포장하며, 2차 안전 수송용기를 완전히 밀폐시킨 후, 냉매제는 2차 안전 수송용기 외부(3차 포장 용기 내부) 또는 3차 포장용기 외부(외곽포장 내부)에 두어 포장한다. 냉매제로 얼음 또는 드라이아이스를 사용 시 냉매제가 녹거나 기화하더라도 2차 안전 수송용기는 제 위치에 고정되어 있도록 한다. 냉매제를 담은 용기는 수송 중에 냉매제로부터 발생하는 용해로부터 3차 포장용기(외곽 포장 용기) 상태가 손상되지 않도록 방수가 되는 포장재를 사용한다.

1차 용기 및 2차 안전 수송용기는 냉매 소멸에 따른 온도와 압력 변화에서도 원래의 형태가 물리적으로 유지되어야 한다. 드라이아이스를 냉매제로 사용 시 기화된 이산화탄소가 배출되지 못하면 폭발의 위험성이 있으므로 가스가 밖으로 배출될 수 있도록 포장한다.

감염성 물질을 냉매 포장한 경우, 별도의 표식이나 표기 내용이 추가되지는 않지만 위험물 Class 9에 해당되는 ‘드라이아이스’를 냉매제로 사용하는 경우, 적용되는 표기 및 표식 요건을 따른다.

Table 16-1. 포장 시 부착하는 표식 및 표기사항

표기종류	표 식	UN번호 ³⁹⁾ 등 특기사항	표기사항
카테고리 A		UN 2814 (인체위해성 감염성 물질) UN 2900 (동물위해성 감염성 물질)	• 발송자 이름, 주소 및 전화번호 • 수신자 이름, 주소 및 전화번호 • 응급상황 시 24시간 연락 가능한 책임자 이름 및 전화번호 • 사고 시 응급처리 연락처 : 119
카테고리 B		UN 3373 (카테고리 B)	• 발송자 이름, 주소 및 전화번호 • 수신자 이름, 주소 및 전화번호 • 응급상황 시 24시간 연락이 가능한 책임자 이름 및 전화번호 • 사고 시 응급처리 연락처 : 119
방향		반대편 면에 각 1개씩 부착	-
유전자변형 생물체		UN3245 (유전자변형생물체)	• 발송자 이름, 주소 및 전화번호 • 수신자 이름, 주소 및 전화번호 • 응급상황 시 24시간 연락 가능한 책임자 이름 및 전화번호 • 사고 시 응급처리 연락처 : 119

39) UN 번호(UN number): UN 위험물 수송 전문가 위원회로부터 운송위험물 및 유해성 있는 화학 물질 등 위험 물질 군을 식별하기 위하여 부여한 4자리 숫자이다.

표기종류	표 식	UN번호 ³⁹⁾ 등 특기사항	표기사항
비가연성, 비독성 가스		액체질소/저온	-
냉매	 UN1845 DRY ICE Net Qty.: ____ kg	UN 1845 드라이아이스	• 발송자 이름, 주소 및 전화번호 • 수신자 이름, 주소 및 전화번호 • 응급상황 시 24시간 연락 가능한 책임자 이름 및 전화번호 • 사고 시 응급처리 연락처 : 119 • 드라이아이스 중량(무게)

16.4 수송 및 사고대응

16.4.1. 카테고리 A 감염성 물질 수송

카테고리 A 감염성 물질은 우편 및 일반적인 대중교통⁴⁰⁾을 이용하여 수송할 수 없으며, 포장 및 수송 시 생물안전 수칙을 준수하는 방안으로 수송한다(Table 16-2).

국제규정에 따라 포장되어 국내에 반입된 감염성 물질은 포장의 변경없이 최종 목적지까지 수송한다. 직접 및 위탁수송 등 카테고리 A 감염성 물질을 수송하는 경우에는 수송 중 감염성 물질은 사람과 분리된 공간(화물칸)에 보관하며, 잠금장치 설정 및 철저한 인수인계절차를 수행한다.

고위험병원체는 카테고리 A로 분류하며, 고위험병원체를 반입하거나 이동하고자 하는 경우 질병관리청에 사전 반입허가 신청 및 이동 신고를 해야 한다. 기타 고위험병원체 상세한 내용은 ‘고위험병원체 취급 및 보존 안전관리가이드’, ‘고위험병원체 취급시설 및 안전관리에 관한 고시(보건복지부 공고 제2019-59호)’를 참고한다.

40) 일반적인 대중교통: 여객실과 화물실이 분리되어 있지 않은 대중교통을 의미한다. 도서 지역 등으로부터 카테고리 A 감염성 물질 수송 시 대중교통을 이용할 수밖에 없는 경우, 수송자의 직접 탑승을 전제로 화물실과 여객실이 명확히 분리되어 있는 대중교통을 이용할 수 있으나 해당 대중교통운송과 관련된 법률을 따라야 한다. (위험물선박운송 및 저장규칙, 여객자동차 운수사업법, 위험물철도운송규칙, 항공위험물운송기술기준 등)

16.4.1.1. 직접 수송

카테고리 A 감염성 물질 전용 수송용기를 사용하여 UN P620 포장기준에 따라 3중으로 안전하게 포장한다. 포장된 카테고리 A 감염성 물질을 승용차 등 차량의 화물칸에 비치하여 흔들리지 않도록 고정한다.

수송 차량 내에는 만일의 경우를 대비하여 적절한 개인보호구(보호복, 마스크, 장갑 등)와 오염처리용품(생물학적 유출물 처리함)이나 흡습포(방포), 소독제, 의료폐기물 전용 용기 등의 처리 물품을 준비한다.

이동 경로는 최단거리 및 안전한 경로를 지정하여 기관 생물안전관리책임자에게 보고 후 출발한다. 이동 중 도로 교통 신호 및 규칙을 준수하여 안전하게 이동하며, 만일의 상황을 대비하여 차량 내 필수 인원 잔류 및 시건 조치 등 유실, 도난, 방출 등을 방지하는 일련의 조치를 취한다.

목적지에 도착하면 수송자는 인수자에게 연락하여, 인수인계 절차를 수행한다.

16.4.1.2. 위탁수송

카테고리 A 감염성 물질 전용 수송용기를 사용하여 UN P620 포장기준에 따라 3중으로 안전하게 포장한다. 수송을 위탁하려는 사람은 수송기관의 내부규정을 확인하고 수송자에게 위탁하는 물품이 감염성 물질임을 알린다. 수송기관은 감염성 물질(위험물) 수송 가능 대상 기준, 자체 규정 등을 별도로 가질 수 있으므로 해당 감염성 물질 수송을 위한 세부 사항은 위탁하려는 자(발송자)가 세밀히 확인 후 위탁한다.

수송을 위탁하려는 자는 카테고리 A 감염성 물질을 수송할 경로, 수송자, 도착시간 등(운반 계획서)을 검토하여, 적합성 및 안전성을 판단한다. 카테고리 A 감염성 물질을 인계하며, 감염성 물질 인수인계 확인절차를 면밀히 확인하여 수송계획을 확정한다.

수송을 위탁한 자는 예정된 도착시간에 수신자에게 도착 여부를 확인한다.

16.4.2. 카테고리 B 감염성 물질 수송

카테고리 B 감염성 물질은 직접 또는 위탁 수송할 수 있으며 여객실과 화물실이 분리된 대중교통과 우편으로도 수송할 수 있다.

감염성 물질 수송 시 표식 및 표기 내용을 가리거나 훼손하지 않는다. 대중교통을 이용하여 카테고리 B 감염성 물질을 수송할 경우, 해당 교통수단의 법률 및 규정 등을 확인하여 적합하게 수행한다.

수송 중 포장된 카테고리 B 감염성 물질은 여객공간과 분리된 화물칸에 둔다. 직접수송 및 위탁수송 등 감염성 물질을 수송하는 경우에는 시건 조치 및 철저한 인수인계절차를 수행한다.

16.4.2.1. 직접 수송

카테고리 B 감염성 물질을 UN P650 포장기준에 따라 3중으로 안전하게 포장한다. 포장된 카테고리 B 감염성 물질을 승용차 등 차량의 화물칸에 비치하여 흔들리지 않도록 고정한다.

수송 차량 내에는 만일의 경우를 대비하여 적절한 개인보호구(보호복, 마스크, 장갑 등)와 오염처리용품(생물학적 유출물 처리함)이나 흡습포(방포), 소독제, 의료폐기물 전용 용기 등의 처리 물품을 준비한다.

이동 중에는 도로 교통 신호 및 규칙을 준수하여 안전하게 이동하며, 비상상황에 대비하여 필요한 예방조치를 취한다.

대중교통을 이용하여 직접 수송하는 경우에는 대중교통 수송관계자(또는 수송자)에게 수송하는 물품이 감염성 물질임을 알린다. 수송 중 포장된 카테고리 B 감염성 물질은 여객공간과 분리된 화물칸에 둔다. 대중교통을 이용하여 감염성 물질을 수송하는 경우 수송자는 우발적 유출사고에 대비하여 생물학적유출물 처리물품은 준비하여 이동한다.

목적지에 도착하면 수송자는 인수자에게 연락하며, 인수인계 절차를 수행한다.

16.4.2.2. 위탁수송

수송을 위탁하려는 자는 카테고리 B 감염성 물질을 UN P650 포장기준에 따라 3중으로 안전하게 포장한다.

수송을 위탁하려는 자는 수송을 위탁할 기관의 내부규정을 확인한다. 위탁수송을 수행하는 기관은 감염성 물질(위험물) 수송 가능 대상 기준, 자체 규정 등을 별도로 가질 수 있으므로 해당 감염성 물질 수송을 위한 세부 사항은 위탁하려는 자(발송자)가 세밀히 확인 후 위탁해야 한다.

위탁기관이 감염성 물질을 수송할 경로, 수송자, 도착시간 등 (운반계획서)을 검토하여, 적합성 및 안전성을 판단한다. 위탁하고자 하는 자는 안전성이 입증된 경로 및 위탁기관에 감염성 물질을 인계하며, 감염성 물질 인수인계 확인절차를 면밀히 수행한다.

수송자는 수송과정 중 감염성 물질 유출 등 사고발생 시 적절한 조치를 취하여야 한다.

16.4.2.3. 등기우편 수송

카테고리 B 감염성 물질을 UN P650 포장기준 및 우정사업본부 2019년(2차) 만국우편규칙 및 최종의정서(우정사업본부고시 제2019-45호) 우편수송 포장기준에 따라 반드시 3중으로 안전하게 포장한다.

포장 최대용적은 가로·세로·높이 세변을 합하여 160cm를 넘지 않는다. 다만 어느 한 변이 1m를 초과할 수 없다. 포장 최소용적은 가로·세로·높이 세변을 합하여 35cm(가로 17cm 이상, 세로 15cm 이상), 원통형은 지름의 2배와 길이를 합하여 35cm(지름 3.5cm 이상, 길이 17cm 이상)이다. 3차 포장은 최대부피 4l, 최대중량 4kg을 넘지 않는다.

또한 카테고리 B 감염성 물질을 접수하며, 반드시 우정사업본부 관련 고시에 따른 '위험물'임을 표시한다.

발송자는 수송조치 확인시스템 등 수송 현황을 확인하며, 도착 예정시간이 도래하면 수신자에게 도착유무를 확인한다.

16.5 포장 및 수송 생물안전수칙

감염성 물질을 포장·수송하고자 하는 자는 '감염성 물질 안전수송 지침'을 준수하여 포장하고 수송한다. 감염성 물질을 포장하는 자는 병원체안전관리 및 감염성 물질 안전수송에 관한 교육 등을 통해 생물안전에 관한 전문지식을 갖추어야 한다.

감염성 물질을 취급(포장 작업 등)하는 자는 감염성 물질의 위해도 등급에 적합한 개인보호구(장갑, 마스크, 보호복 등)를 착용해야 한다.

발송자는 수송 시 감염성 물질이 유출되지 않도록 안전하게 포장하고, 적합한 감염성 물질 수송 수단을 선택하여 그 수송수단의 안전성을 확보하며, 수신자가 감염성 물질을 수령하였는지를 확인한다.

병원체 및 감염성 물질을 수송하는 자는 감염성 물질의 위해 정보를 인지하고, 사고 등의 응급 상황 발생 시 비상연락처 및 대처요령 등을 숙지하여야 한다.

감염성 물질의 수송 차량 내에는 만일의 경우를 대비하여 적절한 개인보호구(보호복, 마스크, 장갑 등)와 오염처리용품(생물학적 유출물 처리함)이나 흡습포(방포), 소독제, 의료폐기물 전용 용기 등의 처리 물품을 비치한다.

수신자는 감염성 물질 수령 시, 포장외곽의 표식 및 용기의 파손여부 등 안전성을 확인하고 내부

관련 담당자에게 전달하기 전까지 감염성 물질의 유실 및 도난을 방지하기 위해 별도의 안전한 장소에 보관한다.

기관 내부에서 감염성 물질을 이동할 경우에는 최소 2차 안전 수송용기에 감염성 물질을 담아 이동하며, 상세한 절차 및 방법은 기관이 별도로 정하는 바에 따른다.

16.6 사고 시 응급대응

감염성 물질 사고는 발생 즉시 기관 내 안전 관리자 또는 수송책임자에게 수송용기 파손 및 내용물 유출여부를 보고한 후, 유출된 구역 격리 및 사고를 수습한다. 사고 조치가 완료되면 기관 내 안전 관리자, 수송책임자에게 사고 조치결과를 보고한다.

감염성 물질의 3중 안전 포장 작업과정 또는 수송과정 중 사고가 발생하여 처리 완료된 경우, 취급자 및 수송자는 해당 소속기관의 안전관리자(생물안전책임자)·수송책임자에게 사고 내용(사고 일시 및 장소, 원인, 피해상황, 조치내용 및 결과)을 보고한다.

기관 안전관리자(생물안전책임자)·수송 책임자는 해당 사고의 원인 및 사고 처리 결과의 적정성을 판단하여 재발 방지와 감염성 물질 안전 수송을 위한 조치 등 사후 모니터링을 지속 수행한다.

특히, 『감염병예방법』으로 지정한 고위험병원체의 유출사고 시에는 ‘고위험병원체 취급시설 및 안전관리에 관한 고시(보건복지부 공고 제2019-59호)’ 별지 제10호 서식 ‘고위험병원체 생물안전 사고보고서’를 작성하여 질병관리청장에게 보고해야 한다.

16.6.1. 포장 중 감염성 물질 유출사고 대처

- ① 유출구역에서 벗어나서 오염된 보호구를 제거하고, 주변 사람들에게 사고 현장 주변 통제 및 접근 금지를 알린다.
- ② 기관 내 안전 관리자에게 감염성 물질 유출 사항을 보고한다.
- ③ 감염성 물질 처리를 위하여 필요한 개인보호구를 추가로 착용한다.
- ④ 오염처리용품(생물학적 유출물 처리함)을 활용하여 에어로졸이 발생되지 않도록 흡습포(방포)로 유출부위를 먼저 덮고, 유출부위의 가장자리부터 소독제를 살포하여 중앙으로 침투할 수 있도록 처리한 후 20~30분간 둔다.
- ⑤ 소독작업이 끝난 후 처리에 사용했던 기구와 폐기물은 전용 용기(autoclave bag 등)에 담아 의료폐기물 처리절차에 따라 폐기하거나 멸균한다.
- ⑥ 유출 지역을 청소하고 소독한다. 필요한 경우에는 유출구역에 소독 절차를 반복 수행한다.

16.6.2. 수송용기 파손으로 감염성 물질 유출사고 대처

취급자의 감염우려가 없으며 감염성 물질이 3차 포장용기 외부 표면 및 차량 내부의 국소적인 범위에 유출된 경우 자체처리하며, 차량 외부 및 환경에 다량 유출되어 지역사회로 감염확산 가능성이 있는 경우 비상조치한다.

16.6.2.1. 자체처리

- ① 감염성 물질 유출을 발견 즉시 수송자는 대중에 노출 위험이 없도록 안전한 곳으로 주차 시키며, 수송책임자(응급상황 시 24시간 연락 가능한 책임자)에게 사고발생 및 파손여부를 보고하고, 감염성 물질 처리를 위하여 차량에 보관된 개인보호구를 착용한다.
- ② 오염처리용품(생물학적 유출물 처리함)을 활용하여 에어로졸이 발생되지 않도록 흡습포(방포)로 유출부위를 먼저 덮고, 유출부위의 가장자리부터 소독제를 살포하여 중앙으로 침투할 수 있도록 처리한 후 20 ~ 30분간 둔다.
- ③ 소독작업이 끝난 후 처리에 사용했던 기구와 폐기물은 전용 용기(autoclave bag 등)에 담아 의료폐기물 처리절차에 따라 폐기하거나 멸균한다.
- ④ 유출 지역을 청소하고 소독한다. 필요한 경우에는 유출구역에 소독 절차를 반복 수행한다.

16.6.2.2. 비상조치

자체처리가 불가능한 감염성 물질 유출의 경우, 직접방제가 아닌 119를 통한 유출물 처리 및 방제가 이루어지도록 한다.

- ① 119(또는 인근 소방서)에 연락하여, 감염성 물질 수송 중에 사고가 났음을 알리고, 사고 상황 및 병원체의 위해정보를 알리고 협조를 요청한다. 필요한 경우, 112(경찰청)에 협조를 요청한다.
- ② 필요한 개인보호구를 추가로 착용한 후 유출지역을 외부로부터 격리시키며, 외부 격리 작업이 완료되면 안전한 곳으로 이동한다.
- ③ 119 특수구조대 도착 시 '감염성 물질 수송 중'임을 다시 알리며, 적극 협조한다.

16.6.2.3. 감염성 물질 유출이 확인되지 않을 경우

수송용기가 파손되었으나, 감염성 물질(내용물) 유출이 육안으로 확인되지 않을 경우에 해당하며, 만일의 경우를 대비하여 수송용기 및 사고발생 구역에 소독작업을 수행한다.

사고 처리에 사용되는 기구, 발생하는 폐기물 등은 의료폐기물 처리절차에 따라 폐기한다.

포장물 내 드라이아이스로 하여 생긴 액체는 건드리지 않으며, 깨진 유리나 날카로운 물체에 베이거나 상처를 입지 않도록 주의한다. 또한 유출물질 또는 손상된 용기를 만지거나 사고지역을 가로질러 걸어 다니지 않는다.

- ① 수송용기 파손 발견 즉시 수송자는 대중에 노출 위험이 없도록 안전한 곳으로 주차하고, 수송책임자(응급상황 시 24시간 연락 가능한 책임자)에게 보고 후, 감염성 물질 처리를 위하여 차량에 보관된 개인보호구를 착용한다.
- ② 만일의 사태를 대비하여 수송용기 외부에 소독액을 살포하며, 수송용기가 적재되어있던 공간에도 병원체를 불활성화하는 소독작업을 수행한다.
- ③ 파손된 수송용기는 의료폐기물 전용용기에 담는다.

16.6.3. 병원체에 직접 접촉 되었을 경우 대처

사고 발생·유출된 감염성 물질이 고위험병원체인 경우, 질병관리청 생물안전평가과 (043-719-8044)로 사고 발생을 알려야 한다(Figure 16-6).

16.6.3.1. 포장 작업 중에 접촉(안면부)

- ① 눈에 튀거나 들어간 경우, 즉시 eye washer 또는 흐르는 깨끗한 물, 눈 세척제를 사용하여 15분 이상 세척하고 눈을 비비거나 압박하지 않도록 주의한다.
- ② 필요한 경우 비상 샤워 장치를 이용하여 전신을 세척한다.
- ③ 발생 사고에 대해 부서장 및 기관 안전 관리자에게 보고하고 필요한 조치를 받는다.

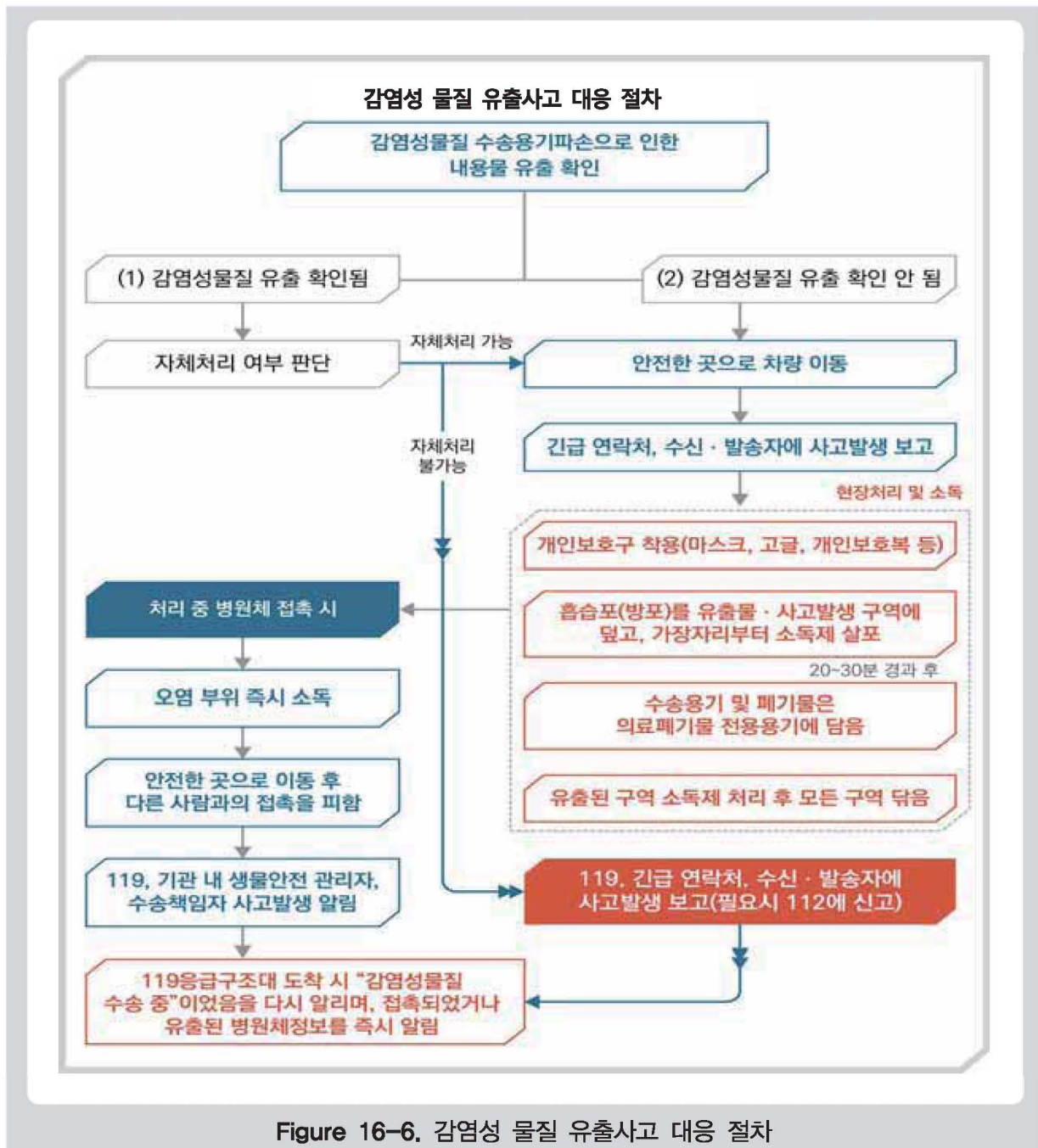
16.6.3.2. 포장 작업 중에 접촉(안면부 외)

- ① 장갑 또는 보호복 등 착용하고 있던 개인보호구를 신속히 벗는다.
- ② 즉시 흐르는 물로 세척 또는 샤워한다.
- ③ 오염 부위를 소독한다.
- ④ 발생한 사고에 대해 부서장 및 기관 안전 관리자에게 보고하고 필요한 조치를 받는다.

16.6.3.3. 유출사고 처리 중 병원체 노출

- ① 오염 부위를 차량 내 준비된 소독제를 사용하여 즉시 소독한다.
- ② 개인보호구를 신속히 벗는다.
- ③ 안전한 곳으로 이동하여 다른 사람과의 접촉을 피한다.

- ④ 119와 기관 내 생물안전관리자 또는 수송책임자에게 사고발생을 알린다.
- ⑤ 119 특수구조대 도착 시, '감염성 물질 수송 중'임을 알리며, 병원체의 위해정보를 제공하고 의료기관으로 이동한다.



16.6.4. 분실 또는 도난 시 대응

- ① 감염성 물질 수송 중 분실 또는 도난사고가 발생하는 경우, 수송담당자는 기관 내 안전관리자 (생물안전책임자) 또는 수송책임자에게 사고 발생 상황을 즉시 보고한다(Figure 16-7).

- ② 분실 및 도난 감염성 물질이 고위험병원체인 경우, 질병관리청 생물안전평가과(043-719-8044)로 사고 발생을 알린다.
- ③ 감염성 물질을 수송하는 기관에서는 필요시, 112(또는 인근경찰서)에 신고하여 감염성 물질 수송 중 감염성 물질분실 또는 도난사고가 발생했음을 알리고 사고 상황 및 병원체 위해정보를 전달한다.

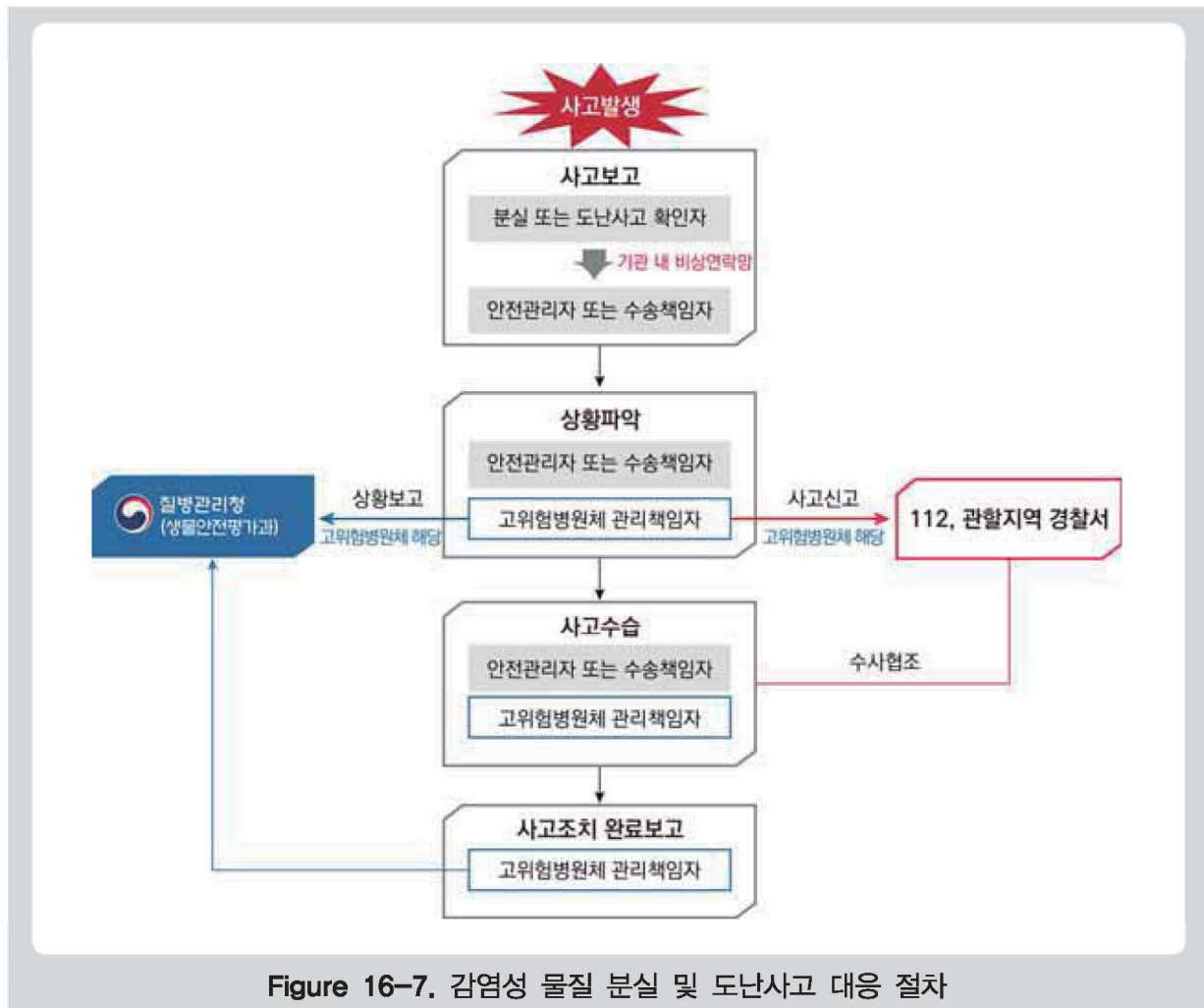


Table 16-2. 감염성 물질의 수송과 관련한 위험물품 목록(WHO, 2015)

수송명	UN No.	UN 정의 규정	Sub Risk	표식	State Var	UN 특별 규정	UN Pkg Grp	여객 및 화물기				화물기 단독	
								제한량		그 외			
								Pkg Inst	Max net Qty/Pkg	Pkg Inst	Max net Qty/Pkg	Pkg Inst	Max net Qty/Pkg
항공법 규제대상 액체	3334	9		Misc.		A27		Y964	30 kg G	964	450 L	964	450 L
생물학적물질, Category B	3373	6.2		None	GB 5					포장안내규정 P650		포장안내규정 P650	
(바이오)의료폐기물	3291	6.2		Inf.		A117	II			622	제한없음	622	제한없음
드라이아이스	1845	9		Misc.		A48 A151				954	200 kg	954	200 kg
임상폐기물	3291	6.2		Inf.		A117	II			622	제한없음	622	제한없음
Ethanol Ethanol solution Ethyl alcohol Ethyl alcohol solution	1170	3		가연성 액체		A3 A58	II	Y341	1 litre	353	5 litres	364	60 litres
					A180	III	Y344	10 litres	355	60 litres	366	220 litres	
Formaldehyde solution, with not less than 25% formaldehyde	2209	8		Corrsv	US 4		II	Y841	1 litre	852	5 litres	856	60 litres
Formaldehyde solution, 가연성	1198	3	8	가연성 액체		A180	III	Y342	1 litre	354	5 litres	365	60 litres
유전자변형생물체	3245	9		Misc.		A47				959	제한없음	959	제한없음
감염성 물질, 동물한정	2900	6.2		Inf.	AU 3; CA 8; VU 2	A81 A140				620	50 mL or 50 g	620	4 litres or 4 kg
감염성 물질, 사람	2814	6.2		Inf.	AU 3; CA 8; VU 2	A81 A140				620	50 mL or 50 g	620	4 litres or 4 kg
병원성폐기물	3291	6.2		Inf.		A117	II			622	제한없음	622	제한없음
메탄올	1230	3	6.1	가연성 액체		A104 A113	II	Y341	1 litre	352	1 litre	364	60 litres
액체질소	1977	2.2		비가연 성기체		A152				202	50 kg	202	500 kg
규제대상 병원성폐기물	3291	6.2		Inf.		A117	II			622	제한없음	622	제한없음

※ Misc: 기타 위험물질, Inf: 감염성 물질,

감염성 물질 수송사고 발생 및 대응사례

미국 CDC에서 살아있는 바이러스가 포함되어 있는 에볼라바이러스 샘플을 실수로 BL4실험실에서 BL2실험실로 옮겨져 잠재적 노출이 우려되는 사고가 발생하였다.

미국 CDC에서는 동물모델을 이용하여 현재 서아프리카에서 집단발생을 일으킨 에볼라바이러스 strain의 병원성 연구와 함께 타액이 진단에 적절한 검체인지에 대한 연구를 수행하고 있으며, 이 과정에서 살아있는 바이러스와 불활성화된 바이러스를 이용한다. 살아있는 바이러스와 불활성화된 바이러스가 담겨있는 용기는 뚜껑의 색깔과 미리 부착해둔 라벨로 구분하고 있었다.

2014년 12월 22일, 에볼라바이러스 실험을 수행하던 중 불활성화된 에볼라바이러스만을 BL4 실험실에서 BL2 실험실로 옮겨져야 하나 실험실 종사자의 실수로 살아있는 바이러스가 포함된 샘플이 BL2 실험실로 옮겨졌고, BL2 실험실 종사자는 잘못 옮겨진 살아있는 바이러스가 포함된 샘플로 실험을 진행하였다.

12월 23일, 실험실 종사자가 BL2 실험실로 보내져야 하는 샘플이 BL4 실험실 냉동고에 남아 있는 것을 확인하고 문제를 인지하였다. 그 즉시 BL2 실험실 종사자의 위해를 최소화하기 위하여 팀장에게 알리고 select agent 노출 신고를 하였다. 사고를 보고받은 즉시 해당 실험실을 폐쇄하였고, 잘못 옮겨진 샘플은 폐기하고, BL2 실험실 구역을 2회 소독 등의 조치를 취하였다.

이 사고에 대하여 미국 CDC 자체 내부 조사 및 미국 CDC의 select agent 관리부서와 APHIS (animal and plant health inspection service)는 사고 조사를 하였다. 살아있는 바이러스가 포함된 샘플을 직접 취급한 실험실 종사자 외 접촉자, 해당실험실 출입자 등 바이러스에 노출 가능성이 있는 실험실 종사자들의 건강상태를 진단하고 최대 잠복기 21일간 건강 모니터링을 하였다. 그 결과, 미국 CDC에서는 이번 사고로 인하여 에볼라바이러스 감염자는 없으며, 일반 대중에게 노출되었을 가능성도 전혀 없다고 발표하였다.

이 사고의 가장 주요한 원인은 관리자의 승인을 받은 연구계획의 부실, 연구자의 실수 가능성을 최소화할 수 있는 연구절차 설계가 되지 않은 등의 안전수칙 불충분으로 확인되었다. 그 외에도 해당 연구팀의 실험실 안전 및 select agent 관리 담당자가 없었으며, 팀장의 프로젝트 관리 감독의 부실, 최근 강화된 실험실 안전 수칙을 완전히 이행하고 있지 않은 사실이 사고 발생의 근본적인 위해 원인으로 확인되었다. 이런 문제점을 해결하기 위해 사고 발생 실험실에 select agent 관리 담당자를 지정하도록 권고하고, 실수를 최소화하고 최적의 실험절차를 마련할 수 있도록 연구계획서를 상세히 검토할 것을 요청하였다. 또한 검체 및 바이러스 보관 용기를 용기 크기, 모양, 색깔 등 시각적으로 다양하게 구별하고 표기할 수 있는 방안을 마련하고, 팀장의 지속적인 프로젝트 관리감독이 필요하다고 개선 조치를 요청하였다.

미국 CDC는 최근 몇몇 실험실 사고로 인하여 지난 수개월에 걸쳐 실험실 안전 개선을 위하여 노력하고 있었다. Laboratory science and safety를 위한 새로운 associate director를 선임하였고, 고위험병원체를 불활화시키는 프로토콜을 모두 검토하고 승인하였다. 또한 현재 보관하고 있는 모든 생물학적 물질의 재고를 확인하였고, 내·외부 실험실안전 워킹그룹 형성하여 실험실 안전관리를 개선하고자 하였다. 최근에는 실험실 종사자의 안전절차 이행여부 및 병원체 불활성화 절차의 적절성 등을 확인하기 위하여 주요 실험실에 67개의 카메라를 설치하였다.

16.7 수입 및 수출

생물체 또는 생물유래 물질의 수입과 관련한 사항은 관련 법률에 의해 허가 또는 신고 후 국내에 반입된다(Table 16-3). 이들은 주요 공항이나 항만을 통해 수·출입되는데, 일반적인 수입형태는 ① 모선이나 컨테이너에 적재하여 산물 상태 또는 마대, 비닐봉지, 켄 등에 포장하여 선박이나 항공기로 수입되는 경우 ② 해외 여행객들이 식물 및 종자 등을 휴대하여 가져오는 경우 ③ 국제 우편이나 특송 화물로 수입되는 경우로 구분한다.

Table 16-3. 병원성 미생물 등의 수입, 수출, 분양에 관한 국가관리

구분	국외		국내
업무	수입허가	수출허가	이동·분리·제조·보유 신고 및 LMO 개발·실험
법령	『생화학무기법』* 제12조 『감염병예방법』** 제22조 『가축전염병 예방법』 제32조 『식물방역법』 제10조 『유전자변형생물체법』*** 제9조	『대외무역법』 제19조 「전략물자 수출입고시」 제19조~27조	『생화학무기법』 제5조의2(제조신고) 및 13조의2(보유신고) 『감염병예방법』 제21조(분리 및 이동신고) 및 23조(보존현황 신고) 『가축전염병 예방법』 제14조(분리 신고 및 보존·관리) 『유전자변형생물체법』 제22조의2 (LMO의 개발·실험 승인)
관계 부처	산업통상자원부 질병관리청 농림축산검역본부	산업통상자원부 (전략물자관리원)	산업통상자원부(바이오협회) 질병관리청 농림축산검역본부
지정 병원체	『생화학무기법』 생물작용제 및 독소 - 인체·인수병원균 27종 - 동물병원균 14종 - 식물병원균 13종 - 독소 13종 『감염병예방법』 고위험병원체 36종 - 세균 및 진균 : 14종 - 바이러스 및 프리온 : 22종 『유전자변형생물체법』 국가관리가 필요한 병원성미생물 36종 『가축전염병 예방법』 가축전염병 병원체 (「가축전염병 병원체 등 수의유전 자원 관리규정」 참조) 『식물방역법』 별표1 참조	『대외무역법』 전략물자 (이중용도품목) - 인체 및 동물병원균 및 독소 99종 · 바이러스 57종 · 박테리아 22종 · 진균 2종 · 독소 18종 - 식물병원균 18종 (「전략물자수출입고시」 별표2 이중용도품목 1C351~1C354 참조)	『생화학무기법』 생물작용제 및 독소 - 인체·인수병원균 27종 - 동물병원균 14종 - 식물병원균 13종 - 독소 13종 『감염병예방법』 고위험병원체 36종 - 세균 및 진균 : 14종 - 바이러스 및 프리온 : 22종 - 국가관리가 필요한 병원성미생물 36종 - 세균 및 진균 : 14종 - 바이러스 및 프리온 : 22종 『가축전염병 예방법』 가축전염병 병원체 (「가축전염병 병원체 등 수의유전 자원 관리규정」 참조) 『식물방역법』 (「수입금지품 수입 및 사후관리요령」 참조)

* 『생화학무기법』: 『화학무기·생물무기의 금지 및 특정화학물질·생물작용제 등의 제조·수출입 규제 등에 관한 법률』

** 『감염병예방법』: 『감염병의 예방 및 관리에 관한 법률』

*** 『유전자변형생물체법』: 『유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률』

이러한 생물체 또는 생물유래 물질 중 병원성 미생물의 수입·수출·분양(국내 이동)을 하는 경우 관련 법률에 따라 관계 중앙 행정기관으로부터 사전에 승인 또는 허가를 받거나 신고를 하여야 한다(Table 16-4).

병원체의 수·출입 시 허가·신고를 받도록 하는 법률은 인체감염성병원체를 소관하는 『감염병 예방법』, 가축전염병 병원체를 소관하는 『가축전염병 예방법』과 『농업생명자원의 보존·관리 및 이용에 관한 법률』, 수산생물감염성 병원체를 소관하는 『수산생물전염병법』, 그리고 생물작용제 및 독소를 소관하는 『화학·생물무기의 금지 및 특정화학물질·생물작용제 등의 제조·수출입규제 등에 관한 법률』(이하 『생화학무기법』)과 모든 유전자변형생물체의 수·출입 등을 소관하는 『유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률』(이하 『유전자변형생물체법』)로 구분된다.

Table 16-4. 병원성 미생물 등의 수입시 허가종류, 신청시기, 요건 및 제출처

적용법률	허가의 종류	신청시기	허가요건	제출처
『생화학무기법』	수입허가	수입 전	연구, 의료, 제약	산업통상자원부
『감염병예방법』	반입허가/인수신고	수입 전	보관시설 및 수송 및 비상조치계획 수립, 안전관리 인력구비	질병관리청
『가축전염병 예방법』	수입허가	수입 전	시험·연구 및 예방약 제조용, 연구계획서, 보관시설 및 인력구비	농림축산검역본부
『식물방역법』	수입허가	수입 전	보관시설 및 인력구비, 시험연구 및 안전관리계획서 첨부	

본 장에서는 이 중에서 인체감염성병원체와 관련된 『감염병예방법』과 『생화학무기법』 그리고 『유전자변형생물체법』에 따른 병원체의 수·출입에 관한 사항만 설명한다.

16.7.1. 병원체 및 유전자변형생물체의 수입 시 사전조치

생물체 또는 생물유래 물질은 어떠한 목적으로 수입하는가에 따라, 적용 법률이 달라진다. 예를 들어 식품으로 사용하고자 커피와 같은 생물체 또는 생물유래물질을 수입할 경우, 『식품위생법』에 따라 수출국에서 검역검사 후 검역증을 발부받아 국내 검역 시 제출하여야 한다. 이때 판매를 목적으로 하지 않을 경우에는 간이 식품검사를 거쳐 수입되고, 판매를 목적으로 한 경우에는 수입 판매업자로 등록한 경우에만 수입이 가능하다.

실험에 이용되는 병원체의 국내 수입은 일반적으로 국제생물자원센터(the global bioresource center, 통상 ATCC로 불림) 또는 외국 연구자의 기증 및 분양을 통한다. ATCC에서 병원체를 수입하는 방법으로는 연구자가 직접 구매하거나, 대행업체를 통하여 중계를 받는 유형이 있다.

연구자가 생물체를 직접 구매할 경우, 공항에 물건이 도착한 후 세관 통과를 위하여 『검역법』에 따른 절차를 거치게 된다. 이때 위에서 기술한 다양한 법률에 적용되는지 여부를 확인하고, 필요한 경우 수입 시 증빙하여야 한다.

대행업체는 이러한 수입절차를 대행하고, 해당하는 관련 법률의 적용여부에 따라 통관을 위한 서류를 준비하고 제출하는 역할을 한다.

16.7.1.1. 고위험병원체의 수입 또는 반입 시 사전허가

사고위험병원체를 국내로 반입하려는 기관은 사전(계획단계)에 질병관리청으로 ‘반입허가 신청서’를 제출하여 고위험병원체를 취급할 수 있는 연구시설과 사용 목적 등 국내 반입의 안전한 계획이 수립되었는지를 확인하여야 한다.

반입허가를 받은 기관은 고위험병원체의 인수를 위한 절차를 이행하며, 인수예정일 및 인수 장소가 확정되면 인수받을 고위험병원체의 사용·이동계획 등 ‘인수 신고서’를 작성하여 질병 관리청으로 제출해야 한다(Figure 16-8).

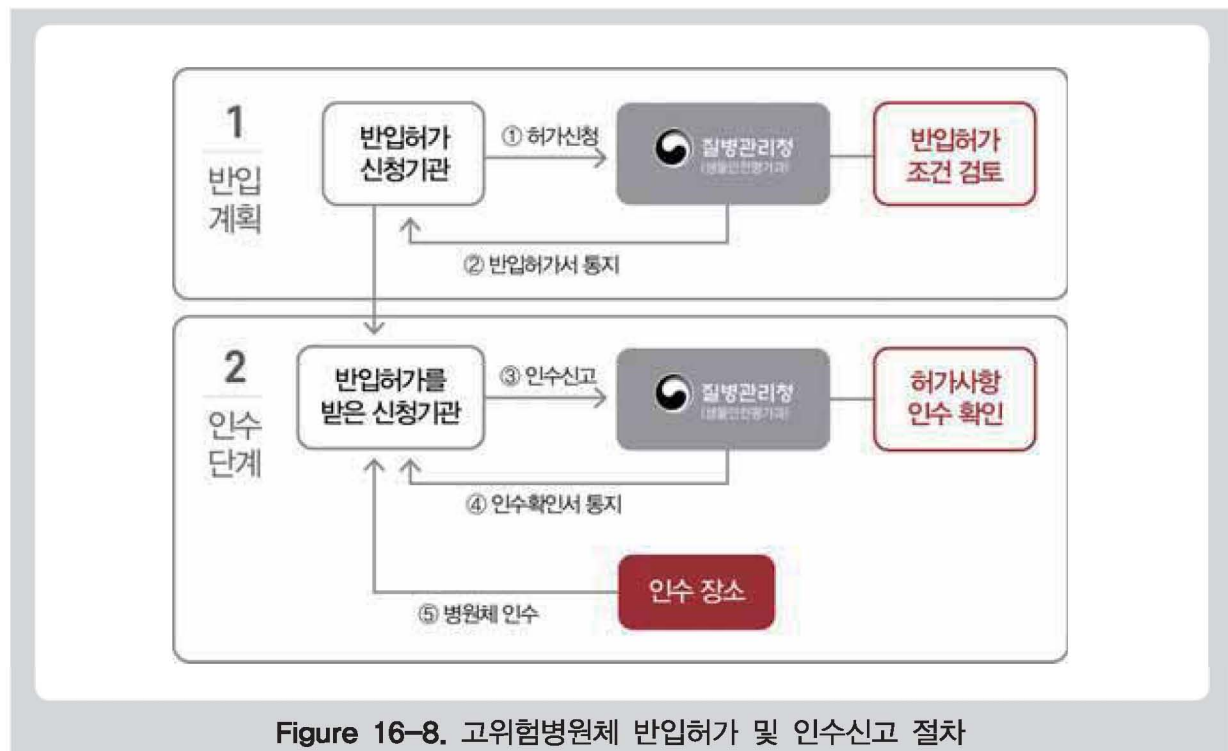


Figure 16-8. 고위험병원체 반입허가 및 인수신고 절차

16.7.1.2. 유전자변형생물체의 사전 수입신고

승인대상 LMO는 용도에 따라 허가를 받는 행정기관이 서로 상이하다.

이러한 분류는 크게 시험·연구용 LMO와 상업화된 용도별 LMO로 구분한다. 상업화된 용도별 LMO는 소관 중앙행정기관의 사전허가 대상이며, 시험·연구용 LMO는 신고대상인 경우 과학기술정보통신부가 소관하되, 실제적인 신고업무 처리는 국가연구안전관리본부에서 담당하고 있다(Figure 16-9).

수입하고자 하는 생물체가 신고대상 시험·연구용 LMO인 경우, 과학기술정보통신부에 사전 신고하여 신고확인서를 발급받아 통관 시 제출하여야 한다. LMO의 수입신고를 위해서는 수입신고서 1부, 수입계약서 또는 주문서, 운반계획서, 안전관리계획서, 유전자변형생물체 개요서, 사용계획서를 국가연구안전관리본부에 제출한다.

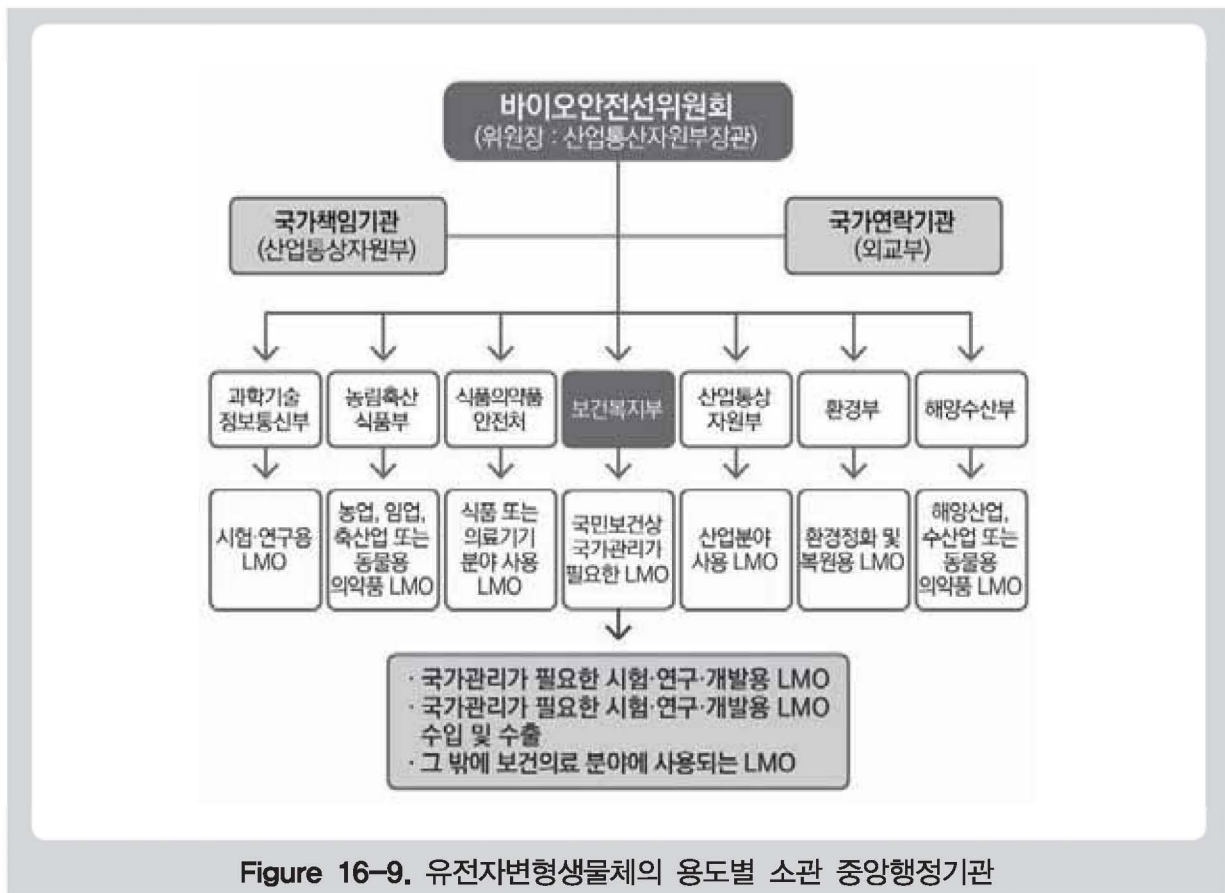


Figure 16-9. 유전자변형생물체의 용도별 소관 중앙행정기관

특히 수입대행업체를 통한 구입, 연구자간 교류에 의한 해외 무상증여 모두 수입신고의 대상이다. 국내·외 연구자간 교류에 의한 무상증여 등으로 수입계약서가 없는 경우 수입을 증명할 수 있는 서류로 교환 e-mail을 대체할 수 있으며, 계통명, 수입국, 수량, 금액이 기재되어 있어야 한다. 그리고 invoice의 다양한 유형에 따라 LMO 계통명, 금액 등이 기재되어 있지

않은 경우에는 카달로그 또는 홈페이지의 내역을 캡처하여 주문서와 함께 제출한다. 다만 수입승인 대상이라면 사전에 질병관리청의 승인서를 발급받아 통관 시 제출하여야 한다.

16.7.1.3. 유전자변형생물체의 사전 수입승인

수입하고자 하는 생물체가 승인대상 LMO인 경우, 중앙행정기관에 사전승인을 받아 수입 승인서를 발급받아 통관 시 제출하여야 한다. 상업화된 용도별 LMO는 소관 중앙행정기관에 사전위해성평가심사를 받은 후, 수입승인 절차를 거치며, 시험·연구용 LMO가 승인대상인 경우 보건복지부가 소관하되, 실제적인 수입승인 업무처리는 질병관리청에서 담당하고 있다. 상업화된 용도별 LMO의 수입승인에 대해서는 각 중앙행정기관에서 발간한 관련 안내서를 참고하도록 한다.

본 안내서에서는 아래의 승인대상 시험·연구용 LMO의 사전 수입승인에 대한 사항을 설명한다.

1. 증명까지 명시되어 있지 않고 인체병원성 여부가 밝혀지지 않은 미생물을 이용하여 얻어진 LMO
2. 척추동물에 대하여 몸무게 1 Kg당 50% 치사독소량이 100ng 미만인 단백질 독소를 생산할 능력을 가진 LMO
3. 의도적으로 도입된 억제내성 유전자를 가진 LMO
4. 국민보건 상 국가관리가 필요한 병원성미생물의 유전자를 직접 이용하거나, 해당 병원성미생물의 합성된 유전자를 이용하여 얻어진 LMO

수입하고자 하는 생물체가 승인대상 시험·연구용 LMO인 경우, 『유전자변형생물체법』 시행령 제2조제1항제4호에 근거하여 질병관리청장의 사전 수입승인을 신청하여 수입승인서를 발급 받아 통관 시 제출하여야 한다. LMO의 수입승인을 위해서는 수입승인신청서 1부, 수입계약서 또는 주문서, LMO의 명칭·특성 및 용도에 관한 서류, 운반계획서, 안전관리계획서, 사용계획서를 질병관리청에 제출한다.

특히 수입대행업체를 통한 구입, 연구자간 교류에 의한 해외 무상증여 모두 수입허가의 대상이다. 국내·외 연구자간 교류에 의한 무상증여 등으로 수입계약서가 없는 경우 수입을 증명할 수 있는 서류로 교환 e-mail 원본 및 국문 번역본을 대체할 수 있으며, 계통명, 수입국, 수량, 금액이 기재되어 있어야 한다. 그리고 invoice의 다양한 유형에 따라 LMO 계통명, 금액 등이 기재되어있지 않은 경우에는 카달로그 또는 홈페이지의 내역을 캡처하여 주문서와 함께 제출한다.

16.7.1.4. 『생화학무기법』에 의한 생물작용제 및 독소의 사전 수입허가

생물작용제(biological agent)란 자연적으로 존재하거나 유전자를 변형하여 만들어진 것으로서 인간 또는 동·식물에게 사망, 고사, 질병, 일시적 무능화 또는 영구적 상해를 유발하는 미생물 또는 바이러스로서 독소와 함께 대통령령으로 그 관리대상을 정한다. 생물작용제는 인체, 동물 및 식물병원균 54종과 보툴리눔 독소 등 총 13종이 그 규제대상이며 제조와 보유 시 신고하여야 하며, 수·출입 시 산업통상자원부의 허가를 받아야 한다.

수입허가를 받고자 하는 경우 물질명칭, 수입국가, 수입량 등에 관한 자료와 신청서를 산업통상자원부에 신청하여 허가를 득한 후 수입하여 인수신고를 한다(Figure 16-10). 이때 농림축산식품부장관의 허가를 받았을 경우, 산업통상자원부의 허가를 받은 것으로 간주한다.

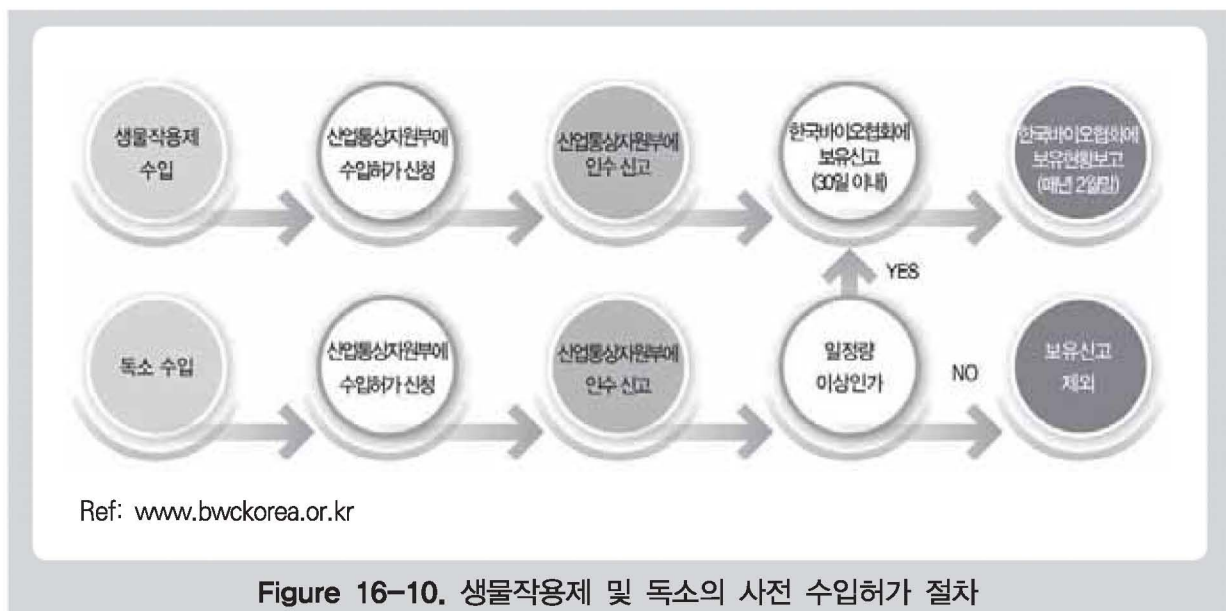


Figure 16-10. 생물작용제 및 독소의 사전 수입허가 절차

만일 수입대행업체를 통해 생물작용제 및 독소를 수입할 경우, 보유분량에 상관없이 수입대행업체가 수입허가신청 및 인수신고를 하여야 하며, 최종사용자는 보유신고를 하여야 한다. 단, 일정량 미만의 독소는 보유신고가 면제된다.

16.7.2. 병원체 및 유전자변형생물체의 수출

16.7.2.1. 일반병원체 수출

동물병원체인 경우 동물의 수출입 및 검역사항에 따르며, 식물병원체인 경우 식물의 수출입 및 검역내용에 따른다. 단, 동물병원체는 「농업생명자원의 보존관리 및 이용에 관한 법률」과 「유전자원의 접근·이용 및 이익 공유에 관한 법률」에 따라 사전에 신고하거나 허가를 받아야

한다. 만일 생물작용제나 독소에 해당할 경우 생물작용제 및 독소의 수출사항에 따른다.

기본적으로 병원체를 수출할 경우 수출상대국의 검역과 관련한 사항을 준수하며, 검역과 관련한 사항은 제16장 제8절의 '생물체의 수출입 검역'을 참고한다.

16.7.2.2. 유전자변형생물체의 수출

『유전자변형생물체법』 제20조에 근거하여, LMO를 수출하고자 하는 자는 용도별 중앙행정 기관에 수출통보서, 품목, 수량, 수출국가 및 의정서 부속서 II에 관한 정보에 관한 서류를 첨부하여 수출을 통보하여야 한다.

중앙행정기관은 수출자의 통보를 받아, 산업통상자원부에 해당 사항을 알리며, 통보된 제출 자료가 부족할 경우 자료의 보완을 요청하기도 한다. 다만 LMO 수출은 단순통보 조치이므로, 통보자에게 따로 확인서를 발급하지 않는다.

16.7.2.3. 생물작용제 및 독소의 수출

생물작용제 및 독소를 수출하고자 할 때는 『대외무역법』에 따른 '전략물자수출입고시'를 준용하여 허가를 받고 수출해야 한다. 보툴리눔 독소 의약품 등의 경우 특정기준을 모두 충족 하는 경우 수출허가 대상에서 제외가 되나, 제외대상 여부는 반드시 확인이 필요하다.

16.8 생물체의 수출입 검역

수출입 검역이란 해외로부터 감염병이나 해충이 들어오는 것을 막기 위해 공항과 항구 또는 지정된 검역시행장과 검사장소에서 이루어지는 검사 등으로 『가축전염병 예방법』에 의한 동물검역, 『식물방역법』에 의한 식물검역, 『수산생물질병 관리법』에 의한 수산물검역, 『수입식품안전관리 특별법』에 의한 축산물검사 및 식품검사로 나뉜다(Figure 16-11). 이러한 수출입 검역을 수행하는 기관은 농림축산검역본부이다.

(A) 공항



(B) 항만



Figure 16-11. 수입품의 검역 및 하역 예시

16.8.1. 일반적인 검역절차

검역은 크게 서류·현장검역과 실험실정밀검역으로 구분된다. 검역 등 수입 생물체의 국경검사는 검사신청이 접수되면 먼저 수출국의 검사증명서, 수입승인서 등 관련서류 첨부여부 등을 검토하여 현장 및 실험실 검사 생략여부를 판단한다. 현장검사는 직접 검역관이 검사대상 화물에 대해 표시 사항 확인, 시료채취 및 간이속성검사를 하는 것을 말한다. 현장검사가 부족하거나 더욱더 정밀한 검사가 필요한 경우에는 실험실 정밀검사를 실시한다.

16.8.2. 미생물의 검역

미생물의 검역은 크게 인체감염성 병원체와 관련된 『감염병예방법』과 『생화학무기법』 그리고 『유전자변형생물체법』, 그리고 기타감염성 병원체와 관련된 『가축전염병예방법』과 『농수산생명 자원의 보존관리 및 이용에 관한 법률』, 『수산생물전염병법』에 따른 검역으로 구분된다. 기본적인 검역사항은 동물병원체인 경우 동물의 검역내용에 따르며, 식물병원체인 경우 식물의 검역내용에 따른다.

시험연구 등을 위하여 수출입되는 생물체는 서류·현장검역이 주로 실시된다. 다만 검역관이 필요하다고 판단할 경우, 사례별로 실험실 정밀검사가 실시될 수 있다.

16.8.3. 동물의 검역

동물 중 수출입 검역 대상 물건은 『가축전염병 예방법』 제31조 및 「가축전염병 예방법 시행규칙」 제31조제1항에 따라 동물과 그 사체, 뼈·살·가죽·알·털·발굽·뿔 등 동물의 생산물과 그 용기 또는 포장 및 그 밖에 가축 전염성 질병의 병원체를 퍼뜨릴 우려가 있는 사료, 사료원료, 기구, 건초, 깔짚, 그 밖에 이에 준하는 물건 중에서 다음에 해당하는 물건이다.

1. 우제류(偶蹄類) 및 기제류(奇蹄類)의 동물
2. 개·고양이
3. 토끼
4. 닭·칠면조·오리·거위
5. 꿀벌
6. 위의 1. ~ 4.에 따른 동물외의 조류 및 포유동물(고래를 제외함)
7. 위의 1. ~ 6.에 따른 동물의 정액·난자 및 수정란
8. 원유(原乳)
9. 멸균처리되지 않은 햄·소시지·베이컨 등 수육(獸肉)가공품, 난백(卵白)·난분(卵粉) 등 알가공품 및 살균처리되지 않은 유가공품
10. 가공처리되지 않거나 멸균처리되지 않은 1. ~ 6.에 따른 동물의 사체·살·뼈·가죽·털·깃털·뿔·발굽·힘줄·내장·알·지방·피·혈분·뇌·골수·오물·추출물·육골분 및 우모분(羽毛粉)
11. 1. ~ 10.에 따른 물건을 넣는 용기 또는 포장
12. 가축 전염성 질병의 병원체 및 이를 포함한 진단액류(診斷液類)가 들어있는 물건
13. 가축 전염성 질병의 병원체를 퍼뜨릴 우려가 있는 것으로서 농림축산검역본부장이 정하여 고시하는 사료·사료원료·기구·건초·깔짚 그 밖에 이에 준하는 물건

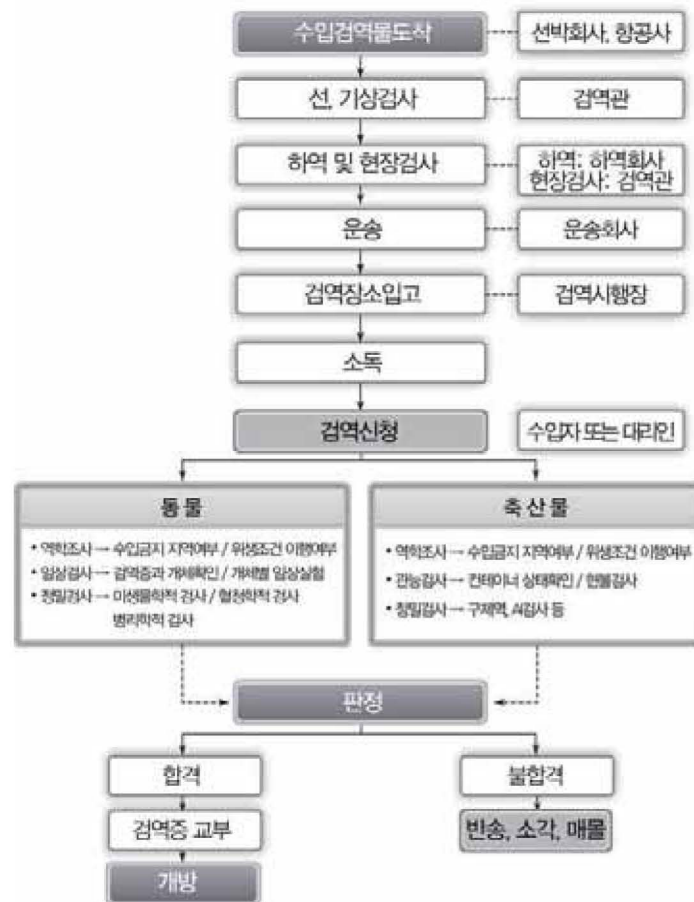
16.8.3.1. 동물의 수입 시 검역

수출입 검역 대상 물건을 수입하는 경우 지체 없이 농림축산검역본부장에게 검역을 신청하고 동물검역관의 검역을 받는다(Figure 16-12). 다만, 여행자 휴대품으로 위의 수출입 검역 대상 물건을 수입하는 경우 입국 즉시 출입공항·항만 등에 있는 농림축산검역본부장에게 신고하고 동물검역관의 검역을 받아야 한다.

동물의 수입 시, 수입동물 사전신고서를 수입 전에 관할 지역본부장에게 제출한다. 이후 동물이 도착하면 동물을 수입하는 자는 도착사항과 하역 및 운송계획 등에 대해 도착지 관할 지역본부장에게 전화 또는 서면으로 신고한다.

다음으로 전용선박이나 전용항공기에서 검사가 실시되며, 이후 안전한 방법으로 하역 및

운송이 이루어지며, 검역시행장까지 운송은 검역관의 사전지시를 받는다. 검역시행장에서는 검역기간 동안 수입품이 계류되며, 검역신청서, 상대국 검역증명서, 참고 서류(B/L, Invoice 등 기타)를 제출하여 검역신청을 한다. 이후 서류·현장검역과 실험실정밀검역이 이루어지며, 결과에 따라 합격 또는 불합격으로 판정이 내려진다. 합격이 될 경우 검역증명서를 교부하며, 불합격이 될 경우 반송하거나 소각 또는 매몰 조치가 이루어진다.



Ref: www.qia.go.kr

Figure 16-12. 동물의 수입 시 검역절차

16.8.3.2. 동물의 수출 시 검역

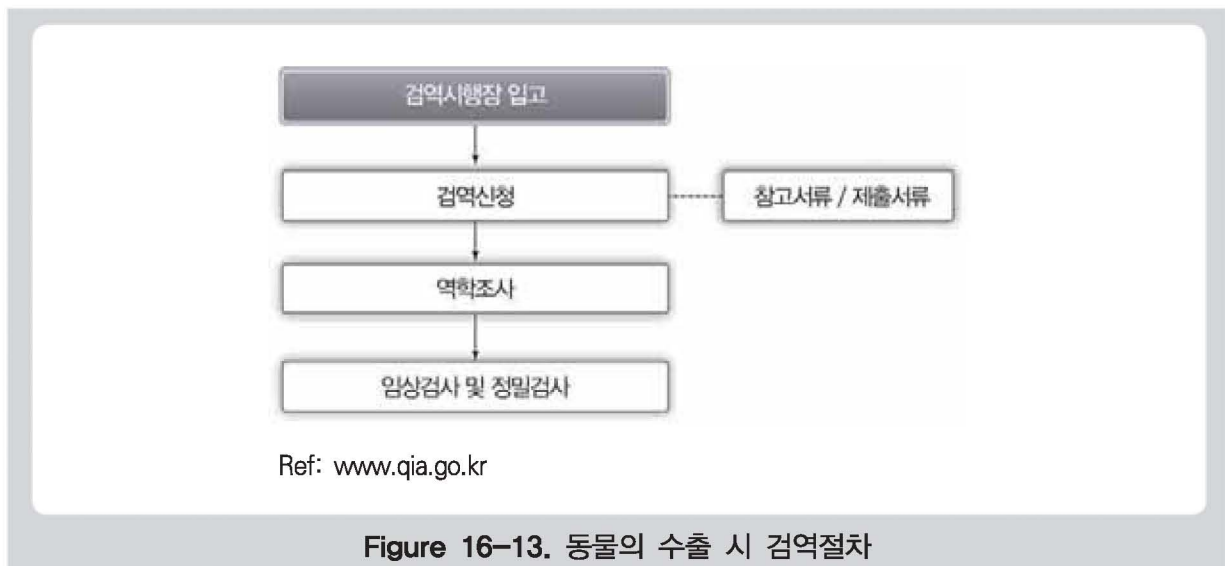
수·출입 검역 대상 물건을 수출하려는 경우 수입 상대국에서 검역을 요구하지 않는 경우를 제외하고 『가축전염병 예방법』 제41조제1항에 근거하여 동물검역관의 검역을 받아야 한다 (Figure 16-13). 만일 수·출입 검역 대상 물건 외의 동물 및 그 생산물 등의 수출검역을 받으려는 경우 신청하여 동물검역관의 검역을 받을 수 있다.

동물의 수출검역은 ① 검역시행장 입고 ② 검역신청 ③ 역학조사 ④ 임상검사 및 정밀검사의 순서로 이루어진다.

동물의 수출 전에 관할 지역본부장에게 신청서를 제출하고, 지정받은 검역시행장에 수출동물을 입고한다. 단, 애완동물은 출국하는 공항 안에서 검역을 실시한다. 이후 검역신청서와 참고자료 및 상대국에서 요구하는 사항 또는 위생조건을 포함하는 서류를 제출하여 검역을 신청한다.

이후 제출서류 및 관련 자료를 참고하여 서류에 의한 역학조사가 이루어지며, 가축질병병성 감정실시요령에 준하여 개체별로 임상검사가 실시된다. 그리고 동물별 전염병검사방법에 의거 미생물학적검사, 병리학적검사, 혈청학적검사 등 정밀검사가 수행된다.

검역 후 선상 또는 기상 적재 시에 검역실시 내용과 화물 대조확인 후 이상이 없는 것에 한해 적재가 지시되며, 검역을 필한 검역물이라 할지라도 검역관이 필요하다고 인정할 때에는 재검역을 실시한다.



16.8.4. 식물의 검역

식물 중 수출입 검역 대상 물건은 『식물방역법』 제2조제1호, 제3호 및 『식물방역법』시행규칙 제3조제1항에 따라 다음에 해당하는 물건이다.

1. 식물

- 종자식물(種子植物)·양치식물(羊齒植物)·이끼식물·버섯류
- 위 식물의 씨앗·과실 및 가공품(병해충이 잠복할 수 없도록 가공한 것으로서 농림축산식품부령으로 정하는 것은 제외함)

2. 식물을 넣거나 싸는 용기·포장

3. 병해충

4. 흙

- 암석 등이 풍화(風化)되어 분해된 것으로서 유기질이 혼입(混入)된 지구표면의 혼합물
- 유기물이 분해 또는 부식(腐植)된 것으로서 식물의 재배에 이용되는 물질

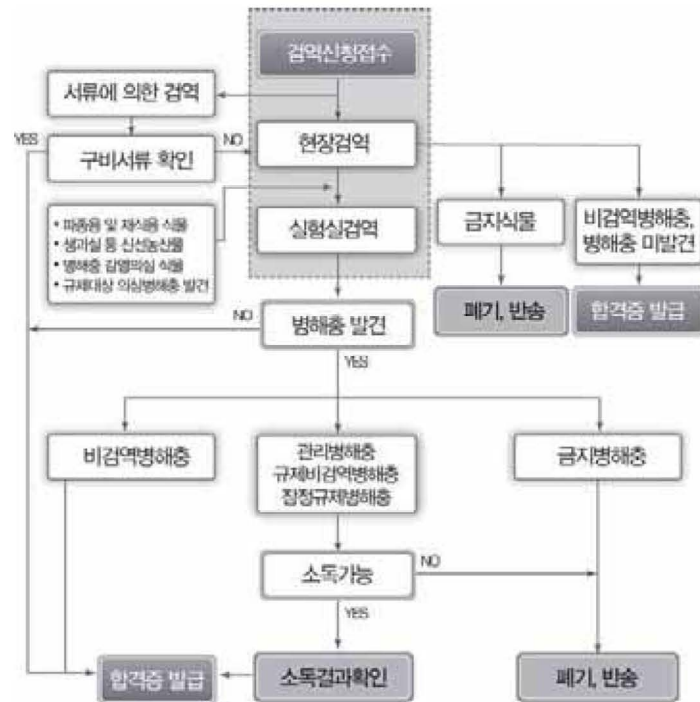
16.8.4.1. 식물의 수입 시 검역

수·출입 검역 대상 물건을 수입하는 경우 처음으로 도착한 수입항에서 지체 없이 농림축산 검역본부장에게 신고하고 식물검역관의 검역을 받아야 한다(Figure 16-14).

서류검역 대상 식물은 말리거나 냉동시킨 식물이나 식물의 분말 또는 채소류 등에 해당하며, 서류검역 대상 식물이 이전에 검역한 견과 수입자·수입품목·수출자·수출국이 동일한 경우 현장검역과 실험실정밀검역을 생략하고 서류검역의 결과만으로 검역 처분한다.

현장검역의 대상 식물 및 검역방법은「식물별 서류·현장검역방법과 실험실정밀검역방법」(농림축산검역본부 고시 제2016-93호)에 따라 지정되며 캔, 은박지 등으로 밀봉 포장되어 수입되는 종자류는 현장에서 병해충 유무에 대한 검역을 생략하고 실험실정밀검역용 시료를 채취하여 실험실에서 검역한다. 이때 현장검역의 검역단위는 식물의 상태 및 병해충의 부착 가능성 등을 감안하여 품목별·품종별·생산자별·생산지별 등으로 할 수 있다.

실험실정밀검역은 현장검역을 수행한 식물검역관이 식물검역대상물품에서 채취한 병해충 및 시료에 대하여 실험실에서 실험실정밀검역관에 의해 현미경 관찰, 배양, 사육, 파쇄, 선충분리 등의 방법에 의해 정밀하게 검사하거나 병해충을 분류동정 하는 것이다.



Ref: www.qia.go.kr

Figure 16-14. 식물의 수입 시 검역절차

이러한 검역기준 및 방법에 따라, 외국으로부터 식물이 반입되면 먼저 식물검역을 받기 위한 수입검역신청을 해야 하는데 이때 LMO 검사신청도 동시에 한다. 인터넷 신청이 일반화되기 전에는 신청서를 작성하여 도착지 농림수산검역검사본부에 제출하였으나, 오늘날에는 관세청 UNI-PASS 전산시스템에서 LMO 검사대상식물일 경우 자동으로 표시되는 LMO검사신청서를 클릭하여 LMO 계통명, 수입승인번호 등의 정보를 입력하여 신고한다(이기병과 예미지, 2012).

식물검역신청서 및 LMO검사신청서가 접수되면 식물검역관이 서류검토를 통해 현장 및 실험실검사 생략여부를 결정한다. 현장 및 실험실검사대상 품목인 경우 현장검사를 실시한다. 예를 들어, 사료용 옥수수의 현장검사는 크게 2단계로 나누어서 검사한다. 즉, 1차 검사는 외항에서 이루어지고 2차 검사는 20% 하역 후 내항에서 이루어진다. LMO검사용 샘플채취는 주로 1차 검사 시 채취하여 간이속성검정을 실시하거나 경우에 따라 실험실 정밀검사를 의뢰한다. 현장검사 및 실험실검사결과 LMO가 검출되지 않거나 수입승인을 받은 LMO만 검출될 경우에는 합격조치 된다.

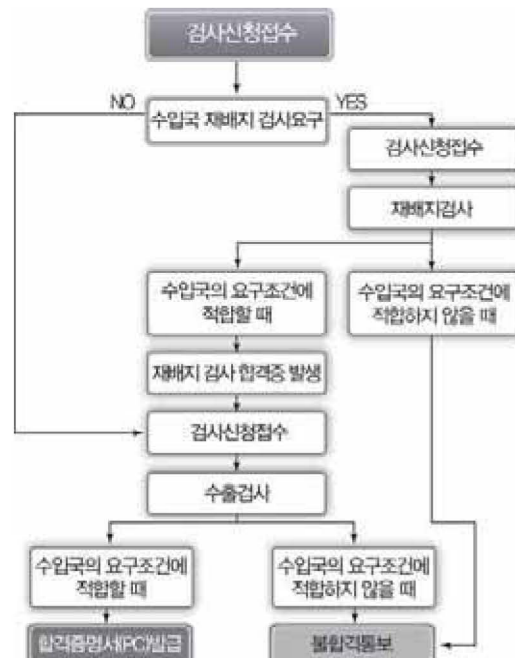
검사기간은 현장검사만으로 검사가 종료되는 경우에는 검사신청일로부터 2일정도가 소요되고, 실험실정밀검사를 하는 경우에는 최소 4일에서 최대 20일까지 소요될 수 있다.

만일 수입검사결과, 사전에 수입승인·신고를 받지 아니한 건에서 LMO가 검출될 경우 (3%초과) 불합격하여 폐기·반송된다. 다만, 이전에 수입승인 되었거나 위해성 심사승인된 LMO가 검출될 경우에는 기한 내에 수입승인을 받아 관련 서류를 제출하면 합격된다. 수입 또는 생산이 금지되거나 제한된 LMO가 검출되거나 수입승인 또는 생산승인이 취소된 LMO가 검출될 경우 및 수출국 또는 개발국에서 심사승인이 되었으나 국내에서 미승인된 LMO 경우 비의도적 혼입치 0.5% 이상 검출될 경우 폐기·반송된다.

16.8.4.2. 식물의 수출 시 검역

식물 등을 수출하려는 자는 그 식물 등이 수입국의 요구사항을 충족하는지에 관하여 식물 방역관에게 검사를 받아야 하며, 그 검사에서 합격하지 못하면 수출하지 못한다(Figure 16-15). 검사결과 수입국의 요구조건에 맞을 경우 검사합격증(식물위생증명서, phytosanitary certificate)이 발급된다.

만일 식물과 그 식물을 넣거나 싸는 용기·포장을 수출하려는 경우 수입국이 식물검역증명서를 요구하지 않은 경우를 제외하고, 그 식물 등이 수입국의 요구사항을 충족하는지에 관하여 식물검역관에게 검역을 받아야 한다.



Ref: www.qia.go.kr

Figure 16-15. 식물의 수출 시 검역절차

REFERENCES

1. 농림축산검역본부. 식물별 서류·현장검역방법과 실험실정밀검역방법. 농림축산검역본부 고시 제2013-141호; 2013.
2. 농림축산검역본부. 지정검역물의 검역방법 및 기준. 농림축산검역본부고시 제2013-151호; 2013.
3. 이기병, 예미지. LMO 국경검사가 진행되는 농림수산물검역검사본부. Biosafety. 2012;13(2):112-120.
4. 보건복지부. 유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 통합고시(보건복지부고시 제2019-253호)
5. 질병관리본부. 감염성 물질 안전수송 지침 개정4판. 2019.
6. 질병관리본부. 고위험병원체 취급시설 및 안전관리에 관한 고시(보건복지부 공고 제2019-59호)
7. 질병관리본부. 고위험병원체 취급 및 보존 안전관리 가이드. 2019
8. 질병관리본부. 실험실 생물안전지침. 2019.
9. 질병관리본부. 유전자재조합실험지침(보건복지부고시 제2019-284호)
10. Public Health Agency of Canada (PHAC). Canadian Biosafety Standards and Guidelines First Edition. Ottawa: PHAC; 2013
11. World Health Organization (WHO). Guidance on regulations for the Transport of Infectious Substances 2019-2020. Geneva: WHO; 2019.
12. World Health Organization (WHO). Laboratory biosafety manual Third edition. Geneva: WHO; 2004.

제3부

환경위해 병원체의 생물안전

- 17. 동물위해 병원체 및 취급에 관한 생물안전
- 18. 야생동물 실험 시 생물안전
- 19. 수산생물 병원체의 생물안전
- 20. 식물병원체의 생물안전

17

동물위해 병원체 및 취급에 관한 생물안전

김희진(농림축산검역본부)·윤문석(농림축산검역본부)·한진수(건국대학교)

많은 국가들이 경제적으로 심각한 동물 질병으로부터 동물의 감염을 막기 위해 노력을 기울이고 있다. 이를 위해 병원체를 취급하는 실험 및 연구가 진행 중이며, 이러한 연구의 목적에는 정확한 진단, 질병발생기전, 질병 발생 시 이용 가능한 백신이나 치료제 등의 개발 등이 포함되어 있다.

병원체 및 독소로 생체 내(*in vivo*) 실험(즉, 살아있는 동물을 이용한 실험)을 수행하면 시험관 내(*in vitro*) 실험에 비해 대체적으로 위험에 노출될 가능성이 증가한다. 동물은 질병에 감염되면 예측할 수 없는 행동을 할 수 있다. 또한 감염된 동물은 증상을 나타내거나 무증상일 수도 있으며, 사람에게 질병을 유발할 수 있는 병원체의 매개체가 될 수 있다. 병원체 또는 독소는 동물이 생산하는 대량의 노폐물 내에 존재할 수 있으며 동물의 체외로 배출될 수 있다. 사람이 감염되는 경로는 동물에 의한 물림, 핏물, 동물성 에어로졸 또는 동물의 배설물 및 체액 등의 직접적인 접촉 등을 통해 이루어진다. 따라서 질병이 없는 동물의 선택 및 질병에 감염된 동물의 식별 및 치료에 중점을 둔 동물 건강 감시 프로그램을 통해 그 위험성을 줄일 수 있다.

동물을 취급하는 직원들 중 일부는 동물의 털이나 머리카락에 반복 노출되거나, 동물의 머리 및 몸체에서 발생하는 비듬, 깎집(집), 사료 및 동물 폐기물로 인해 알레르기가 발생할 수 있다. 실험실에서 설치류, 기니피그 및 토끼와 함께 일하는 사람들 중 최소 20%가 알레르기를 일으킨다는 보고도 있다(Phipatanakul, W., & Wood, R. A., 2004). 알레르기 반응은 즉각적으로 나타나거나 추가 노출 때마다 더 심각해질 수 있다. 증상은 가벼운 발진에서부터 심한 천식에 이르기까지 다양하다. 이러한 알레르겐에 대한 불필요한 노출은 생물안전 작업대(Biosafety Cabinet, BSC), 통풍형 케이지 교환 스테이션, 환기, 아이솔레이터(Isolator) 및 개별환기형 케이지 시스템(IVC)의 사용 등과 같은 공학적 제어와 호흡기 보호 및 기타 개인보호구(Personal Protective Equipment, PPE)의 적절한 사용을 통해 최소화할 수 있다.

대형 동물은 사람을 발로 차거나 짓밟을 가능성이 있다. 그리고 직원들이 장비 사용에 따른 기타 신체적 위험 및 관련 소음에 노출될 가능성도 고려해야 한다.

또한 동물의 배설물 및 깎집, 동물 사체 등을 포함한 동물성 폐기물을 잘못 관리될 경우 광견병, 조류인플루엔자 인체감염증, 중증급성호흡기중후군(SARS) 등 인수공통감염병의 발생과 구제역, 아프리카돼지열병 등 재난형 가축 질병의 발생 가능성뿐만 아니라 이들 질병 발생에 따른 환경오염

및 자연환경의 침해 가능성도 있다.

따라서 동물을 실험 목적으로 사용할 때에는 고도의 통제 및 모니터링이 필요하다. 과학적 연구, 교육 또는 시험을 목적으로 동물을 사용할 때에는 기관 동물실험윤리위원회(Institutional Animal Care and Use Committee, IACUC) 또는 실험동물운영위원회가 동물 사용 프로토콜이 동물실험 및 실험동물 관련 법령의 규정을 준수하는지 여부를 검토하고 평가하여야 한다. 따라서 동물은 관련 위원회의 검토, 평가 및 승인을 받은 후 사용하여야 한다.

이 장에서는 환경위해 병원체의 취급과 관련되어 사용하는 주요 동물의 특징과 사육 관리에 대한 내용을 소개한다. 그리고 최근에 이슈가 되고 있는 동물의 복지에 관한 사항을 추가로 설명하였다.

17.1 동물질병 원인체의 구분

우리나라에서 동물의 전염성질병은 동물에 대한 전염성의 위험도, 피해정도, 전파속도, 국내 발생여부 등에 따라 『가축전염병 예방법』에 의거 제1종, 2종, 3종 가축전염병으로 구분하고 해당 병원체를 질병방역의 측면에서 분리신고 하도록 하고 있다. 또한 『감염병예방 및 관리에 관한 법률』, 『화학무기·생물무기의 금지와 특정화학물질·생물작용제 등의 제조·수출입 규제 등에 관한 법률』(생화학무기법) 등 관련 규정과 OIE 등 국제기준을 종합적으로 감안하여 특별 및 일반관리병원체로 구분하여 수입, 분양, 관리 등의 행정처리 기준을 별도로 하고 있다(Table 17-1). 특별관리병원체는 수입허가, 분양, 국외반출 시 ‘수의유전자원 심사위원회’의 심사를 통하여 그 결과에 따라 처리한다.

Table 17-1. 우리나라 동물질병 원인체 분류

분류	세 부 사 항
특별관리병원체	가축전염병예방법에 따른 제1종 가축전염병 병원체, 생화학무기법에 따른 생물작용제 중 동물병원균, 감염병예방법에 따른 고위험병원체 중 인수공통감염병 관련 병원체 및 농림 축산검역본부장이 지정한 병원체
일반관리병원체	가축전염병예방법에 따른 제2종 및 제3종 가축전염병 병원체
기타병원체	특별관리병원체 및 일반관리병원체에서 제외된 병원체

가축전염병 예방법에서는 감염병예방법과 달리 동물질병 원인체에 대한 위해등급(Risk Group, RG)을 별도로 정의하지 않았으나 우리나라에서의 발생여부, 동물에 대한 위해도, OIE 및 관련 문헌에 기초하여 동물질병 원인체의 생물안전등급을 Table 17-2과 같이 기재하고 동일한 생물안전 등급 시설에서 취급하도록 하고 있다.

Table 17-2. 우리나라 동물질병 원인체의 국내 생물안전등급

구분	질 병 명	병원체명	BL
제1종 가축 전염병	특별 관리 병원체	가성우역(假性牛疫) ¹⁾	Peste des petis ruminants virus (<i>Paramyxoviridae</i>) 3
		고병원성조류(鳥類)인플루엔자 ¹⁾	Highly pathogenic avian influenza virus (<i>Orthomyxoviridae</i>) 3
		구제역(口蹄疫) ¹⁾	Foot and mouth disease virus (<i>Picornaviridae</i>) 3
		뉴캐슬병	Newcastle disease virus (<i>Paramyxoviridae</i>) 2
		돼지수포병(水疱病) ¹⁾	Swine vesicular disease virus (<i>Picornaviridae</i>) 3
		돼지열병	Classical swine fever virus (<i>Flaviviridae</i>) 2
		럼피스킨병 ¹⁾	Lumpy skin disease virus (<i>Poxviridae</i>) 3
		리프트계곡열 ²⁾	Rift valley fever virus (<i>Bunyaviridae</i>) 3
		블루당병	Bluetongue virus (<i>Reoviridae</i>) 3
		수포성구내염(水疱性口內炎)	Vesicular stomatitis virus (<i>Rhabdoviridae</i>) 3
		아프리카돼지열병 ¹⁾	African swine fever virus (<i>Asfarviridae</i>) 3
		아프리카마역(馬疫) ¹⁾	African horse sickness virus (<i>Reoviridae</i>) 3
		양두(羊痘)(산양두 포함) ¹⁾	Sheep pox virus and goat pox virus (<i>Poxviridae</i>) 3
		우역(牛疫) ¹⁾	Rinderpest virus (<i>Paramyxoviridae</i>) 3
제2종 가축 전염병	특별 관리 병원체	우폐역(牛肺疫) ¹⁾	Contagious bovine pleuropneumonia <i>Mycoplasma mycoides</i> subspecies <i>mycoides</i> SC type (<i>Mycoplasmataceae</i>)
		광견병(狂犬病) ¹⁾	Rabies virus (<i>Rhabdoviridae</i>) 3 ³⁾
		동부말뇌염(腦炎) ²⁾	Eastern equine encephalitis virus (<i>Togaviridae</i>) 3 ⁴⁾
		베네주엘라말뇌염 ²⁾	Venezuelan equine encephalitis virus (<i>Togaviridae</i>) 3
		서부말뇌염 ²⁾	Western equine encephalitis virus (<i>Togaviridae</i>) 3 ⁴⁾
		소해면상뇌증(海綿狀腦症), 우해면양 뇌병증 ²⁾	Bovine spongiform encephalopathy agent 3
		브루셀라병 ²⁾	<i>Brucellosis</i> (<i>Brucella melitensis</i> , <i>Brucella suis</i>) 3 ^{3),5)}
		비저(鼻疽) ²⁾	Glanders (<i>Burkholderia mallei</i>) 3 ^{3),5)}
		탄저(炭疽) ²⁾	Anthrax (<i>Bacillus anthracis</i>) 3 ⁵⁾
		큐열 ²⁾	Q-fever (<i>Coxiella burnetti</i>)
	일반 관리 병원체	돼지오제스키병	Aujeszky's disease (<i>Herpesviridae</i>) 2
		돼지일본뇌염	Japanese B encephalitis virus (<i>Togaviridae</i>) 2
		돼지테센병	Porcine teschen disease (<i>Picornaviridae</i>) 2
		말전염성빈혈	Equine infectious anemia virus (<i>Retroviridae</i>) 3 ⁴⁾
		말전염성동맥염(動脈炎)	Equine infectious arteritis (<i>Arteriviridae</i>) 3 ⁴⁾
		가금(家禽)티푸스	Fowl typhoid (<i>Salmonella gallinarum</i>) 2
		가금콜레라	Fowl cholera (<i>Pasteurella multocida</i>) 2
		결핵병(結核病)	Bovine tuberculosis (<i>Mycobacterium bovis</i>) 3 ⁵⁾
		기종저(氣腫疽)	Blackleg (<i>Clostridium chauvoei</i>) 2
		말전염성자궁염(傳染性子宮炎)	Contagious equine metritis (<i>Taylorella equigenitalis</i>) 2
		브루셀라병 ²⁾	<i>Brucellosis</i> (<i>Brucella melitensis</i> , <i>Brucella suis</i> 제외 <i>Brucella</i> spp.) 3 ⁵⁾
		요네병	Johne's disease (<i>Mycobac. paratuberculosis</i>) 2
		추백리(雛白痢)	Pullorum disease (<i>Salmonella pullorum</i>) 2
		사슴만성소모성질병 (慢性消耗性疾病)	Chronic wasting disease 3

구분		질 병 명	병원체명	BL		
		스크래피(양해면상뇌증)	Scrapie	3		
		구역(癩瘡)	Dourine (<i>Trypanosoma equiperdum</i>)	2		
		낭충봉아부패병	Honeybee sacbrood disease (<i>Picornaviridae</i>)	2		
		돼지인플루엔자(H5 또는 H7	Swine influenza (<i>Orthomyxoviridae</i>)	2		
		혈청형 바이러스 및 신종 인플루엔자 A(H1N1) 바이러스만 해당)				
		오리바이러스성간염	Duck hepatitis virus (<i>Picornaviridae</i>)	2		
		오리바이러스성장염	Duck enteritis (<i>Herpesviridae</i>)	2		
		웨스트나일열	West nile virus (<i>Flaviviridae</i>)	3		
		바베시아병 (바베시아 비제미나 및 보비스만 해당)	Babesiosis (<i>Babesia bigemina</i>)(<i>B. bovis</i>)	2		
		타이레리아병 (타이레리아 팔바 및 애놀라타만 해당)	Theileriosis (<i>Theileria parva</i>) (<i>T. annulata</i>)	2		
		아나플라즈마 (마지날레만 해당)	Anaplasmosis (<i>Anaplsma marginale</i>)	2		
		제3종 가축 전염병	일반 관리 병원체	소유행열	Bovine ephemeral fever virus (<i>Rhabdoviridae</i>)	2
				소아까바네병	Bovine akabane disease (<i>Bunyaviridae</i>)	2
				저병원성조류인플루엔자·	Low pathogenic Influenzavirus A (<i>Orthmyxoviridae</i>)	2
닭마이코플라즈마병	Avian mycoplasmosis (<i>Mycoplasma spp.</i>)			2		
부저병(腐蛆 病)	Foulbrood(USA- <i>Paenibacillus larvae</i> ; EU- <i>Melissococcus pluton</i> White)			2		
닭뇌척수염	Avian encephalomyelitis virus (<i>Picornaviridae</i>)			2		
닭전염성기관지염	Infectious bronchitis virus (<i>Coronaviridae</i>)			2		
닭전염성에프(F)낭(囊)병	Infectious bursal disease virus (<i>Birnaviridae</i>)			2		
닭전염성후두기관염	Infectious laryngotracheitis (<i>Herpesviridae</i>)			2		
돼지생식기호흡기증후군	Porcine reproductive and respiratory syndrome virus (<i>Arteriviridae</i>)			2		
돼지유행성설사	Porcine epidemic diarrhea virus (<i>Coronaviridae</i>)			2		
돼지전염성위장염	Transmissible gastroenteritis virus (<i>Coronaviridae</i>)			2		
마렉병(Marek's disease)	Marek's disease virus (<i>Herpesviridae</i>)			2		
소류코시스	Bovine leukemia virus (<i>Retroviridae</i>)					
(지방병성소류코시스만 해당)				2		
소전염성비기관염(傳染性鼻氣管炎)	Infetious bovine rhinotracheitis (<i>Herpesviridae</i>)			2		
돼지단독	Swine erysipelas (<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>)			2		
돼지위축성비염	Atrophic rhinitis of pig (<i>Bordetella bronchiseptica</i>)			2		
소렙토스피라병	Bovine leptospirosis (<i>Leptospira spp.</i>)					
고위험 병원체	특별 관리 병원체			니파 바이러스 감염증 ²⁾	Nipah virus (<i>Paramyxoviridae</i>)	4
		크리미안 콩고 출혈열 바이러스 감염증 ²⁾	Crimean-congo haemorrhagic fever virus (<i>Bunyaviridae</i>)	4		
		헨드라 바이러스 감염증 ²⁾	Hendra virus (<i>Paramyxoviridae</i>)	3 ⁵⁾		
		보툴리눔 독소증 ²⁾	<i>Clostridium botulinum</i> (<i>Clostridiaceae</i>)	3		
		야토병 ²⁾	<i>Francisella tularensis</i> (<i>Francisellaceae</i>)	3		
		유비저 ²⁾	<i>Burkholderia pseudomallei</i> (<i>Burkholderiaceae</i>)	3 ⁵⁾		
		앵무새병 ²⁾	<i>Chlamydia psittaci</i> (<i>Chlamydiaceae</i>)	3		
		콕시디오이데스진균증 ²⁾	<i>Coccidioides immitis</i> (<i>Onygenaceae</i>)			
기타	일반	개디스토펜퍼	Canine distemper virus	2		

구분	질 병 명	병원체명	BL
검역본 부장 지정 병원체	관리 병원체	개전염성간염	2
		개코로나바이러스감염증	2
		개파라인플루엔자	2
		개파보	2
		계두	2
		고양이류케미아바이러스감염증	2
		고양이면역결핍성바이러스감염증	2
		고양이파보	2
		닭백혈병	2
		닭세망내피증	2
		돼지게타바이러스감염증	2
		돼지뇌심근염	2
		돼지레오바이러스감염증	2
		돼지로타바이러스감염증	2
		돼지서코바이러스(PCV-2)감염증	2
		돼지아테노바이러스감염증	2
		돼지파보바이러스감염증	2
		돼지혈구응집성뇌척수염바이러스 감염증	2
		말비강폐렴	2
		말인플루엔자	2
		산란저하증	2
		소레오바이러스감염증	2
		소로타바이러스감염증	2
		소바이러스성 하리	2
		소아이노바이러스감염증	2
		소엔테로바이러스감염증	2
		소이바라기병	2
		소츄잔병	2
		소코로나바이러스 감염증	2
		소파라인플루엔자	2
		소파보감염증	2
		소합포체성폐렴	3
		슈말렌베르크바이러스감염증	2
		점액종병	2
		조류 뉴모바이러스감염증	3
		중동호흡기증후군 coronavirus (<i>Coronaviridae</i>)	3
		중증열성혈소판감소증 (<i>Bunyaviridae</i>)	2
		토끼 출혈병 Rabbit haemorrhagic disease (<i>Calicivirus</i> 속)	2
		지카바이러스감염증	2
		노카디아감염증 <i>Nocardia asteroides</i> complex	2
		대장균증 <i>Escherichia coli</i> (병원성균종)	2
		더마토포러스감염증 <i>Dermatophilus congolensis</i>	2

구분	질 병 명	병원체명	BL
	라임병	<i>Borrelia burgdorferi</i>	2
	로도코커스이콰이감염증	<i>Rhodococcus equi</i>	2
	리스테리아감염증	<i>Listeria monocytogenes</i>	2
	마이코플라즈마감염증	<i>Mycoplasma</i> spp. (우폐역균 제외)	2
	만하이미아헤몰리티카감염증	<i>Mannheimia haemolytica</i>	2
	모락셀라감염증	<i>Moraxella bovis</i> , <i>M. ovis</i> , <i>M. oblonga</i>	2
	바르토넬라헨셀레감염증	<i>Bartonella henselae</i>	2
	바실러스세레우스감염증	<i>Bacillus cereus</i>	2
	보데텔라파라퍼투스스감염증	<i>Bordetella parapertussis</i>	2
	살모넬라감염증	<i>Salmonella abortusovis</i> , <i>S. dublin</i> , <i>S. abortusequi</i> , <i>S. choleraesuis</i> , <i>S. typhisuis</i> , <i>S. enteritidis</i> , <i>S.</i> <i>typhimurium</i>	2 2
	소생식기캠필로박터감염증	<i>Campylobacter fetus</i> subsp <i>venerealis</i>	2
	녹농균감염증	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2
	스트렙토코커스감염증	<i>Streptococcus agalactiae</i> , <i>S. pneumoniae</i>	2
	아시네토박터바우마니감염증	<i>Acinetobacter baumannii</i>	2
	액티노마이세스보비스감염증	<i>Actinomyces bovis</i>	2
	액티노마이세스파이오제네스감염증	<i>Actinomyces pyogenes</i>	2
	여시니아감염증	<i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Y. pseudotuberculosis</i>	2
	장독혈증	<i>Clostridium perfringens</i>	2
	전염성무유증	<i>Mycoplasma agalactiae</i>	2
	조류결핵	<i>Mycobacterium avium</i>	2
	캠필로박터감염증	<i>Campylobacter coli</i> , <i>C. fetus</i> , <i>C. jejuni</i>	
	코리네박테리움감염증	<i>Corynebacterium bovis</i> , <i>C.pseudotuberculosis</i> , <i>C. renale</i> , <i>C. ulcerans</i>	2 2
	클렙시엘라감염증	<i>Klebsiella</i> spp.	2
	클로스트리듐노비아이감염증	<i>Clostridium novyi</i>	2
	클로스트리듐디피실감염증	<i>Clostridium difficile</i>	2
	클로스트리듐셉티쿰감염증	<i>Clostridium septicum</i>	2
	클로스트리듐헤모리티쿰감염증	<i>Clostridium haemolyticum</i>	2
	파상풍	<i>Clostridium tetani</i>	3
	파스튜렐라멀토시다감염증	<i>Pasteurella multocida</i> (type B 제외) <i>Pasteurella multocida</i> type B	2 2
	포도알균감염증	<i>Staphylococcus aureus</i>	2
	푸시포미스네크로포러스감염증	<i>Fusiformis necrophorus</i>	2
	푸조박테리움네크로포르ם감염증	<i>Fusobacterium necrophorum</i>	2
	헬리코박터파이로리감염증	<i>Helicobacter pylori</i>	2
	홍막폐렴	<i>Actinobacillus pleuropneumoniae</i>	2
	고양이전달성해면상뇌증	Feline spongiform encephalopathy prion	2
	전달성밍크뇌증	Transmissible mink encephalopathy prion	2
	브라스토마이세스감염증	<i>Blastomyces dermatitidis</i>	2
	스포로쓰릭스감염증	<i>Sporothrix schenckii</i>	2
	클라도스포리움감염증	<i>Cryptococcus gattii</i>	2
	크립토코커스감염증	<i>Cladosporium bantianum</i>	2
	돼지낭충증	<i>Taeniasis solium</i>	

- 1) 『화학무기·생물무기의 금지와 특정화학물질·생물작용제 등의 제조·수출입 규제 등에 관한 법률』시행령 제2조 제3항에 의거한 동물병원균
- 2) 『감염병예방법』 시행규칙 제5조에 의거한 고위험병원체(브루셀라병의 경우 *Brucella melitensis*, *Brucella suis*만 고위험 병원체)
- 3) 광견병, 브루셀라병 및 탄저의 경우 백신주나 중화시험용 바이러스는 2등급에 해당
- 4) 감염병예방법상 생물안전등급이 2등급에 해당하나 국가방역상 우리나라 비발생 해외전염병이므로 3등급으로 상향조정
- 5) 고농도 균배양, 에어로졸 발생실험, 동물실험이 아닌 단순 혈청학적·유전학적 실험으로서 실험자 보호 및 외부유출을 방지할 수 있는 장비·방안을 갖춘 경우 2등급으로 하향조정 가능

동물위해 병원체 취급과 관련된 동물의 특징

529

초기 스트레스와 불안을 줄이는 데 매우 중요하므로 시험 설계에 포함되어야 한다. 이를 위해서 동물의 요구 사항을 연구하는 것은 필수적이다. 동물실험 및 실험동물 관련 법령 및 규정, 관련 지침, 참고문헌 검토 및 수의사와의 상담은 관련 직원에게 다양한 동물 종에 대한 중요한 정보를 제공할 수 있다.

동물 종에 다음과 같은 권장 사항과 예방 조치가 필요하다.

- 사육시설을 계획할 때 실험동물의 행동학적, 정서적, 사회적 요구사항을 고려해야 한다. 집단 케이지 사육의 경우, 싸움 및 기타 부작용을 최소화하기 위해 개별 동물 간의 친화성 및 동물 종의 집단 역학관계와 같은 요소가 고려되어야 한다.
- 행동 조건화(behavioral conditioning, 긍정강화훈련)를 통하여 보정 절차가 효과적으로 사용될 수 있다.
- 동물 취급자는 항상 현장 위험 평가에 따른 PPE를 착용하여야 한다. 필요할 경우 동물의 할렘에 의한 찰과상을 방지하기 위해 팔 길이의 강화 가죽 장갑과 긴 팔 가운 또는 작업복을 착용해야 한다.
- 동물과 접촉한 보호복은 세탁물로 보내기 전에 오염물질을 제거해야 한다. 격리구역 내에 위치한 세탁장비는 존재하거나 존재가 의심되는 병원체의 오염제거에 효과적임이 입증 또는 검증된 경우에만 오염제거에 사용해야 한다.
- 동물 취급자는 모든 물린 자국, 할렘 및 긁힌 피부를 즉시 철저히 세척하고 점막과 접촉할 수 있는 모든 얼룩들도 즉시 철저히 씻어내야 한다. 이러한 노출은 미리 설정된 비상대응 계획에 따라 지체 없이 보고해야 한다.
- 사육 케이지의 보안잠금장치 및 폐쇄장치는 동물 종(예: 비인간영장류인 미국너구리)의 지속적, 창의적, 파괴적 및 지적 능력을 고려하여야 한다.
- 케이지에는 실험 및 보정을 용이하게 하는 기구가 장착되어 있어야 한다. 운반상자 및 기타 특수 장치는 케이지를 청소하는 동안 동물을 안전하게 보관하거나 동물을 한 방에서 다른 방으로 옮길 때 사용할 수 있다.

17.3 동물위해 병원체 취급과 관련된 동물의 사육 환경 관리

동물의 사육에 대한 물리적 환경은 바로 그 동물을 일차적으로 둘러싸는 동물의 체온, 습도 및 기체성과 입체성과 같은 공기로 구성된 미세환경(micro-environment)과 동물을 이차적으로 둘러싸는 밀폐된 사육실(방), 우리, 실외 사육장 같은 거시환경(macro-environment)을 말한다.

미세환경과 거시환경은 환기시스템을 통해 서로 연결되어 있다 하더라도 서로 매우 다를 수 있으며, 특히 둘 사이의 격벽 또는 울타리 같은 구조 등에 의해 영향을 받을 수 있다.

연구자 및 동물관리자는 동물을 관리할 때에 다음 사항을 충분히 고려하여야 한다.

- 동물 종, 혈통, 품종, 성별, 나이, 크기, 행동, 경험, 건강상태 등의 개체 특성
- 동물들이 홀로 있던지, 무리를 이루든지 간에 시각, 후각(냄새) 또는 접촉 등을 통해 동일 종끼리 집단을 이루는 동물의 능력
- 사육시설의 설계와 시공 내역
- 사료첨가물의 유용성 또는 적합성
- 연구목적과 실험설계
- 동물조작의 강도와 수행된 실험절차의 침습성
- 위험한 질병을 일으킬 수 있는 물질의 존재 여부
- 사육기간

사육하고자 하는 동물 종 특유의 행동을 극대화하고 행동을 유도하는 자극을 최소화하는 것을 목적으로 관리하여야 한다. 동물 사육은 동물실험 및 실험동물 관련 위원회(동물실험윤리위원회 또는 실험동물운영위원회, 이하 “관련 위원회”)의 검토와 승인을 받은 관리자가 담당하도록 하는 것이 바람직하다. 연구자, 수의사 및 관리책임자가 서로 협의하여 사육하고자 하는 동물 종의 건강과 복지의 적합성을 고려한 높은 수준의 전문적 관리를 목표로 하고 연구목적과도 일치하여야 한다.

17.3.1. 실내사육 환경관리

일반적으로 동물의 배뇨와 배분, 체온 유지, 일반적 운동 공간, 자세의 변화 및 번식 등 생리학적 행동을 고려하여야 한다. 동일한 종의 집단 상호작용과 칸막이 내 또는 칸막이와 칸막이 사이 공간을 연계하여 고려하여야 한다. 동물의 몸이 깨끗하고 건조하게 유지되도록 관리하여야 하며 환기에 특히 유의하여야 한다. 동물에게 스트레스를 주지 않아야 하며 관찰이 용이하여야 한다.

사육상자(케이지) 간의 공기를 통한 오염을 방지하기 위하여 공기여과기가 필요한 경우도 있을 수 있으며, 기타 다른 경로에 의한 오염을 방지하기 위하여 세척, 소독 및 살균에 주의해야 한다. 마우스, 랫트 등의 설치류 사육에는 깔짚이 있는 딱딱한 바닥재가 좋다.

17.3.2. 실외사육 환경관리

동물을 실외 사육장에 수용하고자 할 경우에는 적절한 기간의 환경 적응기간이 필요하다. 동물을 실외 사육장으로 수송할 경우에는 연구자, 수의사 및 동물관리자는 소동물인 동물이 스스로 운반용 상자에 들어가도록 훈련을 시켜야 하며, 중·대 동물의 경우 이동 및 상차 시 스트레스를 최소화 하도록 주의를 기울여야 한다. 동물에게 적절한 집단적 환경을 제공하여야 하며, 주변 울타리나

기타 방법을 이용하여 동물의 탈출을 방지할 수 있는 안전장치를 마련하여야 한다.

실외사육을 위한 동물사를 계획할 때에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- 동물의 접근이 용이하여야 함
- 오물 및 수분이 축적되지 않아야 하며 환기가 잘 되어야 함
- 각 동물사는 같은 재료 및 방법으로 건축되어야 함
- 오염 시에는 청소가 용이하여야 하며 교체가 또한 용이하여야 함
- 바닥의 깔짚(진흙, 모래, 자갈, 풀 등)은 오염 시 교체가 용이하여야 함

기존 목장시설을 이용하는 경우 적합한 사료, 깨끗한 물 등이 제공되어야 하며, 축사 주변의 동물과 축사 내의 동물이 섞이지 않아야 한다. 동물의 영양상태, 건강상태 및 혈통관리에 특별히 주의하여야 한다.

17.3.3. 온도와 습도

정상적인 생물학적 주기 변화 내에서 체온을 유지하는 것은 동물복지에 필수적이다. 특히 항온 동물의 경우 체온 조절이 매우 중요하며, 30℃ 이상 또는 4℃ 이하에서 심한 임상증상을 나타내거나 생명에 치명적일 수 있다. 일반적으로 동물은 극한상황에 적응할 수 있으나 일정시간 이상 경과하게 되면 임상증상을 보이게 된다. 사육장의 재료, 수용동물의 수, 환기의 정도, 깔짚의 유형 및 교환 정도에 따라 내부 온도와 습도가 달라지며, 제한된 공간에서 사육되는 동물의 경우에는 매일의 온도변화가 동물의 대사, 행동 등을 변화시키므로 이를 최소화하여야 하고, 수술 후, 분만 후, 출생 직후 및 이유 시 등에는 환경온도를 올려주어야 한다.

동물 사육실의 상대습도는 30~70% 범위 내에서 유지되는 것이 좋다.

17.3.4. 환기

환기의 일차적인 목적은 적절한 양의 산소를 공급해주는 것이며, 동물의 호흡, 조명, 장비 등에 의해 상승된 온도를 떨어뜨려 주고, 기체성 또는 입자성의 오염물을 희석, 제거하며, 실내공기의 수분조절, 인접한 공간 사이의 정압차를 만들어 주는 것이다. 환기에 영향을 미치는 공기의 확산 유형, 배출구의 수와 위치 및 유형 등이 고려되어야 한다.

일반적으로 시간당 10~15회의 환기가 장려사항이었으나 동물의 종, 크기, 수, 깔짚의 유형, 공간의 크기 등이 영향을 주므로 종합적으로 고려되어야 한다. 과환기 시 동물의 에너지 소모가

증가하고, 저환기 시에는 온도상승, 암모니아의 축적 등을 야기할 수 있다.

설치류 동물은 기본적으로 전량 배출방식을 적용하지만, 그 외 동물의 경우에 일부 1차 환기된 공기를 재사용하는 경우에는 병원체가 공기를 통해 이동하게 되고, 산소가 부족한 공기로 인한 문제점이 발생할 수도 있으므로 재사용 시 헤파필터를 통해 여과된 후 사용하여야 하고 재사용 비율은 50%를 넘지 않도록 하며, 암모니아와 같이 냄새가 심한 독성기체들은 환기를 통해 제거되어야 한다.

17.3.5. 조명

빛은 동물의 생리 및 행동에 영향을 미치는데, 빛의 강도, 노출시간, 빛의 파장, 동물의 착색상태, 체온, 호르몬 상태, 연령, 동물 종, 성별 및 동물의 피로상태 등에 따라 동물의 반응이 변화한다.

빛은 동물의 일주기에 따른 신경내분비 조절과 생식행동, 체중, 음수 및 사료섭취량 등에 영향을 미치므로 사육장 전체에 빛이 고르게 확산되어야 한다. 암주기 동안의 빛 노출은 최소화시켜야 하며, 명암주기는 매일 규칙적이어야 한다.

일반적으로 사용되는 실험동물은 대부분 야행성이며, 특히 랫드는 광독성이나 망막질환에 민감하기 때문에 조도 설정이 매우 중요하다.

17.3.6. 소음

동물사육시설의 소음은 대부분 보조시설의 작동에서 발생하는 것이므로 동물사육실과 보조시설 설계 시 고려되어야 한다. 동물 종에 따라 소음의 강도, 빈도, 진동 및 지속시간 등에 대한 감수성이 달라지기 때문에 이를 충분히 고려하여야 한다.

사육과정에서 소음이 발생하는 개, 돼지, 산양, 비인간영장류 등은 설치류, 토끼, 고양이 등과 같이 소음에 민감한 동물과 격리시켜 사육하여야 한다. 85dB 이상의 소음은 설치류에서 호산구감소증, 부신의 장기중량 증가, 산자 수 감소를 야기하며, 비인간영장류에서는 혈압상승 등을 유발한다.

여러 동물 종들이 인간은 들을 수 없는 주파수의 소리를 들을 수 있으므로 동물의 청각 범위 내에서 소음을 내는 장비는 주의 깊게 고려하여야 한다.

17.3.7. 환경 풍부화

환경 풍부화의 일차적 목표는 동물에게 감각자극과 운동자극을 제공하여 동물복지를 증진시키는 것이다. 이는 동물에게 특정 구조물이나 자원을 제공하여 동물이 가지는 고유한 행동 표현을 용이

하게 하고, 종 특이적 특성에 따른 육체적인 운동, 조작 행동 및 인지적 도전 등을 통해 정신적 복지를 향상시키는 것이다.

17.3.8. 동물 수용공간

동물 수용공간은 동물의 체중이나 체표면적만을 고려하지 말고 동물의 나이와 성별, 같이 사육되는 동물의 수, 사육 기간, 동물 사용 목적, 종 특유의 습성(나무 위에서 사는 동물들을 위한 높은 수직 공간 또는 변온동물을 위한 온도 관리 등)을 고려하여야 한다. 또한 동물의 번식, 성장, 행동 및 자세의 변화 등도 종합적으로 검토하여야 한다.

음수 및 사료의 섭취가 용이하여야 하고 동물이 움직이고 쉴 수 있는 충분한 공간이 제공되어야 한다. 사료 및 물 공급을 위한 용기를 설치하는 장소는 바닥면적 산정 시 제외되어야 한다. 따라서 동물 수용공간은 지속적으로 관찰하면서 상황에 따라 적절하게 제공하여야 한다.

설치류와 돼지는 서로 밀집하여 벽을 따라 모이며, 소, 양, 산양은 무리를 지어 다니고 집단협조 체계를 갖추는 습성이 있다. 영장류를 집단으로 사육할 경우에는 추가적인 개별공간을 제공해주지 않으면 공격적인 성향을 나타내며, 나무와 같은 수직적 구조물을 필요로 한다. 사육공간의 높이는 동물의 전형적인 자세와 음수 및 사료의 섭취 등을 고려하여야 한다.

동물 종별 수용공간은 미국 NRC(National Research Council)에서 발간한 「Guide for the Care and Use of Laboratory Animals, 실험동물의 관리와 사용에 관한 지침, 제8판」의 제3장 또는 농림축산검역본부와 식품의약품안전처가 공동으로 출간한 「동물실험 및/또는 실험동물 관련 위원회(IACUC) 표준운영 가이드라인(2017)」의 제5장 ‘실험동물의 사육 및 시설관리’에 상세하게 안내되어 있다.

17.3.9. 군집 사육

동물을 종에 따라 군집 사육할 경우 동물 개체간의 육체적 접촉은 군집 내 구성원 사이의 의사소통을 의미한다. 군집생활의 습성을 가진 동물들은 집단사육 시 피로를 완충시키고 비정상적인 행동을 감소시키며, 운동 및 종 특이적 행동이 증가된다. 군집환경의 설정 시 동물이 영역을 공유하는지, 개별적으로 사육해야 하는지, 쌍으로 사육해야 하는지 등을 동물의 습성에 따라 주의깊게 결정하여야 한다.

17.3.10. 동물의 활동

동물의 활동은 운동과 상호인식 및 상호반응을 의미한다. 강제적 활동은 피해야 하며, 동물의

습성에 따라 적절한 활동공간을 확보해 주어야 한다. 개의 경우, 인간과의 상호작용, 즉 목줄을 하고 함께 걷거나 인간과의 접촉을 선호한다. 반면에, 양, 말, 소 등의 큰 가축은 목장 등 넓은 공간을 선호한다.

17.4 동물의 사육 관리

동물 중에 따른 적절한 사육 관리방법은 동물을 사용하는 연구자와 수의사의 자문을 받아 동물 관리자가 개발하고 유지하여야 하며, 해당 기관의 관련 위원회의 검토를 받아야 한다.

17.4.1. 사료

동물의 기호에 알맞고 적절한 영양소를 함유한 깨끗한 사료를 공급하여야 한다. 사료는 품질보증, 화학적 또는 미세오염물의 제거 여부, 그리고 사료에 자연적인 독성물질의 존재 여부, 영양분의 생물학적 유용성, 기호성 등을 고려하여 선택하여야 한다.

동물관리자는 구매와 수송 및 저장 시, 질병과 기생충, 잠재적 질병 원인체 및 화학적 오염물의 도입을 최소화시키는 방법으로 사료를 취급하여야 한다. 사료공급 시 가장 먼저 도입된 사료를 우선 공급하도록 하며(선입선출 방식; first in, first out), 사료의 가공, 저장 시 청결을 유지하여야 한다. 사료는 오염물질이 저농도라 할지라도 동물의 생화학적, 생리학적 반응을 변화시킬 수 있다. 대부분의 건조된 사료는 약 6개월까지 저장이 가능하나, 비타민C는 3개월이 지나면 파괴되므로 추가적인 보충이 필요하다. 멸균이 필요한 사료는 멸균하는 동안 영양분이 분해되지 않도록 하여야 하며, 멸균한 날짜를 기록하고 멸균한 후 가능한 한 빠른 시간 내에 동물에게 공급되어야 한다. 동물을 집단 사육하는 경우 먹이경쟁을 최소화하기 위하여 충분한 공간과 공급용기를 갖추어야 하며, 저장용기와 공급용기는 청결하게 유지하여야 한다.

약한 정도의 단백질 섭취제한은 수명을 연장하고 비만을 감소시킬 수 있으나, 열량제한체계의 선택은 동물 중에 따라 생리적, 대사적 반응을 변화시키므로 신중하게 선택하여야 한다. 갑작스럽게 사료의 종류를 바꾸게 되면 동물의 소화 및 대사장애를 일으키고 이는 특히 초식동물에 있어서 민감하므로 주의하여야 한다.

17.4.2. 급수

일상적으로 동물들은 욕구에 따라 자유롭게 오염되지 않은 물을 마실 수 있어야 하며, 주기적으로 음용수의 pH, 공급배관, 미생물 및 화학적 오염에 대한 검사가 필요하다. 음용수의 소독을 위한

처리하는 동물의 생리적 변화, 실험결과에 영향을 미치므로 신중하여야 한다. 자동급수기를 이용하는 경우 동물들이 접근하기 수월해야 하며, 물병은 미생물학적 교차감염을 예방하기 위해 교체하여 멸균하여야 한다.

17.4.3. 깔짚

깔짚은 동물복지에 영향을 미치는 요소 중 가장 쉽게 조절이 가능한 요소이며, 모든 종의 동물에게 이상적인 깔짚은 없으나, 종 특이성을 고려하여 선정하여야 한다. 목재의 톱밥은 동물의 대사에 영향을 미치고 히말라야 삼목의 부스러기는 간의 세포독성과 마이크로솜 효소의 변성을 야기하여 종양을 유발하는 방향족 탄화수소를 방출하므로 사용을 피해야 하며, 깔짚 구매 시 제조법, 소독법 및 저장법 등을 종합적으로 고려하여야 한다. 깔짚의 수송 시 오염을 최소화할 수 있는 방법을 사용하여야 하고 멸균시키는 경우 멸균 후 완전 건조하여 미생물의 발육을 억제시켜야 하며, 다음 깔짚 교체 시까지 건조된 상태로 유지되도록 충분한 양을 사용하여야 한다.

17.4.4. 위생관리

청결한 위생상태를 유지하기 위해서는 깔짚의 교환, 청소, 소독에 주의하여야 하며, 청소는 쓰레기의 과다축적을 방지하고, 소독은 미생물의 농도를 감소 또는 제거할 수 있다. 위생관리 방법과 빈도는 오염유형, 오염물의 물리적 특성, 동물의 수와 크기, 연령, 번식, 특이적 행동, 깔짚의 유형 및 교환 시기, 온도, 상대습도, 사육체계 등에 의해 영향을 받는다. 악취제거제는 동물의 생리적, 대사적 과정을 변화시키는 휘발성 화합물을 포함하므로 동물실에서의 사용을 금하여야 한다. 오염된 깔짚은 동물의 수와 크기, 공간의 크기, 깔짚의 상태에 따라 자주 교체하여야 하며, 산전 또는 산후 등 페로몬이 필수적으로 필요한 경우에는 깔짚 교체를 하지 않아야 한다.

17.4.4.1. 일차적 울타리의 소독

동물사 또는 목장에 물, 세제, 소독제를 이용한 주기적인 세척은 표면을 깨끗이 유지하는데 도움이 된다. 청소시간은 동물이 사료를 먹은 후 배변 및 배뇨를 끝낸 후 실시하여야 하며, 청소횟수는 보통 2주에 1회는 실시하여야 한다.

토끼와 설치류는 농도가 짙은 노를 배설하여 케이지 표면에 침착되므로 산성용액으로 세척하여야 하며, 효과적인 소독은 수세와 행굼 시에 82.2℃ 이상의 온도에서 이루어 질 수 있다. 세척 후 잔여 화합물이 없도록 깨끗이 행구고, 물병, 음수 공급관, 사료 급이기 등은 세제, 온수, 화학약품 등으로 미생물을 완전히 파괴시켜야 한다.

17.4.4.2. 이차적 울타리의 세척과 소독

동물실의 보조시설(창고, 세척실, 복도, 처치실 등)은 규칙적으로 세척 및 소독을 하여야 하며, 세척기구는 특정구역에서만 사용되어야 하며 다른 구역으로 이동하여서는 아니 된다.

17.4.4.3. 위생관리의 평가와 효과

위생업무의 감독은 시각적 검사, 수온점검, 미생물학적 검사 등이 포함되어야 하며, 암모니아 농도, 케이지 상태, 깔판깔짚의 조건, 동물의 수 및 크기 등에 따라 세척 및 소독의 횟수를 판단하여야 한다.

17.4.5. 기타 관리사항

17.4.5.1. 폐기물 처리

생물학적 또는 위험한 폐기물은 안전하게 제거, 처리하여야 한다. 폐기물 저장소는 누수가 방지되어야 하며, 폐기물 전용 냉장 및 냉동, 저온실을 마련하여 사용하여야 한다. 위험한 생물학적 폐기물은 저장실에 보관하기 전에 멸균하여야 하며, 감염성이 있는 동물의 사체는 현장에서 소각이 가능하다. 독성, 발암성, 가연성, 부식성, 반작용성의 불안정한 위험한 폐기물은 전용용기에 보관하여야 하며, 폐기물과 관련된 모든 사항은 국내 폐기물 관련 법령의 규정들을 준수하여야 한다.

17.4.5.2. 유해물질 통제

유해물질에 의한 감염 또는 유해물질을 방제, 통제 또는 제거하는 프로그램은 동물 사육 환경에 있어서 필수적이며, 실외에서 사육되는 동물들을 위해 유해물질과 관련된 잠재적 위험을 제거하거나 최소화시키는데 주의하여야 한다.

농약은 실험절차를 방해하고 동물에 독성을 유발할 수 있으므로 필요에 의해서만 사용이 가능하며, 사용기록을 보관하는 것이 필요하다. 해충구제가 필요한 경우 비독성 물질 또는 덫을 사용하여야 한다.

17.4.5.3. 긴급 상황 및 휴일 관리

응급상황에 대한 수의학적 처치는 작업시간 이후, 주말 및 휴일까지 이루어질 수 있어야 하며, 비상 시 절차 또는 대처법은 눈에 잘 보이는 곳에 비치하여야 한다. 연구자 및 관리자와

동물 모두를 고려하는 재난대책은 동물시설을 위한 전체 안전계획의 일부분으로 마련되어야 하며, 동물에 대한 책임 있는 관리자나 수의사는 기관의 안전위원회와 같은 관련 조직의 일원이어야 한다.

17.4.5.4. 개체 식별 및 기록 관리

동물의 구분은 띠, 표찰, 염색, 귀 인식표, 피하 내 인식칩의 삽입법 등이 있으며, 인식표는 동물의 공급원, 동물 종이나 혈통, 조사자의 이름과 연락처, 수명, 개체번호 등을 포함하여야 한다.

동물에 대한 정보는 임상적 또는 진단상의 정보, 접종시기, 외과적 절차의 연혁, 수술 후 처치 및 실험상 사용된 정보 등을 포함하여야 한다.

영장류는 사육, 교배 연혁 및 행동적 특징 등의 기록이 관리에 특히 유용하며, 동물들이 기관 간에 이동될 때에는 관련 정보도 함께 제공되어야 한다.

17.4.5.5. 유전학과 동물 명명법

동물의 유전적 특징은 실험목적에 따른 동물의 선택에 유용하게 사용된다. 다른 종과 교배된 동물은 생의학 연구에 주로 이용되며, 설치류간의 다양한 종의 동종 교배된 종들은 특수한 연구를 수행하기 위해 개발되었고 동질 적합성을 위해 주기적으로 동형 교배를 검사하는 것이 중요하다.

관리체계는 돌연변이와 잘못된 교배로부터 유래된 유전적 오염을 최소화할 수 있도록 설계되어야 하며, 사용된 동물의 유전적 배경에 따라 표준화된 명명법으로 된 정확한 기록이 매우 중요하다.

17.5 동물위해 병원체 취급과 관련된 동물의 수의학적 관리

17.5.1. 동물의 조달과 수송

17.5.1.1. 동물의 조달

모든 동물은 합법적으로 공급되어야 하며, 공급받는 기관은 모든 과정이 합법적인 방법으로 수행해야 한다. 실험동물을 생산·판매하는 실험동물공급자는 정기적으로 동물의 유전적, 병원성 상태에 관한 정보를 공급받는 기관에 제공하여야 한다. 공급받는 기관은 이러한 정보를 바탕으로

동물의 수용여부를 결정하고 기관 간 또는 기관 내에서 동물이 이동할 때에도 이들 정보가 함께 이동되어야 한다.

연구에 유전적 프로파일이 알려진 동물을 사용하는 것은 동물 간 유전적 차이로 기인된 실험 결과의 변수를 줄이고 실험결과의 재현성을 높여줄 수 있다. 유전자 변형동물은 특정 연구의 질문에 대한 해답을 얻는데 사용된다. 이러한 동물은 일반적으로 생화학 또는 면역학적 생체 마커를 이용한 정기적 유전형 감시프로그램을 통해 유전형이 확인되어야 하는 매우 정교하고도 제어된 육종 계획에 의해 생산된다. 품종 집단(colony)에 대한 세밀하면서도 정확한 기록이 유지 관리되어야 한다.

유전자 변형동물을 사용하는 경우 관련 법령의 규정에 따라 수행되어야 한다. 비정상적인 표현형과 관련된 특별한 사육환경 및 복지에 대한 고려가 필요하다. 생물안전차폐 필요조건, 유전적 정보, 개체 확인 정보가 기록되어 관리되어야 하며 구매자는 동물공급자로부터 이러한 정보를 전달받아야 한다.

야생동물을 실험에 사용하는 경우 포획기술은 인도적이며 인간 및 동물의 보건과 안전을 고려하여 수행되어야 한다. 특히 멸종위기 종을 대상으로 한 실험은 다른 동물 종으로 달성될 수 없다는 과학적인 판단에 의거하여 극히 예외적인 상황에서만 사용되어야 한다.

17.5.1.2. 동물의 수송

동물의 모든 수송과정은 수송시간과 동물원성 질병의 위험을 최소화하고 환경의 급격한 변화로부터 동물을 보호하며, 과밀상태를 피하고 적당한 사료와 물을 공급하여야 하며, 신체적 외상으로부터 보호되도록 계획되어야 한다. 동물을 수송하기 전에 함께 제공된 정보와 동물이 일치하는지에 대해 검역 시 확인하고, 영장류의 경우 결핵감염 여부에 대해 함께 검사를 실시하여야 한다.

동물의 운송에 대하여 세계동물보건기구(OIE)에서는 ‘육상동물 위생코드(Terrestrial Animal Health Code)’ Section 7에서 해상(7.2.), 육상(7.3.) 및 항공(7.4.) 운송으로 구분하여 상세하게 규정하고 있다.

17.5.2. 예방의학

질병예방은 수의학적 관리의 필수적인 구성요소로서 효과적인 예방의학 프로그램은 동물의 건강을 유지하고, 질병 및 불현성 감염 등과 관련된 원인을 최소화시킴으로써 동물의 가치를 높여 준다.

예방의학 프로그램은 검역, 순화 및 동물의 종·공급처·건강상태 등에 따른 동물격리와 관련된

규정, 작업수준 및 실무를 조합하여 구성된다.

17.5.2.1. 검역, 순화 및 격리

검역이란 새로 도입된 동물의 건강 및 미생물학적 상태가 판정될 때까지 동물실에 있던 기존의 동물과 격리하는 것을 말한다. 효과적인 검역은 확립된 기존 사육군 내로 병원체가 유입할 수 있는 기회를 최소화하는 것이다. 수의사는 새로 도입된 동물의 건강 및 미생물학적 상태를 판정할 수 있어야 하며, 검역절차는 수의학적으로 타당하고 인수공통전염병 및 가축 전염병 등 관련 법령의 규정에 합당하여야 한다.

효과적인 검역절차를 영장류에 적용하여 사람이 인수공통전염병에 노출되는 것을 제한하여야 한다. 영장류의 경우 *filovirus*와 *Mycobacterium* 감염이 문제가 될 수 있기 때문에 주의하여야 한다. 수의사는 검역기간, 직원과 사육군 내 동물에게 미칠 수 있는 잠재위험성과 검역 중 동물의 치료 여부를 결정하고, 설치류의 경우에는 특정병원체를 배제하기 위하여 제왕절개유도(Caesarean derivation)나 수정란이식의 필요성을 결정하기 위하여 공급자로부터 동물의 품질에 관한 충분한 사전정보를 받아야 한다.

설치류에 대해서는 공급자로부터 제공받은 자료가 최근의 검사결과이어야 하며, 도입될 동물의 건강상태가 정확히 판정될 경우 및 수송 중 미생물에 오염될 가능성을 충분히 고려한 경우 검역을 생략할 수도 있다. 검역기간 동안 동물의 공급처가 서로 다른 동물군은 그룹간의 감염체 이동을 예방하기 위하여 격리하여야 한다.

검역기간과 상관없이 새로 도입된 동물은 실험에 사용하기 전에 생리적, 심리적 및 영양적 안정을 위한 순화기간을 제공하여야 한다. 순화기간은 동물의 수송방법과 소요시간, 동물 종, 사용목적 등에 따라 다를 수 있다. 마우스, 랫드, 기니픽 및 산양 등에서 순화기간에 대한 필요성은 이미 증명되었으며, 다른 동물에서도 적절한 순화기간이 필요하다.

품종간의 질병전파를 막고 품종간의 대립으로 인한 불안 및 생리적, 행동적 변화를 감소시켜 주기 위하여 동물의 품종별 격리가 권장된다. 보통 격리된 사육실에 동물종별로 수용하나, 소구획(cubicle), 라미나 플로우(laminar-flow) 사육장치, 필터부착 또는 개별환기식 케이지(IVC), 아이솔레이터 등으로 격리구역을 대신할 수 있다.

- 동물 종에 따라 격리사육이 필요한 예
 - *Bordetella bronchiseptica*는 토끼에서는 불현성 감염만을 유발하지만, 기니픽에서는 심한 호흡기 질병을 일으킨다.
 - 원숭이 출혈열(simian hemorrhagic fever)과 원숭이 면역부전 바이러스(Simian Immunodeficiency

Virus)의 경우, 아프리카 영장류에서는 불현성으로 감염되지만 아시아 종에서는 발병하기 때문에 원칙적으로 신대륙(남미계), 아프리카계 구대륙 및 아시아계 구대륙 영장류들은 각각 격리 사육되어야 한다.

동일 지역에서 도입된 동물 종이라 할지라도 격리 사육이 필요한 경우가 있다. 다람쥐 원숭이(squirrel monkey)는 Herpesvirus tamarinus에 노출될 경우 잠복감염을 나타내지만, Herpesvirus tamarinus가 올빼미 원숭이, 일부 마모셋 및 타마린에 전파될 경우에는 치명적인 동물전염병을 유발할 수 있다.

여러 곳으로부터 동물이 도입되어 동물의 미생물 상태가 다를 경우, 동일 품종이라 할지라도 격리 사육은 필수적이다.

17.5.2.2. 질병의 감시, 진단, 치료 및 관리

모든 동물은 질병, 상해 또는 이상행동의 증상 등을 식별할 수 있는 훈련된 사람에 의해 관찰되어야 한다. 기본적으로 이와 같은 관찰은 매일 이루어져야 하지만, 수술 후 회복기나 동물이 아프고 신체적 결함이 있는 경우에는 더욱 더 자주 관찰을 하여야 한다.

질병감시와 진단에 필요한 적절한 방법을 필수적으로 구비하여야 한다. 예기치 않은 동물의 폐사 및 발병, 고통 또는 정상적인 상태로부터의 이탈이 있는 경우, 적절한 수의학적 처치가 적시에 이루어질 수 있도록 신속히 보고되어야 한다. 전염성 증상을 나타내는 동물은 사육군 내의 건강한 동물과 분리한다. 만일 동물사육실 전체가 감염체(예: 영장류에서 결핵균(*Mycobacterium tuberculosis*))에 노출되거나 노출이 의심이 되면 그 군은 진단, 치료 및 관리 과정 동안 이동시켜서는 안 된다.

질병예방, 진단 및 치료법은 현재 수의임상에서 허용하는 것들이어야 한다. 육안 병리학, 미시 병리학, 임상 병리학, 혈액학, 미생물학, 임상화학, 혈청학 등을 포함하는 실험실 진단 서비스가 수의학적 관리에 도움이 된다. 연구자는 투약법 또는 치료법의 선택을 수의사와 상의하여 결정하여야 한다. 선택된 치료계획은 치료학적으로 확실하여야 하며 가능한 한 실험에 영향을 주지 않는 방법이어야 한다.

불현성 감염을 일으키는 미생물 감염, 특히 바이러스 감염은 일반 컨벤셔널 환경의 설치류에서 자주 발생하지만, 배리어의 어느 한 부분이라도 고장이 날 경우, SPF 설치류의 생산과 이용을 위하여 설계·유지되고 있는 시설에서도 미생물 감염이 일어날 수 있다. 불현성 감염과 함께 면역학, 생리학, 약리학 또는 독성학적 반응을 변화시키는 감염체의 예로는 Sendai virus, Kilham rat virus, Mouse hepatitis virus, Lymphocytic choriomeningitis virus,

*Mycoplasma pulmonis*를 들 수 있다.

특정 프로토콜에 나타난 과학적 목적, 설치류의 특정 계통 내 감염의 영향 및 감염체에 의한 시설 내 다른 프로토콜에 대한 악영향 등을 감안하여 설치류 건강 감시 프로그램의 수행과 SPF 설치류를 유지하는 감염대책을 강구하여야 한다.

바이러스 감염을 확인하는 주요 방법은 혈청검사이다. 세균배양, 조직병리학 및 유전자증폭법(PCR)을 이용하는 DNA 분석과 같은 미생물의 감염을 확인하는 방법들은 임상연구 프로그램의 특정 요구에 가장 적합하도록 사용하여야 한다.

17.5.3. 외과적 처치

수술 전 계획, 직원 교육, 무균조작과 외과적 처치법, 동물복지 및 일련의 프로토콜 과정 동안 동물의 생리학적 상태 등에 대하여 주의하면 외과적 처치효과를 한층 높일 수 있다. 이러한 요소들의 영향은 관련된 수술절차의 복잡성과 사용되는 동물 종에 따라 다양하게 나타난다. 수술계획에 대한 팀 접근방식은 각기 다른 전문지식을 갖춘 사람들을 참여시킴으로써 수술결과와 성공 가능성을 높일 수 있다. 적절한 수술이 시행되고 적시에 교정변화가 실시될 수 있도록 수술결과와 지속적이고 철저한 평가가 이루어져야 한다. 표준수술기법의 변경이 바람직하거나 요구될 수도 있지만, 우선적으로 동물의 복지를 고려하여야 한다. 수술기법을 변경할 경우 결과에 대한 평가는 더욱 신중하여야 하며, 분명하게 나타나는 임상 유병률(clinical morbidity) 및 사망률에 부가해서 또 다른 형태의 기준을 채택하여야 한다.

수술 전 수술계획 수립 시에는 외과의사, 수의사, 수술보조자, 동물관리자 및 연구자를 포함한 수술 팀의 모든 구성원이 참여하여야 한다. 수술계획 수립 시 인력 및 역할, 교육요구사항, 수술에 필요한 장비와 소모품, 수술이 시행될 시설의 위치 및 특성, 수술 전 동물의 건강평가, 수술 후 관리 등에 대하여 확인하여야 한다.

무균수술법, 능숙한 조직취급, 조직절개의 최소화, 기구의 적절한 사용, 효과적인 지혈, 봉합사 및 봉합형태의 정확한 사용 등과 같이 수술을 능숙하게 할 수 있도록 연구원을 교육시키는 것이 중요하다.

수술은 일반적으로 수술절차에 따라 대수술과 소수술로 분류되며, 실험환경에 따라 생존수술과 비생존수술로 더욱 세분화할 수 있다.

대생존수술(major survival surgery)은 체강을 관통하거나 노출시키며, 신체적 또는 생리적 기능의 실질적 장애를 유발시키는 수술을 말한다(개복술, 개흉술, 개두술, 관절치환술, 사지절단술 등).

소생존수술(minor survival surgery)은 체강을 노출시키지 않고 약간의 신체적 장애만을 유발

하거나, 아예 장애를 유발하지 않는 수술을 말한다(창상봉합, 말초혈관삽관법, 가축의 일상적인 거세·제자·탈출된 장기의 복원, 수의임상 현장에서 외래환축의 일상적인 수술 등).

비생존수술(nonsurvival surgery)에서는 동물이 마취에서 회복되기 전에 안락사시켜야 한다. 비생존수술을 실시할 경우, 최소한 수술부위는 제모를 하고, 수술자는 수술장갑을 착용하고 수술 기구 및 수술주위는 청결하게 유지하여야 한다.

무균수술기법은 미생물오염을 최소한으로 감소시키기 위하여 이용된다. 수술절차, 기구 소독 또는 살균제 단독으로는 그와 같은 목적을 이룰 수 없다. 무균수술기법은 수술실에 입실하는 모든 구성원의 참여와 협력을 필요로 하며, 각자의 업무 기여도와 중요도는 수술절차에 따라 바뀔 수 있다.

멸균법은 멸균되는 물질의 물리적 특성에 따라 특정 멸균법을 선택하여야 하며, 고압멸균법과 가스멸균법이 일반적인 방법이다. 멸균표시기를 통해 적당한 멸균이 이루어지고 있는지 확인하여야 한다. 용액성 화학살균제를 사용할 경우 충분한 접촉시간을 지켜야 하며, 기구는 사용 전에 멸균수나 식염수로 세척해야 한다. 알콜은 살균제도 아니며 상급 소독제도 아님을 명심하여야 한다.

세심한 수술모니터링과 문제점에 대한 적절한 주의는 수술의 성공 가능성을 높여 준다. 마취심도와 생리기능의 점진 및 임상증상과 상태의 평가가 모니터링에 포함된다. 정상체온의 유지는 특히 중요하며, 이를 통해 마취제에 의해 야기될 수 있는 심혈관 및 호흡기 장애를 최소화할 수 있다.

수술계획은 수술 후 모니터링 항목, 간호 및 기록정리와 함께 이러한 업무를 수행할 직원이 명기 되도록 상세히 기술하여야 한다. 연구자와 수의사는 수술 후 관리가 적절히 이루어지도록 책임을 다하여야 한다. 수술 후 관리의 중요한 요소는 동물의 관찰과 마취 및 수술 회복 시 요구되는 기술 등이다.

필요한 모니터링의 강도는 사용하는 동물 종과 수술절차에 따라 다르며, 수술 후 회복기보다 마취 회복기에 더욱 주의하여야 한다. 마취 회복기에 동물은 깨끗하고 건조한 곳에 두며, 훈련된 자가 관찰할 수 있도록 한다. 마취에서 회복되는 동안 체온조절, 심혈관 및 호흡 기능, 수술 후 통증 또는 불안에 대해 특별히 관심을 기울여야 한다.

마취 회복 후에는 모니터링이 집중적으로 실시되지는 않으나 기본적인 생리기능인 섭취와 배설, 수술 후 통증을 나타내는 듯한 행동, 감염, 수술부위의 상태, 붓대, 피부의 상태, 클립 또는 스테플 제거 등에 주의를 기울여야 한다.

17.5.4. 통증, 진통 및 마취

동물은 과도한 육체적 구속, 통증, 충격, 상해, 고온, 저온, 감염, 부적당한 사회적 집단화 등을

내포하는 유해한 육체적, 사회적 및 환경적 인자의 영향을 받았을 때 고통을 받을 가능성이 있고 동물의 스트레스 반응이 유발되는 것으로 생각된다. 이러한 인자에 의한 고통은 동물의 생리 상태를 크게 변동시킬 가능성이 있으므로 목적하는 연구 활동을 방해하고, 동시에 실험결과를 심하게 변화시킨다는 사실을 실험자 자신이 주지하고 있어야 한다. 따라서 이러한 모든 인자들을 적극 배제할 필요가 있다.

일반적으로 동물이 고통을 느꼈을 때는 특수한 행동이상을 나타내는 경우가 많다. 그 일례로서 소형 설치류에서는 어느 개체가 집단에서 동떨어져 웅크려 있거나, 몸치장 행동(Grooming: 신체를 항상 깔끔히 유지하는 일련의 행위)을 전혀 행하지 않고 있는 것 등이 지표가 되는 경우가 있다. 그러므로 실험자가 일상적으로 동물의 행동이상을 분별할 수 있는 능력을 갖는 것이 최대한의 실험결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 동물의 고통을 미리 예방할 수 있는 한 방법이 된다. 그러나 실험기법에 따라서는 현재 고통을 파악할 수 있는 기준이 마련되어 있지 않아 예상되는 고통의 정도가 판단 불가능한 경우나, 기준이상의 고통을 초래할 수 있다고 판단되는 경우에는 신체의 보정을 없애거나, 그와 유사한 상태에서 실시하던지, 아니면 추가로 적당량의 마취약, 진통약, 진정약을 투여하는 배려가 필요하다.

실험계획에서 통증과 고통의 잠재적인 원인이 될 수 있는 항목은 다음과 같다.

- 물리적인 보정
- 생존 실험
- 사료와 물에 대한 구속
- 종료시점으로서의 죽음
- 유해한 자극
- 피부와 각막 자극 시험
- 종양의 부담
- 심장이나 안와정맥총 채혈
- 비정상적인 환경 조건

지각계, 특히 통각에 관련된 연구를 하는 실험자는 고통에 관해서 한층 더 배려가 필요하다. 원래, 염증유발 물질, 통증유발 물질 또는 신경절단 등에 의한 통증모델 동물은 사람에게 있어서 다양한 통증을 시뮬레이션 하는 것을 목적으로 하는, 사람의 아픔과 고통에 대응하는 실험이다. 동물에 대한 불필요한 고통의 배제나 경감을 전제로 한, 면밀한 실험계획을 세워서 행하도록 한다.

의식이 있는 동물을 사용하는 경우는 만성통, 급성통을 불문하고 이미 오래전에 국제통증학회

(IASP)에서 제안한 지침이 기준이 될 수 있다(IASP, 1980).

실험자는 실험의 필요성과 인류에 공여하는 이익에 관하여 충분히 검토를 함은 물론, 자신의 연구에 관한 윤리관의 필요성을 인식하여야 한다. 고통과 통증의 정도를 평가하기 위해 동물의 이상행동을 적절히 파악한다. 또 뇌파, 수면각성 주기, 체중, 섭식음수행동, 학습행동 등의 생리학적 및 행동상의 패러미터를 기록, 측정한다. 도피행동이나 진통약의 자기투여 등 아픔의 강도를 동물 자신이 컨트롤하여 고통을 경감시킬 수 있는 수단을 이용한다. 실험시간은 가능한 한 단시간에 수행하고 동물수도 최소한으로 한다. 실험목적에 적합한 가장 하등한 동물 종을 선택한다. 또한, 실험자는 연구목적으로부터 크게 벗어나지 않는 범위 내에서 아픔을 주는 부위 및 그 정도를 가능한 한 최소한으로 하는 노력을 하여 신경생리학적 수법을 쓰는 등, 지금까지의 행동관찰을 주체로 하는 실험을 대체하는 방법에도 적극적으로 접근해야 한다. 스트레스 실험에 있어서도 동일한 배려가 필요하다.

Table 17-3. 통증과 고통에 관련된 용어

용어	증상
Analgesia 진통	통증에 대한 감각의 완전한 소실
Anesthesia 마취	부분적 혹은 몸 전체 감각의 모든 소실
Distress 고통(디스트레스)	스트레스에 대해 기피하거나 적응하지 못하는 행동을 보이는 상태
Pain 통증	좋지 않는 감각이나 실제적 혹은 잠재적인 조직 손상과 관련한 감정적인 경험
Sedation 진정	주변에 대한 인지의 감소, 느즈러짐, 졸음 등을 특징으로 하는 상태
Tranquilization 진경(근육이완)	정서가 안정되고 환경 자극에 대한 반응이 줄고 근육이 이완 되는 상태. 수면상태나 마취상태와는 다르며, 의식은 존재한다.

통증 완화를 위한 기본은 다양한 종별 동물에서의 임상증상을 인지할 수 있는 능력에서 출발한다. 동물은 말을 할 수 없기 때문에, 동물관리자와 연구자는 동물의 통증과 고통을 충분히 인식할 수 있도록 교육과 훈련이 필수적이다. 고통으로 인해 대사적, 생리적, 행동학적 요소가 변함을 관찰할 수 있기 때문이다. 대표적인 변화로는 생리적 행동, 글루코코르티코이드(glucocorticoid)의 증가, 카테콜아민 수치 증가를 들 수 있다. 체중, 외형과 자세, 신경질적인 행동 혹은 비신경질적인 행동 등의 변화는 통증과 고통에 접근하는 일반적인 관찰항목으로서 매우 유용하다. 특정한 연구에서 예상되는 변화는 케이스별로 작성하여 접근해야 한다. 연구자도 통증과 고통에 관련된 전문적인 용어와 징후에 대해 익숙해야 한다(Table 17-3~4).

Table 17-4. 급성통증 징후

Guarding 몸단속	자신을 보호하려고 도망가거나 물려는 시도
Vocalization 신음	영향을 받는 곳을 이용하려고 촉진되거나 힘이 가해질 때 울부짖는 행위
Mutilation 훼손(자해)	자기 신체를 핥거나, 물고, 긁고, 흔들고, 문지르는 행위
Restlessness 불안상태	가만히 있지 못하고 누웠다가 일어나거나 체형을 수시로 바꾸는 행위
Sweating 발한	땀을 흘리는 종(말)
Recumbency 횡와(드러누움)	비정상적으로 긴 시간의 횡와 자세를 유지
Depression 우울함(증)	활동성이 줄어들고, 움직이기 싫어하고, 몸을 세우기 힘들어 함.
Abnormal appearance 비정상적 외견	머리를 숙이고, 배가 주름 잡히고, 구부리고, 얼굴이 일그러지고 창백해지는 행위 등

실험을 계획할 때에는 잠재적인 통증이나 고통을 감소시키는 것에 대하여 고려해야 한다. 게다가 문헌을 찾아서, 빠른 종료시점을 파악하거나 비침습적인 대체법을 결정하는 신중한 예비 실험을 통해 이러한 통증 경감이 이루어지도록 해야 한다. 통증과 고통에 대한 약리학적인 치료는 연구의 필요와 통증/고통의 종류에 따라서 주어져야 한다. 수의사는 이러한 모든 실험계획을 자문해야 하고 연구자와 동물관리자 등에게 의견을 제공할 수 있어야 한다.

아직 마취제, 진통제, 진정제에 대한 종과 계통에 따른 반응은 완벽히 규명되어 있지 않고 개체별로 다른 현상을 보인다. 연구에 따라서 용량의 범위가 넓기 때문에 약제의 사용에 대해서는 매우 보수적인 접근을 해야 한다. 이에 관해서는 참고 문헌이 다양하게 존재하므로 실험에 따라 참고해야 하고, 수의사가 연구자와의 공공의 자원으로서 개체별 기록지의 사용과 관리를 할 필요가 있다.

실험의 과학적 정당성을 손상하지 않는 범위에서 통증과 고통의 최소화에 대한 모든 대안을 고려하도록 제시하는 것은 연구자의 책임이다. 연구자는 모두 통증과 고통 관리에 익숙해야 하며, 아픈 동물은 즉시 수의학적 관리가 이루어지도록 해야 한다(Table 17-5).

Table 17-5. 수술 처치를 받은 경우의 통증징후와 정도, 기간

수술 부위	통증 징후	통증 정도	통증의 지속기간
머리/눈 귀/입	문지르거나 긁고, 스스로 자해하고, 흔들고, 단식, 단수하거나 삼키길 거부하고 움직이지 않으려 하는 시도	중→상	간헐적→연속적
항문 주변	문지르고 핥고, 물고, 이상적인 배변, 배뇨 활동	중→상	간헐적→연속적
뼈	움직이지 않으려 하고, 보행장애, 비정상적인 자세, 몸단속(guarding), 핥기, 자해	중→상: 축 뼈대의 위쪽부분(상완골, 대퇴골)이 더 아프다	간헐적

수술 부위	통증 징후	통증 정도	통증의 지속기간
복부	비정상적 자세(구부림), 식욕부진, 몸단속	불분명한 중간 정도	짧다
흉부	움직이지 않으려 하고 호흡의 변화(빠르고 얕은), 우울증	흉골 접근, 상; 외측 접근, 하→중	연속적
경추	머리와 목의 비정상적 자세, 움직이지 않으려 하고, 걷는 모습이 이상함	중→심각	연속적
흉추와 요추	증상은 거의 없음	가볍다	짧다

17.5.4.1. 동물의 마취

적절한 보정과 마취는 동물복지를 위해서 뿐만 아니라, 재현성 있고 과학적인 실험을 수행하기 위해서도 필요하다. 일반적으로 적절한 보정은 동물에게 주는 고통 또는 불쾌감을 현저히 경감시키고, 실험에서의 조작을 용이하게 하며, 또 사람에게 대한 위험을 방지하기 위해서도 필요하다. 보정의 좋고 나쁨은 경험에 의해 크게 좌우되므로 경험이 적은 실험자는 그 기술을 조속히 습득하여야 한다.

마취방법의 선택은 실험자의 책임에 속하는 것이지만 경험이 적은 실험자는 경험이 풍부한 수의사, 실험동물 전문수의사 또는 마취방법에 숙련된 의사의 지도나 협력을 구하는 것이 좋다. 실험상의 이유로 어쩔 수 없이 무마취하에서 동물실험을 실시하는 경우에는 관련 위원회에서 타당한 사유로 승인된 경우에 한하여 시행하며, 만약의 경우를 대비해 항상 전문수의사의 지도하에 시행하는 것이 좋다. 아울러서, 대개의 마취약은 항정신성 의약품에 포함된다는 점에도 유의해야 한다. 마취약제의 효능은 동물의 종, 나이, 성별, 크기, 건강상태 등에 따라서 다르기 때문에 실험동물에 대한 마취약 투여는 약제의 선택과 함께 수의학적·약리학적 지식 및 기술을 필요로 하므로 실험자는 적극적으로 전문가의 지도를 따르도록 한다.

동물실험의 마취에는 여러 가지 마취약이 사용되고 있으며, 사용목적에 따라 주사마취 또는 흡입마취로 구별한다(Table 17-6~7).

주사마취약은 마취적기(수술적기)에의 도입이 비교적 용이하고, 단시간이긴 하지만 안정된 마취상태를 유지할 수 있으므로 소수술이나 흡입마취 시 마취도입 약으로서 사용된다. 주사마취에서 중요한 것은 투여시 보정을 확실히 해두는 것이다. 동물종 또는 개체에 따라서는 순화를 충분히 하고, 필요가 있으면 보정기구를 써서 확실히 보정하여 실험자의 오조작에 의한 사고를 막는 것이 중요하다. 또 투여조작을 민첩히 함은 물론, 동물에게 주는 아픔을 최소화한다. 마취약은 여러 가지 부작용이나 마취약으로서의 결점을 갖고 있으므로 대개 마

취전투약제 또는 다른 마취약과 병용을 한다.

주사마취의 결점으로서 마취심도의 미묘한 조절이 어려운 점을 들 수 있다. 혹시 마취가 너무 깊은 급성중독 시에는 인공호흡법, 중추성호흡흥분약 및 수액투여 등의 처치를 강구한다. 또, 마취시간의 단시간 연장이 필요한 때에는 마취약의 추가투여보다도 현시점에서는 벤조디아제핀계 등의 항정신성 약을 쓰는 쪽이 안전하고 결과도 좋을 것이다. 어느 경우에도 경험이 풍부한 수의사 또는 동물실험의 경험이 많은 전문가의 조언을 구하는 것이 좋다. 한편, 항정신성 약은 『마약류 관리에 관한 법률』의 적용을 받으므로 그 취급 및 보관 등에 관해서는 충분한 주의가 필요하다.

흡입마취는 주사마취와 비교하여 마취심도의 조절이 용이하여 장시간의 마취를 필요로 하는 실험이나 외과적 수술에 사용되지만, 장시간 동물을 마취상태로 놓는 경우 동물의 생리 상태를 파악하기 위해 심전도, 뇌파, 혈압, 체온, 호기중의 탄산가스농도 등의 패러미터를 모니터링하여 마취 중에는 동물의 생리 상태를 항상 감시하여야 한다.

흡입마취약은 대개 기도자극작용이 강하므로 분비물의 제거에 특히 주의를 요한다. 또, 마취약의 종류에 따라서는 혼합기구 등의 특별한 기구를 필요로 한다. 흡입마취약은 실험목적에 따라 분류사용이 가능한 것도 큰 특징이다. 예를 들어, 아산화질소(N_2O)는 마취작용보다도 진통작용이 강하므로 진통약으로서 이용할 수 있다. 흡입마취약은 사용하는 약물의 물리화학적 특성을 숙지한 다음 사용하는 것이 중요하다. 마취약의 급성중독 시에는 주사마취와 동일한 처치를 강구하여 불필요한 동물의 죽음을 피해야 한다.

Table 17-6. 동물실험에 사용되는 대표적인 마취 및 진통약

종류	약 제	비 고
주 사 마 취 약	Barbiturate ·펜토바비탈 Na(Pentobarbital sodium)	- 피하주사의 모든 경로를 통해 빨리 흡수되나 진통효과는 미비 - 부작용: 호흡중추억제 및 혈압 강하
	·티오펜탈 Na(Thiopental sodium)	- 초단시간 작용, 정맥 주사 시 약물이 혈관외 조직으로 주입되면 자극 심함 (주의요)
	Dissociative anesthetics ·염산 케타민(HCl Ketamine)	- 타액분비와 기관지분비증가로 항콜린제제 병용 투여 추천 - 마취 상태에서 기침, 삼키기 등의 방어적 반사기능 유지
	Hypnotics ·우레탄(Urethane)	- 돌연 변이 유발성과 발암성 보고 - 가루약 용해 제조 시 케미칼 후드 사용 권장

종류	약 제	비 고
	·알파클로랄로즈(α-chloralose) ·트리브로모에탄올(Tribromoethanol) 〈Avertin〉 ·프로포폴(Propofol)	- 비생존성 수술 시 사용 권장 - 형질전환 동물의 생산에 많이 사용 - 약제의 발현이 빠르고 마취 회복도 부드럽고 신속하게 진행됨
흡입 마취 약	Diethyl ether(이더/에테르) N_2O (아산화 질소) Isoflurane(이소플루레인) Enflurane(엔플루레인) ** isoflurane, enflurane 등의 휘발성 액체가스 마취제는 산소와 함께 공급하며 0.5-2%농도로 사용함	- 용이하게 기화하여 마취 관리가 간단 - 인화성, 폭발성으로 흡후드에서 사용하거나 사용자제 필요 - 자극성 취기 및 타액분비 항진 - 단독 사용보다는 다른 마취 약제와 함께 사용 - 마취의 유도, 각성 빠르고 마취 심도 - 조절용이, 인화성, 폭발성 없고, 순환기 억제 작용 적음 - 호흡순환의 억제는 할로테인과 유사하나 간독성 작용이 적음, 이소플루레인보다 마취 유도, 각성 작용은 느림

Table 17-7. 동물별 마취 프로토콜

종류	약 제	비 고
마취 전 투 약	Atropine Sulfate(아트로핀) Xylazine(자일라진, 렘폰) Diazepam(다이아제팜) Acepromazine maleate(아세프로마진) Chlorpromazine(클로로프로마진)	- 타액 및 기관지 분비물 억제 효과, 평활근 이완 - 진정제, 골격근 이완제, 투여량 증가시 작용 - 시간이 길어지긴 하나 작용의 깊이는 증가 안함. 다량 투여 시 과다한 타액 분비 작용 - 가벼운 진정제 - 정신안정제, 작용 빠르고 구토억제 효과 - barbiturate 약제와 병용 시 효과증강, 연장작용 - 중추신경억제제, 대뇌 중추에 선택적으로 작용
근 이 완 제	Succinylcholine chloride(씩시닐콜린) Pancronium bromide(판크로니움) Vecuronium bromide(베큐로니움)	- 탈분극성 근이완제, 야생 동물 포획 시 - 비탈분극성 근이완제 - 판큐로니움에 비해 작용지속시간이 짧으며, 심혈관계에 비교적 안정적
항 염 및 진 통 제	Butorphanol(브토파놀) Acetaminophen(아세트아미노펜) Aspirin(아스피린) Ibuprofen(이부프로펜) Buprenorphine(브푸레놀핀) Fentanyl(펜타닐)	- 몰핀보다 4-7배 강한 작용, 부교감신경억제 작용으로 심장 억제와 호흡감소 - 약한 통증 완화, 해열 작용, 아스피린보다 부작용 적지만 다량 복용 시 간 손상 - 살리실산 유도체, 비마약성, 위장관계 자극 - 비스테로이성 소염제, 프로스타글란딘 합성 억제 - 마약성 진통제 - 임상에서 사용되는 강력한 진통제 중 하나 (몰핀보다 50-100배)

17.5.5. 인도적 종료시점

실험에 쓰이는 동물은 질병의 유도나 실험, 독성으로부터 통증을 경험한다. 경감되지 않는 통증이나 고통을 피하거나 종료하기 위해 실험을 일찍 종료하는 기준을 인도적 종료시점이라고 한다. 인도적 종료시점의 중요한 특징은 실험이 일찍 종료되어도 연구 목적에 영향을 주지 않아야 한다는 것이다. 이상적인 인도적 종료시점은 통증과 고통이 시작되기 전에 연구를 종료하는 것으로 본다. 만약 통증이나 고통이 예상되지 않는다 하더라도 모든 실험계획서에는 예상치 못하는 상황을 다루는 연상적인 계획을 포함해야 한다. 인도적 종료시점의 개발과 사용은 경감되지 않는 통증과 고통의 정도를 줄일 수 있다. 임상적 스코어 시트는 실험 연구에서의 인도적 종료시점의 수립 개발에 이용된다. 스코어 시트는 특정 실험 모델과 관련된 임상증상과 상태를 기록하고 확인하는데 이용된다. 현재 진행 중인 실험에서 예상되는 하나 혹은 여러 개의 임상 증상은 조금 이른 인도적 종료시점을 설정하는데 이용될 수 있다.

인도적 종료시점을 수립하고 이행하는 것은 연구자, 의사, 사육자 공동의 노력을 필요로 한다. 죽음이 임박하거나, 그보다 약간 덜한 동물을 지키거나 인도적으로 안락사하는 절차를 수립하는 것은 연속적으로 죽음으로 이어지는 동물의 수를 줄일 수 있다. 동물의 통증과 고통을 줄일 수 있고, 죽음이 임박한 동물에서 죽은 채로 발견되면 실험에 필요한 조직을 얻을 수 없지만 안락사를 한다면 필요한 조직을 얻을 수 있는 이점이 있다.

증가된 이환율과 치사율이 예상될 때, 최소한 2일마다 동물의 관찰이 권장된다. 다음 관찰 일까지 살아있을 것 같지 않은 동물을 안락사하는 것이 바람직하다. 그 밖에도 종양학, 항암제 연구, 독성 연구, 유전자 변형 동물 모델을 사용하는 연구, 감염 실험을 하는 경우에도 실험계획서 상에 해당 동물에 대한 인도적 종료시점의 방향을 제시해야 한다. 실제로 실험 중에는 연구자와 동물관리자가 연합해서 동물의 일상적인 관찰에 성실히 임해야 하고, 동물의 이상을 발견 시에는 전임수의사(AV: attending veterinarian)에게 수시로 통보하여 의사와 상의하여 종료시점을 결정해야 한다. 실험성격상 동물이 죽을 때까지 기다리다보면 예상하지 못한 시점에서 동물이 죽어버려 원하는 재료를 얻지 못하고 무의미해질 수도 있으므로 연구자에게 있어서도 자신의 연구목적을 수립하기 위해서라도 필요한 과정이다.

17.5.5.1. 인도적 종료시점 적용을 위한 일반적 고려 사항

인도적 종료시점은 일반적인 동물실험의 원칙에 부합하도록 설정하여야 한다. 동물의 고통, 통증 및 불편함을 최소화 시키거나, 과학적 목적에 적합한 종료시점을 미리 설정하여 적용하는 것이 바람직하다.

연구자는 종료시점 설정 시 의사나 관련 위원회와의 협의 사항을 반영하여야 한다.

동물이 빈사상태에 이르기 전에 주의 깊게 관찰하여 초기 종료시점을 설정하여야 한다. 빈사

상태의 동물은 실제로 혼수상태로 사망이 임박해 있으며, 자극에 대한 반응이 없고, 호흡 곤란, 저체온증, 웅크림 등을 동반한다.

독성시험, 감염시험, 백신 효능시험, 종양 연구, 항암제 시험 등에서 동물의 죽음이 종료 시점이 되는 실험은 지양하여야 한다.

17.5.5.2. 올바른 종료시점 선정 방법

종료시점 선정 시 다음 사항을 미리 고려하여야 한다.

- 적절한 동물 관찰(행동, 생리상태 등)로 정상상태 사전 숙지
- 관찰 목표치 설정
- 해당 실험환경에서 통증, 고통의 가장 중요한 지표 결정
 - 가장 중요한 전구증상을 결정하여 초기 종료시점의 증상을 구분
- 실험의 목적과 예상되는 결과를 명확하게 숙지해야 함

정상적인 동물은 하루 1회 관찰이 필요하나, 실험의 특정 기간이나 부작용이 시작되는 기간에는 하루에 2~3회 관찰이 필요하며, 잠재적 통증, 고통이 증가하면 관찰 빈도도 증가시켜야 한다. 특히, 일부 감염 실험 및 독성 평가의 경우 높은 빈도의 관찰이 요구된다(예, 매시간). 동물 관찰은 일반적으로 주간(실내등이 켜져 있을 때)에 이루어져야 한다. 관찰 일정은 수의사와 협의를 거치거나, 대개는 연구자가 결정한다. 예비 실험을 통해 초기 종료시점 결정에 필요한 관찰 빈도를 결정할 수도 있는데, 이는 본 실험의 정확성을 위한 그룹의 크기 결정과 본 실험 수행자의 훈련과 경험 축적에 도움이 된다.

동물 관찰의 주요 지표는 다음과 같다.

- 체중 변화
- 사료 및 음수 섭취 변화
- 외형 변화
- 임상 증상 : 심박수, 호흡수 등
- 자극하지 않았을 때 행동 변화(통증 및 고통의 유의한 행동지표)
 - 감소: 털 고르기, 쳇바퀴 달리기, 사료섭취, 음수섭취, 기어오르기 등
 - 증가: 휴식, 행동 정지, 굶기(만성 통증 시)
- 외부 자극(소음, 빛 자극, 물리적 자극 등) 시 행동 반응
- 감염실험 등에서 저체온증
 - 저체온증은 동물 상태 악화의 중요한 지표임
 - 세균감염 마우스는 34℃ 이하 시 치명적임

동물 관찰결과는 각 지표별로 채점한 후 점수를 누적하여 통증 및 고통의 정도를 판단하는데 활용할 수 있는데, 일반적으로 쓰이는 방법은 Table 17-8과 같다.

Table 17-8. 동물의 통증 및 고통 평가를 위한 누적 점수 이용법

지표	점수	증상	판단 및 조치
체중 변화	0	정상	각 지표별 점수의 합계가 3점 이상이면 수의사에게 즉시 알린 후 인도적 종료 여부에 대해 협의 또는 자문을 받아서 안락사 시기를 결정함.
	1	10% 이하 체중 감소	
	2	10~20% 체중 감소	
	3	20% 이상 체중 감소	
외모 변화	0	정상	
	1	털 고르기 감소	
	2	거친 털, 콧물, 눈물	
	3	매우 거친 털, 비정상 자세	
행동 변화	0	정상	
	1	미세한 변화 ; 절뚝거림, 투여 부위에 관심	
	2	비정상 ; 행동 감소, 활성 저하	
	3	신음, 자해, 매우 불안해하거나 움직이지 않음	

동물 관찰에 대한 명확한 개인별 책임과 보고체계를 확립해 두어야 하며, 관찰자가 이상 증상을 관찰하였을 경우에는 즉시 수의사와 연구책임자에게 보고하여야 한다. 침습적 연구의 경우에는 예상하지 못한 부작용이 발생할 수 있으므로, 사전에 이에 대한 대책을 마련해 두어야 한다. 정확한 관찰을 위해서는 관찰자에 대한 훈련이 필요한데, 관찰자 훈련에 대한 책임은 연구책임자에게 있으며, 관찰을 통해 정상 생리 수치, 행동 및 상태를 평가하는 훈련이 필요하다.

17.5.5.3. 연구주제별 종료시점 선정 가이드라인

주요 연구주제별 종료시점 선정은 다음을 참고하면 된다.

- 단일클론항체 생산
 - 복수 또는 종양에 따른 체중 증가로 인한 동물의 통증 및 고통이 없어야 함
 - 복수 추출은 2회까지 허용할 수 있으나, 두 번째 복수 추출은 전신마취 상태에서 수행하여야 함
 - Hybridoma 세포 주입 후 첫 주(복수가 차기 전)에는 매일 1회 동물을 관찰하다가, 복부 부종이 보이면 매일 최소 2회 관찰

- 고통의 지표: 움직임 감소, 웅크림, 거친 털, 힘든 호흡, 체중 감소 등
- 종양 연구
 - 동물모델을 활용한 모든 종양 연구에서 동물의 잠재적 통증 및 고통이 최소화 될 수 있게 종료시점을 선정
 - 일반적 종양 실험 시, 종양의 무게가 체중의 5%를 초과하면 안 되는데, 예를 들면, 체중이 25g인 마우스에서는 종양의 직경이 17mm, 250g인 랫드에서는 35mm 정도의 피하 종양까지 허용될 수 있으며, 효능평가의 경우에는 체중의 10% 정도까지 가능함
 - 종료시점
 - 종양이 정상 신체기능을 방해하거나 종양 부위에 통증 및 고통을 야기하는 경우
 - 정상 체중과 비교하여 20% 이상 체중이 감소한 경우(종양의 무게를 고려할 필요 있음)
 - 종양 부위의 궤양 및 감염
 - 종양 주변 조직의 침윤
 - 영구적 상처 유발
- 급성독성시험
 - 법적 허가 심사를 위한 경우
 - 연구책임자는 심사기관으로부터 해당 시험이 필요함을 명시한 서류를 제공받아 기관의 동물실험 또는 실험동물 관련 위원회에 제출하여야 함
 - 연구책임자는 *in vitro* 대체시험법이 심사기관에서 인정되지 않았고, 동일한 동물시험이 이전에 수행된 적이 없다는 것을 기관의 동물실험 또는 실험동물 관련 위원회에 증명하여야 함
 - 효능이 알려지지 않은 화합물 시험의 경우, 종료시점을 결정하는 예비 시험(pilot study)을 실시하는 것이 효과적임
 - 적은 수의 동물을 이용하여 이환율(morbidity), 시간 경과에 따른 영향, 관찰빈도를 결정함(초기 종료시점 결정)
- 만성독성시험, 발암성시험, 노화 관련 연구
 - 해당 실험동물의 생존을 중간값 또는 그 이상 실험하는 경우, 반드시 수의사와 협의하여 안락사를 위한 종료시점의 범위를 확립하여야 함
 - 발암성시험의 경우 시험 전에 미리 안락사 기준을 수의사와 결정해야 함
- 통증 연구
 - 실험동물은 실험 목적에 부합하는 최소한의 고통에만 노출되어야 함
 - 실험 기간과 실험동물의 수를 최소화하여야 함

- 통증 유발을 위해 역치가를 적용함
- 급성 모델의 경우, 결과를 얻은 후 가능한 빨리 통증을 종료시킴
- 회피 시험 외 다른 시험은 권장하지 않음
- 만성 통증 시험 시, 적절한 진통제를 계속 투여함
 - 예외: 연구책임자가 진통제가 시험에 영향을 준다는 증거를 제출하고, 이를 기관의 관련 위원회가 승인한 경우
- 근이완제에 의해 마비된 동물을 통증 시험에 사용하는 경우 반드시 전신마취 또는 신경의 감각능을 제거하는 외과적 수술을 수행
- 감염연구, 백신시험
 - 감염 실험에서, 동물의 통증 및 고통의 가능성을 최소화할 수 있는 종료시점을 결정
 - Protective Dose 50(PD₅₀) 시험은 항감염 연구 후 진행
 - 감염 실험의 경우, 체중 20% 이상 감소, 체온 4℃ 이상 저하를 종료시점으로 결정

17.5.6. 안락사

실험을 종료한 동물은 '안락사' 처치를 해야 한다. 질병에 의해 회복의 기미가 없다고 판단된 실험동물이나 번식, 생산의 역할을 종료한 실험동물에 대해서도 동일한 생각으로 임해야 하며, 목적이 없이 마냥 사육을 계속해서는 아니 된다. 단, 귀중한 야생 및 야생유래의 동물 종에 있어서는 실험목적에 적합하고 또한 동물에게 과도한 고통을 부여하지 않는 범위에서 반복해서 병용하거나, 실험종료 후 주위의 안전성을 해치지 않는 범위에서 그 동물을 다른 영역에서 활용하는 것에도 동물실험 또는 실험동물 관련 위원회의 이해를 구해야 한다. 실험자는 안락사를 수행함에 있어서 동물의 유효이용(다중이용)이라는 차원에서 가능한 한 많은 시료를 채취하고 정보를 얻으려는 노력을 할 필요도 있다. 물론 대수술을 동일한 동물에게 반복해서 실시하지 않아야 한다. 안락사란 동물에게 고통을 오래 부여하지 않도록 가능한 단시간에 의식을 소실시켜 죽음에 이르게 하는 것이다. 동물실험에서의 안락사 방법은 향정신성약물의 과잉투여에 의한 방법이 일반적이며, 대부분의 동물 종은 바비탈계 약제의 정맥 내 또는 복강 내 과량투여에 의해 신속히 인도적으로 죽음에 이르게 할 수 있다. 소동물의 경우에는 이산화탄소에 의한 질식사 유도 후 추가적인 경추 탈구 등의 물리적인 방법도 많이 이용되고 있다.

17.5.6.1. 안락사의 기준

안락사를 시행할 때에는 전문적인 기술을 소유한 전문수의사가 직접 수행하거나, 전문수의사의 관리 하에서 숙련된 자가 다음의 기준에 적합하게 수행하여야 한다.

- 아픔을 수반하지 않고 치사시킬 수 있을 것
- 의식소실까지에 요하는 시간이 짧을 것
- 치사에 이르는 시간이 짧을 것
- 확실할 것
- 시행자에게 안전할 것
- 심리적 스트레스가 적을 것
- 실험 목적, 필요성에의 적합성이 높을 것
- 시행자 및 주위 사람에의 정서적인 영향이 적을 것
- 경제성
- 병리조직학적 평가에 대한 적합성이 높을 것
- 약물의 효력과 폐해를 고려할 것

17.5.6.2. 안락사 방법

동물의 종 및 나이, 보정의 이용, 안락사를 수행하는 개인의 기술, 기타 다른 고려사항들 등에 따라 방법의 선택은 달라진다. 실험의 준비단계에서부터, 안락사 방법은 연구 목적과 연계하여 검토되어야 한다. 방법의 선택에 있어서는 안락사후의 채료채취나 검색에 장애가 되지 않도록 실험의 목적에 맞게 선택할 필요가 있다. 안락사에 관해서는 외견상 잔혹성만으로 그 적부를 판단해서는 아니 된다. 예를 들면, 단두기에 의한 단두는 외견상 잔혹한 인상을 주지만 예리한 단두기를 이용하는 것은 순간적인 처분이 가능하므로 고통을 주지 않으며, 효소활성 등의 생화학적 지표의 검토에도 필수적인 방법이다. 한편, 석시닐콜린 클로라이드와 같은 근이완제의 사용은 외견상 고통이 적어 보이지만 의식의 소실을 수반하지 않으므로 부적절한 처치이다. 근래에는 채취재료의 안정성을 도모하기 위해 소동물에 대한 마이크로웨이브법 등도 시도되고 있다.

안락사에 대한 2013 미국수의사회 가이드라인(AVMA, 2013)에는 안락사 방법을 허용가능(acceptable), 조건부 허용(Acceptable With Conditions Methods), 허용불가(unacceptable)로 분류하고 적절한 사용을 권장하고 있다.

농림축산검역본부에서 권고하고 있는 안락사 방법은 다음과 같다.

- 허용 가능
 - 바비튜레이트계(Barbiturates): (대부분의 종)
 - 이산화탄소(CO₂) - 전용통에 든 가스만 허용: 소형 실험동물(마우스, 랫드), 조류, 고양이,

개, 토끼, 돼지 등

- 흡입 마취제: 대부분의 종
- 전용 마이크로웨이브 조사: 마우스, 랫드
- Tricaine methane sulfate (TMS, MS222): 물고기, 양서류
- Benzocaine hydrochloride: 물고기, 양서류
- Captive penetrating bolt: 말, 반추류, 돼지 등 큰 동물 종
- 조건부 허용 (과학적 정당성에 기초하여 관련 위원회에서 승인한 경우만)
 - 경추 탈골: 작은 설치류(마우스, 200g 이하 랫드), 토끼(1kg 이하), 조류
 - 단두법: 설치류, 조류 등
 - 골제거: 일부 변온동물 종
 - 심마취 상태에서 적용하는 다양한 약리학적 및 물리학적 방법: 대부분의 종
 - 이더(Ether): 많은 종에 적합하나, 사람에게에는 위험
- 허용 불가능

허용이 불가능한 방법은 아래와 같다(Table 17-9). 다만, 연구목적 상 아래의 방법이 불가피한 경우 반드시 해당 동물을 심마취한 후 적용해야 하며, 이에 대해서는 관련 위원회의 철저한 검토가 선행되어야 한다.

Table 17-9. 허용이 불가능한 안락사 방법

방 법	사 유
혈관 내 공기 주입법 (Air embolism)	• 해당 동물에 경련 및 고통스런 소리 유발 • 반드시 심마취 된 동물에서만 처치되어야 함
근이완제 단독 사용	• 염화칼륨, 석시닐콜린 클로라이드 등 해당 • 의식소실 전 호흡근이 마비되어 해당 동물이 마비된 후부터 죽기 전까지 고통과 통증을 유발 • 반드시 심마취 된 동물에서만 처치되어야 함
방혈	• 반드시 심마취 된 동물에서만 수행되어야 함
급속 냉동	• 불가피한 경우 심마취 후 수행되어야 함
기절	• 단독 적용하여 죽음을 유발할 수 없으므로, 기절 후 즉각적인 죽음을 유발하는 방법을 병행해야 함
머리 타격법	• 대부분 종에서 부적합
소각방법(burning)	• 화학약품 또는 열에 의한 소각방법을 이용한 죽음 유발은 부적합
Chloral hydrate 사용	• 개, 고양이, 및 작은 포유동물에 부적합
Chloroform 사용	• 간 독성 물질 및 발암유발 물질로 인체에 유해함
Cyanide 사용	• 인체에 유해하며, 안락사 처리자에게 심적 불쾌감유발

방 법	사 유
감압법 (Decompression)	• 동물에 심한 고통이 유발하고 미성숙동물의 경우는 장시간의 처리가 요구되며, 사고로 압력이 회복될 경우 동물이 되살아날 가능성 존재 • 의식소실 상태에서 출혈, 구토, 경련 등이 나타날 수 있어 안락사 처리자에게 심적 불쾌감 유발
익사	• 부적합(비인도적인 방법)
포르말린 침지	• 살아있는 동물을 포르말린 침지하는 것은 비인도적임
가정용품 또는 유기용매제	• 부적합
저체온증 유발	• 부적합
질식	• 부적합
Strychnine(스트리키닌) 사용	• 부적합(매우 극심한 경련과 고통스런 근육축 유발)
Tricaine methane sulfonate (TMS, MS 222)	• 식용 목적의 물고기 등에 사용하면 안 됨
드라이아이스 발생 CO ₂ 사용	• 부적합

17.5.6.3. 안락사 처치 시의 주의사항

안락사는 확실하고 안정된 기술을 몸에 익힌 사람이 실시하여야 한다. 특히, 과량의 마취제를 투여하는 경우에는 원칙적으로 수의사, 또는 의사의 지도하에서 또는 그에 상응하는 지식, 기술을 보유한 자가 수행하도록 한다. 물리적 방법을 이용하는 경우도 숙련된 연구자나 그에 상응하는 지식, 기술을 보유한 자가 수행하도록 한다.

안락사를 처치할 때에는 다음 사항에 주의한다.

- 처치 전에 동물에게 불안감을 주어서는 아니 된다. 살아있는 동일한 군의 다른 동물이 이변을 느끼지 않도록 배려할 필요가 있다.
- 처치 후 의식을 소실하기까지의 시간을 가능한 한 짧게 하는 것이 원칙이다.
- 이더는 효과적이지만 인화성, 폭발성이 있으므로 주의하여 취급한다. 최근 외국에서는 사용을 금기하는 경향이다.
- 이산화탄소는 설치류 동물에 보편적으로 사용되지만 동물을 케이지에 넣은채로 가스 챔버에 넣고서 1분에 가스 농도가 20%씩, 5분간에 100% 주입되도록 투입하는 것이 좋다.
- 신생아 동물은 저산소와 높은 이산화탄소 농도의 환경에 강하며, 드라이아이스를 이용한 저산소증에 의한 안락사는 적합하지 않다. 급속동결에 의한 방법도 도입마취 없이 단독으로 수행하는 것은 인도적이지 않다고 보는 경향이다.
- 신생아 설치류 동물은 경추탈구법이나 단두법을 사용할 수 있으나 관련 위원회의 심의를

필요로 한다.

- 15일령까지의 마우스와 랫드 및 햄스터의 태아와 34일령까지의 기니픽의 태아는 지각신경의 발달이 충분하지 않은 것으로 인정되고 있어서, 모체로부터의 신속한 제거에 의한 사망을 유도할 수 있다.
- 15일령부터 분만까지의 마우스, 랫드 및 햄스터의 태아와 35일령부터 출생까지의 기니픽의 태아는 통증을 지각하는 것으로 알려져, 주사마취에 의한 안락사가 필요하다. 이산화탄소에 대한 저항성을 고려하여 다양한 흡입마취제에 의한 안락사의 시도가 필요하다.
- 단두법은 설치류 동물에서 적용될 수 있지만, 기본적으로 동물이 무의식하에서 수행할 필요가 있고 의식하에서 시행하고자 할 때에는 관련 위원회의 승인을 필요로 한다.
- 경추탈구도 설치류 동물에서 적용될 수 있지만, 이산화탄소에 의한 질식사 유도후에 시행되어야 하며, 체중 200그램 이상의 랫드에서는 적합하지 않다.
- 사망 확인을 소홀히 해서는 아니 된다. 호흡 정지만이 아닌 심박동 정지의 확인도 필요하다. 특히, 탄산가스로 심마취된 동물은 호흡정지 후에도 심장은 박동을 계속해 소생하는 경우가 종종 있으므로 주의하여야 한다.
- 클로로포름 등 인체에 유독한 발암성이 의심되는 것은 사용에 신중을 기해야 한다. 사용을 할 수 밖에 없는 경우에는 케미칼(흡) 후드 내에서 처치하도록 한다.
- 안락사의 작업은 실험동물관계자 이외의 일반인이 보는 장소에서는 피해야 하며, 사체는 외부에서 보이지 않도록 검은 주머니에 수납하여 운반한다.
- 이더로 안락사시킨 동물의 사체를 수용하는 주머니는 이더를 완전히 휘발시킨 후에 밀봉 처리를 하지 않으면 수납 중 또는 소각시에 폭발할 가능성이 있으므로 주의해야 한다. 보관하는 장소는 일반적으로 실험대의 시약장에 보관하는 경우가 많지만, 폭발방재 처리가 된 방폭 냉장고(anti-explosive refrigerator)에 보관하는 것이 필요하다.

REFERENCES

1. 농림축산검역본부 · 식품의약품안전처. 동물실험 및/또는 실험동물 관련 위원회(IACUC) 표준운영 가이드라인. 2017.
2. 농림축산검역본부 · 한국실험동물수의사회. 동물실험계획서 심의 가이드라인(1). 2014.
3. American Veterinary Medical Association (AVMA). AVMA Guidelines for the Euthanasia of Animals: 2013 Edition. Available: <https://www.avma.org/policies/avma-guidelines-euthanasia-animals>. [accessed 10 December 2019].
4. International Association for the Study of Pain (IASP). Ethical standards for investigations of experimental pain in animals. Pain, 1980 ; 9 : 141-143.
5. National Institutes of Health (NIH). Guidelines for Euthanasia of Rodents Using Carbon Dioxide. Available: https://oacu.oir.nih.gov/sites/default/files/uploads/arac-guidelines/b5-2017_rodent_euthanasia-adult_final_1-25-17.pdf [accessed 27 December 2019].
6. National Research Council. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals, 8th ed. Washington, D.C. : The National Academies Press ; 2011.
7. Phipatanakul, W., & Wood, R. A. Allergens of Animal and Biological Systems. In Fleming, D. O., & Hunt, D. L. (Eds.). Biological safety: Principles and practices 4th ed. Washington, DC, USA: ASM Press. pp. 241-251. 2004.
8. Public Health Agency of Canada. Animal Work Considerations. In: Canadian Biosafety Handbook (CBH). 2nd ed. Ottawa, Public Health Agency of Canada. 2016. 155-176.
9. Public Health Agency of Canada. Canadian Biosafety Standard, 2nd ed. Available: <http://canadianbiosafetystandards.collaboration.gc.ca>. [accessed 10 December 2019].
10. World Organisation for Animal Health (WOAH 또는 OIE). Terrestrial Code 7.2. Transport of animals by sea. Paris: OIE; 2017.
11. World Organisation for Animal Health (WOAH 또는 OIE). Terrestrial Code 7.3. Transport of animals by land. Paris: OIE; 2017.
12. World Organisation for Animal Health (WOAH 또는 OIE). Terrestrial Code 7.4. Transport of animals by air. Paris: OIE; 2017.
13. World Organisation for Animal Health (WOAH 또는 OIE). Terrestrial Code 7.8. Use of animals in research and education. Paris: OIE; 2017.

18

야생동물 실험 시 생물안전

김범석(전북대학교)·김용관(국립야생동물질병관리원)·한재익(전북대학교 수의과대학)

야생동물의 관리는 토지관리의 본질적인 부분이다. 이러한 관리절차는 수세기에 걸쳐 종종 일반적인 관리절차를 발전시켜, 질병통제 및 작물보호, 식량 및 스포츠를 위한 일상적인 병해충관리(pest management)의 일부가 되었다. 또한 야생동물은 환경건강의 지표로 사용된다. 최근에는 생물다양성보전의 위협에 대한 대중인식이 높아짐에 따라 멸종위기종의 상태를 개선하기 위한 관리가 자주 수행된다. 사회와 환경이 변화함에 따라 야생동물의 관리활동 대응 문제가 점점 더 중요해지고 있다(Julie & Robbie, 2010).

18.1 야생동물 감염병 조사의 필요성

18.1.1 야생동물 질병으로 인한 공중보건 및 생태계 위협 증가

산림녹화에 따른 야생동물 밀도 증가, 유해 야생동물 퇴치사업의 증가, 야생동물 수렵과 밀렵 증가, 야생동물 생산품의 교역과 거래 증가, 국제적인 교역의 증가, 인간과 동물 및 동물제품의 전세계적인 이동, 기후 변화 등 현대사회의 특성은 뚜렷한 지리적 분포를 지니고 있던 인수공통 감염병의 빠른 전파를 초래하고 있다(Heymann, 2014). 또한 야생 서식지의 대규모 개간과 진출에 따라 야생동물과 사람, 가축과의 생활환경의 경계가 모호해지면서 접촉이 점차 증가하고 있으며, 이로 인해 야생동물 유래 감염병의 상호 전파가 증가하여 피해를 입는 사례가 증가하고 있다. 2011년 세계보건기구는 최근 20년간 사람에게 발생한 신종 감염병 중 60%가 야생동물에서 유래한 인수공통감염병임을 발표하였다.

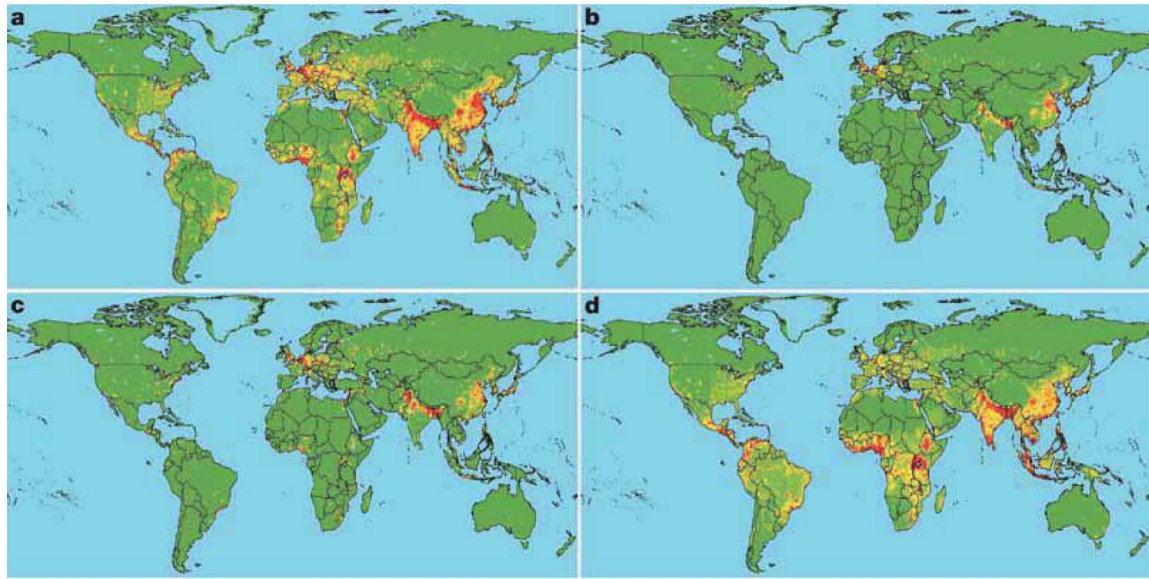
런던동물학회(Zoological society of london, ZSL)와 미국 조지아대(University of georgia), 콜롬비아대(Columbia university) 지구연구소(Earth institute) 연구진이 수행한 1940년부터 2004년까지 나타난 335개의 질병 분석에 따르면(Nature 2008) 신종감염병 발생의 60%는 ‘인간이 아닌 동물(non-human animal)’에서 비롯됐다고 보고하였다. 특히 발병의 71%가 ‘야생동물의 병원체에서 비롯된 것’이라고 보고하였다(Table 18-1). 연구진은 야생동물에서 비롯된 이런 치명적 감염병이 시간이 지날수록, 그리고 21세기에 들어서면서 현격히 증가해 왔다고 밝혔다. 그리고, 인간이 야생동물

유래 병원체에 대한 항체를 갖고 있지 않기 때문에 그 결과는 감염병 창궐시 매우 대단히 치명적일 것이라고 경고한 바 있다. 동물을 통한 인간 감염의 대표적인 신변종감염병으로 중국에서 발생한 사스(2003년), H7N9 신종인플루엔자(2013년 중국), 2012년 MERS-CoV, 2019년 COVID-19 등을 들 수 있다.

Table 18-1. 야생동물 유래 인수공통감염병의 해외 주요 발생 사례

병명(병원체)	발생년도	관련된 야생동물 숙주	피해 규모
급성호흡기증후군 (SARS-coronavirus)	2002 - 2004년	소형맹수류(사향고양이 등, 중국시장에서 거래 추정)	2002-2003년 2년간 17개국에서 사망자 775명 발생
니파바이러스감염증 (Hendravirus/Nipah virus)	1994 - 2014년	과일박쥐. 과일박쥐로부터 병원체 감염된 가축(말 등)으로부터 전파	2001-2002년간 2개국에서 사망자 159명 발생
조류인플루엔자 인체감염증(AI virus-H5N1)	2004 - 2008년	철새와 가금류(닭, 오리 등) 사이에서 전파	2003-2014년간 4개국에서 133명 사망자 발생
중동호흡기증후군 (MERS-CoV)	2014년	박쥐, 낙타류(낙타, 라마 등). 호흡감염, 추가경로 연구 중	2014년 약 22개국에서 사망자 101명 발생, 2015년 국내 186명 감염, 사망자 38명 발생
에볼라 출혈열 (Ebola virus)	2014년	유인원, 과일박쥐 등. 야생동물 수렵 및 섭식과정 중 감염된 개체의 체액 등 분비물 접촉	1976-2014년간 6개국에서 4401명 사망자 발생

한반도는 야생동물 신종질병의 고위험지역(핫스팟)인 중국과 지리적으로 근접하며, 대규모 인적·물적 교류를 다양하게 진행하고 있고, 사람과 가축의 밀도가 높고, 야생동물의 밀거래·밀수입에 의한 불법 사육, 도시 내 야생동물의 증가 등으로 인해 야생동물 유래 신종감염병의 발생 가능성이 높은 ‘위험지역 핫스팟’으로 분류되어 야생동물 질병의 상시 감시가 중요하다(Jones *et al.*, 2008) (Figure 18-1).



(붉은색: 고위험지역, 노란색: 위험지역, 녹색: 저위험지역).

(A) 야생동물 유래 인수공통감염병 모식도 (B) 비야생동물 유래 인수공통감염병 모식도

(C) 항생제 내성 병원균 모식도 (D) 벡터 매개 병원균 모식도(Kate *et al.*, 2008).

Figure 18-1. 전 세계 야생동물 유래 신종감염병 확산 모식도

18.1.2. 야생동물 질병으로 인한 생태계 균형 파괴

야생동물 질병의 국가간 전파는 질병이 없었던 해당 국가의 특정 동물 개체군의 대규모 폐사를 초래하고, 번식에 영향을 미쳐 멸종을 가속화시킬 수 있어, 생태계에 위협이 될 수 있는 질병에 대해서 지속적인 감시가 필요하다(Table 18-2).

Table 18-2. 국외 주요 야생동물 질병 유입에 따른 피해사례

질병명	대상종	내용
항아리곰팡이병	양서류	전세계 양서류의 약 1/3이 멸종위험에 처함
흰코종후군곰팡이	박쥐	북미 박쥐의 개체군 파괴 위험(약 550만 마리 이상 폐사)
청설모 폭스바이러스	청설모	영국 붉은청설모의 멸종 위기
광견병	미국너구리	플로리다의 미국너구리를 수렵 목적으로 서버지니아주 지역으로 이주 시킨 결과, 미국 동북부에 광견병의 급속한 전파 발생
말라리아, 조류폭스바이러스	하와이 토종조류	1800년대 초반 외부에서 조류가 유입되면서 말라리아 감염 모기와 폭스바이러스가 동시에 유입되어, 현재까지 10종 이상의 하와이토종 조류가 멸종

질병명	대상종	내용
아프리카마역	얼룩말, 사육말	스페인에서 나미비아산 얼룩말 도입 후 사육말에 아프리카마역 전파
결핵, 브루셀라	북미들소, 수퓌들소	몬테나 지역의 북미들소를 캐나다로 도입 후 캐나다 수퓌들소에 결핵과 브루셀라가 전파
선회병	무지개송어, 송어	미국산 무지개송어를 영국으로 도입 후 영국 송어에 선회병 전파

18.1.3. 야생동물 질병관리 필요성의 법제화

2014년 『야생생물 보호 및 관리에 관한 법률』의 개정으로 환경부가 야생동물 유래 감염병의 관리 주체로 변경되었으며, 특히 제5절 제34조의3 신설로 환경부장관이 야생동물 질병의 예방과 확산 방지, 체계적인 관리를 위해 5년마다 야생동물 질병 관리 기본계획을 수립·시행하도록 규정되었다. 또한 동 법령 시행규칙 제4조의2에 따라 관리하여야 하는 야생동물 질병 139종이 확정되었다.

법령 개정에 따라 2015년 12월 환경부는 1차 야생동물 질병관리 기본계획을 수립하였으며, 환경부 제3차 자연환경보전 기본계획(2016 ~ 2025)에서도 6대 추진 목표 중 야생생물 보호·복원 분야에 야생동물 질병 인프라 구축, 야생동물 구조·치료기능 강화, 야생동물 질병 중점연구 및 DB 구축을 중점 추진계획으로 규정하였다.

18.1.4. 야생동물 유래 감염병 조사의 조기경보 효과

많은 인수공통감염병은 사람에서 문제를 일으키기 전에 동물에서 문제를 일으키며, 따라서 동물에서 발생하는 초기 단계에 조사할 수 있는 체계를 갖추고 선제적으로 대응하는 것은 사람에서 질병의 유행과 확산을 차단하기 위한 경제적, 사회적으로 효과적인 대응 방법이 될 수 있다 (Figure 18-2).

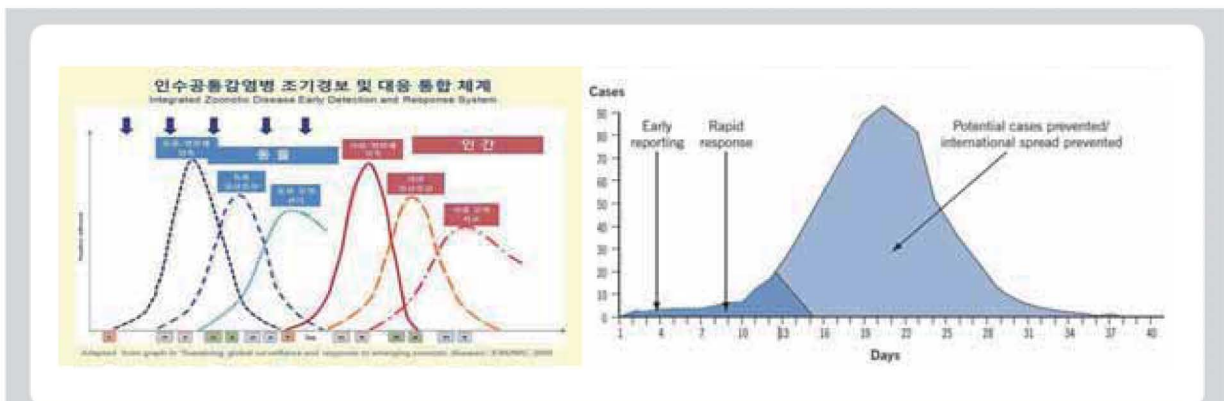


Figure 18-2. 동물에서 인수공통감염병 조사가 갖는 초기 경보 효과와 파급력(WHO; Keusch 등, 2009)

18.2 야생동물 감염병의 연구방법

야생동물은 사람이나 가축과 달리 야생에서 생활하며 사람이나 가축과 간헐적으로 접촉하는 특성이 있다. 그로 인해 사람처럼 생활과정 중 감염병을 발견해 대응하거나, 가축과 같이 사육 과정에서 발생하는 감염병을 진단하고 대응하기는 매우 어렵다. 야생동물에 발생하여 증상을 발현하는 감염병이나 야생동물이 무증상으로 보유하고 있는 감염병 원인체를 조사하기 위해서는 감염병이 발생한(또는 원인체를 보균한 것으로 추정되는) 동물의 사체나 가검물을 확보하는 것이 필요하다. 특히 무증상으로 감염병 원인체를 보균하는 동물의 경우 포획을 통한 시료의 확보가 필수적이다.

야생동물은 출생 후 생활 과정에서 사람과의 접촉을 통한 순응(adaptation) 과정을 거치지 않으므로, 포획과 시료 수집 등의 인위적인 접촉에 대해 생체 내 특징적인 스트레스 반응을 나타낼 수 있다. 그 중 부신수질경로(adrenal medullary pathway)를 통해 나타나는 경악반응(alarm reaction)은 갑작스러운 혈압 상승, 심박수 증가, 혈당량 증가, 골격근으로의 혈류량 증가, 호흡수의 변화, 발한, 동공산대 등의 변화를 동반한다. 포획 과정에서 나타나는 이러한 변화로 인해 야생동물을 포획하는 동안 사망하는 경우도 흔하게 발생하여 실험동물(마우스 등)과 같이 일정 공간에서 사육하며 감염병에 대한 실험을 수행하는 것은 쉽지 않다. 특히 야생동물은 생존을 위해 임상증상을 숨기는 경향이 있어 사육을 통해 감염병의 임상 증상을 관찰하여 기록하는 것도 일반적으로 쉽지 않다.

결과적으로 야생동물의 감염병 연구는 감염병에 노출된 후 증상을 발현하여 사망한 것으로 추정되는 폐사체를 수거하여 사후 부검을 통해 사인을 규명하고 감염병 원인체를 분리 동정하는 과정을 통하거나, 또는 감염병 원인체를 무증상으로 보균할 것으로 추정되는 야생동물 종을 포획하여 필요한 검체를 채취하거나, 안락사 후 부검을 통해 필요한 시료를 채취해 검사를 진행하는 형태로 이루어지는 것이 일반적이다.

18.2.1. 야생동물 시료수집을 위한 포획, 취급, 방출(Julie & Robbie, 2010)

현장에서 대부분의 야생동물 연구는 포획, 마킹, 방출 프로그램을 포함하고 있다. 이 프로그램에 채택된 기술들은 광범위한 결과를 가져올 수 있으므로, 가능하다면 연구대상 야생동물 뿐만 아니라 환경에 있는 다른 동물에 대한 잠재적 부작용을 최소화하는 것이 중요하다.

18.2.1.1. 포획(capture)

포획방법의 선택은 관련 종의 종류와 기술 및 인력의 이용가능성에 따라 이루어져야하며,

잠재적으로 수의과 동물을 포함한다. 포획방법은 함정과 그물의 사용과 같이 물리적일 수 있다. 소형-중형 포유류와 조류는 종종 함정(live trap)에 걸리고 그물은 작은 새와 박쥐를 잡는 가장 일반적인 방법이다. 대형 포유류는 다양한 방법(함정, 그물)으로 포획할 수 있으며 다트를 이용하여 화학적으로 진정시킬 수도 있다. 포획 효율 및 포획관련 폐사율은 방법과 운영자 간에 상당히 다르나 나타나므로, 포획방법을 결정하기 전에 이를 고려해야 한다.

18.2.1.1.1. 함정

이용가능한 기간 동안 효과적이고 안전하게 처리될 수 있는 동물만 잡히는 것이 가장 중요하다. 우리형 함정(cage traps) 세트의 수는 할당된 시간(통상 최대 24시간이지만, 이론적으로 24시간 이내에 한번 함정을 점검하면 동물을 거의 48시간 포획상태로 유지할 수 있음) 내에 확인하고 처리할 수 있을만한 숫자여야 한다. 또한 연구시스템(예, 밤의 포획수/100개의 함정)의 함정 효율의 다양성에 대한 좋은 아이디어를 가지고, 이를 달성할 수 있는지 여부를 확인할 수 있는 것이 좋다. 함정은 필요한 빈도로 점검할 수 없을 경우 안전하게 닫아두거나 열어둘 수 있어야 한다. 잡히거나 함정에 빠져있으면 동물에게 스트레스가 많은 경험이 될 수 있지만, 외상은 다음과 같이 최소화 할 수 있다.

- 노출된 구역을 피함(이를 통해 포식자, 소음 등으로 스트레스를 받을 가능성이 낮아짐)
- 가급적 그늘/뚜껑 및 침구나 유사한 재료를 제공하여, 동물을 진정시킴으로써 물거나 핏줄을 줄일 수 있도록 함(Figures 18-3).



Figure 18-3. 우리형 함정을 이용한 야생동물의 포획 및 운송방법

- 함정(및 동물)이 명확하게 표시되어 있는지 확인. 특히 동물이 처리를 위해 옮겨져 다시 방출되는지 여부를 정확하고 확실하게 하여야 함.
- 빈도 확인. 특히 뽀족뒤쥐(shrews)와 같은 소동물(최소 하루에 두 번이 바람직함)
- 그물을 사용할 경우, 지정된 시간 내에 처리 용량에 접근할 때 그물을 닫을 수 있음. 소동물은 높은 신진대사율을 가지므로 빠르게 상태가 나빠질 수 있으므로, 효율성이 필수적임.

대부분의 우리형 함정은 먹이를 이용한 유인시스템에 의존하지만, 수분 함량이 높은 음식이나 물을 제공하는 것이 좋다. 또한 뽀족뒤쥐와 같은 소형 포유류를 위한 함정을 이용할 경우, 사료(예, 파리 번데기)를 제공해야 한다.

18.2.1.2. 취급(handling)

야생동물은 절차에 필요한 경우가 아니라면 직접 취급해서는 안된다. 만일 취급이 필요하다면, 접촉의 양은 최소로 유지되어야 하며 취급자와 동물의 안전을 고려할 필요가 있다. 야생동물은 물거나 쪼거나 할퀴는 경향이 있으며, 많은 인수공통감염병(예, 렙토스피라, *Cryptosporidium*)의 매개체이므로 야생동물을 다루기 전에 항상 주의를 기울여야 하고 위해성평가를 수행해야 한다. 취급방법은 동물의 종 및 수행해야 할 절차에 따라 달라진다. 따라야 할 핵심 규칙은 다음과 같다.

- 직접 취급은 최소한으로 유지되어야 함.
- 대부분의 동물은 진정효과를 나타내기 때문에 덮는 것을 좋아함. 다만 사슴의 일부 종(예, 문자크, *Muntiacus reevesi*)의 경우 해당되지 않으며 더 많은 스트레스를 받음.
- 취급자는 적절한 종을 다룰 때 자신감과 충분한 역량을 가져야 함.
- 설치류는 꼬리 끝으로 들어올려서는 안됨
- 조류는 신체부속물의 손상을 방지하기 위해 날개와 다리를 포함하여 함께 포박해야 함. 특정 종은 긴 다리와 목을 갖고있기 때문에 물리적 구속에 대한 특정 요구사항이 있을 수 있음. 새들은 늑골과 흉골을 이용하여 풀무(bellows)와 같은 형태로 숨을 쉬기 때문에, 구속방법이 흉골의 통풍운동을 방해하지 않거나 호흡기류를 방해하지 않도록 주의해야 함(Figure 18-4).



Figure 18-4. 야생조류의 포획 후 취급방법의 예시

18.2.1.2.1. 마취제(anaesthesia)

미국의 경우 동물과학절차법(Animal scientific procedures act) Schedule 2(A)에 따라, 마취제가 더 큰 유해와 괴로움을 유발하지 않는 한, 모든 규제된 절차에 따라 마취제를 사용해야 한다. 간단히 말하자면 야생동물의 경우, 본질적으로 고통스럽지 않은 절차(예, 무선송신기 부착)에 취급자의 안전과 동물의 복지를 위해 진정 또는 마취가 필요할 수 있다. 모든 야생동물 마취시, 수의학적 투입과 자문이 처음부터 필요할 수 있다. 투여량 경로 및 회복은 모든 야생동물을 마취하기 전에 수의사와 완전하게 상의해야 한다. 다음의 정보는 참고용이다. 마취제 투여 후 동물이 필요한 마취 정도에 도달하였는지, 그리고 중요한 신체기능이 위험하게 저하되지는 않았는지 모니터링해야 한다. 호흡기 기능과 심장 기능 모두를 면밀히 모니터링 해야 한다. 현장에서 야생동물을 마취할 경우, 흡입 또는 주사 가능한 마취제를 사용할 수 있다.

18.2.1.2.2. 마취제의 흡입

이러한 유형의 마취제는 소형 포유류나 조류에 이용되는 경향이 있다. 휴대용 마취기계 (Figure 18-5) 또는 마취제는 액체 화합물이 거즈 또는 면봉 위에 부어진 챔버에서 전달될 수 있다. 이러한 기계는 마취깊이와 회복을 훨씬 적절히 통제할 수 있으며, 할 수 있을 때마다 이용가능해야 한다. 후자의 장치에서 가스농도는 온도에 따라 다르며, 추운 겨울날씨에는 마취제의 기화가 어려울 수 있다. 모든 휘발성 마취제는 액상일때 자극적이므로, 챔버는 마취제로 젖은 거즈나 면봉과 동물을 분리하도록 설계되어야 한다.



Figure 18-5. 야생곰의 마취방법의 예시

조류의 경우 올바른 마취 깊이를 안전하게 판단하기가 더 어려울 수 있다. 한 쌍의 팽창하지 않는 폐와 팽창하는 다수의 기낭으로 구성된 조류 호흡기시스템은 포유류보다 가스교환이 효율적이므로, 조류는 종종 흡입된 마취제의 효과보다 신속한 반응을 보인다. 또한 기낭에 저장된 가스가 너무 많아 조류가 마취제를 제거하는 속도가 느려질 수 있다. 마취로부터의 회복시, 조류를 측면횡와위(lateral recumbency)로 놓고 몇 분마다 돌려주면 촉진될 수 있다.

18.2.1.2.3. 마취제의 주사

이 방식은 대형 포유류에 일반적으로 이용된다. 이 방식은 함정에 빠졌거나 우리에 갇힌 동물(예, 오소리, 멧돼지)을 대상으로 피하주사기나, 다트를 통한 원거리(예, 멧돼지, 사슴)에서 이용되며 일반적으로 근육을 통해 전달된다.

주사식 마취제로 마취를 유도한 후, 가스형 마취제로 이를 유지한다. 족제비(*Mustela nivalis*)와 같이 매우 활동성이 강한 소동물의 경우, 흡입에 의해 마취가 유도되고 주사에 의해 유지되는 반대의 형태가 될 수도 있다.

특히 주로 이용되는 주사형 약제인 케타민(별도로 사용할 경우)은 반복 사용시 사람에게 정신병을 유발하는 것으로 나타났으므로, 다른 약물(메토미딘)과 함께 혼합하여 사용하지 않는 한 야생동물 마취를 피해야 한다.

18.2.1.2.4. 다트(darting)의 이용

야생동물에 다트를 이용하기 위해 마취총(dart-gun)을 사용하는 것은 전문기술이며 많은 제약을 받을 수 있다. 영국에서 마취총이나 블로우파이프(blow pipe)가 『총기법』 제5조 금지 무기로 분류되므로, 사용 전에 관련 기관으로부터 허가를 받아야 하며 개인 보유수도 제한되어 있다. 자세한 내용은 국가 및 기관에 따라 다를 수 있으므로 항상 자문을 구해야 한다.

다트를 쏠 때, 바늘이 피하지방을 관통하여 근육을 들어갈 수 있도록 동물의 오른쪽 각도로 발사해야 한다. 총의 추진체 압력은 사용자와 동물 사이의 거리에 따라, 다트가 근육에 침투하는데 충분한 속도를 가지도록 하지만, 체강에 들어가는 속도는 그다지 크지 않도록 조정해야 한다. 이 장비를 동물에 사용하기 전에 철저하고 정기적으로 연습하는 것이 중요하다.

18.2.1.3. 시료채취(sampling)

구속에 필요한 진정작용이나 마취가 필요할 수 있지만, 야생동물의 혈액 시료채취 방법이나 용량은 많은 경우 실험동물의 경우와 유사하다. 동물이 저혈량 쇼크(hypovolaemic shock)에 들어가지 않도록 하는 채취수준이나 채취량에 영향을 주는 동물의 건강 및 생리상태에 대해 충분한 주의를 기울여야 한다. 실험동물과 마찬가지로, 필요 이상으로 혈액을 채취해서는 안 되며 덜 침습적인 방법을 사용할 수 있는 곳(예, 타액이나 배설물의 이용, Figure 18-6)을 선택해야만 한다.

털이나 수염(코털)을 가져가야 할 경우, 모낭이 필요하지 않다면 뽑기보다는 절삭/면도가 바람직하다. 수염은 얼굴의 양면에서 똑같이 가져와야 하며, 한 번에 총 수염의 작은 부분만 제거해야 한다. 깃털은 조류의 덜 필수적인 부분(예, 날개보다는 몸통)에서 가져와야 한다.



Figure 18-6. 박쥐의 타액 시료채취법

토굴성(fossorial) 종류 등의 야생동물에서의 감염 위험성이 높으므로, 항균 스프레이 및/또는 외과용 접착제 사용이 침습성 시료채취를 위한 피부 보호를 위해 권장된다.

환경 중에서 뱀조각 등 생물학적 시료나 오염가능성이 있는 환경시료를 채취할 경우 시료 채취용 비닐봉투를 뒤집어서 사용하거나(Figure 18-7) 장갑으로 집은 후 뒤집어서 밀봉하고(Figure 18-8) 이후 2차 보관용 비닐봉투를 사용해 시료를 포장하는 것이 안전하다.



Figure 18-7. 야외활동에서 봉투를 이용한 시료채취순서



장갑을 낀 손으로 시료를 잡고 뒤집는다



장갑에 매듭을 지어 묶고, 봉투로 2차 포장한다

Figure 18-8. 야외활동에서 장갑을 이용한 시료채취순서

18.2.1.4. 마킹(marking)

개별 동물의 인식은 대부분의 야생동물 연구에 중요한 역할을 한다. 마킹은 생존, 지역 특성, 개체군동태, 사회적 행동, 섭식생태학 및 거의 모든 동물생태계에 대한 정보를 제공할 수 있다. 이를 위해 다음과 같은 기술이 이용된다.

- 원격측정: 외부 및 내부, VHF, GPS 및 근접 송신기
- 외부 반지 및 꼬리표(조류 및 박쥐 밴드, 포유류 귀 꼬리표, 날개 꼬리표)
- 물리적 마킹(문신, 모피 클립, 비늘 마킹)
- 내부 마킹(마이크로칩, 어류 와이어태그)
- 자연적 마킹

18.2.1.4.1. 원격계측/GPS 장치

목걸이, 꼬리표, 임플란트 등 다양한 부착방법이 있다. 외부장치는 가능한 무게가 가볍고 동물체중의 5%를 초과해서는 안 된다(3% 미만 권장). 시료채취 후 송신기의 수명이 다한

장치는 제거하거나 또는 원격해제 장치를 이용하는 것이 바람직하다. 체량의 자연적인 성장과 변화를 위한 공간을 허용하도록 목걸이/벨트가 장착되어야 하며, 일부 종에서는 확고한 사항일 수 있다. 예를 들어, 소형-중형 포유류에 목걸이를 채울 때 손가락을 목과 목걸이 사이에 넣어 적절하게 판단하여야 한다.

18.2.1.4.2. 반지 달기

조류를 마킹하는 가장 인정된 방법이다. 영국에서 반지달기는 법적으로 규제를 받지 않으나, 야생조류에 표식이나 꼬리표를 부착하려면 영국 조류학협회(British trust for ornithology)의 허가와 정식 교육이 필요하다. 과학자들은 더 엄격한 허가를 받아야 할 수도 있지만, 다양한 훈련이나 인증이 덜 필요할 수도 있다.

18.2.1.4.3. 꼬리표 달기

동물에 꼬리표를 달 때, 밝은 색은 위장(camouflage)에 영향을 미치고 포식자를 유인하는 역할을 할 수 있으므로 주의해서 사용해야 한다. 또한 꼬리표가 잡초나 식물에 걸릴 가능성이 없도록 주의 깊게 배치해야 하며, 특히 틈이나 구멍을 비집고 지나가는 동물류(예, 박쥐, 쥐)의 경우 잠재적으로 조직손상을 유발할 수 있다.

18.2.1.4.4. 물리적 마킹

모피클리핑(fur clipping)은 개체에 마킹을 하는 비침습적 방법이지만 짧은 기간동안 사용은 제한되어 있다. 대조적으로 문신은 영구적인 표시이며 장기적인 개체군 조사에서 큰 잇점이 있다. 그러나 항상 마취가 필요하며 토굴성 동물의 경우 감염의 위험이 있다. 따라서 문신 부위에 소독 스프레이 또는 크림을 사용하는 것이 좋다.

18.2.1.4.5. 마이크로칩

마이크로칩이나 수동적 집적 자동응답기(passive integrated transponders, PIT tags)의 사용은 동물 마킹기술에서 상대적으로 최근에 개발된 것이며, 많은 소형 포유류와 양서류에서 가장 인기 있는 방법이 되었다. 꼬리표 자체는 작은 실린더 형태(길이 약 12 mm)이고 목덜미 피하에 주입되거나 입과액 구멍에 이식(특히 양서류 및 파충류) 될 수 있다.

이러한 꼬리표의 지속적인 해로운 영향에 대한 강력한 증거는 제시되지 않았지만, 대부분의 연구는 복지, 행동, 성장 및 생존보다는 효능과 비용에 집중하는 편이다. 피하 PIT tags는 때때로 이동될 수 있고, 잠재적으로 견갑골 주위로 움직이거나 몸에서 빠져나가기도 한다는

일화적인 보고가 있다. 또한 근육을 통해 복부에 꼬리표를 이식하는 것은 상대적으로 침습적인 절차이며 주변부에 통증, 괴사 및/또는 염증이 일으킬 가능성이 있다. 또한 경우에 따라 PIT tags가 다른 마킹기술만큼 신뢰성 있게 유지되지 않기도 한다.

18.2.1.4.6. 자연적 마킹

자연적 마킹을 기반으로 하는 개체식별은 활용도가 낮은 개선법이다. 이 이론은 개체식별을 위해 물리적 마킹, 패턴 또는 착색의 사용을 포함하고 있다. 이 방법의 장점은 장시간 처리하지 않아도 식별이 가능하므로 동물에 대한 방해를 최소화 할 수 있으며 비용이 저렴하다. 디지털 사진의 시대에서 많은 사진을 저장해서 쉽게 볼 수 있고 시설간 전송도 용이하다. 이 방법은 현재 여러 종류의 양서류, 고래류, 조류, 치타와 고래상어 등에 이용되었다.

18.2.1.4.7. 침윤성 조직 마킹

낙인, 발가락, 귀와 꼬리 클립과 같은 심각한 조직손상을 일으키는 마킹 기술은 피해야 한다. 원하는 결과를 얻을 수 있는 대체법이 없다면, 연구자는 마킹 절차가 불필요한 조직손상, 통증 및/또는 심한 혈액 손실을 유발하지 않도록 해야 한다. 이러한 절차를 수행할 때에는 적절한 고통 조절이 필요하다.

사용하는 방법은 종 및 연구형태에 따라 달라진다. 마킹 기술을 선택할 때, 가장 덜 침습적이고 식별을 위해 다시 포획할 필요가 없는 방법에 대해 일차적인 고려가 되어야 하며, 연구 기간 동안 계속해서 볼 수 있어야 한다. 또한 마크는 아래와 사항에 해당해야 한다.

- 빠르고 손쉽게 적용 가능해야 함
- 쉽게 눈에 띄고 구별이 가능해야 함
- 모든 연구목적이 충족될 때까지 동물에서 유지되어야 함
- 다양한 꼬리표의 보유율에 의해 편견(bias)이 도입되지 않아야 함
- 건강, 행동, 장수 또는 사회생활에 장기간 악영향을 미치지 않아야 함
- 법적 규제 또는 규정을 준수하여야 함
- 유년기 동물의 성장과 체량의 계절별 변화에도 허용되어야 함

18.2.1.5. 야생동물의 방출

동물들은 수행된 절차로부터 완전히 회복되었을 때, 포획지점에서 되돌려 보내야 한다. 동물이 다쳤거나 병이 났다면 안락사(Table 18-3)가 필요할 수도 있다. 현장에서 가장 인도적인

방출방법은 종류와 조사자의 경험에 달려있다. 조사자는 적절한 경우 대상 동물 또는 비대상 동물의 안락사장비가 있어야 하며, 수의학적 조언을 구해야 하는 대형동물의 경우 24시간 연락이 가능한 번호를 보유해야 한다.

Table 18-3. 야생동물 별 안락사 방법

야생동물 종	제안된 안락사(dispatch) 방법
작은 설치류, 쥐, 새	목의 탈구 또는 가스성 마취제의 과량흡입
토끼	목의 탈구(숙련된 작업자 필요)
고슴도치	가스성 마취제의 과량흡입
오소리	마취제의 과량주사
박쥐	가스성 마취제의 과량흡입
여우, 사슴, 멧돼지	마취제의 과량주사

18.3 미국의 야생환경 질병유행 대응과 생물안전(USGS, 1999)

야생환경에서 질병이 발생하여 대유행으로 진행됨에 따라 많은 동물이 사망하는 사례가 여러 차례 보고되고 있다. 철새의 경우 하루만에 1,000 마리 이상이 폐사하는 경우가 이에 해당한다 (Table 18-4).

Table 18-4. 미국 야생관리구역의 질병 대유행 사례

질병	날짜	위치	주요한 종류	추정 위험군집	사체수	추정 합계	통제노력	진단실험실
불명	1972.08-10	Unit 6와 Yellowleg Flat	고방오리, 쇠오리	5,000	1,500	3,000	없음	없음
납중독	1980.04	Mud Lake	Redhead, 툰드라백조	-	75	200	없음	주정부 진단실험실
납중독	1983.12	Mud Lake	청둥오리, 캐나다 기러기	10,000	-	150	1984년에 위치이동함	주 대학의 수의과대학
불명	1983.01	Mud Lake	사향쥐	3,000	100	500	없음	주 대학의 수의과대학
조류 보툴리눔 중독	1985.07-09	Units 3, 4, 5	물떼새류, 고방오리, 쇠오리	25,000	2,200	10,000	Unit 4에서 배수, 3과 5에서 범람	국가야생보건센터

이러한 야생환경에서 질병 대유행시 폭발적인 상황에 성공적으로 대처할 수있는 능력은 현장 요원이 그들을 대할 준비가 되어 있는지에 달려 있다. 기축이나 가금류의 환경과 달리 야생환경에서의 감염요인은 매우 다양하며, 이는 다수의 야생동물군에 신속하게 확산되는 원인이 되므로 감염된 동물이 질병을 다른 종이나 지역으로 전파하는 것을 예방하기 위해서는 사전 준비가 필수적이다. 미국에서는 이에 대응하기 위한 현장요원을 위한 질병 비상대응계획이 개발되거나 마련되어 있으며, 필요에 따라 개선되고 있다.

질병 통제 활동에 대한 요구 사항은 다양하며 각 상황에 맞게 조정해야하지만 모든 질병 비상대응 계획에는 아래와 같은 일반개념과 기본 생물학적 정보가 포함된다.

I. 계획

A. 필요성 확인

1. 질병 비상사태 시 도움을 줄 수 있는 추가적인 인적자원의 출처. 잠재적으로 다음을 포함함
 - a. 주정부 및 연방정부 기관
 - b. 군대 및 방위군
 - c. 민간 환경보호 기관
 - d. 지역 스포츠 클럽
 - e. 지역 대학
2. 질병통제 운영절차를 위한 장비 및 자원의 출처 및 가용성
3. 특별한 허가사항
 - a. 소각 허가
 - b. 멸종위기종의 자문
 - c. 작업자를 위한 숙박 및 식사시설
 - d. 식량, 물, 피난처 또는 기타 수단을 제공하여 특정 지역에서 야생동물을 유인하고 보유할수 있는 능력
 - e. 겁을 주어 쫓는 수단에 의해 특정 지역에서 야생동물을 축출할 수 있는 능력
 - f. 시료채취, 예방접종 등 야생동물 포획능력

B. 생물학적 정보 기록

1. 일반 구역 내의 일별 및 계절별 야생동물 이동 패턴
2. 멸종위기종 및 우점종의 이동 패턴과 개체군 피크(peaks)
3. 질병의 과거 병력

C. 비상대응 계획 준비

II. 초기 대응

A. 문제 식별

1. 치사율 또는 이환율이 명백해지자마자 자격이 있는 진단실험실에 시체를 제출하여 진단을 받음(배송절차는 제12장 참고)
2. 문제의 범위(예: 종, 야생동물 숫자 및 지정학적 지역)를 결정하기 위해 현장조사를 실시
3. 문제와 관련된 특별한 생물학적, 정치적, 물리적 고려사항을 확인. 다음 단계로 진행하기 전에 전문가의

자문을 얻을 것.

B. 지역의 통제 설정

1. 정당한 경우를 제외하고, 허가받은 인적자원만이 출입할수 있도록 해당 구역을 폐쇄함
2. 질병 통제활동을 위한 전문작업구역을 확인함
 - a. 사체 처분장
 - b. 실험실 조사구역
 - c. 뉴스매체 및 직원을 위한 브리핑 구역
 - d. 주차장
 - e. 도착하는 작업자를 위한 집회구역
 - f. 지휘부
3. 초기 사체를 청소하지만, 질병통제 전문가의 가이드 없이 사체를 처분하지 않음

C. 의사소통

적절한 기관 및 민간의 인적자원에게 자연소멸에 대해 통지함.

III. 질병통제

A. 대응

1. 질병통제활동은 질병, 환경요인, 관련 종 및 기타 상황에 따라 결정됨. 일반적으로 주요 자연소멸과 관련한 활동에는 다음의 사항이 필요함
 - a. 현장에 인적자원, 장비 및 소모품의 반입
 - b. 작업반 구성, 문제에 대한 작업자 브리핑, 임무 할당
 - c. 사체 회수 및 처분
 - d. 사인을 모니터링하여 문제의 원인에 대한 변화를 탐지(자연소멸은 종종 단일 원인 이상을 수반하며 이러한 여러 요인에 따라 다른 통제조치가 필요할 수 있음)
 - e. 인적자원 및 장비의 오염제거
 - f. 뉴스미디어 브리핑 세션 및 '보여주기 위한' 여행

B. 관리

1. 질병관리활동은 종종 다음의 사항을 포함함
 - a. 야생동물 개체군의 재배치, 지역집중, 개체군 분산 등을 포함한 통제된 이동, 제거와 같은 개체군 조절
 - b. 야생동물의 지역 사용을 예방, 유인 또는 유지하기 위한 서식지 조작
 2. 다음의 감염된 환경의 오염제거
 - a. 육지, 물 및 구조물의 화학적 처리
 - b. 공기를 위한 식물과 물의 제거(건조) 및 미생물 파괴를 위한 일광소독(자외선)
- C. 식물을 제거하고 기계적 구조물을 처분하기 위해 통제된 소각작업 진행

IV. 감시(surveillance)

- A. 모니터링: 질병통제 운영이 종료된 후, 추가적인 재발(flare-ups)을 관찰하기 위해 10-30일간 감시하에 있어야 함.
- B. 조사: 이 단계에서는 문제를 일으키고 지속시키는데 도움이 되는 요인에 대한 후속조사를 수행하고, 질병 노출 패턴 및 질병인자의 환경적 저장고(reservoirs)를 식별하기 위해 야생동물 및 환경시료 채취를 수행하기에 적절한 시기이기도 함.

V. 분석

각 질병통제 운영절차는 학습경험을 제공. 무엇이 이행되었는지, 달성된 정도, 발생한 문제 및 어떻게 다르게 수행되어야 했는지를 평가하는 것은 미래의 운영 성공을 위해 중요함.

광범위한 야생동물을 취급하는 연구원들은 인간에게 전염될 수 있는 야생동물 질병에 대한 노출수준이 높아질 수 있다. 질병 전파에는 광견병과 같은 감염된 동물과의 직접접촉, 라임병을 전파시키는 진드기와 같은 매개체와의 접촉, 히스토플라스마증에 감염된 새의 뿔대와 같은 오염된 환경과의 접촉이 포함될 수 있다(Table 18-5).

Field 조사자는 그들이 연구하는 야생동물종의 일반적인 질병이나 연구대상 개체군에서의 상대적인 질병유행에 대해 잘 알고 있어야 한다. 예방접종이나 기타 예방적 처치에 관한 의사의 상담은 일반적으로 인간에 대한 심각한 질병이 연구대상 집단에서 발생할 때 권고된다. 질병에 걸린 조사자는 의학적 도움을 구해야 하고 잠재적으로 위험한 동물, 질병 및 환경조건에 노출된 사실을 의사에게 알려야 한다.

Table 18-5. 질병통제 운영절차에 따른 장비 및 기구

활 동		장비 및 기구
A. 사체 수집		
1. 인적자원 이송	a. 모든 지형 및 4륜 차량, 설상차 b. 에어보트, 카누, 그 외 보트 c. 헬리콥터 d. 긴 장화, 설피	
2. 사체 이송	a. 크고 튼튼한 플라스틱 봉지 b. 뚜껑이 달린 플라스틱 쓰레기통 c. 썰매 및 트레일러 d. 트럭, 보트 e. 끈 달린 테이프 및 용기의 폐쇄를 확보하는 다른 수단	
B. 사체폐기		
1. 매장	a. 도랑이나 구덩이 용 토건장비(불도저, 굴착기) b. 삽 c. 사체에 뿌리는 석회 또는 석유 d. 관청의 매립 허가	
2. 소각	a. 휴대용 소각로 및 연료 b. 해당 지역의 소각장 c. 도랑이나 구덩이 용 토건장비(불도저, 굴착기) d. 관청의 소각 허가 e. 삽	

활 동	장비 및 기구
3. 비료화 처리	f. 소각 플랫폼 제작용 금속 격자 및 콘크리트 블록 g. 열 반사기용 판금 또는 금속 덮개 h. 사체소각용 연료(목재, 석탄, 고무타이어, 석유, 네이팜) i. 소방용 장비 a. 압축처리 목재로 만든 퇴비 저장고 b. 죽은 조류사체 층 사이에 넣을 짚과 거름 c. 사체, 짚, 거름을 이송하기 위한 트럭
C. 위생절차	
1. 환경의 오염제거	a. 화학적 소독제 및 구조체 b. 수역(water areas) 배수를 위한 펌프 및 흡입장비 c. 양동이, 브러쉬 d. 항공기용 분무장비, 트럭 및 보트에 붙은 전원시스템, 손으로 운반되는 분무장치
2. 인적자원 보호 및 예방	a. 우의, 작업복, 고무장갑, 고무덧신, 질병의 기계적 전파 방지용 모자 b. 사람에게 의한 2차 지역에 대한 분무장치 및 화학소독제 c. 세탁물 및 장비의 이송을 위한 플라스틱 봉투 d. 브러쉬, 양동이 e. 일회용 장갑, 모자, 작업복, 덧신
D. Field 의사소통	
1. Field 활동	a. 현장 인적자원들 간의 의사소통을 위한 휴대용 무전기나 휴대전화 b. 작업반과 지휘본부간, 작업반 간의 의사소통을 위한 차량 내 무전기
2. 정보활동	a. 브리핑 문서 준비를 위한 워드프로세서나 타자기 b. 자연소멸(dieoff) 및 통제활동정보를 묘사하는 개략도에 사용되는 지도, 투명필름 등 c. 다른 사람들과 연락하기 위한 전화선 d. 뉴스매체에 보여주기 위한 여행의 교통
E. 감시 및 관찰	
1. Field 활동	a. 야생동물 개체군 및 환경조건을 모니터링 하기위한 저공비행(500ft 이하) 인증을 받은 항공기와 조종사 b. 쌍안경과 스포팅스코프(spottling scopes)
2. 사무실 활동	a. 자연소멸과 관련된 야생동물 개체군 및 진행상황을 추적하기 위한 지도, 투명필름 등 b. 문제 구역에 출입하거나 해당 지역을 떠난 철새 개체군의 이동을 추적하기 위해 다른 사람과 연락하기 위한 전화
F. 야생동물 개체군 및 서식지 처리	
1. 구역 내 야생동물 축출(Denying)	a. 야생동물 개체군 hazing을 위한 항공기, 보트, 스노모빌 등 동력수단 b. 프로판 뇌관 c. 산탄, 꺾어서 여는 샷건 및 안면보호구

활 동	장비 및 기구
2. 특정 구역내 야생동물의 강제수용 및 유지관리	d. 오디오 시스템 및 기타 겁을 주어 쫓는 장치 e. 배수용 펌프 또는 지역 내 물을 채우는 펌프 a. 곡물 등 사료 b. 서식지를 제공하기 위한 펌프와 물 c. 임시피난처를 위한 '사냥 금지' 및 '출입금지 지역' 표시판
G. 야생동물 시료채취 및 모니터링	
1. 야생동물 포획	a. 사출포획망 등 포획장비 b. 야생동물을 포획지역에 유인하기 위한 곡물 등 미끼
2. 야생동물 마킹	a. 페인트, 목줄 등 가시성 마킹장비 b. 다리 밴드나 귀 태그같은 영구 마킹장비 c. 무선송신기와 같은 임시마킹장비

Field 조사자는 질병의 개념을 완전히 인식할 필요가 있으므로 동물집단에 새로운 질병문제가 도입되거나 연구결과로 다른 개체군 및 지역에 질병이 확산되는 것을 피할 수도 있다. 질병의 도입과 확산은 생물학적 감시원, 다른 동물을 유혹하고 포획하는 유인체(decoys), 기존의 개체군을 보충하기 위한 종 도입 또는 방출, 행동연구, 추적이나 검색 기타 목적에 도움을 주기위해 field 연구현장으로 가져온 동물의 결과로서 발생한다. 이러한 모든 동물의 사용에는 과학적 연구 및 야생동물 관리를 위한 수용가능한 방법이 포함된다. 그러나 어떠한 경우에도 광범위한 야생동물 개체군의 복지는 field 연구에 이용되는 동물과 관련된 질병의 위해성에 의해 과도하게 위태롭게 될 수 없다. field 조사자는 ① 새로운 질병 요인들, ② 토착질병, 휴면성 질병 또는 현재 존재하지 않는 질병을 효과적으로 전파시키는 매개체(예, 진드기 및 내부 기생충), ③ 토착질병을 다른 종에게 전파시키는 증폭숙주가 될 수 있는 종의 도입을 최소화하기 위한 적절한 조치를 취할 윤리적 및 직업적 의무를 가진다.

또한, 조사 장소의 고유한 질병에 매우 취약한 동물은, 해당 동물이 질병 조사를 위한 생물학적 감시병(sentinels) 역할을 수행하지 않는 한 적용가능한 예방조치를 취하지 않고 야생으로 방출되어서는 안된다. 생물학적 감시병은 연구목적이 달성된 후 가급적 빨리 승인된 확실한 방법으로 밀접하게 모니터링하고 안락사 시켜야 한다.

질병의 도입 및 확산은 위에서 밝힌 생물학적 과정 외에도 오염된 인적자원, 보급품 및 장비와 같은 기계적 수단에서 발생할 수 있다. 질병예방 조치는 문제가 발생한 후에 시작하는 질병통제 활동보다 훨씬 비용 효율적이다.

미국의 field research 중 야생동물 질병 예방원칙

질병으로부터 자유로운 야생동물의 보호는 다음과 같은 행동에 의하여 지원을 받는다.

1. 모든 동물들은 field 조사지역으로 데려갈 때에는 적절한 건강 인증이 필요하다. 동물을 관찰구역으로 옮길 때 어떤 특정한 시험을 해야하는지 결정하기 위해 주 정부 수의학 사무소와 연락해야 한다.
2. 질병의 위해성이 있는 경우, 조사자와 장비에 적절한 소독절차를 사용해야 한다.
3. 연구현장에서의 질병활동에 대한 사전지식을 습득하여 조사연구를 포함한 행동을 가이드해야 한다.
4. field 조사지역(사육 및 재배치된 야생사육장)으로 옮겨지는 모든 동물들은 고유한 질병문제에 대해 평가되어야만 하며, 질병 도입을 피하기 위한 적절한 조치가 취해져야 한다.
5. 가능한 동물은 야생에 방출되기 15-30일 전에 감시 하에 있어야 하며, 건강한 동물만이 방출되어야만 한다. 이 동물들은 수송 중에 다른 동물과 섞여서는 안되며 감시기간 동안 다른 동물과 격리되어야 한다.
6. 사망한 동물은 관련 종에서 사인을 결정할 능력이 있는 질병진단 실험실에서 검사해야만 한다. 이를 통해 발견한 사항들은 적절한 행동을 가이드하는데 이용되어야 한다.
7. 임상적으로 병징을 보이는 동물은 질병 전문가에 의해 검사되어야만 한다. 자문기구는 이 결과를 연구 지역 내 다른 동물의 안녕을 보호하는데 이용한다.

18.4 야생환경에서의 생물안전 유의사항

야생환경에서의 동물 취급 시 생물안전은 실험실에서의 생물안전과 많은 부분에서 차이가 있다. 동물실험실 생물안전은 가축 및 가금류의 종 특이적인 관리시스템에 따라 시설이 설계되고 환경 자체가 통제된다는 특징이 있으나, 야생환경에서의 동물을 취급할 경우 시설 자체가 자연환경이므로 범위나 통제조치가 손쉽지 않으며 인수공통감염병에 의한 감염우려가 높다는 특징이 있다. 따라서 현행 실험실 기반으로 운영되는 생물안전 조치사항이 야생환경 현장에서 적용되지 않아, 작업자의 안전을 보장하기에는 미흡한 부분이 있는 것도 사실이다¹⁾.

따라서 야생환경에서의 생물안전을 위해서는 작업구역(work place)의 안전과 관련한 위해성과 유해성을 특성화하고, 이 결과에 작업자와 과업(tasks), 도구 및 환경조건과의 관련성을 평가함으로써 잘못될 수 있는 상황을 예측하거나 발굴함으로써 이를 예방하여야 한다.

따라서 야생환경에서 동물을 취급할 경우, 작업자 및 실험설계자는 상황적인 인식(awareness)을 필수적으로 수행하여야 한다. 이를 위해 야생환경에서 실험을 이행하기 전, 물리적·화학적·생물학적 위해성과 유해성에 대해 특성화하고 서식지(habits)에서 이행될 행동절차와 실험절차의 이행과정에 대하여 체계적으로 계획을 수립하여야 한다.

1) 1937-2000간 미국에서 발생한 야외환경에서 생물학자의 직업적 사망원인과 비율을 살펴보면, 비행기 사고가 55%, 교통사고가 8%인 반면 동물관련 사망률은 3% 수준이었다. 사망원인은 질병감염, 뱀에 물림 등이다(Blake, 2003).

이후 생물학적·화학적 노출의 경로(흡입, 흡착, 물림 등 접촉이나 에어로졸에 의한 흡입, 매개체 등)를 고려한 후, 위해성 저감 수단을 마련하여야 한다. 이를 위해 적절한 개인보호구(PPE)의 선택과 함께 필요한 경우 백신을 접종받거나 집합위크샵 또는 교육 등을 통하여 상황적인 인식을 공유하여야 한다.

특히 진드기, 모기 등 매개체에 의한 질병이나 인수공통감염병의 감염에 대한 준비가 필수적이다.

Table 18-6. 야외작업에서의 유해요소

위해요소	유 해 (hazard) 요 소	
물리적 요소	• 통제, 함정, 포획시 손상 • 동물이 차거나, 물거나, 베거나, 할کم • 다트 또는 주사바늘에 찔림 • 저체온증/동상 또는 열 스트레스	• 익사, 낙상, 화상 등 • 날씨, 지형, 외판 지역 • 교통사고(비행기, 선박, 트럭 등) • 의사소통 실패
화학적 요소	• 화학적 부동화 사고 • 소독용 화학물질	• 살충제 및 제초제 등
생물학적 요소	• 독성 식물 • 독성 동물 • 생물독소(보툴리눔, 파상풍, HABs)	• 곤충 및 매개체 유래 질병 • 인수공통감염병

이를 예방하거나 위해성을 저감하기 위한 수단으로는 PPE (Figure 18-9)나 방충제 이용, 철저한 개인위생 또는 상처를 입었을 경우 빠른 의료처치 등의 방법이 있을 수 있다(Table 18-6).



Figure 18-9. 야외활동을 위한 개인보호구의 착용례

PPE로는 일반적인 실험복(①), 전용 보호복(②)이나 안전보호구(③), 장갑(④), 부츠(⑤)나 호흡보호구(⑥) 등이 있으며, PPE의 선택은 환경적 조건과 감염이 가능한 야생동물 질병의 특성에 따라 다르다. 세부적인 PPE의 조건에 대해서는 '제11장 개인보호구'의 세부사항을 참고하도록 한다.

그 외 field work를 위한 PPE의 선택 조건을 설정하기 위해서는 해당 지역의 생물학적·화학적 유해성과 질병에 대해 검토하고 전과경로와 취급절차 등을 고려하고, 연구대상 야생동물이 매개할 수 있는 인수공통감염병에 대하여 숙지하는 것이 중요하다(Table 18-7).

Table 18-7. 야외작업 활동과 조건별 개인보호구 및 안전작업절차와 노출경로(WHB & OPH, 2015)

활동 및 조건	PPE	안전작업절차 및 노출경로
1. 건강하게 살아있는 동물 취급 상당하는 지역적 인수공통감염병 문제 또는 매개체가 없음. 우연한 접촉으로 인한 위험은 최소 수준		노출경로 : 접촉, 매개체
2. 건강하게 살아있는 동물로부터 생물학적 시료 취급 상당하는 지역적 인수공통감염병 문제 또는 매개체가 없음.	 만일 털 수 있다면, 	• 체액이나 생물학적 시료와의 접촉은 위해성을 증가시킬 수 있음 노출경로 : 접촉, 매개체
3. 인수공통감염병 발생이 알려져 있지 않은 관리 환경 또는 연구로부터 생물학적 시료(대변, 소변) 수집 체액이나 조직과의 접촉으로 인한 위해성이 있으나, 알려진 질병이 나타날 위험성은 없음	 만일 털 수 있다면, 	• 프로토콜에 따라 승인된 시료에 라벨을 붙이고 전용 시료 보관장소에서 보관함 노출경로 : 접촉, 매개체
4. 상당하는 지역적 인수공통감염병 또는 매개체가 없는 지역에서 단일동물 폐사의 제출 또는 폐기를 위한 취급 장벽을 이용할 경우 위해성이 최소화됨. 취급 동물의 크기가 클수록 오염기회가 증가하므로, 위해성이 커질 수 있음.	소동물 : 장갑이나 뒤집은 비닐봉투  대동물 : 	• 우려되는 질병의 전파경로에 대한 적절한 예방 조치를 취함 • 차량의 사람 탑승영역 외부(예 : 트럭 화물칸 또는 트렁크)로 운송함 • 부득이하게 사체를 사람 탑승영역에 싣거나, 환경으로 체액이 누출되는 것을 피하려면 사체 봉투를 단단히 감쌌 • 모든 사체는 덮어야 함 노출경로 : 접촉, 매개체
5. 상당하는 인수공통감염병 위해성이 있는 구역에서 단일동물이 폐사하거나, 상당하는 인수공통감염병 위해성이 없는 구역에서 복수의 동물이 폐사하여 이를 제출하거나 폐기를 위한 취급 폐사율 이벤트가 반복되거나 뜻밖인 경우 위해성이 다를 수도 있음(예 : 어린 새들이 물가로 밀려나옴)	소동물 : 장갑이나 뒤집은 비닐봉투  대동물 :   에어로졸 발생 우려시: 	4번의 안전작업절차를 따름. 추가사항: • 잠재적인 질병원인에 대해 야생동물 생물학자에 알리고 야생동물 질병 전문가와 상담함 • 예기치 않은 폐사사건 : 진단평가를 위해 1-5마리의 동물을 제출하고 적절하게 폐기함 • 승인된 장소에 라벨을 붙인 시료를 보관함 • 사람에서의 질병 증상에 대해 잘 알고 있고, 만일 그 증상이 나타나면 의료적 조치를 취함 (의료종사자에게 직무적인 노출 및 잠재적인 노출가능성에 대해 알릴 것) 노출경로 : 접촉, 매개체, 에어로졸

활동 및 조건	PPE	안전작업절차 및 노출경로
6. 다른 실내 또는 실외 업무로 인한 부수적인 노출 다른 작업 임무에서 부수적으로 살아있거나 죽은 동물과 손쉽게 접촉하거나 취급	소동물 : 장갑이나 뒤집은 비닐봉투  대동물 :   	• 적절한 경우, 책임부처 담당자와 의사소통 • 차량의 사람 탑승영역 외부(예 : 트럭 화물칸 또는 트렁크)로 운송함 • 부득이하게 사체를 사람 탑승영역에 싣거나, 환경으로 체액이 누출되는 것을 피하려면 사체 봉투를 단단히 감쌘 • 모든 사체는 덮어야 함 노출경로 : 접촉, 매개체
7. 알려진 인수공통감염병 위해성이 있는 지역으로부터 건강하게 살아있는 동물(또는 시료)의 취급 처리된 종이나 관련 매개체(예 : 감염병, 광견병, 브루셀라증)에 질병이 존재하거나 유출됨	   질병에 적절할 경우: 	• 우려되는 질병의 전파경로에 대한 적절한 예방 조치를 취함 • 사람에서의 질병 증상에 대해 잘 알고있고, 만일 그 증상이 나타나면 의료적 조치를 취함 (의료종사자에게 직무적인 노출 및 잠재적인 노출가능성에 대해 알릴 것) 노출경로 : 접촉, 매개체, 에어로졸
8. 안락사, 시료채취 또는 이송을 위해 아프거나 부상당한 살아있는 동물의 취급 동물의 움직임이 접촉을 증가시킬 수 있으며, 인수공통감염병이 감염되어 오염원이 증가 할 수 있으므로(예 : 설사) 위해성이 증가	    질병에 적절할 경우: 	• 우려되는 질병의 전파경로에 대한 적절한 예방 조치를 취함 • 아플 경우, 진단시료를 제출함 • 방문자 등이 아프거나 다친 동물과 접촉하는 것을 방지 • 노출이 발생하면 연락처 정보를 수집 • 총으로 안락사 시킬경우, 신경학적 징후가 나타난다면 머리를 피할 것 노출경로 : 접촉, 매개체, 에어로졸
9. 관리/연구를 위해 수집된 건강해보이는 동물을 취급하거나 부검, 해부 또는 식품가공을 위해 알려진 인수공통감염병 위해성이 없는 사체로부터 찾아낸 건강해보이는 동물의 취급 위해도가 높은 인수공통감염병을 의심할 이유는 없는 체액 및 조직과의 밀접한 접촉으로 인해, 위해성이 증가.	   부검, 해부 또는 식품 가공시: 	• 만일 동물에게 약물(마취제, 안락사 약물)이 투여된 경우, 사람이 먹는 것은 부적합하므로 사람의 food chain으로부터 제거함
10. 인수공통감염병 매개체가 발생하는 관리환경 또는 연구로부터 생물학적 시료(대변, 소변)의 수집. 감염되었을 가능성이 있는 동물이나 가생종의 체액 및 조직과의 접촉할 위해성이 있음	    질병에 적절할 경우: 	• 우려되는 질병의 전파경로에 대한 적절한 예방 조치를 취함 • 감염이 우려되는 동물에서의 잠재적인 원인을 야생동물 보건전문가와 상담함 • 사람에서의 질병 증상에 대해 잘 알고 있고, 만일 그 증상이 나타나면 의료적 조치를 취함 (의료종사자에게 직무적인 노출 및 잠재적인 노출가능성에 대해 알릴 것) • 전시 또는 교육목적으로 시료를 사용하기 전에

활동 및 조건	PPE	안전작업절차 및 노출경로
11. 부검이나 해부를 위해 알려진 인수공통 감염병 위험성이 있는 종(예: 땅다람쥐)이나 병징이 관찰된 동물사체의 취급 체액, 조직 및 원인을 알 수 없는 사인 (cause of death)에의 밀접한 접촉은 위험성을 증가시킴		공공보건 관계자와 상담함 노출경로 : 접촉, 매개체, 에어로졸 • 전시/교육목적으로 사체나 사체의 일부분을 이용하기 전에 공공보건 관계자와 상담함 • 사람에서의 질병 증상에 대해 잘 알고있고, 만일 그 증상이 나타나면 의료적 조치를 취함 (의료종사자에게 직무적인 노출 및 잠재적인 노출가능성에 대해 알릴 것) • 비정상적 폐사사건에 대한 경고 징후 숙지 - 다수의 죽은 동물, 외상 흔적없이 구멍(코, 직장)에서 혈액이 나올 때, - 사망 전에 신경학적 증상을 보이는 동물 노출경로 : 접촉, 매개체, 에어로졸
12. 유기물이 많이 축적된 실내 또는 field의 함정에서 동물 배설물의 청소 및 설치류 취급 다량의 쥐 배설물이나 조류 또는 박쥐 구아노는 실내 환경조건에서 상당한 우려의 대상이 된다.		• hantavirus에 대한 관련기관의 작업자 보호 권고사항을 참고할 것 노출경로 : 접촉, 매개체, 에어로졸

개인위생의 기준으로는 음식을 취급하거나 식사 전, 동물을 만지고난 후 비누를 이용하여 손을 잘 씻어야 한다. 이때 최소 20초 이상을 잘 문질러야 하며 손등이나 손가락 사이, 손톱아래 등을 청결히 유지하여야 한다(WHB & OPH, 2015).

그리고 야생환경에서 실험을 수행할 시 음식을 먹거나 담배를 피우는 등의 행동을 하지 않는 것이 해당된다. 또한 실험도구 및 장비를 청결히 관리하고 소독하여야 하며, 이러한 범위는 부츠나 자동차의 오염을 제거하는 것도 포함된다.

18.5 야생동물 폐사체에서의 생물안전 유의사항

생물안전을 위하여 감염병에 노출되어 사망한 것으로 추정되는 폐사체를 수거하여 사후 부검을 통해 사인을 규명하거나, 시료채취 후 감염병 원인체를 확인하고 진단하는 과정이 필요하다. 야생동물 폐사체에서 시료채취를 하기 위해서는 개인보호구를 준비하고, 반드시 착용한 후 현장에 접근해야 한다(Figure 18-10).



18.5.1. 야생동물 폐사체 현장접근 시 주의사항

개인보호구를 착용한 후 사체발견지점 반경 2m~5m 주변을 소독제를 이용하여 소독한 후 사체에 접근해야 한다. 소독제의 희석방법과 현장소독방법은 다음과 같다(Figure 18-11~12).

□ 희석용 소독제(버콘S 등)

	
1. 희석용 소독제 예시	2. 소독제와 물은 1:200의 비율로 사용 (수저 한 스푼의 소독제는 약 10g)
	
3. 분무기(2리터)에 물을 채우고 수저 한 스푼(10g)의 소독제와 섞어 사용	4. 가정용 분무기(0.7리터)의 경우 수저 1/3 스푼의 소독제와 섞어 사용

Figure 18-11. 소독제 희석방법(버콘-S의 경우)



Figure 18-12. 현장접근 전 소독방법

18.5.2. 야생동물 폐사체 시료수집

폐사체는 살아있는 야생동물과 비교해서 질병이 검출될 가능성이 매우 높기 때문에 시료수집 과정에서 엄격한 현장소독, 개인소독, 장비소독 등의 절차가 요구된다. 또한 현장에서 시료채취 후 철저한 목욕과 출입차량 세차 등 사후관리가 필요하다.



18.5.2.1. 폐사체 혈액 시료수집

폐사한지 오래되지 않은 야생동물의 경우에만 혈액시료 채취가 가능하며, 폐사체에서의 혈액시료 수집은 다음과 같은 과정을 통해서 이루어진다(Figure 18-13).

1		멧돼지 혈액시료는 부검시 채취한다.
2		시체의 거드럼이를 절단하여 맥외동맥으로부터 초르는 혈액을 10 ml 주사기로 채취한다.
3		채혈한 혈액이 굳기 전에 즉시 SST tube에 10 ml (성체기준)의 혈액을 넣는다.
4		혈액이 응고되어 혈병(blood clot)이 생기도록 최소 30분 수직으로 세워둔다. SST tube를 1100-1300 g로 10-15분 상온에서 원심분리(권장) 하거나, 냉장으로 3-4시간 수직으로 세워 방치하여 혈장을 분리한다. Note: 튜브 아래 부분에 gel이 있어 혈청과 혈구를 분리시켜주는 역할을 한다. 혈청의 비중 < gel의 비중 < 혈구의 비중
5		SST tube로 분리한 혈청을 E-tube에 0.5-1 ml씩 분주하고 labeling 한다. (이력확인인 가능하도록 개체명, 검체종류, 고유번호등을 기입한다.)
6		분주된 각 혈청은 시료상자에 넣어 냉동(-80℃ 또는 -20℃) 보관한다.

Figure 18-13. 폐사체에서 혈액시료 채취 및 혈청 분리 방법

18.5.2.2. 폐사체 조직 시료수집

폐사한지 오래된 야생동물의 경우에는 혈액시료 채취가 불가능한 경우가 많다. 따라서 실질 장기(비장, 폐, 간, 신장 등)로부터 조직의 시료수집이 필요하며, 다음과 같은 과정을 통해서 이루어진다(Figure 18-14).

1		멧돼지 사체는 부검 전 전장 및 무게를 측정한다.
2		멧돼지 사체의 부검을 통하여 폐, 간, 비장, 신장 등의 조직을 확보한다.
3		각 조직은 2 ml Precellys bead tube에 100 mg으로 잘라 넣고, 1ml의 PBS (pH 7.4)를 넣고 4000 rpm에서 20초간 세 차례 조직을 분쇄한다.
4		분쇄 후 4℃, 6000 rpm에서 3 분간 원심분리 후 상층액을 E-tube에 약 1 ml씩 분주하고 labeling 한다. Note. 중증열성혈소판감소증후군 항원검사를 위한 RNA 추출 시료는 장기별 pooling을 통하여 추출한다.
5		병리조직검사를 위한 조직 시료는 50 ml tube에 약 2 cm의 크기로 잘라 넣고 10% 포르말데하이드에 보관한다.
6		각 조직별 분쇄 상층액과 조직시료는 시료상자에 넣어 냉동(-80℃ 또는 -20℃) 보관 한다.

Figure 18-14. 폐사체에서 조직시료 채취방법(예, 멧돼지)

18.5.3. 야생동물 폐사체 처리방법

현장에서 폐사체는 야생동물 또는 사람에 직접적으로 질병을 전파할 수 있는 감염원이 될 수 있기 때문에 시료채취 후 적절한 방법을 통하여 신속하고 빠르게 사체처리를 수행해야 한다. 사체 처리를 위해 폐사체 이동시 분비물 누출이 발생하지 않도록 비닐로 완전히 밀봉 포장하고, 포장한 비닐 외부는 소독제를 이용하여 소독을 수행한 후 처리한다. 현장오염을 최소화하기 위한 사체운반은 다음과 같은 방법이 있다(Figure 18-15).



Figure 18-15. 현장오염을 최소화하기 위한 사체운반 방법

18.5.3.1. 다양한 사체처리방법의 장·단점

사체처리방법은 현장매립, 렌더링, 가수분해 등 다양한 방법이 있으며, 각 사체처리방법의 장점과 단점은 다음과 같다(Table 18-8).

Table 18-8. 매립, 렌더링, 가수분해 등 다양한 사체처리방법 및 장·단점

구분	장비(사진)	특징
매립		• (처리방식) 생석회 살포 후 매몰 • (규모) 소규모의 야생동물 사체 처리가능 • (기타 장단점) - 장점: 이동식 렌더링 및 소각장비가 접근할 수 없는 장소에서도 활용가능하며, 처리비용 저렴 - 단점: 삽을 이용하여 원활하게 팔수 없는 토질인 경우나 겨울에는 활용불가, 많은 인력 필요 및 폐사체 대량 발생의 경우 활용이 어려움

구분	장비(사진)	특징
렌더링		• (처리방식) 사체를 고온고압에서 가열·멸균 후 잔여 부산물을 퇴비나 매립 처리하는 방법 • (규모) 한번에 20~40마리의 야생동물 처리가능 • (기타 장단점) - 장점: 대량의 폐사체를 한 번에 처리할 수 있음. 또한 차량에 싣고 이동 가능 - 단점: 장비가격이 비싸 많은 수량 설치 불가하며 악취가 발생하고 작업이 위험함
가수분해		• (처리방식) 사체를 알칼리용액과 열, 압력을 이용하여 가수분해하고 액상형태로 만드는 방법 • (규모) 소규모의 야생동물 사체 처리가능 • (기타 장단점) - 장점: 밀폐방식으로 악취가 적고 빠른 사체처리 가능, 손쉬운 조작 방법으로 누구나 사용가능, 처리비용 중간 - 단점: 소량의 사체만을 처리할 수 있으며, 이동 불가

18.5.3.2. 현장매립방법

보편적으로 많이 쓰이는 사체처리 방법인 현장매립방법 및 발견 장소에 매립하는 방법은 다음과 같다(Figure 18-16).

	
1. 방역복 착용 후 사체발견지점 반경 2미터를 희석용 소독제 또는 생석회를 이용 소독한 후 시료를 채취한다.	2. 시료 채취 후 매몰 구덩이 깊이 1m 이상을 판다. 구덩이 폭은 멧돼지 폐사체 크기를 고려하여 결정한다.
	
3. 비닐을 이용하여 구덩이에 깐다.	4. 바닥의 비닐이 보이지 않게 토양을 덮는다.

(두께 0.2mm 이상의 고강도 방수 재질 비닐 사용)	
	
5. 덮은 토양 위에 생석회를 뿌린다.	6. 생석회가 보이지 않도록 30cm 이상 토양으로 다시 덮는다.
	
7. 멧돼지 폐사체, 위생장갑으로 감싼 방역복 및 오염이 의심되는 환경시료(토양, 나뭇잎 등)를 매몰 구덩이에 넣는다.	8. 멧돼지 폐사체, 방역복 및 환경시료가 보이지 않을 때까지 토양으로 덮는다.
	
9. 생석회를 살포한다.	10. 토양으로 완전히 덮는다.
	
11. 최종적으로 생석회를 살포한다.	12. 매몰장소 주변으로 출입금지 테이프를 치거나,

	경고표지판을 설치한다.
--	--------------



18.5.4. 야생동물 폐사체 시료송부 시 포장 및 주의사항

시료는 냉장상태로 가장 빠른 시간 내에 송부하여 신속하게 진단이 이루어질 수 있도록 한다. 시료정보(시료채취일, 시료종류, 폐사체 발생주소·좌표 등)가 필수적이며, 시료 정보가 담겨 있는 문서는 젓지 않도록 지퍼백에 넣어 같이 포장한다. 포장용기가 운반 중 파괴되지 않도록 안전하게 수송되어야 하며 시료 운송 시에는 3중 포장으로 시료를 포장하는 것이 원칙으로 각 포장용기의 특징은 다음과 같다.

- 1차 포장용기: 시료를 직접 담는 용기로 방수 및 누수를 차단할 수 있는 재질이어야 한다. 동시에 여러 개체의 시료를 보내는 경우, 각 튜브에 식별 가능한 시료 번호를 반드시 명기한다.
- 2차 포장용기: 1차 포장용기를 담을 수 있는 포장용기로 내구성이 뛰어나고 방수 및 누수를 차단할 수 있는 용기이며 1차 포장용기의 파손을 방지하기 위해 충격을 흡수하는 소재를 포함해야 한다. 2차 포장용기의 내부는 1차 포장용기가 파손되었을 때 모든 용액을 흡수할 수 있는 재질이어야 한다. 1차 포장용기는 완충제(용기 고정용)를 이용하여 외부 충격에 영향을 받지 않도록 하며, 2차 포장용기에 넣는다. 이때 흡수지를 이용하여 내부 내용물이 흔들리지 않도록 주의하며 아이스팩을 이용하여 내부 내용물이 서늘한 상태를 유지할 수 있도록 한다.
- 3차 포장용기: 스티로폼 박스와 같이 내부 물질이 외부로 유출되지 않고 충격에 강한 재질을 사용해야 하며 3차 포장용기에 시료의 위치를 알 수 있도록 표시한다.(시료가 뒤집혀 내·외부로 유출됨을 최소화)

시료의 송부는 가급적 일반 우편 송부 방법을 지양하고, 사체 및 시료를 전문으로 수송하는 업체를 통해 송부를 한다. 부득이하게 일반 우편 송부를 할 경우, 바깥 포장용기에 시료송부 주의 사항을 표시하여 외부 충격으로부터 시료 내용물이 밖으로 나오지 않도록 조치를 취한다(Figure 18-17).

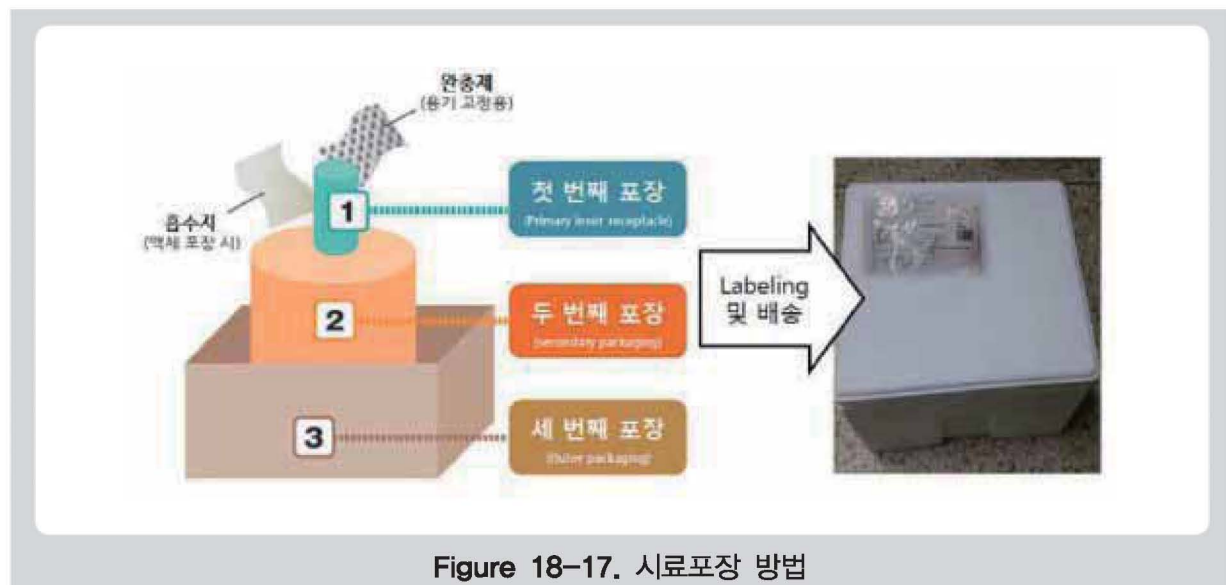


Figure 18-17. 시료포장 방법

18.5.5. 야생동물 폐사체 시료채취 후 주의사항

18.5.5.1. 개인위생

시료채취자는 복귀 후 현장 조사시 입었던 의복은 반드시 세탁하고 목욕을 한다. 시료채취 후 발열, 피로감, 식욕저하, 구토, 설사, 출혈증상이 나타나면 신속히 가까운 의료기관을 방문해 시료채취 경험을 알리고 진료를 받아야 한다(Figure 18-18).



Figure 18-18. 시료채취 후 주의사항

REFERENCES

1. Blake DS. Job-related mortality of wildlife workers in the United States, 1937-2000. *Wildlife Society Bulletin*. 2003;31(4):1000-1003.
2. Julie ML, Robbie AM. Welfare and best practice in field studies of wildlife In *The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory and Other Research Animals* 8th Edition, UK: the Universities Federation for Animal Welfare; 2010:92-106.
3. Kate EJ, Nikkita GP, Marc AL, Adam S, Deborah B, John LG, Peter D. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*. 2008;451:990-994.
4. United State of Geological Survey (USGS). *Field Manual of Wildlife Diseases*, Biological Resources Division Information and Technology Report 1999-001, Washington DC: USGS; 1999.
5. Wildlife Health Branch (WHB), Office of Public Health (OPH). *Safe Practices to Avoid Zoonotic Disease from Wildlife – Quick Reference Guide*. Washington DC: National Park Service; 2015.

19

수산생물 병원체의 생물안전

김기홍(부경대학교 수산과학대학)·김도형(부경대학교 수산과학대학)·권세련(선문대학교 건강보건대학)·남윤권(부경대학교 수산과학대학)·박경일(군산대학교 해양과학대학)·박찬일(경상대학교 해양과학대학)

본 장에서는 수산생물 병원체 및 유전자변형 수산생물 병원체를 연구하는 연구시설의 생물안전에 대한 사항과 아울러 이러한 병원체의 숙주로서 어류 등 수산생물을 이용시 이에 따른 생물안전에 대한 사항도 함께 다루고자 한다.

현재 국내의 수산생물 밀폐실험시설에 대한 규정은 유전자변형생물체 소형 어류 연구시설에 한해 설치, 운영기준이 마련되어 있으며, 수산식물 및 수산미생물에 대한 별도규정은 마련되어 있지 않다. 수산생물을 대상으로 유전자재조합실험을 하는 경우 『유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률』(이하 『유전자변형생물체법』)에 따라 생물안전등급 별로 대학 및 연구소는 과학 기술정보통신부에, 해양수산부 소속 국공립연구기관은 해양수산부에 연구시설 신고를 하여야 하며, 개발된 해양수산용 LMO의 환경방출실험을 하는 경우 해양수산부에 격리포장시설 신고 및 허가를 받아야 한다.

우리나라에서 법률로 규제하는 수산생물병원체는 『수산생물질병관리법』에 따른 지정검역물로 설정된 바이러스 16종, 기생충 4종, 진균 2종, 세균 3종이다. 기존의 20종의 병원체에서 전염속도가 빠르고 지속적인 감시 및 관리가 필요한 질병 5종이 추가되어 2021년부터 25종이 법정전염병으로 지정되었다(Table 19-1).

Table 19-1. 우리나라의 규제대상 수산생물질병

구 분	어류	패류	갑각류
바이러스 (16종)	잉어봄바이러스병 잉어허피스바이러스병 참돔이리도바이러스병 바이러스성출혈성패혈증 유행성조혈기괴사증 전염성연어빈혈증 연어알파바이러스감염증 틸라피아레이크바이러스병	전복바이러스폐사증	노랑머리병 흰반점병 타우라증후군 전염성피하및조혈기괴사증 전염성근괴사증 흰꼬리병 십각류무지개바이러스병
기 생 충 (4종)	자이로닥틸루스증 (자이로닥틸루스살라리스)	보나미아감염증(보나미아오스트레, 보나미아익스티오사),	

구 분	어류	패류	갑각류
		마르테일리아감염증 (마르테일리아레프리젠스), 퍼킨수스감염증 (퍼킨수스마리누스)	
진 균 (2종)	유행성궤양증후군		가재전염병
세 균 (3종)		제노할리오티스캘리포니엔시스감염증	과사성간체장염 급성간체장과사병

위의 표에 제시된 수산생물병원체는 전염성연어빈혈증 및 흰꼬리병을 제외하고는 모두가 OIE에서 국제 교역 시 반드시 검역할 것을 지정한 병원체들이며 국내 양식장에서 발생 시 살처분 혹은 이동제한 등 특별관리를 요하는 질병들이다. 그러나 아직까지 국내에서는 수산생물 병원체에 대한 위험군(Risk group) 분류는 정해져 있지 않으며, 따라서 각각의 병원체 실험 시 안전등급에 따른 밀폐연구시설 가이드라인이 없는 상태이다.

본 안내서에서는 수산생물병원체 실험 시 필요한 밀폐시설의 설치운영 기준을 캐나다의 수산생물 병원체 실험시설의 밀폐수준 가이드라인을 참조하여 기술하고, 또한 국내의 수산생물병원체 안전 관리에 대한 내용을 소개하고자 한다. 특히, LMO 수산생물병원체 및 LMO 수산생물에 대한 안전 관리는 본 장의 마지막 부분(19.11)에서 다루었다.

19.1 수산생물 병원체의 위해성 평가

수산생물 병원체는 그 종류에 따라 수계의 수산생물 군집에 위협적인 감염성 질병을 전파하는 위해요인이 될 수 있으며, 또한 몇몇 종들은 인수공통감염병을 일으킬 수 있기 때문에 수산생물 병원체를 다루는 운영인력에 대한 안전과 이들 병원체가 수용시설로 부터 수계로 방출되는 것을 막기 위한 조치를 취하는 것이 중요하다. 밀폐등급(containment level)은 특정 병원체의 생물학적 특징에 따라 다르며, 유전자변형 병원체의 경우는 그 최종 산물의 위해성 정도에 따라 달라질 수 있다. 수산생물 병원체의 방출에 의한 영향은 자국의 환경에 따라 다를 수 있기 때문에 위해성요인 분석 및 위해성 평가가 밀폐등급을 결정하는데 중요하게 사용될 수 있다.

19.1.1. 위해성요인(risk factor)

수산생물 병원체를 다루는 시설에 대한 밀폐 표준은 실험적인 목적이나 상업적인 개발 목적으로

수산생물 병원체를 다루게 되는 경우 이들 병원체가 안전하게 취급되고 또한 병원체를 다루는 시설이 안전하게 밀폐되어 있는가를 보장하기 위해 필요하다.

밀폐등급과 운영에 대한 엄중도는 수산생물 병원체의 위험도와 위험요소의 평가에 기반하여 결정한다. 살아있는 수산생물을 보유하고 있는 시설(*in vivo* 시설이라 칭한다)의 경우에는, 밀폐 수준을 결정할 때 시설의 물리적인 특징과 병원체 자체를 고려해야 한다.

수산생물 병원체를 살아있는 수산생물을 보유하고 있는 시설에서 다루는 경우, 사육조로부터 나오는 배수에 대한 처리가 병원체의 환경방출을 막는 가장 중요한 요소이다. 수산생물을 보유하고 있는 시설에서 물은 병원체를 수송하는 도구가 되므로, 수조는 일차적인 밀폐장치가 될 수 있다. 따라서 수조는 용수가 누출되지 않도록 밀폐되어야 한다. 수조 뚜껑을 열기 전 에어로졸 발생(aerosolization)에 의한 병원체의 오염을 방지하기 위해 폭기(aeration)는 약하게 하거나 혹은 멈추어야 한다. 이러한 시설 중 유수식이나 순환여과식 사육시설로부터 오염되어 있을지도 모르는 용수가 배출될 수 있다. 그 외 오염가능성이 있는 배수를 공급할 수 있는 요인에는 다음과 같은 것들이 있다.

- 바닥배수에서 모아진 세척수 방출
- 수조나 장화 세척에 사용되었던 물
- 사육장비로부터 누출수(그물, 수송 탱크나 물통, 배관장비 등)
- 사육시설의 정기적 관리를 위해 발생하는 요소들(수세/바닥이나 파이프에 있는 찌꺼기 제거, 사육시설 쓰레기 제거 등)
- 실험과정에서 발생하는 요소들(건강보균어 검색, 빈사상태이거나 폐사된 어류를 채집, 오염된 물이나 검체에서 분리한 조직을 방출하는 경우 등)

실험실과 사육시설에서부터 오염되었거나 오염되었을 가능성이 있는 배수 및 고형/반고형의 폐기물이 자연 수계로 유입되지 않도록 해야 한다. 제대로 처리되지 않은 배출수를 통해 주변 수산생물이 감수성 있는 병원체에 노출되는 것은 매우 심각하게 고려해야만 하는 위해요소이다.

물의 기계적 여과는 배수처리의 첫 번째 단계로 유용하지만, 그 외 화학물질, 열, 가스, 오존, 자외선 조사 등의 방법들을 통해 좀 더 효과적으로 배출수내 병원체를 불활화시키는 것이 필요하다. 처리해야 할 용수가 많은 경우, 정화과정은 감염인자의 효과적인 불활화를 위해 적절한 시간으로 처리되어야 한다. 처리시간은 여러 인자에 따라 다른데, 유기물질 정도, 처리방법, 특정 정화방법에 대한 병원체의 저항성 등도 고려해야 한다. 용수의 물리적·화학적 인자(담수인지 해수인지), 부유물질, 화학적 특성 등도 정화의 효율성에 영향을 미친다. 또한 침전물의 정화 과정도 고려되어야

할 사항이다.

병원체의 전파와 이동은 옷, 장화, 손, 그물재료, 수송 용기 및 장비에 의해서도 일어날 수 있다. 게다가 살아있는 생물을 취급하고 관리하는 것은 병원체의 전파를 용이하게 한다. 그 예로 수조 간 감염된 생물을 이동하는 것, 재사용하는 장비를 제대로 소독하지 않는 것, 수조바닥이나 배관 관리, 사료 급이 등을 들 수 있다. 따라서 수산생물을 다루는 작업자에 의해 병원체가 전파되는 것을 줄이고 장비 및 고체/액체상의 폐기물의 적절한 소독을 위해서 프로토콜이 개발되어 시행되어야 할 것이다.

19.1.2. 위험성평가(risk assessment)

위험성평가는 병원체를 취급하고자 하는 시설의 밀폐등급 뿐만 아니라 병원체가 속하는 위해 그룹(risk group, RG)도 고려해야 한다. 위해 그룹에 따른 병원체의 분류(RG 1 ~ RG 4)는 생물안전 분야에서 국제적으로 수용되고 있는 관례이며 특정 병원체와 관련된 상대적인 위해도를 분류하는데 사용되고 있다. 특정 미생물 또는 생물종에 대한 밀폐정도는 경우에 따라 다르므로 각각에 맞추어 밀폐요건을 수정, 보완하는 것이 필요하며, 이런 경우 밀폐 필요요건은 상황에 맞추어 새로이 개발되거나 혹은 다음을 포함하는 다양한 위해도와 위해경감 인자의 평가에 기반하여 조정되어야 한다.

- 향후 작업이 이루어지게 될 시설이 현재 사용할 만한 것인지
- 시설의 지리적 위치
- 숙주(호적숙주 및 잠재숙주) 또는 병원체의 보균체와의 거리상 근접 정도
- 병원체의 숙주범위
- 자국 내 특정 병원체의 생물형 또는 strain의 존재 여부
- 병원체의 환경에서의 행동 특성
- 병원체의 독성
- 전파방식(수인성, 직접/간접 전파, 공기)
- 지엽적 또는 원거리 전파 가능성
- 병원체의 환경 내에서의 안정도(해수 또는 담수에서의 생존성, 수온 등)
- 병원체의 위해 정보 이용가능성
- 제안된 작업 특성(*in vitro*, *in vivo* or large scale (LS) *in vitro*)
- 병원체가 방출될 경우 그것을 제어하거나 박멸할 가능성
- 병원체가 방출될 경우 경제적/환경적 파급 정도
- 생물보안과 관련된 위해요소(도난이나 남·오용 가능성)

19.2 수산생물 병원체 밀폐

19.2.1. 밀폐등급(containment levels)

수산생물 병원체를 다루는 시설은 해당 작업을 위한 적절한 밀폐등급을 확보할 수 있도록 구성되고 운영되어야 한다. 이때 고려되어야 할 사항은 병원체 뿐 아니라 감염성 물질 및 수산생물을 다루는 과정, 그리고 처리해야만 하는 생물학적 물질의 용량이다.

캐나다의 경우 수산생물 병원체를 위한 밀폐등급 수준은 AQC1, AQC2 및 AQC3로 나뉘며, AQC2와 AQC3를 위한 *in vitro* 및 *in vivo* 요구조건이 있다. 각 밀폐등급에 대한 주요 특징은 다음과 같다.

19.2.1.1 수산밀폐 1등급(aquatic containment level 1, AQC1)

수산밀폐 1등급(AQC1)을 갖추어야 할 대상은 수산생물이나 수중 환경에 위협이 되지 않는 수중 미생물을 다루는 실험실이나 수산생물 수용시설이다. AQC1 시설은 실험자 개인, 생물 및 실험실습에 관련한 기본적인 생물안전 및 생물보안에 대한 프로토콜을 갖추고 있어야 한다. 위의 실험실습에 해당하는 것에는 실험복 사용, 손 세척대, 표준 생물학적 위험 폐기물 폐기장 및 처리, 이상적인 미생물학 실험 기술, 적절한 오염방지 절차, 위생적인 사체 처리, 표준 운영 절차 등이 있다.

19.2.1.2 수산밀폐 2등급(aquatic containment level 2, AQC2)

AQC2의 *in vitro* 시설에서는 시설 설계, 운영 절차 및 특수장비의 사용 등을 통해 밀폐가 이루어진다. 습윤멸균장치나 다른 검증된 기술을 사용하여 고형 폐기물과 폐수를 처리해야 한다. 밀폐는 우선적으로 생물안전과 밀폐 예방책에 대한 훈련, 관계자에게만 접근 부여, 방호복 사용, 효과적인 위생관리 및 시설관리, 그리고 이상적인 미생물학 실험 실습을 포함한 다양한 운영실습을 통해 이루어지며, 그 외 모든 AQC1의 물리적이며 운영적인 요구조건은 본 밀폐등급에서도 적용된다.

AQC2의 *in vivo* 작업의 경우에는 수산생물 병원체가 수중에서 전이될 위험이 있기 때문에 배출수 처리 체계에 배출관 연결 및 파이프 등도 포함시키는 등 요구조건이 더 상향되어 있다.

19.2.1.3 수산밀폐 3등급(aquatic containment level 3, AQC3)

AQC3의 *in vitro* 밀폐는 고도로 특수화된 시설, 엄격한 운영 절차 및 특수 장비 사용을 통해

이루어진다. 이 밀폐 유형은 우선적으로 내향성 기류와 출입통제장치를 포함한 물리적인 요구조건을 가지고 있다.

AQC3의 *in vivo* 작업의 경우에는 수산생물 병원체가 수중에서 전이될 위험이 있기 때문에 요구조건이 더 상향되어 있으며, 밀폐는 부가적인 물리적 요구조건과 운영 실습을 통해 이루어진다. 세척과 실험 후의 샤워도 지역의 위험평가에 기초하여 요구될 수도 있다. 그 외에 대규모 시설이나 공기를 통해 전염될 수 있는 병원체를 취급하는 *in vivo* 시설에서는 추가적으로 가온, 환기, 냉난방장치에 대한 요구조건이 있을 수 있다.

19.2.1.4. 수산생물감염성 병원체의 대량배양 작업을 위한 밀폐등급

수산생물 병원체를 대량으로 배양하는 경우 밀폐표준을 강화해야 할 수도 있다. 이때 적용 가능한 물리적, 운영적 밀폐 요구조건은 병원체 종류, 병원체 취급 용량, 작업 빈도수 그리고 작업과정에 따라 달라진다. 예를 들어 연구 목적에 대한 요구조건은 Office of biohazard containment and safety (OBCS)가 연결되어 있어야 한다는 것이다. 또는 수산생물에 대한 백신을 제조하거나 테스트하는 경우나 진단시험을 하는 경우에 관련되는 규제사항으로서, Veterinary biologics section (VBS)가 연결되어 있어야 한다.

19.2.2. 연구시설

다양한 수산생물 병원체를 취급하는 경우, 최고 수준의 밀폐로 병원균을 제어할 수 있는 시설이어야 한다. 새로운 시설은 건축법과 기타 관련 법률 또는 규제 요구사항에 충족하여 건설해야 한다. 뿐만 아니라 이 장에 규정된 요구사항 및 권고사항 이외에 살아있는 동물 보유시설의 설계는 실험실생물안전지침 및 고위험병원체 취급 및 보존 안전관리 가이드에 의해 지정된 실험동물의 생리학적 및 복지적 요구 사항등을 준수해야 한다.

19.2.2.1. 일차밀폐(primary containment)

밀폐된 로터를 갖춘 원심 분리기와 같은 주요 밀폐장치는 밀폐 기기내부의 감염원에 대한 잠재적인 노출을 줄이거나 제거하는데 좋은 방법이다. 살아있는 수산동물을 수용하는 시설에서 주요 밀폐장치는 살아있는 동물을 수용하는 격리수조 또는 격리수조실이다.

19.2.2.2. 이차밀폐(secondary containment)

전체 설비의 설계는 운용사례와 마찬가지로 밀폐구역 외부의 잠재적인 노출을 방지 또는

경감하기 위한 이차적인 밀폐 장치를 설치해야한다. 내장재의 선택, 설계, 설치, 표면 마무리, 공기 처리 장치와 마찬가지로 적절한 밀폐제의 사용은 수산동물의 병원체를 얼마나 잘 억제할지를 결정하는 요인이다. 고위험병원체 취급 및 보존 안전관리 가이드의 절차에 따라 주요 밀폐장치를 관리 및 이용해야하고, 적절한 시설의 설계 및 건설에 숙련된 전담 직원이 필수적이다.

19.2.2.3. 위해저감(risk mitigation)

시설을 통해 수생동물의 병원체 방출의 위험 및 특정 병원체를 효과적으로 감소시키기 위해서는 물리적인 밀폐 요구사항에 밀폐시설 위해저감 조치가 적용되어야 한다. 이러한 조치는 감염된 수산동물과 감염되지 않은 수산동물을 분리하는 것, 실험 종료 시 모든 감염성 물질을 멸균시키는 것 등이 포함된다. 수산동물의 병원체에 의한 위험은 감염에 민감한 수생생물이 존재하지 않는 지역에 새로운 시설을 배치하여 위험도를 완화 할 수 있다.

19.2.2.4. 새로운 시설 설계 시 고려사항(Table 19-2)

시설설계 시 실험실 또는 살아있는 수산동물 수용하는 사육시설의 밀폐 성능 강화는 수산동물 병원체의 특정 문제를 해결하는데 필요하다. 설계자, 소유자 및 운영자는 다음 사항을 고려해야 한다.

- 시설 위치: 시설의 부지 선정 과정에는 지역 수생활동 뿐만 아니라 지역 환경의 평가를 포함해야 한다. 시설의 위치 선정에는 자연수계의 수산생물과 인근의 양식장 등을 고려해야 한다. 자연재해에 취약한 지역에서 시설의 건설과 지원체제는 보다 엄격한 건축법규 기준 요구 사항을 충족해야 한다.
- 에너지 절약: 에너지 절약 조치가 예상되는 경우(예를 들어, 빌딩 자동화 제어, 야간의 환기 정지(감소) 열회수 및 공기 재순환을) 이러한 조치는 시설에서 제공하는 밀폐수준에 고려되어야 한다.
- 시설은 표면을 자주 세척해야하고 이러한 표면은 화학적 침식, 흡수 및 해수의 영향에 견딜 수 있어야한다. 실험대는 에폭시 표면 또는 비 흡수성 재질로 교체 표면처리 되어야 한다.
- 오염제거 및 유지보수의 용이성을 높이기 위해 폐수 처리 시스템 및 HEPA 필터 하우징 등의 시스템은 가능한 시설 주위에 배치해야 하고, 냉난방 장치의 배관과 수도배관을 분리하기 위해 밸브를 설치 것을 고려해야 한다. 배출수의 저장조 또는 1차 필터를 사용하여 큰 입자의 침전물 및 유기물이 폐수 처리 시스템에 들어가기 전에 그 일부를 수집

할 수 있다.

- 새로운 시설에는 실험을 위한 시약 등의 저장 공간, 장비 세척, 유출 관리, 긴급 상황 시 사용 할 도구와 장비를 구비해야 한다. 시설에 출입을 최소화하기 위해 밀폐구역 내부에 전용장비 보관소와 서류 작업장을 마련하는 것을 고려해야 한다.
- 공기 처리 시스템은 살아있는 수산동물 수용시설에서 발생하는 수분을 제거하기 위한 제습기가 필요 할 수 있다.
- 내향적 기류: 일부 규격 (ANSI/AIHA Z-9.5-2003)는 새로운 실험실 건설에서 내향적 기류를 갖추는 것이 바람직하다. 이것은 *in vivo* AQC2와 AQC3 시설의 요구 사항이지만, *in vitro* AQC2 시설의 권장 사항에 불과하다.
- 회로차단기와 차단밸브는 유지 보수를 용이하게 하기 위해 시설 외부에 배치해야한다.
- 폐수처리 시스템은 오염제거의 효과를 모니터링하기 위해 처리 된 폐수 샘플 채취가 편리한 샘플링 포트가 설계되어야한다.
- 살아있는 동물수용시설에서의 적절한 밀폐와 사용되는 수송기구 (즉, 용기 또는 차량)의 소독을 위해 감염성물질 안전수송 지침을 참고할 필요가 있다.

19.2.2.5. 물리적 밀폐를 위한 요구사항

다음 표는 *in vitro* 와 *in vivo*(살아있는 동물 보유라고도 함) 시설과 대규모 시설의 AQC2와 AQC3의 물리적 밀폐 요구 사항을 나타내었다.

Table 19-2. 캐나다의 수산생물병원체 연구시설 설치운영 기준

No.	요구사항	시설등급	
구조, 위치와 접근		AQC2	AQC3
1	밀폐구역은 잠글 수 있는 문을 통해 공공 지역과 사무실에서 분리된다.	필수	필수
2	밀폐구역 내의 전용 서류 작업실은 수산동물의 보유 위치에서 떨어져 배치되어 있어야 한다.	필수	필수
3	밀폐구역 내에 위치한 폐기물 처리, 사료, 저장, 수생 동물의 취급, 장비 청소 및 외부 의류 보관(부츠, 액세서리 등)을 위한 지원 시설.	필수	필수
4	밀폐구역 내에 동물 부검, 조직 조작 및 수술 준비 등의 실험적인 활동을 위한 전용구역 또는 검시실 [시험관 내 작업은 필요하지 않다.]	필수	필수
5	권한이 있는 사람만 한정된 접근	필수	필수
6	밀폐구역에 제한된 접근 시스템(예를 들어, 전자출입카드, 코드 또는 등록)에 의해 지켜져야 된다.	필수	필수

No.	요구사항	시설등급	
7	밀폐수준, 연락처정보 및 출입 조건 등이 밀폐구역의 출입문에 표지 되어있다.		필수
8	대기실을 통해서 제공될 밀폐영역에 진입 [AQC2 시험관 내 작업은 필요하지 않다.]	필수	필수
9	대기실 문은 동시에 열 수 없어야 한다(연동문, 청각 또는 시각적 경보 또는 프로토콜은 허용된다).		필수
10	연동문이 있는 경우 이를 통해 비상 출구를 수동으로 개폐할 수 있다.		필수
11	밀폐구역으로의 입장은 특정 개인 보호 장비(PPE) 요구사항을 준수하여 개인 의류와 전용 의류를 구분할 수 있는 의류 변경 구역(즉, '더러운' 변경구역과 분리된 '깨끗한' 변경구역)이 있어야 한다.	필수	필수
12	시설의 출구에는 밀폐장벽(즉, '청결'과 '더러운' 변경실 사이)에 walk-through shower를 설치해야한다.		권고
13	예상되는 모든 장비가 통과 할 수 있도록 문의 크기가 디자인되어야 한다.	필수	필수
14	시설의 침입을 막을 수 있는 방식으로 제공되는 보유시설에 살아있는 수산동물을 유입시킨다. [시험관 내 작업은 필요하지 않는다.]	필수	필수
표면의 마무리와 내장재		AQC2	AQC3
15	문, 뼈대, 내장재, 실험대 및 동물사육케이지(탱크 및 이와 동등한 구조물)를 지지하는 모든 재료는 비 흡수성(목재 표면은 사용할 수 없다)이어야 한다.	필수	필수
16	표면은 설비기능에 따라 상처, 얼룩, 습기, 화학제품 및 내열성이 있어야 한다.	필수	필수
17	설비기능에 따라 표면은 충격에 저항력 가지고 있어야 한다. [AQC2 시험관 내 권장사항만]	필수	필수
18	인접한 겹치는 재료(즉, 접착력과 연속 둘레를 유지하기 위한)와 지속적인 호환 가능한 표면이어야 한다. [AQC2 시험관 내 권장사항만]	필수	필수
19	기능성에 따라 반복적으로 소독될 뿐만 아니라 내부 코팅은 화학물질에 대해 세척 및 내성이 있어야 한다(예를 들어, 소독 또는 훈증을 견딜 수 있는).	필수	필수
20	바닥과 벽 사이에 마감재가 연속적으로 마감(벽면 위로 바닥을 마감하는 코브바닥 마감처리를 권장)되어 있다. [AQC2 시험관 내 권장사항만]	필수	필수
21	미끄럼 방지 바닥	필수	필수
22	물질의 누설(예 : marine edges(물건이 굴러가 못 떨어지도록 가장자리가 볼록한) 및 누수방지, 쟁반 또는 기타 동등한 방법)을 방지하도록 설계된 실험대 [AQC3 시험관 내 권장사항만]	권고	필수
23	벽이 더러워지지 않도록 막은 판이 벽에 설치된 경우 벽걸이 접합부는 봉인되어야 한다. [AQC2 시험관 내 권장사항만]	필수	필수

No.	요구사항	시설등급	
24	모든 동물 유지 장치는 탱크 사이의 비산을 방지하여 실내 습도를 줄이기 위해 커버 또는 동등한 방법을 마련해야 한다.	필수	필수
밀폐 경계		AQC2	AQC3
25	밀폐구역 내에 배치된 고압증기멸균기 또는 검증되고 허용되는 폐기물 제거 방법. 밀폐구역에서 사용할 수 없는 경우, 시설 내 또는 외부에서 인증 된 폐기물 처리 시설에 적합한 고압증기멸균기에 누출 방지 및 내 충격성 용기의 폐기물 운송을 위해 엄격한 폐기물 관리 절차를 수행해야 한다.	필수	
26	전용 이중문 장벽 고압증기멸균기는 격납 용기 주변에 배치한다. 두 문이 동시에 열리지 않도록 연동문(권장) 또는 들을 수 있는 또는 시각적 인 경보가 장착되어 있어야 한다. 고압증기멸균기 본체는 유지 보수를 용이하게 하기 위해 밀폐구역 외부에 배치해야한다.		필수
27	고압증기멸균기 응축액 배수는 닫힌 연결을 가진다. 밀폐장벽 내에 배치되어 있으면, 개방 연결이 가능하다.		필수
28	고압증기멸균기는 시간, 온도, 압력을 기록하는 주기 로그 레코더가 장착되어 있다.	필수	필수
29	폐기물, 오염물질 제거 공정(열, 화학약품 등)에는 날짜, 주기번호, 시간, 온도, 화학 물질 농도 및 압력과 같은 중요한 작동 조건을 포착하기위한 적절한 모니터링 및 기록 시스템이 갖추어져 있어야 한다.	필수	필수
30	물 오염 제거 공정(염소, 자외선, 열, 오존 주입 등)에는 중요한 작동 조건을 기록 하는 모니터링 및 로그 기록 시스템이 갖추어져 있어야한다. [시험관 내 작업에는 적용되지 않는다.]	필수	필수
31	밀폐구역에 안락사 전용 장치를 설치한다. [실험관 내 작업에는 적용되지 않는다.]	필수	필수
32	밀폐지역은 해충 및 곤충의 출입을 방지해야함	필수	필수
33	각각 분리된 살아있는 동물 보관실 내에서, 밀폐구역 내에 존재하는 오염된 액체의 최대 부피를 유지하기 위해서는 봉인 된 표면과 적절한 배수 장치의 조합이 제공 되어야 한다. [시험관 내 작업에는 적용되지 않는다.]	필수	필수
34	모든 도관 및 배선을 포함하여 밀폐구역의 모든 관통 부는 수축이 안되는 밀봉 제로 봉인되어야한다. [AQC2 실험관 내 작업에는 필요하지 않는다.]	필수	필수
난방, 환기 및 냉방 (HVAC)		AQC2	AQC3
35	화학 물질 사용시 적절한 통풍이 되어야 한다(예 : 대형용기 오염 제거 시).	필수	필수
36	공기가 더 높은 밀폐구역으로 흐를 수 있도록 밀폐구역에서 내향의 공기 흐름을 제공 된다. [AQC2 시험관 내 권장 사항 만]	필수	필수
37	밀폐구역에 진입 할 때 시각적 차압 모니터링 장치를 제공해야한다.	필수 (대량배양)	필수

No.	요구사항	시설등급	
38	밀폐구역 내 및 밀폐구역 외(즉, 타인 및 정비 기술자에게 경고하기 위해)에 제공 되는 경보(가시 또는 가청)	필수 (대량배양)	필수
39	지속적인 실험실 양성가압을 방지하기 위해 배출 공기 시스템과 연동되는 공기 시스템(예 : 팬, 댐퍼(통풍조절기), 전기)을 공급해야 한다.	필수 (대량배양)	필수
시설 서비스		AQC2	AQC3
40	시설의 출입 시 의류나 개인 보호 장비를 위해 설치되는 후크 또는 로커; 도로와 의류지역은 분리되어야 한다.	필수	필수
41	손을 씻는 곳은 출구 자점 근처에 위치해야 한다(시설 출구 근처 및 / 또는 대기실의 더러운 쪽).	필수	필수
42	화장실 세면대에는 ‘핸즈프리’ 기능을 제공한다.	권고	필수
43	발 세척은 대기실의 더러운쪽에 제공되어야 한다. [시험관 내 작업은 필요하지 않다.]	필수	필수
44	필요에 따라 밀폐구역의 잠재적 오염을 최소화하기 위해 적절한 일차밀폐장치 (예 : BSC)를 사용 할 수 있어야 한다.	필수	필수
45	Class I 및 II BSC는 NSF/ANSI 49-2008에 따라 현장에서 검사해야한다.	필수	필수
46	시설 활동 및 관령 규정(즉, ANSI Z358.1-2004)에 따라 밀폐구역에 비상 눈 세척 시설을 제공한다.	필수	필수
47	비상 샤워 시설은 시설활동 및 관련 규정(즉, ANSI Z358.1-2004)에 따라 밀폐구역에 제공된다.	필수	필수
48	실험실 및/또는 살아있는 동물 보유 시설 구역과 외부 밀폐 구역 사이에 제공되는 통신 시스템 [AQC2 실험관 내 작업에서는 필요하지 않다.]	권고	필수
49	제공되는 정보와 데이터를 전자적으로 전송하는 시스템 (예를 들어, 팩스, 컴퓨터); (주의 : 오염물 제거 후 살아있는 동물 보관 구역에서 서류를 지울 수 있음).		필수
50	수질 모니터링 장치(pH미터 및 온도 제어 장치 등)는 저장 영역 외부에 설치하거나 저장 구역에서 꺼내 소독해야한다.	필수	필수
51	급수 서비스는 CAN/CSA-B64.10-07/B64.10-07에 따라 역류 방지를 기능을 제공하고 격리 밸브는 밀폐경계성에 근접하여 배치해야한다. [AQC2 실험관 내 작업에서는 필요하지 않다.]	필수	필수
52	배수관과 관련 배관은 낮은 수준의 밀폐구역에서 분리되어야 한다. [AQC2 실험관 내 작업에서는 필요하지 않다.]	필수	필수
53	배수 트랩은 공기 압력 차에 따라 필요한 깊은 봉인 깊이까지 제공되어야한다.		필수
54	전원 공급 장치가 고장난 경우 시설 내 동물에게 공기 또는 산소를 공급하는 백업 시스템 [실험관 내 시설에는 적용되지 않는다.	필수	필수

No.	요구사항	시설등급	
55	전기 콘센트는 바닥 높이보다 높게 설치하고 방수처리 되고 덮혀있어야 한다. [시험관 내 작업에서는 필요하지 않는다.]	필수	필수
56	전원 시스템의 회로 차단기는 격납 용기의 주위에 배치해야한다. [AQC2 실험관내 작업에서는 필요하지 않다.]	필수	필수
57	고장(과도한 수위, 역류 장애 등)을 표시하기 위해 제공되는 경보 시스템 [실험관 내 작업에서는 적용되지 않는다.]	필수	필수
58	비상 전원으로 지원되는 생활 안전 시스템, 조명, BSC 및 기타 중요한 장비	필수	필수
살아있는 동물 보유 시설의 폐수처리		AQC2	AQC3
59	폐수 처리 시스템에 연결될 오염 물질과 접촉하는 탱크, 싱크대, 기름 통, 샤워기 또는 배수구가 있는 살아있는 동물에서의 배수.	필수	필수
60	캐나다의 국가 위생법 (National plumbing code of canada), 3.6절(1995)에 따라 시험 할 액체 유출 물 처리 시스템 (관련 배기 라인 포함)으로 이어지는 배수관 및 관련 배관	필수	필수
61	폐수 처리 시스템에 연결된 배수관은 제염 시스템을 향해 경사져 중력 흐름을 보장 한다. 제염을 위한 구역을 분리하기 위해 밸브를 설치하는 것을 고려해야한다.	필수	필수
62	유출물 처리 시스템(예를 들어, 배관, 밸브, 탱크)은 사용에 따라 내열성 및 내화 학성이 있어야 한다.	필수	필수
63	처리되지 않은 또는 부분적으로 처리 된 폐수의 배출을 방지하기 위해 백업 폐수 오염 제거 시스템 또는 유지 시스템을 설치해야한다.	필수	필수
64	완전히 폐쇄되지 않고 수용되지 않은 폐수 처리 시스템은 정비중인 실험실의 최고 밀폐수준과 동일한 밀폐수준으로 설계된 공간에 보관해야한다.	필수	필수
65	다음 조항은 완전히 폐쇄되고 억제된 액체 유출물 처리 시스템이 있는 방에 적용 된다. • 문은 항상 잠겨야 한다. • 출입구에는 적절한 간판이 필요하다. • 폐수 처리 시스템의 용적 용량을 수용해야 한다. • 바닥은 밀폐되어 있어야한다. • 바닥의 배수구는 배수 처리 시스템에 밀폐하거나 다시 연결해야한다.	필수	필수
66	폐수 처리 시스템의 고장을 알리는 경보 시스템	필수	필수
67	유지 보수 및 청소를 위해 접근할 수 있도록 stand-off(여유공간)가 있는 시설 서비스 배관이 노출되어 있다.	필수	필수
68	급수 차단 밸브 및 기타 제어 장치는 밀폐구역 밖에 설치한다.	필수	필수
69	배수 시스템에 장애가 발생한 경우, 유출 보유 용량에 도달하기 전에 탱크에 급수 차단이 활성화되도록 하는 시스템이 필요하다.	필수	필수
70	모든 유출 배수관에는 정확한 식별이 용이하도록 인식표를 부착해야 한다.	필수	필수

No.	요구사항	시설등급	
71	모든 유출 배수관은 누수, 수리 및 유지 보수에 대해 정기적 인 점검을 받아야 한다.	권고	권고
72	배수 시스템은 슬러지/슬러지 제거/회수 시스템이 갖춰 있어야 한다.	필수	필수

19.3 생물안전 준수사항

19.3.1. 어류의 취급

- 어류를 취급하기 전에는 먹이를 주지 말아야 한다.
- 어류를 취급하는 자는 전문성이 보장되어야 하고, 치료중인 어류의 상처나 폐사를 줄이는 방법에 대해 훈련을 받아야 한다.
- 필요시에만 최소 수량의 어류를 사용한다.
- 피부 점막 손상을 최소화 하는 방법으로 어류를 취급해야 한다.
- 어류의 취급은 시각적 자극을 최소화하는 방법으로 수행되어야 한다. 취급하는 동안에는 가능한 한 불빛을 직접 비추거나 갑작스런 밝기의 변화로부터 어류를 보호해야 한다.
- 어류를 30초 이상 계속해서 공기 중에 두지 않아야 한다.
- 위험종을 다루는 자는 반드시 훈련을 받아 능숙해야 하며 적절한 긴급품목(예를 들어, 해독제, 응급처치 키트 등)을 구비해야 한다.

19.3.2. 제한된 환경

실험자는 가능한 한 실험 디자인의 제약조건 안에서 어류가 최대한 스트레스를 받지 않는 환경을 제공해야 한다.

19.3.3. 통계학적 실험설계

- 발생된 문제의 수에 따라 실험 주제의 수를 정한다.
- 현장 실험은 연구실 실험에 비해 더 많은 수의 어류를 필요로 한다.
- 어류의 성장단계에 따라 실험에 필요한 수량은 서로 다르며 보통 어린 개체일수록 더 많은 수가 필요하다.
- 모든 경우 연구 결과를 도출하는데 필요한 최소한의 동물을 사용해야 하지만 통계학적으로 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해 충분한 수의 동물을 사용하는 것은 불필요한 실험의 반복을

방지하기 때문에 중요하다.

- 선행 연구를 근거로 하여 기대하는 결과를 얻을 수 있는 통계학적 최소 수량을 결정한다. 만약 선행 연구가 없거나 결과 예측이 어려운 경우, 예비 실험을 통해 적정 수량을 선정하도록 한다.
- 의도하지 않은 폐사나 탈락률 등 실험 중 일어날 수 있는 예기하지 못한 상황을 대비하여 여유 마리수를 포함할 수 있다. 일반적으로 최소 사용수의 약 10%로 계산한다.

19.3.4. 수술

19.3.4.1. 수술 준비와 피부 소독

- 수술은 적절히 훈련된 자가 수행한다.
- 회복을 기대할 수 있는 살아있는 어류를 수술하기 전에는 반드시 죽은 어류나 생명이 없는 것을 이용하여 봉합과 외과적 기술을 연습해야 한다.
- 상처 부위의 조직 손상과 오염을 최소화하는 형태로 수술부위를 제한해야 한다.
- 상처오염을 최소화하고, 치료반응을 최대화하기 위해 무균, 소독 및 멸균기기의 사용에 주의를 기울여야 한다.

19.3.4.2. 수술 시의 수질(water quality during surgery)

- 장시간 수술 동안 수질은 세균과 유기물의 양이 최소가 되도록 최상의 수준으로 유지되어야 한다. 이 때, 마취를 위한 물도 온도, pH, 전해질 등의 차이로 인한 충격을 최소화하기 위해 동일한 물을 사용해야 한다.

19.3.4.3. 마취

- 유해한 자극이 있을 것으로 예상되거나 어류에 물리적이고 생리적인 해를 줄 수 있는 과도한 핸들링을 해야 하는 실험을 할 경우에는 마취제를 사용해야 한다.
- 마취제는 동물과 실험자 모두의 안전을 보장하는 범위에서 무동작, 무통증 및 신속한 유도와 회복 등 예측 가능한 결과를 기초로 하여 선택해야 한다.
- 마취제는 어류의 크기, 발달 단계, 어종 및 수질 조건에 따라 그 효과가 다를 수 있으므로 사전에 적은 수의 어류를 이용하여 테스트해야 한다.
- 어류에게 마취제를 사용하는 자는 적절히 훈련을 받아야 하고, 개인보호구로 보호하여야 한다.
- 절개는 측선을 피하고 어류의 종축을 따라 이루어져야 한다.

19.3.4.4. 수술재료와 기법

- 일반적으로 어류 피부의 절개를 봉합하기 위해서는 강한 불활성의 비흡수성인 모노필라멘트 봉합사와 비외상성 침을 사용해야 한다.

19.3.4.5. 수술의 병태생리 및 어류의 상처치유

상처치유에 영향을 주는 요인들은 다음과 같다.

- 수질(경도, 염도, 수온 및 기타 삼투적 활성물질)은 면역반응과 조직의 신진대사율을 조절한다.
- 수조 내에 어류의 존재, 동종에 의한 수술부위 공격(동종생식), 먹이 섭취와 관련하여 경쟁하면서 수술 후 폐사
- 수술 전의 영양면, 적절한 질소균형, 수술 후 식욕부진(스트레스 반응) 및 정상적인 섭식 속도와 기타 행동들
- 호르몬 상태, 특히 연어과의 은화
- 열린 상처와 사육수내로 수분의 수동적 소실(해수 어류) 또는 전해질의 소실(담수 어류)로 인한 전해질 균형의 변화
- 어류의 점액층과 바이오필름의 견고함
- 수술중과 수술 후 기회감염성 세균과 곰팡이 병원균의 존재/부재

19.3.4.6. 수술 후 관리

- 수술 후의 어류는 매우 면밀히 살펴야 한다.
- 어류는 동일한 수조 내에서 서로 다른 종간의 상호작용이 최소화 되도록 하거나 없도록 하여야 하며, 해당 종에 가장 적절한 사육조건을 충족시켜야 한다.
- 수술 후 예방 목적으로 항생제를 사용할 때 그 비용과 이득을 면밀히 고려하여야 한다.
- 실험을 디자인하거나 회복중인 어류의 사회집단을 유지하고자 할 때에 해당 어류의 크기 차이, 섭식 능력 또는 먹이 쟁탈 능력, 그리고 세력 투쟁 행동과 같은 사회적 요인들을 반드시 고려해야 한다.

19.3.5. 다양한 경로에 의한 약물의 투여

- 아가미 확산: 가장 일반적인 경로로 아가미에 의한 화학물질의 확산과 흡수 효율은 주로 소수성 성질과 분자의 크기에 따라 달라진다.

- 경구: 치료약물을 경구 투여할 때, 부피 선량률이 체중의 1%(1ml/100g)를 초과해서는 안 된다.
- 주사: 비늘 사이의 공간에 바늘을 끼워 넣어 주사하는 동안 주의 깊게 살펴야 한다. 측선과 복부혈관을 피하면서 큰 지느러미 축상과 복부 근육에 근육주사를 놓을 수 있다. 복강 주사 시에 염증을 일으킬 수 있는 주사 물질이 장기의 흡착을 일으킬 수 있기 때문에 내부 장기를 관통하지 않도록 주의해야 한다.

19.3.6. 꼬리표와 표지

연구자들은 어류의 행동학, 생리학 또는 생존 연구를 위해 수행하는 지느러미 절단이나 꼬리표 붙이기(tagging)에 의해 일어날 수 있는 부정적인 영향을 최소화해야 한다. 만약 이 과정에 의한 영향에 대해 알려진 바가 없다면, 사전에 소규모의 실험을 해야 한다.

19.3.6.1. 조직 표지(tissue marking)

분지(branching), 문신(tattooing) 또는 중요한 지느러미를 잘라내는 것(clipping)과 같은 표지 기법은 상당한 조직의 손상을 야기할 수 있기 때문에, 동물보호위원회가 원하는 결과를 나타낼 수 있는 대안이 없다는 증거를 제시할 때만 사용해야 한다.

19.3.6.2. 꼬리표 달기(tagging)

- 유전자 표식(genetic markers): 현재 유전자 기법으로는 어류 혈통을 식별하기 위하여 혈액 또는 조직의 제거를 수반한다.
- 내부 표식: 이식된 wire tag, Implanted wire tags, PIT(passive integrated transponder; 수동적 집적 자동응답기) tag, 이석표지(otolith marks)와 기생충은 어류를 식별하는 데 사용되는 내부표시 시스템이다 (Parker *et al.* (1990). 특히 무게, 모양, 크기와 같은 생리학적 요소와 어류의 행동에 대한 효과를 고려해야 한다.
- 외부 표식: 어장에서 가장 널리 사용되는 외적인 표식방법은 자연적 표식과 인공적 표식이 있으며 각각 다른 장단점이 있다. 자연적인 생물학적 표식은 체절, 색, 형태 및 규모적 특징을 포함하지만 이는 환경적, 유전적 영향을 받는다. 모양, 크기 및 비늘의 나이테 수는 가장 자주 사용되는 자연적인 표식이다. 인공적인 방법도 여러 가지가 있는데, 지느러미나 어체의 일부분을 깎아 내거나 구멍을 뚫는 방식으로 표시한다. 그러나 이러한 방법은 적절한 어종을 선택해야 한다. 예를 들어, 송사리의 뒷지느러미는 제거하면 안 되지만 연어의 기름 지느러미는 제거해도 큰 영향이 없다(ASIH *et al.* 1987, 1988). 외부 표식의 영향은

어류의 건강 상태에 따라 다르다. 상처도 어종과 크기에 따라 달라지는데 특정종이나 작은 개체는 외부표시에 더욱 민감하게 반응한다. 표식 때문에 생긴 상처는 항생제 없이는 회복될 수 없으므로 불필요하거나 부적절한 사용은 삼가야 한다.

19.3.7. 체액의 수집

마취제는 체액의 채취나 삽관을 위해 사용된다. 마취제는 혈청의 포도당과 다양한 호르몬 수치와 같은 생리학적 요인들을 변화시킬 수 있음을 유념해야 한다.

19.3.8. 조기 안락사의 종료시점과 기준

19.3.8.1. '통증', '고통' 과 '스트레스'의 인식

연구자들은 항상 어류의 잠재적인 고통과 통증을 없도록 하거나 완화하거나 최소화해야 한다.

19.3.8.2. 적절한 종료시점의 선택

- 동물에게 잠재적인 통증과 고통을 수반하는 연구에 대해서 명확한 실험 종료 시점을 설정 하여야 한다. 소규모 실험을 통해 종료 시점으로 사용될 임상적 징후를 확인하고 동물의 적절한 모니터링 방법을 확립해야 한다.
- 어류가 죽기 전의 종료 시점을 가진 연구를 수행할 때에는 매개인자의 목록을 마련하여야 하는데 이는 건강상태를 객관적으로 평가할 수 있는 항목들이어야 한다.
- 질병과 폐사가 예상되는 연구에서는 실험 초기 안락사에 대한 기준이 명확하게 정의되어야 한다.

19.3.9. 모니터링(monitring)

연구와 폐사 시점에 따라 다르겠지만 모니터링은 적어도 하루에 한 번은 해야 한다. 모니터링의 빈번도는 질병의 심각한 전염이 일어나기 전에 때맞춰 제거할 수 있어야 한다. 폐사율이 증가하면 모니터링의 횟수를 늘려야 한다.

질병이 급속도로 전염되기 전에 때맞춰 제거할 수 있도록 모니터링 횟수를 정해야 하며, 폐사율이 증가하면 모니터링 횟수를 늘려야 한다.

19.3.10. 극단적 실험 환경

어류의 극단적 환경 노출에 대한 연구에서는 가능한 한 가장 빠른 마지막 시점에 빼내야 한다.

19.3.11. 유전자 변형 어류(genetically modified fish)

유전자 변형 어류는 유전적 변화의 결과로 생리학과 해부학의 변화를 가져올 수 있기 때문에 면밀히 관찰해야 한다. 유전자 변형 어류는 철저한 안전평가를 수행하지 않고, 판매를 위해 건강 및 식품관련 공공기관에 식품 또는 사료로 제조/수입 허가를 받지 않았다면 식품 또는 사료로 공급되지 않도록 해야 한다.

19.4 생물안전 관련장비 및 개인보호구

19.4.1. 생물안전 관련장비(Table 19-3)

수산물은 자연 환경에서의 포획이나 인공 양식에 의해 대량생산되므로 다양한 병원성 미생물과 기생생물의 감염이 빈번히 발생한다. 따라서 이들의 비의도적인 시설내 전파나 취급자에 대한 감염을 방지하기 위한 적절한 조치가 반드시 필요하다.

실험실 또는 작업장의 안전관리 책임자는 위험요소를 파악하고 안전대책을 수립하기 위해 해당 실험실에 적합한 생물안전등급(WHO 기준)을 결정하고 이에 맞는 안전장비를 구비해야 한다. 특히 전염성 미생물과 이의 취급 시 사용되는 고위험 시약으로부터 취급자와 시설의 안전을 지키기 위한 신뢰성 높은 장비의 확보가 중요하다.

생물안전 장비의 설치의 사용자는 긴급한 상황에서 신속히 접근 할 수 있는 위치에 장치되어야 하며, 비치된 위치와 사용법에 대해 반드시 충분한 숙지 후 작업에 임해야 한다.

Table 19-3. 수산생물감염성 병원체 취급을 위한 생물안전장비 및 특성

No.	명칭	실험실	검사소	판매장	사육장	특성
1	생물안전작업대	○	○	-	-	UV 살균 램프, 공기 흡인 장치, 형광등 보유
2	비상 샤워기 및 세안대	○	○	-	-	스테인레스 재질, 삼각손잡이 높이를 사용자 높이 고려, 겨울철 동파 주의, 분사구 막힘 방지 스테인레스 필터 보유
3	밀폐형 환기식 시약장	○	○	-	-	시약장 문의 밀폐와 환기 및 실험실 외부로의 배기 장치
4	내산성 시약장	○	○	-	-	폴리에틸렌 재질의 내산성
5	화학물질 중화제 키트	○	○	-	-	강산성 및 강알칼리성 물질의 신속한 흡착 및 중화

No.	명칭	실험실	검사소	판매장	사육장	특성
6	소화기	○	○	○	○	일반 화재(A급)와 전기누전(C급)으로 인한 화재 진압. 기름보일러를 사용하는 사육장 등에서는 유류화재(B급) 진압
7	폐기물 보관 상자	○	○	○	○	실험실이나 작업장 등에서 배출되는 폐기물의 수집 및 보관

19.4.1.1. 생물안전작업대(BSC)

- 목적: 수산생물의 체액 및 혈액, 위해성 비산물질, 휘발성 약품, 전염성 미생물 등으로부터 작업자의 오염을 방지하거나 시료 간 오염을 방지.
- 재질 또는 성능: 생물안전 작업대는 배기장치 및 밀폐기능의 특성에 따라 Class I, II, III 등으로 구분된다. 따라서 실험의 내용에 따라 적합한 제품을 선택하는 것이 매우 중요하다. 기본 사양으로는 스테인레스 재질의 작업대, 실험 목적에 맞는 공기정화 필터, UV등의 기구 등이 장착되어 있는지 확인 필요.
- 사용방법 및 관리: 생물안전작업대의 성능 및 규격을 인증 받을 수 있는 인증서 및 성적서 등을 구매업체로부터 제공받아 검토하고 보관한다. 생물안전작업대는 공기의 흐름 및 필터의 효율이 가장 중요하므로 이들의 성능과 유효 기간 등에 관한 점검을 정기적으로 실시하여야 한다. 생물안전작업대 내부에 불필요한 물품을 넣어 두지 말아야 하며, 실험 종료 시 청결한 상태로 복원해야 한다.

19.4.1.2. 비상 샤워기 및 세안대

- 목적: 독성 해양생물의 체액 또는 혈액, 강산 또는 강염기성 물질, 기타 독성물질(시약 등)이 사용자의 신체에 묻거나 눈에 유입 되었을 경우 신속한 제거
- 재질 또는 성능: 스테인레스 재질, 비상 손잡이의 적절한 위치
- 사용방법 및 관리: 비상시 손잡이를 당겨 물을 분사시킴. 오염물이 안면 이외 또는 신체 전반에 묻은 경우 비상 샤워기를 사용하며, 안면만 오염시킨 경우에 세안대를 이용한다.

19.4.1.3. 밀폐형 환기식 시약장

- 목적: 인체에 유해한 휘발성 시약의 작업자와 실험실 오염을 방지하기 위한 밀폐형 시약장
- 재질 또는 성능: 오염물질 배출(필터형, 덕트형)
- 사용방법 및 관리: 문과 시약장 사이 밀폐용 고무 패킹의 손상 여부 주기적 확인, 필터의 교체 주기 확인, 덕트의 손상 여부 및 공기 배출 기능 확인.

19.4.1.4. 내산성 시약장(polyethylene acid cabinet)

- 목적: 강산성 시약으로 인한 철재 장비의 부식 방지
- 재질 또는 성능: 내부식능을 가진 플라스틱 재질의 시약장
- 사용방법: 문과 시약장 사이 밀폐용 고무 패킹의 손상 여부 주기적 확인

19.4.1.5. 화학물질 중화제 키트(chemical spill kit)

- 목적: 작업장내에서 강산성 또는 강알칼리성 물질의 유출에 신속하고 안전하게 제거
- 재질 또는 성능: 산성중화제, 알칼리성 중화제, 솔벤트 중화제, 빗자루, 쓰레받기, 덧신 등으로 구성
- 사용방법: 사고 발생 시 유출 물질의 특성에 맞는 중화제 살포

19.4.1.6. 소화기

- 목적: 작업장 내에서 발생한 화재에 신속하고 안전하게 진화
- 재질 또는 성능: 수산생물을 취급하는 실험실 등에서 일반(A급) 또는 전기누전 (C급)시 발생한 화재에 대응하기 위한 소화기
- 사용방법: 소화기는 반드시 지정 장소에 비치하고 사용설명서를 숙지. 관리자는 소화기의 상태 및 유효기간 확인

19.4.1.7. 폐기물 보관 상자

- 목적: 수산생물의 처리시 발생하는 지정폐기물이나 의료 폐기물의 안전한 보관 및 처리
- 재질 또는 성능: 수산물의 부산물, 강산, 강염 전용 밀폐 용기
- 사용방법: 병원성 미생물은 멸균 후 폐기하며, 시약 등 화학물질의 경우 각 폐기물의 특성에 맞는 전용 용기에 폐기

19.4.2. 개인보호구(Table 19-4)

개인보호구(personal protective equipment, PPE)란 수산물을 연구, 검사, 판매 및 사육하는 과정에서 병원성 미생물이나 유해 화학물질 등으로부터 개인의 신체를 보호하는 가장 기본적인 장비이다.

개인보호구는 관리자가 실험실, 검사소, 판매장 및 사육장 등의 환경을 고려하여 필요물품과 그 사용설명서를 구비하여야 하며, 사용자는 각 개인보호구에 대한 사용설명서를 숙지하고 사고시 신속히 사용할 수 있도록 한다.

Table 19-4. 수산생물감염성 병원체 취급을 위한 개인보호구 및 특성

No.	명칭	실험실	검사소	판매장	사육장	특성
1	보호복	○	○	○	○	비닐재질로서 의복 및 신체 보호
2	실험가운	○	○	-	-	면 재질로서 의복 및 신체 보호
3	라텍스/비닐장갑	○	○	○	○	위해성 물질로부터 손 보호
4	소독용 에틸알콜	○	○	-	-	전염성 미생물의 제거
5	액화질소용 장갑	○	-	-	-	냉동고나 초저온 물질로부터 손의 동해 방지
6	고글/보안경	○	○	-	-	위해물질로부터 눈 보호
7	휴대용 구급 세안액	○	○	-	-	화학물질에 의한 눈 보호
8	철장갑 및 고무장갑	○	○	○	○	패각의 개각이나 어류 처리 시 손 보호
9	얼굴 마스크	○	○	○	-	위해 물질로부터 안면 보호
10	고무장화, 가습장화	-	-	○	○	실험실과 작업장의
11	귀마개	○				초음파 파쇄기 사용시 귀 보호
12	구급상자	○	○	○	○	작업중 발생한 상처 소독

19.4.2.1. 보호복

- 목적: 수산물의 운반 및 해부 시 체액, 혈액 등으로부터 의복 및 신체 보호
- 재질 또는 성능: 비닐 등의 방수 기능 보유
- 사용방법: 액상물질의 오염이 우려되는 작업의 경우 반드시 착용하며, 계절에 상관없이 평상복을 모두 덮을 수 있는 긴소매, 지정된 장소에 보관, 보호복의 세탁은 반드시 작업이 실시된 기관 내부에서 이루어져야 하며 외부로 반출하여 세탁하지 아니한다. 작업실 이외의 장소에서는 탈의 하고 출입. 오염물질의 특성(감염성 물질 존재 여부)을 감안하여 소독, 멸균함으로써 불활화시켜 폐기하거나 세탁하여 재사용.

19.4.2.2. 실험가운

- 목적: 수산물의 운반 및 해부 시 체액 및 혈액, 또는 각종 시약 등에 포함된 위해물질로부터 신체 보호
- 재질 또는 성능: 면
- 사용방법: 액상물질의 오염이 우려되는 작업의 경우 반드시 착용하며, 계절에 상관없이

평상복을 모두 덮을 수 있는 긴소매, 지정된 장소에 보관, 보호복의 세탁은 반드시 작업이 실시된 기관 내부에서 이루어져야 하며 외부로 반출하여 세탁하지 아니한다. 작업실 이외의 장소에서는 탈의 하고 출입. 오염물질의 특성(감염성 물질 존재 여부)을 감안하여 소독, 멸균함으로써 불활화시켜 폐기하거나 세탁하여 재사용.

19.4.2.3. 라텍스/비닐장갑

- 목적: 수산물의 운반 및 해부 시 체액 및 혈액, 또는 각종 시약 등에 포함된 위해 물질로부터 손 보호
- 재질 또는 성능: 라텍스나 비닐
- 사용방법: 손의 크기에 맞는 장갑 선택

19.4.2.4. 소독용 에틸알콜(70%)

- 목적: 수산물의 운반 및 해부 시 체액 및 혈액에 포함된 각종 전염성 미생물의 시료간 오염 또는 작업자에 대한 감염을 방지하기 위한 소독제
- 재질 또는 성능: 에틸알콜에 증류수를 섞어 제조한 후 분무기에 넣어 제조
- 사용방법: 소독할 부위에 적당량 분무

19.4.2.5. 액화질소용 장갑

- 목적: 수산물이나 시료의 초저온 보관 시 사용되는 저온 물질 (액화질소, 냉동용 보관함, 냉동 시료 등)의 접촉으로 인한 신체의 동해 피해를 방지
- 재질 또는 성능: -196℃까지 사용 가능한 보온성, 유연성, 방수성, 정전기 방지 기능 보유한 가죽

19.4.2.6. 고글/보안경

- 목적: 수산물의 운반 및 해부 시 체액 및 혈액, 또는 각종 시약 등에 포함된 위해 물질로부터 눈 보호
- 재질 또는 성능: 김서림 방지, UV 차단 기능

19.4.2.7. 휴대용 구급 세안액

- 목적: 수산물의 운반 및 해부 시 체액 및 혈액, 각종 독성 시약, 강산, 강염 등이 포함된 위해 물질이 눈에 유입되었을 경우 신속히 독성을 중화시키기 위한 약품

- 재질 또는 성능: 멸균생리식염수 및 중화제
- 사용방법: 독성 분진, 산성, 알칼리성 용액에 손상을 입은 피부나 눈에 응급처리로용으로 사용하고 즉시 병원을 방문하여 의사 처방 받음.

19.4.2.8. 철장갑 및 고무장갑

- 목적: 수산물의 장기 적출 시 적출 기구나 어패류의 패각 또는 가시 등으로부터 작업자의 손을 보호
- 재질: 오이스터 글러브는 스테인레스로 제작, 사용자 손의 움직임이 자연스러운 크기의 장갑

19.4.2.9. 얼굴 마스크

- 목적: 수산물의 운반이나 해부 시 체액 및 혈액, 각종 독성 시약, 전염성 미생물로부터 작업자의 감염 방지, 반대로 작업자로부터 시료에 대한 오염 방지
- 재질: 일회용 마스크로서 미세먼지 등 오염물질 차단 시험 성적서를 받은 제품

19.4.2.10. 고무장화, 가슴장화

- 목적: 수산물의 운반이나 해부 시 체액, 혈액, 전염성 미생물 등으로부터 신체를 보호하기 위한 장비. 수산물의 취급 시 작업장 바닥의 상황이나 오염물의 양을 고려하여 일반장화나 가슴장화를 선택한다.
- 재질: 방수능력이 있는 고무

19.4.2.11. 귀마개

- 목적: 85db 이상이 발생하는 곳에서는 반드시 귀마개 사용

19.4.2.12. 구급상자

- 목적: 살아있는 수산물의 취급 시 물리거나, 가시에 찔린 경우 신속하게 상처 부위를 소독하기 위한 물품

19.5 소독과 멸균, 폐기물 관리

19.5.1. 소독

소독은 일반적으로 미생물의 생활력을 파괴시키거나 약화시켜 감염 및 증식력을 없애는 조작을 의미하며, 미생물의 영양세포를 사멸시킬 수 있으나 아포는 파괴하지 못한다. 방법에 따라 증기소독, 자비소독, 일광소독, 약물소독 등으로 구분되며 실험실에서는 주로 약물소독법을 사용하는데 소독제는 가격이 싸고 소독효과가 높지만 인간 및 환경 위해 가능성 때문에 저장, 취급 등에 주의하고 제조사의 사용설명서와 material safety data sheets (MSDS)을 숙지해야 한다.

물체의 표면에 있는 미생물 및 세균의 아포를 사멸하는데 있어 그 능력별로 수준을 다음과 같이 나눌 수 있다. 사용하는 기구의 종류와 요구되는 소독수준에 따라 필요로 되는 소독 방법을 요약하면 아래 표와 같으며, 요구되는 소독 수준에 따라 알맞은 소독방법을 선택하여 사용해야한다 (WHO, 2004).

- 높은 수준의 소독(high level disinfection) : 노출시간이 충분하면 세균 아포까지 죽일 수 있으며 모든 미생물을 파괴할 수 있는(germicide) 소독능이다.
- 중간 수준의 소독(intermediate level disinfection) : 결핵균, 진균을 불활성화 시키지만, 세균 아포를 죽일 수 있는 능력은 없다.
- 낮은 수준의 소독(low level disinfection) : 세균, 바이러스, 일부 진균을 죽이지만, 결핵균이나 세균 아포 등과 같이 내성이 있는 미생물은 죽이지 못한다.

소독제의 소독효과에 영향을 미칠 수 있는 요인은 다음과 같다.

19.5.1.1. 소독제의 농도

일반적으로 소독제의 농도가 높을수록 소독제의 효과도 높아지지만 기구의 손상을 초래할 가능성도 높아진다. 소독하고자 하는 물체에 부식, 착생, 기능의 이상을 주지 않으면서 살균에 적절한 농도를 유지할 수 있어야 한다.

19.5.1.2. 미생물 오염의 종류와 농도

일반적으로 미생물의 수가 많을수록 소독의 효과는 감소된다. 또한 미생물의 종류에 따라서도 차이가 있다.

19.5.1.3. 유기물의 존재

혈액, 단백질, 토양 등의 오염물질은 소독제 및 멸균제가 미생물과 접촉하는 것을 방해하거나 불활성화 시킨다. 유기물이 많을수록 소독에 필요한 접촉시간은 지연되므로, 소독을 실시하기 전에 세척 등의 유기물 제거과정이 필요하다.

19.5.1.4. 접촉시간

소독제의 효과가 나타나기 위해서는 일정 시간동안 소독제와 접촉하고 있어야 한다. 필요한 접촉시간은 소독제의 종류와 기타 다른 영향요인들에 의해 결정된다. 일반적으로 노출시간이 길어질수록 미생물의 숫자는 감소한다.

19.5.1.5. 물리적·화학적 요인

사용하는 희석용매의 물리적·화학적 요인이 영향을 미칠 수 있다. 물에 용해되어 있는 칼슘이나 마그네슘은 비누와 작용하여 침전물을 형성하거나 소독제를 중화시킬 수 있다. 물의 종류 즉, 지하수나 경수, 수돗물 혹은 정제수인지에 따라 영향을 받는다. 온도도 소독제의 효과에 영향을 미친다. 일반적으로 온도가 높을수록 소독력은 증가된다. 기구에 형성된 생막(biofilm)은 소독제로부터 생막 안쪽의 미생물들을 보호하는 역할을 하여 소독력을 저하시키기도 한다.

19.5.2. 멸균

멸균이란 모든 형태의 생물, 특히 미생물을 파괴하거나 제거하는 물리적, 화학적 행위 또는 처리 과정으로 습식멸균, 건열멸균, 플라즈마 및 가스멸균 등이 있다. 건열멸균은 160℃ 또는 그 이상의 온도에서 2~4시간 동안 처리하는 것이고, 습식멸균법은 고압증기멸균기를 이용하여 121℃의 고온에서 15분간 처리하는 것으로 많은 실험실 및 연구시설에서 사용되고 있다. 일반적으로 소독·멸균 효과에 영향을 미치는 요소로써, 다음의 사항들을 고려할 수 있다.

- 유기물의 량 : 혈액, 우유, 사료, 동물 분비물 등은 소독·멸균 효과를 저하시킨다. 또한 많은 종류의 유기물은 소독제를 중화시킨다.
- 표면 윤곽 : 표면이 거칠거나 틈이 있으면 소독이 충분히 될 수 없다.
- 소독제 농도 : 모든 종류의 소독제가 고농도일 때 미생물을 빨리 죽이거나 소독 효과가 높은 것은 아니며, 대상물의 조직, 표면 등의 손상을 일으킬 수도 있다.
- 시간 및 온도 : 적정 온도 및 시간은 소독제의 효과를 증대시킬 수 있으나, 고온 또는 장시간 처리할 경우, 소독제 증발 및 소독효과 감소의 원인이 된다.

- 상대습도 : 포름알데히드의 경우 70% 이상의 상대습도가 필요하다.
- 물의 정도 및 세균의 부착능

멸균을 실시할 때에는 다음과 같은 사항에 주의해야 한다.

- 멸균 전에 반드시 모든 재사용 물품을 철저히 세척해야 한다.
- 멸균할 물품은 완전히 건조시켜야 한다.
- 물품 포장지는 멸균제가 침투 및 제거가 용이해야 하며, 저장 시 미생물이나 먼지, 습기에 저항력이 있고, 유독성이 없어야 한다.
- 멸균물품은 탱크 내 용적의 60 ~ 70%만 채우도록 하며, 가능한 같은 재료들을 함께 멸균한다.

멸균 방법은 고온을 이용한 방법과 화학적 제제를 이용한 방법으로 분류할 수 있다. 멸균 여부를 확인할 수 있는지, 내부까지 멸균 될 수 있는지, 물품의 화학적, 물리적 변화가 있을지, 멸균 후 인체나 환경에 유해한 독성이 있는지, 경제성 등을 고려하여 선택하도록 한다.

19.5.3. 수산생물 폐기물 관리

수산 생물을 폐기 할 때 가장 중요한 것은 오염 제거에 필요한 물의 양이다. 감염위험이 있는 폐기물은 고압멸균 등 적절한 방법으로 불활화시킨 후 배출한다. 처리되지 않은 폐기물의 배출을 방지하기 위해 여분의 폐수처리시스템 또는 보관시스템이 있어야 한다. 또한 오염제거시스템에는 장애를 감지하기 위한 경보장치와 성공적인 오염제거를 확인하기 위한 샘플링 포트가 장착되어야 한다. 유출물 처리시스템에서 배출된 오염이 제거된 폐수는 모든 해당 규정을 충족해야한다(온도, 화학물질/금속물질 함량, 부유 고형물, 기름/그리스, 생화학적 산소요구량 등과 관련된 규정). 살아있는 수산 동물 보유 시설은 오염 제거 방법으로 인해 자연 수계의 수산 자원에 유해한 영향을 미칠 수 있기 때문에 액체 유출물의 효과적인 오염 제거를 위한 추가적인 관리가 필요하다. 예를 들어, 화학 잔류물(예: 염소와 오존)이 배출되기 전에 중화되지 않으면, 수산 동물과 인간이 흡입, 흡수 또는 섭취할 경우 해를 미칠 수 있는 유독가스와 수계감염 잔류물(예: 해수 내 브롬)을 생성할 수 있다. 열 같은 다른 유형의 처리는 도시 하수도 또는 수로로 배출되기 전에 오염 제거된 폐기물의 처리 후 냉각이 필요 할 수 있다. 사육 수조의 청소는 5% 아세트산으로 수조 벽을 닦아낸 다음 0.1% NaOH에 3% 과산화수소를 섞어 한번 더 닦아내고 탈 염소 수돗물로 수 차례 행구어 내는것이 좋다.

폐기물 처리 구역 또는 폐기물 처리 시설은 완전히 밀폐된 시스템이 아닌 한, 격리 구역과 동일한 수준 밀폐 수준으로 설계되어야 한다. 세계동물보건기구(Office international des Épizooties,

OIE)가 발행한 수산 동물 진단 시험 매뉴얼에 어류, 연체동물, 갑각류에 대한 소독 지침이 포함되어 있다.

19.6 비상계획과 대응절차

감염성 미생물을 취급하는 실험실은 관련 생물체와 동물의 위험성에 적절한 안전주의 조치를 취해야 하며 국가 또는 지역 보건 당국과 협의하여 비상사태 준비 계획을 수립하여야 한다.

19.6.1. 비상 대응 계획

비상 대응 계획 수립 시 다음 사항에 대한 운영절차를 포함한다.

- 자연 재해(예: 화재, 홍수, 지진, 폭발)에 대비한 주의사항
- 생물재해 위해성 평가
- 사고-노출 관리 및 오염제거
- 사람과 동물의 비상 소개 절차
- 노출된 사람과 부상을 입은 사람의 응급 처치
- 노출된 사람의 의학적 감시 및 임상관리
- 역학조사 및 사후조치

비상 대응 계획의 수립 시 다음 항목의 포함 여부를 검토한다.

- 고위험 미생물의 파악
- 고위험 지역(예: 실험실, 보관지역, 동물시설) 파악
- 현재 위험 상태에 있는 작업자와 집단의 파악
- 책임자와 책임자의 의무 파악(예: 생물안전 관리책임자, 안전관리 작업자, 지방 보건당국, 임상 의사, 미생물학자, 수의사, 역학자, 소방서 및 경찰)
- 노출된 사람이나 감염된 사람을 수용할 수 있는 치료 시설과 격리 시설 목록
- 노출되거나 감염된 사람의 운반
- 면역 혈청, 백신, 의약품, 특수 설비와 소모품 등의 공급처 목록
- 비상 설비(예: 보호복, 소독제, 화학물질/생물학적 인자 유출물 처리 키트, 오염제거 설비 및 소모품) 공급

19.6.2. 비상대응 절차

사고 발생 상황을 실험실 관리자와 생물안전 책임자에게 즉시 보고하고, 의료기록을 적절하고 완벽하게 구비한다.

19.6.2.1. 찢리거나 베인 상처 및 찰과상

보호복을 벗고 손과 해당 부위를 씻은 다음 적절한 피부 소독제를 바르고 필요 시, 병원에 가서 의사 치료를 받는다.

19.6.2.2. 감염 가능성이 있는 물질의 섭취

보호복을 벗고, 의사의 진찰을 받는다.

19.6.2.3. 감염 가능성이 있는 에어로졸의 방출(생물안전작업대 외부)

모든 사람은 즉시 해당 지역을 벗어나고 노출된 자는 진찰을 받는다. 에어로졸이 날아가고 무거운 입자가 가라앉을 때까지 일정기간 동안 해당지역에 들어가지 않는다. 출입금지 표시를 하고, 중앙공기 배출 시스템이 없는 실험실의 경우에는 출입금지 시간을 더 길게 둔다. 일정 시간 후, 보호복 및 호흡기 보호 장치를 착용하여 오염 제거 조치를 한다.

19.6.2.4. 깨진 용기와 옆질러진 감염성 물질

해당 용기와 물질을 천이나 종이타월로 덮고, 그 위에 소독제를 뿌리고 일정 시간 방치한다. 장갑을 착용하고, 핀셋을 사용하여 깨진 용기를 치우며 오염지역을 소독제로 닦는다. 천, 종이타월, 청소용구 등은 오염 폐기물로 처리하며 재사용 시 고압증기멸균 또는 적절한 소독을 한다.

19.6.2.5. 밀봉이 가능한 버킷이 없는 원심분리기에서 감염가능성이 있는 물질이 들어있는 튜브의 파손

원심분리기 작동 중에 파손이 발생하거나 의심되는 경우, 모터를 끄고 기계를 닫아 침전되기 (예: 30분 동안)를 기다린다. 두꺼운 장갑(필요 시 일회용 장갑을 추가 착용)을 착용하며, 핀셋을 사용하거나 솜을 핀셋으로 들고 유리 조각을 긁어모은다. 깨진 튜브, 유리파편, 버킷, 트러니언, 로터를 해당 미생물에 대하여 활성을 나타내는 것으로 알려진 비부식성 소독제에 담근다. 깨지지 않고 마개가 닫힌 상태인 튜브를 별도의 소독액 용기에 담근 다음 회수한다. 원심분리기

불을 적절한 농도의 동일 소독제로 닦고, 물로 닦고 씻은 다음에 말린다. 이 때 사용한 모든 물품을 감염성 폐기물로 취급한다.

19.6.2.6. 밀봉 가능 버킷 내부에서 발생한 튜브 파손

안전 컵을 느슨하게 풀고 버킷을 고압증기멸균한다. 혹은 안전 컵을 화학적으로 소독한다.

19.6.2.7. 화재와 자연 재해

감염성 물질이 어디에 있는지 소방서나 기타 안전관련 부처에 미리 알린다. 자연 재해 발생 시, 실험시설 내부 또는 인근의 위해요소를 지방 또는 국민안전처에 보고하여야 하며, 실험실 출입 시 교육을 받은 실험실 작업자가 동행해야 한다. 감염성 물질은 단단히 밀봉할 수 있는 일회용 백 또는 상자에 수거한다. 관련 규정의 의거하여 생물안전 담당자가 폐기 여부를 결정한다.

19.6.2.8. 비상사태 발생 시의 연락처 정보

필요한 전화번호와 주소(관계기관과 그 책임자, 실험실과 실험실의 책임자, 실험실 관리자, 생물안전 관리책임자, 소방서, 병원/구급차 서비스/의료진, 경찰, 의료 책임자, 기술 책임자, 상수도/가스/전기회사)를 잘 보이게 게시한다.

19.6.2.9. 비상설비

- 응급처치키트(범용/특수 해독제 포함), 적절한 소화기 및 소화전
- 전신보호복(위험군 3과 4에 해당되는 미생물과 관련된 사고 시)
- 전면 방독면
- 작업실 소독장치
- 들 것, 도구(예: 망치, 도끼, 스패너, 스크류드라이버, 사다리 및 로프)
- 위험지역 표시 설비와 게시판

19.7 캐나다의 어류이용 시설의 등급

실험 및 진단 목적을 위해 어류를 사용하는 자는 어류에게 불필요한 고통이나 통증을 유발하지 않도록 주의해야 할 도덕적 의무가 있다. 어류에게는 편안하고 위생적인 시설과 건강에 좋은 사료를

제공해야 한다. 실험이 종료된 후에는 인도주의적 방식으로 처리해야 한다.

보안상의 이유로 어류 수조는 독립된 별도 시설에 두어야 한다. 실험실에 인접해 있을 경우, 실험실 공용 부분에서 분리를 위해 또는 오염제거 및 방제소독을 위해 필요할 수 있으므로 설계를 제출해야 한다.

실험실과 마찬가지로 어류 사육시설은 연구 중인 미생물의 위해성 평가와 위험군에 따라 어류 이용 생물안전 1등급, 2등급, 3등급 또는 4등급으로 나눌 수 있다.

어류 실험실에서 사용되는 인자와 관련하여, 고려해야 할 요소는 다음과 같다.

1. 일반적인 전염 경로
2. 사용되는 양과 농도
3. 접종 경로
4. 이들 인자의 배출 경로

어류실험실에서 사용되는 어류와 관련하여, 고려해야 할 요소는 다음과 같다.

1. 어류의 특징(예: 공격성과 물고 할퀴는 성향)
2. 외부 및 내부 기생체의 특징
3. 어류 감염질환
4. 알레르기 유발물질의 전염 가능성

실험실에 대한 것과 마찬가지로 설계, 장비 및 예방책에 대한 요건은 어류이용 생물안전등급에 따라 다르다. 이 지침은 추가적인 것이며, 더 높은 등급의 기준에 낮은 등급의 기준을 포함시켜야 한다.

19.7.1. 어류이용 생물안전 1등급

이 시설은 대부분의 어류와 제1위험군 병원체를 의도적으로 접종시킨 어류를 격리시킨 후 유지 관리하는 데 알맞다. 표준 미생물 작업기술이 요구된다. 어류시설 관리자는 운영과 어류사육장에 대한 접근에 대한 방침, 절차 및 프로토콜을 정해야 한다. 직원에 대한 적절한 의료 감시가 도입되어야 한다. 안전매뉴얼 또는 운영매뉴얼을 준비하여 채택해야 한다.

19.7.2. 어류이용 생물안전 2등급

이 시설은 제2위험군 병원체를 의도적으로 접종시킨 어류를 이용한 연구시설로 알맞다. 다음 안전사항을 적용한다.

- 어류이용 생물안전 1등급에 대한 모든 기준을 준수해야 한다.
- 생물재해 경고 표시를 문과 다른 적절한 장소에 부착해야 한다.
- 시설은 청소와 시설관리가 쉽도록 설계해야 한다.
- 문은 안에서 열 수 있고, 자동 폐쇄식이어야 한다.
- 난방, 환기 및 조명이 적절해야 한다.
- 기계적 환기를 이용할 경우 공기가 내부로 흐르게 해야 한다. 배기 공기는 밖으로 배출되어야 하고, 건물의 어느 부분으로도 재순환되어서는 안 된다.
- 접근은 허가 받은 사람에게로 제한해야 한다.
- 실험용 이외의 어류의 유입은 허가되어서는 안 된다.
- 창문이 있다면 안전하게 파손 방지처리를 하고, 창문이 열려 있을 때에 곤충의 유입을 막는 스크린을 설치해야 한다.
- 사용 후에는 효과적인 소독제를 사용하여 작업 표면의 오염을 제거해야 한다.
- 에어로졸 발생과 관련될 수 있는 작업을 위해서는 전용 공기공급 장치와 HEPA 필터 배기 공기 장치를 갖춘 생물안전작업대(class I 또는 II)를 제공해야 한다.
- 현장 또는 어류시설과 적당히 근접한 곳에서 고압증기멸균을 이용할 수 있어야 한다.
- 배출수는 멸균하여 7일간 저장 후 배출 시킨다.
- 모든 폐기물과 사육기구는 폐기하기 전에 오염을 제거해야 한다.
- 가능할 때마다 날카로운 기구의 사용을 제한해야 한다. 날카로운 기구는 항상 구멍이 뚫리지 않은 용기에 담겨 꼭 맞는 뚜껑이 있어야 하고, 전염성으로 취급해야 한다.
- 고압증기멸균 또는 소각 대상 물질은 안전하게 폐쇄 용기에 담아 운반해야 한다.
- 어류 수조는 사용 후 오염을 제거해야 한다.
- 어류 사체는 소각해야 한다.
- 시설에서는 보호복과 장비를 갖추고, 시설을 나올 때 벗어야 한다.
- 손 세면대를 갖춰, 직원이 어류시설을 떠나기 전에 손을 씻도록 해야 한다.
- 아주 사소한 상처라도 적절히 치료하고 보고하고 기록해야 한다.
- 시설에서는 음식섭취, 음주, 흡연, 화장 행위가 금지된다.
- 모든 직원을 대상으로 적절한 교육을 실시해야 한다.

19.7.3. 어류이용 생물안전 3등급

이 시설은 제2위험군 병원체를 의도적으로 접종시킨 어류를 대상으로 하는 연구나 위해성 평가 결과 이용이 필요하다고 결정된 실험시설로 알맞다. 모든 시스템과 실행지침은 매년 검토하여 재 인증을 받고, 다음 안전사항을 적용해야 한다.

- 생물안전 1, 2등급 어류시설에 대한 모든 기준을 준수해야 한다.
- 접근을 엄격히 통제해야 한다.
- 이중 문을 사용하여 들어가는 전실이 갖춰진 구역을 두어, 다른 실험실과 어류 수조가 있는 구역과 분리시켜야 한다.
- 전실에는 손 세면대를 설치해야 한다.
- 전실에서는 샤워시설을 설치해야 한다.
- 기계적 환기를 통해 모든 실험실에 지속적인 공기흐름을 보장해야 한다. 배기 공기는 HEPA 필터를 거쳐 대기 중에 배출되고 재순환 되어서는 안 된다. 어류 수조 어디에서도 우연한 역류를 방지하도록 시스템을 설계해야 한다.
- 생물재해 표시가 된 어류수조와 가까운 위치에서 고압증기멸균기를 이용할 수 있어야 한다. 감염성 폐기물은 시설의 다른 구역으로 옮기기 전에 고압증기멸균 처리를 해야 한다.
- 소각로는 현장에서 즉시 이용할 수 있어야 하며, 관련 기관과 대체 방식을 협의해야 한다.
- 제3 위험군 미생물에 감염된 어류는 격리시설에 격리시켜야 한다.
- 보호복은 세탁 전에 오염을 제거해야 한다.
- 창문은 밀폐하여 닫고, 파손 방지처리를 해야 한다.
- 배출수는 멸균하여 7일간 저장 후 배출 시킨다.

19.7.4. 어류이용 생물안전 4등급

이 시설에서의 작업은 일반적으로 생물안전 4등급 최대 밀폐 실험실에서의 작업과 관련이 있으므로, 두 시설에 모두 적용되도록 국가 및 규칙과 규정이 조화를 이루어야 한다. 작업이 수트형 실험실에서 실시되어야 할 경우, 다음에서 설명하는 것 이상의 추가 실행지침을 적용해야 한다.

- 생물안전 1, 2, 3등급 어류시설에 대한 기준을 모두 준수해야 한다.
- 접근은 시설 관리자가 지정한 직원에 한해 들어갈 수 있도록 엄격히 통제해야 한다.
- 작업을 단독으로 진행해서는 안 된다. 즉, 2인 규칙이 적용되어야 한다.
- 직원은 가능한 한 미생물학자와 같은 수준 높은 교육을 받아 작업에 따른 위험 요소들을 숙지하고, 필요한 예방대책을 세운 뒤 작업을 진행해야 한다.

- 제4위험군 병원체에 감염된 어류 사육구역은 생물안전 4등급 밀폐 실험실에 해당하는 밀폐 및 적용 기준을 유지해야 한다.
- 에어로크 전실을 통해서 출입해야 하며, 청소구역은 탈의 및 샤워시설의 제한구역과 분리해야 한다.
- 직원은 시설 입장 시 일상복을 벗고 특수 보호복을 착용해야 한다. 작업 후에는 고압증기멸균을 위해 보호복을 벗고 나가기 전 샤워를 해야 한다.
- 음압이 보장되도록 설계된(내부 방향으로 공기 흐름) HEPA 필터 배기 장치로 환기가 이루어져야 한다.
- 환기장치는 역류와 양압을 방지하도록 설계되어야 한다.
- 밀폐실 외부 공간의 깨끗한 끝 쪽에 물품 교환을 위해 양문형의 고압증기멸균기를 설치해야 한다.
- 밀폐실 외부 공간의 깨끗한 끝 쪽에 고압증기멸균을 실시할 수 없는 물품 교환을 위해 에어로크를 통과 장치를 설치해야 한다.
- 제4위험군 병원체에 감염된 어류를 이용한 모든 조작은 생물안전 4등급 최대 밀폐 상태에서 이루어져야 한다.
- 모든 어류는 격리된 곳에서 사육시켜야 한다.
- 직원들의 의료 감독자가 있어야 한다.

19.8 캐나다의 수산생물 밀폐시설 운영절차

수생 동물을 다루는 작업을 하면 신체적 위험 (예: 소음, 극한 온도) 및 화학적 위험(예: 세척제, 소독 화학 물질)에 노출되는 등의 다양한 위험에 노출될 수 있다. 수생 동물과 시설에서 사용되는 화학 물질을 취급 할 때 작업자에 알레르기가 발생할 수 있다. 작업자는 사용 된 모든 화학 물질에 대해 material safety data sheets (MSDS) 에 숙지해야하며 담당직원은 살아있는 수생 동물 및/또는 수산동물의 조직으로 작업할 때 발생할 수 있는 잠재적 알레르기에 대해 숙지하고 있어야한다. 일부의 수생 동물 병원체는 사람은 감염이 되지 않는 것으로 인식되지만, 수생 동물 또는 수생 동물 병원체, 특히 미지의 동물 병원체를 작업 할 때는 더욱 주의를 기울여야한다. 다음은 연구 및 진단 실험실 및 동물 보호 시설에서 수행되는 작업에 대한 일반적인 운영 방침이다.

19.8.1. AQC1 운영절차

AQC1 시설에서 수생 동물 병원체를 취급 할 때는 다음과 같은 절차가 필요하다.

19.8.1.1 접근

실험실 및 지원 구역에 대한 접근은 허가 된 직원에게만 제한된다.

19.8.1.2 서류 비치 및 관리

- 생물 안전성 및 생물 보안 성 프로토콜과 관련된 기본 안전 및 일반 실험실 운영을 다루는 바이오 안전성 매뉴얼은 시설의 모든 직원이 이용할 수 있어야한다.
- 사고, 화재, 유출, 정전 및 기타 상황에서 비상 대응절차가 설명되어있는 기본 비상대응 계획(ERP) 매뉴얼을 사용할 수 있어야한다. 기본 비상대응계획(ERP) 매뉴얼에는 비상 탈출 절차, 시정 조치 및 보고체계를 포함해야합니다.

19.8.1.3 교육 및 훈련

직원은 정기적인 교육을 받아야하고 필요한 주의 사항을 알고 이해했는지 입증해야한다. 훈련은 문서화되어야하고 재교육 및 재교육 프로그램이 적절하게 이행되어야한다.

19.8.1.4 개인 보호 장비

- 시설 내에서 작업 할 때 모든 직원, 방문객, 연수생 및 기타 사람들이 적절하게 착용 한 적절한 보호복을 착용해야한다.
- 실험실이 아닌 곳에서 실험복을 착용해서는 안되며 실험복은 평상복과 별도로 보관해야 한다.
- 샘플과 작업 구역의 부주의한 오염을 피하기 위해 일회용장갑을 착용해야하고 장갑은 실험실을 떠날 때 벗어야하며 처분 전에 오염을 제거해야한다.
- 밀폐 구역에서는 발뒤꿈치까지 완전히 밀폐된(발가락과 발뒤꿈치) 신발만이 착용해야한다.

19.8.1.5 업무 관행

- 처분하기 전에 모든 생물체와 오염 된 폐기물을 불용 상태로 만들어야한다.
- 실험실 문은 항상 닫혀 있어야한다(실험실 내의 열린 공간에는 적용되지 않음).
- 실험실 또는 밀폐 구역에서 식사, 껌 씹기, 음주, 흡연, 음식물 및 기구 보관, 개인 소지품 보관, 화장품 도포 및 콘택트 렌즈 삽입 또는 제거 등의 행위를 해서는 안된다. 콘택트 렌즈 착용은 다른 형태의 교정용 안경이 적합하지 않은 경우에만 권장된다.
- 긴 머리는 손이나 표본, 용기 또는 장비에 닿지 않도록 뒤로 묶어야 한다.

- 장갑을 뺀 후 밀폐 구역을 나가기 전에 손을 씻어야한다.
- 에어로졸 생성을 최소화하기 위해 주의를 기울여야한다.
- 모든 오염 물질과 장비는 재사용을 위해 폐기 또는 청소하기 전에 오염 제거해야한다.
- 오염 된 작업 표면은 적절한 소독제로 오염 제거해야한다.
- 시설 내의 병원성 물질 운송은 누출 방지 용기를 사용해야한다 (예: 동일한 시설의 실험실 간).
- 이동은 청정 지역에서 오염 된 지역까지의 흐름 패턴을 설정하고 준수해야한다 (즉, 오염 지역이 가장 적은 곳에서 가장 많은 곳으로 이동).
- 모든 물질의 구강 피펫팅은 밀폐 영역에서 금지된다.
- 바늘, 주사기 및 기타 날카로운 물건의 사용은 가능한 최소화한다.
- 긁힌 자국을 포함한 모든 상처는 방수 드레싱으로 처리해야한다.
- 감염 물질에 대한 누출, 사고 및 잠재적인 노출은 즉시 실험실 감독자에게 보고하고 서면 기록을 보관해야한다.
- 설치류 및 곤충 통제 프로그램을 가동해야한다.

19.8.2. AQC2 운영절차

19.8.2.1 접근(access)

- 출입은 적합한 훈련이 된 시설팀, 관리팀, 실험자만 할 수 있도록 제한되어야 하며 방문객 및 훈련받지 않은 인원은 밀폐 시설에서 일하기 위해 숙련 된 직원과 동행해야한다.

19.8.2.2 서류(documentation)

- 문서화 된 바이오 안전성 매뉴얼은 모든 직원이 이용할 수 있어야하며 준수해야한다. 정기적으로 검토하고 업데이트해야한다. 이 매뉴얼은 오염 지역 (containment zone)의 처리에 대한 간략한 설명과 제어하는 방법뿐만 아니라 감염 물질(예: 표본, 표본 및 동물)을 수령 한 후 오염 제거 및 폐기까지의 일련의 내용을 포함해야한다. 그리고 직원 교육, 문서 보관, 입출국, 유출 정리, 공기 취급 / BSC 고장, 유출물 처리, 화재, 동물 탈출 및 기타 비상사태, 폐기물 처리, 생물학적 유해물질의 저장 및 처리 등이 포함되어야한다.
- 사람, 동물, 장비, 샘플, 쓰레기, 위험한 구성 요소 등에 대한 입/퇴장 규약을 작성하고 준수해야한다. 진행 중인 각 프로젝트에 필요한 특정한 프로토콜로 일반 프로토콜을 보완해야한다.
- 사고, 화재, 화학 물질 유출, 대기 처리 실패, 정전 및 유출을 포함한 비상 절차를 설명하는

매뉴얼을 준비해야한다. 매뉴얼에는 탈출, 응급 절차, 시정 조치 및 핵심 인원 및 적절한 규제 당국에 대한 보고가 포함되어야한다.

- 생명을 위협하는 응급 상황이 발생할 경우 인체의 건강과 안전이 최우선이다. 일상적인 절차가 생략 될 수 있는 비상탈출 매뉴얼이 설정되어야한다.
- 실험실 및 살아있는 동물 보관 장소에 오염 된 물이나 잔해가 튀거나 었질러 진 다음 노출된 표면을 오염 제거하기 위한 절차가 마련되어 있어야한다. 절차에는 오염 제거 시스템과 관련이 없는 한 배수 시스템으로의 오염 물질 방출 방지가 포함되어야한다.
- 실험실 책임자 또는 감독의 지명지는 다음 사항에 대한 책임이 있다.
 - i. 수산동물 병원균이 밀폐구역으로 들어가거나, 밀폐구역에서 유출 될 때
 - ii. 모든 규제 요구 사항 준수
 - iii. 직원 교육 제공
 - iv. 생물안전매뉴얼의 유지 보수
 - v. SOP 및 Biosafety 매뉴얼 준수
 - vi. 누가 시설에서 일할 수 있는 권한이 있는지 결정함.
- 시설에서 수행 된 모든 작업(건물 및 장비 유지 보수 기록, 기관생물안전관리책임자(IBO)가 작성한 검사 보고서, 수령한 선적, 수입 일자, CFIA 수입 허가, 관련 수입 된 수생성 병원체 물질, 검출된 관련 유기체, 포장재의 오염 제거 및 수생 동물 병원균의 다른 시설로의 이전)은 기록되어야 한다.
- 사용되는 수생 동물 병원체의 내용을 나타내는 적절한 표지판 (즉, 유형 및 밀폐 수준)은 각 실험실의 입구 문에 게시해야한다. 출입을 위한 특별 조항이 있는 경우, 관련 정보라도 게시해야한다. 그리고 실험실 관리자 또는 다른 책임자의 연락처 정보도 포함되어야한다.
- 감염 물질에 대한 모든 유출, 사고 및 명백하거나 잠재적인 노출 및 밀폐 실패 (예: 펌프 고장 및 역류)는 즉시 실험실 감독자 및 해당 규제 당국에 보고해야하고 기록은 5 년간 유지되어야한다.

19.8.2.3. 훈련(training)

- 작업자는 관련 작업과 관련된 잠재적 위험 및 전염 물질 및 인체 감염 가능성이 있는 물질에 대한 노출을 예방하기 위해 필요한 예방 조치에 관한 교육을 받아야한다. 교육 기록은 직원과 감독자가 관리한다.
- 밀폐 구역에 진입하는 모든 사람(예: 유지 보수 직원)은 출입을 위한 작업 절차에 대한 교육을 받아야한다. 연수생은 반드시 숙련된 직원을 동반해야한다.

- 밀폐 구역에서 근무하는 직원은 시설의 작동 및 설계 (여과 및 제염 시스템, 정보 시스템 등)에 대한 일반적인 지식을 갖추고 있어야 한다.

19.8.2.4 개인보호구(personal protective equipment)

- 밀폐 구역에 들어가는 사람은 필요할 때 장갑, 실험용 코트, 부츠, 작업복, 마스크, 호흡기, 눈 보호장치와 같은 적절한 전용 보호장비를 착용해야 한다.
- 작업자는 오염 된 의류는 세탁 전에 고압증기멸균기로 멸균하여야 한다. 일부 행동 및/또는 프로젝트에 따라 보다 철저한 출입 절차가 필요할 수 있다.

19.8.2.5 업무수칙

- 직원은 불필요한 개인 소유물(예: 모자, 외투, 지갑)을 밀폐구역 내로 가져갈 수 없다.
- 밀폐구역 문은 설비 설계에 따라 폐쇄된 상태로 유지되어야 한다.
- 밀폐구역 출입을 최소화하기 위해 가능한 필요할 모든 것을 준비해서 가지고 들어가야 한다.
- 숙련된 기술자가 필요하지 않은 사소한 수리를 용이하게 하기 위해 기본적인 공구키트는 밀폐구역 내에서 항상 사용될 수 있어야 한다.
- 밀폐구역으로부터 유출하기 전에 모든 오염된 액체 및 고형 폐기물(장갑, 피펫, 배지, 시료 물질 등)은 오염 제거되어야 하며, 폐기물을 오염제거 구역으로 안전하게 운반하기 위한 절차가 마련되어 있어야 한다.
- 고압증기멸균기와 기타오염제거공정은 적절한 작동을 보장하기 위해 검증이 되어야 하며, 적절한 생물학적 지표를 가지고 검증해야 한다.
- 수산동물의 사체와 조직은 효과적으로 오염제거 할 수 있는 기술을 사용하여 조각 또는 처리되어야 한다. 이런 물질이 밀폐주변 밖에서 오염 제거되기 위해 운반되어야 할 경우 적절한 라벨이 붙어있는 누설 방지 및 충격성 용기를 사용해서 수행되어야 한다.
- 누출방지용기는 시설 내에서 감염물질을 운송하는데 사용된다(예: 동일한 시설에 있는 실험실 간에). 타 시설로 운송해야 할 전염물질은 해당 규제국(예: 감염성물질 안전수송 지침)에 준수해야 한다.
- 밀폐구역의 주기적인 검사는 내부방향흐름(해당되는 경우), 결함 및 악화(예: 악화된 문 폐쇄)를 점검하기 위해 시설직원이 수행해야 한다. 시정조치를 취하고 기록은 3년간 보관해야 한다.

19.8.3. AQC3 운영절차

AQC1과 AQC2 시설에 대한 모든 운영은 AQC3 시설에 적용한다. 다음 섹션에서는 AQC3 시설에 요구되는 추가적인 최소운영실행에 대해 설명한다.

19.8.3.1 입장

- 밀폐구역은 공인된 실험실 직원, 유지보수직원 및 공무원에게만 제한된다. 밀폐구역 내 특정 구역에 대한 접근은 ‘필요할 때만’ 제공될 수 있다.

19.8.3.2 기록

- 실험실/시설 관리자 또는 지정자는 시설의 운영과 관련된 절차가 포함된 생물학적 안전성 안내에 대한 책임이 있다. 최신 상태를 유지해야 하고, 고용자는 관련 매뉴얼을 이해하고 준수 할 것에 동의했음을 증명해야 한다. 생물학적 안전성 매뉴얼에는 다음에 대한 정책 및 절차가 포함되어야 한다:
 - i. 훈련
 - ii. 사람(방문자 포함)과 재료의 출입
 - iii. 전염성 물질 취급(즉, 밀폐 내 수송, 보관, 배송 및 수령)
 - iv. 오염제거 및 폐기물 처리
 - v. 유출사고대응, BSC고장/전기고장과 같은 비상 절차
 - vi. 사고 및 사고에 대한 보고
 - vii. 장비의 사용 및 유지 보수
 - viii. 청소 및 시설 유지
 - ix. 해당되는 경우 의료 감시
- 위의 SOP에는 수행되는 작업의 성격과 각 프로젝트나 활동에 적합한 SOP가 적절하게 첨가되어야 한다.
- 시설에 들어가고 나가는 모든 사람들의 일지는 3년간 유지 관리되어야 한다.
- 내부 BSO가 준비한 검사 보고서뿐만 아니라 적용할 수 있다면 의료 감시 문서도 유지 관리되어야 한다.

19.8.3.3 훈련

- 밀폐구역에서 작업하는 사람은 시설의 물리적 작동 및 설계에 대한 지식을 가져야 한다

(예: 밀폐구역, 구역 간 기압 차, 방향 기류 패턴 및 유출 시스템 정보 신호).

- 직원은 적절한 수칙(SOP)과 기술에 능숙해야 한다.

19.8.3.4 개인 보호 장비

- 밀폐구역에 들어가는 사람은 장갑, 실험가운, 수술복, 부츠, 부츠커버, 작업복, 마스크 및 눈 보호 장비와 같은 전용보호 장비를 필요할 때 착용해야 한다.

19.8.3.5 업무수칙

- 밀폐구역에 들어가는 사람은 필요한 모든 재료를 가지고 들어가야 한다. 만약 잊어버린 것이 있다면 프로토콜을 계속 준수해야 한다(즉, 누군가에게 전화를 걸거나 가지고 들어 오거나 적절한 프로토콜을 이용하여 나가야 한다.).
- 에어로졸에 노출 될 위험이 있는 경우, 밀폐구역에서 나올 때 샤워가 필요한지의 여부를 결정하기 위한 프로토콜이 마련되어야 한다.
- 밀폐구역의 문에 달린 smoke pencil이나 다른 시각보조기구를 이용한 내부로의 공기흐름의 시각적 확인은 내부로의 공기흐름이 시설 설계에 부합하는지 확인하기 위해 숙련된 직원에 의해 정기적으로 수행되어야 한다.
- 밀폐구역 내 사람 수를 최소화하기 위해 밀폐구역을 사용하는 사람 또는 전문적으로 청소를 위해 훈련된 사람에 의해 일상적으로 청소되어야 한다.
- 밀폐구역은 항상 잠겨있어야 한다.
- 물 밀봉은 배수 트랩을 통해 유지되어야 한다(즉, 일정한 싱크대, 샤워기, 바닥배수 사용 또는 사용되지 않는 구역에서 충분히 자주 트랩 보충).
- 밀폐구역에서 고압증기멸균기를 할 수 없는 재료를 이 구역에서 오염을 제거하기 전에 효과가 입증된 다른 기술을 사용하여 오염을 제거해야한다.

19.8.4. *in vivo* 추가수칙

이전 섹션에서 제공된 AQC1, AQC2, AQC3에 대한 모든 운영수칙은 *in vivo* 시설에 적용할 수 있다. 달리 명시되지 않는 한 *in vivo* 수산동물병원체를 이용한 작업을 할 때는 (즉, 살아있는 동물 보호시설에서) 다음과 같은 추가수칙이 필요하다.

19.8.4.1 입장

in vivo 작업에 대한 이전 섹션에서 추가적인 입장에 대한 요구사항은 없다.

19.8.4.2 기록

- 수산 동물을 보호하는 곳(조달, 취급, 운송수단, 격리 등)과 폐수처리의 사용, 유지 및 입증하는 곳에서는 추가적인 절차가 있어야 한다.
- 운반수조(예: 탱크트럭)가 밀폐시설에서 출발하기 전에 적절히 오염제거 또는 살균으로 처분(박스, 쿨러 등)되도록 하기위해 이미 감염 된 수산 동물 또는 잠재적으로 감염이 될 수산 동물을 수령하기 위한 절차가 있어야 한다.
- ERP에는 폐수처리 시스템이 고장 났을 때를 위한 절차가 포함되어야 한다.

19.8.4.3 훈련

- 작업자는 살아있는 동물 보유 시설 장비와 관련된 작업에 대한 잠재적인 위험과 탱크로부터의 에어로졸 유출 및 누출을 최소화하기 위한 추가 예방 조치에 관한 훈련을 받아야 한다.

19.8.4.4 개인 보호 장구

- 밀폐구역에 들어가는 사람은 장갑, 실험가운, 수술복, 부츠, 부츠커버, 불침투성 장비, 작업복, 마스크, 호흡기, 머리보호대, 눈 보호 장비와 같은 전용 보호 장비를 필요할 때 착용해야 한다. 전신보호와 전용 PPE는 AQC3 *in vivo* 시설에서 착용되어야 한다.
- 죽은 동물이나 살아있는 동물 및 조직을 다룰 때는 장갑을 착용해야 한다. 장갑은 감염물질에 대한 노출을 방지할 수 있을 만큼 충분히 내구성이 있어야 한다.
- 살아있는 수산 동물을 취급하기 위한 튼튼한 장갑이 필요할 경우, 그들은 개별 탱크 별로 전용 장갑을 구비해야한다.

19.8.4.5 업무 수칙

- 동물보관탱크로부터의 폐기물(사료, 물과 동물 운송 컨테이너로부터의 잔해, 바닥 웅덩이, 의류, 그물, 동물조직 등)은 밀폐구역에서 제거되기 전에 오염 제거되어야 한다.
- 나가기 전에는 발을 씻어야 한다. 효과적인 발 씻기를 위해, 소독제를 사용하기 전에 유기 물질을 제거하고 소독제는 정기적으로 교체해야 한다.
- 동물 취급 장비와 마취 욕조나 수술 테이블 같은 전문 부대용품은 같은 기원 또는 취급의 수산 동물을 포함하는 탱크의 시리즈나 각 탱크에 전용되어야 한다.
- 동물 수용 장치는 동물의 탈출을 방지하도록 설계되어야 한다.
- 처리되지 않은 유출물의 수집이나 보유를 위한 탱크는 일정한 간격으로 균열 또는 손상을

점검해야한다.

- 슬러지/침전물은 적절하게 오염 제거 및 폐기될 때까지 안전하게 수용되어 저장 구역 내에 보관되어야 한다.

19.9 수산생물 병원체의 관리

본 장에서는 『수산생물질병 관리법』에 의거하여 지정검역물의 수출입검역, 수송방법 및 검역방법에 대해 개괄하고자 한다.

『수산생물질병 관리법』제23조(지정검역물) 및 동 법 시행규칙 제25조(지정검역물의 범위)에 따른 검역대상은 이식용 수산생물(정액,란 및 포자 포함), 식용·관상용·시험·연구조사용 수산생물 중 어류·패류·갑각류(정액,란 포함), 수산생물제품 중 열처리 및 절단 등의 가공을 하지 아니하고 냉동·냉장한 전복류, 굴 및 새우류, 시험·연구조사 또는 수산생물질병의 진료와 예방을 위한 의약품의 제조에 사용하기 위하여 국립수산물품질관리원장의 허가를 받아 수입하는 수산생물 또는 물건이다.

19.9.1. 수입검역 절차

지정검역물을 수입하려는 자는 공항·항만에 지정검역물이 반입되었을 때 검역 장소에 입고하고 수입 검역을 신청하여야 한다. 수입 검역신청 시에는 수입(재)검역신청서, 적하목록 사본, 검역 증명서 원본, 이식승인서 사본(이식용에 한함), 검량서(survey report) 등 검역에 필요한 서류를 구비하여 검역장소를 관할하는 국립수산물품질관리원 지원에 수입검역 신청서를 제출한다.

수입 지정검역물은 용도, 수출국가, 생산시설 등의 분류기준에 따라 서류검사, 임상검사 또는 정밀검사를 실시하여 합격 여부를 판단한다. 합격된 경우 수입검역증명서를 교부하고 불합격된 경우 검역신청인, 관할세관장, 국립수산물과학원(이식용) 등에 불합격 통보서를 송부하며, 불합격품에 대한 이동금지 표시를 부착하고 반송 또는 폐기, 매몰 시까지 관리한다.

19.9.2. 수출검역 절차

지정검역물에 대한 수입국의 검역 요청이 있거나 수출검역을 받으려고 하는 자는 검역시행장 외의 검역장소에 입고하여 검역절차를 거쳐야 한다.

수출검역은 수입국 정부기관 또는 수입자가 요구하는 기준 및 방법에 따라 실시할 수 있으며, 검역결과 합격인 경우 수출 검역증명서를 발급한다(Figure 19-1).

미국으로 비단잉어를 수출하는 양식장의 경우 미국의 수입조건에 따라 ‘최소 2년 이상 지속적으로

잉어봄바이러스병이 발생하지 않았음'을 증명하는 건강증명서(health certificate)를 제출하여야 하므로 국립수산물품질관리원에서 실시하는 모니터링 검사 후 미국에서 요구하는 조건이 충족된 경우 수출할 수 있다.

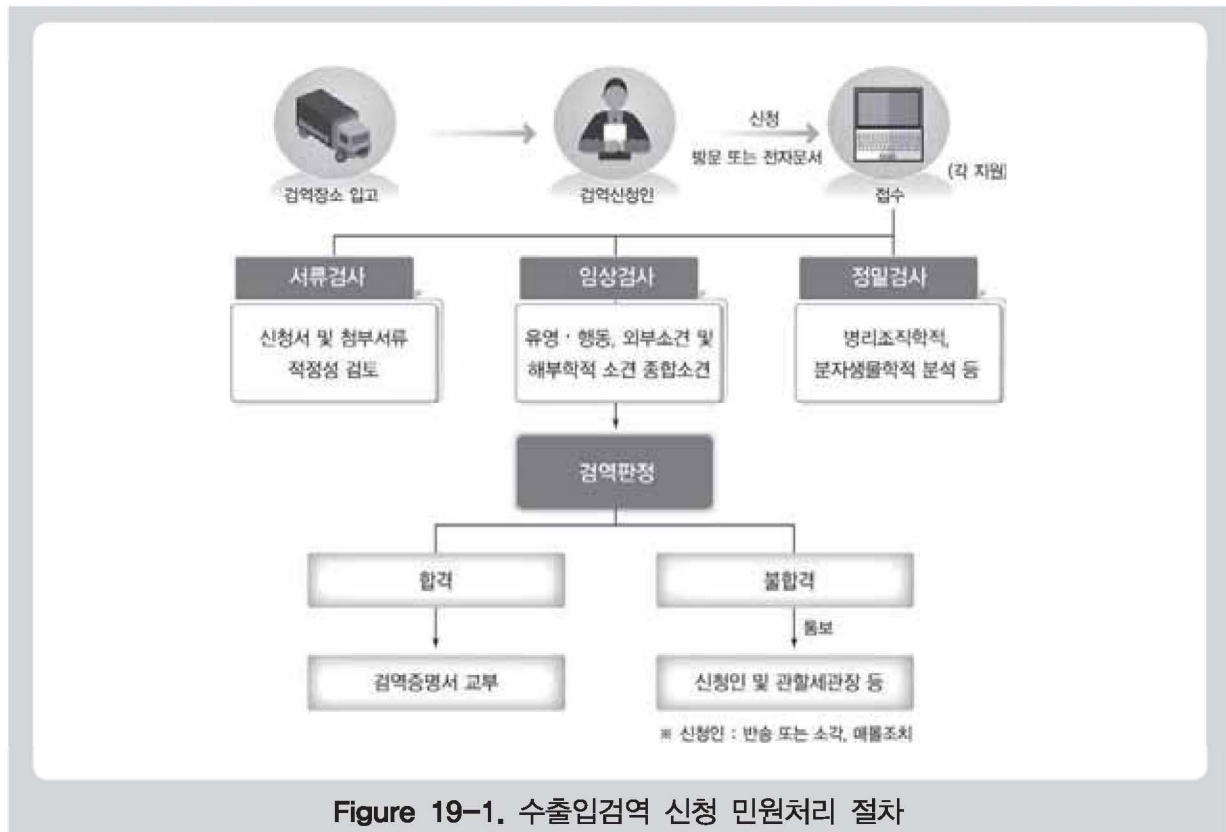


Figure 19-1. 수출입검역 신청 민원처리 절차

19.9.3. 지정검역물의 수송

『수산생물질병 관리법』제32조(검역시행장)에 따라 지정검역물의 수출입검역은 지정된 검역시행장에서 실시하여야 한다. 다만, 수입검역의 대상물건을 검역시행장에서 검역하는 것이 불가능하거나 부적당하다고 인정할 때, 또는 국내 방역상황 등에 비추어 해당 지정검역물이 수산생물감염병을 확산시킬 우려가 없다고 인정된 때에는 『수산생물질병 관리법 시행규칙』제35조(검역시행장 외의 검역장소 지정신청 등)의 내용으로 검역을 실시할 수 있다.