

구제역 매몰지에 대한 지반공학적 접근



박준범
서울대학교 공과대학
건설환경공학부
(junbpark@snu.ac.kr)

1. 서론

작년말과 올해초로 이어진 일련의 구제역발생과 그에 따른 매몰처분은 국가적인 심각한 사회적, 환경적 문제를 야기하였다. 살처분 가축수 약 347만여 마리, 매몰지는 전국적으로 4500곳 가량이 발생하여, 자치구별로도 제주와 전남만 빼고 경북·경기·충남 등 11개 광역 시도 75개 시군구가 구제역으로 몸살을 앓았다. 사실상 전국이 구제역을 겪었다는 이야기다. 이번 사태의 피해액도 과거 가장 심각하였던 2000년도의 구제역 사태시의 비용 3,006억원과는 비교가 되지 않는 3조원 이상에 달할 것으로 예상된다.

현재 이 문제는 가축 매몰지의 대량매몰처분과 호한에 서의 작업 등에 따른 부실한 매몰처분에 의하여 매몰지중 10%가량이 2차 오염이 우려되는 상황에서 매몰지 위치에 대한 관심이 증대되고 있는 상황이다. 동아일보(2011년 2월 16일자 기사)에서는 “구제역 감염 가축 매몰지 3,882곳을 전수조사해 분석한 결과 절반이 넘는 2,520곳 (64.9%)이 전 국민의 절반가량(약 2,500만 명)이 사는 한강유역에 분포하는 것”이라고 보도하였다.

또한 구제역 매몰지에서 300m 안에 있는 지하수 관정 이 전국적으로 1만 곳에 달하는 것으로 추산돼 침출수 공 포가 확산되고 있다(중앙일보, 2011년 2월 22일자 기사). 경기도를 예를 들면, 수도권 시민 2500만여 명의 식수원

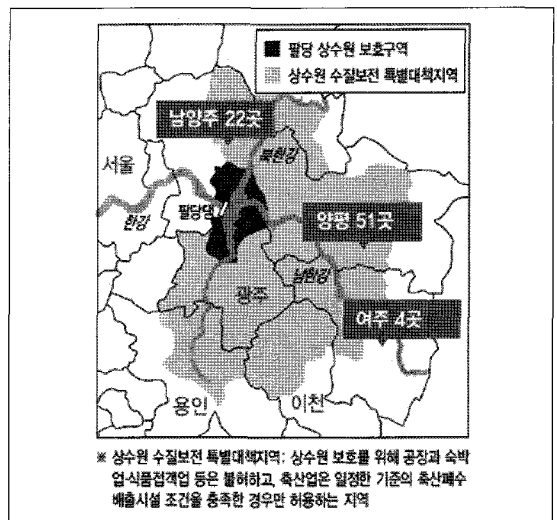


그림 1. 한강 상수원보호구역 인근 구제역 가축 매몰지 (한겨레, 2011년 2월 15일자 기사)

인 경기도 팔당 상수원 보호구역 인근 상류에 조성한 구제역 가축 매몰지가 137곳에 이르고, 경기도내 각 하천 인근에 만든 매몰지도 149곳이나 되는 것으로 조사되었다(한겨레, 2011년 2월 15일자 기사; 그림 1).

이러한 심각한 국가적 재앙에 직면하여, 본 고에서는 살처분 가축의 처리방안을 소개하고, 외국사례를 통해 기술적인 대처방안에 대하여 기술하고자 한다. 특히, 지반공학적인 관점에서 문제를 제기하고 그 대응방안을 찾아 보고자 한다.

2. 문제를 해결하기 위한 대응방안 - 현행 기술을 중심으로

2.1 살처분 처리방안: 동물의 사체처리 방법소개

(1) 소각

소각은 일반적으로 동물의 사체를 처리할 때 가장 먼저 생각할 수 있는 방법으로써 일반적으로 세 가지의 소각 방법 1) 노천소각(Open-air burning) 2) 고정시설소각(Fixed-facility incineration) 3) 공기커튼 소각시설 소각(Air-curtain incineration)이 널리 사용되고 있다. 단, 구제역 살처분의 조건상 적용이 매우 제한적이고, 효율이 떨어지는 단점이 있다. 즉, 살처분 가축은 원위치로부터의 이동이 제한적이라(평균의 확산 등) 적절한 소각장로의 이동이 곤란하다. 또한, 소각의 양이 매우 제한적이라 이번과 같은 대량의 구제역 발생상황에서는 적용에 어려움이 있다 할 수 있다. 최근 제안된 이동식 소각차량을 이용한 소각도 부분적으로 적용이 가능할 수 있으나, 구제역 가축사체의 대량 발생시에는 적용에 한계가 있다 할 수 있다.

1) 노천소각(Open-air burning)

이 소각 방법은 노천에서 소각하는 방법, 장작터미 위에서 소각하는 방법, 별다른 소각장비의 지원 없이 소각하는 방법 등을 말하는 것으로서 가축전염병이 대규모로 발생하여 비상상태 시에 급하게 동물의 사체를 처리해야

할 경우 사용하는 방법이다. 열려져 있는 공간에서 수행하는 공정의 특성상 도심지로부터 먼 곳에서 수행하여야 한다. 특히 노천소각을 실시할 장소를 선정할 때 지역주민들에게 이 사실을 충분히 알리는 것이 중요하다. 밀짚, 목재, 석탄재 등의 발화물질이 사용되나, 페타이어, 고무, 플라스틱 등은 검은 연기 등을 생성하기 때문에 사용해서는 안 된다. 깨끗한 소각을 위해서는 얇은 구덩이를 파고 바닥에 좁은 도랑을 파서 산소의 공급이 충분하도록 하는 것이 좋다. 상당히 많은 양의 재가 생성될 수 있고 대기오염 등 추가적인 환경오염이 발생할 수 있다. 또한, 함수비가 높은 상태에서의 소각은 효율을 매우 떨어뜨릴 수 있다.

2) 고정시설소각(Fixed-facility incineration)

이 소각 방법은 농가에 있는 소규모 소각로, 소규모 및 대규모 소각시설, 화장시설 및 발전소의 소각시설에서 처리하는 방법을 말하는 것으로서 이러한 고정식 소각시설은 완전히 격리되어 있으며 고도의 제어가 가능하다는 장점이 있다. 고정식 소각시설에서는 디젤연료, 천연가스 또는 프로판 등을 발화물질로 이용하며 페타이어, 고무, 플라스틱 등은 다이옥신 등을 발생시킬 우려가 있기 때문에 사용하면 안 된다.

3) 공기커튼 소각시설 소각

(Air-curtain incineration)

이 소각 방법은 흡기매니폴드와 배기매니폴드로 난기류의 환경을 조성하여 노천소각 시스템의 6배 이상의 효율을 가지는 소각조건을 만들 수 있는 방법이다. 전통적으로 쓰레기 매립시 깨끗한 목재폐기물의 소각, 홍수시 발생하는 폐기물 소각 등에 이용하는 방법이었으나 최근 구제역 및 광우병으로 인해 사체 처리요구용량이 증가하면서 동물의 사체 소각을 위해서도 사용된다. 공기커튼 소각의 경우 디젤엔진을 이용하여 대용량의 팬을 가동시켜 강한 바람을 생성하고 이를 소각구덩이에 공급하고 이러한 장치들을 이동식으로도 제작이 가능하다. 게다가 소각 후 남은 재는 에어커튼의 기압을 이용하여 소각구덩이에 그대로 파묻어 버릴 수 있다는 장점이 있으나 구제역 및 광우병에 걸린 가축사체의 소각재를 그대로 묻어 버린

표 1. 소각별 종류별 장단점 (서울시립대학교 산학협력단, 2010)

	노천소각	고정식 소각시설	공기커튼 소각시설 소각
장점	- 비교적 저렴함	- 광우병 감염가축 사체 처리 가능함 - 고도로 생물학적으로 안정함	- 이동식 - 환경친화적 - 동물사체처리와 다른 모든 폐기물 처리에 모든 사용이 가능함
단점	- 광우병 감염가축 사체 처리에 부적합 - 노동력과 연료가 많이 필요함 - 날씨 조건에 크게 의존함 - 대기오염, 토양오염, 수질오염 유발 가능함 - 주변 주민의 호응을 얻기 어려움	- 고비용 - 규제지침에 맞추어 가동 및 관리가 어려움 - 대부분의 농장 및 수의과대학 소각로는 소용량이므로 대규모로 발생하는 가축진염병으로 인한 가축사체 처리가 불가능함 - 대규모 소각시설에서는 가축 반입을 불허하는 곳이 많음. 이러한 시설에서는 가축사체 처리가 불가능한 곳이 많음	- 연료 소모가 많음 - 가축사체를 운반하는 데서 문제가 발생할 수 있음 - 광우병 감염 가축사체 처리 적합성 여부 검증되지 않음.

다는 것은 침출수 유출 등의 문제를 유발할 가능성이 있다.

(2) 용출법(Rendering)

용출법은 동물의 사체를 세 가지의 최종산출물 1) 동물의 사체를 가루로 만든 것(Proteinaceous solids), 2) 녹인 지방 또는 기름(melted fat), 3) 공정에 사용한 물(Waste Water)로 분류하여 처리하는 것을 뜻한다. 렌더링은 사체의 크기를 간소화하는 공정과 물, 지방, 고체분을 분리하는 공정을 포함하며 여과, 압축, 연속식 원심분리, 용매 추출 등의 다양한 방법을 통하여 분리된 세 가지의 최종 산출물들은 동물의 사료로 사용되거나 거름으로 사용된다. 무게를 간소화 하는 과정에서는 동물의 사체를 부수고, 잘게 갈은 후에 고온의 열로 사체 내에 존재 가능한 미생물을 죽이고 사체의 60%를 구성하고 있는 액체 성분을 증발시키는 작업을 포함하는데 이때 발생하는 증기는 여과 및 재 소각을 통하여 제거한다. 이러한 과정 때문에 렌더링은 다량의 이산화탄소를 발생시킬 여지가 있다. 간소화 과정을 거치고 남은 40%의 동물의 사체는 지방분(15%)과 단백질분(25%)으로 구성되어 있는데 이는 원심분리와 강한 압축을 통해서 서로 분리된다. 보통 단백질분은 고체형태로 존재하는데 이는 파우더 형태의 사료로 재구성 되고 혹은 비료로 사용되기도 한다. 그러나 구제역, 광우병 등이 걸린 동물의 사체에서 나온 것들은 소각

에 의해 제거 되는 것이 일반적이다. 동물사체의 지방분은 화장품, 비누, 연료 등으로 재사용 된다.

용출법은 동물의 사체를 간소화 할 수 있다는 데 큰 장점이 있으며, 최종산출물을 재활용 할 수 있다는 것이 큰 장점이나, 용출법이 가진 문제점은 고온의 열을 발생시키기 위해서 많은 연료가 필요하고 증기를 만들기 위해 사용되는 물의 양도 엄청나다. 발생하는 이산화탄소로 인한 온실가스배출의 문제를 내포하며, 플랜트 주변에서는 심한 악취가 날 수 있고 미관을 해치는 문제가 있을 수 있다. 그리고 렌더링 과정 후 남은 잔여물(고체분, 액체분, 증기분등)을 다시 매립하거나 추가적으로 재처리해야하는 문제가 발생 할 수 있다. 이번 구제역 상황에서의 적용은 이 동처분의 제한, 구제역 병원균의 확산문제로 고려되지 않은 방법이었다.

(3) 매립(Landfilling)

구제역과 같은 질병에 걸린 동물의 사체는 공학적으로 안전하게 설계되어 침출수 및 가스포집이 가능하도록 설계/시공된 매립지에 처분되어야 한다. 가스포집시스템이 제대로 설치된 경우 80-90%이상의 효율로 메탄가스가 포집이 될 것이고, 매립지 근처의 지하수는 지속적으로 모니터링 하여 침출수의 누출 우려를 줄여야 할 필요가 있다. 또한, 사면에 매립된 경우는 지반보강등을 통하여 매립에 안정성을 도모하여야 한다. 공학적으로 설계된 매

표 2. 각 공정별 특징(Paul Watkiss and Alison Smith, 2001)

	매립법	소각법	융출법
공정	1. 전처리 필요 없음 2. 적절한 매립장소 선정 3. 매립 후 모니터링	1. 전처리 필요없음 2. 발화물질과 함께 동물의 사체 소각 3. 소각후 남은 재는 매립	1. 동물사체 잘게 부수기 2. 고온과 고압으로 동물의 사체 가공 3. 액체분, 지방분, 고형분 분리 4. 지방분 재사용 5. 액체분, 지방분은 소각 후 매립
특징	1. 침출수 위험 2. 메탄가스 발생 3. 악취 및 더러운 이미지	1. 많은 연료분 사용 2. 소각후 발생가능한 매연은 포집장치로 최대한 억제해야함 3. 소각후 남은재의 매립 필요	1. 많은 연료분 사용(지방분의 재활용 가능) 2. 소각시 매연발생 가능 3. 소각후 남은 재 매립필요

표 3. 각 공정별 가격비교(Paul Watkiss and Alison Smith, 2001)

Incineration	Environmental cost (£) per carcass		
	Low	Central	High
Cows	0.6	8.0	15.9
Sheep	0.1	0.8	1.6
Pigs	0.1	1.6	3.2
Rendering	Environmental cost (£) per carcass		
	Low	Central	High
Cows	2.4	12.9	24.0
Sheep	0.2	1.2	2.2
Pigs	0.5	2.4	4.5
Landfilling	Environmental cost (£) per carcass		
	Low	Central	High
Cows	5.4	12.5	25.5
Sheep	0.5	1.3	2.5
Pigs	1.1	2.5	5.1

립지는 2차오염의 환경적 피해가 미미하지만, 간혹 악취 및 침출수의 유출에 따른 지하수 오염의 문제 등으로 환경과 생태계에 심각한 영향을 주기도 한다. 그러나 대량 처분이 가능하고, 이동 처분이 아닌 방법이기때문에, 이번 우리나라의 구제역 살처분 가족은 바로 이 방법을 통하여 축산 농가 주변에 대부분 매몰 처분되었다.

표 3은 2001년 영국에서 구제역 발생시 각 처리법으로 처리한 가족사체당 소요된 가격이다.

구제역 침출수란 매몰된 가족이 썩어 발생된 물을 말한 다. 침출수는 유기물 부하가 매우 높아 적정처리하지 않으면 지하수의 오염, 인근지역의 농작물 등에 피해를 초래할 수 있다. 일반적으로 침출수 유출여부를 판단할 수 있는 지표로는 암모니아성 질소, 질산성 질소, 염소이온, 대장균 등이 있다. 이들 항목이 배경농도 지점에 비해 높게 검출되거나 암모니아성 질소, 염소이온 등이 동반 상승하는지를 토대로 전문가 검토·분석을 거쳐 침출수 유출여부를 판단한다.

2.2 침출수에 의한 지하수 오염의 문제

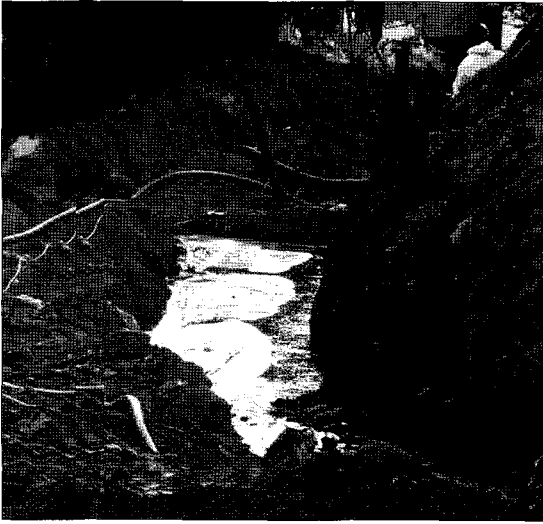


그림 2. 구제역 침출수로 2차 오염 비상
(연합뉴스, 2011년 1월 3일자 기사)

(1) 매몰지 침출수의 기본 처리 방안

가축사체 매몰지 조성 시(일반적으로 크기는 폭x길이x 깊이가 10m x 10m x 5m정도로 조성) 매몰지 구멍이 바닥에 비닐을 이중으로 깔고 점토물질을 덮어 차수층을 조성하여, 지하수 오염을 방지하고, 사체의 유기물 등을 흡입할 수 있는 유공관을 설치하여 수시로 소독 후 폐수처리하고 있다(그림 3). 동물의 사체가 부패하는 과정에서 매몰지 내부에서 발생한 가스의 압력에 의해 침출수가 지

상으로 배출될 수 있으나 침출수는 저류조를 통해 정기적으로 수거하거나, 톱밥을 뿌려 흡수한 다음 수거하여 소독하고, 생석회 등으로 매몰지 외부로 소독하여 환경오염 우려가 없도록 하고 있다. 또한 가축매몰지 주변에 지하수 관측정을 설치하여 3년간 주기적으로 관측(처음 1년간은 분기 1회, 2~3년까지는 반기1회)하여 지하수 오염 여부를 확인하고 있다. 관측결과 가축매몰지로 인한 지하수 오염이 확인될 경우 매몰지 내 침출수 유출방지를 위하여 침출수를 회수처리하고 있으며, 관측지점의 지하수는 양수하여 오염된 지하수를 정화 조치하도록 관리하고 있다(환경부, 2010).

(2) 침출수의 누출의 원인

침출수에는 부패한 동물 사체에서 나온 침출수엔 대장균, 장 바이러스 등 미생물과 질산성 질소, 암모니아성 질소 등 유독화학물질이 함유될 가능성이 높다. 또 심한 패혈증을 유발하는 탄저균과 같은 치명적인 병원균이 섞여 나올 수 있다. 따라서 이런 침출수가 지하수로 흘러 들어가고, 이 물을 마실 경우 사람에게 치명적일 수 있다. 또한 침출수가 하천으로 흘러 들어가면 수질 오염의 원인이 될 수 있고 주변지역의 토양 오염과 악취를 유발할 수 있다. 침출수의 누출은 다음과 같은 원인에 의해 발생된다.

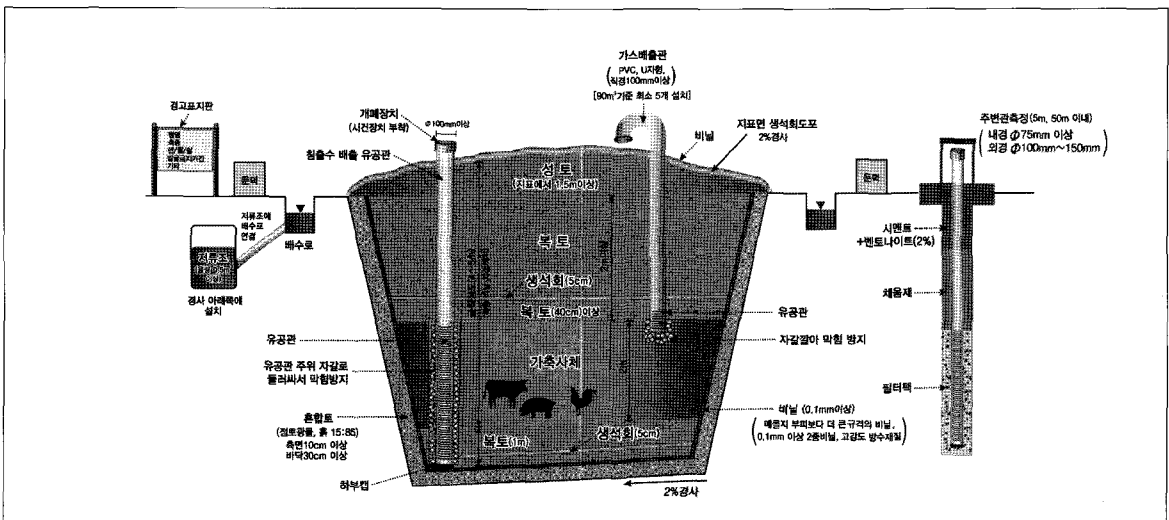


그림 3. 환경부 지침 매몰지 설치 모식도 (환경부, 2010)

가. 차수층의 경우

- 생매장된 가축이 몸부림치는 과정에서 바다에 깔린 비닐을 훼손 할 경우 (이번 구제역 매몰 처분시 이러한 현상 다수 발생)

- 바다 점토차수층의 미설치 및 적절치 못한 설치로 인하여(특히 측면부위) 침출수 유입 가능

나. 산비탈, 배수로 등 매립이 적절치 않은 곳에 매몰해 우기시에 산비탈 등이 유실, 붕괴되는 경우 (지반공학적으로 적절한 보강이 되지 않아 붕괴, 유실)

다. 배수로 및 저수조가 설치되지 않은 경우

(3) 현행 매몰지(정부방안)의 침출수 처리 방법

구제역 발생과 관련하여 가축매몰지 사후처리 차원의 침출수 처리 방법에는 두 가지가 있다. 첫 번째는 침출수 배출용 유공관을 통해 매몰지내 침출수를 수시로 뽑아내어 소독 후, 구제역· 고병원성 조류인플루엔자 검사를 실시하여 음성일 경우 폐수처리 하는 것이고, 두 번째는 매몰지 저류조 내에 저류된 침출수를 산·알칼리 제재로 처리한 후 pH미터기 또는 리트머스 시험지 등을 이용하여 pH가 5 이하 또는 10 이상인지를 확인한 후 이송처리를 하는 것이다. 구제역 바이러스는 산성(pH 5 이하) 또는 알칼리성(pH 10 이상)인 경우 불활화(사멸)되므로 pH 확인 후 이상이 없을 경우 별도의 구제역 바이러스 검사를 실시하지 않아도 무방하다. 참고로 2011년 2월 21일까지 국립수의과학검역원에서 지자체에서 산·알칼리 제재로 처리한 후 의뢰한 침출수 검사시 80건을 검사한 결과, 구제역 바이러스가 검출된 사례는 한건도 없었다고 한다

(농림수산식품부 동물방역과, 2011).

단, 침출수를 집수, 배출하는 방법은 상당부분 제한적인 방법이라 할 수 있다. 왜냐하면, 지금은 침출수를 일정 부분 뽑아냈다고 하더라도, 우기가 오면 우수의 침투로 또다시 침출수가 발생하고, 침출수 전량을 효과적으로 뽑아내는 것은 불가능하다 할 수 있다. 특히, 환경부 모식도를 보면, 석회석 층을 조성하게 되어 있는 바, 이를 통한 평균효과는 있겠으나, 사체의 분해에 유용한 세균마저 사멸하여 적절한 분해가 일어나지 않을 수도 있다. 이렇게 되면, 침출수는 장기간 발생하고, 이를 모두 처리하는 것에는 한계가 있다고 본다.

3. 영국의 사례조사

영국에서는 2001년 2월 구제역 발생 확인 후 약 7개월 여 동안 6백만두 이상의 가축이 살처분되었다. 양이 525만두로 전체 80%를 차지하였고, 소가 그 다음을 차지하였다. 이러한 엄청난 구제역 재앙은 신속한 초동 대응의 실패 때문이었다. 최초 발생이 확인된 2월 20일부터 3월이 지난 23일에서야 이동제한 조치가 내려져 구제역 확산이 촉진되었다. 최초 일주일동안 발생건수가 7건에 불과했으나 그 이후 기하급수적으로 증가하여 9월 말까지 총 발생건수가 2,000건을 초과하였다. 구제역 감염경로에 대한 역학조사 결과 불법 수입된 육류가 섞인 음식물 찌꺼기가 사료로 이용되어 돼지에 감염된 것으로 추정되었다. 소의 경우 구제역 감염증상이 뚜렷한데 반해 양은 구

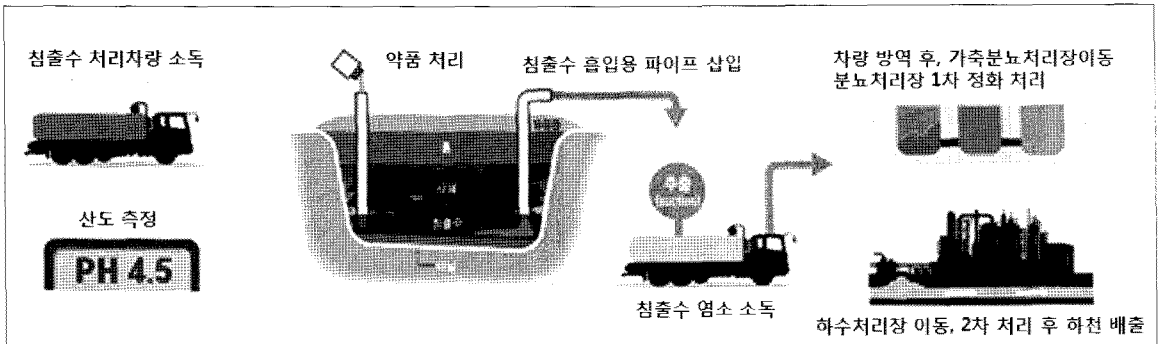


그림 4. 구제역 매몰지 침출수 처리과정(Newsplus, 2011)

제역 전문가라도 쉽게 지나치기 쉬울 정도로 감염증상이 잘 나타나지 않아 양으로부터 감염된 가축의 숫자가 기하급수적으로 확대된 것으로 보인다.

일반적으로, 백신접종이 구제역 확산방지에 효과적인 것으로 알려져 있으나, 영국에서는 구제역 청정국 지위의 유지 관련 문제로 인하여 살처분 정책만을 끝까지 고수하여 그 피해가 더 커졌다. 반면, 영국으로부터 구제역이 전염된 네덜란드는 백신접종과 살처분, 그리고 이동제한 조치를 병행하여 발병 1개월여만에 구제역을 종식시키고 그 후 5개월 뒤에 OIE(국제수역사무국)으로부터 구제역 청정국 지위를 되찾았다.

영국의 경우를 더 보면, “감염 농가와 알려진 위험한 접촉물에 대한 신속한 살처분은 신속한 이동통제 및 신속한 진단과 함께 구제역과 대부분 다른 전염성 강한 질병을 통제하는데 앞으로도 필요할 것이다. 많은 경우 이것은 질병발생이 풍토병으로 발전하지 않도록 보장하는데 충분하지 않다. 최근 백신 과학의 발달과 개선된 무역 규정을 전제로 하면 긴급 백신접종은 구제역 발생 초기부터 통제전략의 일부로서 이제 반드시 고려되어야 한다. 이것은 백신접종을 하고 그 후 비감염으로 판정된 동물로부터 생산된 육류와 육류생산물인 인간식품으로 유통되는 것을 허용하는 이른바 ‘살리기 위한 백신접종’을 의미한다.”(Summary and Main Recommendations 중 제10항) 위는 가축병 보고서 상의 내용으로 **백신접종과 살처분을 병행하여 백신접종없는 광범위한 살처분을 제한하는 것을 권고**하고 있다(The Royal Society, 2002). 이는 구제역 발생시 광범위하게 살처분만 하는 기존 정책보다는 긴급 백신접종을 사용하고 감염 농가와 접촉물만 살처분 하는 정책이 반드시 필요하다고 결론내리고 있다. 백신기술이 향상되어 백신이 저비용으로 구제역 통제에 효과적인 것으로 인정받고 있다는 것을 의미한다.

영국은 2001년의 구제역 대참사를 겪은 이후, 단순 살처분만이 아닌 백신접종을 병행하는 쪽으로 정책을 변환하였다. 또한, 초기대응이 늦어 피해가 크게 증가한 것으로부터 착안하여, **확산방지에 주력하기 위하여 구제역 발생 확인시 6일 동안 가축 이동을 제한하고, 농민과 수의사에게 즉시 이메일과 문자메세지로 이를 통보하는 시스템**

을 갖추었다. 또한, 살처분에 따른 사체의 매립과 관련된 규정의 기준을 보완하고 지하수나 상수원 오염 우려가 있는 일부 지역의 동물 사체는 수거하였다. 이는 우리에게도 시사하는 바가 크다 할 수 있다. 우리의 현행법은 매몰처분한 가축은 3년간은 다시 수거(재매립) 할 수 없도록 하였으나, **실제로 매몰지가 상수원, 혹은 식수취수정과 인접한 곳이어서 침출수 유입의 문제가 시급한 경우라면, 차라리 수거하여 재처리하는 방안도 고려할 필요**가 있다고 본다.

4. 매몰지의 지반공학적 문제 및 대책

급증하는 살처분 가축을 효과적으로 매몰 처리하기 위해 환경부와 농림부는 지난 해 11월 가축매몰지 환경관리 지침을 공포했다. 이 매뉴얼에는 구제역이나 조류독감으로 살처분 된 가축을 매몰 처리하기 위한 매몰 절차 및 방법이 상세하게 설명되어 있다(그림 x). 환경부의 매뉴얼에 의하면 구제역 매몰지는 매몰지 선정, 굴착, 차수재 설치, 하부 복토, 가축 매몰, 상부 복토, 지표 성토의 순서로 폐기물 매립지 시공 순서와 유사하게 설치되며 2차 환경오염을 방지하기 위한 차수재 설치, 침출수 배출 유공관, 가스배출관의 설치 등의 시설 요구 조건과 비탈진 곳을 피하고 하천과 관정, 도로 등에서 30 m 떨어진 곳에 매몰해야 하는 입지 조건 등을 안내하고 있다. 하지만, 보다 효과적인 매몰처분 및 관리상 장기적인 관점에서 **환경부 매뉴얼에 대한 다음의 문제점을 지적하여** 불만하다고 본다.

(1) 차수층

우선은 지침대로 바닥차수층을 조성하는 것이 중요하다. 그러나 연직으로 굴착하여 매몰지를 구성하다보니, 특히 측면 부위의 점토차수층의 조성이 어려운 관계로 적절한 차수가 이루어지지 못하고 있다. 이에 대한 대응방안이 필요하다. 침출수는 바닥뿐만이 아니라 당연, 측면으로도 유출될 수 있다.

또한, 대부분의 위생매립지에는 고밀도 폴리에틸렌시트(HDPE sheet)와 같은 토목섬유재를 통하여 침출수의

유출을 최소화한다. 마찬가지로 가축매몰지에도 이와 유사한 형태의 토목섬유재(비닐막)를 반영하나, 현재의 경우, 두께가 매우 얇고(0.5mm정도), 강도 등이 약하여, 매몰과정중에 파손되는 경우가 많이 발생한다. 이에 대한 개선이 필요하다.

(2) 석회석층

현행 매몰지 지침은 석회석층을 두어 병원균을 소독하는 효과(발열과정으로)를 유도하나, 종종 사체를 분해하는데에 유용한 미생물까지 살균하므로 분해과정이 오히려 적절하게(빨리) 발생하지 않을 수 있다. 석회석층에 대한 효과에 대한 검토가 필요하다고 본다.

(3) 분해가스 배출관

적절한 분해가스의 배출과 공기의 순환은 매립물의 분해와 관련하여 가장 중요한 부분이다. 대부분의 위생매립장을 준호기성으로 조성하여 폐기물의 분해를 빠르게 촉진코자 하는 것도 그 이유이다. 그러나 현행 매몰지의 배출관은 분해가스(주로 메탄가스 등)의 배출에 효과적이지 못하다. 오히려 사체에서 발생한 유분과 혈액 등이 응고하여 바로 막혀버리는 상황이 왕왕 발생하고 있다. 가스 배출관을 비롯한 적절한 공기순환시스템의 조성이 무엇보다도 중요하다.

환경부에서 만든 지침대로 매몰지를 구축한다면 구제역 살처분 가축 매몰지에 의한 2차 환경오염은 어느 정도 안전하다고 볼 수 있다. 문제는 구제역의 확산 방지를 위해 촉박한 시간에 가축을 매몰하다 보니 환경부의 지침을 따르지 않은 매몰지가 다수 발견된다는 것이다. 2월 6일, 17일, 3월 2일에 발표된 환경부의 조사 자료는 부실 매몰지의 위험성을 잘 대변해 주고 있다.

2011년 2월 6일 환경부와 경상북도는 경북 도내 가축 매몰지 750곳을 대상으로 부처 합동으로 매몰지 입지 적합성을 조사한 결과를 내놓았다. 그 결과 1차 위험판단 매몰지 90곳 중 61곳(88%)에 문제가 있어 보강 공사가 필요하다는 결론을 냈다. 정부는 이런 사태가 발생한 이유를 각 지자체와 방역당국이 산비탈이나 계곡, 하천 변 등 가축들을 묻어서는 안 될 곳에 매몰지를 조성했기 때문으로

분석하고 있다. 환경부는 뒤 이어 2월 17일에 한강 상류 지역의 가축 매몰지가 상당수 부실하게 만들어져 있다는 공식 자료를 발표했다. 환경부에 의하면 지방자치단체에서 문제 우려가 있어 조사를 요청한 한강 상류지역 구제역 매몰지 83곳을 점검한 결과, 27곳에서 보강 공사가 필요한 것으로 나타났다고 밝혔다. 이들 부실 매몰지 중 12곳은 하천과 관정, 도로 등에서 30m 떨어져 매몰해야 하는 지침을 어기고 하천 5m 옆에 매몰하는 등 이격거리를 위반한 것으로 드러났고 4곳은 비탈진 곳에 매몰지를 설치한 것으로 나타났다. 또한 환경부는 3월 2일, 경북 도내 가축 매몰지 중 2월 6일 보강 공사를 결정한 61곳 이외에 추가로 51곳에 대한 보강공사를 결정했다고 밝혔다. 51곳 중 대부분은 비탈면에 설치된 매몰지로 비탈면이 무너질 가능성이 있거나 유실 및 침출수 유출이 우려되는 곳이었다.

위의 사례처럼 부적절한 입지에 설치된 매몰지는 해빙, 강우 등에 의해 붕괴 및 유실될 위험이 크다. 특히 비탈면에 설치된 매몰지는 붕괴 위험이 매우 크다고 볼 수 있다. 가축 매몰지가 아닌 일반적인 매립지의 경우에도 사면의 경우는 사면 파괴의 위험을 고려하여 옹벽 설치, 마찰각을 증가시키기 위한 토목섬유 첨가 등의 안정화 처리를 하게 된다. 즉, 사면에 형성되는 매몰지는 차수, 매립, 복토의 전 과정을 지반환경적인 측면뿐만 아니라 지반공학 적 영향까지도 고려하여 설계 및 시공되어야 충분한 안전성을 확보할 수 있다는 의미이다.

그러나 이번 구제역 가축 매몰 과정에서는 과연 이러한 지반공학적인 고려가 충분하였는지에 대한 의문이 생긴다. 이러한 매몰지에서는 몇 가지 문제점이 발생할 수 있다. 첫째는 매몰지 상부 복토층의 표면 토양이 강우 등의 영향으로 인해 지속적으로 유실됨으로 인하여 매몰지 내부가 드러나는 문제이다. 이는 사면이기 때문에 평지에 비하여 강우의 흐름 등이 더 많이 발생하고 이에 따라 표면의 유실이 평지에 비해 더 많이 발생할 수 있는 것에 기인한다. 특히, 충분한 두께로 상부 복토를 실시하지 않은 매몰지의 경우, 표면 토양 유실로 인하여 심지어 매몰된 사체가 외부로 드러날 가능성도 배제할 수 없다. 둘째는 매몰지 내부에 침출수가 고여 사면의 안정성이 감소되고

이로 인해 사면 전체가 붕괴될 수 있는 문제이다. 환경부의 매몰지 관리 지침을 보면, 매몰지의 설계는 하부뿐만 아니라 상부에도 차수재로 시공을 실시하여야 한다는 내용이 있으며, 또한 주위에 배수로를 설치하여 매몰지 내부로 물이 침투하는 것을 방지하도록 해야 한다는 내용이 있다. 그리고 침출수는 수시로 뽑아내어 관리하도록 되어 있다. 그러므로 매뉴얼대로의 시공이 이루어지면, 침출수가 고이는 문제가 발생하지 않을 것으로 예상된다. 그러나 만약 상부 차수재의 부적절한 설치, 게릴라성 집중호우로 인한 차수재 파손 및 매몰지 내부로의 강우 침투, 또는 침출수의 관리가 적절하게 이루어지지 않을 경우 등과 같은 상황에서 매몰지 내부에 물이 고이게 되고, 이에 따라 사면의 안전성이 감소되는 상황이 발생할 수 있다.

날씨가 따뜻해지면서 해빙 시기가 다가오는 것도 매몰지에는 큰 위협이 된다. 겨울철 얼어있던 토양 수분이 봄이 되어 녹게 되면 토양의 강도가 약해지고 녹아버린 물이 유효유 역할을 하여 매몰지의 붕괴를 촉진할 수 있다. 이 역시 비탈면에 조성된 매립지의 경우 심각한 붕괴 위험을 낳을 수 있다. 또한 매몰지 하부에 존재하는 일부 얼음이 녹아 부등침하가 발생될 경우 매몰지의 차수층에 균열이 생겨 침출수가 유출될 수 있는 가능성을 고려해야 한다.

하천 및 계곡 주위에 조성된 매몰지는 침출수 유출에 의한 2차 오염 확산의 우려가 매우 크며 호우 시 범람한 물에 의해 매몰지가 유실되거나 잠겨어 침출수가 유출될 가능성이 있다. 침출수 유출 문제 이외에도 비탈면에 설치된 매몰지의 경우처럼 강우와 범람한 물에 의한 매몰지 붕괴 가능성 역시 고려해야 한다.

매몰지 내부에서 사체가 부패하면서 지반공학적 문제를 유발하기도 한다. 내부에 매몰된 사체들은 부패과정에서 가스와 침출수를 배출하며, 이때 부피 팽창이 발생하게 된다. 여기서 발생하게 된 가스 및 침출수가 배출관을 통해 충분히 외부로 빠져나가게 된다면 큰 문제가 나타나지는 않으나, 실질적으로 몇몇 매몰지에서는 가스 및 침출수가 제대로 배출되지 못하여 매몰지 상부 전체가 응기하는 현상이 발생하였다. 이 과정에서 일부 지역에서는 사체가 매몰지 밖으로 돌출하는 현상이 발견되기도 하였

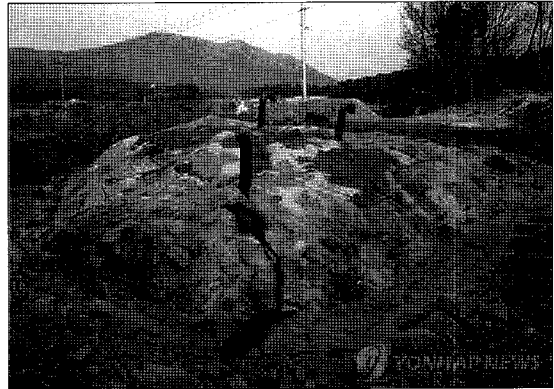


그림 5. 사체 부패로 인하여 응기가 발생한 매몰지 사진 (연합뉴스 제공)

다(그림 5). 더구나 기온이 점점 올라가는 상황에서 이와 같은 현상은 점점 더 빈번하게 발생할 것으로 예상된다. 매몰지 주변에 기반 시설 또는 건물이 존재하지 않기 때문에 응기 현상 자체는 다른 큰 문제를 야기하지는 않지만, 사체가 매몰지 외부로 돌출되는 현상에 대해서는 적절한 대책 마련이 필요할 것이다.

위의 같은 매몰지의 붕괴 및 유실을 방지하기 위해서는 우선 환경부의 매몰지 매뉴얼을 충실히 따르는 것이 중요하다. 물론 가축 부패에 의한 응기 문제는 매뉴얼을 충실히 따르는 매몰지에서도 발생하는 문제로 알려져 있으므로 가스 배출관에 대한 추가적인 고려가 필요할 수 있다. 또한 폭우를 대비해서 매몰지를 비닐 및 방수포 등으로 덮고 배수로를 추가로 설치하는 노력이 필요할 것이다. 그러나 지난 2월 말에 내린 국지성 호우에 의해 특별히 피해가 확산된 매몰지에 대한 보고가 나오지 않는 것을 볼 때, 매뉴얼을 충실히 따르는 것이 매몰지에서의 2차 환경오염을 막는 기본적인 방법임을 알 수 있다. 특히 위의 예를 볼 때, 입지 선정에 있어 큰 주의를 필요로 할 것이다.

기본적으로 새로 조성해야 하는 매몰지는 자치당국의 관심과 노력으로 최대한 매몰지 매뉴얼에서 제시하는 기준을 만족할 수 있게 조성하는 것이 중요할 것이다. 그러나 기준을 만족하지 못하는 기 조성된 매몰지의 경우 본격적인 해빙기와 장마철이 도래하기 전에 보강 공사가 시급히 요구된다. 매몰지의 보강은 비탈면에 설치된 매몰지의 붕괴를 막기 위한 응벽의 설치와 침출수의 유출과 호

구제역 매몰지에 대한 지반공학적 접근

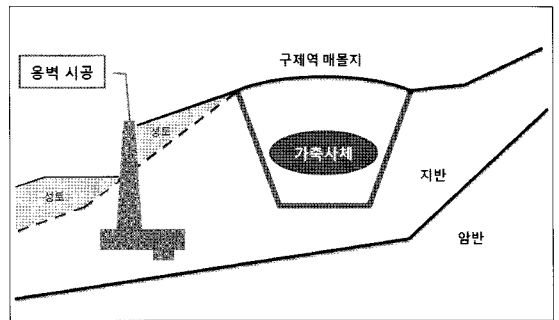
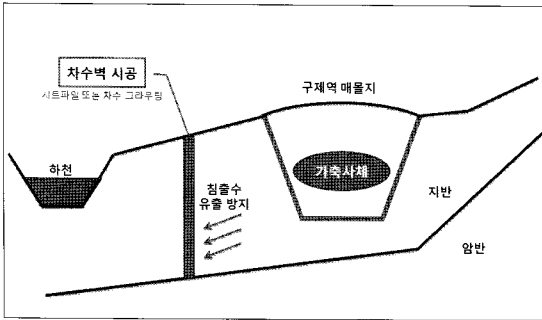


그림 6. 매몰지 침출수 차단 차수벽과 옹벽 개요도

우로 인한 증가를 막는 차수 시스템의 보강을 들 수 있다 (그림 6). 비탈면 매몰지의 붕괴를 막기 위한 방법으로 옹벽 외에도 현장타설 격자블록이나 슛크리트 공법 등이 사용될 수 있으나 가격과 성능을 고려할 때 옹벽의 설치가 효과적일 것이다. 차수 시스템은 대표적으로 슈트 파일과 차수그라우팅 및 slurry 차수벽 공법 등을 들 수 있으며 이러한 공법은 매뉴얼대로 조성된 매몰지에서도 집중 호우를 대비하여 설치를 고려할 만하다. 슈트파일과 차수그라우팅으로 대표되는 차수벽의 설치 외에도 배수로를 정비하고 확대하는 것 역시 효과적인 보강 공법으로 볼 수 있다.

이 밖에 대전시는 콘크리트 벽의 두께가 17cm 가 넘는 콘크리트 옹벽형 매몰지를 조성하였다(그림 7). 대전시에 조성된 매몰지는 두꺼운 콘크리트와 3중 특수 방수비닐을 사용하여 침출수 유출의 위험과 매몰지 붕괴에 대한 위험을 방지하였다. 또한 매몰지 내 유해 미생물의 증식을 억제하고 악취 발생을 막을 수 있는 복합 미생물제를 추가로 살포하여 매몰지의 조기 안정화에도 힘쓰는 모습

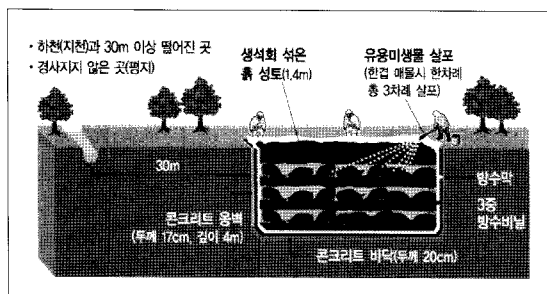


그림 7. 대전의 구제역 가축 매몰지 조성 개념도 (경향신문, 2011년 2월 17일)

을 볼 수 있다. 이러한 공법은 고비용이 들 수는 있지만 부실 시공된 매몰지로 인해 추가되는 보강 비용과 시민들의 우려를 생각했을 때 적극적으로 검토되어야 할 것이다.

현재의 매몰지를 그대로 둔 상태에서 보다 지반환경적인 대책을 고려한다면 다음의 공법을 제시할 수 있다고 본다(그림 8).

이는 현 매몰 상태의 조건을 그대로 받아들이는 상태에서 처리하는 방법으로 다음의 방법을 고려한다.

(1) 분해를 촉진하는 공기순환시스템

가장 중요한 것은 사체가 빠르게 분해되어야 한다는 사실이다. 이에 공기주입이 적절한 방법일 수 있다. 기존의 가스 배출구를 이용하여 주입한 공기는 배출하고, 배출하는 출구에는 활성탄 등을 충전하여 악취를 제어한다. 배

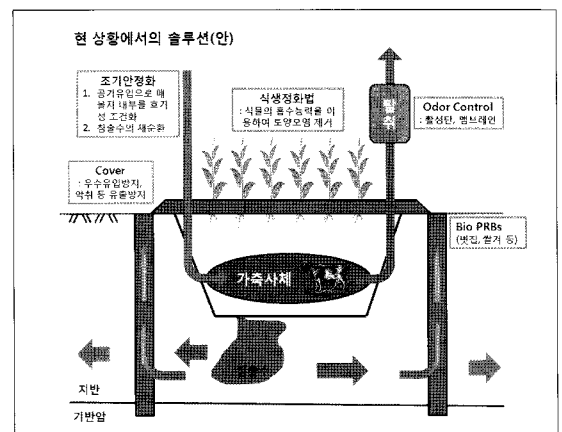


그림 8. 현 상태를 고려한 지반공학적인, 지반환경적인 솔루션안

출가스는 실제로는 메탄등을 많이 포함하므로 biogas로
도 이용될 수 있다.

(2) 지표처리

침출수의 생성은 강수의 유입에 의한 부분이 크므로 이
를 최소화 하는 것이 중요하다. 이에 지표는 비닐덮개, 혹은
비닐하우스와 같은 우수차단 시설을 두어 강수의 유입
을 줄인다. 이는 주변으로의 악취의 확산도 줄일 수 있는
효과가 있다.

또한, 지표 및 토양의 오염을 최소화하고자 식생정화
(phytoremediation)와 같은 개념을 적용할 수 있다. 매물
지 및 그 주변에는 나무와 풀등을 심어 지표 및 지표 아래
부분의 유해한 성분을 고정하고(fixation), 안정화
(stabilization)한다. 식물은 상당기간 사체로부터 발생하
는 유해한 물질을 흡수하고, 분해할 수 있는 능력이 있으
므로 매물지의 심미적 효과를 도모하는 점과 더불어 환경
적인 측면에서도 적극적인 대처방안이 될 수 있다.

(3) 지하수에 대한 침출수오염 - 반응벽체

(Permeable Reactive Barriers, PRBs)

지하수로 유입된 침출수는 지중으로 더욱 확산되면 하
천과 같은 상수원의 오염을 초래하므로, 이에 대한 대책
이 시급하다. 현재 수도권 상수원인 팔당화 주변 지역은
심각한 오염이 예상되는 경우, 침출수를 뽑아 살균처리
후, 하수처리장으로 보내고, 하천에 인접한 매물지의 경
우는 연직차수시스템으로 대처하고 있다. 긴급한 경우라

면 모를까, 이와 같은 방법은 침출수가 계속적으로 생성
되는 상황에서는(특히 우기시) 지속적으로 대처하기가 쉽
지 않은 솔루션이라 볼 수 있다. 이에, 반응벽체 공법을 제
안한다. 반응벽체는 지중에 설치하는 일종의 필터이다.
즉, 지하수가 지나가는 경로에 필터형의 벽체를 형성하
여, 오염된 지하수가 반응벽체를 지나가면서 오염물질을
분해하고, 필터링하는 시설물이다(그림 9).

구제역 침출수는 주로, 질소(N)성분, 인(P)성분, 구제역
바이러스, 박테리아 등을 가지고 있으므로, 이를 제어하
여야 한다. 반응벽체 내에는 축산농가에서 구하기 쉬운
벼짚, 왕겨, 나뭇조각, 톱밥 등을 활성탄과 함께 충전하여
일종의 바이오필터벽을 형성한다. 이것이 바로 Bio-
PRB로, 성공적으로 설치되면, 지중내에 침출수가 축적
되지 않고, 생물학적 분해로 오염물의 제거가 이루어질
것이다.

5. 결론

구제역과 같은 재앙은 사전에 발생하지 않도록 주의하
는 것이 가장 중요하다. 그러나 예기치 않게 발생하는 경
우, 지반공학과 지반환경의 개념을 갖춘 매물처분이 반드
시 필요하다. 환경적으로는 침출수, 악취 등이 적절히 제
어되도록 하고, 지반공학적으로 침출수의 유출과 사면의
안정을 포함한 지반의 안정화를 도모하여야 한다.

위에서 언급한 공법과 더불어, 결론으로 상시의 대책을
논하자면, 평시에는 축산폐기물의 바이오가스 회수시설
및 퇴비화 시설로 사용하다가, 구제역과 같은 재앙이 발
생하는 경우, 살처분 가축의 분해를 돕는 매립공간으로
사용할 수 있는 모듈화된 시설이 갖추어져야 하겠다. 이
는 콘크리트, PVC box 등으로 구성될 수 있으며, 공기순
환시설, 침출수의 집배수시설, 악취의 제거시설 등을 포
함한다. 이러한 시설의 설치에는 비용이 발생하겠지만,
적절히 이용된다면, 에너지의 회수가 가능하고, 퇴비도
생산하며, 매립공간으로도 사용할 수 있으므로 녹색기술
이라 할 수 있겠다.

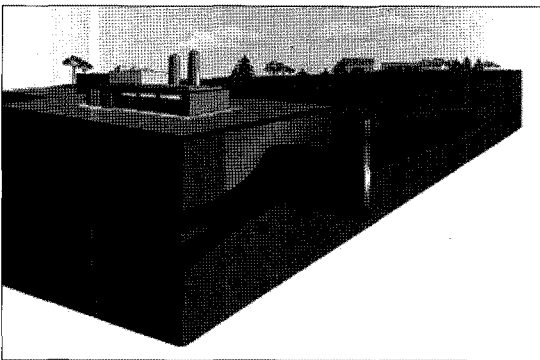


그림 9. 반응벽체의 개요도

참고문헌

1. 고영곤, 2011, 2001년 영국 구제역 재앙의 교훈: 방역에서 환경문제까지, 시선집중 GS&J Institute
2. 경향신문, 2011년 2월 17일, 대전 '구제역 매몰'도 과학도시 답네
3. 농림수산식품부 동물방역과, 2011, 가축 매몰지 침출수 처리 방법-설명자료
4. 국민일보, 2011년 2월 28일, 구제역 매몰지 옆 생수공장 먹는 물 '위협'
5. 동아일보, 2011년 2월 16일, [구제역 매몰지 전수조사] '낙동강 수원' 영강 인근에 매몰지 총총... 경북 수질 초비상
6. 동아일보, 2011년 2월 16일, [구제역 매몰지 전수조사] 구제역 가축매몰지 3882곳 전수조사 해보니
7. 서울시립대학교 산학협력단 (2010), "가축매몰에 따른 환경오염관리방안 마련"
8. 연합뉴스, 2011년 2월 17일, 이천서 구제역 돼지 사체 잇단 팽창 돌출
9. 영국 하원, 2002, Foot and Mouth Disease 2001: Lessons to be Learned Inquiry Report
10. 중앙일보, 2011년 2월 22일, [구제역 2차 재앙 침출수] 매몰지 300m 내 '우물' 1만여 곳
11. 중앙일보, 2011년 3월 2일, 네티즌 만든 '구제역 매몰지 지도'
12. 한겨레, 2011년 2월 15일, 팔당 상수원 반경 15km 구제역 가축 매몰지 77곳
13. 환경부, 2010, 가축매몰지 환경관리지침
14. Brent Auvermann, Ahmad Kalbasi, Anindita Ahmed (2004), "Carcass Disposal: A Comprehensive Review Chapter 4 - Rendering
15. Justin Kastner, Randall Phebus (2004) Carcass Disposal: A Comprehensive Review Chapter 2 - Incineration
16. Newsplus, 2011년 2월 22일, 구제역 매몰지 침출수 처리과정
17. Paul Watkiss, Alison Smith, AEA Technology Environment (2001), "CBA of Foot and Mouth Disease Control Strategies: Environmental Impacts"
18. The Royal Society, 2002, Infectious diseases in livestock(가축병 보고서)
19. 영국의 구제역 백신접종 통제규칙 (<http://www.legislation.gov.uk/uksi/2006/183/body/made>)

