



# 가축매몰지 소멸시 잔존물 처리방안

## Treatment of residues of excavated carcasses burials

김건하\*  
Geonha Kim\*

한남대학교 토목환경공학과  
Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University

### ABSTRACT

Burials for the rapid disposal of carcasses have diverse and profound effects on the rural living condition, natural environment, and local economy throughout construction, management and final destruction of burials. In this study, possible residue excavated from standard burials, storage using FRP (Fiberglass Reinforced Plastic) tanks, and microbial-treated burials are characterized as carcasses, contaminated soil by leachate, and wasted plastic film. Treatment technologies for volume reduction of the residue including composting, rendering, and thermal hydrolysis were investigated. If the solid and liquid residues generated during volume reduction treatment are directly transferred to the environmental facilities, it may cause disorder due to high concentrations of organics, antibiotics, and lipid. Benefits and drawbacks of composting as a volume reduction techniques are extensively investigated. We also discussed that proper treatment of excavated soils and the reusing the treated soil as agricultural purpose. For the protection of public health and worker's hygiene, treatment criteria including produced residue qualities, and quality standards for the treated soil as agricultural use are required. In addition, Scientific manual for the proper treatment of residues is required. It is necessary to consider the establishment of a pretreatment facility to the occurrence of large-scale residue treatment.

**Key words:** Burial ground, Carcass, Environmental facility, Treatment, Waste

**주제어:** 매몰지, 사축, 환경기초시설, 처리, 폐기물

## 1. 서론

가축매몰지가 조성되는 이유는 구제역, 조류독감과 같은 공기전파 가축질병을 통제하기 위한 수단으로서 선제적인 살처분이 가지는 장점이 있으며, 이때 발생하는 사축을 신속하고 저렴하게 처분할 수 있기 때문이다. 매몰지를 이용한 사축의 최종처분은 소규모 사축 발생시 효율적으로 작동할 수 있으나 대규모 사축 발생시 심각한 환경문제가 발생할 수 있다. 부실하게 조성된 매몰지에서 누출되는 침출수는 지하수를 오염시키고 하류로 유하되어 지표수를 오염시킨다 (Glanville

et al., 2003; Gwyther et al., 2011). 2001년 영국에서 구제역으로 인한 대규모 사축 발생시 노천소각 등 검증되지 않은 사체처리 방법을 사용하였는데 농경지 다 이옥신 오염과 같은 환경오염 뿐 아니라 질병확산을 방지하기 위한 차단방역(biosecurity) 측면에서도 심각한 문제가 유발될 수 있음이 제기되었다 (Scudamore et al., 2002). McClaskey (2014)의 연구에 따르면 매몰된 사축은 5년에서 최대 10년까지 분해 과정이 지속되는 것으로 추정되지만 대규모로 매몰된 사체는 수년이 경과된 후에도 체액유실 외 큰 부패가 진행되지 않은 경우가 관찰되었다.

매몰지에서 발생한 침출수의 고농도 유기물로 인한 토양 지하수 오염뿐 아니라 사체에서 발생한 병원균과

Received 21 February 2018, revised 10 May 2018, accepted 17 May 2018

\*Corresponding author: Geonha Kim (E-mail: kimgh@hnu.kr)

pp. 211-220

pp. 221-233

pp. 235-242

pp. 243-251

pp. 253-259

pp. 261-268

pp. 269-277

pp. 279-289

바이러스로 인한 오염에 대한 고려도 필요하다. Kim et al. (2012)은 침출수에서 발생된 박테리아와 장 바이러스가 토양·지하수 환경에서 장시간 생존할 수 있으며 바이러스로 인한 지하수 오염에 대하여 모니터링의 필요성을 제기하였다. 또한 Gwyther et al. (2011)는 매몰지주변 지하수 이용관정을 사용하는 제품과 식수를 통한 병원균의 잠재적 노출에 관한 가능성을 제시하였다. 이와 같이 매몰지는 국민보건을 위협하는 직접적인 원인으로 인식되고 있다.

우리나라에서 가축매몰지의 환경오염 가능성에 대한 우려가 제기된 계기는 2010~2011년 구제역 발생이었다. 여러 논란에도 불구하고 2010년부터 현재까지 6089개 매몰지가 조성되어 약 4700개 매몰지가 사체 분해 확인없이 관리해제 되었으며 2017년 11월 기준 1169개 매몰지에 대하여 주기적인 지하수 분석 등 관리되고 있다 (MAFRA, 2017a; MAFRA, 2017b). 또한 매몰지에 의한 환경오염 우려에도 불구하고 2016년 11월부터 2017년 5월까지 발생한 조류독감 630개 농장 중 500개소는 매몰처리, 130개소는 렌더링 등 비매몰처리 되었다 (Namuwiki, 2018).

매몰한 후 3년간의 발굴금지 기간이 종료되는 즉시 매몰지를 소멸시키려는 요구가 높는데, 가축매몰지의 조성고 관리와 관련된 이해관계자가 축주, 토지주, 정부, 지자체 등 다양하므로 그들간 이해가 충돌할 가능성이 매우 높고, 축주와 토지주는 매몰지를 조기 소멸하고 부지 재사용을 희망하기 때문이다. 그러나 이와 같은 매몰지의 소멸, 매몰부지 재사용과 관련된 행정적, 기술적인 기반은 취약하다.

공기로 전파되는 가축질병 확산과 관련되는 논란에도 불구하고 농림축산식품부에서 제시하는 ‘가축매몰지 사후관리지침’에 따르면 발굴금지기간에도 병원체가 음성인 경우 발굴하여 열처리, 소각이 가능하다 (MAFRA, 2017b). 매몰지 소멸처리를 위한 미분해 사체처리 방법에 따르면 관측정 수질측정 및 병원체 검사결과 이상이 없으나 미분해 사체가 남아있는 가축매몰지는 미분해 사체 및 잔존물을 전부 발굴한 후 소각 또는 열처리하거나 농장내 퇴비장에서 퇴비와 교반처리를 허용하고 있으며 가축사체와 열처리 부산물을 이용하여 1일 평균 1.5톤 이하의 부산물비료를 생산하여 판매하는 것도 가능하다 (MAFRA, 2017b). 열처리는 병원성폐기물 전처리에 사용되는 autoclave가 아니라 실무에서는 대부분 렌더링을 지칭하는데,

규격은 제시되지 않으며 사육을 이용한 퇴비의 품질 기준 등이 없으므로 혼란이 발생하고 있다.

사체의 적법한 최종처분은 매우 어렵다. 동물의 사체가 가축전염병으로 발생되었다면 가축전염병예방법(MAFRA, 2017c)에서 정한 규정에 따라 처리하여야 하며, 동물의 사체가 전염병에 의하여 발생되지 않은 경우에는 폐기물관리법(MOE, 2017a)에서 정하는 방법에 따라 처리하여야 한다. 가축전염병으로 죽은 경우가 아닌 동물의 사체가 "폐기물관리법시행령 제2조"의 규정(MOE, 2016)에 의한 사업장에서 발생되었다면 사업장폐기물에 해당되어 소각하거나 관리형매립 시설에 매립하여야 하고, "폐기물관리법시행령 제2조"의 규정에 의한 사업장에 해당하지 않는 경우에는 생활폐기물로 분류되어 자치단체의 조례가 정하는 바에 따라 처리하여야 한다. 그러나 사육을 관리형 매립지에 매립하는 것은 반입조차 불가능한 형편이고 소각역시 일반 소각시설을 이용하기 어려워 자체 설비를 갖추거나 위탁처리하고 있다.

농림축산식품부는 2010~2011년 구제역 발생시 조성된 매몰지를 2018년부터 순차적으로 소멸할 예정인데 (MAFRA, 2018a), 이 과정에서 발생하는 잔존물 처리방법 및 그 과정의 환경영향에 대한 검토가 미흡하다. 따라서 본 연구의 목적은 가축매몰지 소멸과 관련된 제반 기술, 관련정책에 있어 문제점을 식별하고 및 향후 기술에 기반한 관련정책 추진방향을 설정하는 것이다.

## 2. 매몰지 형태별 잔존물 형태

가축전염병 예방법(MAFRA, 2017c), 조류인플루엔자 긴급행동지침(MAFRA, 2016), 구제역 긴급행동지침(MAFRA, 2018b)에 의하면, 살처분된 사체는 대형저장조, 간이 FRP(Fiberglass Reinforced Plastic) 저장조, 렌더링, 소각, 미생물처리 등 친환경적 매몰처분으로 처리함을 원칙으로 하되, 이들 방법으로 처리하기 곤란한 경우 적절한 매몰장소에 매몰하도록 하고 있다. 따라서 관련법규에서 언급된 매몰지를 일반매몰지, 미생물처리된 매몰지, 단순저장 매몰지로 구분하여 잔존물 형태에 대하여 고찰한다.

### 2.1 일반 매몰지

일반매몰은 사체처분을 위하여 토양을 굴삭하고 바



다 및 측면에 비닐을 포설한 후 침출수 저류조 및 유공관을 설치하고 사체를 투입한 후, 매몰지 상부에 성토를 하고 불투수재를 포설하는 방법이다. 비교적 저렴한 비용으로 신속하게 원인병원균을 차폐시키는 장점이 있으나 침출수누출 우려가 높다.

관리기간이 경과된 일반매몰지를 소멸시키는 경우 발생가능한 잔존물은 미분해된 사축, 매몰지 조성시 사용된 폐비닐, 누출된 침출수와 혼합된 토양이다. 실제 소멸사례를 검토하여 보면, 미분해 사축만을 선택적으로 제거시킬 방법은 없으며, 미분해사축, 토양, 폐비닐이 혼합되어 매몰된 사축체적의 수배~수십배에 이르는 매몰지폐기물이 배출된다.

사체 자체는 약 70%의 수분을 함유한 부패성 유기물질이므로 매몰된 가축 사체에는 병원성미생물과 바이러스가 존재하며 사체 매몰 후 부패과정에서 흘러나오는 침출수와 여기에 함유되어있는 미생물을 비롯한 각종 오염물질의 영향으로 매몰지 주변의 토양 및 수계환경은 오염의 위험성을 내포한다. 가축매몰에 따른 환경오염 관리방안(MOE, 2017b)에 따르면 침출수내 존재할 가능성 있는 병원균으로는 *E.coli* 0157:H7, *Campylobacter*, *Salmonella*, *Leptospira*, *Clostridium*, *Cryptosporidium*, *Giardia*, BSE (Bovine Spongiform Encephalopathy) prions (광우병유발 단백질)가 있으며, 수질오염을 나타내는 대표적인 지표세균으로는 분원성대장균군(Fecal coliform), 분원성 연쇄상구균(Fecal streptococci), *Shigella*가 있다. 또한 사축에 존재하는 미분해 항생제가 유출될 가능성이 있는데 매몰지에서 주변 환경으로 유입된 항생물질은 자체의 독성뿐만 아니라 인간과 환경을 위협하는 강한 내성을 가지는 병원균들을 생성할 수 있어 보건상 심각한 문제를 초래할 수 있다. 즉, 일반 매몰지를 소멸시키는 경우, 보건상 위해를 미치는 병원균과 항생제가 포함된 토양과 병원성폐기물이 다량 발생하며 이에 대한 대책이 필요하다.

## 2.2 미생물처리 매몰지

미생물처리 매몰지는 매몰지 조성시 사축부패를 가속시키기 위한 미생물을 추가하는 방법이며, 조류인플루엔자 긴급행동지침(MAFRA, 2016), 구제역 긴급행동지침(MAFRA, 2018b)에 예시된 호기성호열미생물을 이용한 가축사체 매몰방법이 다수 적용된 바 있다. 이는 사축과 유용미생물, 왕겨 등의 부속재를 이

용하여 매몰하는 방법이며 미생물 증식을 이용하여 가축사체를 분해하며 분해중 발생하는 열을 이용하여 병원균 사멸을 유도한다. 사체량에 비하여 주입하는 공기량이 적고 교반하지 않으므로 사체분해가 완료되지 않는 경우가 발생하며, 관리기간 이후 잔존물 소멸작업이 필요하다. 이러한 매몰지를 소멸시킬 경우 발생하는 잔존물의 형태는 미분해사축과 부속재의 혼합물이며, 침출수 누출이 확인된 일반매몰지를 이설하여 미생물처리하여 재매몰한 경우, 일반매몰지 잔존물과 유사한 미분해사축, 부속재, 폐비닐, 토양이 혼합된 형태로 발생한다.

## 2.3 저장조를 이용한 매몰지

대형액비저장조 또는 간이 FRP저장조를 이용하여 사축을 매몰한 경우 관리기간이 경과된 후 소멸시 발생할 수 있는 잔존물은 미분해사축, 저장조폐기물 등이다. 일반매몰지를 이설하여 HDPE (High Density PolyEthylene), FRP, PE (PolyEthylene) 재질 저장조로 이설한 경우, 일반매몰지와 유사한 잔존폐기물이 발생하고, 질병발생시 사축을 직접 매몰한 경우, 미분해사축이 발생한다. 저장조를 이용한 매몰지 이설사례를 고찰하여 보면 사축분해가 완료된 경우는 드물며, 함수율이 낮은 미분해 사축과 다량의 폐사체가 발생한다. 또한 이설시 저장조가 파괴되므로 도리어 일반매몰지에 비하여 소멸이 까다롭다.

## 3. 매몰지 소멸잔존물 처분 방법

잔존물은 저장형태의 미분해 사축, 또는 토양이나 폐비닐과 미분해사축이 혼합된 형태로 배출되며, 이의 처분방법으로서 빈번하게 언급되는 퇴비화, 렌더링에 대한 기술을 고찰한다. 또한 소멸 잔존물 처리에 적용 가능한 방법으로 열가수분해에 대하여 고찰한다.

### 3.1 퇴비화 (Composting)

퇴비(compost)는 유기물과 부속재를 혼합하여 생물학적 분해를 용이하게 하기 위해 수분조절 후 퇴적, 생산된 것을 말한다. 퇴비화는 퇴비처리 공정으로서 유기성 고형폐기물을 미생물로 안정화시키고 부식상의 토양개량재로 개량하는 방식으로, 중·고온의 호기성균으로 처리하기 위한 미생물의 활성도, 즉 미생물

pp. 211-220

pp. 221-233

pp. 235-242

pp. 243-251

pp. 253-259

pp. 261-268

pp. 269-277

pp. 279-289

의 수, 종류 또는 환경요인에 영향 받는다. 퇴비화 과정의 초기에 온도가 급격히 상승하여 유기성폐기물에 존재하는 대장균 및 살모넬라와 병원균, 바이러스가 불활성화된다. 사축의 퇴비화는 EU (European Union)에서는 허용되지 않으며 주로 미국과 캐나다에서 감염되지 않은 대량발생 사축을 처리하기 위한 목적으로 사용되고 있다 (Benson et al., 2008; Flory and Peer, 2010; Sanchez et al., 2008; Wilkinson, 2007). 퇴비화 과정이 완료된 후 부숙이 되지 않은 뼈를 골라내면 토양 비료로 사용할 수 있는 퇴비를 생산할 수 있으나 이러한 퇴비는 병원균에 의하여 오염된 것으로 인식되므로 농민들이 사용하지 않는다 (Bendfeldt et al., 2006).

사축을 퇴비화 하는 과정은 두 단계로 구성되며 소와 같은 대형 동물의 경우 12 개월 정도 소요된다 (Gwyther et al., 2011; NABC, 2004; Xu et al., 2009). 1 단계는 비교적 높은 40~70°C 까지 온도가 상승하여 수주에서 최대 3개월까지 지속되며 유기물이 분자단위 물질로 분해되고 뼈가 연화된다. 일반적으로 퇴비화 공법은 산소를 공급하고 고온을 유지하기 위한 목적으로 교반을 실시하는데, 교반은 바이러스 입자의 대기확산 우려가 있으므로 원칙적으로 사축 퇴비화에는 적용될 수 없다 (Wilkinson et al., 2007). 퇴비화 과정 2단계는 중온성으로 나머지 기간 30~40°C로 유지되며 유기물의 완전한 분해를 거쳐 사축의 최종 소멸 단계에 이른다. 퇴비화는 대형사축은 완전히 분해할 수 없는데 특히 큰 뼈는 잔존하므로 이를 제거하기 위하여 선별, 파쇄 등 추가 공정이 필요하다.

퇴비화는 거의 모든 병원성 바이러스, 박테리아, 진균류, 원생동물 (낭포포함) 및 기생충을 기준 이하로 통제 가능하다고 알려져 있으나 (Gwyther et al., 2011; Wilkinson, 2007), BSE Prions와 포자 형성 박테리아를 비활성화시키는 능력은 제한적이다 (Gwyther et al., 2011). 퇴비화는 적정기술로 알려져 있으나, 퇴비가 완전 멸균되지 않는 경우가 있으므로 퇴비화 공법의 관리가 중요하다. Glanville et al. (2003)은 뉴캐슬 (Newcastle)병으로 인한 매몰지 부근에서 조류 72마리를 포획하여 혈청학적으로 분석한 결과 양성반응을 보인 사례가 있음을 보고하면서 야생동물에 의한 질병의 확산 등 차단방역의 중요성을 강조하였다.

또한 사축에 비하여 부숙재가 부족한 경우, 또 교반이 부족한 경우 병원균을 비활성화시키기 위한 충분

한 온도에 도달하지 못할 수 있다. Wilkinson (2007)은 사축처리에 적용된 퇴비화에 대한 보고에서 온도가 충분히 상승하지 않아 상당량의 퇴비가 병원균에 오염된 사례를 보고하였다. 교반은 호기성상태를 유지하고 균질한 퇴비를 생산할 수 있지만, 고온성 단계가 완료되기 전에 또는 적절한 온도가 유지되기 전에 교반하면 병원체가 노출될 수 있다 (NABC, 2004; Wilkinson 2007). 또한 매몰지에 생석회 존재하는 경우 알칼리 상태가 되어 퇴비화과정에서 미생물이 불활성화되고 온도가 충분히 상승하지 못하게 되어 퇴비화 과정에서 바이러스가 유출될 수 있다 (Sanchez et al., 2008).

퇴비화는 또한 생산과정에서 침출수, 가스 및 악취의 생성과 같은 환경오염의 가능성이 존재한다. 수분함량이 상대 습도 60% 이상으로 상승할 경우 유출 가능성이 높아지며 생성된 침출수는 토양에 침투하여 지표수와 지하수를 오염시킬 수 있다.

대형 사축의 퇴비화 과정에서 침출수가 발생하여 토양에 누출될 수 있으며, 특히 강우는 이러한 침출수 발생과 누출을 악화시킨다 (Eamens et al., 2011; Glanville et al., 2003; King et al., 2009). 야외에 퇴비를 적치하면 강우유출수가 오염원으로 작용하여 최대 120 cm 깊이까지 토양을 오염시킬 수 있다. 퇴비에서 발생한 침출수가 침투하면 토양내 질산화 미생물을 저하시키므로 퇴비단이 조성된 농업토양의 미래 생산성에 영향을 미칠 수 있고 또한 상수원에 대한 위협이 된다 (Glanville et al., 2003; King et al., 2009).

### 3.2 렌더링 (Rendering)

렌더링공법은 열을 이용하여 동물의 사축을 잔존물, 지방 및 물로 전환하여 사축을 처리하는 것을 말한다 (Gwyther et al., 2011; McClaskey, 2014; NABC, 2004). 사축을 고온, 고압으로 렌더링하면 BSE Prions 및 일부 포자 박테리아 제외한 대부분 질병 인자를 비활성화 시키므로 사축을 적절하게 처분할 수 있고 안정적인 공법이지만 특수 시설이 필요하기 때문에 가축질병이 발생한 지역과 렌더링 시설이 먼 경우, 또한 수용력에 따라 사용이 제한될 수 있다 (CAST, 2009). 영국과 미국의 사축처분방법 지침에 의하면 렌더링을 우선적으로 적용하도록 권고하고 있으나, 일반적으로 렌더링 용량이 한정적이므로 다른 처분방법이 보완되어야 한다 (CAST, 2009; Pollard et al., 2008).



렌더링은 물리적, 화학적 공정으로 구성되며 지방 분리 과정이 포함된다 (CAST, 2009; NABC, 2004; Meeker, 2006). 렌더링을 이용한 사축처분에 있어 가장 큰 영향인자는 온도와 시간이며 다음과 같은 단계를 거친다 (Meeker, 2006);

- 사축을 수집하여 렌더링 시설로 위생적으로 운송한다;
- 사축을 파쇄하여 작고 일정한 크기로 만든다;
- 파쇄된 사축을 회분식 또는 연속식 반응기에서 반응시킨다;
- 반응과정은 대략 115~145℃의 온도에서 40~90 분 동안 지속되는데 이는 처리되는 반응기 및 사축 유형에 따라 다르다;
- 밀폐 용기 내의 스크류프레스를 통해 사축의 지방은 녹아서 단백질 및 뼈 고형물과 분리되며 수분이 제거된다;
- 지방과 고형물 분리과정을 거친 나머지 단백질, 미네랄 및 일부 잔류 지방을 혼합하여 수분을 줄이고 균질화시킨다;
- 혼합단계가 끝난 최종산물은 사료로 사용하거나 폐기한다.

렌더링 공정은 차폐된 고온반응기를 사용하므로 미생물에 의한 오염우려가 매우 낮다. 이 공정은 감염성 폐기물에 대하여 박테리아, 바이러스, 원생동물 및 기생충을 비활성화를 위한 EU가 요구하는 위생기준인 133℃/20 min/300 kPa 또는 이에 상응하는 수준을 준수해야 한다 (Gwyther et al., 2011; NABC, 2004). 그러나 최종생산물을 잘못 취급하면 살모넬라와 같은 재오염이 발생할 수 있다 (CAST, 2009; Meeker, 2006).

Coetzee et al. (2011)는 고병원성 조류인플루엔자 (HPAI)에 감염된 가금류 사축을 처리하는 렌더링 시설의 작업자에 발생한 2건의 감염사례를 관찰하였으나 렌더링 공정 자체는 높은 수준의 차단방역으로 보고하였다. McQuiston et al. (2005)의 연구에 따르면 가금류 농장에서 발생한 조류인플루엔자 바이러스의 확산 원인을 평가한 결과, 렌더링 시설에서 발생한 폐기물 처리가 위해요소로 식별되었으나 농장과 렌더링 시설간 이동하는 수집 트럭에 의한 것이며 렌더링 처리 자체는 해당되지 않는다고 하였으며 이는 Gwyther et al. (2011)이 제안한 결론과 일치한다. 가축질병이 확산되는 동안 렌더링공법으로 사체를 처분하려면 시설

외부 및 실내위생, 악취제어 및 폐수 처리와 같은 다양한 환경오염 방지에 상당한 투자가 필요하다 (McClaskey, 2014).

렌더링을 이용한 사축처분 사례는 다음과 같다. 1997년 대만의 구제역 발생시, 렌더링을 이용하여 385만 마리 돼지 사축의 15%를 처분하였으며 (Chang et al., 2006; McClaskey, 2014), 2004년 캐나다 브리티시컬롬비아주에서 조류 인플루엔자가 발생하였을 때, 살처분된 1,500수 가금류 중 일부를 처분하는 데 렌더링을 적용하였고 (Bowes, 2007; CAST, 2009), 캐나다 알버타주의 돼지 농장에서 인플루엔자(H1N1)가 발생하는 동안 300두 사축 중 일부를 처분하는 데 사용되었다 (Howden et al., 2004). 렌더링은 감염된 사축을 처분하기 위한 안전한 방법이나, 대규모 사축이 발생하는 경우 시설 용량이 한정되어 있고 발생위치와 시설위치가 먼 경우가 많아 결과적으로 사용이 제한되므로, 전체 사축량의 일부 처분에만 적용되는 경우가 많다 (Bowes, 2007; Chang et al., 2006; Howden et al., 2004).

### 3.3 열가수분해 (Thermal Hydrolysis)

열가수분해 기술은 슬러지 전처리기술 중 하나로, 혐기성소화 및 탈수 성능을 높이기 위한 목적으로 사용된다 (Kim, 2013). 세포액의 분해와 탈수를 방해하는 세포막과 단백질 효소를 고온(200℃)·고압(20 kg/cm<sup>2</sup>)의 물에서 생성되는 수소이온과 수산화이온을 이용하여 수용성 아미노산으로 성상을 변화시키는 기술이다. 렌더링이 열처리후 고형잔존물이 발생하지만 열가수분해는 사축의 액상화가 가능하므로 잔존물을 인근의 환경기초시설에 연계처리함으로써 친환경적인 처리가 가능하게 된다.

사축을 열가수분해하여 처리하여 생성되는 고액 혼합물은 미생물의 세포막이 모두 깨진 상태로 간극수가 배출되어 고액분리시 낮은 함수율을 가진 고형물을 얻을 수 있으며, 액상물질은 생분해도가 매우 높은 유기산을 다량 함유하게 된다. 따라서 혐기성 소화시에 가수분해 단계를 크게 단축하게 된다. 또한 병원성 미생물을 사멸시키고 항생제 물질을 분해하여 안전한 가축사체 처리가 가능하게 된다 (Han et al., 2013; Kim, 2013). 잔류 액상반응물은 지질을 이용하여 바이오디젤을 생산할 수 있으며 바이오가스 생산량도 우수하다.

pp. 211-220

pp. 221-233

pp. 235-242

pp. 243-251

pp. 253-259

pp. 261-268

pp. 269-277

pp. 279-289

#### 4. 매몰지 소멸시 잔존물 최종처분 방안

질병통제 목적으로 발생한 가축사체는 병원성폐기물과 소독제와 항생제 등이 복합된 새로운 형태의 오염물질로서, 차단방역과 환경보전 관련법규에 의하여 적정처리가 되지 않기에 매몰지 형태로 임시 처분하는 것이다. 환경오염물질을 적법처리, 처분하기 위한 기초시설로서 하폐수처리장, 매립지, 소각시설, 가축분뇨처리장 등이 있으나, 환경기초시설을 이용하여 가축사체를 직접 처리하거나 최종 처분하는 것은 어렵다.

한 매몰지에 매몰되는 사체는 돼지 수천두, 가금류 수만수를 상회하는 양으로 단기간 완전 분해가 불가능하기에 3년간의 관리기한 종료시 미분해 사육이 존재하며 매몰지 소멸시에도 토양, 폐비닐 등 상당한 양의 폐기물이 발생한다. 이러한 폐기물의 적절한 처분은 상당히 중요하다. 폐기물관리법(MOE, 2017a) 제8조 “폐기물의 수집을 위하여 마련한 장소나 설비 외의 장소에 폐기물을 버려서는 아니 된다”에 의거하여 발생된 폐기물을 재매몰하는 것은 적법치 않으며, 동법 시행령(MOE, 2016) 제7조 폐기물의 처리기준에 의하면 “분진, 소각재, 오니류 중 지정폐기물이 아닌 고체상태의 폐기물로서…중간처분한 후 매립할 것”으로 규정하고 있으므로 매립지 반입도 가능하지 않다. 따라서 매몰지 소멸시 발생하는 잔존물을 최종 처분하기 위한 방법이 필요하다.

가축매몰지 소멸과정에서 발생하는 잔존물은 미분해사육과 폐비닐 등 폐자재, 침출수 등으로 오염된 토양으로 크게 나누어 볼 때 이를 환경기초시설과 연계시킬 수 있는 방안이 필요하다. 현재 국내에서는 과학적인 환경기초시설 연계방안이 과학기술적으로 제시되지 않았으므로 미분해 가축사체를 퇴비화한 후 농지살포로 최종처분을 계획하고 있으나, 퇴비화 과정에서 보건과 환경에 대한 위해를 유발하므로 이는 재고되어야 한다. 폐비닐 등 폐자재와 미분해사육, 토양을 분리하고 폐자재는 소독 후 매립지 반입 또는 소각하며, 오염된 토양은 적절하게 정화처리한 후 농업토양으로 환원하고, 미분해 사육은 체적감량을 목적으로 하는 전처리 후 소각, 매립지 반입 등 최종처분을 하는 것이 타당하다.

이때 상당량의 폐수가 발생하는데 이는 축산분뇨처리장 또는 하수처리장과 연계처리해야 한다. 환경

부에서는 가축매몰지역 환경조사지침(MOE, 2017b)을 통해 가축 매몰지 침출수 공공처리장 연계처리 지침을 제시하고 있는데 침출수를 공공하수처리시설로 유입할 때에는 침출수의 일시적 유입에 따른 총질소, 총인 오염부하의 충격을 방지하기 위해 각 처리장의 설계용량에 맞도록 최대 10% 이내로 침출수 양을 조절하여 유입시키는 것을 제안하고 있다. 2011년 구제역 발생시 침출수의 처리는 전체 83개 처리시설 중 가축분뇨 및 위생분뇨 처리시설에서 48개소로 58%를 차지하였으며, 그 밖에 공공하수처리시설(17개소)과 폐수처리시설 등에서 연계처리 된 바 있다 (Kim et al., 2011). 이러한 지침의 기술적 배경을 고려할 때 매몰지 소멸처리에서 발생하는 폐수의 양과 농도를 고려하여 주변 환경기초시설의 유입가능성을 미리 진단해야 한다.

환경기초시설 반입에도 전처리가 필요하다. 매몰지 침출수의 구제역 및 병원성 바이러스의 사멸을 위하여 pH를 5이하 또는 10이상으로 처리 한 후 환경기초시설로 반입처리는데, 이때 pH에 의한 영향을 받지 않도록 pH를 다시 조절하여서 유입하여야 한다. 또한 강산, 강염기 첨가에 의한 병원균 사멸의 근거와 투입량을 구체적으로 제시해야 하며 항생제에 대한 전처리 역시 고려되어야 한다. 매몰지침출수에서 항생제가 검출되는 사례가 보고된 바 있으며, 이를 포함한 침출수가 그대로 수처리장으로 반입될 경우 미처리된 항생제가 방류될 가능성이 있고 수처리장의 미생물반응에 영향을 미칠 수 있으며 (Kim, 2011), 매몰지 잔존물을 공공처리장에 직반입하는 경우 분해되지 않은 생체조직이 유입될 수 있기 때문에 연계처리시 처리시설의 부하를 높여 처리효율을 떨어뜨릴 가능성이 있다. 따라서 환경기초시설에 연계처리하기 앞서, 고농도의 부유물질을 제거하고 병원성 미생물 및 항생제 물질을 처리할 수 있도록 전처리 공정을 거친 후 연계처리시설로 이송하여 처리하는 것이 바람직할 것이다. 또한 렌더링에서 발생하는 고농도 지질함유 폐수는 연계처리 전 적절하게 전처리하여야 한다.

토양지하수 오염개연성이 있는 경우 환경보전을 위하여 이설을 시행하고 있으나 정작 매몰지 소멸과정에서 토양과 지하수에 대한 보전대책은 부족하다. 매몰지 소멸과정에서 발생하는 토양을 단순 재매립하는 것은 적절치 않으며, 폐비닐과 뺏조각 등 폐기물을 분리하고, 고농도 침출수로 오염된 경우 이를 농업에 사



용할 수 있도록 처리해야 한다. 세척 또는 열탈착 등 일반적인 토양정화 과정은 농업토양의 특성을 완전히 변화시키므로 매몰지 토양에는 적용할 수 없다.

가축전염병 예방법 시행령(MAFRA, 2017c)에 따르면 제8조(사체의 재활용 등) 사료관리법에 따른 사료 제조시설이나 농림축산식품부 장관 고시에 따라 열처리, 발효처리하여 동물의 사료, 비료의 원료, 공업용 원료에 사용가능하다. 단 비료의 원료로 사용하는 경우에는 비료관리법 제4조에 따른 공정규격에 적합하여야 한다. 그러나 구제역과 조류인플루엔자로 인한 사축은 공정규격에 적합하지 않고, 퇴비로 사용하는 것이 불가하므로 이러한 사축퇴비화와 관련된 기술적인 검토가 충분하지 않다고 사료된다. 예를 들어 매몰지 주변토양에서 항생제 또는 소독제가 검출되기도 하며, 매몰사체 발굴시 다양한 토양과 폐비닐이 혼합되어 발생하는데, 이러한 복합폐기물의 퇴비화에 대한 기술적, 법적 검토가 필요하며 이렇게 생산된 퇴비를 농경지 살포한 경우 장기적인 위해성 검토 또한 필요하다.

작업자 보건과 이설시 시행하여야 하는 차단방역 조치에 대한 대책이 필요한데 매몰지 잔존물 처리공법과 관련하여, 작업자에 대한 위해성을 평가하고 이에 대한 매뉴얼을 수립할 필요가 있다.

Seol and Kim (2016)는 대량발생되는 사축과 사축폐기물을 환경법규에 적법하도록 최종처분하기 위한 별도의 환경기초시설이 필요함을 제안하고, 이러한 시설에서 사축을 이용한 바이오디젤과 바이오가스 생산이 가능한 사축자원화센터의 개념을 제시하였는데 그 기능을 다음과 같이 요약하였다: 1) 다양한 생물사체와 실험동물 폐기물 처리; 2) 부패가 지연되고 있는 매몰지 발굴 및 처분; 3) 처리잔존물을 이용한 바이오디젤, 바이오가스 등 에너지 생산; 4) 가축전염병에 대응하는 비상기지; 5) 미처리되는 가축분뇨 처리 보완 등이다. 즉 자연도태되거나 질병으로 발생하는 사축을 새로운 형태의 환경오염물질로 인식하고, 이의 수집과 적절한 처분에 있어 오염방지 뿐 아니라 질병예방의 개념을 도입해야 함을 주장하고 있으며, 이를 위한 별도의 처리체계를 확립하여 농업 축산유역의 환경용량을 늘리고, 질병에 안전한 환경을 조성하는 것을 제시하고 있다.

매몰지 사후관리에 관련되는 기술은 보건위생, 환경기술 뿐 아니라 법제, 정책 등 그 국가의 역량이 모

두 반영된다. 특히 가축질병으로 인한 대규모 매몰지 관리와 관련되어 많은 자료가 생산되는 유럽, 북미와 우리나라는 유역과 축산업의 여건이 확연히 다른데, 우리나라의 경우 유역의 크기가 협소하여 인구가 밀집되고 교통량이 많으며 집단사육을 하므로 차단방역이 매우 까다롭고 또한 환경관리체계가 매우 엄정하므로 외국의 기술요구 수준보다 국내의 매몰지잔존물 처리 관련 과학기술 정책 기준을 높일 필요가 있다.

## 5. 결 론

우리나라는 도시와 농촌 간 상수도보급률, 하수도 보급률과 같은 여러 환경지표가 큰 차이를 보이고 있고 그 차이는 점점 더 심해지고 있는데 가축매몰지는 농촌 생활환경이 낙후되는 주요한 원인 중 하나가 되고 있다.

2010~2011년 구제역사태와 같은 대규모 피해를 가져올 수 있는 가능성은 언제나 잠재해 있는데 우리가 2010년 구제역 사태로부터 교훈을 얻고자 한다면, 우선 우리사회가 가지고 있는 안전관리 시스템의 안전성을 따져봐야 한다. 즉, 사회·경제적으로 대규모의 피해를 가져올 수 있는 전염성 동물질병에 대한 국가차원의 예방과 관리체계에 대한 점검과 개선방안 모색이 필요하다.

본 연구가 가지는 시사점을 통해 정책제언을 하자면 다음과 같다:

1) 사후관리지침의 보완이 필요하다. 현재 구제역행 동지침과 가축매몰지 사후관리지침은 가축매몰지가 존속되는 상황만을 전제하며, 발굴금지가 해제되는 상황을 포함하지 않고 있다. 매몰지 소멸과정에서 미분해사체 잔존물, 바이러스 등 보건과 환경에 대한 위해물질이 존재할 수 있다는 점을 고려해야 하고 이를 처리하는 절차까지 사후관리 범위에 포함해야 한다. 단편적인 지침은 있으나 축산업 밀집을 고려하면 가축생산단계에서 최종처분까지 일관된 기술규격을 제시해야 하며, 처리 과정에 따르는 보건상 위해성과 환경오염에 대한 대비가 사후관리지침에 포함되어야 한다.

2) 매몰지 소멸방법, 매몰부지 재사용과 관련하여 과학기술적 판단에 근거한 정책과 법제 개발이 필요하다. 이는 농축산업에 대한 보건위생, 차단방역, 환경보전을 종합하여야 하며, 국민의 보건을 위한 환경관

pp. 211-220

pp. 221-233

pp. 235-242

pp. 243-251

pp. 253-259

pp. 261-268

pp. 269-277

pp. 279-289

리, 농축산업을 보호하기 위한 환경관리체계를 재정 의하고, 이를 구현하기 위한 정책을 체계적으로 제시 해야 한다. 국가적 상비시설인 환경기초시설에 대하여 가축질병과 같은 재난에 대비한 평가 또한 필요하며, 필요시 환경기초시설 보완을 위한 적절한 투자가 필요하다.

3) 현장요구기술에 대한 적극적인 연구개발이 필요하다. 사후관리기술 관점에서 가축매몰지 존속기간의 발생가능 문제점에 대한 기술적 대안은 다양하게 준비되어 있으나, 발굴시점에 나타날 수 있는 현장문제에 대응할 수 있는 기술은 확인되지 않고 있다. 매몰지에서 발생하는 병원체에 의한 가축 또는 인간에 대한 영향과 관련된 연구는 알려진 것은 미미하다고 판단된다. 매몰지를 매개체로 발생할 수 있는 다양한 현상에 대한 과학적인 탐구와 공학적인 대응, 이를 포괄하는 정책에 대한 연구개발은 우리나라의 농축산업을 보호하고 국민을 재난으로부터 보호할 수 있는 길이다.

## 사 사

이 논문은 2017학년도 한남대학교 학술연구비조성 지원에 의하여 연구되었습니다.

## References

- Bendfeldt, E.S., Peer, R.W. Flory, G.A. (2006). In-house composting as a rapid response to Avian influenza, *Biocycle*, 47, 38-42.
- Benson, E.R., Malone, G.W., Alphin, R.L., Johnson, K. Staicu, E. (2008). Immunology, health and disease: Application of in-house mortality composting on viral inactivity of Newcastle disease virus, *Poult. Sci.*, 87, 627-635.
- Bowes, V.A. (2007). After the outbreak: how the British Columbia commercial poultry industry recovered after H7N3 HPAI, *Avian Dis.*, 51, 313-316.
- CAST (Council for Agricultural Science and Technology). (2009). Swine Carcass Disposal Options for Routine and Catastrophic Mortality, Issue Paper 39, CAST, Ames, Iowa.
- Chang, H.S., Hsia, C.J., Griffith, G., Malcolm, B., Wright, V. (2006). The FMD outbreak in the Taiwan Pig Industry and the demand for beef imports into Taiwan, *Australas. Agribusiness Rev.*, 14.
- Coetzee, N., Edeghere, O., Afza, M., Duggal, H.V. (2011). Limiting worker exposure to highly pathogenic avian influenza a (H5N1): A repeat survey at a rendering plant processing infected poultry carcasses in the UK, *BMC Public Health*, 11, 626.
- Eamens, G.J., Dorahy, C.J., Muirhead, L., Enman, B., Pengelly, P., Barchia, I.M., Gonsalves, J.R., Cooper, K. (2011). Bacterial survival studies to assess the efficacy of static pile composting and above ground burial for disposal of bovine carcasses, *J. Appl. Microbiol.*, 110, 1402-1413.
- Flory, G.A., Peer, R.W. (2010). Verification of poultry carcass composting research through application during actual avian influenza outbreaks, *ILAR J.*, 51, 149-157.
- Granville, T.D., Richard, T.L., Harmon, J.D., Reynolds, D.L., Sadaka, S.S., Akinc, S. (2003). Environmental Impact and Biosecurity of Composting for Emergency Disposal of Livestock Mortalities, 2003 ASAE Annual International Meeting, Las Vegas, USA.
- Gwyther, C.L., Williams, A.P., Golyshin, P.N., Edwards Jones, G., Jones, D.L. (2011). The environmental and biosecurity characteristics of livestock carcass disposal methods: A review, *Waste Manage.*, 31, 767-778.
- Han, S.K., Song, H.W., Cho, B.S., Kim, H. (2013). Optimization of reaction temperature according to thermal hydrolysis characteristics of poultry slaughter waste, *J. Korea Soc. Waste Manage.*, 30, 272-278.
- Howden, N.J.K. Wheater, H.S., Peach, D.W., Butler, A.P. (2004). Hydrogeological Controls on Surface/Groundwater Interactions in a lowland permeable Chalk catchment. *Hydrology: Science & Practice for the 21st Century, Proceedings of the British Hydrological Society International Conference, Imperial College, London, 2004.*
- Kim, S.J., Kim, H.W., Yoon, S.H., Shin, J.S., Yoo, S.J. (2011). Effective treatment of animal carcass leachate into the livestock manure facilities and sewage treatment plants, National Institute of Environmental Research, NIER-CP2011-1389, 35.
- Kim, H.S., Kim, K. (2012). Microbial and chemical contamination of groundwater around livestock mortality burial sites in Korea—A review, *Geosci. J.*, 16, 479-489.
- Kim, D.J. (2013). Pre-treatment technology of wastewater sludge for enhanced biogas production in anaerobic digestion, *Clean. Technol.*, 19, 355-369.
- King, M.A., Seekins, B., Hutchinson, M., MacDonald, G. (2009). Active biosolids compost as poultry carcass amendment, *Biocycle*, 50, 35-38.
- MAFRA. (2018a). Press release on January 29<sup>th</sup>, 2018, Ministry of Food and Rural Affairs, 15.





- MAFRA. (2018b). Standard Operation Procedure for Foot-and-Mouth Disease, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 289.
- MAFRA. (2017a). Official response to the issue on “3 years after burial ... foot-and-mouth disease 'carcasses' as it is, MBC News Desk (10.26)” Ministry of Food and Rural Affairs, [http://www.mafra.go.kr/bbs\\_new/view.jsp?board\\_id=155449857](http://www.mafra.go.kr/bbs_new/view.jsp?board_id=155449857) (March 23, 2018)
- MAFRA. (2017b). Guideline for post-management of livestock burial site, Ministry of Food and Rural Affairs, 27
- MAFRA. (2017c). Act on the prevention of contagious animal disease, Act No. 14641, Mar. 21, 2017, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
- MAFRA (2016). Standard Operation Procedure for Avian Influenza Emergency, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 499.
- McClaskey, J.M. (2014). A multidisciplinary policy approach to food and agricultural biosecurity and defense, Kansas State University, Kansas, US.
- McQuiston, J.H., Garber, L.P., Porter-Spalding, B.A., Hahn, J.W., Pierson, F.W., Wainwright, S.H., Senne, D.A., Brignole, T.J., Akey, B.L., Holt, T.J. (2005). Evaluation of risk factors for the spread of low pathogenicity H7N2 avian influenza virus among commercial poultry farms, *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 226, 767-772.
- Meeker, D.L. (2006). Essential rendering: all about the animal by-products industry. Published by National Renderers Association, Arlington, Virginia. ISBN: 0 - 9654660 - 3-5. Available online at <http://www.animalprotein.org>.
- MOE. (2017a). Wastes Control Act, Ministry of Environment.
- MOE. (2017b). Guide for Environmental Monitoring of Livestock Burials, Ministry of Environment, 41.
- MOE. (2016). Enforcement Decree of the Wastes Control Act, Ministry of Environment.
- NABC (National Agricultural Biosecurity Center Consortium). (2004). Carcass Disposal: A Comprehensive Review. Prepared by the National Agricultural Bio-security Center Consortium at Kansas State University, Carcass Disposal Working Group for the USDA Animal & Plant Health Inspection Service per Cooperative Agreement, 2004, 02-1001.
- Namuwiki. (2018). “2016-2017 AI Outbreak in Korea”, <http://www.namuwiki.com> (March 23, 2018)
- Pollard, S.J.T., Hickman, G.A.W., Irving, P., Hough, R.L., Gauntlett, D.M., Howson, S., Hart, A., Gayford, P. Gent, N. (2008). Exposure assessment of carcass disposal options in the event of a notifiable exotic animal disease - methodology and application to avian influenza virus, *Environ. Sci. Technol.*, 42, 3145-3154.
- Sánchez, M., González, J. L., Gutiérrez, M. A., Guimaraes, A. C., Gracia, L. M. (2008). Treatment of animal carcasses in poultry farms using sealed ditches, *Bioresour. Technol.*, 99, 7369-7376.
- Scudamore, J.M., Trevelyan, G.M., Tas, M.V., Varley, E.M., Hickman, G.A. (2002). Carcass disposal: lessons from Great Britain following the foot and mouth disease outbreaks of 2001, *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.*, 21, 775-787.
- Seol, S., Kim, G. (2016). Proposal for carcass recycle center to improve agricultural environment, *Environ. Policy*, 24, 121-148.
- Wilkinson, K.G. (2007). The biosecurity of on-farm composting, *J. Appl. Microbiol.*, 102, 609-618.
- Xu, W., Reuter, T., Inglis G.D., Larney, F.J., Alexander, T.W., Guan, J., Standford, K., Xu, Y., McAlister, T.A. (2009). A biosecure composting system for disposal of cattle carcasses and manure following an infectious disease outbreak, *J. Environ. Qual.*, 38, 437-450.

pp. 211-220

pp. 221-233

pp. 235-242

pp. 243-251

pp. 253-259

pp. 261-268

pp. 269-277

pp. 279-289