

매몰지 생물반응조 개조를 통한 사체의 안정화 촉진

Enhanced Stabilization of Carcasses by Retrofitting Burial Sites to Bioreactor

김건하[†] · 전해성

Geonha Kim[†] · Haeseong Jeon

한남대학교 건설시스템공학과

Department of Civil & Environmental Engineering, Hannam University

(Received August 4, 2014; Revised September 3, 2014; Accepted October 24, 2014)

Abstract : Many burial sites were constructed to suppress the spread of foot and mouth disease during outbreak. Defected burial sites were removed when leachate leak is presumed and carcasses were moved to the circular storage tanks. However, carcasses were not decomposed possibly due to low water content, low microbial activities, and poor mixing. In this research, storage tank containing carcasses in it was modified to bioreactor to accelerate stabilization. Liquids with nutrients were added and circulated to maintain the optimum water content while extraneous microorganisms were augmented. Settlement was used as the primary index for assessing stabilization rate, and the consolidation theory was utilized to estimate the expected final settlement. 30% of carcasses is expected to be decomposed and removed from the storage tank for five years of bioreactor operation.

Key Words : Bioreactor, Burial Sites, Landfill, Leachate, Stabilization

요약 : 가축전염병 확산을 방지하기 위하여 조성된 긴급매몰지의 경우 침출수 누출이 확인되면 원형저장조로 이설된 경우가 있는데, 저장조 내 낮은 함수율과 혼합문제에 의해 분해가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 본 연구에서는 사체의 안정화를 촉진할 수 있도록 원형저장조를 생물반응조(Bioreactor)로 구조를 변경하였다. 침출수를 재순환하고 미생물을 공급하여 안정화에 필요한 미생물활동을 증가시켰다. 원형저장조 내부 유기물의 변형을 고려한 침하량 모형을 사용하여 예측한 침하량 최종치는 생물저장조 구조 변경 후 5년간 약 30%이었다.

주제어 : 매몰지, 생물반응조, 침출수, 침하량, 안정화

1. 서론

2010년 11월 경상북도에서 발생한 구제역은 전라도와 제주도를 제외한 전국으로 확산되었으며, 확산을 억제하기 위하여 농림수산식품부의 ‘가축전염병예방법’에 근거가 축 약 980만 마리가 살처분되어 매몰지 4,800 여개소가 조성되었다.¹⁾ 매몰지에서 누출되는 침출수로 인한 지하수 오염에 대한 우려가 높아짐에 따라 침출수 누출이 확인되면 매몰지가 이설된 경우가 상당수 있다. 3년 관리기간이 끝난 매몰지 개장 결과 사체부패가 예상보다 느리게 진행되고 있는데, 이는 부패에 필요한 수분부족, 미생물활동 부족 등으로 인한 것으로 사료된다.²⁾

유기성 폐기물 매립지 안정화를 촉진하는 공법으로서 미생물 활동을 촉진시키기 위한 수분을 공급하는 침출수 재순환공법도 쓰여지고 있는데, 이를 생물반응조 매립지(Bioreactor landfill)라고 한다. 일반적으로 유기성 폐기물 분해 과정에서 발생하는 침출수의 양이 미생물 분해에 필요한 최적함수비와 비교하여 낮다고 보고되고 있으며,³⁾ 생물반응조의 기작을 최적화하기 위해 폐기물 파쇄, pH 조절, 영양 성분 첨가 등 사전 처리와 온도관리 등이 필요하지만 최적함수비 유지는 비용대비 효율이 가장 높은 방법이다.^{4,5)} 생

물반응조 매립지 안정화는 일반 매립지 보다 빠르며, 가스 생성 속도는 5~10년 이상이 되면 감소하는 추세를 보여 일반 매립지 약 30년에 비하면 비교적 종료시점이 빠르다.^{3,4)} 생물반응조 매립지에 매립된 폐기물 체적대비 물의 부피인 함수율(water content)은 대략 35~45%를 유지하는 것이 권장되는데 이를 폐기물 전체 공극 부피대비 물의 부피 비율로는 대략 85%로 환산된다.⁶⁾

긴급매몰지 조성의 목적은 공기로 전파되는 전염병 숙주를 환경으로부터 신속히 격리시키는 것이고, 감염사육을 잠재적인 전염병 발생원이 되지 않도록 관리하는 목적이다. 따라서 이설을 하거나 침출수를 양정하는 등의 행위는 방역법에 의하여 금지되어 있다. 이설된 매몰지와 방역법에 규정된 기한인 3년이 경과된 매몰지는 소멸 또는 관리할 필요가 있으며 조기안정화는 가장 합리적인 방안이다.

안정화의 지표로 사체부피 감소가 우선적으로 적용될 필요가 있다. 생물반응조에 의한 최종 침하를 예측하기 위하여 압축력에 의한 침하와 유기물질의 생분해로 인한 침하를 고려한 모델식으로 단기 침하 및 장기 침하를 모두 추정하여 사용할 수 있다.⁷⁾ 유기성 폐기물에 상재하중이 가해지면 즉시 침하가 발생하고, 이어서 압밀침하가 발생함과 더불어 분해에 의한 침하가 추가로 발생한다. 유기성 폐기물

[†] Corresponding author E-mail: kimgh@hnu.kr Tel: 042-629-7534 Fax: 042-629-8366

분해에 의하여 발생하는 침하는 일반 지반에 비해 침하정도가 클 뿐만 아니라, 폐기물 성상의 비균질성으로 인해 침하량이 국부적으로 차이가 발생해 부등침하가 발생하기도 한다. Grisolia 등⁸⁾은 복잡한 매립지의 침하 양상을 다음과 같이 5가지의 메커니즘으로 구분하여 설명하였다: 1) 폐기물간의 재배치로 인한 즉시 침하; 2) 체적변형이 큰 물질의 변형에 의한 침하; 3) Creep와 유기성 물질 분해에 따른 침하; 4) 분해가 완료되는 단계에서의 침하; 5) 최종 잔존(residual) 침하. 또한, Edil 등⁹⁾은 매립지의 침하량에 영향을 미치는 인자를 다음과 같이 제시하기도 했다: 1) 초기 밀도 및 간극비; 2) 폐기물 내의 분해성 물질의 함유량; 3) 응력 경로, 즉 매립 전후의 응력 변화량; 4) 침출수의 수위 변화; 5) 함수비, 온도, 가스와 같은 환경 요인.

본 연구의 목적은 이설된 가축사체가 저장된 원형저장조를 생물반응조로 구조를 변경하고 유기물질 분해를 촉진시켜 초기안정화를 달성함에 있어, 물수지를 작성하여 유기물 분해에 필요한 함수율이 유지되고 있음을 확인하고, 초기안정화 설계 지표로서 침하량을 개발하는 것을 목표로 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상 이설매몰지

본 연구에서 사용한 원형저장조는 A시 행정구역 내 위치하고 있다. 연구대상 이설매몰지는 돼지 3,133마리가 살처분 후 긴급매몰지로 조성되었으나 침출수 누출로 인한 오염확산 우려가 있다고 판단되어, 매몰 12개월 경과 후 원형저장조에 이설되었다. 원형저장조의 직경은 13.2 m이고 높이는 3 m이나, 사체는 2.5 m까지 적재되어 있다. 원형저장조 바닥에 30 cm 두께로 왕겨를 살포 후 가축사체 40 cm와 흙 10 cm의 순으로 반복하여 약 2.5 m 높이까지 쌓은 다음, 최상부에 왕겨를 덮었으며, 원형저장조 지붕은 원추형 합성비닐로 덮여있으며, 지붕 중앙에 환풍시설이 있다.

Table 1. Components in the circular storage tank

	Weight (ton)
Carcasses	131.59 (47.2%)
Chaff	6.12 (2.2%)
Soil mixture	106.33 (38.2%)
Quicklime	34.54 (12.4%)
Total	278.58 (100.0%)

Average weight of livestock : 60 kg (3,133 EA)

Table 1은 원형저장조 내 구성요소의 추정무게를 요약하고 있다. 원형저장조 구성요소는 가축사체 47.2%, 왕겨 2.2%, 혼합토 38.2%, 생석회 12.4%이다. 단위무게는 일반적인 동일재료 실측 평균치를 사용하였다.

2.2. 생물반응조 구조변경

Fig. 1은 생물반응조로 구조를 변경한 원형저장조의 모식도이다. 원형저장조(R)는 주변 소하천수(RS)를 수중펌프를 이용하여 2 m³ 용량 탱크에 집수될 수 있도록 설치하였으며, 펌프(P)를 이용하여 원형저장조로 주입된다. 침출수는 원형저장조 하단부분에 설치된 밸브로 배출되어 침출수 저류조(L)에 집수되고, 미리 입력된 프로그램에 따라 운전되는 펌프로 원형저장조로 주입된다. 또한 하단에서 상단으로 침출수를 반송시키는 펌프도 1개 추가 시설하였다. 저류된 침출수는 원형저장조에 관입된 관수 및 상부 관수를 통하여 매몰된 곳에 주입 및 살포 되도록 설치하였다. 분해에 필요한 미생물을 식종하기 위하여 A시 하수처리장 반송슬러지를 일정량 주입하였다. 그 이후에는 원형저장조내에 구성요소의 공극량, 물수지를 고려하여 주변 하천수를 최적조건이 되도록 주입하였다. 또한 에어컴프레셔(AC)를 이용하여 압축공기를 원형저장조에 펄스(pulse)식으로 공급하였다.

Fig. 2는 수분을 첨가하기 위한 프로그램을 개략적으로 보이고 있다. 생물반응조를 구성하기 위한 구체적인 방법으로 수분은 상부에 일부 살포하고 일부는 미리 시공되어 있는 여러 개 다공성 파일을 통하여 주입하였다. 고압주입된

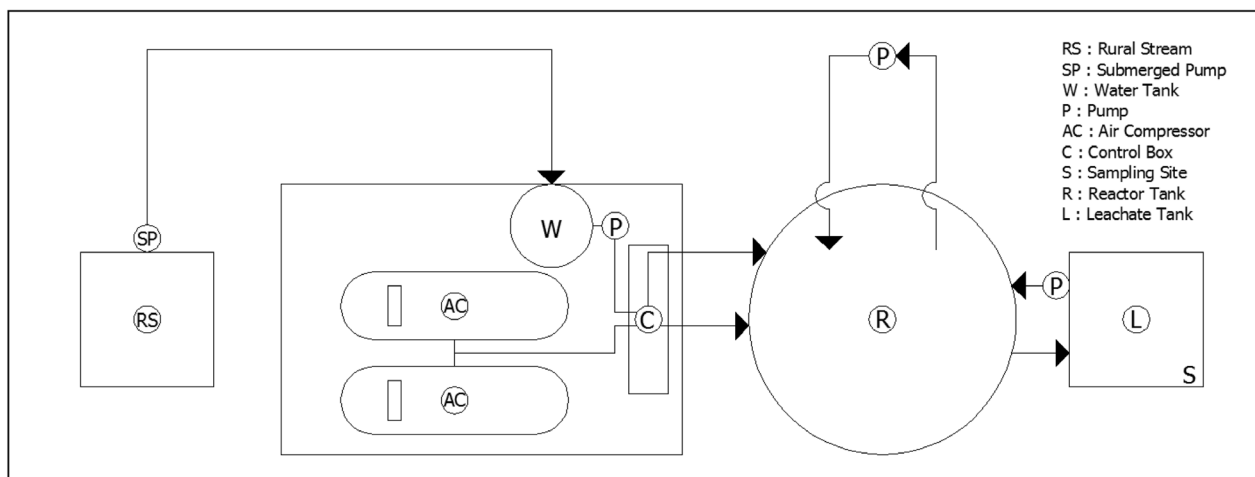


Fig. 1. Schematic description of storage tank and devices for bioreactor modification.

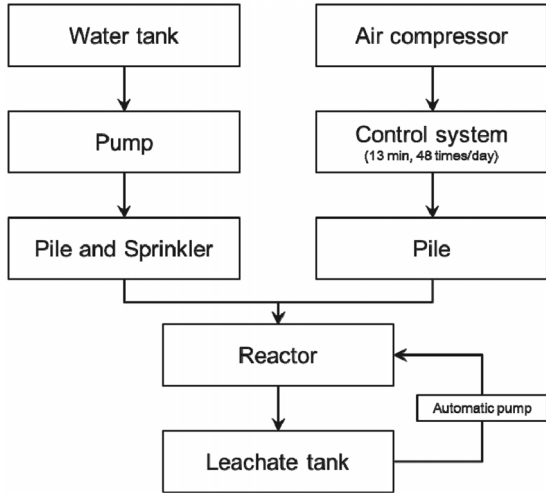


Fig. 2. Flow chart for controlling water content of modified bio-reactor.

공기는 같은 다공성 파일을 통하여 사체내로 분사되어 주입된다.

생물반응조로 구조변경할 때 첫번째 작업은 최적함수율 유지이다. 생물반응조 매립지의 함수율은 약 40~50%를 유지하는 것이 제안되고 있다.⁴⁾ 구조변경 이전 측정된 함수율은 건조한 상태이며, 안전과 위생을 위하여 최적조건인 약 10%를 공급하고, 침출수 재순환이 원활하지 않을 경우 수분을 보충하였다.

생물반응조 구조변경 두번째 작업은 유체순환을 원활하게 하기위한 유체통로를 생성시키는 방법이다. 이를 위하여 압축공기를 간헐적인 방법으로 주입하여 주변 사체의 분해를 촉진시켜 유체통로를 생성시키는 방법을 사용하였다. 에어컴프레서를 이용하여 최대 30 PSI의 압축공기를 350 m³/d의 유량으로 주입하였다. 공기주입은 생물학적 분해를 촉진시키는 역할도 하는 것으로 보고되고 있다.¹⁰⁾

생물반응조 구조변경 세번째 작업은 사체분해에 필요한 미생물의 개체수를 증가시키는 것이며 이를 위하여 A시 하수처리장의 1차 하수 반송 슬러지를 투입하였다. 미생물 투입량의 기준이 없어 생물반응조의 최적조건인 1,000 ton 당 94.6~189.3 m³의 평균값인 142 m³ 기준으로 하였다.¹⁰⁾ 반응조의 추정 총 무게는 278.6 ton, 공급의 부피는 115 m³이고 반응조 내에 필요한 액체량은 39.5 m³으로 예상되며, 초기에는 많은 양을 투입하여 최적조건을 달성한 후 수위를 측정하여 매주 부족한 양을 채워 수분함량 유지와 미생물을 보충하였다.

2.3. 침출수 채취 및 분석

원형저장조에서 발생한 침출수는 2 m³ 저류조로 저장되어 순환되므로 저류조의 침출수 샘플링은 일주일 간격으로 채취하였다. 샘플링된 침출수는 Orion 710A를 사용하여 pH를 측정하였고, 수질공정시험기준에 준하여 BOD와 COD_{Cr} 항목을 측정하였다.

2.4. 침하량 측정

유기성폐기물의 안정화 과정에서 발생하는 침하는 다양한 유기물질이 호기성 미생물에 의하여 발생하는 침하, 탄성침하와 압축력에 의한 침하가 있다.¹¹⁾ 침하량 측정은 연직변위말뚝을 이용하였다. 이는 말뚝을 설치하여 레벨과 표적을 이용해 지표면의 연직변위를 측정하는 것이다.

3. 결과 및 토론

3.1. 원형저장조의 물수지

매몰직후 가축사체 수분함량은 70% 이상이지만¹²⁾ 매몰초기 수개월간 침출수로 상당량 배출되며, 특히 원형저장조에 저장되어 있는 경우 상부가 원추형 합성비닐로 덮여 있어 수분공급 없이 증발산만 일어난다. 본 연구에서는 원형저장조에 이설된 매몰지(토양, 사체, 왕겨 등 총량)의 함수율을 약 35% 정도로 유지함을 목표로 하였다. 수분량(moisture content)은 초기수분량에 수분 증가량을 더한 값으로 하였다.¹³⁾

$$\text{Moisture content} = M_i + \frac{\Delta S}{M_w} \times 100 \quad (1)$$

M_i = 초기수분함량(%)

ΔS = 물저장량(ton)

M_w = 폐기물량(ton)

저장조 상부는 완전히 건조되어 있는 상태이고, 하부에 설치되어 있는 배출구에서 침출수가 나오지 않으므로 초기수분은 없다고 가정하였다. 수분함량 증가를 위하여 운전초기는 목표함수량인 35%를 유지하기 위해 하천수를 양정하여 반응조에 주입하였고 그 이후는 인근 하수처리장 1차 하수 반송슬러지를 주입하여 목표 함수율을 유지하였다.

다음 Fig. 3은 운전기간 물수지 변화를 보이고 있다. 증발산량은 Blaney-Criddle법¹⁴⁾을 사용하여 추정하였다. 저장된

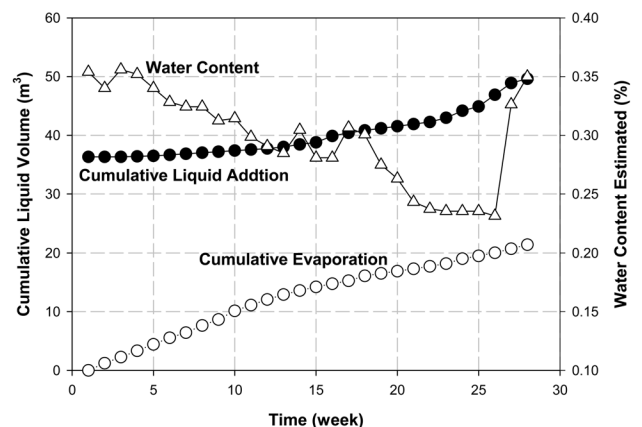


Fig. 3. Moisture balance calculated water content for retrofitted bio-reactor cell.

가축사체의 목표 함수율에 도달한 후, 반응기에서 제거된 침출수는 없으며, 전량 재순환하였다. 가장 큰 손실은 증발산으로, 손실량은 0.0018 m³/d로 산정되었다. Fig. 3에서 25일 이후 함수율이 급격하게 증가된 이유는 공기량 증가와 환경적인 증발량의 증가로 지속적이게 함수율이 감소하였다. 생물반응조의 최적함수비를 유지하기 위해 슬러지와 물을 주입하여 함수율을 증가시켰다.

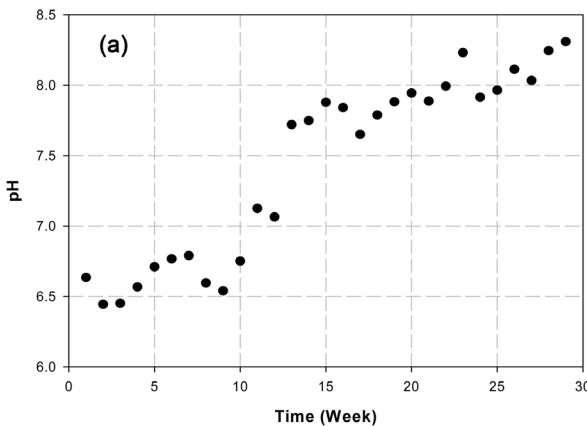
3.2. 침출수 특성 모니터링

Table 2는 문헌상의 소와 돼지 조성을 보이고 있다.¹¹⁾ 같은 문헌에서 침출수의 BOD를 360,000 mg/L로 추정하고 있는데, 이는 가축분뇨의 값과 매우 유사하다.

안정화를 평가하기 위하여 2013년 5월부터 매주 침출수 샘플링을 실시하였다. Fig. 4는 침출수 pH와 COD값을 보이고 있다. Fig. 4(a)는 시간에 따른 pH의 변화이며, 공기량 증가와 슬러지 첨가로 인하여 pH가 급격하게 상승하였다. Fig. 4(b)는 시간에 따른 COD의 변화 및 액체 투입량을 나타냈다. COD의 변화는 규칙적이지는 않지만 공기량의 증가와 슬러지의 첨가부터는 COD 농도가 일시적으로 증가 후 COD 농도가 감소 추세이다. 일반적으로 혐기성 반응은 가수분해-산 생성-메탄 생성 단계를 거치는데, 산 생성단계에서 발생하는 휘발성 지방산이 메탄 생성단계로 가면 이산화

Table 2. Primary components of swine and bovine (after Dyan, 2009)

Component	Swine (%)	Bovine (%)
Water	72.6 ± 0.4	70.1 ± 4.9
Protein	23.0 ± 0.9 (Fiber : 70, Water soluble : 30)	21.2 ± 0.8
Fat	4.4 ± 2.2 (Palmitic acid : 28.4, Oleci acid : 38.4, Stearic acid : 13.9)	6.7 ± 4.1 (Palmitic acid : 31.6, Oleci acid : 37.1, Stearic acid : 18.6)
Carbohydrate	Trace (Glycogen)	Trace (Glycogen)
Minerals	1.6 ± 0.3 (K 0.326, P 0.248, Na 0.05, Ca 0.0067)	1.6 ± 0.3 (K 0.335, P 0.155, Na 0.052, Ca 0.0073)



탄소/메탄으로 전환된다. 따라서 침출수 내 유기물이 감소하게 되며 COD 항목 농도 또한 감소하게 된다. 산으로 구성된 유기물 감소와 유기질소가 암모니아성 질소로 전환됨에 따라 알칼리도가 증가하므로 pH는 증가하게 된다.

대부분의 미생물은 중성적 환경(pH 6.8~7.4)에서 잘 생육하며 생육가능한 pH가 광범위하지 못하다. 따라서 매몰지내 적정 pH는 완충제(buffer)를 이용하여 중성적 환경을 만들어 미생물의 생육을 증가시켜 생물학적 분해를 촉진시킨다.

3.3. 매몰지 침하 특성

일반적으로 매립지 침하의 원인으로 일차압축과 이차압축으로 나누어 볼 수 있는데 일차압축에는 다짐 및 추가된 하중에 의한 압축 그리고 빠른 시간에 분해되는 유기물질에 의한 침하가 포함된다. 일차압축은 수개월 안에 완료되며 비교적 압축량이 크다. 일차압축이 종료되면 장시간에 걸쳐 이차압축에 의한 침하가 발생한다. 매립지의 최종 침하량은 초기 높이의 30~50%에 이르며, 상당 부분의 침하가 매립완료 후 초기 1, 2년 내에 발생하고 5년 이후의 침하량은 전체 침하량의 5% 미만이라고 보고된 바 있다.¹⁵⁾ 그러나 시간에 따른 침하 양상 및 최종 침하량은 매립된 구성물과 현장 조건에 따라 매우 상이한 모습을 보이기 때문에 최종 침하량과 시간에 따른 침하 양상 예측은 주의를 기울여야 한다.

매립지에서 발생하는 침하를 예측하기 위해서는 기본적으로 초기응력과 다짐 및 상재하중으로 인한 응력 변화, 초기 간극비 등이 영향을 미친다. 폐기물의 단위중량은 현장 다짐상태와 폐기물의 분해상황 그리고 폐기물의 구성성분에 따라 그 값이 크게 변한다. 간극비 역시 서로 다른 물질들이 불규칙하게 섞여 있어서 다짐에 따른 변화값 예측은 상당히 어렵다.

원형저장조에 이설된 사체의 경우 상재하중이 없으므로 자중에 의한 탄성 및 압축력 침하는 최종 단계에 있다고 간주하는 것이 타당하며, 사체분해에 의한 침하가 주된 요인일 것이다. 원형저장조로 이설할 당시 장비접근 정도에 따라 사체가 불균등하게 분포되어 있는 상태로 판단된다.

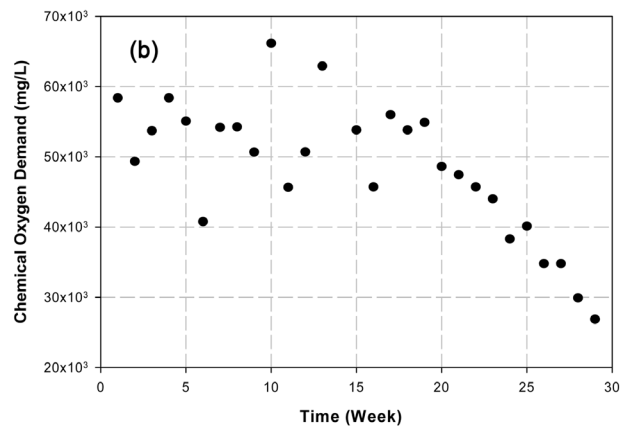


Fig. 4. Leachate analysis results (a) pH, (b) COD.

Park 등¹¹⁾은 장기간 동안 재배치, 미끄러짐과 DOS(분해가 빠름)와 UDOS(분해가 느림)에 의하여 초기 압축 완료 후 수년간 지속적으로 발생하며, 분해 가능한 폐기물의 압축과정이 1차 분해 반응 기작의 형태를 따른다고 가정하고, 폐기물의 분해를 고려한 다음과 같은 식을 제안하였다.

역학적 압축

$$\Delta \varepsilon(t) = \Delta \sigma \cdot [b_{UDOS}(1 - e^{-k_{UDOS}t}) + b_{DOS}(1 - e^{-k_{DOS}t})] \quad (2)$$

여기서, $\Delta \varepsilon(t)$ 는 t시간에 Δs , b_{UDOS} 와 b_{DOS} 에 의해 유도된 압축, Δs 는 상재하중(kPa), b_{UDOS} 는 UDOS의 2차 압축 계수(1/kPa), k_{UDOS} 는 UDOS의 2차 압축 변형률 계수(1/day), b_{DOS} 는 DOS의 2차 압축 계수(1/kPa), k_{DOS} 는 DOS의 2차 압축 변형률 계수 (1/day)와 t는 해당 시간이다.

생물학적 압축

$$\Delta \varepsilon(t)_{bio} = \varepsilon_{tot-dec} \cdot [1 - e^{-k_{bio} \cdot (t-t_c)}] \quad (3)$$

여기서, $\varepsilon(t)_{bio}$ 는 t시간에 DOS의 분해에 의해 유도된 압축, $\varepsilon_{tot-dec}$ 는 생분해성 폐기물의 분해에 의한 압축 총 양, k_{bio} 는 분해에 의한 압축률 (1/day), t_c 는 분해가 기반된 압축 시작 시간과 t는 해당 시간이다.⁷⁾

본 연구에서는 원형저장조에서 발생하는 침하량을 예측하기 위해 식 (3)을 적용하였다. 최하부 바닥부터 최상부까지 크게 5개 층으로 나뉘었다. 바닥층은 왕겨와 혼합토로 구성되었고, 높이는 0.4 m, 무게는 23.8 ton, 유효연직압력 16.1 kN/m²이다. 중간 3층은 혼합토와 가축사체로 구성되었고, 총 높이는 1.5 m, 무게는 170.5 ton, 유효연직압력 5.6 kN/m²이다. 상부층은 왕겨, 혼합토, 생석회와 가축사체로 구성되었고, 높이는 0.6 m, 무게는 78.2 ton, 0.001 kN/m²이다. Table 3은 왕겨와 토양, 사체 등 원형저장조 내부의 폐기물 성상에 대한 모델 입력값을 요약하고 있다.

Fig. 5는 변형률 대한 침하량으로써 이번 연구에서 최종 침하량의 목표치인 70%를 나타냈다. 70%의 높이는 1.75 m이며, 침하시간은 1,090일 정도이다. 구성요소로는 왕겨, 혼합토, 생석회, 가축사체로 이루어져 있으며, 1,090일까지 각 층은 다음과 같이 침하하였다. 바닥층의 주된 침하는 역학적인 침하이며, 중간층과 상부층의 주된 침하는 생물학적 침하이다.

Fig. 6은 식 (2), (3)의 식에 적용하여 나타내었다. 두 식 중 생물학적 압축인 식 (3)에서는 유기물 양에 따라 압축 총

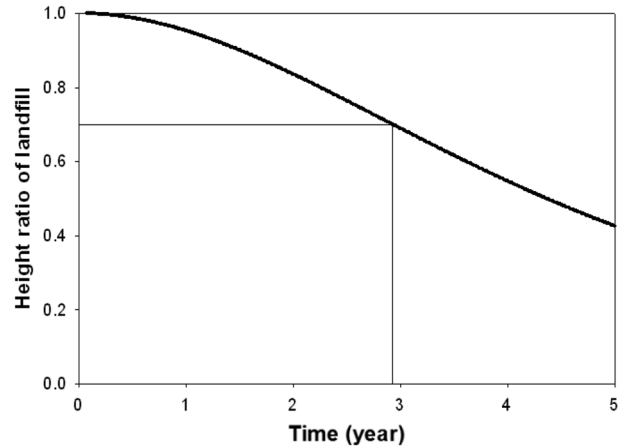


Fig. 5. Modeling results of settlement.

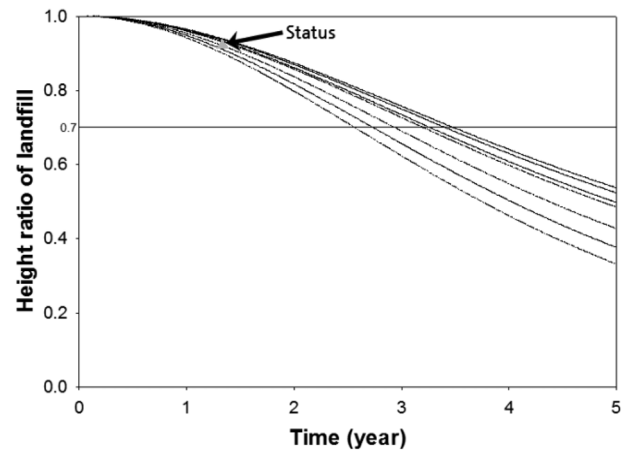


Fig. 6. Modified modeling results of settlement.

Table 4. Settlement displacement of each layer

	Mechanic and Biodegradation	
	Before height (m)	After height (m)
top	0.40	0.18
middle	1.50	1.02
bottom	0.60	0.55

양과 압축률이 증가한다. 유기물의 양은 Fig. 5에서 나타난 변형률에서 포함된 유기물을 기준으로 하였으며, 식 (3)에서 $\varepsilon_{tot-dec}$ 와 k_{bio} 에 10, 20, 40, 50, 100, 150, 200%까지 각각 매개변수에 적용하여 변형률을 Fig. 6에 나타내었다. 또한, Fig. 6에 표시된 삼각형은 최초부터 현재까지 실측한 변형률이다. 변형률은 총 5지점에서 약 16개월 동안 측정한 평균 침하량을 변형률로 변환하여 사용하였다. Fig. 6에서 표시

Table 3. Physical characteristics of components in storage tank

No	Type	Gs	n (%)	e	Estimate height	Used total weight	Volume	Porosity volume
1	Chaff	0.56	80	4.00	0.40	6.12	54.74	43.79
2	Soil	2.59	40	0.67	0.50	106.33	68.43	27.37
3	Quicklime	3.16	20	0.25	0.10	34.54	13.69	2.74
4	Livestock carcasse (3,133)	60 kg/unit	20 (Decomposition)	-	1.50	131.59	205.28	41.06

된 삼각형에 포함된 유기물 변화량은 50, 100, 150%와 유사하며, 추후 50, 100, 150%와 같이 변형률을 나타낼 것으로 예상된다.

4. 결론

단기간 발생된 대량의 가축사체를 처리하기 위한 매몰지가 다수 설치되었다. 매몰지 침출수 누출이 우려될 경우 이설하는데, 퇴비화 또는 원형저장조로 이설하는 경우가 많다. 그러나 원형저장조에 이설한 경우, 수분 유입이 없고 침출수 배출이 안되므로 분해가 저하되는 현상을 보이고 있다.

본 연구에서는 이설된 원형저장조를 안정화를 촉진할 수 있는 생물반응조(Bioreactor)로 구조를 변경하였다. 침출수를 재순환하여 적절한 수분 유지와 침출수 모니터링을 실시하여 미생물의 생육환경을 조성하고 미생물을 공급하여 안정화에 필요한 미생물 활동을 증가시켰으며, 침출수를 직접 포기하여 재순환시켰다. 생물반응조로 구조를 변경함으로써 사체의 생물학적 분해를 촉진시켜 조기안정화를 달성할 수 있다.

매몰지에서 최종 침하량을 선정하기 위해 매몰된 구성요소의 단위 중량과 공극비를 산출하며, 단위중량과 공극비는 다짐상태, 파쇄 등에 따라 크게 변하므로 매몰 당시에 현장조사가 필요하다. 매몰지의 물성은 서로 다른 물질들이 불규칙하게 섞여 있어 산정하기 어려운 점이 있으나, 단위 중량과 공극비에 대한 반비례 관계를 고려하여 추정하고 수위를 이용하여 매몰지내에 수분함량을 유추하여 적정 수분을 유지한다.

본 연구에서 안정화의 주요지표로 침하량을 제시하였다. 원형저장조 내부 유기물의 변형을 고려한 침하량 모형을 사용하여 예측한 침하량 최종치는 생물저장조 구조 변경 후 5년간 약 30%이었다.

Acknowledgement

본 연구는 환경부 GAIA 과제의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

KSEE

Reference

1. MAFRA, "2010~2011 Foot and Mouth Disease White Paper," Korean Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs, p. 16(2011).
2. Abichou, T., Barlaz, M. A., Green, R. and Hater, G., "Liquid balance monitoring inside conventional, retrofit, and bio-reactor landfill cells," *Waste Manage.*, **33**, 2006~2014(2013).
3. Shearer, B., "Enhanced Biodegradation in Landfills," Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, p. 3 (2001).
4. Pacey, J., and Augenstein, D., Morck, R., Reinhart, D. and Yazdani, R., "The bioreactor landfill An innovation in solid waste management," pp. 4~12(1999).
5. Townsend, T. G., Miller, W. L., Lee, H. J. and Earle, J. F. K., "Acceleration of Landfill Stabilization Using Leachate Recycle," *J. Environ. Eng.*, **4**(122), 263~268(1996).
6. Abichou, T., Barlaz, M. A., Green, R. and Hater, G., "The Outer Loop bioreactor: A case study of settlement monitoring and solids decomposition," *Waste Manage.*, **33**, 2035~2047 (2013).
7. Park, H. I. and Park, B., "Prediction of MSW Long-term Settlement Induced by Mechanical and Decomposition-Based Compressions," *J. Environ. Eng.*, **3**(3), 347(2009).
8. Grisolia, M., Napoleoni, Q., Pagnoni, A. and Tancredi, G., "Considerazioni Sulla Compressibilitadei Rifiuti Solidi Urbani," Proc. 1st Italian-Brazilian Symposium on Sanitary and Environmental Engineering(1992).
9. Edil, T. B., Ranguette, V. J., and Wuellner, W. W., "Settlement of Municipal Refuse, Geotechnics of Waste Fills-Theory and Practice," ASTM STP n. 1070., Philadelphia(1990).
10. Reinhardt, J. J. and Ham, R. K., "Solid Waste Milling and Disposal on Land Without Cover," U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio(1974).
11. Park, H. I., Park, B., Lee, S. R. and Hwang, D., "Parameter Evaluation and Performance Comparison of MSW Settlement Prediction Models in Various Landfill Types," *J. Environ. Eng., ASCE*, **133**, 64~72(2007).
12. Pratt, D., "Environmental Impact of Livestock Mortalities Burial," Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada(2009).
13. USEPA, "Example Moisture Mass Balance Calculations for Bioreactor Landfills," U.S. EPA456/R-05/004; U.S. EPA: Research Triangle Park, North Carolina(2005).
14. USDOA, "Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirements," Technical Bulletin No. 1275, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, p. 59(1962).
15. Gandola, M., Acaia, C. and Decha, I., "Previsionedei Cedi-menti Della Superficie di Una Discarica di RSU," Proc. Italian-Brazilian Congress S. I. B. E. S. A., Gramado, Brasil. (in Italian)(1995).
16. Erses, A., Onay, T. and Yenigun, O., "Comparison of Aerobic and Anaerobic Degradation of Municipal Solid Waste in Bioreactor Landfills," *Bioresour. Technol.*, **99**, 5418~5426 (2008).