

전처리된 유기성오니와 생활폐기물 혼합에 따른 유기성오니 매립방법 평가

고재영 · 배재근[†] · 도인환 · 박준석*

서울산업대학교 에너지환경대학원 · *강원대학교 환경방재공학과

(2007년 11월 12일 접수, 2008년 2월 5일 채택)

Evaluation of Landfilling Method of Organic Sludge from Mix of Pre-treated Organic Sludge and Municipal Solid Waste

Jae-Young Ko · Chae-Gun Phae[†] · In-Hwan Do · Joon-Seok Park*

Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Technology

*Department of Environmental Disaster Prevention Engineering, Kangwon National University

ABSTRACT : This research was performed to evaluate the landfilling method of organic sludge from mix of pre-treated organic sludge (OS) and municipal solid waste(MSW). Organic sludges were dried, composted, and solidified as pre-treatment and the OS and MSW were mixed in ratios of 2 to 8 and 4 to 6. Approximately 1,800~2,500 L of landfill gas(LFG) was generated in the lysimeter with solidified-OS, which was higher than 1,150~1,650 L of the dried- and composted- ones. Maximum H₂S concentration was found in the following order : Composted-20(80 ppmv) > Composted-40(55 ppmv) > Dried-20(30 ppmv) > Dried-40 ≅ Solidified-20 ≅ Solidified-40 (20 ppmv). BOD₅ at initial leachate generation period was 38,000 mg/L for Composted-40, 28,000 mg/L for Dried-40, 26,000 mg/L for Dried-20, 21,000 mg/L for Composted-20 and Solidified-40, and Solidified-20 for 17,000 mg/L. In the final period of experiment, BOD₅ was low as 300~500 mg/L in the lysimeter with solidified-OS and MSW and showed 2,000~3,500 mg/L in dried- and composted-ones. As the results, landfilling by mix of solidified-OS and MSW was evaluated as the most appropriate method for biodegradable organics. Direct landfilling of OS is permitted for landfill site with CDM facility. Therefore, mixed landfilling of solidified-OS and MSW should be considered for much more LFG generation as methane.

Key Words : Organic Sludge, Landfill Gas(LFG), Lysimeter, Odor, Leachate

요약 : 본 연구는 건조, 퇴비화, 고화로 전처리된 유기성오니와 생활폐기물을 각각 2 : 8과 4 : 6으로 혼합하여 매립할 경우 매립지 환경에 미치는 영향을 평가하고 유기성오니의 직매립금지 조치이후 적정 처리방안을 모색하기 위하여 실시하였다. 고화오니는 약 1,800~2,500 L의 가장 활발한 가스발생량을 나타내어 건조 및 퇴비오니의 1,150~1,650 L 보다 높았다. 악취 중 황화수소 최대농도는 Composted-20(약 80 ppmv) > Composted-40(약 55 ppmv) > Dried-20(약 30 ppmv) > Dried-40 ≅ Solidified-20 ≅ Solidified-40 (약 20 ppmv)순으로 나타났다. 침출수 발생초기 BOD₅는 Composted-40에서 약 38,000 mg/L으로 가장 높게 나타났으며, Dried-40이 약 28,000 mg/L, Dried-20이 약 26,000 mg/L, Composted-20과 Solidified-40이 21,000 mg/L를 나타내었으며, Solidified-20이 17,000 mg/L로 가장 낮았다. 570일차 고화오니의 BOD₅는 300~500 mg/L, 건조 및 퇴비오니는 2,000~3,500 mg/L의 농도를 나타내었다. 고화처리된 오니를 생활폐기물과 혼합할 경우 빠른 분해로 매립가스가 가장 많이 발생되었으며, 악취 및 침출수 농도도 가장 낮게 나타나 유기성 고화처리 후 매립쪽으로 유도되는 것이 가장 바람직하였다. 최근 매립가스 재이용(CDM) 사업을 수행하는 매립장에 대해서는 직매립을 허용하고 있으므로 유기성오니 매립시에는 반드시 생활폐기물과 혼합하는 것이 필요하며, 메탄가스를 보다 많이 생산하기 위해서는 고화오니를 혼합매립하는 것이 가장 유용할 것으로 판단된다.

주제어 : 모형매립조, 유기성오니, 전처리, 매립가스, 악취, 침출수

1. 서론

분해가 용이하며 수분함량이 높은 유기성폐기물(음식물류폐기물 및 오니 등)의 직매립은 매립장내 악취발생, 해충발생, 매립지의 사면붕괴 등에 의하여 주변지역에 환경문제를 야기시키고 침출수처리 등 매립지 운영·관리상에 많은 어려움을 발생시킨다. 이에 따라 각종 음식물류폐기

물과 오니류에 대해서는 각각 2001년 1월과 2003년 7월부터 직매립이 금지되었다.^{1~3)} 이러한 조치에 따라 반입되는 폐기물량이 감소하고, 반입 폐기물의 성상이 개선되면서 매립지의 수명연장과 주변 환경개선의 효과를 이루었다. 음식물류폐기물과 유기성오니의 직매립금지 조치는 육상에서 재활용 혹은 처리하는 방향으로 유도하기 위하여 실시되었으나, 유기성오니의 경우 육상처리시설의 미비로 해양배출에 의존하게 되었으며, 근래에는 발생하는 하수오니의 80% 정도가 해양배출되고 있다. 유기성오니의 해양배출은 1988년부터 국내에서 허용되었으나, 런던협약 96

[†] Corresponding author
E-mail: phae@snut.ac.kr
Tel: 02-970-6617

Fax: 02-971-5776

의정서에 의하여 국제적인 규제가 강화되고, 비준안이 2006년 3월에 통과됨에 따라 해양배출에 대한 규제를 하지 않을 수 없게 되었다.²⁾ 해양수산부에서는 배출량이 계속적으로 증가해 온 오니류에 대한 규제를 중점적으로 검토하여 2005년 5월 22일에 해양오염방지법 시행규칙을 개정하여 규제항목을 대폭 증가시켰다. 이에 따라 2011년도에는 오니류 대부분이 해양배출이 불가능하게 될 것으로 예상된다.

오니 관련 정책이 직매립금지, 해양배출규제강화로 진행됨에 따라 전량 육상처리가 전제되고 있어 현행 직매립금지와 관련하여 효율적인 관리방안을 수립하는 것이 필요하다. 현재 유기성오니는 소각하거나 시멘트·합성고분자 화합물의 이용 기타 이와 유사한 방법으로 고형화 또는 고화처리하여 매립하거나 생물학적 처리방법으로 처리하여 퇴비로 사용하거나 환경부장관이 정하여 고시하는 용도 및 방법에 따라 처리할 수 있다.⁴⁾ 고형화와 고화처리는 폐기물의 재활용과 매립을 목적으로 한다는 방법상의 차이가 있음에도 불구하고 현행 법 체계 내에서는 기술의 정의 및 체계 정립에 대한 구체적 기준이 없는 실정이다. 김등⁷⁾은 고화기술의 분류체계 정립을 위하여 다음과 같이 고형화와 고화처리의 정의를 폐기물관리법 내에 구분하여 명시할 것을 제안한 바 있다.¹⁾ 고형화는 슬러지 등에 시멘트 등의 고화제를 이용하여 고체화시킨 후 양생과정을 거치는 처리방법으로 최종물은 매립목적으로 사용하며, 고화처리는 시멘트 등의 고화제를 고체화 및 안정화시키는 처리방법으로 최종물은 매립지복토 등의 재활용 목적으로 사용하는 것이라고 하였다. 오니는 수분함량 85% 이하로 탈수·건조한 후에는 관리형 매립시설에 매립이 가능하다. 그러나 시설용량 10,000 m³/일 이상의 하·폐수종말처리 시설과 700 m³/일 이상의 폐수배출시설, 축산폐수·분뇨처리시설에서 발생하는 오니는 바로 매립할 수 없다. 다만, 매립가스를 회수하여 재이용하는 시설이 설치된 매립시설의 경우에는 500 톤/일 미만까지는 수분함량 75% 이하로 처리하여 매립할 수 있다.²⁾

현재까지 유기성오니의 직매립금지에 관한 연구는 미미한 실정이며, 유기성오니의 전처리 후에 매립지복토재로 활용하고자 하는 연구가 일부 진행된 바 있다.^{5~8)} 고재영 등⁹⁾은 수분함량이 75%와 85%인 유기성오니를 직매립할 경우 악취와 침출수의 발생 등 매립지 주변환경에 심각한 문제를 야기 시키므로 현행 유기성오니의 직매립금지법은 환경적으로 타당하며, 유기성오니는 매립보다는 재활용 또는 처리 후 매립쪽으로 유도되는 것이 바람직하다고 보고하였다.⁹⁾ 고재영 등¹⁰⁾은 건조, 퇴비화, 고화로 전처리한 유기성오니를 단일매립할 경우 고화처리가 가장 적합한 방법이라고 하였다.¹⁰⁾ 그러나 단일매립의 경우에도 침출수 및 악취 문제가 여전히 존재하고 있고 우수의 배제가 어려워 보다 나은 개선방안이 필요할 것으로 판단된다.

이에 본 연구는 건조, 퇴비화, 고화로 전처리된 유기성오니와 생활폐기물과의 혼합매립시 혼합비율을 달리하여 매립할 경우 매립가스 및 침출수의 특성변화를 평가하고

유기성 폐기물(유기성오니 및 음식물류폐기물)의 직매립금지 조치 이후 적정 처리방안을 모색하기 위하여 실시하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험장치

모형매립조(lysimeter)는 높이 140 cm, 직경 40 cm PVC 재질의 원통형관을 사용하여 제작하였다. 이를 부피로 환산하면 176 L가 된다. 이 중에서 113 L에 대하여 충전을 실시하였다. 인공강우 주입시 편류현상을 방지하고 균등 배분될 수 있도록 살수장치를 설치하였다(Fig. 1). 모형매립조의 내부온도를 측정하기 위하여 폐기물층 상부, 중앙, 하단 부분에 bimetal 온도계를 설치하여 온도변화를 관측할 수 있도록 하였다. 모형매립조 상부에는 침하량을 측정하기 위하여 침하판을 설치하였다. 모형매립조 외벽은 단열재로 감싸서 가능한 외부온도의 영향을 받지 않도록 하였다. 운전 중 발생하는 가스는 반응기 상부에 외통 높이 18.5 cm, 직경 9 cm, 내통 높이 18.5 cm, 직경 7.4 cm인 가스발생량 측정장치를 제작하여 내부에 물을 충전(充填)하고 폐기물 분해에 의해 생성된 가스로 상승되는 내통의 높이를 시간단위로 측정하여 발생량을 측정하였다. 모형매립조 하부에는 발생되는 침출수의 양을 측정하고 시료를 채취할 수 있도록 하였다.

2.2. 실험방법

본 연구를 수행하기 위하여 건조, 퇴비화, 고화로 전처리된 유기성오니와 생활폐기물과의 혼합비율에 따라 총 6개의 모형매립조를 준비하였다. 각 모형매립조에는 건조, 퇴비화 및 고화로 전처리된 유기성오니와 생활폐기물을 혼합하여 충전하였다(Table 1). 각 모형매립조는 전처리오니와 생활폐기물의 혼합비에 따라 명명하였다. 예를 들어 Dried-20은 건조오니 20%와 생활폐기물 80%, Dried-40은 건조오니 40%와 생활폐기물 60%를 충전한 것을 의미하며, 고화오니에 생활폐기물 40%를 혼합 충전한 경우에는

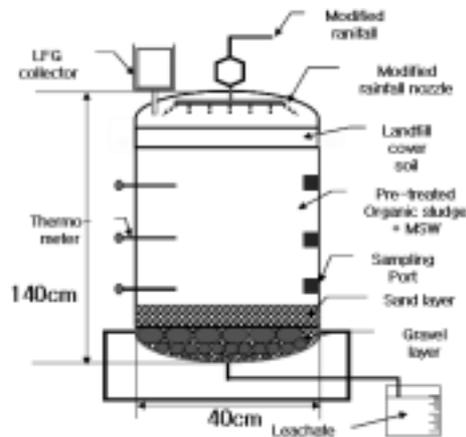


Fig. 1. Schematics of lysimeter used in this research.

Table 1. Experimental condition for this research

Lysimeter	Chemical composition of volatile solids(%)					Korean proximate analysis(%)			
	C	H	O	N	S	Moisture content	Volatile solids	Ash	
Dried-20	57.15	9.10	32.36	1.30	0.10	21.70	63.75	14.55	
Dried-40	54.85	8.96	34.30	1.77	0.13	18.62	59.52	21.86	
Composted-20	56.86	9.26	32.74	1.08	0.06	26.56	59.84	13.60	
Composted-40	54.27	9.29	35.06	1.32	0.06	28.84	51.71	19.95	
Solidified-20	58.08	8.80	31.96	1.10	0.07	36.47	55.84	7.69	
Solidified-40	56.70	8.37	33.50	1.36	0.07	48.17	43.70	8.13	
Lysimeter	Weight of materials filled in lysimeter(kg)						Total packing weight (kg)	Bulk density (kg/m ³)	Mix ratio of POS : MSW
	MSW					POS			
	FW	Paper	Plastic	Wood	Texture				
Dried-20	2.59	7.94	7.01	0.39	0.88	4.7	23.5	208	2 : 8
Dried-40	2.39	7.35	6.48	0.36	0.81	11.6	29.0	257	4 : 6
Composted-20	2.14	6.56	5.78	0.32	0.72	3.88	19.4	172	2 : 8
Composted-40	2.11	6.46	5.7	0.31	0.71	10.2	25.5	226	4 : 6
Solidified-20	2.72	8.35	7.36	0.41	0.92	4.94	24.7	219	2 : 8
Solidified-40	2.68	8.24	7.27	0.40	0.91	13.0	32.5	288	4 : 6

FW : Food waste, MSW : Municipal Solid Waste; POS : Pre-treated Organic Sludge

Solidified-40이라고 명명된다. 건조오니는 서울 S하수처리장에서, 퇴비오니는 ○○엔지니어링에서, 고화오니는 수도권매립지에서 구하여 사용하였다. 생활폐기물은 2004년 수도권매립지에 반입되는 폐기물의 조성에 따라 조제하였으며, 이 때 생활폐기물 중 분해용이한 음식물류폐기물은 약 15% 정도 차지하였다. 모형매립조의 물리화학적 특성 및 운전조건을 Table 1에 나타내었다. 충전물질의 탄소함량은 모두 약 55~60%의 범위에 있었으며, 원소조성에서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 삼성분 중 수분함량은 고화오니가 40% 혼합된 Solidified-40에서 약 50%로 가장 높았다. 생활폐기물에 전처리 조건이 다른 유기성오니를 혼합비를 달리하여 충전할 경우 밀도를 동일하게 맞추는 것 보다는 다짐조건을 동일하게 하는 것이 더 바람직할 것으로 판단되어 모형매립조내 충전물을 채운 후 10 kg의 금속재로 10 cm 높이에서 10회씩 낙하시켜 표면이 수평이 되도록 골고루 다짐하였다. 그 결과 6개 모형매립조의 충전밀도는 170~290 kg/m³의 범위에 있었다. 실험은 25℃ 항온실에서 수행하였으며, 인공강우는 다음과 같이 계산하여 주입하였다. 가장 큰 위생매립지인 수도권매립지의 위치를 고려하여 인천지역의 1971년부터 2000년까지 30년간 월평균 강수량(9.6 cm)을 산출하고 범봉수 등¹¹⁾이 사용한 강우침투율 35%를 적용하였다. 따라서 인공강우 주입량은 [20 cm × 20 cm × 3.14(반송기 면적)] × [9.6 cm/월(인천지역 30년 월 평균강수량)] × [0.35(강우침투율)] = 4,220 mL/월로 계산되었으며, 10일에 1.4 L씩 주입하였다.

가스조성(CH₄, CO₂, O₂)은 가스측정기(LMSxi, Gas Data Co., UK)를 이용하여 측정하였다. 암모니아(NH₃), 황화수소(H₂S), 메틸메르캅탄(CH₃SH), 디메틸메르캅탄((CH₃)₂SH)

은 가스검지관(Gastec, Japan)을 이용하였으며, 검출한계는 각각 0.5 ppm, 0.25 ppm, 0.1 ppm, 0.1 ppm이었다. 침출수의 pH, BOD₅, COD_{Cr}, NH₃-N와 TN은 폐기물공정시험법¹²⁾과 Standard Methods¹³⁾에 따라 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 매립가스 및 악취

여러 가지 전처리오니와 생활폐기물의 혼합비에 따른 영향을 평가하기 위하여 6개의 모형매립조를 약 600일 동안 운전하였으며, 이 때에 발생한 누적가스량을 Fig. 2에 나타내었다. 매립가스는 약 50일차부터 발생되기 시작하였다. 건조오니와 퇴비오니는 지속적으로 발생이 되었으며, 400일차 이후에 건조오니는 다소 증가하였으나 퇴비오니는 둔화되기 시작하였다. 혼합비에 따른 영향을 살펴보면 건조오니와 퇴비오니는 생활폐기물을 20%와 40% 혼합하였을 때 가스발생량에는 큰 차이를 나타내지 않았다(Fig. 2(a)). 그러나 고화오니에 생활폐기물을 혼합한 경우 가장 활발한 가스발생량을 나타내었으며, 특히 생활폐기물을 40% 혼합한 경우(Solidified-40)가 약 2,500 L로 20% 혼합한 경우(Solidified-20)의 약 1,800 L 보다 발생량이 1.4배 정도 많았다. 혼합비를 달리한 건조오니와 퇴비오니의 가스발생량은 1,150~1,650 L의 범위이었다. 매립가스는 유기물이 분해되는 과정에서 발생하므로 가스발생량을 휘발성고형물(VS) 기준으로 환산하여 Fig. 2(b)에 나타내었다. 전체적인 경향은 큰 차이가 없으나 Dried-20에서는 단위 VS kg당 발생량이 다소 증가하였다. Dried-20과 Composted-20은 약 110 L/kg(VS)로 Dried-40의 약 100 L/kg(VS)와 Com-

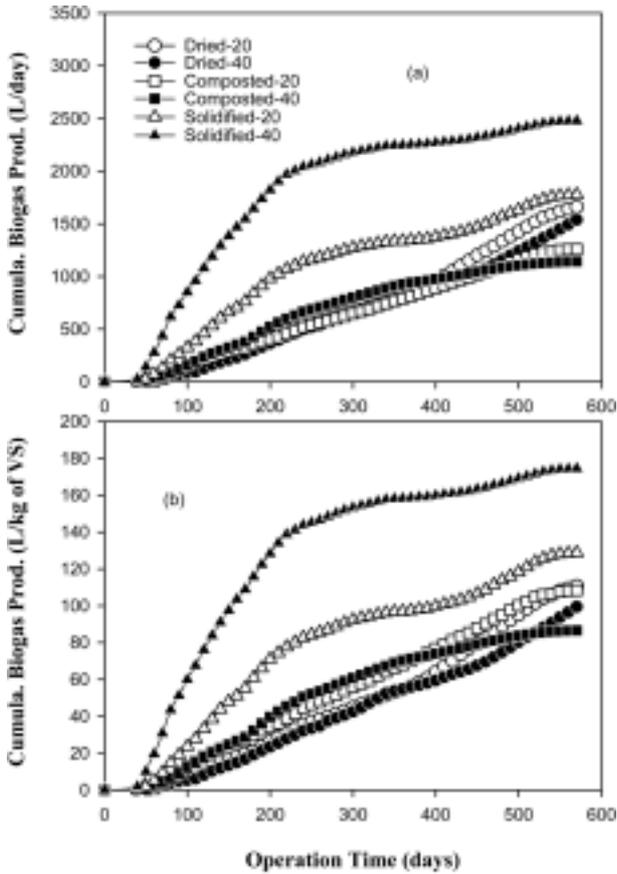


Fig. 2. Biogas produced during operation time.

Composted-40의 87 L/kg(VS) 보다 높았으며, Solidified-20에서는 130 L/kg(VS)이 발생되었다. Solidified-40에서는 VS 기준으로 175 L/kg의 가장 많은 가스가 발생하였다. 최근 매립가스 재이용(CDM) 사업을 수행하는 매립장에 대해서는 직매립을 허용하고 있다. 본 실험에서 유기성오니를 고화처리하여 생활폐기물과 혼합매립할 경우 가장 많은 매립가스(as methane)를 발생시켰으므로 단기간 내에 매립가스를 회수할 수 있을 것으로 판단된다. 수도권매립지에서는 2006년 12월에 매립가스 이용을 위한 50 MW 발전소를 준공하여 가동에 들어갔는데¹⁴⁾ 본 실험결과 수도권매립지의 경우 고화처리된 유기성오니를 생활폐기물과 매립할 경우 매립가스 회수가 용이할 것으로 판단된다.

매립지를 모사한 모형매립조(lysimeter)의 매립가스 중 메탄(CH₄), 이산화탄소(CO₂), 산소(O₂)의 조성변화를 Fig. 3에 나타내었다. 실험 초기에는 모두 산소가 21%였으며, 나머지는 질소 79%로 대기조건과 동일하였다. 본 실험에 사용하였던 가스측정기(LMSxi, Gas Data Co., UK)는 가스조성의 총합을 100%로 환산하여 메탄, 이산화탄소, 산소, 그리고 질소의 농도를 나타낸다. 메탄농도의 증가속도는 고화오니가 가장 빨랐으며, 건조오니는 상대적으로 느리게 증가하였으나 약 150일 경에는 메탄의 농도가 모두 40~55%로 안정하게 유지되었다(Fig. 3(a)). 이산화탄소도 메탄과 마찬가지로 혐기성 분해에 의한 산물로서 메탄보다는 빠

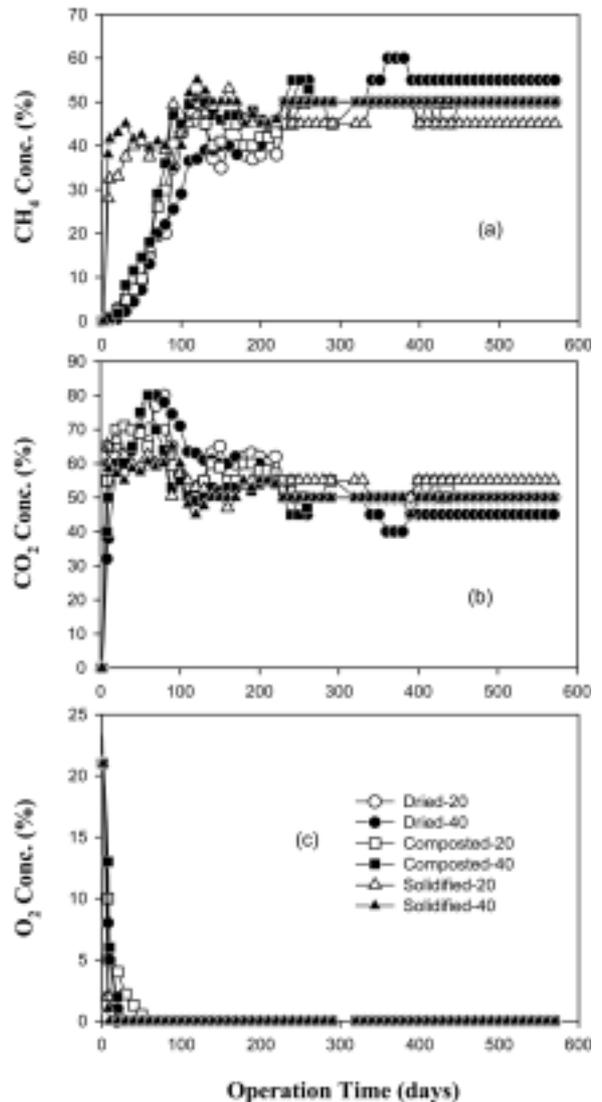


Fig. 3. Composition of biogas produced during operation time.

른 증가속도를 나타내었다. 초기부터 급격히 증가하여 60~80%의 범위를 나타내었다가 메탄이 안정화되었던 약 150일 이후에는 45~60%의 범위를 나타내었다(Fig. 3(b)). 산소는 이산화탄소와 반대로 초기에 급격한 감소를 나타낸 후 실험기간 내내 검출되지 않아 혐기성 조건이 잘 유지되고 있음을 알 수 확인할 수 있었다(Fig. 3(c)).

반응기간 동안에 발생하는 악취를 Fig. 4에 나타내었다. 암모니아는 실험기간 내내 검출되지 않아서 본 논문에서는 논의하지 않았다. 전체적으로 악취농도는 가스발생 시점 이후 빠른 증가를 나타내었다가 급격히 감소하는 추세를 보였다. 황화수소는 퇴비오니에서 주로 높게 나타났는데 Composted-20은 최고 약 80 ppmv, Composted-40은 약 55 ppmv까지 검출되었다(Fig. 4(a)). 건조오니(Dried-20과 Dried-40)와 고화오니(Solidified-20과 Solidified-40)의 경우 Dried-20에서 약 30 ppmv까지 검출되었을 뿐 대체로 20 ppmv 이하의 농도를 나타내었다. 실험조건에 따른 황화수소 농도는 Composted-20 > Composted-40 > Dried-20

> Dried-40 ≍ Solidified-20 ≍ Solidified-40 순으로 나타났다. 문헌에 의하면 전처리하지 않은 수분함량 85%의 유기성오니를 매립한 경우에 황화수소가 최고 150 ppmv까지 발생되었으며,⁹⁾ 생활폐기물만을 매립한 경우 30 ppmv 이하로 발생되었다. 이로써 전처리오니와 생활폐기물을 혼합한 모형매립조에서 발생하는 황화수소는 대부분 전처리오니에서 기인하는 것으로 판단되며, 유기성 오니를 전처리할 경우 전처리하지 않은 경우보다 황화수소 농도를 2~5배 정도 저감시킬 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 공업지역 배출허용기준(0.06 ppmv)¹⁵⁾과 악취감지농도(0.025~0.1 ppmv)¹⁶⁾를 고려해 볼 때 여전히 높은 농도이므로 악취저감에 대한 지속적 연구가 필요할 것이다. 메틸메르캅탄과 디메틸메르캅탄은 농도변화가 심하여 데이터값을 실선으로 연결할 경우 값을 판독하기 어려울 것으로 판단되어 실선을 제외하고 표시하였다(Fig. 4(b)와 (c)). 메틸메르캅탄

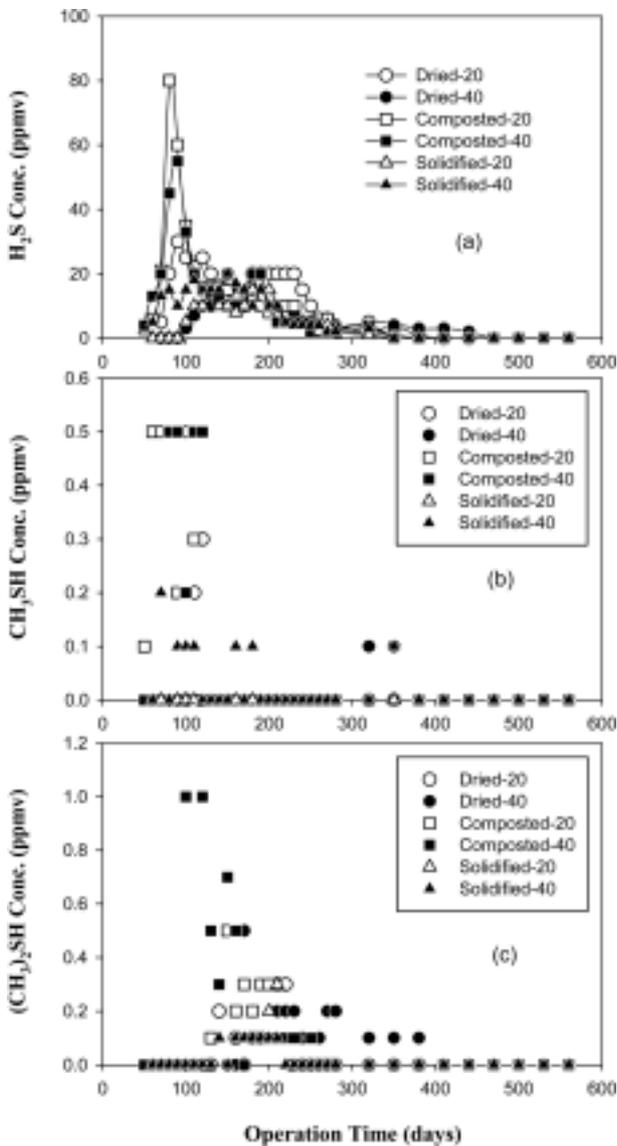


Fig. 4. Concentration of odorous compounds during operation time.

은 Composted-20과 Composted-40에서 0.5 ppmv로 가장 높게 나타났고, 디메틸메르캅탄은 Composted-40에서 1.0 ppmv로 높게 나타났으나 황화수소 농도와 비교해 볼 때 상대적으로 낮은 수치여서 모형매립조별 차이가 크게 나타나지 않는 것으로 판단된다.

3.2. 침출수

본 모형매립조에서 발생하는 침출수량을 누적하여 Fig. 5에 나타내었다. 전 모형매립조에서 침출수는 100여일 이후부터 본격적으로 발생되기 시작하여 매 10일 마다 1,000~1,500 mL 정도 발생하였다. 건조오니는 Dried-20이 Dried-40보다 더 많이 발생하였는데 이는 Dried-40의 경우 수분을 많이 흡수할 수 있는 건조오니의 혼합비가 40%로 높았기 때문으로 판단된다. 전처리된 퇴비오니와 고화오니의 경우 생활폐기물에 대한 혼합비를 20%와 40%로 변화시켰을 때 침출수 발생량에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

침출수가 처음 발생하는 시점은 Composted-40이 60일차로 가장 빨랐고 Dried-40이 110일차로 가장 늦었는데 60일차부터 실험이 종료된 570일차까지 매 10일마다 발생하는 평균 침출수량을 Fig. 6에 나타내었다. 대체적으로 건조오니가 퇴비 또는 고화오니보다 침출수가 다소 적게

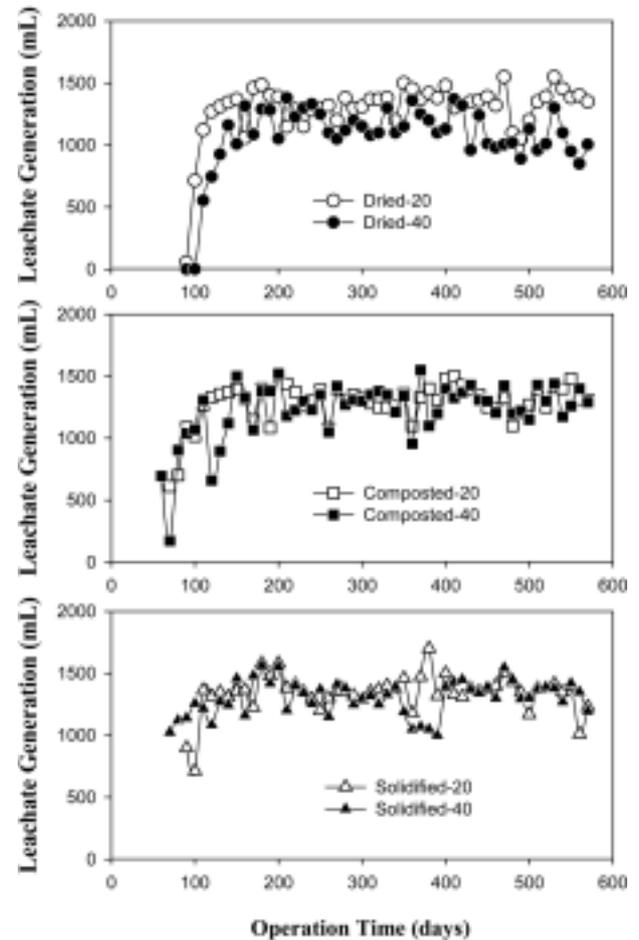


Fig. 5. Leachate volume generated from lysimeters.

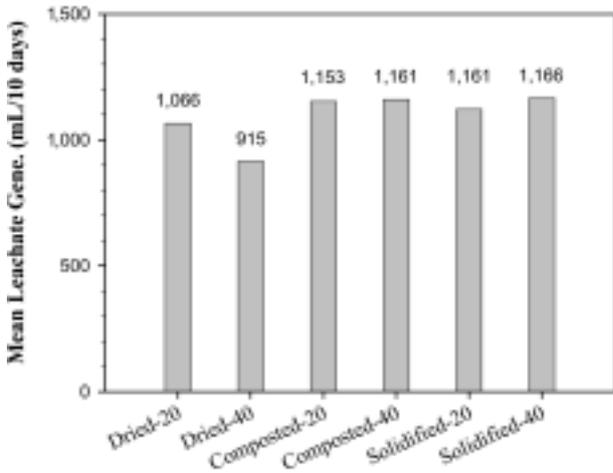


Fig. 6. Mean leachate volume generated from lysimeters every 10 days after 60 days.

발생이 되었으며, 특히 Dried-40의 경우 평균 915 mL로 퇴비 또는 고화오니보다 200 mL 가량 적게 발생되었다. 한 등¹⁷⁾은 유기성 폐기물 직매립금지에 따른 매립폐기물 분해특성을 연구한 결과 침출수 발생량은 (생활폐기물 + 음식물류 + 하수슬러지의 혼합) > (생활폐기물 + 하수슬러지의 혼합) > (음식물류가 제외된 생활폐기물)의 순이었다고 하였다.¹⁷⁾

침출수의 pH 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 침출수 발생 초기 pH는 약 8정도를 나타내다가 시간이 경과함에 따라 5~6.5 정도까지 감소하였으며, 이후 다시 중성부근으로 회복되기 시작하였다. 다만 Dried-40의 경우 350일 이후 pH가 8 이상으로 상승하였다. 초기에 pH가 감소하는 것은 폐기물의 분해과정에서 생성되는 유기산의 영향으로 일반적으로 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 장성호 등¹⁸⁾은 음식물류폐기물의 경우 알칼리도를 조절한 경우 조절하지 않은 경우 보다 유기산이 더 많이 발생되었다고 보고 하였다. 생활폐기물을 단독매립한 경우에 pH는 5 부근까지 하강하였고,¹⁵⁾ 전처리된 유기성오니를 단일매립한 경우

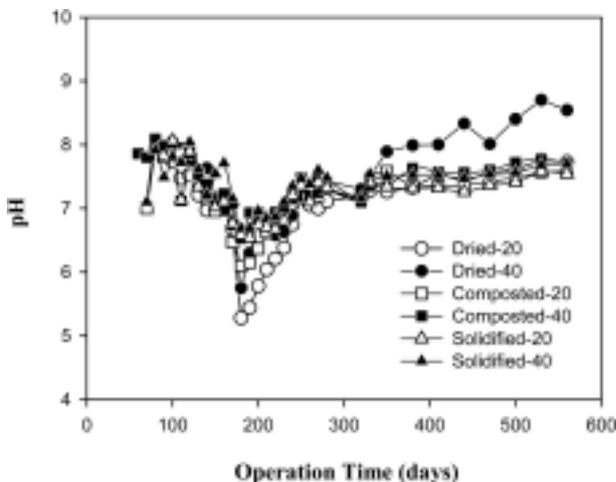


Fig. 7. pH of leachate generated from lysimeters.

pH가 6.5 정도로 하강했던¹⁰⁾ 고재영 등의 연구에 의하면 본 실험에서 pH가 급격히 하강한 데에는 생활폐기물의 기여가 더 컸을 것으로 생각된다.

침출수의 BOD₅와 COD_{Cr}을 Fig. 8에 제시하였다. 침출수 발생초기 BOD₅는 Composted-40에서 약 38,000 mg/L으로 가장 높게 나타났으며, Dried-40이 약 28,000 mg/L, Dried-20이 약 26,000 mg/L, Composted-20과 Solidified-40이 21,000 mg/L를 나타내었고, Solidified-20이 17,000 mg/L로 가장 낮았다(Fig. 8(a)). 건조오니에서 대체적으로 높은 농도를 나타낸 것은 건조오니가 단순 수분함량만을 조절한 처리로서 매립 후 지속적인 강우의 유입으로 수분함량이 증가하고 증력수가 하강하면서 유기성분이 유출될 수 있는 조건이 형성되면서 일어난 결과로 생각된다. 건조오니 초기 수분함량은 20% 정도였으며, 퇴비오니와 고화오니는 30~50% 정도를 나타내었다(Table 1). 발생초기에 약 17,000~21,000 mg/L의 농도를 나타내었던 고화오니의 경우 혼합비에 관계없이 200일 경부터 BOD₅가 700 mg/L 이하로 급격히 감소하며 가장 빠른 안정화를 나타내었다. 570일차 고화오니의 BOD₅는 300~500 mg/L, 건조 및 퇴비오니는 2,000~3,500 mg/L의 농도를 나타내었다. COD는 BOD₅ 보다 높은 농도를 나타내었으나 전체적인 농도변화의 양상은 BOD₅와 유사함을 알 수 있었다(Fig. 8(b)).

침출수의 TN과 NH₃-N의 변화는 Fig. 9에 나타나 있다. TN은 농도가 높은 순으로는 Dried-40 > Composted-40 ≒

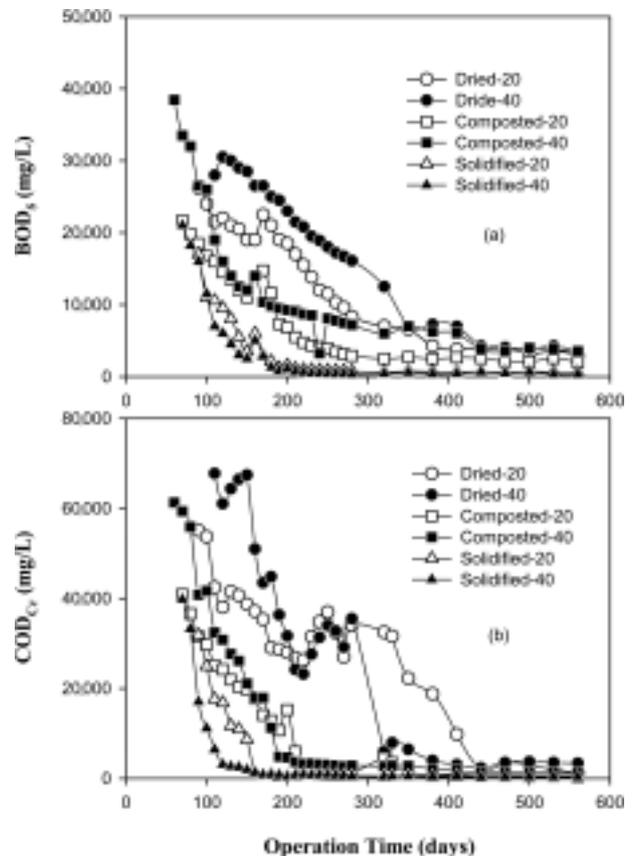


Fig. 8. BOD and COD of leachate generated from lysimeters.

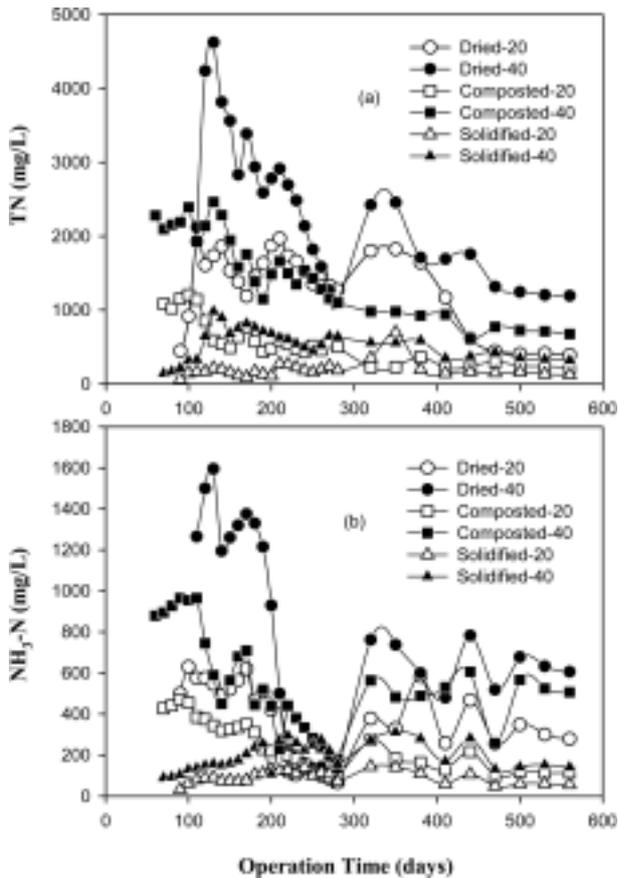


Fig. 9. TN and NH₃-N of leachate generated from lysimeters.

Dried-20 > Composted-20 > Solidified-40 > Solidified-20 이었다. 최고 TN농도는 Dried-40에서 가장 높은 4,600 mg/L를 나타내었으며, Solidified-20은 700 mg/L로 가장 낮았다. NH₃-N 농도는 TN보다는 2.5~3.3배 정도 낮았으며, 변화 양상은 TN과 유사하게 나타났다.

3.3. 침하량 및 온도

모형매립조의 운전일수 경과에 따른 침하량 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 실험 초기부터 약 50일차까지 침하량이 계속 증가하였다가 300일차까지 유지되었으며, 이후 침하량이 다시 회복되는 현상을 나타내었다. 침하량은 Solidified-40에서 약 12 cm로 가장 높았으며, Solidified-20이 약 8 cm, Composted-20, Composted-40 그리고 Dried-40이 약 6 cm를 나타내었고, Dried-20이 약 4 cm 정도로 가장 낮았다. 전반적으로 볼 때 침하량은 주로 고화오니, 퇴비오니, 건조오니 순으로 높게 나타났다. 반응 후반에 계속적으로 침하가 일어나거나 유지되지 않고 회복되는 이유는 10일마다 인공강우가 주입되었기 때문에 수분의 영향이 작용한 것으로 생각된다.¹⁰⁾

본 연구에서 모형매립조내 온도변화는 외기가 25°C로 유지되는 항온실에서 온도를 측정하였다. 약 300일차까지 모형매립조간 온도변화는 큰 차이가 없었으며, 운전기간 내내 23~28°C를 유지하였다(Fig. 11). 300일차 이후에는

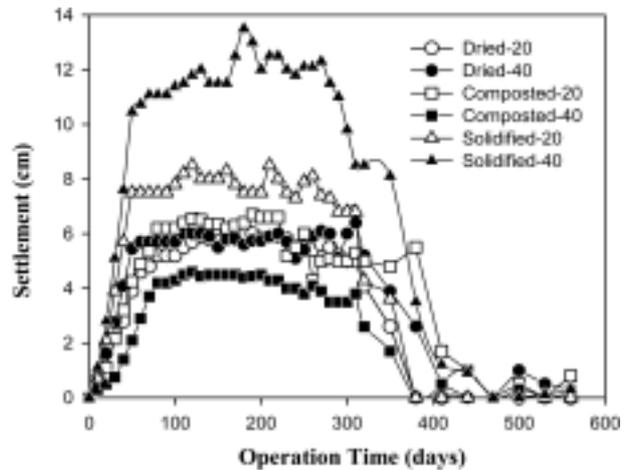


Fig. 10. Variation of settlement in lysimeters.

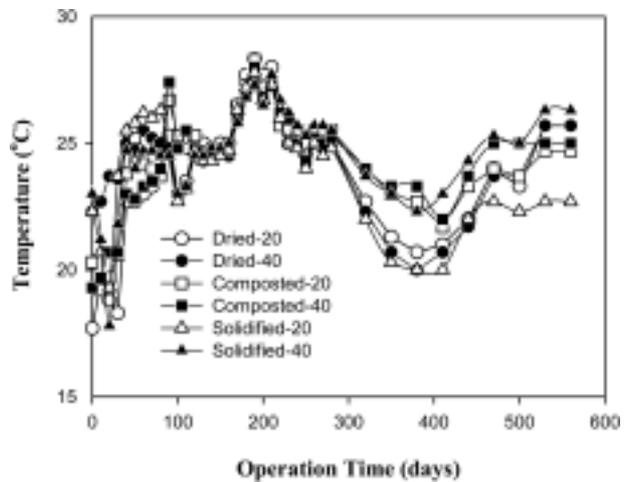


Fig. 11. Variation of temperature in lysimeters.

온도가 감소하기 시작하여 20~26°C를 유지하였다. 300일차 이후에 온도가 다소 감소하는 것은 분해용이한 유기성분이 상당량 분해되어 반응열에 의한 온도상승 효과가 두드러지게 둔화되었기 때문으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 건조, 퇴비화, 고화로 전처리된 유기성오니와 생활폐기물을 각각 2 : 8과 4 : 6으로 혼합하여 매립할 경우 매립가스 및 침출수의 특성변화를 평가하고 유기성오니의 직매립금지 조치이후 적정 처리방안을 모색하기 위하여 실시하였으며, 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 고화오니에 생활폐기물을 혼합한 경우 가장 활발한 가스발생량을 나타내었으며, 특히 생활폐기물을 40% 혼합한 경우(Solidified-40)가 약 2,500 L로 20% 혼합한 경우(Solidified-20)의 보다 발생량이 약 1,800 L 보다 1.4배 정도 많았다. 혼합비를 달리한 건조오니(Dried-20과 Dried-40)와 퇴비오니(Composted-20과 Composted-40)의 가스발생량

은 1,150~1,650 L의 범위이었다.

2) 황화수소 최대농도는 Composted-20(약 80 ppmv) > Composted-40(약 55 ppmv) > Dried-20(약 30 ppmv) > Dried-40 ≒ Solidified-20 ≒ Solidified-40(약 20 ppmv)으로 나타났다.

3) 첫 침출수 발생 이후 60일차부터 570일차까지 매 10일마다 발생하는 평균 침출수량은 대체적으로 건조오니가 퇴비 또는 고화오니보다 침출수가 다소 적게 발생이 되었으며, 특히 Dried-40의 경우 평균 915 mL로 퇴비 또는 고화오니보다 200 mL 가량 적게 발생되었다.

4) 침출수 발생초기 BOD₅는 Composted-40에서 약 38,000 mg/L으로 가장 높게 나타났으며, Dried-40이 약 28,000 mg/L, Dried-20이 약 26,000 mg/L, Composted-20과 Solidified-40이 21,000 mg/L를 나타내었으며, Solidified-20이 17,000 mg/L로 가장 낮았다. 570일차 고화오니의 BOD₅는 300~500 mg/L, 건조 및 퇴비오니는 2,000~3,500 mg/L의 농도를 나타내었다.

5) 침하량은 Solidified-40에서 약 12 cm로 가장 높았으며, Solidified-20이 약 8 cm, Composted-20, Composted-40 그리고 Dried-40이 약 6 cm를 나타내었고, Dried-20이 약 4 cm 정도로 가장 낮았다. 전반적으로 볼 때 침하량은 주로 고화오니, 퇴비오니, 건조오니 순으로 높게 나타났다.

6) 종합적으로 판단할 때 고화오니를 생활폐기물과 혼합할 경우 빠른 분해로 매립가스가 가장 많이 발생되고 침하량도 가장 컸으며, 악취 및 침출수 농도도 가장 낮게 나타나 유기성오니 고화처리 후 매립쪽으로 유도되는 것이 가장 바람직하였다. 최근 CDM 사업을 수행하는 매립장에 대해서는 직매립을 허용하고 있으므로 유기성오니 매립시에는 반드시 생활폐기물과 혼합하는 것이 필요하며, 메탄가스를 보다 많이 생산하기 위해서는 고화오니를 혼합매립하는 것이 가장 유용할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 김영구, 배재근, 류돈식, “유기성오니 처리체계 법적·제도적 검토를 통한 개선방안 연구,” 한국폐기물학회 춘계학술연구발표논문집, pp. 512~519(2006).
2. 신총식, “유기성오니 처리 종합대책(안),” 한국폐기물학회 춘계학술연구발표논문집, pp. 1~17(2006).
3. 배재근, “유기성오니의 효율적 관리 및 처리를 위한 시스템 구축방안,” 한국폐기물학회 춘계학술연구발표논문집, pp. 79~99(2006).
4. 환경부, 폐기물관리법(2007).

5. Ingelmo, F., Canet, R., Ibañez, M. A., Pomares, F., García, J., “Use of MSW compost, dried sewage sludge and other wastes as partial substitutes for peat and soil,” *Bioresour. Technol.*, **63**, 123~129(1998).
6. 지민구, 김규하, 이수구, 김세범, 김승호, “하수슬러지 탈효/고화에 의한 매립장 복토재의 Lysimeter 평가,” 한국폐기물학회 춘계학술연구발표논문집, pp. 68~71(2005).
7. 김민길, 이증명, 박성훈, 현재혁, 김지훈, 정병두, “하수슬러지 고화물의 매립지 일일복토재로 활용 방안,” 환경공동학술대회 초록집, p. 152(2007).
8. 송상훈, 정새름, 박진규, 김해진, 이남훈, “고화 하수슬러지 복토재가 매립폐기물의 분해에 미치는 영향,” 환경공동학술대회 초록집, pp. 406~407(2007).
9. 고재영, 배재근, 박준석, “유기성오니 직매립금지에 대한 수분함량의 영향 검토,” 한국환경보건학회지, **33**(5), 470~477(2007a).
10. 고재영, 배재근, 박준석, “유기성오니 전처리 방법이 매립지 환경에 미치는 영향,” 한국폐기물학회지, **24**(6), 553~561(2007b).
11. 범봉수, 배재호, 조광명, “혐기성 및 준호기성 모의매립조의 운전특성 비교,” 대한환경공학회지, **23**(11), 1899~1907(2001).
12. 환경부, 폐기물공정시험법(2004).
13. APHA-AWWA-WPCF, Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater(2002).
14. 파이낸셜 뉴스, 쓰레기 에너지도 자원, 매립가스 발전소 준공(2006).
15. 환경부, 악취방지법(2007).
15. 고재영, 배재근, 박준석, “음식물류폐기물 직매립금지가 매립지가스 및 침출수 특성에 미치는 영향,” *공업화학*, **18**(6), 612~617(2007c).
16. Massacci, G., “Physico-chemical characteristics and toxicology of landfill gas components,” *Landfilling of Waste: Biogas*, Christensen, T. H., Cossu R., Stegmann R.(eds.), E&FN SPON, London, 73~84(1996).
17. 한정훈, 권정안, 이경대, 김용진, 신총식, 천승규, 송수성, 유돈식, 이경호, 이동훈, “대형모형매립조를 이용한 유기성폐기물 매립 비율에 따른 도시고형폐기물의 침하특성 비교 실험,” 한국폐기물학회 춘계학술연구발표논문집, pp. 474~477(2006).
18. 장성호, 조한진, 박진식, “전처리방법에 따른 음식폐기물의 유기산 발생 특성,” 한국폐기물학회 춘계학술연구발표논문집, pp. 259~262(2006).