

## 사용종료 매립지 선별토양의 메탄 발생 분석 및 토양경작기술 적용 효과 연구

김 경<sup>1\*</sup> · 양재규<sup>2</sup> · 장윤영<sup>1</sup>

<sup>1</sup>광운대학교 환경공학과, <sup>2</sup>광운대학교 교양학부

## Analysis of Methane from Screened Soil of Closed Landfill and Application of Landfarming for the Reduction of the Methane

Kyung Kim<sup>1\*</sup> · Jae-Kyu Yang<sup>2</sup> · Yoon-Young Chang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Environmental Engineering, Kwangwoon University,

<sup>2</sup>Division of General Education, Kwangwoon University

### ABSTRACT

In this study, methane production by reuse of screened soil of landfill was estimated and the effect of application of landfarming for the reduction of methane was investigated. The study soil sampled from S closed landfill contains VS 9.8~12.8% and its BOD/COD is 0.31~0.33 which is more than three times over 0.1, the BOD/COD stabilization criteria of Ministry of Environment. The effective remediation technology for the reduction of organics of soil, landfarming was applied to the screened soil for 60 days. VS and TPH removal showed 5.2~8.3% and 67~74% respectively, and the reduction of VS until 30 day charged 70% of the total reduction. BMP test showed 27.77~30.46 mL CH<sub>4</sub>/g VS and total methane production from total screened soil for remediation is expected about 260.4 CH<sub>4</sub> ton. Expected amount of methane production of the screened soil by landfarming application is 12.9 CH<sub>4</sub> ton, which shows 95% gas reduction effect and landfarming is effective for the reduction of methane production from screened soil of landfill.

**Key words :** Greenhouse gas, Landfarming, Landfill, Screened soil, Methane

### 1. 서 론

폐기물 매립지내에서(혐기성조건)에서 발생하는 메탄(CH<sub>4</sub>)은 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 함께 지구의 온실효과를 발생시키는 주요한 기체이다. 이에 세계적으로 매립지에서 배출되는 온실가스를 감소하기 위해 다양한 폐기물관리계획, 정책 및 법령을 적용하고 있다(Scharff and Jacobs, 2006). 이러한 메탄은 폐기물 매립지로부터 발생하는 온실가스 배출량의 약60%가 배출되는 것으로 알려져 있다(정진도 등, 2007).

2008년 현재, 전국의 사용종료 매립지는 1,278개소이며, 사용 중인 매립지는 220개소에 이르고 있다. 이중 상당부분이 환경부에서 추진하고 있는 '순환형매립지 조성사업'

또는 '비위생매립지 정비사업' 대상으로 지속적인 사용종료 매립지에 대한 정비사업이 예상된다(안영미 등, 2009).

전체 매립쓰레기중 토양이 차지하는 비율은 50%~93%를 차지하고 있으며, 100만용량의 사용종료매립지 정비시 약 85만ton의 선별토양이 발생하게 된다. 일반적으로 사용종료매립지에서 선별한 토양은 중금속함량이 높지 않으나, 매립지 내에서 장기간 생분해가 이루어지면서 침출수 등에 의해 유기오염물질들을 흡착하게 된다(농어촌진흥공사, 1997).

그러나, 현재 선별토양은 '폐기물 관리법'상의 건설폐토석으로 분류하여(환경부, 2008) '건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률'에 근거하여 '순환골재의 용도별 품질기준(건설교통부공고 제2005-266호)에 맞게 사용하도록 되어 있

\*Corresponding author : kkyung@honsol.com

원고접수일 : 2010. 9. 13 심사일 : 2010. 9. 27 게재승인일 : 2010. 10. 7  
질의 및 토의 : 2010. 12. 31 까지

다(건설교통부, 2005). 하지만 '순환골재의 용도별 품질기준' 및 '토양환경보전법'상의 오염토양기준에는 폐기물매립지에서 검출되는 다양한 유기물을 검사할 항목이 없어 사실상 오염을 방치하고 있는 것이 현실이다. 또한, 과거 15년간 비위생매립장 정비사업에서 발생한 오염된 선별토양도 대부분 별다른 처리없이 복토재나 성토재로 재이용되었다. 이런 경우 우수 및 지하수에 노출되어 선별토양에 흡착되어 있던 다량의 유기물이 주변 토양과 지하수에 누출이 되는 2차 환경오염으로 연결된다. 또한 혐기성 조건에서 메탄 및 악취가 발생되어 대기로 방출되며, 일반적으로 선별토양의 재이용(복토제, 성토제등) 범위가 넓어 발생하는 메탄을 포집 처리하는 것은 거의 불가능하게 된다.

재이용된 선별토양에서 발생하는 메탄은 온난화 초래 및 인간에게 유해한 영향을 끼치게 되며, 선별토양은 점차 시간이 지남에 따라 주변 토양오염, 지반악화 등 물리·화학적 변화에 따라 또 다른 문제를 야기 시킬 수 있다.

이에, 본 연구에서는 선별토양 내 존재하는 각종 유기물에 의한 메탄발생량 추정 및 생물학적 정화를 통한 메탄 저감효과에 관한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 대상 선별토양 및 분석방법

### 2.1. 조사대상 매립지 개요

본 연구대상으로 선정된 S사용종료매립지(비위생매립지)는 하천에 근접하여 있고, 과거 5년동안 238,860 m<sup>2</sup> 면적에 폐기물(생활폐기물 + 사업장폐기물)이 혼재되어 있다. 전체 매립물량 783,773 m<sup>3</sup> 중 선별토양은 중량기준 약 83%에 해당되는 574,068 m<sup>3</sup>으로 이중 TPH(Total Petroleum Hydrocarbon)가 토양오염우려기준(3지역 기준 2,000 mg/kg) 이상인 64,942 m<sup>3</sup>을 대상으로 온실가스, 악취저감 및 침출수에 의한 인근 하천오염을 저감시키기 위한 정화설계를 위하여 기초 연구를 하였다.

대상지역은 S매립지 2개 지점(JS-1, JS-2)에서 굴삭기를 이용하여 3~5 m 깊이의 선별토양을 채취하였으며, 이물질을 제거하기 위하여 25 mm체로 선별을 실시한 후에 밀봉하여 실험실로 옮겨 실험을 실시하였다.

### 2.2. 토양경작(Landfarming) 실험 방법

다량의 유기물로 오염된 선별토양의 정화를 위한 토양경작(landfarming) 실험은 실제 현장에서 사용되는 높이의 약 30%에 해당되는 30 cm로 적용하여 산소공급이 원활하도록 하였으며, 가로, 세로 각각 40 cm, 30 cm 사각형태의 반응조로서 수분은 포장용수량(field capacity) 30~

40%를 유지하도록 하였다. 공기공급을 위하여 현장과 유사한 방식으로 하루 2~4회 경작(tilling)을 통하여 산소공급을 하도록 하였다.

미생물은 유류오염토양에서 활성화된 미생물을 배양·농축하여 사용하였으며, 영양제의 경우 C : N : P = 100 : 10 : 1의 비율로 N과 P는 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, (NH<sub>4</sub>)H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 형태로 공급하였다. Blank의 경우 미생물과 영양제의 공급없이 경작만을 수행하여 유기물의 분해정도를 비교 실험하였다.

토양경작(landfarming) 실험의 효율을 평가하기 위하여 휘발성고형물(VS;volatile solids)와 TPH 변화를 측정하였다. 휘발성고형물(VS)은 폐기물공정시험기준으로 실험을 실시하였으며, TPH 분석은 토양공정시험기준에 따라 다음과 같이 진행하였다. 선별토양시료 10 g을 비커에 넣고 무수황산나트륨을 적당량과 디클로로메탄 100 mL를 넣는다. 초음파추출기의 원추형 팁이 토양층에 닿지 않도록 주의하면서 초음파로 추출한다. 진공여과 시킨 추출액과 세척여액을 합하여 무수황산나트륨 10 g을 충전시킨 분리관을 통과시켜 탈수시킨 후 회전증발농축기로 농축시키고, 농축된 추출액에 실리카겔 0.3 g을 넣고, 약 5분간 진탕하고 정치시킨 후 상층액 2 mL를 바이알에 옮겨 시료용액으로 사용한다. 시료용액은 GC-FID(Flame Ionization Detector)를 사용하여 TPH를 분석하였다.

### 2.3. 온실가스 저감효과 분석

잠재메탄발생량실험(BMP;Biochemical methane potential)은 일반적으로 serum bottle를 이용하여 bottle 내부에 분해과정에 필요한 혐기성 미생물 및 영양물질을 주입하고, 온도, pH 등 최적의 조건을 유지해 주면서 가스 발생량과 조성을 파악하는 실험이다.

본 연구에서 사용한 영양배지는 <표 2-1>의 조성으로 제조하였다(Shelton and Tiedje, 1984). 이때 인산염 완충용액 및 무기영양물질은 10배 농축하고, 미량원소는 1000배 농축하여 만들었으며 농축된 용액을 각각 100 mL와 1 mL를 넣어 1000 mL로 영양배지를 제조하였다. 제조한 영양배지 140 mL를 serum bottle에 넣어 감압멸균기를 이용하여 10분 멸균하여 배지에 녹아있는 산소를 배출시키고, 상온으로 냉각시킨 후 A하수처리장에서 채취하여 200번(0.075 mm) 체로 걸러낸 식중슬러지를 영양배지 부피의 10%인 14 mL를 주입하였다.

시료는 2 g VS(가연성)/L를 기준으로 하여 각 시료를 집어넣고, 혐기성 미생물의 최적 pH인 7.0으로 맞추기 위해 0.1N NaOH와 0.1N HCl을 넣어 조절하였다. 미생물

**Table 1.** Composition of anaerobic media for BMP

	Compound	Concentration(g/L)
Phosphate buffer	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.27
	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.35
Mineral salts	NH <sub>4</sub> Cl	0.53
	CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.075
	MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.1
	FeCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0.02
Trace metals	MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0.0005
	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.00005
	ZnCl <sub>2</sub>	0.00005
	CuCl <sub>2</sub>	0.00003
	NaMoO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.00001
	CoCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.0005
	NiCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.00005
	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	0.00005

반응에 의한 급격한 산형성에 따른 pH 저하를 억제하기 위해 알칼리 물질인 중탄산염(NaHCO<sub>3</sub>)을 넣어준 후 질소가스로 충분히 퍼징하여 혐기성 상태가 되도록 만들어 밀봉하였으며, 마개는 실리콘 재질을 사용하였다. 완전히 밀봉한 serum bottle은 혐기성 미생물이 살기에 최적의 온도인 35°C(중온)를 유지하는 BOD Incubator에서 시료의 혐기성분해를 일으키도록 하였다.

serum bottle 내부 온도가 35°C가 되는 시간을 측정하여 그 시간 이후를 실험개시 시간으로 하였고, 그 이전에 발생된 가스는 주사기를 이용하여 배출시켰다. 또한 식중 슬러지 자체가 분해 될 때 발생하는 메탄량을 보정하기 위하여 식중 슬러지와 영양배지만을 넣어준 공시체를 시료를 넣어준 것과 동일한 조건에서 배양하였다.

메탄가스 발생량은 각 단계별로 배출된 가스의 양과 bottle 상부 공간(head space)에 남아있는 소화가스의 메탄농도 변화를 모두 고려하여 식 (1)에서와 같은 물질수지식으로 bottle 상단부에 존재하는 메탄의 양을 보정하였다.

$$V_{CH_4}(35^\circ C) = M_1(V_1 + V_0) - M_0V_0 \quad (1)$$

여기서,

$V_{CH_4}$ : 메탄가스 발생량(mL)

$M_1$ : 시료채취 시점의 메탄가스 농도(%)

$M_0$ : 시료채취 이전의 메탄가스 농도(%)

$V_1$ : 주사기로 측정한 총가스 부피(mL)

$V_0$ : serum bottle의 headspace 부피(mL)

식 (1)에 의해서 계산된 메탄발생량은 STP(0°C, 1 atm)상태로 전환시켜야 하며, 건조 상태의 가스발생량을 구하였다.

**Table 2.** Physico-chemical properties of screened soil from S landfill

Item	JS-1	JS-2	
PH	6.7	7.1	
Moisture (%)	32.2	35.4	
VS (%)	12.8	9.8	
Density (t/m <sup>3</sup> )	1.7	1.7	
COD (mg/l)	13,085	11,476	
BOD (mg/l)	4,275	3,514	
BOD/COD	0.33	0.31	
TPH (mg/kg)	2,715	2,381	
Microbial counts (CFU/g)	$5.8 \times 10^5$	$6.4 \times 10^5$	
Nutrients	N (mg/kg)	76.8	53.4
	P (mg/kg)	20	24

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 선별토양의 성상분석 결과

본 연구에 사용된 선별토양의 성분에 대하여 다음의 Table 2에 나타내었다. pH는 6.7~7.1로 중성영역으로 생물학적 정화 시 pH조절을 위한 약품 투입을 필요 없을 것으로 판단되며, 유기물함량은 9.8~12.8%으로 일반 사질토의 유기물함량인 약 3%의 최소 3배 이상 많은 양으로 성토제로 재이용 시 생물학적 분해가 일어나는 경우 지반 침하와 우수 등에 의한 용출 가능성이 있다(한선기 등, 2002). 또한 '사용종료매립지 정비지침'(2001년,환경부)의 안정화 기준인 매립폐기물 토사성분중의 가연물함량이 5% 미만에 약 2배 이상 높은 것으로 나타났다.

선별토양의 BOD와 COD는 각각 11,476~13,085 mg/l, 3,514~4,275 mg/L의 값을 나타내고 있으며 BOD/COD의 값은 0.31~0.33으로 '사용종료매립지 정비지침'(2001년, 환경부)의 침출수 BOD/COD의 안정화 수치인 0.1을 3배 이상 초과한 것이다.

선별토양 내에 다량의 유기물과 유기물 중 생물학적 분해가 용이한 성분들(Non humic substance 등)이 많다는 것은 이들 오염물이 우수 등에 의해 용출이 되는 경우 지하수 및 인근 수계를 오염시킬 가능성이 있으며 또한 메탄 발생의 원인이 된다는 것을 의미한다.

선별토양 내 미생물의 개체수를 측정한 결과  $5.8 \times 10^5 \sim 6.4 \times 10^5$  CFU/g으로 나타났다. 본 연구에서는 보다 신속한 온실가스 발생 저감을 위하여 미생물제제를 투입하여  $1.0 \times 10^6$  CFU/g 이상으로 미생물개체수를 유지하도록 하였다.

'토양환경보전법'상의 TPH항목의 값은 2,381~2,715 mg/

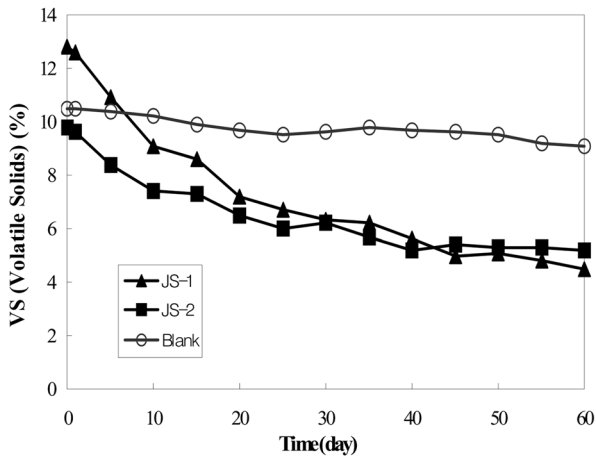


Fig. 1. Reduction of volatile solids of screened soil by landfarming.

kg으로 토양오염우려기준 중 3지역의 기준을 초과하고 있는 것으로 조사되었다. 또한 TPH(Total Petroleum Hydrocarbon, 석유계 총 탄화수소)의 경우는 토양오염의 원인으로 뿐만 아니라 혐기성 조건에서 다른 유기물성분과 마찬가지로 메탄발생의 주요원인이 될 수 있다.

### 3.2. 토양경작(Landfarming) 실험결과

#### 3.2.1. 휘발성고형물(VS) 변화

본 실내실험은 현장에서 토양경작(landfarming)시 30~60일간의 체류시간(1 batch간격)을 갖는 것을 반영하여 총 60일간 실험을 하였다. 현장에서의 체류시간은 오염물질의 종류와 오염농도 그리고 계절(온도)을 고려하여 결정하게 된다.

Fig. 1은 선별토양 JS-1, JS-2 그리고 Blank Test의 휘발성고형물(VS)실험결과를 보여주고 있다. 선별토양 JS-1은 초기 휘발성고형물(VS) 12.8%에서 30일 동안 6.3%까지 급격한 감소율을 보였으며, 이후 완만한 감소율을 보이면서 60일까지 휘발성고형물이 총 8.3% 감소되었다. JS-2의 경우 초기 휘발성고형물(VS) 9.8%에서 60일 후 5.2%까지 감소되었으며, 30일까지 감소된 휘발성고형물의량은 전체감소량의 70%를 차지하였다. Blank의 경우 초기 휘발성고형물(VS) 10.5%에서 60일까지 총 1.4%의 감소량을 보여주었으며, 휘발성고형물감소량은 Blank에 비하여 생물학적정화를 한경우가 약 3~6배 가량 많았다.

#### 3.2.2. TPH변화

Fig. 2는 선별토양의 TPH변화를 나타내고 있다. Blank의 경우 60일간의 감소된 TPH량이 약 306 mg/kg으로

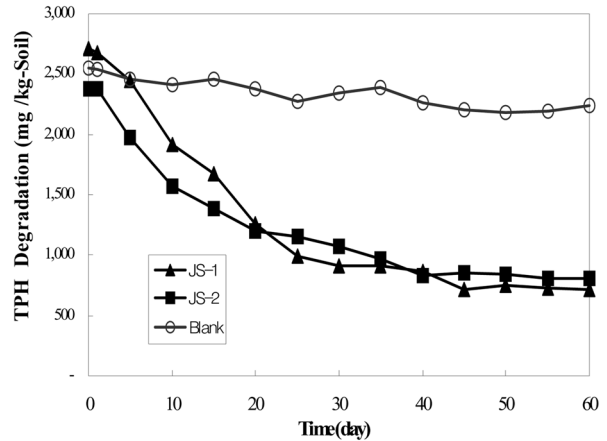


Fig. 2. Reduction of TPH of screened soil by landfarming.

초기 TPH 2,546 mg/kg의 12% 정도 감소하였다. 선별토양 JS-1은 초기농도 2,715 mg/kg에서 60일후 713 mg/kg으로 전체 오염량의 74% 정도가 감소되었으며, JS-2의 경우 2,381 mg/kg에서 60일후 808 mg/kg으로 전체 오염량의 67% 정도가 감소되었다. 생물학적 정화기간을 30일 기준으로 할 때 선별토양 JS-1의 경우 전체 제거 TPH량의 89%, JS-2의 경우 83%가 감소되어 초기 30일간의 오염물질 제거량이 전체 제거량의 80~90%에 해당하는 것으로 나타났다.

이러한 분석결과로서 생물학적 정화의 경우 충분한 미생물량과 영양분을 적정하게 공급하고, 초기 약 30일간 공정운영에 매우 주의를 기울여야 한다고 판단된다.

선별토양 JS-1과 JS-2의 60일 후 TPH분석값은 토양우려기준 2지역 기준을 거의 만족하는 수치이다. 따라서 현행법상 본 실험에 사용된 선별토양의 경우 생물학적 복원 후 창고용지나, 체육용지, 유원지등의 성토제로서 사용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 3.2.3. 온실가스 발생량 저감효과

선별토사에서 발생하는 온실가스 발생량과 생물학적 정화를 실시하였을 때 저감되는 메탄발생량을 알아보기 위하여 잠재메탄발생량실험(BMP test)을 실시하였다. Fig. 3과 Table 3은 생물학적 정화 실시 전과 실시 후의 누적메탄발생량을 나타낸 것이다. 선별토사 누적메탄발생량을 살펴보면 정화를 시작하기 전에는 JS-1과 JS-2지점에서 각각 27.77 mL CH<sub>4</sub>/g VS, 30.46 mL CH<sub>4</sub>/g VS를 나타내었다. 생물학적 정화 후의 누적메탄발생량은 JS-1이 3.09 mL CH<sub>4</sub>/g VS, JS-2는 3.06 mL CH<sub>4</sub>/g VS로 나타났다.

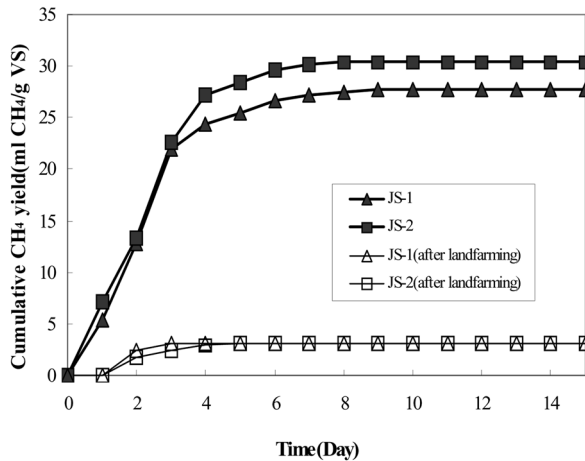


Fig. 3. Cumulative CH<sub>4</sub> production from screened soil.

Table 3. Comparison of cumulative CH<sub>4</sub> production from screened soil before and after application of landfarming

Item		Cumulative CH <sub>4</sub> production (mL CH <sub>4</sub> /g VS)
Before landfarming	JS-1	27.77
	JS-2	30.46
After landfarming	JS-1	3.09
	JS-2	3.06

김혜진 외(2009)는 매립연령이 8년 정도인 선별토사를 대상으로 메탄발생량을 실험한 결과 6.7 mL CH<sub>4</sub>/g VS로 나타내었다. 정준교(2006)는 선별토사를 대상으로 세척을 실시하였을 때 저감되는 메탄발생량을 실험한 결과 세척 전 선별토사의 메탄발생량은 17.4 mL CH<sub>4</sub>/g VS, 세척 후 선별토사의 메탄발생량은 1.26 mL CH<sub>4</sub>/g VS로 보고하였다. 본 연구에서는 기존문헌의 메탄발생량보다 높은 메탄발생량을 나타내고 있으며, 이는 선별토사의 휘발성고형물(VS) 함량이 많기 때문인 것으로 판단된다.

생물학적 정화에 따른 메탄발생량 저감효과를 파악하기 위하여 JS-1지점의 잠재메탄발생량실험(BMP test) 결과를 기초로 574,068 m<sup>3</sup>의 선별토사를 생물학적 정화를 실시하였을 때의 메탄발생량 저감효과를 Table 4에 나타내었다. 메탄발생량을 살펴보면 생물학적 정화 전에는 260.4 CH<sub>4</sub>ton로 산정되었으나, 생물학적 정화 후에는 12.9 CH<sub>4</sub>ton로 나타나 생물학적 정화에 따른 메탄발생 저감량은 247.5 CH<sub>4</sub>ton로 나타났다. 저감된 메탄발생량을 환경적 효과로 환산하기 위해 메탄발생 저감량을 온실가스(CO<sub>2</sub>로 환산 후) 흡수에 필요한 나무 그루수로 환산하였다. 이 때, 20년산 잣나무를 기준으로 하였으며, 1 ha

Table 4. CH<sub>4</sub> reduction by landfarming

CH <sub>4</sub> emission before landfarming (CH <sub>4</sub> ton)	260.4
CH <sub>4</sub> emission after landfarming (CH <sub>4</sub> ton)	12.9
CH <sub>4</sub> reduction (CH <sub>4</sub> ton)	247.5
Number of trees for CO <sub>2</sub> uptake (tree/yr)	1,147,091

당 CO<sub>2</sub> 흡수량은 6.17 ton/ha, 1 ha에 심을 수 있는 잣나무 그루수는 1,362그루라고 가정하였다. 온실가스 저감에 필요한 나무 그루수는 1,147,091그루, 필요면적은 약 842 ha(8,420,000m<sup>2</sup>)로 2009년 현재 여의도 면적 848 ha(8,480,000m<sup>2</sup>)의 약 99%에 해당하는 면적이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 선별토양 내 존재하는 각종 유기물에 의한 온실가스 발생량 추정 및 생물학적 정화에 의한 온실가스 저감효과에 관한 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 선별토양의 성상은 휘발성고형물(VS) 9.8~12.8%의 다량의 유기물을 함유하고 있으며, BOD/COD의 값은 0.31~0.33으로 '사용종료매립지 정비방침'(2001년, 환경부)의 침출수 BOD/COD의 안정화 수치인 0.1을 3배 이상 초과하였다. 선별토양의 토양영양(landfarming) 적용은 용해성 유기물의 경제적인 정화방법으로 60일간의 실내실험을 수행한 결과 휘발성고형물은 JS-1의 경우 초기 휘발성고형물 12.8%에서 4.5%로 총 8.3% 감소, JS-2의 경우 초기 휘발성고형물 9.8%에서 60일 후 5.2%까지 감소되었으며, 30일까지 감소된 휘발성고형물은 전체감소량의 70%를 차지하였다. TPH의 경우 JS-1은 초기농도 2,715 mg/kg에서 60일후 713 mg/kg으로 전체 오염량의 74% 정도가 감소되었으며, JS-2의 경우 2,381에서 60일후 808 mg/kg으로 전체 오염량의 67% 정도가 감소되었다. TPH 분석값은 토양오염기준 2지역 기준을 거의 만족하는 수치이다. 따라서 현행법상 본 실험에 사용된 선별토양의 경우 생물학적 복원 후 창고용지나, 체육용지, 유원지등의 성토제로서 사용이 가능할 것으로 판단된다. 잠재메탄발생량실험(BMP test) 결과 메탄발생량은 JS-1과 JS-2지점 각각 27.77 mL CH<sub>4</sub>/g VS, 30.46 mL CH<sub>4</sub>/g VS로 JS-1 지점의 메탄발생량을 기초로 전체 정화대상 선별토양에서 발생하는 메탄발생량은 260.4 CH<sub>4</sub> ton으로 예상된다.

Landfarming 후 메탄발생량은 12.9 CH<sub>4</sub> ton으로 전체 발생량 대비 95%가 감소되어 메탄발생 저감효과가 높은 것으로 나타났다.

**감사의 글**

본 연구는 환경부의 “토양지하수복원관리환경기술교육 혁신지원사업”의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

**참 고 문 헌**

건설교통부, 2005, 순환골재품질기준, p. 73-74.  
 김혜진, 정새롬, 박진규, 이남훈, 2009, 혐기성 및 호기성 방법에 의한 폐기물의 생분해성유기물 측정방법의 재현성과 상관관계에 관한 연구, 한국폐기물학회지, **26**(2), 119-127.  
 농어촌진흥공사, 1997, 농어촌지역 자원재활용 쓰레기 매립기술 개발.  
 농어촌진흥공사, 1997, 농어촌지역 자원재활용 쓰레기 매립기술 개발.  
 안영미, 지은정, 민지홍, 박석현, 정새롬, 박진규, 이남훈, 2009,

국내 폐기물매립지의 순환형 매립지 조성 가능성 및 잠재용량 분석에 관한 연구, 2009년 한국폐기물학회 추계학술발표회, 서울 산업대학교, p. 16-19.

정준교, 2006, 매립지 선별토양 및 소각재의 재활용을 위한 세척 공정 성능향상에 대한 연구, 건국대학교 대학원 환경공학과 박사 학위논문.

정진도, 김장우, 김정태, 한종민, 2007, 중소형 매립장 발생 온실 가스 측정 및 예측에 관한 연구, 한국폐기물학회지, **24**(6), 569-579.

한선기, 신항식, 김상현, 김현우, 박주양, 2002, 완료매립지의 재이용에 관한 환경성 평가, 대한환경공학회, **24**(11), 1881-1890.

환경부, 2001, 사용종료매립지 정비지침.

환경부, 2008, 사업장폐기물 질의회신사례집, p. 83-84.

Scharff, H. and Jacobs, J., 2006, Applying guidance for methane emission estimation for landfills, *Waste Management*, **26**, 417-429.

Shelton, D.R., Tiedje, J.M., 1984, General method for determining anaerobic biodegradation potential, *Appl. Environ. Microbid.*, **47**(4), 850-857.