한국환경분석학회지 제14권 (제2호) 76~82, 2011
J. of the Korean Society for Environmental Analysis

매립된 폐목재의 셀룰로오스/리그닌 비에 의한 분해도 평가

김낙주†
서울과학기술대학교 정밀화학과

Assessment on the Degradability of Landfilled Waste Wood by Cellulose/Lignin Ratio

Nack-joo Kim†
Department of Fine Chemistry, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

Received June 1, 2011/Accepted June 22, 2011

Degradability of landfilled wood waste is an important factor for biomethane production from solid waste landfill site. The degradability is controlled by cellulose/lignin (C/L) ratio. Test results show that the average content of cellulose in non decomposed waste wood was 40% or above and that of decomposed wood was 25% or below. Average values of cellulose/lignin ratio were measured 2.3 and 1.2 for non-decomposed and decomposed waste wood, respectively. The cellulose/lignin ratio was decreasing with the decay of landfilled wood waste.

Key words: Ligno-cellulose, C/L ratio, Degradability, Landfill, Waste wood

1. 서 론

국내에서 발생되는 폐기물 처리를 위한 매립장은 2008년 기준 220개소 운영 중에 있으며 이 중 매립가스 자원 및 발전, 소각을 위해 운영 중인 매립장은 14%이며 단순 매립중인 매립장은 86%로[1] 국내의 경우 대부분의 폐기물은 최종처분 방안으로 매립에 의존된 형태로 처리되고 있다.

이중 2019년까지 매립이 완료되는 매립지는 113개소로 전체 매립지의 51%를 차지하고 있어 기존 매립지 사용 한계에 따른 신규 매립부지 확보 및 설치가 절실히 요구되고 있다. 그러나 님비(NIMBY)현상, 토지와 산림 훼손 및 사후관리에 대한 막대한 비용으로 인해 신규 매립지 확보 및 설치가 어려운 실정이다. 따라서 환경부는 저탄소 녹색성장과 자원 순환형 사회를 구축하기 위한 방안으로 기존 매립지에 "순환형 매립지" 조성을 추진하고 있다.

"순환형 매립지(Sustainable landfill)"는 매립된 폐기물 중 유기성 폐기물을 조기 안정화 후 굴착선별 작업을 통해 유기물을 회수하여 에너지화하며 이를 통해 기매립 공간을 추가 매립 공간으로 확보할 수 있는 매립지를 말한다.

순환형 매립지 적용을 위해서는 기존 매립지에 매립된 폐기물의 성상조사를 통한 매립지 안정화도 판단을 통하여 잘못된 굴착시기 선정으로 인한 CH_4, CO_2 등의 온실가스 및 악취에 의한 환경적 문제를 조기 방지와 함께 매립 공간 확보가 절실하다. 따라서 폐기물 매립지 순환이용을 위한 매립폐기물의 굴착시기의 결정은 매립지 안정화 정도를 판단하여 반드시 적절한 시기에 이루어져야 한다.

매립지 안정화 정도를 판단하는 지표는 매립폐기물의 생분해정도로 평가되며 평가인자로는 C/L ratio, DOC, TOC, BMP, VS 등이 대표적이다.[2] 생분해성 물질로 알려진 매립 폐기물 성상으로는 종이류, 목재류,

†To whom correspondence should be addressed.
Tel: 82-2-970-6669, E-mail: nackjoo@seoultech.ac.kr

섬유류 등이 있으며 구성체는 lignocellulose, lipids, proteins, polysaccharides 등 다당류 형태로 구성되어 있어 매립 초기에는 미생물에 의한 분해가 쉽게 진행되지 않는다.

반감기가 14-23년[3]으로 알려진 종이류 및 섬유류는 주로 cellulose 집합체로 구성되어 있어 미생물 분해에 대한 저항성이 낮아 분해가 빠르게 진행되어 완전한 분해가 조기에 이루어져 잔존여부 확인이 어려움과 동시에 생분해정도를 판단하기 어렵다.

반면 반감기가 23-67년[4,5]으로 알려진 목재류는 lignocellulose(cellulose · hemicellulose · lignin)로 구성되어 있으며 이 중 난분해성으로 알려진 lignin은 수분 및 미생물 분해에 대한 저항성이 상당히 높아 완전한 분해가 진행되지 않으므로 분해기간에 따른 잔존여부를 확인 가능하며 이로 인해 생분해정도 판단이 가능하다. 유기성 폐기물 구성체인 다당류 중 lignocellulose (cellulose 40-50%, hemicellulose 12%, lignin 10-15%)는 건조무게 기준 60% 이상으로[6] 유기성 폐기물 중 가장 많은 비중을 차지하고 있으며 또한 폐목재는 97-99%의 lignocellulose로 구성되어 있어[7,8] 매립기간에 따라 분해가 진행될수록 C/L ratio 값이 감소하는 경향을 나타내어 분해도를 확인할 수 있으며, C/L ratio 값이 일정하게 될 경우 매립지가 안정화 되었다고 판단할 수 있다. 따라서 생분해성 폐기물 중 목재류는 매립된 기간에 따른 cellulose, hemicellulose, lignin의 함량 감소여부에 의해 분해도를 평가할 수 있는 물질로 적합하다. 또한 음식물 직매립이 금지된 현재, 분석을 위해 굴착된 유기성 폐기물중 목재류는 가장 높은 비율을 차지하고 있기에 매립지 안정화도 판단을 위한 대표성을 갖는 폐기물 시료로서 적당하다 판단된다.

폐기물의 분해도 평가지수인 C/L ratio는 분해되지 않은 경우 4.04, 분해 기간이 23, 26, 32년인 폐기물은 각각 0.24, 0.16, 0.21을 나타내어 C/L ratio가 약 0.2의 값을 나타낼 시 매립지가 안정화[9]되었다 판단한다. 이와 같이 C/L ratio는 화학적으로 유기성 폐기물의 분해도를 나타내는 매우 뚜렷한 평가인자[9,10]로 보고되어 있으나 매립지는 국가별 · 지역별 폐기물 성상이 다양하고 폐기물 성상 비율에 따라 적합한 평가인자가 상이하게 나타날 수 있다.

따라서 본 연구는 국내 매립지 실정에 맞는 분해도 평가 최적인자 도출에 목적을 두고 연구를 수행하였다. 분해되지 않은 폐목재, 매립 후 10년이 지난 매립 폐목재 및 동일 구역의 11년 경과된 매립 폐목재를 이용하여 분해도 평가 인자로 알려져 있는 C/L ratio, 수분, VS, FS, C/N ratio 및 TOC를 분석 후, 신뢰도 및 분해 경향성을 나타내어 국내 순환형 매립지 굴착 시기 결정을 위한 최적 안정화 판단지수를 도출하고자 한다.

2. 실험방법

2.1. 시료의 준비

분해되지 않은 폐목재인 의자, 판자, 각목, 합판, 통나무 5종류와 A 매립지의 2공구에서 매립지 내 매립연혁을 고려하여 구역별 대표성을 나타내는 각 지점을 선정하여 오우거를 이용해 시료 채취를 수행하였다. 또한 기간별 분해도의 변화를 알기 위하여 1년경과 후 동일 구역에서 시료를 채취한 후 기간별 분해도의 변화도 측정하였다. 채취된 폐기물은 매립된 상태의 분해조건을 유지하기 위해 폐기물 수집 팩에 신속히 넣은 후 공기를 제거하여 포장하였으며 또한 빛의 차단을 위해 암소에 위치하였다. 대상 매립지의 조건은 Table 1에 나타내었다.

2.2. 삼성분 분석

수분은 물리적 조성별 분리가 끝난 습시료 20 g을 100±5℃에서 4시간 동안 건조시켜 건조 전 · 후의 무게 차이로부터 구하였다. 무게측정이 끝난 시료는 파쇄기(Hanilelec, HMF-1000A, KOREA)를 이용하여 3 mm 이하의 입경으로 파쇄한 후, 전기로(MAX1200, JISICO, KOREA)를 이용하여 폐기물공정시험법에 따라 25% NH_4NO_3 첨가 후 600±25℃에서 30분간 강열하고 남은 무게를 측정함으로써 가연분과 회분의 함량을 구하였다. 모든 실험은 10회 반복측정 하였다. 삼성분(수분, 가연분, 회분)의 산출방법은 다음과 같다.[11]

Table 1. Landfill site status

Landfill period (year)	Landfill depth (m)	Landfill Size (m^2)	Landfill Capacity (m^3)	Physical Property Conc.(%)	
				Combustibility	non-combustibility
2000.4 - 2006.10	20	68,600	735,000	85.8	14.2

$$수분(W)=\frac{[(M_{before})-(M_{after})]}{(M)_{before}}\times 100 \quad (1)$$

$$가연분(A)=\frac{100-W}{W}\times\frac{[(M_b)_{before}-(M_d)_{before}]}{(M_d)_{before}}\times 100 \quad (2)$$

$$회분(C)=(100-W-A) \quad (3)$$

여기서, $(M)_{before}$, $(M)_{after}$: 건조 전후의 무게(g)
$(M_d)_{before}$, $(M_d)_{after}$: 태우기 전후의 무게(g)

2.3. 원소분석

100±5°C에서 건조 후 수분이 제거된 시료 17±0.4 mg을 원소분석기(Vario MACRO/elementary, Germany)를 이용하여 850~1200°C로 고온 산화 분해하여 C, H, N, S를 구하였다. 각각의 실험은 10회 반복 분석하였다.

2.4. 총 유기탄소(TOC)

건조 및 파쇄가 끝난 시료를 이용하여 총 유기탄소 분석기(Vario TOC cube, DOORITECH, KOREA)를 이용하여 10회 반복 분석하였다.

2.5. C/L ratio

2.5.1. 표준물질

cellulose 및 hemicellulose 함량 분석을 위한 표준물질은 cellulose 단당류인 D(+) glucose(순도 <98%, 50 g)와 hemicellulose 단당류인 D(+) xylose, D(+) mannose, D(+) arabinose, D(+) galactose(순도 <98%, 50 g) 각각을 Sigma Aldrich에서 구입하였다.

2.5.2. 시료의 전처리

폐목재 내 lignocellulose 전처리를 위한 방법은 ASTM Standards E 1758-95[12]로 수행하였다. 건조기에서 수분이 제거된 시료를 분쇄기를 이용하여 2 mm 이하로 파쇄 하였으며 파쇄된 시료 300±10 mg을 시험관에 넣고 72% H_2SO_4 3 mL를 첨가 후 water bath에서 1차 가수분해를 실시하였다. 2차 가수분해는 Distilled water 84 mL를 첨가 후 고압증기멸균기를 이용하였다. 시료를 방냉 후 여과하고 여과지에 남은 잔재물은 리그닌 분석을 위해 수분 제거 후 전기로를 이용해 550±25°C 가열 하여 리그닌 함량을 측정하였고 여과액은 $CaCO_3$를 첨가하여 pH 5-6 범위로 중화한 후 HPLC-RID를 이용하여 분석하였다. Fig. 1은 분석법의 전체 흐름도를 나타내었다.

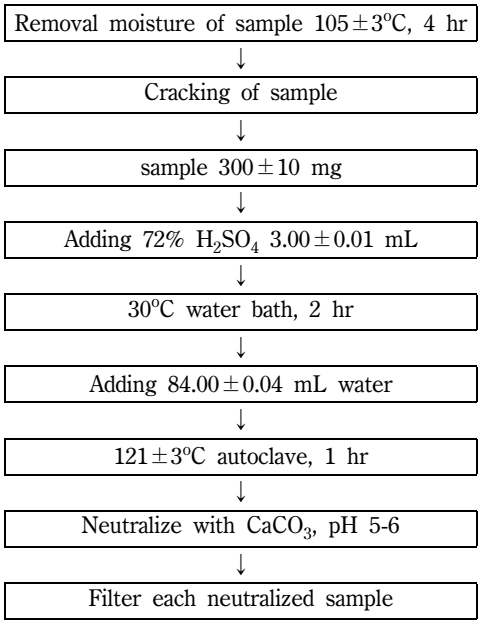

Fig. 1. Experimental procedure for the hydrolysis of carbohydrates.

Table 2. Instrumental conditions of high performance liquid chromatography for the analysis of carbohydrates

Item	Conditions
Column	Aminex HPX-87P column, 300 × 7.8 mm
Column Temperature	85°C
Injection Volume	20 uL
Eluant	H_2O (18 megohm deionized water)
Flow Rate	0.6 mL/min
Detector	Refractive Index
Run Time	20 min

2.5.3. 기기분석조건

시료의 분석은 Agilent사의 고성능액체크로마토그래피(HPLC-RID) series1200을 이용하여 정량분석 하였으며 HPLC Column은 BioRad Aminex, HPX-87P 300×7.8 mm를 이용하였다. 그 외의 설정조건은 Table 2에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 표준물질 검량선

각 표준물질용액 제조는 각 물질을 최초 10 mg/mL

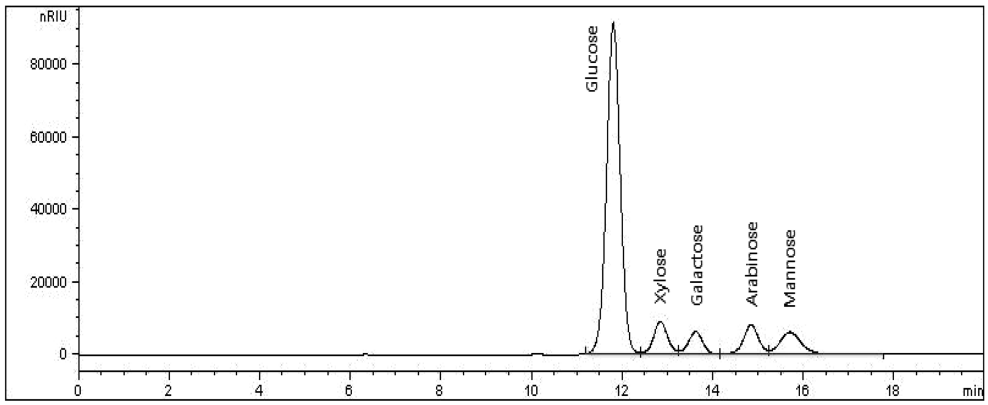

Fig 2. HPLC chromatogram with the segregated standard cellulose and hemicellulose peaks.

Table 3. The standard deviation and relative standard deviation of each standard sugars

Substance	Glucose	Xylose	Galactose	Arabinose	Mannose
S	0.86	0.77	1.00	1.24	2.00
% RSD	1.09	0.98	1.29	1.57	2.45
% R_{srs}	84.5	81.5	87.0	80.2	81.4

농도로 혼합 후 단계적으로 희석하여 검량곡선을 20~80 ug/mL 범위로 제조하였다. cellulose의 단당체인 glucose와 hemicellulose의 단당체인 xylose, mannose, arabinose, galactosed의 표준물질에 대한 상관계수 값은 각각 0.99 이상을 나타내었으며 검량선 역시 양호한 직선성을 나타내었다. HPLC에 의해 분리된 cellulose와 hemicellulose 피크는 Fig. 2에 나타내었다.

3.2. 표준물질 상대표준편차 및 회수율

폐목재 시료의 측정에 앞서 HPLC 기기의 재현성을 검증하기 위한 절차로 각 표준물질에 대한 표준편차 및 상대표준편차 그리고 회수율을 측정하여 Table 3에 나타내었다. 기기의 재현성 검증을 위해 80 μg/mL 혼합 표준액을 10회 반복 주입하여 측정하였으며 각 표준물질에 대한 표준편차 및 상대표준편차는 각각 2.0, 2.5 이하를 나타내어 기기의 재현성이 우수한 조건임을 증명하였다. 또한 표준물질의 회수율은 각각 80% 이상을 나타내었다.

3.3. 분해되지 않은 폐목재의 성상 분석

항목별 분해되지 않은 폐목재를 이용한 성상분석 결과를 Table 4에 나타내었다.

Moisture 6.9%, VS 57.8%, FS 35.4% C/L ratio 2.5, C/N ratio 49.8% 그리고 TOC는 25.8%를 나타내었다. 특히 C/L ratio의 결과는 기존의 선행연구에서 보고된 분해되지 않은 폐목재의 C/L ratio 2.88~2.0[13,14] 와 유사한 값을 나타냄으로서 폐목재의 분해가 진행되지 않았을 경우 본 연구와 유사한 값을 나타냄을 확인하였다.

Table 4. Property of raw waste wood before landfill

No.	Moisture (%)	VS (%)	FS (%)	C/L ratio	C/N ratio	TOC (wt%)
1	3.3	61.7	35.0	2.2	20.5	25.0
2	8.9	43.1	48.0	2.4	49.2	25.3
3	4.8	55.6	39.6	2.6	55.0	25.5
4	8.9	65.9	25.2	2.1	61.9	24.2
5	12.9	67.7	19.4	2.1	68.9	25.9
6	5.9	75.1	19.0	3.0	35.0	25.0
7	2.9	71.4	25.7	2.2	29.1	27.0
8	5.9	45.8	48.3	2.5	59.7	24.2
9	6.1	47.1	46.8	3.0	89.2	27.6
10	9.1	44.3	46.6	2.5	29.9	28.0
Ave.	6.9	57.8	35.4	2.5	49.8	25.8
SD	3.1	12.1	12.1	0.3	21.3	1.3
RSD(%)	44.6	21.0	34.3	**13.5**	42.8	**5.2**

이중 가장 높은 신뢰도를 나타내는 항목은 TOC와 C/L ratio 로서 각각 1.3과 0.3의 표준편차를 나타내었으며 5.23, 13.5%의 상대표준편차를 나타내었다. 하지만 Moisture, FS 및 C/N ratio는 모두 30% 이상의 높은

상대표준편차를 보임으로서 외부환경, 시료선별작업 및 분석인자에서 많은 오차를 발생시키는 것으로 나타나 결과에 대한 신뢰도는 매우 낮은 것으로 판단되었다.

3.4. 매립된 폐목재의 성상분석

2000년 매립이 시작된 A 매립지 2공구 site에서 대표성을 나타내는 각 지점을 선별하여 2009년 8월과 9월 2회에 걸쳐 폐목재 시료를 채취 후 각각 10회씩 측정하였으며 성상별 분석결과는 Table 5에 나타내었다.

Moisture 30.9%, VS 44.4%, FS 24.7%, C/L ratio 1.2, C/N ratio 85.4 그리고 TOC 23.6%의 값을 나타냄으로서 수분과 C/N ratio를 제외한 모든 항목들은 분해되지 않은 폐목재에 비해 모두 낮은 경향을 나타내었다. 각 측정항목들의 신뢰도 비교결과 C/L ratio와 TOC가 상대표준편차 9.3, 11.9%로서 가장 높은 신뢰도를 보임으로서 분해되지 않은 폐목재의 측정결과와 유사한 경향성을 나타내었다.

3.5. 시간 경과에 따른 매립된 폐목재의 성상분석

2009년 8월 초기 매립폐기물 채취 이후 동일한 포집구역에서 2010년 4월부터 10월까지 총 7회에 걸쳐 각 10회씩 실시된 도시고형폐기물의 폐목재 성상분석 측정 평균값, 표준편차 및 상대표준편차를 Table 6에 나타내었다. 6-7%의 가장 낮은 상대표준편차를 나타낸 TOC값이 가장 높은 신뢰도를 보였으며 C/L ratio와 VS 역시 2-15%의 상대표준편차를 나타냄으로서 우수한 신뢰도를 나타내었다.

2009년 8월 측정값과 비교하여 1년간의 분해기간 동안의 성상변화율을 Fig 4에 나타내었다. 2009년 8월 측정치와 비교 시 17.05%의 증가율을 보이는 Moisture를 제외한 나머지 항목들은 모두 감소하는 추세를 보였다.

각각의 감소율은 VS -4.96%, FS -7.58%, C/L ratio -28.63%, C/N ratio -16.89% 그리고 TOC -10.19%를 나타냄으로서 C/L ratio와 C/N ratio가 가장 큰 감소율을 보였다. 하지만 C/N ratio는 상대표준편차 20-65%로서 신뢰도가 매우 낮은 결과로 보임에 따라 분해도를 판단하는 지표로 보기엔 부적합하다. 또한 가장 높은 신뢰도를 보였던 TOC는 1년간의 감소율이 10.2%로 상대적으로 미미하였으며 2010.7월 이후로는 측정값의 변화가 거의 없는 것으로 나타남에 따라 분

Table 5. Property of waste wood in landfill site

Date	No.	Moisture (%)	VS (%)	FS (%)	C/L ratio	C/N ratio	TOC (wt%)
2009.08	1	24.0	48.8	27.3	1.2	84.0	24.8
	2	35.8	48.7	15.5	1.3	77.0	27.9
	3	31.2	64.9	3.9	1.1	149.0	23.1
	4	22.9	49.2	27.9	1.3	116.0	24.4
	5	34.0	39.8	26.1	1.2	54.1	21.4
	6	24.9	46.3	28.8	1.3	85.0	21.9
	7	35.4	42.4	22.2	1.4	72.0	21.6
	8	28.9	35.5	35.6	1.4	101.0	27.6
	9	21.6	49.8	28.6	1.1	75.0	23.0
	10	39.8	39.9	20.3	1.3	71.4	19.0
2009.09	1	34.6	42.0	23.4	1.2	63.2	22.5
	2	31.5	28.4	40.1	1.2	104.6	23.2
	3	28.3	46.9	24.8	1.3	41.1	24.6
	4	28.4	51.3	20.3	1.3	102.1	24.8
	5	31.9	59.4	8.7	1.2	86.6	24.8
	6	32.7	48.0	19.4	1.3	95.9	25.8
	7	35.7	42.1	22.2	1.2	97.3	22.3
	8	39.8	28.5	31.7	1.2	98.7	18.7
	9	27.4	48.1	24.4	1.0	73.7	22.9
	10	29.8	28.0	42.2	1.0	59.7	27.9
Ave.		30.9	44.4	24.7	1.2	85.4	23.6
SD		6.3	8.1	8.8	0.1	27.2	2.8
RSD(%)		20.5	18.3	35.8	**9.3**	31.9	**11.9**

Table 6. Property change of waste wood in landfill by time elapse

Date	Items	Moisture (%)	VS (%)	FS (%)	C/L ratio	C/N ratio	TOC (wt%)
2010.4	Ave.	33.1	42.9	24.0	1.2	96.0	23.4
	SD	1.9	1.1	1.8	0.1	43.4	1.7
	RSD(%)	**5.9**	**2.6**	7.6	11.2	45.2	**7.1**
5	Ave.	34.1	41.9	24.1	1.1	75.5	22.3
	SD	4.3	4.1	4.6	0.1	36.2	1.7
	RSD(%)	12.7	**9.7**	19.1	**9.8**	48.0	**7.6**
6	Ave.	35.0	42.1	22.9	1.0	70.2	22.1
	SD	4.5	1.9	4.8	0.1	46.9	1.6
	RSD(%)	12.8	**4.5**	20.9	**8.7**	66.8	**7.2**
7	Ave.	35.2	39.2	25.6	1.1	70.6	21.0
	SD	5.6	7.4	10.0	0.1	21.2	0.8
	RSD(%)	**15.9**	18.8	39.0	**13.2**	30.0	**3.6**
8	Ave.	35.7	41.0	23.3	1.0	70.6	20.5
	SD	5.5	4.3	5.6	0.1	20.4	1.3
	RSD(%)	15.5	**10.6**	24.0	**14.7**	28.9	**6.2**
9	Ave.	35.7	42.2	22.9	1.0	69.6	21.2
	SD	5.5	4.2	5.3	0.1	28.9	1.5
	RSD(%)	15.4	**9.9**	23.2	**8.1**	41.5	**7.3**
10	Ave.	36.7	42.4	22.6	0.9	69.6	21.2
	SD	4.3	4.6	5.0	0.1	28.9	1.5
	RSD(%)	11.8	**10.9**	22.0	**7.1**	41.5	**7.0**

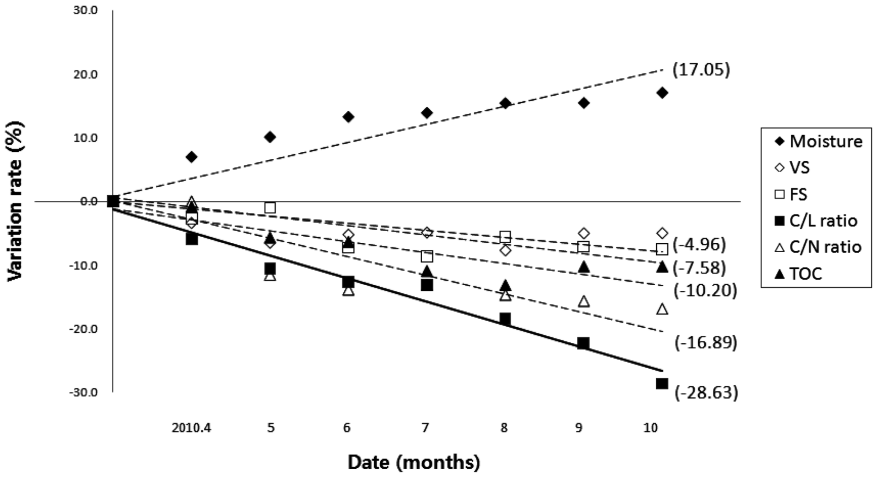

Fig 4. Variation according to the duration.

해도에 대한 신뢰성 있는 결과를 얻기 힘들었다. 우수한 재현성을 보였던 또 다른 지표중 하나인 VS의 경우 1년 동안 거의 동일한 값을 나타냄에 따라 VS 역시 분해도 및 안정화를 판단하는 지표로서의 활용은 어려웠다. C/L ratio의 경우 매립 후 9년 이상 분해된 폐기물의 C/L ratio가 0.57인[15] 것과 비교하였을 시 다소 높은 값을 나타내었으나 이는 종이류 및 목재류 매립 비율이 높은 국내 매립 환경과는 다른 매립 환경의 C/L ratio 값으로 폐기물의 종류, 조건, 환경, 국가, 지역별 등 여러 가지의 요건의 차이로 판단될 수 있다. 또한 초기 측정값과 비교 시 일정한 경향성과 가장 큰 감소율을 보여 쉽게 분해정도를 판단할 수 있으며, 재

현성 또한 우수한 C/L ratio는 국내 A 매립지의 분해도 판단을 위한 최적인자라 사려된다.

4. 결 론

매립연혁에 따른 폐목재 내 성상분석 변화에 대해 도출한 결과는 다음과 같았다.

1. 분해되지 않은 폐목재와 매립 후 10년이 지난 매립 폐목재 및 동일 구역의 11년 경과된 매립 폐목재를 이용하여 안정화 판단지수 측정값 비교결과 C/L ratio와 S-TOC가 15% 이하의 상대표준편차를 나타냄으로서 가장 높은 신뢰도를 보였다.
2. 유기성 폐목재를 이용한 1년간의 분해도 측정결과 가장 뚜렷한 변화율과 경향을 보인 인자는 C/L ratio이다.
3. Bioreactor 매립지의 도시고형 폐기물 내 폐목재를 이용한 연구결과 국내매립지의 각기 다른 매립환경, 조성, 지역, 조건 등의 불확실성인 요건에 맞추어 국내 매립지의 매립연혁에 따른 매립지의 안정화 판단지수의 최적인자는 C/L ratio라 판단된다.

참고문헌

1. 환경부 보도자료, 2008년 전국 사용 중인 매립시설 현황, **2008**.
2. Alexander, M., “Biodegradation and Bioremediation.” 2nd Ed. Academic Press, **1999,** p.4.
3. Oonk, H. and Boom, T., “Landfill gas formation, recovery and emissions.” TNO-report R95-203, TNO. Appeldoorn, The Netherlands, **1995**.
4. IPCC, “Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.” Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), **2000**.
5. Environment Canada, “Canada°Ø's Greenhouse Gas Inventory 1990-2001. 8. Waste. Greenhouse Gas Division August 2003.” The Green line Environment Canada's Worldwide Web Site. **2003**
6. Jonn T. Novak, Chair, C. Douglas Goldsmith, Clifford W. Randall, “Evaluation of Stability Parameters for Landfills.” Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, Virginia, **2002**.
7. Szengyel, Z., “Ethanol from wood - Cellulase enzyme production.” Lund University, Sweden, **2002**.
8. Charles J. Knill, John F. Kennedy, “Degradation of cellulose under alkaline conditions.” *Carbohydrate Polymers*, **2002**, 51, 281-300.
9. Bookter, T.J., Ham, R.K., “Stabilization of solid waste in landfills.” *J. Environmental. Engineering*, **1982**, 108, 1089-1100.
10. Jutta Laine-Ylijoki, Jari-Jussi Syrja & Margareta Wahlstrom. “Biodegradability testing of the municipal solid waste reject.” VTT, **2004**.
11. 윤선표 외, “폐기물 실험방법”, 신광문화사, **2002,** p. 42-43.
12. ASTM Report E 1758 - 95$^{\in 1}$, “Test Methods for Determination of Carbohydrates in Biomass by High Performance Liquid Chromatography.” ASTM International, West Conshohocken, PA.
13. F.A. Ximenes, W.D. Gardner, A.L. Cowie, “The decomposition of wood products in Landfills in Sydney Australia.” *Waste Management*, **2008**, 28, p.2344-2354
14. Gardner, W.D., Ximenes, F., Cowie, A., Marchant, J.F., Mann, S., Dods, K. “Decomposition of Wood Products in the Lucas Heights Landfill Facility, internal report, Research and Development Division, State Forests of New South Wales, **2003**.
15. Ham, R.K., Bookter, T.J., “Decomposition of solid waste in test lysimeters.” *ASCE Environmental Engineering*, **1982**, 108, p.1147-1148.