

매립장의 반입쓰레기 성상변화에 따른 다짐밀도 조사연구

정병길 · 최영익* · 김정권**

동아대학교 환경공학과, *신라대학교 환경공학과, **동의대학교 환경공학과
(2007년 11월 13일 접수; 2008년 3월 20일 채택)

The Investigation Study of Compaction Density by Waste Composition Change in Landfill Site

Byung-Gil Jung, Young-Ik Choi*, Jung-Kwon Kim**

Department of Environmental Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

**Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea*

***Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea*

(Manuscript received 13 November, 2008; accepted 20 March, 2008)

Abstract

The purpose of this study is to investigate weighted compaction density according to a loading density in truck, a compaction density of solid waste and composition ratios of solid waste for calculation of a capacity of the landfill sites. The experiments for calculations of in-place density at landfill site have been conducted in S landfill site at B City. The size of vessel for measuring the compaction density was $1\text{m}^3(1\text{m}\times 1\text{m}\times 1\text{m})$. The experiment tests have been carried out methods (1 time for bulldozer and 4 times for compactor) that do contain all of specification at the landfill site. Average of the loading density at the landfill site was $0.264\text{ ton/m}^3(0.113\sim 0.487\text{ ton/m}^3)$. When the loading density for each compositions was compared, the composition of the highest average loading density (0.474 ton/m^3) was miscellaneous wastes. The composition of the lowest average loading density (0.120 ton/m^3) was general solid waste. The reported results indicated that the compaction density at the landfill site was 0.538 ton/m^3 , which was calculated with weighted incoming ratios of compositions. The ranges of the density for each composition were from 0.021 ton/m^3 to 0.221 ton/m^3 . When the compaction density for each composition was compared, the composition with the highest average compaction density (0.221 ton/m^3) was miscellaneous wastes. The composition with the lowest average compaction density (0.021 ton/m^3) was general solid wastes.

Key Words : Compaction density, Waste composition, Municipal landfill site, Landfill volume, Vehicle loading density

1. 서론

경제성장 및 소득의 증대에 따른 소비규모의 확

산과 산업화·도시화로 인한 필연적인 현상으로 도시폐기물의 성상은 다양해지고 있으며, 도시쓰레기의 발생량 및 성분은 수집대상지역의 성격, 수집목적 및 수집방식 등 여러 가지 요인에 따라 매년 변화하게 된다.

우리나라의 총 폐기물 발생량(지정폐기물 제외)

은 2006년도에 318,670톤/일로, 전년도 295,426톤/일에 비하여 약 9.7% 증가하였으며, 그 중 생활폐기물 48,844톤/일(15.3%), 사업장배출시설계폐기물 101,099톤/일(31.7%), 건설폐기물 168,985톤/일(53.0%)로서 건설폐기물이 가장 큰 구성비율을 차지하고 있다. 폐기물의 처리방법(2006년 기준)은 재활용이 가장 높은 83.5%로 전년대비 4.5% 정도 증가하였으며, 매립과 소각은 각각 8.0%와 3.1%로 전년대비 3.5%와 0.9% 정도 감소한 것으로 나타났다¹⁾. 부산광역시의 2006년도 생활쓰레기 발생량은 3,619톤으로서, 1995년 1월부터 시행한 종량제 실시와 쓰레기 줄이기 추진, 재활용촉진 시책 등 감량화 정책의 결과로 매년 감소추세를 유지해 오다가 감량정책의 한계와 경제회복에 따른 소비량 증대 등으로 1999년부터는 발생량이 증가하는 추세이나 그 증가율은 지극히 미미한 실정이다. 특히 2006년에는 종량제 실시와 반입쓰레기 10% 줄이기 추진 및 재활용촉진 등으로 생활폐기물의 매립율이 15.4%로 줄어들었으며, 재활용과 소각이 각각 64.7%와 19.9%로 증가한 것으로 나타났다²⁾.

폐기물의 처리방법(2006년 기준)은 재활용 83.5%, 매립 8.0%, 소각 5.4%, 해역배출 3.1%로, 재활용이 주류를 이루고 있다. 특히, 실제로 매립 처리되는 폐기물의 양은 종량제 시행 이후 재활용률이 점진적으로 감소하고 있는 경향을 보이고 있다.

매립의 경우 1995년 쓰레기종량제 실시 이후의 쓰레기 성장변화와 2005년 유기성폐기물 반입금지³⁾로 인하여 매립장으로 반입되는 쓰레기 성상의 변화는 크게 나타나고 있으며, 이러한 매립지 성상의 변화는 발생침출수 농도, 가스발생량 및 악취 그리

고 매립지 수명 등에 상당히 영향을 미칠 것으로 예상된다.

국내 매립지 선정과 확보난이 가중되고 있는 현실을 감안한다면, 한정되어 있는 매립용량을 증가시키고 매립장의 수명을 연장시키기 위해서는 매립장에 반입되는 폐기물의 밀도를 매립시에 최대한 증가시켜야 한다⁴⁾. 매립장의 계획·설계시 매립용량을 결정짓는데 중요한 인자인 차량적재밀도, 적하밀도 및 다짐밀도에 대한 연구가 일부 진행되어 왔으나^{4~6)}, 2005년도 유기성폐기물 반입금지 이후 반입쓰레기 성장변화가 있었음에도 불구하고 이에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 도시쓰레기매립장의 반입쓰레기 성장변화에 따른 차량적재밀도와 다짐밀도를 조사·분석하여 매립장의 효율적인 관리 및 매립장의 계획·설계시 매립용량 산정을 위한 기초자료를 확보하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 반입쓰레기 성상

매립장 반입쓰레기의 차량적재밀도 및 다짐밀도 조사는 B시 S매립장에 반입되는 사업장 일반폐기물을 포함한 생활폐기물을 대상으로 하였으며, 조사기간은 2007년 4월 2일부터 24일까지로 하였다. 반입쓰레기는 종량제 규격봉투로 배출되는 종량제 쓰레기와 사업장 생활계 폐기물에서 배출되는 다량배출쓰레기, 공공장소 및 학교 등의 공공건물에서 배출되는 공공쓰레기, 하수처리장이나 정수처리장, 분뇨처리장 또는 기타 수처리 시설의 전처리 단계인 스크린 공정(screening process)에서 배출되는 협

Table 1. The analysis of waste composition for landfill site in 2006

Items		Daily average (kg/d)	Total amounts (kg/year)	Ratio (%)
Waste input		965,058	352,246,130	100.0
Waste	Volume-base charge	99,378	36,273,060	10.3
	Non-recycled domestic discharge	326,236	119,076,140	33.8
	Briquet ash	24,155	8,816,520	2.5
	Impurities	187,868	68,571,800	19.5
	Public	109,425	39,940,240	11.3
	Incinerated ash and sediments	181,299	66,174,180	18.8
	Etc	36,696	13,394,190	3.8

잡물, 소각장 및 자연재해로 인해 발생하는 면제쓰레기, 주거 및 상업지역에서 배출되는 연탄재, 그 외 기타쓰레기로 분류하였으며, 폐기물의 반입비율을 고려하여 전체 쓰레기 밀도에 미치는 폐기물의 성장별 차량적재밀도 및 가중치 다짐밀도를 조사하였다. 가중치 다짐밀도는 2006년도 매립장 반입쓰레기 성장별 반입현황을 이용하여 산정하였으며, 이를 Table 1에 나타내었다.

2.2. 조사방법

2.2.1. 적재밀도 산정^{4~6)}

Fig. 1에 나타난 것과 같이 매립장 입구에 설치되어 있는 계근대(truck scale)에서 공차와 폐기물 무게를 합한 총 중량에서 공차의 중량을 제하여 폐기물의 무게를 산정한 후 차량에 적재되어 있는 폐기물

의 부피를 실측하여 차량 적재밀도를 산정하였다.

2.2.2. 다짐밀도 산정

매립장 내 반입쓰레기를 종량제, 다량배출, 연탄재, 협잡물, 공공쓰레기, 면제쓰레기(소각장 및 자연재해로 인해 발생하는 폐기물)로 선별하여 Fig. 2에 나타난 바와 같이 포크레인을 이용하여 너비 3 m, 폭 2 m, 높이 1 m로 매립지를 굴착하고 미리 제작한 1 m³ (1 m × 1 m × 1 m)의 용기를 굴착부에 투입하여 쓰레기를 채우고 매립장 시방서와 동일한 방법으로 불도저 1회, 매립장 전용 다짐장비(콤팩터) 4회로 다짐을 하여 회수한 후 입구에 설치되어 있는 계근대에서 공차와 폐기물 무게를 합한 총 중량에서 공차의 중량을 제하고 미리 측정해 놓은 용기의 무게를 제한 후 폐기물의 무게를 산정하였다.

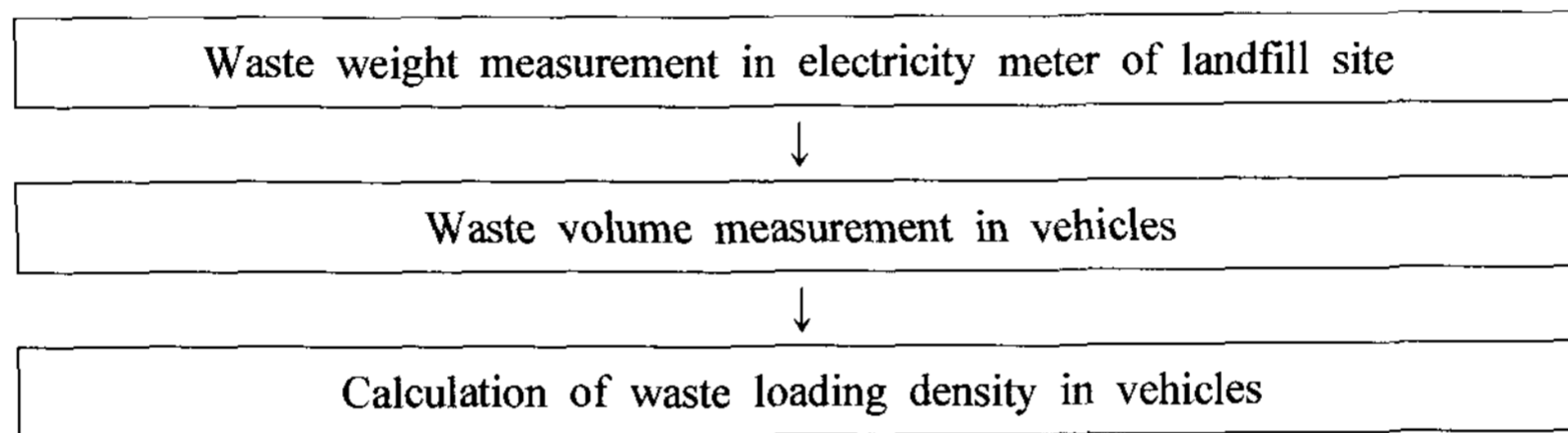


Fig. 1. The investigation procedure of waste loading density in vehicles.

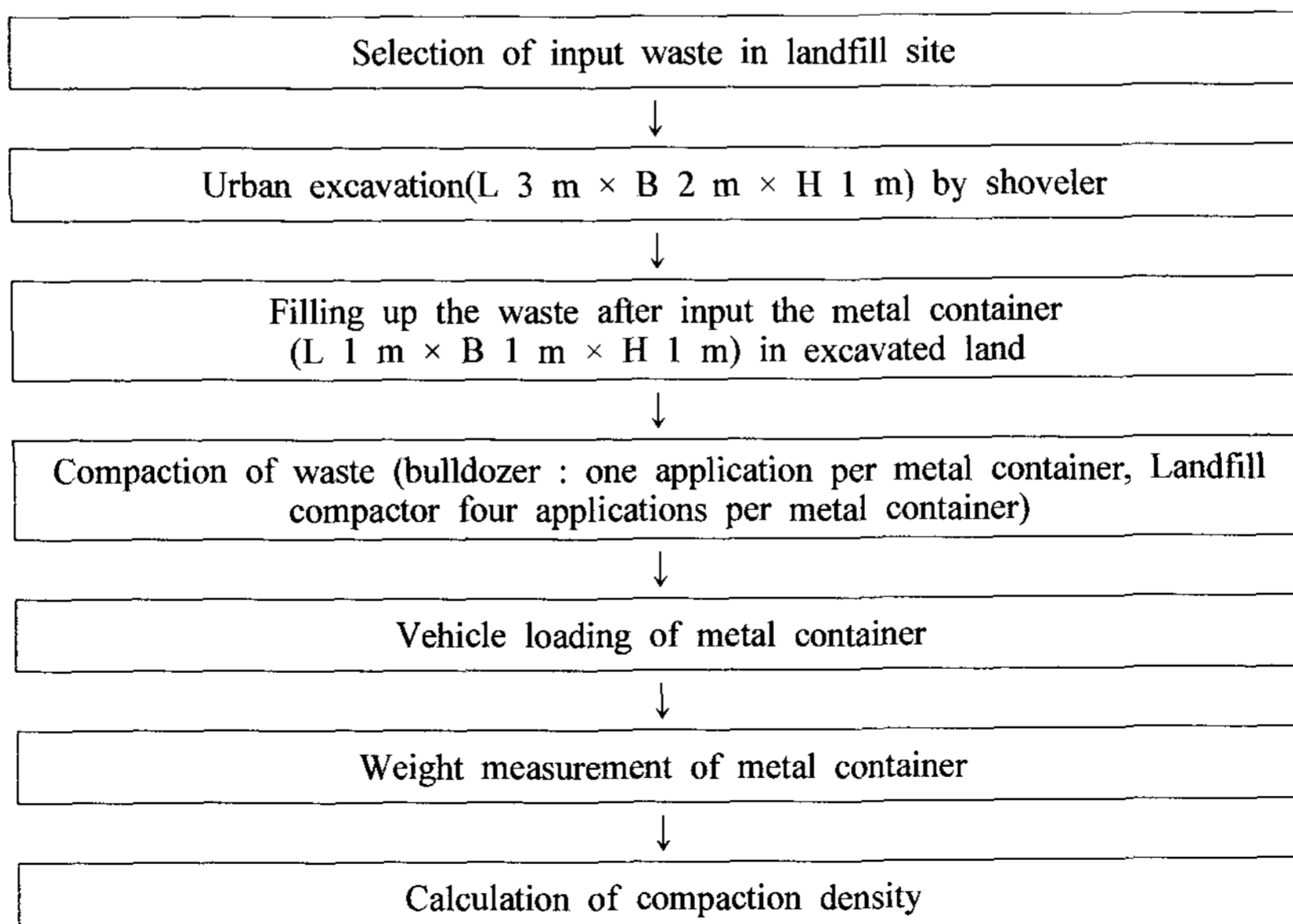


Fig. 2. The investigation procedure of waste compaction density in vehicles.

3. 결과 및 고찰

3.1. 차량적재밀도

Table 2에 매립장 쓰레기 성상별 차량적재밀도의 조사결과를 나타내었다. 매립장 반입쓰레기의 차량적재밀도 조사결과 평균 적재밀도는 0.264 ton/m³이었으며, 밀도분포는 0.113~0.487 ton/m³로 나타났다. 쓰레기 성상별 적재밀도를 비교해 보면, 가장 높은 적재밀도를 나타낸 쓰레기는 협잡물로, 이때의 평균 적재밀도는 0.474 ton/m³을 나타내었다. 반면에 가장 낮은 적재밀도를 나타낸 쓰레기는 공공쓰레기로, 이때의 평균 적재밀도는 0.120 ton/m³로 나타났다.

협잡물은 하수처리장이나 정수처리장, 분뇨처리장 또는 기타 수처리 시설의 전처리 단계인 스크린 공정(screening process)에서 배출되는 폐기물 등이 주를 이루고 있었으며, 폐기물의 특성상 높은 수분을 함유하고 있기 때문에 가장 높은 적재밀도를 나타낸 것으로 판단된다.

박 등⁵⁾은 매립장내 일반폐기물의 차량적재밀도 조사결과 0.375 ton/m³로 나타났으며, 성상별로는 소각재가 1.713 ton/m³으로 가장 높게 조사되었으며, 폐주물사와 건축잔재 및 연탄재의 차량적재밀도는 각각, 1.388 ton/m³, 1.045 ton/m³, 그리고 0.479 ton/m³

로 나타나 전체적으로 반입 폐기물 중 생활폐기물의 반입비율이 낮고 상대적으로 밀도가 높은 소각재의 영향으로 보고하였다.

3.2. 다짐밀도

3.2.1. 평균 다짐밀도

Table 3에 나타난 결과와 같이 반입쓰레기의 다짐밀도 조사결과 평균 다짐밀도는 0.603 ton/m³이었으며, 밀도분포는 0.190~1.135 ton/m³로 나타났다. 쓰레기 성상별 다짐밀도를 비교해 보면, 가장 높은 다짐밀도를 나타낸 쓰레기는 차량적재밀도 조사결과와 같이 협잡물로 나타났으며, 이때의 평균 다짐밀도는 1.135 ton/m³이었다. 반면에 가장 낮은 다짐밀도로 조사된 쓰레기는 공공쓰레기로, 이때의 평균 다짐밀도는 0.190 ton/m³로 나타났다.

3.2.2. 가중치 다짐밀도

평균다짐밀도 결과를 바탕으로 매립용량을 산정하기에는 다소 무리가 있다. 이는 성상별 반입량이 동일한 양으로 일정하게 들어오지 않기 때문이다. 따라서 평균다짐밀도와 쓰레기 성상별 반입비율을 적용시켜 반입비율이 적용된 가중치 다짐밀도(반입비율 × 폐기물 밀도)를 산정할 필요가 있다.

매립장 반입쓰레기의 다짐밀도 조사결과를 성상

Table 2. Results of vehicle loading density on waste composition in landfill site

Items	Vehicle composition (ton)	Weight of vehicles (kg)	Total weight (kg)	Vehicle loading density			Average density (ton/m ³)		
				Volume (m ³)	Weight (kg)	Density (ton/m ³)			
Wastes	Volume-base charge	11.5	13,010	18,842	30	5,832	0.194	0.180	
		11.5	14,560	19,546	30	4,986	0.166		
	Non-recycled domestic discharge	5.0	5,942	9,617	16	3,675	0.230	0.184	
		11.5	13,420	16,851	25	3,431	0.137		
	Briquet ash	11.5	16,240	20,760	30	4,520	0.151	0.262	
		11.5	13,270	22,580	25	9,310	0.372		
	Impurities	11.5	17,710	32,310	30	14,600	0.487	0.474	
		11.5	11,530	23,060	25	11,530	0.461		
	Public	11.5	10,430	13,810	30	3,380	0.113	0.120	
		11.5	10,750	14,540	30	3,790	0.126		
	Incinerated ash and sediments	11.5	11,580	22,250	30	10,670	0.356	0.370	
		11.5	11,530	23,060	30	11,530	0.384		
	Total and average density		-	149,972	237,226	331	87,254	0.494	-

Table 3. Results of compaction density on waste composition in landfill site

Items	Total weight (kg)	Weight of vehicles (kg)	Weight of metal container (kg)	Waste compaction density			Average density (ton/m ³)		
				Weight (kg)	Volume of metal container (m ³)	Density (ton/m ³)			
Wastes	Volume-base charge	2,300	1,910	80	310	1	0.310	0.325	
		2,330	1,910	80	340	1	0.340		
	Non-recycled domestic discharge	2,340	1,940	80	320	1	0.320	0.315	
		2,330	1,940	80	310	1	0.310		
	Briquet ash	2,950	1,940	80	930	1	0.930	0.945	
		2,980	1,940	80	960	1	0.960		
	Impurities	3,150	1,940	80	1,130	1	1.130	1.135	
		3,160	1,940	80	1,140	1	1.140		
	Public	2,200	1,940	80	180	1	0.180	0.190	
		2,220	1,940	80	200	1	0.200		
	Incinerated ash and sediments	2,690	1,940	80	670	1	0.670	0.710	
		2,770	1,940	80	750	1	0.750		
	Total and average density		-	149,972	237,226	7,240	12	0.603	-

별 폐기물 반입비율(Table 1)에 적용시켜 Table 4에 나타내었다. 가중치 다짐밀도는 0.538 ton/m³이었으며, 밀도분포는 0.021~0.221 ton/m³로 조사되었다. 쓰레기 성상별 가중치 다짐밀도를 비교해 보면, 가장 높은 밀도로 조사된 성상은 적재밀도와 마찬가지로 헝잡물이 가장 높은 것으로 나타났으며, 이때의 평균밀도는 0.221 ton/m³이었다. 반면에, 가장 낮은 밀도로 조사된 성상은 공공쓰레기로, 이때의 평균밀도는 0.021 ton/m³로 조사되었다. 이는 기존 연구⁷⁾에서 조사되었던 0.842 ton/m³(0.375~0.868 ton/m³)보다 낮은 수치를 나타내었는데, 조사당시 다짐회

수와 다짐장비의 차이(불도저 70회 → 매립전용 콤팩터 4회) 및 반입쓰레기 성상변화로 인하여 발생한 것으로 판단된다. 즉, 현재 매립장으로의 음식물쓰레기의 반입이 금지되고 있고, 동일성상별로 분류된 차량에 의해 쓰레기가 반입되기 때문에 쓰레기 종류별 가중치 다짐밀도는 성상별로 차이를 나타낸 것으로 사료된다.

3.3. 매립용량산정

3.3.1. 일일 매립용량

쓰레기 매립장의 계획매립량을 1일 450 ton/day,

Table 4. Results of cumulative compaction density based on waste composition and quantity in landfill site

Items	Average compaction density (ton/m ³)	Ratio of waste composition (%)	Cumulative compaction density (ton/m ³)
Volume-base charge	0.325	10.3	0.033
Non-recycled domestic discharge	0.315	33.8	0.106
Briquet ash	0.945	2.5	0.024
Impurities	1.135	19.5	0.221
Public	0.190	11.3	0.021
Incinerated ash and sediments	0.710	18.8	0.133
Total and average density	0.603	-	0.538

쓰레기의 성상변화 후의 측정다짐밀도를 0.538 ton/m³, 매립침하율을 8%⁸⁾로 가정하면 다음과 같이 계산을 할 수 있다.

- ① 1일 폐기물 매립용량
 $450 \text{ ton/day} \div 0.538 \text{ ton/m}^3 = 836 \text{ m}^3/\text{day}$
- ② 매립시 다짐 및 압밀침하를 고려한 1일 폐기물 매립용량 (침하율 8% 적용)
 $836 \text{ m}^3/\text{day} \times 0.92 = 769 \text{ m}^3/\text{day}$

3.3.2. 일일 복토량

쓰레기층의 매립고를 1.5 m로 가정하고, 쓰레기 1 cell의 크기를 산정하면 다음과 같다.

- ① 쓰레기 cell의 한 변의 길이
 $L = \sqrt{(V/H)} = \sqrt{(769/1.5)} \approx 22.64 \text{ m}$
 여기서, L = Cell 한변의 길이 (m)
 H = 쓰레기층의 매립고 (m)
 V = 1일 쓰레기 매립량 (m³/day)
 \therefore 쓰레기 1 cell의 크기=22.64 m×22.64 m×1.5 m
- ② 일일 사면 복토량
 복토 두께를 0.15 m라고 가정하면
 $22.64 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 0.15 \text{ m} \times 2EA = 10.2 \text{ m}^3$
- ③ 일일 상부 복토량
 복토 두께를 0.3 m라고 가정하면
 $22.64 \text{ m} \times 22.64 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} = 153.8 \text{ m}^3$
- ④ 일일매립용량
 일일매립용량 = 쓰레기 매립량 + 일일 사면 복토량 + 일일 상부 복토량
 $933 \text{ m}^3 = 769 \text{ m}^3 + 10.2 \text{ m}^3 + 153.8 \text{ m}^3$
- ⑤ 총 매립용량
 총 매립용량을 4,000,000 m³, 바다하부 토사제방에 들어가는 토사를 10,000 m³으로 가정한다.

3.3.3. 매립가능년한

쓰레기 처리 매립가능용량은 총 4,000,000 m³으로 매립장 사용년한은 일평균 매립량인 933 m³을 적용한 결과 약 14년간 매립이 가능할 것으로 예상된다. 매립가능년한 산정시 강우량, 침출수 발생량, 폐기물 분해속도, 가스발생량 등의 영향인자들은 별도로 고려하지를 않았으며, 향후 이를 추가적으로 조사 및 고려하여 정확하게 매립가능년한을 산

정하는 방법이 필요할 것으로 판단된다.

$$\begin{aligned} \text{매립가능년한} &= \frac{\text{총매립용량} - \text{바다하부 토사제방용량}}{\text{일일매립용량} \times 300 \text{ day/year}} \\ &= \frac{4,000,000 \text{ m}^3 - 10,000 \text{ m}^3}{933 \text{ m}^3/\text{day} \times 300 \text{ day/year}} \\ &= 14.25 \text{ year} \end{aligned}$$

4. 결 론

본 연구는 쓰레기 매립장의 반입쓰레기 성상변화에 따라 변화되는 매립용량을 산정하기 위하여 차량의 적재밀도, 쓰레기 다짐밀도 및 성상비율에 따른 가중치 다짐밀도를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 매립장 반입쓰레기의 적재밀도 조사결과 평균 적재밀도는 0.264 ton/m³이었으며, 밀도분포는 0.113~0.487 ton/m³로 조사되었다. 쓰레기 성상별 적재밀도를 비교해 보면, 가장 높은 밀도로 조사된 성상은 협잡물로, 이때의 평균밀도는 0.474 ton/m³를 나타내었다. 반면에, 가장 낮은 밀도로 조사된 성상은 공공쓰레기로, 이때의 평균밀도는 0.120 ton/m³로 조사되었다.

2) 매립장 반입쓰레기의 평균 다짐밀도 조사결과 평균 다짐밀도는 0.603 ton/m³이었으며, 밀도분포는 0.019~1.135 ton/m³로 조사되었다. 쓰레기 성상별 다짐밀도를 비교해 보면, 가장 높은 밀도로 조사된 성상은 협잡물로, 이때의 평균밀도는 0.221 ton/m³로 나타났다. 반면에, 가장 낮은 밀도로 조사된 성상은 공공쓰레기로, 이때의 평균밀도는 0.021 ton/m³로 조사되었다.

3) 매립장 반입쓰레기의 가중치 다짐밀도 조사결과를 성상별 폐기물 반입비율에 적용시킨 가중치 다짐밀도는 0.538 ton/m³이며, 밀도분포는 0.021~0.221 ton/m³로 조사되었다.

4) 쓰레기매립장 매립가능용량을 총 4,000,000 m³으로 가정하고, 매립장의 일평균 매립량인 933 m³와 가중치 다짐밀도 0.538 ton/m³을 적용하여 매립용량을 산출한 결과 약 14년간 매립이 가능할 것으로 예상되었다. 향후 매립가능년한 산정시 강우량, 침출수 발생량, 폐기물 분해속도, 가스발생량 등의 영향

인자들을 추가적으로 조사 및 고려하여 정확하게 산정하는 방법이 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 1) 환경부, 2007, 2006 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 5-16pp.
- 2) 부산광역시, 2007, 2007환경백서(http://www.busan.go.kr/open_content/depart/environment/green27/sub_04/05_sub_04.html).
- 3) 환경부, 2008, 폐기물관리법.
- 4) 서정민, 박진식, 최동훈, 1998, 매립용량 산정을 위한 쓰레기 밀도분석, 환경관리학회지, 4(2), 119-123.
- 5) 박진식, 장성호, 김수생, 1998, 매립장내 일반 폐기물의 밀도조사에 관한 연구, 동아대학교 건설기술연구소 연구논문집, 22(2), 129-134.
- 6) 장성호, 1999, 매립용량 산정을 위한 일반폐기물의 물성조사, 밀양대학교 농업기술개발연구소보, 3, 1-5.
- 7) 성일건설(주), 1996, 생곡매립장 쓰레기 밀도시험분석 결과보고서, 14pp.
- 8) (주)엔씨씨, 2006, 폐기물최종(매립)처리 사업계획에 따른 환경성조사서, 38-39pp.