

다단형 도시폐기물 매립지의 침하모델 계수 분석

김용인, 손영중, 장연수

동국대학교 토목환경공학과 (e-mail : ysjang@dongguk.edu)

<요약문>

폐기물 매립층의 침하는 매립 폐기물의 조성특성의 영향으로 인하여 침하특성이 일반 흙의 토질역학적 거동과 다르게 나타난다. 폐기물의 침하특성은 매립당시 나타나는 폐기물 하중에 의한 침하특성과 향후 장기적으로 유발되는 생화학적 침하특성을 구분하여 규명하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 국내 대표적 매립지 폐기물 침하에 대한 계측자료를 바탕으로 역학적 일차 압축침하와 생화학적 이차 압축 침하에 대한 침하특성계수를 산정하였다. 또한 Sower(1973)의 매립지 폐기물에 대한 침하량 산정식을 응용하여 다단형 매립지 폐기물에 적용할 수 있는 침하량 산정식을 구성하였다.

key word : Primary settlement, Secondary settlement, Primary compression index, Secondary compression index

1. 서론

매립지 폐기물은 상재하중의 증가로 인해 발생하는 역학적 일차 압축침하(primary settlement, S_{pri}) 뿐만 아니라 시간의 경과에 따른 부패성 폐기물의 생분해에 따른 용적감소 등으로 인한 생화학적 이차 압축침하(secondary settlement, S_{sec})를 수반한다. 이러한 폐기물 매립층의 침하는 매립 폐기물의 조성 특성의 영향으로 인하여 침하특성이 일반 흙의 토질역학적 거동과 다르게 나타난다. 폐기물의 침하특성은 매립당시 나타나는 폐기물 하중에 의한 침하특성과 향후 장기적으로 유발되는 생화학적 침하특성을 구분하여 규명하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 국내 대표적 매립지 폐기물 침하에 대한 계측자료를 바탕으로 역학적 일차 압축침하와 생화학적 이차 압축침하에 대한 침하특성계수를 산정하였다. 또한 Sower(1973)의 매립지 폐기물에 대한 침하량 산정식을 응용하여 다단계 매립지 폐기물에 적용할 수 있는 침하량 산정식을 구성하였다.

2. 기존 침하량 산정식과 응용

국외 연구동향을 보면 먼저 Sower(1973)는 폐기물 매립지에서 침하를 유발하는 메카니즘은 그 형태에 따라서 크게 두개로 나눌 수 있으며, 역학적 일차 침하(mechanical primary settlement, S_{pri})는 역학적인 침하요인과 생물학적인 분해에 의해 침하량을 계산하며, 대체로 C_c 는 유기물 함량에 따라 초기 간극비 e_0 에 0.15에서 0.55 사이의 값을 곱하여 구해지게 된다. 생화학적 이차 침하(biochemical secon-

dary settlement, S_{sec})는 폐기물 구성물의 Creep과 물리, 화학작용 및 생화학적 작용에 의해 일정한 속도로 나타나는 연속적인 침하량을 계산할 수 있으며, 이차 압축지수 C_a 는 간극비의 함수이고 생화학적 부패와 관계가 있다. Sower(1973)는 위생 매립지에서 침하량과 log 시간의 관계는 다소 선형적이며, 총 침하는 일차 압축(primary settlement, S_{pri})과 이차 압축(secondary settlement, S_{sec})의 합으로 나타내었다. 기존의 Sower식은 매립지 전체에 대한 침하량 산정방법이므로 본 연구의 대상인 국내 대표적 매립지의 다단형 폐기물 매립층의 침하량 산정식으로 사용하기 위하여 일, 이차 압축계수를 각 단별 또는 전체단의 평균으로 산출하여 사용하는 식(1)을 구성하였다.

$$S_{total} = \sum_{i=1}^n [S_{pri} + S_{sec}]$$

$$= \sum_{i=1}^n \left[\frac{C_{ci} H_i}{1 + e_i} \cdot \log \frac{P_i + \Delta P_i}{P_i} + \frac{C_{ai} H_i}{1 + e_i} \cdot \log \frac{t_2}{t_1} \right] \quad (1)$$

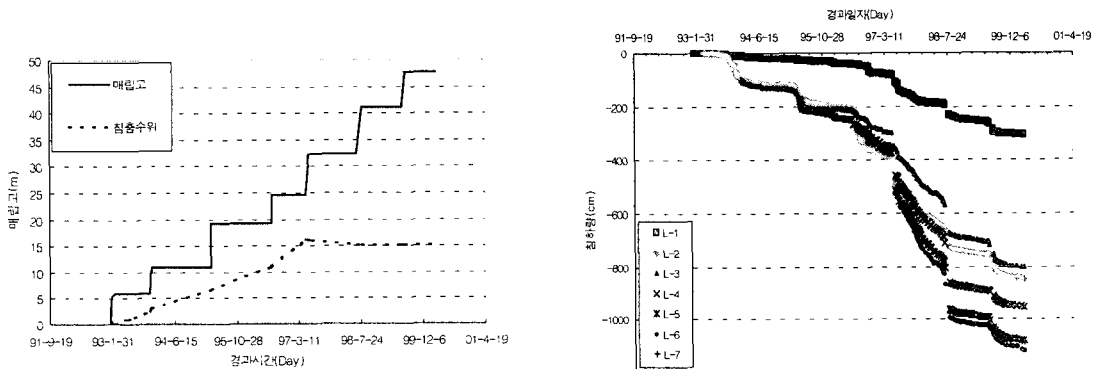
여기서, n : 총 매립 층수, C_{ci} : i 단의 일차 압축지수, H_i : i 단의 매립층 두께,
 e_i : i 단의 초기 간극비, P_i : i 단의 폐기물 하중, ΔP_i : i 단의 하중 증가량,
 C_{ai} : i 단의 이차 압축지수, t_1, t_2 : i 단의 이차 압밀시작과 종료시간(day) 이다.

3. 대상매립지 현황

대상 매립지는 간척지구를 이용한 폐기물 매립지역으로, A에서 Q까지 총 17개 블록으로 매립되었다. 본 매립지에 매립되는 폐기물의 단별 매립고는 약 5m로 총 8단까지 최대 40m가 매립되었다.

3.1 L 블록의 매립고에 따른 시간-침하현황

L 블록의 매립고와 침출수위 그리고 시간경과에 따른 침하량의 변화를 그림 1(a)와 (b)에 도시하였다. 그림 1(a)에 의하면 연구 대상기간내의 폐기물은 7단이 매립되었고 매립기간 동안 총 3.5m의 기초지반 침하가 발생하였으며, 상부에 매립되는 폐기물의 하중으로 인하여 나타나는 시간경과에 따른 침하량을 나타내었다.



(a) 폐기물 단별 매립고 및 침출수위

(b) 폐기물 단별 침하량

그림 1. L 블록 시간경과에 따른 매립고, 침출수위 및 단별 침하량

그림 1(b)에는 폐기물이 단별로 매립됨에 따라 나타나는 L 블록의 시간-침하량을 나타냈으며, L-1은 기초지반 지표에 매설된 침하판의 폐기물 매립하중에 의하여 발생한 침하를 나타내고 있다.

L 블록의 폐기물이 총 4단계 매립이 진행되는 동안에는 폐기물층의 침하량은 크게 나타나지 않고 있다. 이는 같은 기간동안 폐기물 매립과 동시에 매립된 단 높이의 약 75%에 해당하는 높이의 침출수위가 누적되어 올라온 영향으로 풀이된다. 4단계 매립동안 매립지내의 누적된 침출수위 높이는 15m에 달하였으며 이 기간동안 기초지반의 경우 매립지 내부의 간극수압 증가로 인하여 유효응력 증가분이 미미한 이유로 침하량이 적게 나타났다.

4. 매립지 폐기물의 침하특성

수도권 매립지 폐기물의 침하특성 분석을 위하여 L 블록에 대하여 시간-침하량 곡선을 역학적 일차 침하와 생화학적 이차 침하로 구분한 후 침하 특성 계수를 산정하였다.

4.1 매립지 폐기물의 역학적 일차 침하특성

역학적 압축은 하중증가에 의해 발생하는 침하량으로 수개월 이내에 발생하는 일차 압축이다. 따라서 역학적 압축침하 적용구간은 상부에 매립하중이 재하 된 직후부터 시간에 따른 침하량의 변화율이 미소하게 변하는 지점, 즉 매립시기와 침하데이터를 고려하여 그림 2에서 나타낸 바와 같이 시간-침하량 그래프의 경사가 급한 곳에서 완만하게 변하는 변곡점을 일차 압축완료 시점으로 선정하였다.

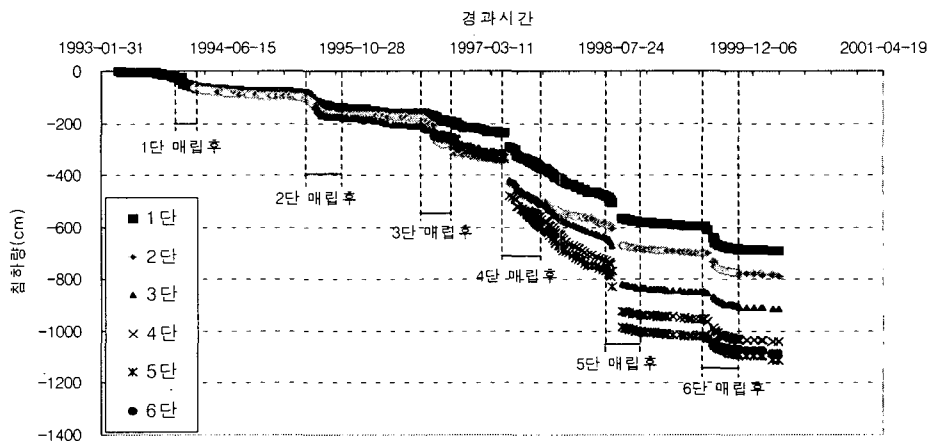


그림 2. L 블록 일차압축 적용기간

일차 압축지수 C_c 의 계산식은 역학적 일차 압축 침하식으로부터 유도할 수 있으며, 본 연구에서 매립지 폐기물의 침하 특성 계수 산정을 위한 초기 간극비는 기존 문헌(동아건설, 1996; 한국건설기술연구원, 1992)에 제시된 매립지 폐기물의 물성치를 입력하여 계산한 결과를 표 1에 요약하여 정리하였다. 본 연구에서 침하 특성 계수 계산시 초기 간극비는 2.0을 적용하였다.

표 1. 기존문헌에 제시된 값을 이용하여 계산한 초기 간극비

물성치 시료	비중 Gs	물의 단위중량 $r_w(t/m^3)$	폐기물 단위중량 $r_f(t/m^3)$	함수비 w(%)	초기간극비 e_0	비고
I 블록	2.48	1.00	1.10	36.20	2.07	동아건설 (1996)
L 블록	2.34		0.74	29.30	3.09	
M 블록	2.45		0.96	23.50	2.15	
경서동 시료	2.22		1.10	24.01	1.50	한국건설 기술연구원 (1992)

표 2. L 블록 폐기물 하중 증가량에 대한 C_c 계산결과

기간	C_c	매립1단	매립2단	매립3단	매립4단	매립5단	매립6단
93.11.28~94. 2.28 (92일)	0.297	-	-	-	-	-	-
95. 4. 1~95. 8.16 (137일)	0.411	0.403	-	-	-	-	-
96. 7.11~96.10. 2 (83일)	0.318	0.305	0.046	-	-	-	-
97. 5. 1~97. 8.19 (110일)	0.421	0.414	0.210	0.629	-	-	-
98. 6.16~98.10.20 (126일)	0.442	0.454	0.359	0.506	0.791	-	-
99. 6.18~99.10. 8 (112일)	0.493	0.516	0.336	0.351	0.496	0.050	0.050
각 단별 평균 C_c	0.397	0.418	0.238	0.495	0.644	0.050	
L 블록 전체평균 C_c	0.393						

블록의 단별 현장 계측치의 역산결과를 표 2와 그림 3에 정리하였다. 표 2에서 볼 수 있는 바와 같이 침출수의 영향을 받는 1~3단의 각 단별 평균 C_c 값은 0.238~0.418로서 침출수의 영향을 받지 않는 5단의 C_c 값 0.644보다 대체로 작게 산정되었다. 이는 매립 1~3단이 L블록 매립지내의 침출수위 아래에 위치하고 있어 침출수가 매립물의 일차 압축침하에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

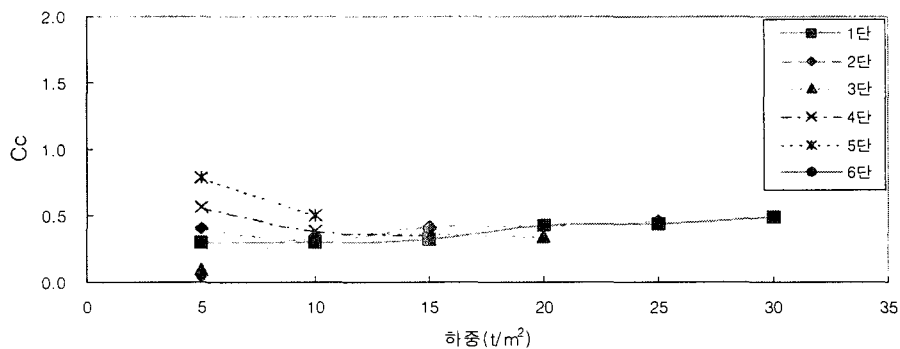


그림 3. L 블록 하중증가에 따른 C_c 값의 변화

그림 3은 하중증가에 따른 전 매립단의 C_c 변화율을 도시하였다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 초기의 낮은 상재 매립하중에서는 각 단에서 산정된 C_c 값의 분산 범위가 컸지만, 상부 매립하중이 증가할수록 약 0.5에 수렴하는 경향을 보이고 있다.

4.2 매립지 폐기물의 생화학적 이차 침하특성

매립지 폐기물의 생화학적 이차 침하는 시간 의존적인 침하로서 폐기물에 유기성 고형물의 분해나 입자의 장기적인 재배열, 폐기물 구성성분의 지체된 압축으로 발생한다. 본 연구에서는 L블록에서의 생화학적 침하특성계수, C_a 를 산정하기 위하여 단별일차 압축이 완료되는 시점에서부터 다음 단의 매립시작 전일까지의 침하량을 대상으로 분석을 실시하였다.

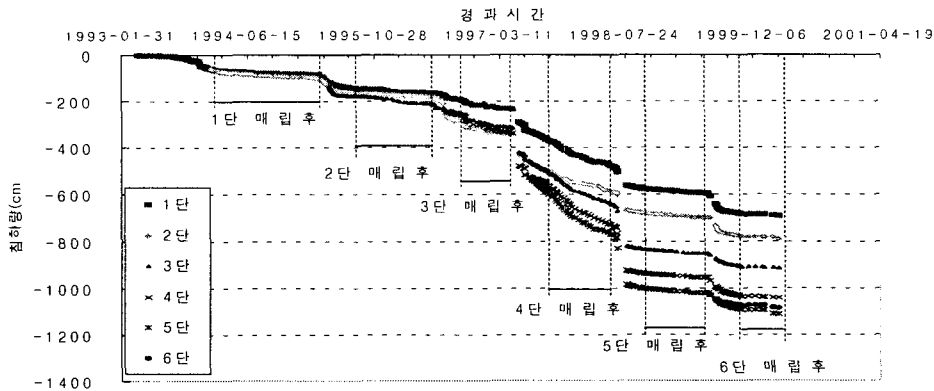


그림 4. L 블록 단별 이차 압축 적용기간

초기에 매립하중으로 인하여 발생하는 역학적 침하량 부분을 제외하고 시간이 경과함에 따라 매립 폐기물의 생분해와 부패 등에 의해서 발생하는 생화학적 침하량 부분에 대하여 이차 압축지수, C_a 는 생화학적 이차 압축 침하식으로부터 산정하였다. L블록의 단별 현장 계측치에서 이차 침하특성계수를 계산한 결과를 그림 5에 도시하였다.

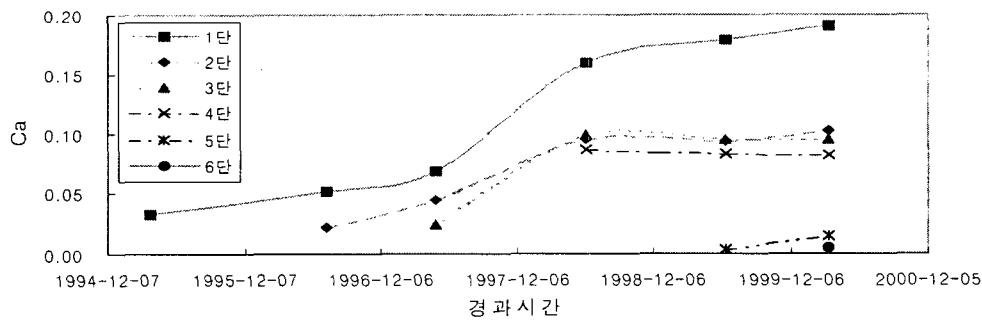


그림 5. L 블록 시간경과에 따른 C_a 값의 변화

그림 5에서 볼 수 있듯이 매립 직후 기간별 각 매립단의 초기 C_a 값은 상호 비슷한 범위의 값을 보였다. 하지만 매립연한이 가장 오래된 매립 1단의 경우, 매립후 약 4년이 경과한 97년 6월 이후 C_a 값이 크게 증가하며 약 0.19에서 수렴하였다. 이것은 국내 대표적 매립지 폐기물의 분해특성의 영향으로 사료된다(표 4 참조).

표 4. 가스발생 및 분해용이성과 관련된 폐기물의 분류(장연수, 2000)

성분 \ 종류	폐기물 종류	반감기	총발생 분해기간
분해 용이한 성분	주방 쓰레기, 물, 잡초류	1년	3.5년
중위급 분해성분	종이, 목재, 섬유류	2년	6년
난 분해성 성분	플라스틱, 고무류	20년	60년

5. 결론

국내 대표적 다단계 매립지 폐기물에 대한 침하특성을 파악하기 위하여 Sower(1973)의 침하량 산정식을 응용한 침하량 산정식을 구성한 후 각 블록들의 년도별 침하계측자료를 이용하여 역학적 일차 압축침하와 생화학적 이차 압축침하에 대한 침하특성계수를 산정하였다.

- 1) L블록의 폐기물이 총 4단계 매립이 진행되는 동안 폐기물 매립과 동시에 매립된 단 높이의 75%에 해당하는 침출수위가 누적되어 올라온 영향으로 폐기물 층의 침하량은 크게 나타나지 않았다.
- 2) 매립된 각 단별 침하판의 누적 침하량의 추이를 분석한 결과 기초지반 침하를 포함한 하부 폐기물의 총침하는 11m에 달하는데 각 블록의 기초지반 침하량 3m를 감하면 순수한 폐기물 층의 누적 침하량은 8m이었다.
- 3) L 블록에 대해 산정된 다단계 매립지 폐기물의 침하특성계수값들의 범위는 역학적 일차 압축지수 $(C_c)_{L블록}$ 값은 각각 0.046~0.791로 계산되었고, 생화학적 이차 압축지수 $(C_a)_{L블록}$ 값은 0.004~0.190로 평가되었다. 매립지 조성 초기단계에서는 계산된 일차 압축 지수의 분산도가 크게 나타났지만 매립 폐기물 단수가 증가에 따라 모두 0.5에 수렴하는 경향을 보였다.

참고문헌

1. 수도권 매립지 관리공사(2001), 계측관리 종합보고서, 145p.
2. 김용인,(2002), 데이터베이스를 이용한 폐기물매립지의 거동 및 침하특성 연구, 동국대학교 박사학위논문, 190p.
3. 장연수, 이광열(2000), 지반환경공학(Geoenvironmental Engineering), 구미서관, 587p.
4. 박현일,(1999), 쓰레기 매립지 침하특성에 관한 연구, 한국과학기술원 박사학위논문, 119p.
5. Sowers, G.F.(1973), "Settlement of Waste Disposal Fills", Proceedings of The Eight International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, pp.207~210.