

# 매립지 원지반 침하량 역산에 의한 기초 압축 특성 연구

김용인\* · 현근일\* · 박정용\*\* · 장연수\*

\*동국대학교 토목환경공학과(ysjang@dongguk.edu) · \*\* (주)태조엔지니어링(jiban72@hotmail.com)

## <요약문>

해안의 연약지반에 건설되는 폐기물 매립지는 매립지의 안정성 평가를 위하여 하부기초지반의 침하거동 특성에 대한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 현장 침하계측자료를 이용하여 현장 간극비와 현장 압축지수를 역산하여 그특성을 분석하였다. 그결과 매립초기에는 상부하중에 의한 유효응력증가가 미소하여 하부기초지반은 과압밀 특성을 나타내고 현장 압축지수 변화가 미소하였으나, 매립이 진행될수록 상부하중이 선행압밀하중을 초과하여 정규압밀영역으로 변화함에 따라 큰 폭의 증가를 보였다.

key word : Field void ratio, Field compression index, Settlement estimation, Back analysis

## 1. 서론

폐기물 매립지의 침하를 비롯한 공학적 특성은 매립지 설계시 기초자료가 되고 매립지의 안정성을 평가하는데 중요한 척도가 된다. 본 연구에서는 2000년 매립완료된 수도권 매립지 1공구의 하부 기초지반의 두께를 추정하고 침하에 영향을 주는 간극비(e)와 과압밀 압축지수(Cr), 정규압밀 압축지수(Cc)를 연도별 실측 침하데이터에서 계산하였다.

## 2. 대상매립지 현황

대상 매립지는 간척지구를 이용한 폐기물 매립지역으로, A에서 Q까지 총 17개 블록으로 매립되었다 (그림 1 참조). 본 매립지에 매립되는 폐기물의 단별 매립고는 약 5m로 총 8단까지 최대 40m가 매립되었고 1992년부터 2000년까지 기초지반에 순수하게 매립된 폐기물 매립고현황을 그림 2에 나타내었다. 여기서, 해당연도에 매립고가 표시되지 않은 블록은 해당연도에 폐기물 매립이 없는 것을 나타낸다.

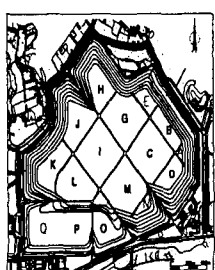


그림 1 수도권 매립지(1공구) 블록 평면도

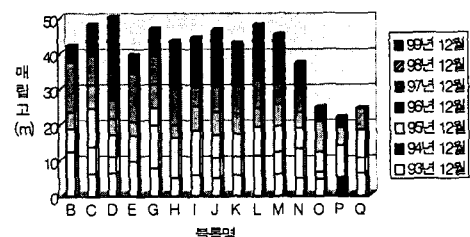


그림 2 연도별 매립현황

수도권 매립지 하부 연약점성토 기초지반의 특성 분석을 위해 기존의 실내 토질시험 및 토질주상도 자료를 검토하여 표 1에 요약 정리하였다. 표에서 볼 수 있는 바와 같이 통일분류법에 의한 토질분류는 CL로 평가되었으며 자연함수비와 액성한계의 범위가 비슷한 범위의 값을 갖는 것으로 나타났다. OCR 값은 1.0~1.5사이의 값을 가져 하부 연약점토층은 “정규압밀에서 약간 과압밀된 상태”로 구성되어 있음을 나타내고 있다.

표 1 하부 점성토 기초지반의 특성 (동아건설산업(주), 1996)

자연 함수비(%)	건조 단위중량 (t/m <sup>3</sup> )	포화 단위중량 (t/m <sup>3</sup> )	비 중	초기 간극비	아터버그 한계		OCR	토질분류 (통일분류법)
					액성한계 (%)	소성지수 (%)		
35~45	1.20~1.25	1.60~1.80	2.7	1.0~1.2	35~45	10~20	1.0~1.5	CL

### 3. 현장계측치를 이용한 침하특성계수 산정

#### 3.1 현장 간극비 역산

본 대상 매립지의 지반이 연직방향으로만 압밀된다고 가정할 때 점토층 두께 ( $H_0$ )에 대한 높이 변화량(침하량)  $\Delta H$ 로부터 간극비 감소량은 다음 식으로 유도할 수 있다.

$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta V}{V_0} = -\frac{\Delta e}{1+e_0} \Rightarrow \Delta e = -\frac{\Delta H}{H_0}(1+e_0) \quad (1)$$

여기서,  $\Delta e$ : 간극비 감소량,  $e_0$ : 초기 간극비,  $\Delta V$ : 체적 감소량,  $V_0$ : 초기 체적,  $\Delta H$ : 점토층 두께 감소량(침하량),  $H_0$ : 초기 점토층 두께이다.

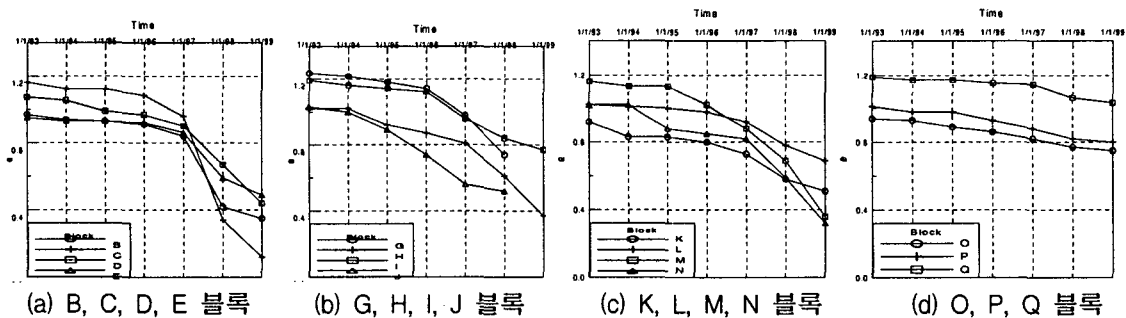


그림 3 각 년도별 간극비 변화

실측 침하량을 이용한 현장 물성치 계산 결과, 모든 블록의 현장 간극비는 매립 폐기물 하중의 증가와 시간이 경과함에 따라 점차 감소하는 경향을 보였다(그림 3). 초기 4단계 매립시까지는 누적침출수 위의 증가로 점토지반에 가해지는 유효응력의 증가가 크지 않아 간극비의 감소가 적게 나타났다. 하지만 4단계 매립(1996년 6월)이후 급격한 감소를 보이는 것은 매립이 진행되어 상부하중에 의한 유효응력이 크게 증가됨에 따라 간극비의 감소가 큰 것으로 나타났다.

K 블록의 선행압밀하중  $P'_c$ 와 기초지반에 작용하는 하중  $P'_o$ 와의 관계를 표 2와 그림 4에 나타내었다. 이 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 4단계 매립이전에는 기초지반의 OCR( $=\frac{P'_c}{P'_o}$ )이 1.4로서 다소 과압밀된 상태에서 침하량 발생이 크지 않았으나, 4단계 매립이후 폐기물 매립에 의해 증가한 상재 유효응력이 하부 기초지

반의 선행압밀하중을 초과하여 기초지반의 상태가 과압밀 영역에서 정규압밀 영역으로의 전이되어 크게 발생한 것으로 나타났다. 이러한 경향은 폐기물 매립을 4단계에서 중단한 O, P, Q 블록을 제외한 모든 블록에서 동일하게 나타났으며 O, P, Q 블록들도 8단계까지 매립된 다른 블록의 매립 4단계까지의 경향과 유사하였다.

표 2 K 블록에서의 OCR값 (동아건설산업(주), 1996)

Block	Depth(m)	$P_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$P_o$ (kg/cm <sup>2</sup> )	OCR
K	14 ~ 14.8	1.85	1.30	1.4

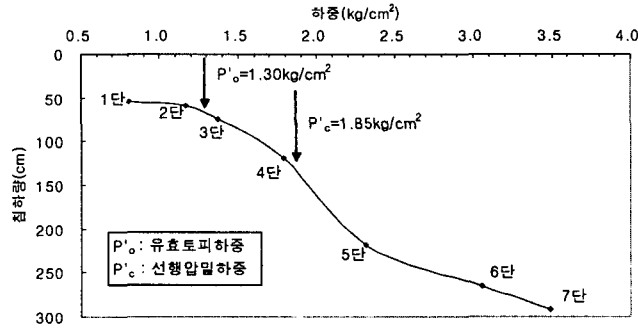


그림 4 K 블록의 하중변화에 따른 침하량 곡선

### 3.2 현장 압축지수 역산

현장 침하량 측정치로부터 나타나는 기초지반 점성토의 압축지수를 분석하기 위하여 Terzaghi의 1차원 압밀 침하량 산정식을 응용하여 압축지수를 역산하는 식을 유도하였다.

$$S_{(실측)} = \frac{C_c \times H}{1 + e_o} \times \log \frac{P_o + \Delta P'}{P_o} \Rightarrow C_c = \frac{S_{(실측)} \times (1 + e_o)}{H \times \log \frac{P_o + \Delta P'}{P_o}} \quad (2)$$

여기서,  $S_{(실측)}$ : 실측 압밀 침하량,  $C_c$ : 압축지수,  $e_o$ : 초기 간극비,  $H$ : 점토층 두께,  $P_o$ : 유효 토포하중,  $\Delta P'$ : 하중 증가량이다.

실내시험에서 구한 압축지수와 현장 침하계측자료에서 역산한  $C_c$ ,  $C_c$ 를 그림 5에 요약하여 정리하였다. 역산된 압축지수는 계측 침하량을 이용하여 계산하게 되는데 매립초기에는 상부의 매립하중이 선행압밀하중보다 작아서 과압밀 영역내에 존재하므로 침하량이 작게 발생하게 된다. 이때의 압축지수를 재압축지수,  $C_c$ 로 평가하였다. 그리고 매립하중이 증가하다가 선행압밀하중보다 커지게 되면 침하량이 점차 증가하게 되는데 이때의 값을 현장 압축지수,  $C_c$ 로서 산정하였다.

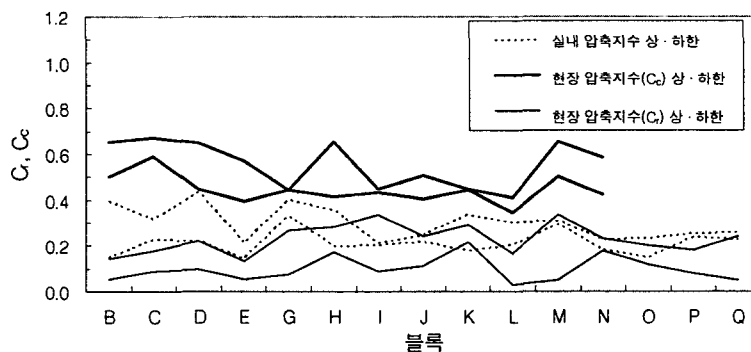
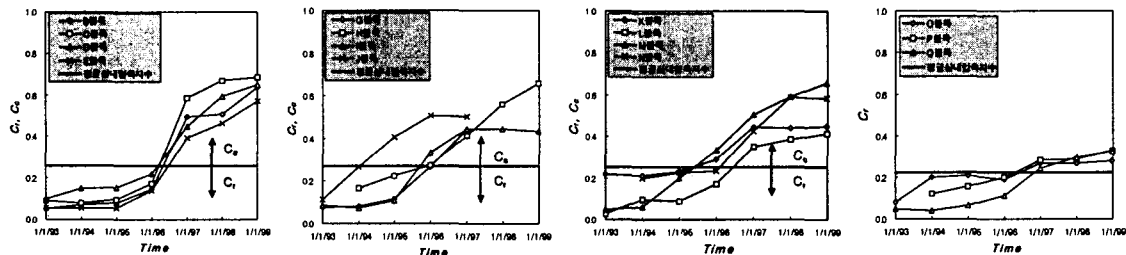


그림 5 실내 압축지수와 역산된 현장 압축지수의 비교

역산된 현장 압축지수와 실내 압축지수를 비교해보면, 역산된  $C_0$ 값은 대체로 실내 압축지수보다 작거나 유사하게 평가되었고  $C_e$ 값은 크게 계산되었다. 실내 압축지수값이 역산된 현장 재압축지수,  $C_0$ 값과 유사한 경우가 있는데 그 이유는 대상 현장의 약 1.5m 깊이까지는 표면건조 효과로 과압밀 특성을 보이고 있어 실내 압밀시험을 지표면에서 약 1~6m정도의 깊이에서 시추된 시료를 사용하여 수행한 것이 원인일 것으로 판단된다.

역산에 의한 연도별 압축지수 변화를 블록별로 그림 6에 나타내었는데 계산된 전체 블록들의 압축지수 변화 범위는 약 0.05~0.70 사이이었다. 압축지수는 시간 및 폐기물 매립단계 그리고 매립 블록별로 큰 차이를 보이고 있는데 앞 절에서 추정된 간극비의 경우와 마찬가지로 침출수위가 폐기물 매립단계와 동시에 누적되어 올라간 4단계까지는 0.05~0.3사이로 급격한 변화를 나타내지 않았으며 이는 침출수의 누적으로 인하여 유효응력 증가가 미미한 상태에서 하부 기초지반 점토가 과압밀 영역에 머물러 있었기 때문으로 파악된다.

96년 6월 이후 매립이 추가 진행됨에 따라 압축지수는 급격한 증가를 보여 최종단계의 범위가 0.5~0.7의 값을 나타내었으며 상부 매립 폐기물 하중으로 인한 유효응력이 충분히 커져 하부 기초지반 점토가 정규 압밀영역으로 진입된 것을 나타내고 있다.



(a) B, C, D, E 블록 (b) G, H, I, J 블록 (c) K, L, M, N 블록 (d) O, P, Q 블록

그림 6 연도별 압축지수 ( $C_0$ ,  $C_e$ ) 변화

#### 4. 결론

수도권 매립지의 하부 기초지반의 침하거동특성에 대한 분석을 위하여 현장계측자료를 이용하여 지반 물성치를 역계산하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 실측 침하량을 이용한 현장 물성치 계산 결과, 모든 블록의 현장 간극비는 매립 폐기물 하중의 증가와 시간이 경과함에 따라 점차 감소하는 경향을 보였다. 또한 계산된 현장 간극비를 적용하여 산출한 현장 압축지수는 0.05~0.7사이에서 매립고에 따라 증가하는 경향을 보였다.

2) 역산된 현장 압축지수와 실내 압축지수를 비교해보면, 매립초기 침출수의 누적으로 인해 상부매립 하중의 증가가 미소하여 하부 기초지반이 과압밀 영역내에 존재하게 되고 이때의 역산된 압축지수  $C_0$ 값은 실내 압축지수보다 작거나 비슷하게 평가되었다.

3) 상부매립고가 증가함에 따라 매립하중이 선행압밀응력을 초과하게 되면 하부 기초지반이 과압밀영역에서 정규압밀영역으로 전이가 발생하여 침하량이 크게 증가하게 되는데 이때 역산된 압축지수  $C_0$ 값은 실내압축지수보다 크게 계산되었다.

## 참고문헌

1. 수도권 매립지 관리공사 (2001), 계측관리 종합보고서, 145p.
2. 동아건설산업주식회사 (1996), 수도권 매립지 1공구 안정화 기본설계 종합보고서, 301p.
3. 김용인, (2002), 데이터베이스를 이용한 폐기물매립지의 거동 및 침하특성 연구, 동국대학교 박사학위논문, 190p.