

자연 해성점토 위에 건설한 폐기물매립장 기초지반의 침하와 활동 가능성

Settlement and Sliding Possibility of the Foundation of the Waste
Landfill Constructed on Natural Marine Clay

김 수 삼* ¹	장 연 수* ²
Kim, Soo-Sam	Jang, Yeon-Soo
강 기 민* ³	강 민 수* ⁴
Kang, Ki-Min	Kang, Min-Soo

Abstract

In this paper, the consolidation settlement of the landfill foundation during and after the period of disposal is analyzed using the program CONSOL which can include the influence of waste load and the leachate level into the analysis. The stability analysis of the embankment is also performed under the varied strength of foundation soil which results from the increase of effective stress due to consolidation of the clay under the landfill. The predicted settlement from CONSOL is compared with the field measured settlement. The results show that, when the leachate level increases with the increase of waste height, the increase of the effective stress of foundation clay is negligible and the stability of the slope of the landfill may not be secured as the disposal of the waste proceeds. Several complementary repairworks, e. g. the reduction of current slope of the fill, application of drain methods to stop or reduce the leachate level are recommended. The predicted settlement consists moderately with the field measured settlement.

요 지

본 논문은 폐기물의 하중과 침출수위의 변화를 고려할 수 있는 컴퓨터 프로그램 CONSOL을 이용하여 폐기물 매립이 진행되는 동안과 이후의 해안 폐기물 매립장의 압밀침하량을 분석하였다. 또한, 이들 변화된 기초점토지반 강도특성하에서 매립지 기초지반을 포함한 제체사면의 안정성 해석을 수행하였으며, 현장 침하계측자료와 본 논문의 이론적 침하량을 비교 검토하였다. 그

*¹ 정회원 중앙대학교 토목공학과 교수

*² 정회원 동국대학교 토목공학과 조교수

*³ 정회원 (주)대우엔지니어링

*⁴ 정회원 중앙대학교 토목공학과 대학원 박사과정

결과, 단계별 폐기물 매립이 실시됨에도 침출수위가 함께 상승할 경우 점토지반의 강도를 향상시키는 유효응력 증가가 거의 없어 매립높이가 증가할수록 안정성이 확보되기 어려운 것으로 나타났다. 그 결과 매립경사구배를 낮추거나 배수공법에 의한 침출수위를 저감시키는 등의 보완 작업이 필요한 것으로 나타났다. 압밀해석으로부터 구한 침하량은 실측침하량 자료와 비교적 잘 일치하였다.

keywords : Waste landfill, Wsolidation, Settlement, Clay, Stability, Leachate level

1. 서론

최근 국내산업의 급격한 발전과 도시인구 과밀화로 인하여 대도시 주변에 폐기물 매립 후보지가 품귀됨에 따라 대단위의 부지를 저렴한 값에 마련할 수 있는 해안 폐기물 매립장을 조성하는 사례가 늘어가고 있다. 대부분이 서해와 남해안에 위치하고 있는 해안 매립장은 지반이 해성점토로 구성되어 있어 차수성이 낮아 자연차폐 지반으로서의 잇점이 있는 반면 지반이 연약한 관계로 폐기물을 매립할 수 있는 기초지반으로서의 안정성 검토가 필요한 실정이다.

국내 해안 매립장의 설계는 다음과 같은 두 가지 가정에 기초하고 있다. 첫째는 매립장 기초지반의 실트질 점토는 폐기물 매립이 진행됨에 따라 압밀이 발생되고 이로 인하여 나타나는 지반의 전단강도 증가는 매립고를 충분히 증가시킬 수 있다. 둘째, 폐기물 하중으로 인한 압밀로 인하여 투수계수(hydraulic conductivity)가 폐기물관리법의 흙차폐재의 투수계수(hydraulic conductivity) 기준치인 10^{-7}cm/sec 보다 작은 값을 나타내게 된다. 그러나 수도권매립장의 경우 현 2단계 매립까지 수행한 결과, 국내 폐기물의 함수비가 높고, 지반토의 부동침하로 인한 배수관로의 파손 가능성이 있어 매립장의 침출수위가 예측치보다 높아지는 실정이다. 따라서, 매립된 폐기물 하중뿐만 아니라 침출수의 영향도 고려한 침하량 및 압밀도 산출, 전단강도 변화, 이로인한 사면의 안정도 변화 등을 규명할 필요가 있게 되었다.

본 논문에서는 국내 폐기물 해안매립장 중 가장 대단위인 김포 수도권 해성점토 지반에 매립된 폐기물 하중과 누적된 침출수위가 있을 경우, 압밀효과를 고려하여 안정취약 지역에서의 매립사면의 안정성을 분석하였다. 해성점토 지반의 압밀과 침하량 분석은 압밀 수치해석 프로그램인 CONSOL(Wong and Duncan, 1984)을 이용하였고, 압밀해석으로부터 구해진 유효응력 증가분에 의한 강도변화를 현장 토질특성으로부터 구하여 사면안정 해석에 이용하였다. 폐기물과 침출수위를 포함한 폐기물 매립사면에 대한 해석은 PCSTABL5M을 이용하였다. 또한, 현재까지 매립되어진 2단계의 폐기물 하중에 대하여 압밀해석으로부터 구해진 침하량을 현장에 설치된 침하판에 의한 침하량 측정결과와 비교한 후 현상태에서의 매립지반의 안정성을 분석하였다.

2. 현장지반 현황

본 매립장 지반에 대한 토질특성 파악을 위하여 그림 1에 보인 바와 같이 H, K, O블럭에 총 17공의 NX-size 시추조사를 실시하였다. 그 결과 최상부에 연약한 실트질 점토층이 5~20m 두께로 존재하고, 하부에는 실트섞인 단단한 점토층, 실트와 자갈섞인 모래층, 풍화간류토층 및 풍화암층 순으로 이루어져 있음을 알 수 있었다. 그림 2에는 1공구 매립장에 대하여 수행된 기존 토질특성 조사문헌(환경처, 1988 : 수도권 매립지, 1994)과 본 분석을 위한 현장조사시 구해진(평원엔지니어링, 1995) 표

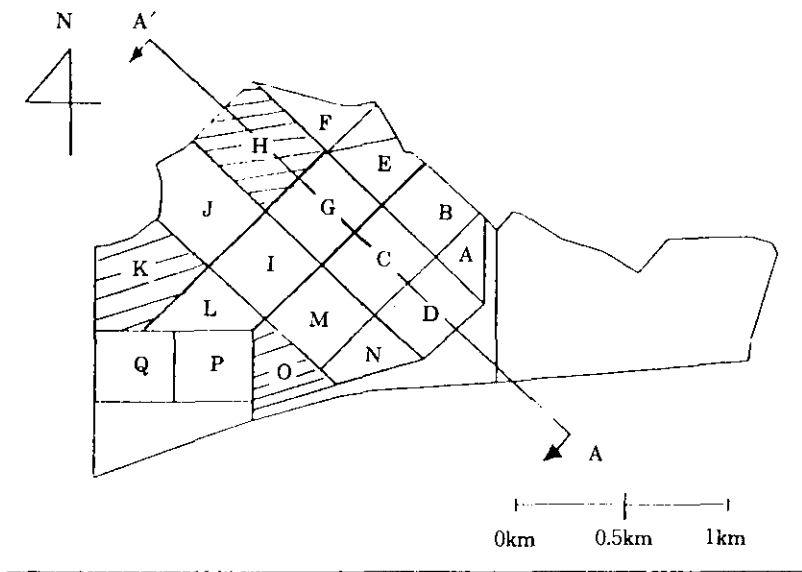


그림 1. 시추조사 위치 평면도

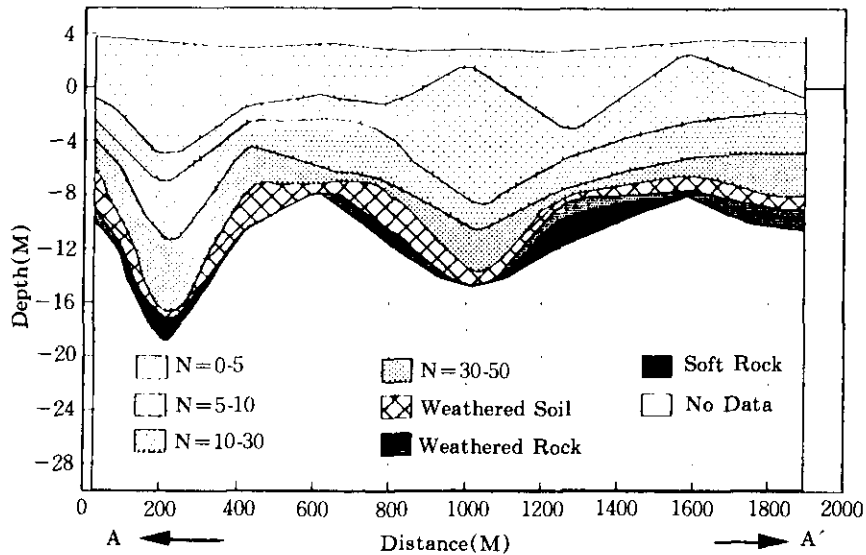


그림 2. 단면 A-A'의 N치 및 지질 수직분포

준관입 시험치를 조합하여 그림1의 A-A'단면에 대하여 N치별, 지층 종류별 깊이를 도시한 것이다. 본 단면도에 의하면 매립지의 남측 지역의 점토층의 두께가 두껍고 북측으로 갈수록 연약층의 두께가 얇아짐을 알 수 있다.

김포 수도권 매립지의 기초지반의 토질특성에 대해 살펴보면, 점성토층의 함수비는 15.0~50.0% 범위를 나타내며, 상부점성토의 함수비가 높고 하부로 갈수록 상대적으로 낮아지는 경향을 보이고 있다(그림 3). 본 검토지역의

액성한계(w_L)는 21~50%, 소성지수(I_p)는 4~30으로 Casagrande(1932)의 소성도에 도시하여 보면 그림4와 같다. 도시된 바와같이 본 지역에 분포하는 점성토층의 입도특성은 ML, CL, CH로 분류된다. 또한, 시추지점에 대한 점성토의 포화단위중량은 $1.68 \sim 1.92 t/m^3$ (평균 $1.80 t/m^3$) 범위에, 그리고 간극비는 0.67~1.47 사이에 있는 것으로 나타났다.

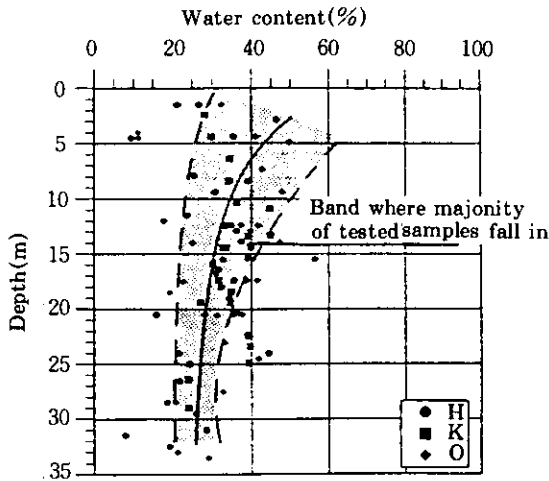


그림 3. 심도별 자연함수비의 변화

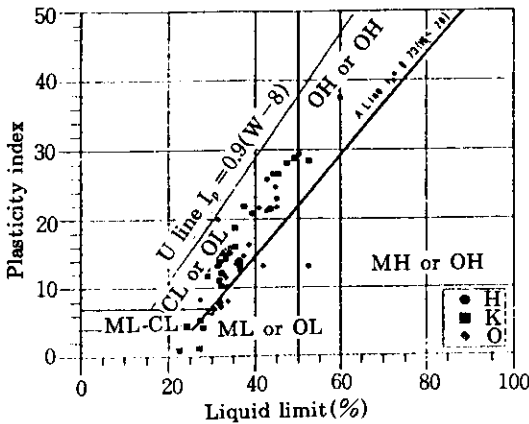


그림 4. 소성도표에 의한 흙의 분류

본 매립장 현장지반에 대해 압밀하중 변화에 따른 압밀계수의 변화를 조사한 결과 유효상재

하중(P_0') 혹은 선행압밀하중(P_c') 이후의 하중값에 대한 압밀계수는 대략 $C_v = 2.0 \sim 3.0 \times 10^{-3} cm^2/sec$ 사이 값을 갖는 것으로 조사되었다.

3. 매립지반에 대한 침하 및 사면안정 해석

본 연구에서는 압밀해석용 수치해석 프로그램인 CONSOL(Wong and Duncan, 1984)을 활용하여 침출수위를 고려한 폐기물 매립단계별 침하량 및 유효응력 증가분을 산출하고, 이로 인한 강도변화를 현장 시추 토성치로부터 추정하였으며, 사면안정해석용 프로그램인 PC-STABL5M(Achilleos, 1988)을 이용하여 압밀 침하로부터 이루어진 강도증가분을 적용, 사면안정해석을 실시하였다.

3.1 해석에 사용된 프로그램 개요

본 연구에 사용된 압밀해석용 프로그램 CONSOL과 사면안정해석 프로그램 PCSTABL5M의 개요를 소개하면 다음과 같다.

CONSOL은 유한차분법을 이용하여 다층구조의 토층에 대한 압밀침하를 계산하는 Program으로, 넓은 면적의 上載荷重, 帶像荷重, 圓形荷重에 대하여 재하시(load) 혹은 제하시(unload), 그리고 지하수위 변화시 유효응력과 간극수압의 변화량을 산출하며, 정규압밀뿐만 아니라 과압밀 토층에 대해서도 적용할 수 있다.

본 연구에서 프로그램에 인용된 외부하중으로는 매립원인 폐기물의 上載荷重과 침출수로 인한 지하수위의 변화를 고려하였으며, 이에 대해 식(1)과 같은 Boussinesq식을 이용하여 기초지반의 임의점의 유효응력 증가량을 계산하게 된다.

$$\Delta \sigma : I \cdot q \quad (1)$$

- $\Delta \sigma$: 응력증가분 (t/m^2)

- I : Stress Influence Factor (응력영향치)

- q : 유효상재하중 (t/m^2)

압밀도의 계산에는 Terzaghi 1차압밀 미분 방정식 식(2)을 유한차분화하여 사용되며

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2)$$

여기서, u : 간극수압, C_v : 압밀계수이다.

침하량 산출을 위한 압축계적변화계수 m_v , 팽창계적변화계수 m_w 는 다음과 같이 계산된다.

$$m_v = \frac{C_c}{2.3(1+e)p'}, m_w = \frac{C_a}{2.3(1+e)p'} \quad (3)$$

여기서, C_c 는 압축지수, C_a 는 팽창지수, e 는 간극비, p' 는 유효응력이다.

각 층의 압밀계수 C_c 및 팽창계수 C_a 는 유효응력 혹은 간극비의 변화에 따라 변하지 않고 일정한 것으로 가정하며, 인접한 층에서는 투수계수의 비가 유한차분방정식에 포함되어 그 상대적인 값만이 중요하므로 유효응력에 따른 투수계수의 변화는 프로그램상에 고려되지 않는다.

제체사면의 안정성해석에 사용된 PCSTAB-

L5M은 한계평형해석법(limit equilibrium method)을 이용하여 절편법에 의해 안전율을 계산하며, 기존의 2차원 해석프로그램인 STABL을 보강하여 마이크로컴퓨터에 맞도록 보완된 프로그램이다.

PCSTABL5M의 특징은 1) Janbu의 간편법, Bishop의 간편법, Spencer의 절편법에 의해 안전율을 산출하고, 2) 등방성, 이방성 흙에 모두 적용 가능하며, 3) 지하수위면에 대해 각 층별로 조건 입력시킬수 있고, 4) Tieback loads, 집중하중, 지진하중을 고려할 수 있으며, 또, 5) 원형파괴, 불력파괴, 임의의 특정파괴면에 대한 안전율을 산출할 수 있다.

3.2 압밀침하 해석

본 매립장의 압밀침하 해석에 적용된 기초지반의 지층구조는 O, H블럭 두 지역으로서, 현장조사 결과로 부터 산출된 개략단면을 그림 5, 6에 나타내었다.

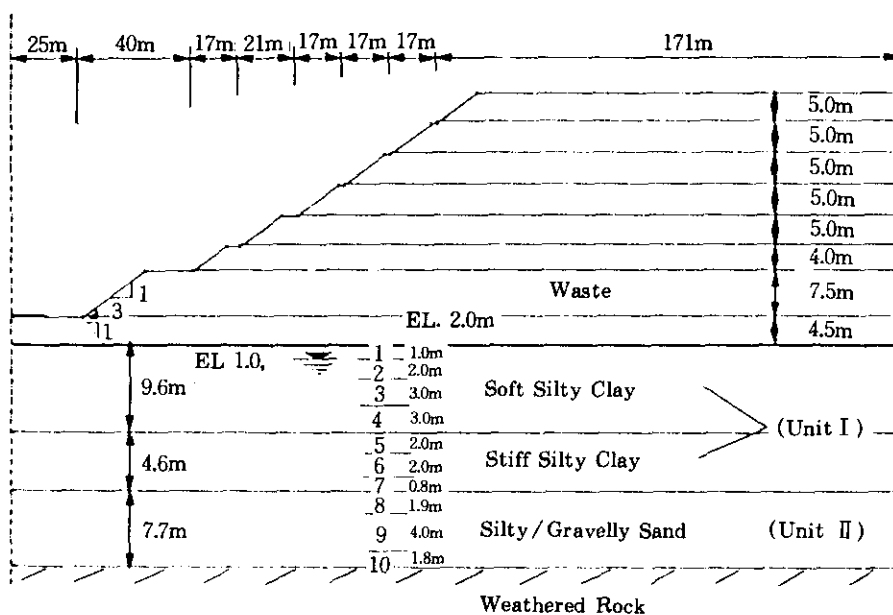


그림 5. O블럭지역 원지반 지층의 침하해석 단면형상

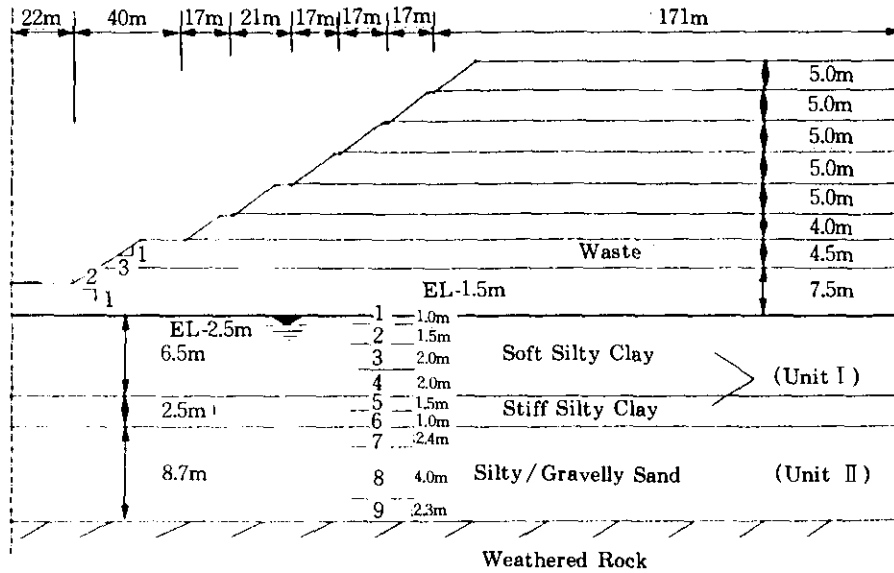


그림 6. H블럭지역 원지반 지층의 침하해석 단면형상

표 1. 기초지반의 토층별 실내시험 데이터

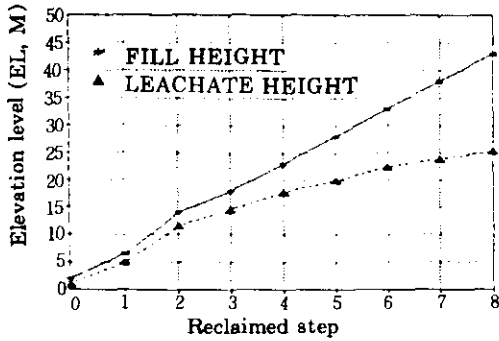
토질별 \ 시험치	초기 간극비 e_0	비중 G_s	포화단위 중량 γ_{sat} (t/m^3)	압축지수 C_c	팽창지수 C_{cs}	압밀계수 C_v (m^2/yr)	팽창계수 C_{vs} (m^2/yr)
Soft Silty Clay	0.963	2.634	1.832	0.336	0.041	11.813	13.395
Stiff Silty Clay	0.936	2.618	1.836	0.205	0.029	5.991	8.738
Silty/Gravelly Sand	0.700	2.640	1.965	-	-	-	-

본 해석에 사용된 토질정수는 시추시 채취한 불교란시료의 실내시험에 의해 산출된 값의 평균치를 적용하였으며 표 1과 같다.

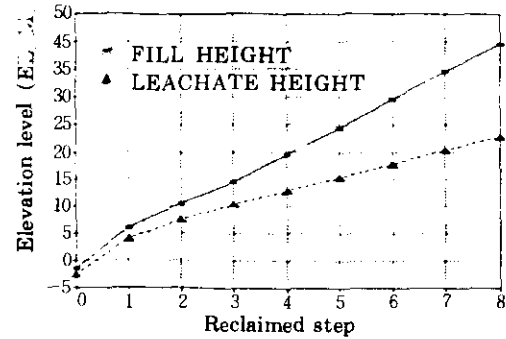
또한, 매립 폐기물의 단위중량은 본 매립지의 현재까지 매립된 폐기물의 두께와 폐기물층 하부에 매설된 토압계로부터 산출된 압력으로부터 추정된 결과 폐기물의 포화단위중량 $\gamma_{sat} = 1.2t/m^3$, 습윤단위중량 $\gamma_t = 1.0t/m^3$ 로 산출되었다.

폐기물 매립에 따른 침출수위 변화는 현 매

립시까지의 매립 단계별로 누적된 양이며, 3단계 매립시까지의 침출수위 증가율은 현장실측에 의해 조사된 값이고, 매립고에 따라 증가율이 감소 추세를 보이므로 3단계 이후 8단계 매립시까지 침출수위 증가율은 10%씩 감소시켜 침출수위 변화량을 예측 사용하였다. 그 결과 O블럭인 경우 그림 7(a)에 나타낸 바와 같이 최종 8단계 매립시 매립고 EL.43.0m에 대해 EL.25.3m까지 상승함을 알 수 있고, H블럭도 그림 7(b)에서 최종매립고 EL.39.5m에 대해 침



(a) O Block



(b) H Block

그림 7. 매립고의 증가에 따른 침출수위 변화

출수위가 EL.22.8m까지 상승할 것으로 추정되었다.

압밀침하 분석은 매립이 진행됨에 따라 침출수위도 증가하는 조건(상승조건)과 현단계에서 침출수위의 누적이 지반강도 증가에 도움을 주지 못하는 점과 사면에 가하는 하중 증가를 일으킴을 감안하여 침출수위를 현상태(EL.11.5m)로 유지시키거나 EL.3.0m까지 저감시키는 조건(저감조건)으로 나누어 분석하였다. O블럭에 대해 그 결과를 분석해 보면, 그림8에서 매립고가 증가됨에 따라 침출수로 인한 수위가 상승할 경우 간극수압이 높아져서 유효응력의 상승에 큰 효과를 내지 못하였다. 그러나, 침출

수위 저감시 지중유효응력은 빠르게 증가함을 알 수 있었다.

침출수위 조건에 따라 매립단계별로 침하량(그림9) 및 압밀도(그림10)를 살펴보면, 침출수위를 저감시켜 차후 매립을 실시한 경우 상승조건에 비해 침하량이 커지고, 압밀도는 매립이 진행되는 동안 단계별 하중이 주어질 때마다 지반내 간극수압이 증가하여 Fluctuation 되는 현상을 보이고 있다. 그러나, 침출수위 조건에 대해서 압밀도 변화는 민감하지 않음을 알 수 있다. 또한, 폐기물 8단 매립이 4년에 걸쳐 완료된다고 가정할 때 압밀이 90%이상 이루어지는 시기는 7년째이며, 이는 매립장 폐쇄 후 3년정도가 걸리는 것으로 나타났다.

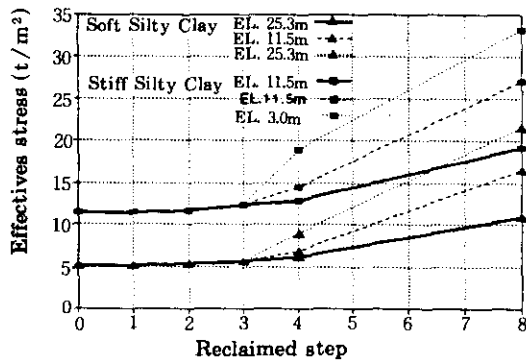


그림 8. O블럭의 침출수위 조건에 따른 각 토층의 유효응력 증가

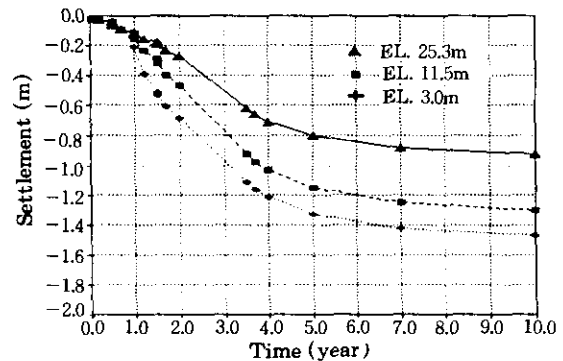


그림 9. O블럭의 침출수위 조건에 따른 시간별 침하량

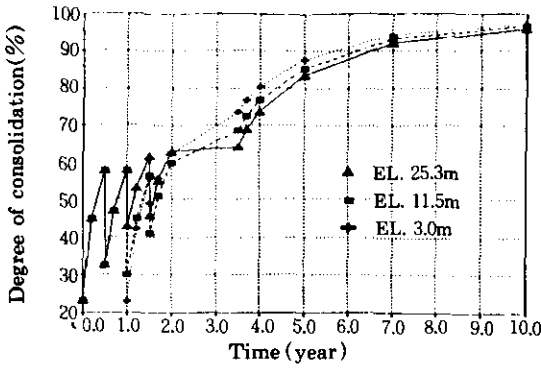


그림 10. O블럭의 침출수위 조건에 따른 시간별 압밀도

H블럭의 경우는 O블럭과 비교하여 압밀층이 얇은 관계로 그림11에서 보여주듯이 압밀이 빠르게 진행되며, 침출수위 상승시 계산되어진 최종침하량은 0.7m로서 O블럭의 같은 조건의 침하량 0.9m에 비교하여 작은 값을 보였다.

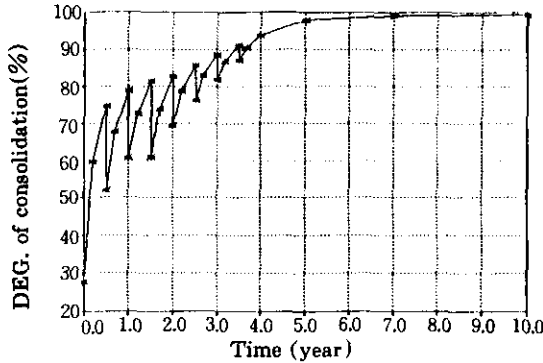


그림 11. H블럭의 침출수위 상승조건에서의 시간별 압밀도

3.3 사면안정 해석

본 논문에서의 사면안정 해석은 폐기물 매립 하중에 의한 압밀침하로부터 발생하는 강도증가분을 고려하였다. O 블럭에 대해서는 매립고 4단계와 8단계에서 침출수위 상승시(EL.25.3m)와 EL.11.5m, EL.3.0m로 저감시, H블럭에서는 침출수위 상승시(EL.22.8m), 지반응력 증가분과 압밀도를 이용하여 식(4)에 의해 비배수 전단강도의 증가분을 산출하였다.

$$C_{ui} = C_{u0} + \alpha \cdot \Delta p \cdot U \quad (4)$$

식(4)에서 강도증가율은 그림 12의 심도에 따른 압밀압력(또는, 유효상재하중)의 선형적 관계로부터 강도증가율을 산출하여 이용하였다.

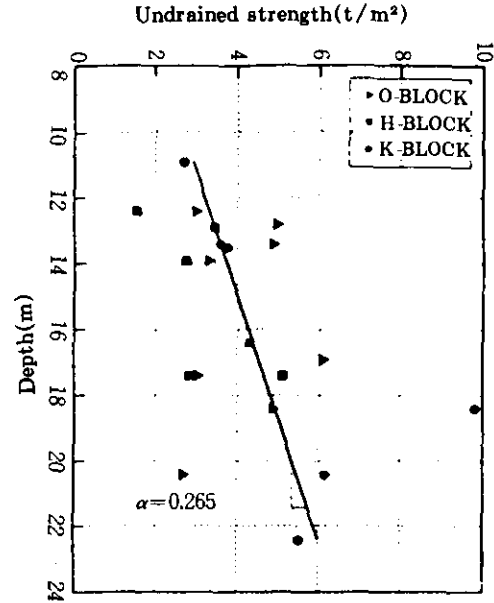


그림 12. 깊이에 따른 비배수강도의 강도증가율

강도증가식 (4)에 의해 계산된 폐기물 매립 단계에 따른 비배수강도의 증가분을 O블럭에 대해 살펴보면 그림 13과 같다. 이는 그림 8의 유효응력증가 곡선과 비슷한 양상을 보이고 있

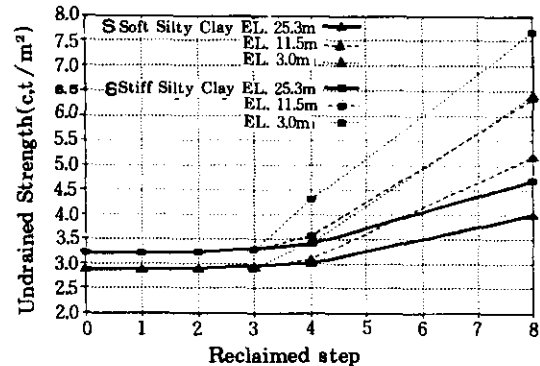


그림 13. O블럭의 침출수위 조건에 따른 매립 단계별 강도증가

어 유효응력 증가 여부에 따라 결정됨을 알 수 있고, 침출수위 저감시의 강도증가가 침출수위 상승시의 강도증가보다 매립단계별로 크게 상승하고 있음을 알 수 있다.

사면안정성 해석을 위한 단면형상은 블록별로 그림 14, 15에 표시되었다. 프로그램 해석상 단계별 형상은 각각의 경계면에 의해 구분되며, 지하수위면은 그림7에서 추정된 값에 근거

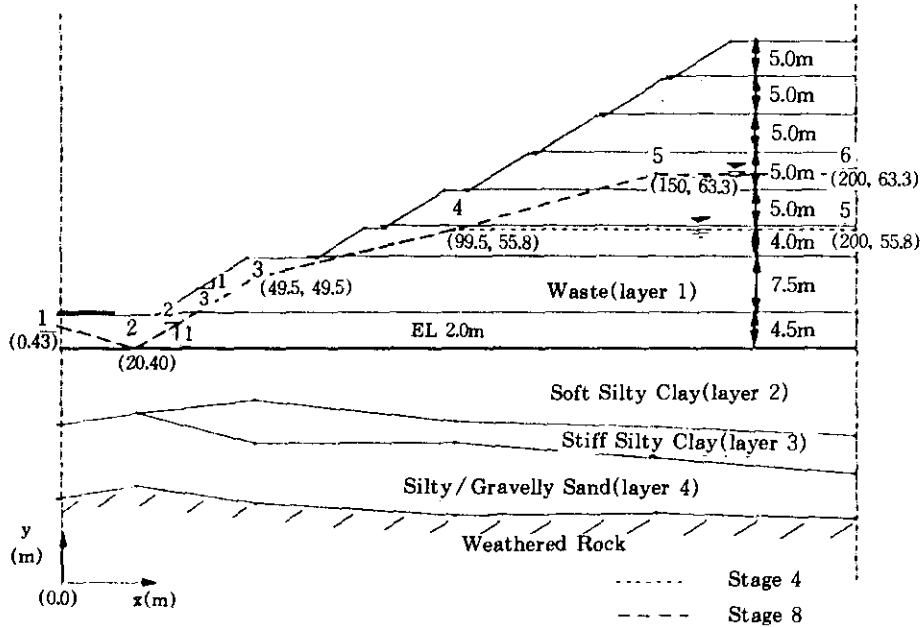


그림 14. O블록 지역의 사면안정해석에 이용된 단면형상

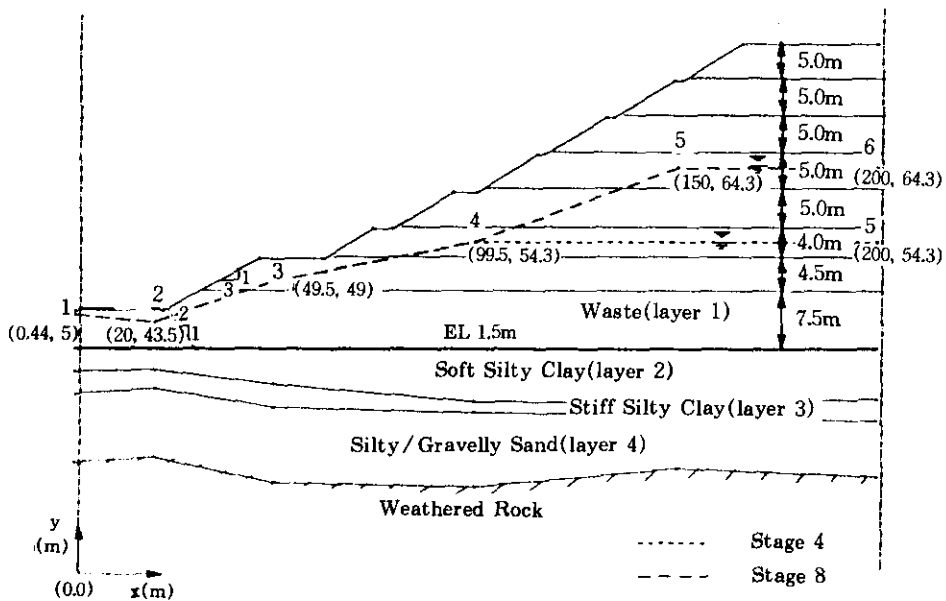


그림 15. H블록 지역의 사면안정해석에 이용된 단면형상

하여, O블럭인 경우 4단계 매립시 EL.17.8m, 8 단계 매립시 25.3m에 위치하며, H블럭인 경우 4단계 매립시 12.8m, 8단계 매립시 22.8m에 위치하는 것으로 가정하였다.

사면안정 해석에 적용되는 토성치는 매립 폐기물 및 기초지반토의 단위중량은 표1의 침하 해석에 적용된 값과 동일하며, 2단계 매립시 기초지반 점성토층의 비배수 전단강도는 일축 압축강도의 1/2 값을 적용하여 Soft Silty Clay와 Stiff Silty Clay별로 평균치를 산출하였고, 폐기물의 강도정수는 직접전단시험을 실시하여 자연시료와 수침시료에 대한 각각의 평균치를 산출한 다음 그 중 작은 값을 취하였다. 각 토층별 강도정수는 표2와 같다. 각 매립단계별 사면안정 검토에서는 이 값으로 부터 유효응력 증가에 의해 증가된 강도증가분의 값을 적용하였다.

제체사면의 안정성 해석은 각 블럭별로 앞에서 압밀침하에 의해 산출된 강도증가분과 매립 단계별 침출수위 증가를 고려하여 제체사면의 안정성을 분석하고, 또한 침출수위의 영향을

표 2. 안정성해석에 적용된 각 토층별 강도정수

토층별	강도정수		내부마찰각 ϕ (°)
	O블럭	H블럭	
Waste	0.097		26.4
Soft Silty Clay	2.90	2.39	0
Stiff Silty Clay	3.23	3.91	0
Silty or Gravelly Sand	0		38

무시한 경우의 사면 안정성을 비교·분석하였다. 압밀효과를 고려한 경우, 제체사면의 안전율을 계산한 결과, O블럭 지역에 대해서는 앞 절에서 계산된 4단계와 8단계에서 침출수위 상승조건과 저감조건에 대해 표 3에 나타낸 바와 같이 계속해서 침출수위가 상승할 경우 불안정한 상태로 나타나고 있고, 수위를 저감시켜 차 후 매립을 실시한 경우 안전율이 크게 상승함을 알 수 있다. H블럭도 표4에서 매립에 따라 계속적인 수위상승시 O블럭과 마찬가지로 6단계에서 8단계까지는 안전율 $F_s = 1.3$ 이하로 나타나고 있다.

표 3. O블럭의 침출수위 조건에 따른 예측 안전율 (F_s)

침출수위		산출방법	JANBU's Simplified Method		BISHOP's Simplified Method		SPENCER's Method	
			4단계	8단계	4단계	8단계	4단계	8단계
상승조건	4단계 : EL.17.8m	8단계 : EL.25.3m	1.076	0.938	1.225	1.020	1.193	0.983
	EL.11.5m							
저감조건	EL. 3.0m		1.721	1.621	1.932	1.756	1.907	1.723

표 4. H블럭의 침출수위 조건에 따른 예측 안전율 (F_s)

침출수위		산출방법	JANBU's Simplified Method	BISHOP's Simplified Method	SPENCER's Method
4단계 (EL.19.5m)	EL.12.8m		1.328	1.352	1.383
5단계 (EL.24.5m)	EL.15.3m		1.234	1.314	1.282
6단계 (EL.29.5m)	EL.17.8m		1.200	1.278	1.243
7단계 (EL.34.5m)	EL.20.3m		1.154	1.212	1.179
8단계 (EL.39.5m)	EL.22.8m		1.139	1.212	1.176

위에서 살펴본 바와 같이 단계별 매립에 따른 침출수위의 지속적인 상승은 매립장 체체사면의 안정성에 큰 영향을 초래하는 것으로 판단되었으므로, O블럭의 경우 침출수위에 따른 안전율의 관계도를 조사한 결과 그림 16에서 나타낸 바와 같이 본 매립장과 같은 특수 구조물에 대한 허용안전율 $F_s \leq 1.3$ 을 만족시는 적정수위는 4단계 매립시 EL.15.2m, 8단계 매립시 EL.16.2m이하로 유지되어야 할 것으로 평가되었다.

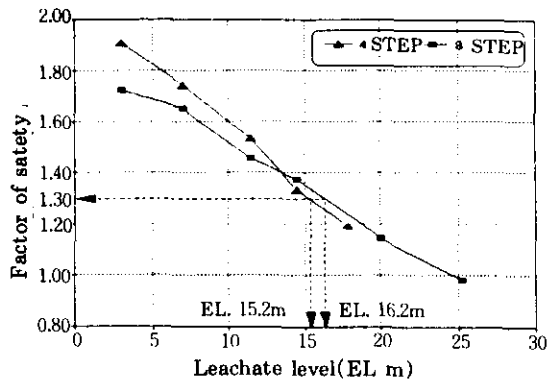


그림 16. O블럭의 8단계 매립시 침출수위 - 안전율 관계도

4. 계측자료를 이용한 안정성 분석

제1공구 매립장에 대해 '92년 10월부터 '95년 3월까지 계측한 자료 (수도권 매립지, 1995)를 바탕으로 현 매립단계 (2단계)까지의 침하량을 검토하였다.

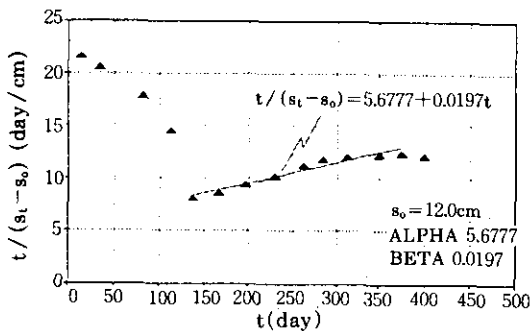


그림 17. O블럭의 쌍곡선법에 의해 추정된 계수 α, β

$$\text{침하 예측식: } S_t = S_0 + \frac{t}{5.678 + 0.020t} \quad (5)$$

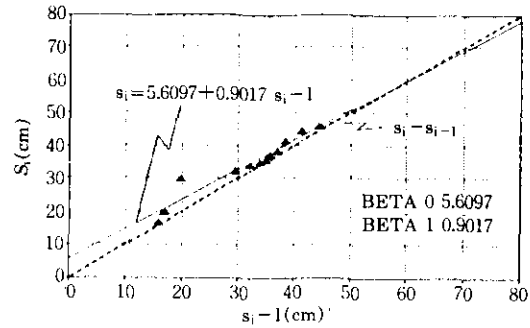


그림 18. O블럭에서 지수함수법에 의해 추정된 β_0, β_1

$$\text{침하 예측식: } S_t = 5.610 + 0.902 S_{t-1} \quad (6)$$

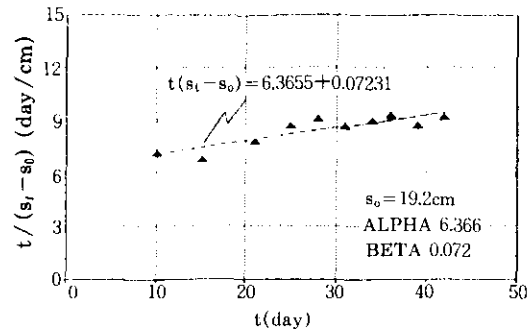


그림 19. H블럭에서 쌍곡선법에 의해 추정된 계수 α, β

$$\text{침하 예측식: } S_t = S_0 + \frac{t}{6.366 + 0.072t} \quad (7)$$

H블럭, O블럭에 대해서 2단계 매립시점까지의 계측자료를 바탕으로 쌍곡선법과 지수함수법을 이용, 침하관련 계수치를 추정한 결과 그림 17~20과 같이 나타났으며, 산출된 침하예측식은 식(5)~(8)과 같았다. (船木輝海, 1976)

침하곡선의 계측치와 예측치의 상관관계를 그림 21에 도시하여 보았는데 2단계 매립단계까지 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

2단계까지 계측자료에 의해 추정된 각 기법별 계수값을 이용하여 산출된 침하예측치(계측치)와 앞의 침하해석에서 계산된 이론치를 비교, 검토하면 표5와 같다. 그 결과 H블럭의

경우 이론치와 계측침하량의 값이 비슷하나 O블럭의 경우 각 방법별 예측치가 모두 Terzaghi 압밀해석에 의한 결과보다 다소 큰 침하량을 보여주고 있는 것으로 나타나고 있다. 그 이유는 H, O블럭의 매립재의 성상 차이에 의한 것으로서, H블럭은 매립재가 생활폐기물이 주를 이루는 반면에 O블럭은 생활폐기물과 더불어 단위중량이 큰 산업폐기물이 매립되어 계측치가 크게 나타난 것으로 사료된다.

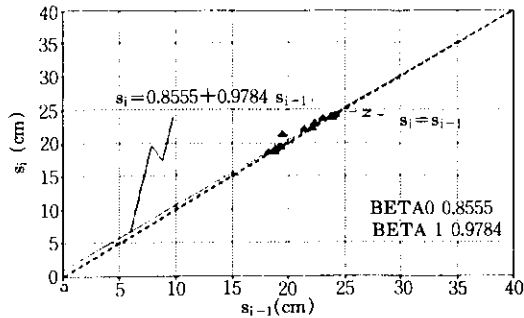


그림 20. H블럭에서 지수함수법에 의해 추정된 β_0, β_1 침하 예측식 : $S_i = 0.856 + 0.978 S_{i-1}$ (8)

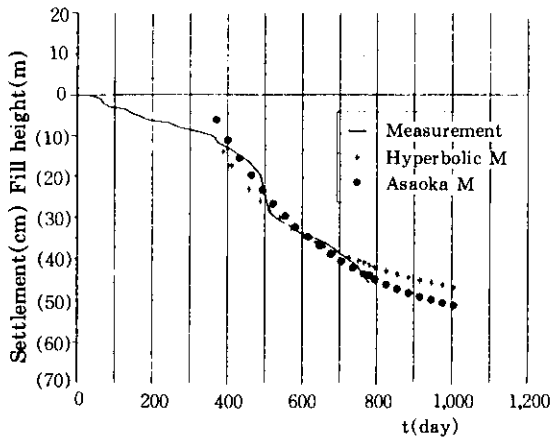


그림 21. 침하곡선의 계측치와 예측치의 비교(O블럭)

표 5. 현 매립단계(2단계)까지의 이론침하량과 계측침하량의 비교 (단위 : cm)

관리번호	이론치			쌍곡선법	지수함수법
	측시	압밀	계		
H블럭(Y-13)	8.3	21.1	29.4	25.5	24.9
O블럭(Y-18)	10.0	19.4	29.4	41.2	44.0

또한, 침하예측을 위해 사용했던 쌍곡선법을 적용 압밀계수를 역해석하므로써 실내시험에 의해 설계시 반영했던 압밀계수의 값을 재검토한 결과, $C_v = 2.26 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{sec}$ 로 평가되어 실내시험에 의한 압밀계수 $C_v = (2.0 \sim 3.0) \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{sec}$ 에 잘 부합하는 것으로 나타났다.

5. 결론 및 연구과제

본 연구는 연약한 기초지반상에 매립되는 폐기물 매립장에 있어서 기존의 압밀침하에 의한 강도증가를 고려함이 없이 시추된 토질강도만을 이용하여 안정해석을 실시하던 방법을 지양하고, 연약토층의 압밀특성을 고려한 사면안정성 평가를 수행하고, 계측자료를 이용하여 검증하였다. 그 결과 나타난 결론은 다음과 같다.

1. 단계별 매립에 따른 유효응력 증가는 침출수위가 계속 상승될 경우 매립이 진행되는 동안은 유효응력 증가가 작게 나타나고 있다. 압밀침하로 인한 강도증가는 수위상승의 경우 매립이 진행되는 동안에는 변화가 거의 없으나 매립이 종료된 이후에는 강도의 증가가 이루어지며, 그 변화는 수위상승을 방지시키거나 저감시켰을 때 더 크게 나타났다.
2. 압밀진행상태를 고려한 사면안정 해석결과를 보면, O블럭의 경우 4단계 매립시까지는 수위상승의 경우 안전율 1.193으로서 안정성이 미진하나마 확보되는 것을 알 수 있으나, 8단계 매립이 끝난 직후에는 안전율이 0.983으로서 불안정함을 알 수 있다. 수위를 현상 상태에서 저감(EL. 3.0m 기준)시켜 차후 매립을 실시할 경우, 매립체체의 안전율은 4단계 매립시 1.932, 8단계 매립시 1.723으로서 안정성이 크게 확보되는 것을 알 수 있다.

H블럭의 경우는 수위상승의 경우에 대해서 각 단계별로 사면안정 해석을 실시하였는데, 5단계 매립이후부터 안전율이 1.282로서 불안정하여짐을 알 수 있다.

3. O블럭에 대해 침출수위 영향을 고려한 제체 사면의 안전율을 평가한 결과 건설부 구조물 설치기준 허용안전율 $F_s \leq 1.3$ 을 만족시의 적정수위는 4단계 매립시 EL. 15.2m, 8단계 매립시 EL.16.2m 이하로 유지되어야 하는 것으로 나타났다. 따라서, 본 매립장의 안정성 확보를 위해서는 설계에 계획한 구배의 변경과 양수 또는 매립장 제체부에서의 수평배수층 침출수위 저하공법을 검토하여야 할 것으로 사료된다.
4. 폐기물 하중과 침출수 높이를 고려한 압밀 해석으로 부터 해석한 현 단계에서의 침하량은 H블럭의 경우 현장 침하계측치와 잘 일치하였으며 O블럭의 경우는 계측치가 크게 나타났는데, 이는 일반 생활폐기물과 더불어 단위중량이 큰 산업폐기물이 혼합 매립되었던 O블럭의 특성에 의한 것으로 사료된다. 또한, 계측치에 의해 역해석한 압밀계수는 설계시 적용했던 실내시험 압밀계수값과 잘 부합되는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 김포 수도권 매립지(제 1공구) 안정성 조사 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다. 수도권 매립지 관계자 여러분과 많은 자료를 제공한 선진엔지니어링, 현장조사를 수행하여 주신 평원엔지니어링 관계자 여러분께 심심한 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

1. 수도권매립지 운영관리조합(1994), "수도권매립지(1공구) "Q" B/L 흙제방 파괴부 토질조사보고서".
2. 수도권 매립지 운영관리조합(1995), "수도권매립지 1공구 매립작업 및 부대공사-계측관리 종합보고서".
3. 평원엔지니어링(1995), "수도권매립지(1공구) 기반시설 보완 학술용역-현장조사 결과 보고서".
4. 환경처(1988), "김포지구 수도권 해안매립지 조성사업 토질조사 보고서".
5. Achilleos, E.(1988), "User Guide for PCSTABL5M", Report JHRP-88/19, School of Civil Engineering, Pudedue Univercity, Lafayette, Indiana.
6. Casagrande, A.(1932), "Research on the Atterberg Limits of Soils", Public Road, Vol. 13, No.8, pp.121-136.
7. Wong, K.S. and J.M. Duncan(1984), "CONSOL : A Computer Program for 1-D Consolidation Analysis of Layerd Soil Masses", Geotechnical Eng. Report. No. UCB/GT/84-06, University of California, Berkeley
8. 船木輝海(1976), "軟弱地盤の盛土による沈下の時間的經過に關する問題、特にその實用的豫測技法について", 京都大博士論文.
9. 淺岡頭(1978), "沈下-時間關係豫測の信賴性解析", 第13回土質工學研究發表會, pp.277-280.

(접수일자 1996. 2. 21)