

포설형 표층고화처리공법의 적용성 검토 -경서동 신규매립장 조성사례 중심-

Applicability Examination of PSM in Waste Landfill Liner Construction
-Focused on Kyeong Seo Dong New Landfill Build-up-

진성기*1, 하헌중*2, 김두영*3

1. 서론

인천국제공항 고속도로(총연장 40.2km) 연육교 제 3공구(영종도 해상~경서동) 건설구간중 매립종료후 약 5년이 경과한 경서동 매립지를 통과하는 구간(L=732km)이 발생하여 약 59.1만m³의 일부생활쓰레기에 대해 사전 안정화 공사 및 굴착, 이송처리가 필요하였으며, 쓰레기 굴착시 수반되는 가스 및 악취발산, 메탄(CH₄)누출로 인한 폭발 위험성을 제거하기 위해 Smell-Well System공법을 도입하여 안정화작업을 실시하였고, 굴착쓰레기의 최종처분을 위해 기존 수도권매립지로의 반출이 불가능하여 경서동매립지 북측에 약 36,030m² 면적의 신규매립장을 조성하여 재매립작업을 시행하고자 하였다. 본 신규매립장의 원지반은 해성점토층이 20m 정도 분포하고 특히 상부 8~12m는 N치 10이하의 연약지층으로 구성되어 있으므로 이러한 지반 상부에 침출수 차단시설 및 집·배수시설 등을 설치할 경우 높은 지하수위로 인한 과잉간극수압 발생, 차수층의 파손으로 인한 상부 침출수의 하부 유입, 쓰레기 매립 하중 증가에 따른 원지반의 부등침하 발생 등 여러 가지 구조적인 문제점을 내포하고 있다. 따라서 신규매립장의 바닥 차수층은 적절한 지지력 및 저 투수성을 확보해야 하는 두가지 기능

을 충족시키기 위해 고화제를 분말상태로 혼합 후 소정의 다짐도로 전압하여 시공하는 포설형 표층고화처리공법을 적용하여 원지반의 부등침하 방지, 침출수관로 및 배수층의 기능 유지, 장비의 주행성 확보 및 침출수로 인한 지반오염을 최소화시키고자 하였다.

본 연구의 목적은 향후 해안매립지내 해성 점성토층으로 구성된 연약지반상에 조성될 폐기물매립장의 적절한 국내 모델로서 경서동 신규매립장의 시공사례를 제시하고 고화처리층의 차수층으로서의 적합성을 검토하는데 있다.

2. 공사개요

인천국제공항 고속도로 연육교 제 3 공구 경서동 신규매립장 조성공사는 인천광역시 서구 경서동 간척지에 기 시행완료되었으며 전체 공종은 약 59.1만 m³의 굴착쓰레기에 대한 사전 안정화 공사(오스트리아, Smell Well공법)와 신규매립장 조성공사(포설형 표층고화처리공사)로 대별되며 본 논문에서는 국내 최초로 연약지반상 차수층 공사에 적용되어 시공 완료된 표층고화처리공법에 의한 신규매립지 조성공사에 대해서만 기술하고자 한다.

2.1 신규매립지 조성공사

신규매립지의 매립면적은 관리동 부지를 포함해서 약 36,030m²로서 매립용량은 약 62.3만m³이며 평

*1 정희원, 동아건설산업 기술연구소 선임연구원

*2 정희원, 동아건설산업 기술연구소 연구원

*3 정희원, 동아건설산업 기술연구소 소장

관 매립고는 27.0m로서 설계되어 있으며 개략적인 현장개요는 그림 2.1과 같다.

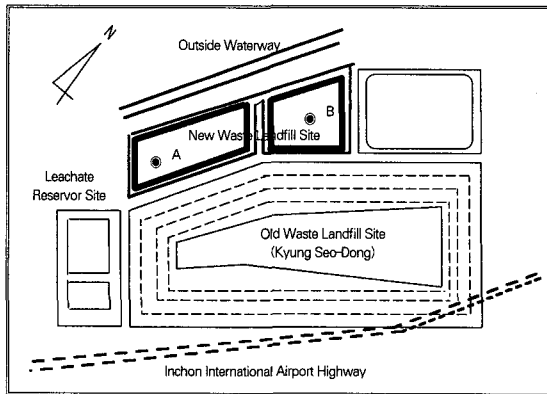


그림 2.1 현장 개요도

2.2 지반토질특성

신규매립장 조성부지의 대표적인 2지점에 대한 시추조사 결과 토질주상도는 아래 그림 2와 같다.

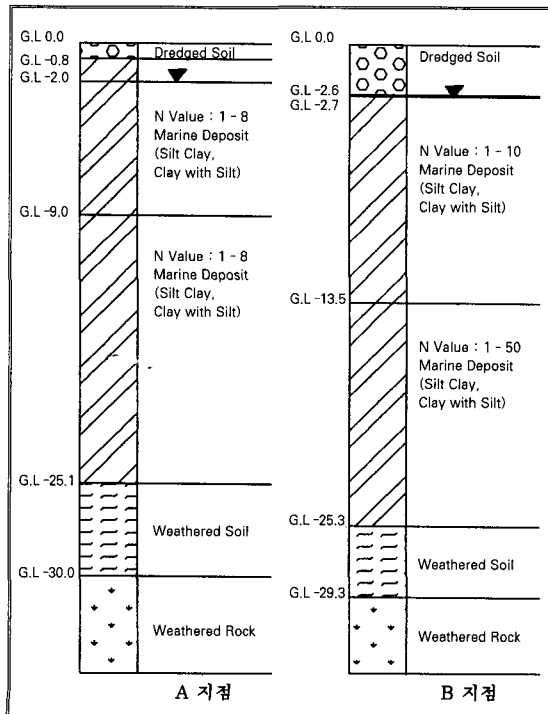


그림 2.2 토질 주상도

2.2.1 물리적, 역학적 특성

1) 상부퇴적층의 물리적 특성

신월샘플러(Thin Wall Sampler)에 의해 채취된 불교란시료를 대상으로 실시한 실내시험 결과 통일 분류법상 CL로 분류되며 자연함수비가 액성한계에 도달하는 연약한 지반으로서 표 2.1과 같다.

표 2.1 지반의 물리적 특성

공 번	A지점	B지점
심도(m)	6.0~6.8	6.0~6.8
통일분류	CL	CL
비중(G_s)	2.70	2.69
자연함수비(w_n)(%)	39.4	34.7
액성한계(LL)(%)	39.3	34.5
소성지수(PI)(%)	18.0	11.4
No.200체 통과량 (%)	18.0	11.4

2) 상부 퇴적층의 역학적 특성

표 2.2 지반의 역학적 특성

구 분	A지점	B지점
일축압축강도(q_u)(kg/cm^2)	0.63	0.40
점착력(C)(kg/cm^2)	0.38	0.34
압축지수(C_c)	0.34	0.20
선형압밀하중(P_c)(kg/cm^2)	1.20	0.85

2.2.2 투수특성

조사지역에 분포하고 있는 퇴적층의 투수성을 파악하기 위해 시추공을 이용한 주수법중 변수위법(Falling Water Level Method)에 의한 현장투수시험결과 현장 투수계수는 $5.72 \times 10^{-6} \sim 4.11 \times 10^{-6} cm/sec$ 범위에 분포하는 것으로 나타났다.

표 2.3 현장 투수시험결과

구 분	시추공 NO.	심도(m)	k(cm/sec)(Mean)
신규매립지	A	6.0~6.8	4.11×10^{-6}
	B	11.0~11.8	5.72×10^{-6}

기술기사

3. 표층고화처리

3.1 표층고화처리공법 선정 배경

신규매립장 원지반은 점토 및 실트로 구성된 해성 점성토층이 약 18~25m의 두께로 분포하며 특히 상부 8~12m 정도는 N치가 10 이하의 연약지반으로서 이러한 지반 상부에 침출수 차수층 및 집배수시설을 설치할 경우, 쓰레기 매립 하중으로 인해 원지반의 국부적인 침하가 수반되며 이에 따라 차수층, 집배수 시설 등의 원지반 상부 시설물에 여러 가지 구조적인 결함을 초래할 수 있다. 본 신규매립장의 차수재로서 합성수지 차수막(HDPE), 자연점토 및 표층고화처리공법 등이 검토되었으나 현장 시공성, 매립지의 구조적인 안정성 확보, 재료의 취득 및 경제성 등을 감안하여 본 매립지의 지역적 특성에 적합한 차수시설로서 표층고화처리공법이 선정되었다.

3.2 설계-차량하중에 따른 지반내 응력검토

매립장 차수층 조성 완료후 편재하중의 최대값은 폐기물 1단 매립시 또는 기반시설 조성시 차량하중이 작용하는 경우로 예상하여 Dump Truck(차체중량 15ton)의 만재시의 하중을 최대 작용하중으로 가정하였다

표 3.1 설계조건

차량중량(30 Ton)	후륜하중(0.4w)	30×0.4=12 Ton
	충격계수	1.3
D/T접지면	길이(cm)(L)	50
	폭(cm)(B)	40
D/T접지압	78 t/m ²	
극한지지력(q _r)	q _a ×1.5=117t/m ²	
고화층의 점착력	Cu ₁	q _u 의 1/3
원지반의 점착력	Cu ₂	3.6t/m ²

고화처리층의 강도 및 심도를 결정하기 위해 간편법(2:1분포법)과 Boussinesq법에 의해 원지반에

가해지는 연직응력과 Terzaghi의 지지력공식에 의해 원지반의 허용지지력을 산정하였으며 Dump Truck 만재시의 작용하중에 대해 고화처리층의 펀칭(Punching)파괴를 검토하였다.

3.2.1 연직응력

간편법(2:1분포법)에 의해 원지반에 가해지는 연직응력산정을 위한 개념도는 그림 3.1과 같으며

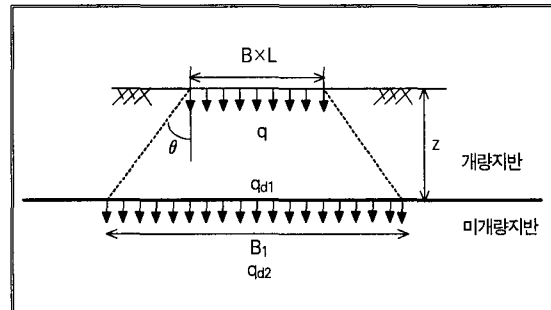


그림 3.1 간편법(2:1분포법)의 응력분포

연직응력 계산식은 식 3.1과 같다.

$$\sigma_z = \frac{q \times B \times L}{(B + 2z \tan \theta)(L + 2z \tan \theta)} = \frac{q \times B \times L}{(B + z)(L + z)}$$

(단, $\tan \theta = 1/2$)

(3.1)

식 3.1로 산정한 수직응력 σ_z 와 원지반의 지지력 q_{d2} , 개량층의 지지력 q_{d1} 과 등분포하중 q 를 비교하여, $q_{d2} > \sigma_z$ 및 $q_{d1} > q$ 의 조건을 만족하도록 고화처리 강도 및 고화처리 두께를 결정하였다.

Boussinesq법에 의한 연직응력은 지반을 반무한 탄성체로 가정시 그 표면에 재하된 연직하중에 의한 지반내 응력은 원형 등분포하중과 구형등분포하중에 대하여 해석하고 있으나 Dump Truck의 차륜하중을 그림3.2와 같이 원형 등분포하중으로 가정하여 연직응력을 산정하였으며 계산식은 식 3.2와 같다.

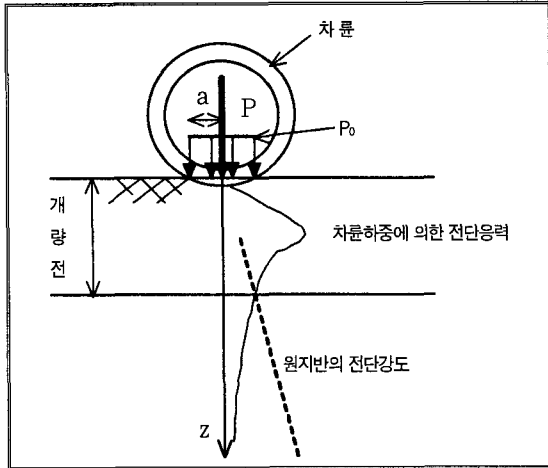


그림 3.2 차륜하중에 의한 전단응력

차륜하중을 원형등분포하중으로 고려할 경우 그 중심축아래의 최대전단응력은 식 3.2로 구하며 계산된 연직응력과 허용지지력을 비교해서 연직응력이 지반의 허용지지력보다 작게되는 심도까지를 개량심도로 한다.

$$\sigma_z = P_0 \left[1 - \frac{(z/a)^3}{(1+z/a)^{3/2}} \right] \quad (3.2)$$

여기서, σ : 지반내에 발생하는 중심축 아래의 최대연직응력(kg/cm²)

P_0 : 타이어의 접지압(kg/cm²)

$$(P_0 = \frac{1000 \cdot P}{\pi a^2} = \frac{1000 \cdot P}{\pi(12+P)^2})$$

z : 표면으로부터의 깊이

a : 지표면의 반경 $a=12+P$ (cm)

P : 차륜하중(ton)

3.2.2 지지력

고화처리층을 확대기초로 가정하여 Terzaghi 공식에 의해 허용지지력을 산정하였다.

$$q_a = \frac{1}{F_s} (\alpha C N_c + \beta \gamma_1 N_r + \gamma_2 D_F N_c) \quad (3.3)$$

여기서, $\alpha : 1, \beta : 0.5, \psi = 0$ 일때 ; $N_c : 5.7,$

$N_q : 1, N_r : 0$

C : 원지반의 점착력(t/m²)

D_F : 근입깊이(m)

γ_1 : 고화층의 습윤단위중량(t/m³),

γ_2 : 원지반층의 습윤단위중량(t/m³)

3.2.3 Punching Shear

고화처리층 상부에서 작업 및 고화처리토 적재후 주행하는 Dump Truck 하중에 따른 접지압에 대하여 Punching Shear를 검토하였다. Punching Shear 개념도는 그림 3.3과 같으며 극한지지력 및 허용지지력은 각각 식 3.4 및 식 3.5와 같다.

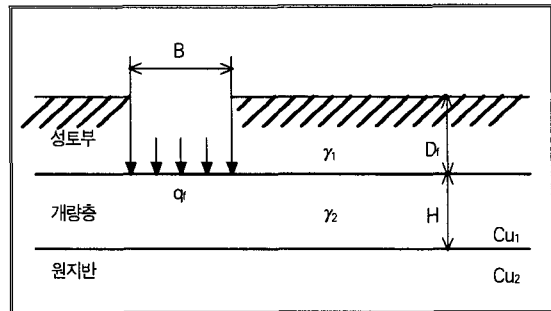


그림 3.3 Punching Shear 개념도

$$q_j = \frac{2(B+L)H}{BL} C_{u1} + \left(1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c} \right) N_c C_{u2} + \gamma_1 D_f \quad (3.4)$$

$$q_a = \frac{1}{F_s} \cdot q_j \quad (3.5)$$

여기서, q_j : 극한지지력(t/m²)

B : 기초폭(m), L : 기초의 길이(m)

D_f : 기초의 근입깊이(m)

C_{u1} : 개량층의 점착력(t/m²)

C_{u2} : 원지반의 점착력(t/m²)

γ_1 : 성토의 단위체적중량(t/m³)

기술기사

$N_c : 5.14, N_q : 1.0$ (Caquot-kerisel
 지지력계수적용, $\psi=0$ 시)
 q_a : 허용지지력
 F_s : 안전율(장기 $F_s=3$, 단기 $F_s=1.5$)

3.3 설계검토 결과

상부 차량하중에 따른 고화처리층 심도별 하중분포 및 허용지지력 산정 결과는 표 3.2과 같으며 그 결과를 그림 3.4에 나타내었다.

표 3.2 고화처리층의 심도에 따른 지지력변화

심도(cm)	연직응력(t/m ²)		허용지지력 ($F_s = \frac{2}{3}$)
	간편법(t/m ²)	Boussinesq법	
50	13.33 (17.33)	29.85	13.29
55	12.03 (15.64)	26.97	13.34
60	10.91 (14.18)	24.83	13.40
65	9.94 (12.92)	22.07	13.46
70	9.09 (11.82)	20.01	13.51
75	8.35 (10.85)	18.19	13.57
80	7.69 (10.00)	16.57	13.63
85	7.11 (9.24)	15.13	13.68
90	6.59 (8.57)	13.86	13.74
95	6.13 (7.97)	12.72	13.80
100	5.71 (7.43)	11.71	13.85
비고	*()는 충격하중 고려시 ($i=1.3$)		

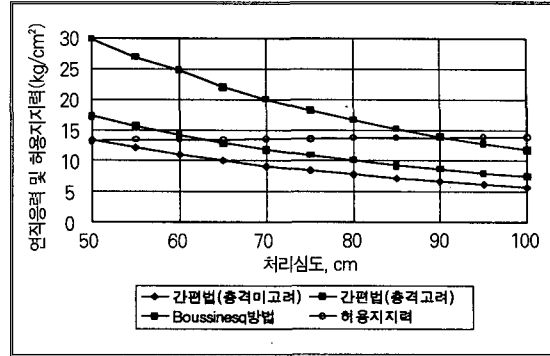


그림 3.4 표준고화처리심도에 따른 연직응력과 지지력의 관계

또한 고화처리층 일축압축강도의 1/3값을 고화처리층의 C값으로 산정하여 고화처리후 Punching Shear를 만족하는 최소두께를 식(3.5)를 사용하여 결정하였으며 그 결과는 표 3.3과 같다.

$$H = \left\{ q_j - \gamma_1 D_f - \left(1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c} N_c C_{u2} \right) \right\} \frac{BL}{2(B+L)C_{u1}} \quad (3.6)$$

표 3.3 Punching Shear에 따른 고화처리층의 강도 결정

구분	소요두께(cm)	
일축압축강도, q_u (kg/cm ²)	2	175
	3	117
	4	88
	5	70
	6	58
	7	50
	8	44
	9	39

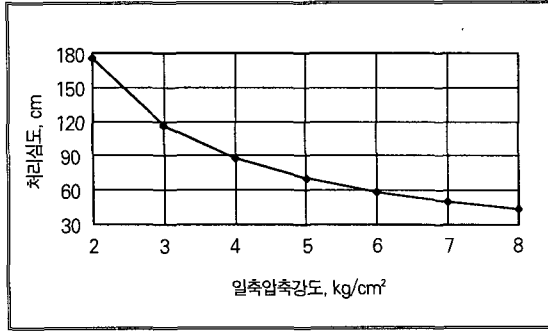


그림 3.5 표층고화처리심도에 따른 연직응력과 지지력의 관계

간편법에 의하면 고화처리층의 심도가 65cm인 경우 허용지지력이 충격하중 고려시의 작용하중을 초과하며 Boussinesq법의 경우 간편법보다 연직응력이 크게 산정되어 심도 95cm인 경우 작용하중에 대해 안정한 것으로 나타났으며 Punching Shear식에 의한 고화처리층의 일축압축강도 검토결과 5kg/cm²로 개량시 70cm, 4kg/cm²으로 개량시 88cm의 처리심도가 소요되는 것으로 나타났다. 이상의 검토결과와 고화처리층의 작용하중에 대한 안정성 및 폐기물관리법에서 정하는 지하수오염 방지 시설의 설치기준 등을 고려하여 본 신규매립장 차수층 설치를 위한 표층고화처리공사의 설계기준은 침출수 집·배수관로, 배수층 등의 기능저하 및 손상방지를 위해 지지력증가 및 하중분산 효과를 기대하기 위해 고화처리 목표강도 5.0kg/cm²이상, 처리심도 1m를 적용하였으며 매립지 주변 지하수 오염방지를 위해 고화처리층의 투수계수는 1×10⁻⁷cm/sec 이하 기준을 적용하였다.

4. 표층고화처리공법 시공방법

폐기물 매립장 차수층 조성을 위한 표층고화처리 공법에는 시공방식에 따라 고화제를 액상(Slurry) 상태에 원지반과 교반·혼합하는 원위치 교반방식과 분말상태로 혼합하는 포설방식으로 구분되나 작업여건상 본 현장에 적합한 포설방식 표층고화처리공법

을 적용하였다.

4.1 바닥 차수층

부직포(700g/m²)위에 쇄석(φ 50~100mm)을 하부배수층으로 포설하고 직포(5t/m)설치층위에 포설형 표층고화처리층을 두었으며 그 상부에 균질한 쇄석(φ 25~40mm)을 포설하여 배수층을 설치하고 여과층으로 부직포(700g/m²)를 두었으며 발생한 침출수의 신속한 집수를 위하여 배수층의 경사를 지형조건을 고려하여 2~3%로 시공하였다.

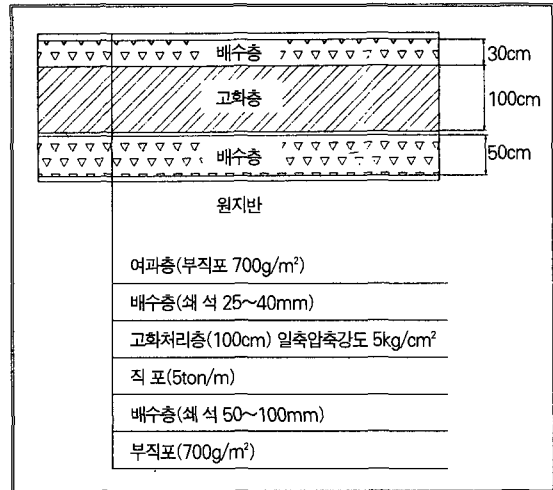


그림 4.1 바닥 차수층 단면도

4.2 침출수 집배수 시설

배수층 내부에 설치된 침출수 집수 및 이송관로는 침출수를 처리장으로 신속히 이동하기 위한 시설로서 배수층 내부에 40m간격으로 지선관로(φ 200mm)와 각 지선관로와 연결되어 펌프정으로 이송하기 위한 간선관로(φ 300mm)로 구성된다. 지선관로의 경우 집수간격 20m, 집수경사 2~3% 및 관로 경사 0.6%를 유지하였으며, 간선관로의 경우 관로경사 0.5%로 설치하였다. 각 관로는 쇄석이나 잡석을 이용한 수평 배수층을 설치하였으며 관 저부에 침전물 퇴적을 방지할 수 있는 유속(0.6~3.0m/sec)을 기준으로 구배를 설정하였다.

■ 기술기사 ■

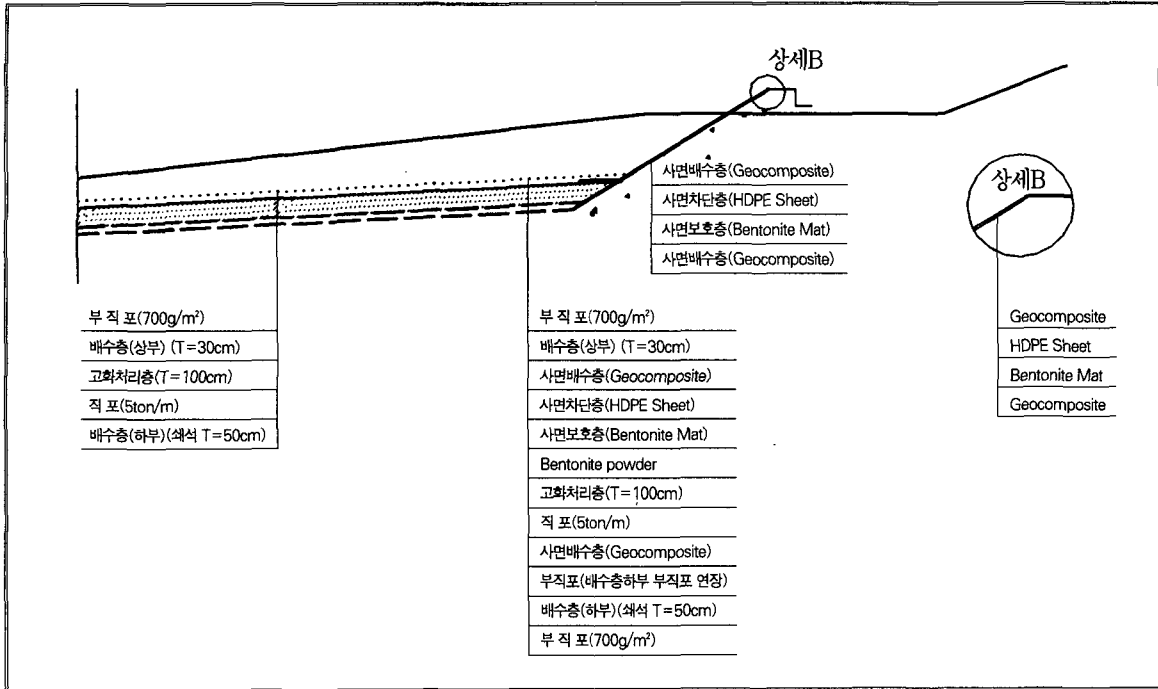


그림 4.2 지하수 오염 방지시설 계획단면도(바닥부)

4.3 사면조성

본 신규매립장 흡제방 내측사면은 고화처리층의 다짐이 용이하지 않으므로 사면부 차수시설은 바닥부와는 별도로 합성수지 차수막(HDPE Sheet, 2.0mm)을 포설하였고 그 하부에 점토층 대응으로 Bentonite Mat를 포설하였고 그 상부에는 차수막 보호 및 사면 배수를 위한 인공배수층(Geo-Composite)을 포설하였다.

5. 품질관리 시험

표층고화처리공법의 적용에 앞서 먼저 고화제에 대한 화학성분분석 및 용출시험을 실시하여 환경상의 위해성을 검토하였으며 고화처리후 처리된 지반이 소정의 강도와 투수계수를 확보할 수 있도록 실내에서 원지반토와 고화제를 다양한 비율로 섞어 시험한 후 적정

고화제 배합비를 산정하였다. 또한 고화제의 혼합을 위하여 원지반토에 대한 물성시험을 실시하여 기본적인 흙의 성상을 파악하였으며 표준다짐에너지에 의하여 일축압축강도 및 투수시험용 공시체를 제작하였다.

5.1 고화제 성분 분석 시험

고화제 성분분석시험은 원지반을 고화제를 이용하여 표층고화처리를 시행할 경우 고화제의 화학성분에 의한 토양 및 지하수오염 또는 인체에 대한 직접적인 위해성을 파악하기 위하여 실시하였으며 분말상의 고화제임에 기준하여 “포트랜드시멘트 성분분석시험”(KS L5201-94 규정)에 따라 분석시험을 실시하였다. 고화제 성분분석 시험 3회 평균결과 고화제의 화학성분은 CaO 42.2%, SiO₂ 34.8%, Al₂O₃ 12.84% 및 기타 함유량 순으로 나타났으며 그림 5.1과 같다.

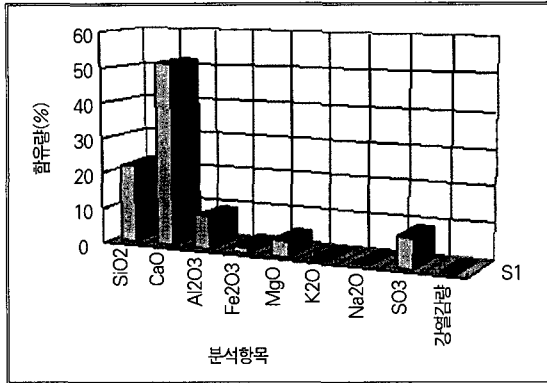


그림 5.1 고화제 성분분석 시험결과

5.2 고화제의 용출시험

본 시험의 목적은 고화제를 용출시켜 그 성분 및 특성을 분석하는 데 있으며 고화제의 용출실험은 수질오염, 폐기물 공정시험방법에 의해 실시하였다.

용출조작은 상온, 상압하에서 진탕회수가 매분 약 200회, 진폭이 4~5cm의 진탕기를 사용하여 6시간 연속하여 진탕한 후, 0.1 μ m의 유리섬유 여과지로 여과하고 여과액을 적당량 취하여 검정용 시료로 하였고, 여과가 곤란한 경우에는 진탕한 시료액을 원심분리기를 사용하여 매분당 3,000회전 이상으로 20분 이상 원심분리시킨 후 그 중 적당량을 취하여 검정용 시료로 하였다. 용출실험 결과는 표 5.1과 같으며 수질환경보전법상의 수질기준상 오염물질기준과 비교해 본 결과 오염물 기준치를 초과하지 않는 것으로 나타났으나 고화제의 pH치는(20℃) 12.3으로 강알칼리성을 갖는 것으로 나타났다.

5.3 시료토의 기본적인 물성시험

실내에서 원지반토와 각 고화제를 섞어 공시체를 만들기 전에 앞서 원지반토의 물리적 성질 및 현장밀도를 파악하기 위하여 기본적인 토성시험 및 현장밀도 시험을 실시하였다. 시험은 원지반토의 교란을 최소화하기 위해 인력에 의해 대상지반 하부 1.5m를 굴착한 후 Sampler에 의해 불교란시료를 채취하여 실내에서 시험을 수행하였다. 기본적인 토성시험 및 입

도 1회, 현장 밀도시험 3회를 실시한 결과를 표 5.2에 요약하였다.

표 5.1 고화제 성분 및 수질환경보전법상 오염물질기준

지역구분 항목	사용고화제	청정	가	나	특례
CN ⁻ (mg/l)	불검출	0.2 이하	1 이하	1 이하	1 이하
Cu (mg/l)	0.05	0.5 이하	3 이하	3 이하	3 이하
Cd (mg/l)	불검출	0.02 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
Hg (mg/l)	불검출	불검출	0.005 이하	0.005 이하	0.005 이하
As (mg/l)	불검출	0.1 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하
Pb (mg/l)	불검출	0.2 이하	1 이하	1 이하	1 이하
Cr ⁶⁺ (mg/l)	불검출	0.1 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하

*청정: 환경기준 수질로서 1등급정도의 수질보전 구역에 영향을 미치는 지역

*가: " 2등급 "

*나: " 3, 4, 5등급 "

*특례: 상기등급 이하 지역

표 5.2 원지반토에 대한 토성시험 및 밀도시험결과

비중(Gs)	2.636
자연함수비(w _n)	40.1
액성한계(LL)	27.7
소성한계(PL)	21.7
소성지수(PI)	6.0
통일분류	CL
γ_t	1.761
γ_d	1.257

비고: 원지반 밀도시험은 3회 평균값

■ 기술기사 ■

통일분류법에 의한 분류결과 원지반토는 CL로 분류되었고 자연함수비(w_n) 40.1%, 액성한계 27.7%, 소성한계 21.7% 로 나타났으며 원지반토에 대한 3회 밀도시험의 평균치는 습윤밀도(γ_t)와 추정 건조밀도(γ_d)는 각각 $1.761(t/m^3)$ 및 $1.257(t/m^3)$ 로 나타났다(그림 5.2참조).

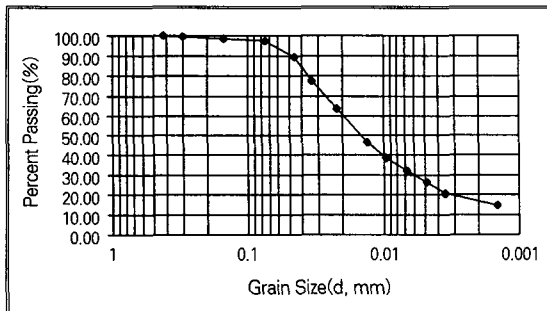


그림 5.2 원지반토의 입도분포

5.4. 공시체 제작 및 고화제 배합비

실내시험 공시체는 습윤밀도(γ_t)와 자연함수비(w_n)를 기준으로 하여 및 건조밀도를(γ_d)를 추정하여 $1m^3$ 당 고화제 투입량의 기준으로 하였다. 실내시험용 공시체의 다짐은 1.5kg램머(Rammer)를 사용하여 A-1다짐에너지 $5.6kg \cdot cm/cm^3$ 를 기준(낙하고 20cm, 3층, 다짐회수 13회)으로 다지는 것을 원칙으로 하였다. 고화제의 배합은 시료토 $1m^3$ 당 보통 포틀랜드시멘트 90kg에 고화제 30kg(HC-13)를 첨가하여 분말상태로 혼합하였다. 공시체의 혼합(Mixing) 방법은 시료토에 분말상태의 고화제 투입후 최적함수비(OMC)까지 물을 추가한 후 Mixer로 10분간 교반한 후 항온항습기에서 양생을 실시하였다.

공시체의 규격은 일축압축강도시험 $5 \times 10cm$ 변수위투수시험 $7 \times 10cm$ 로 재령일수별(14, 21 및 28일)로 각각 3개씩 제작하여 시험을 수행하였다.

5.5 일축압축강도시험

시험에 사용된 공시체는 재령일수 14일, 21일 및 28일 별로 각각 3개의 공시체를 제작하여 항온수조

에서 $23 \pm 1^\circ C$ 에서 수중양생시킨 공시체를 대상으로 KSF-2314의 규정에 따라 양생일수에 따른 일축압축강도시험을 실시하였고 고화처리 현장시공이후 28일 양생기간이 경과한 후 현장코아채취기에 의해 채취된 $10cm \times 20cm$ 공시체에 대해 실내시험을 실시하였다.

5.6 변수위 투수시험

시험에 사용된 공시체는 재령 14일차, 재령 21일차 각 1개 및 재령 28일차 3개로 총 5개씩 제작하여 KSF 2322 규정에 따라 투수시험을 실시하였으며 현장에서 코아채취기에 의해 채취된 공시체를 사용하여 실험하였다.

본 시험에 사용된 투수시험용 셀(Cell)의 규격은 직경(D) $15cm \times$ 높이(H) $12cm$ 이며 공시체의 포화에 걸리는 시간을 단축하기 위해 진공상태를 유지하면서 배압(Back Pressure)을 최대 $6kg/cm^2$ 까지 가할 수 있도록 특별 제작되었으며 본 시험에서는 $0.6 \sim 0.8kg/cm^2$ 의 배압(Back Pressure)을 가해 공시체를 포화시켰다. 변수위 투수시험시 변수위 투수시험기의 강성벽(Rigid Wall)효과를 제거하기 위해서 공시체(직경(D) $10cm \times$ 높이(H) $12cm$)를 Cell 중앙에 올려놓고 공시체 주변을 나트륨 벤토나이트를 밀실하게 다져 충전시켜 벽면을 통한 물의 누수를 최대한 차단하였다.

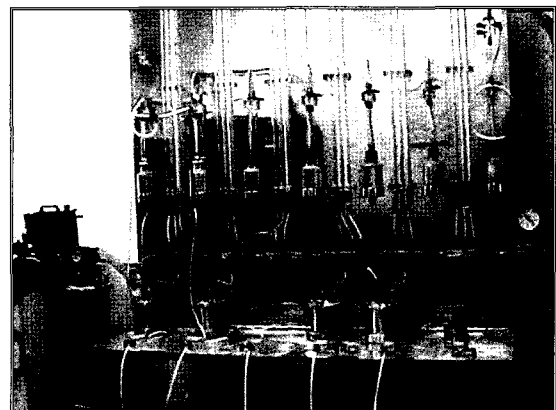


그림 5.3 변수위 투수시험기

6. 결과 및 고찰

6.1 일축압축강도시험

실내제작 및 현장코아 공시체의 일축압축시험결과는 그림 6.1과 같다.

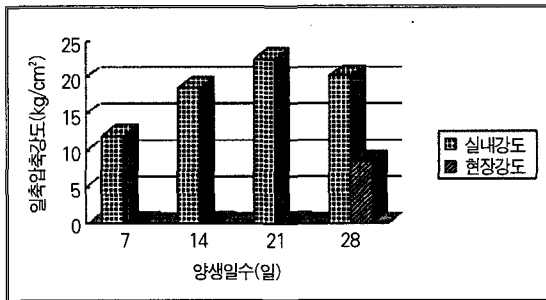


그림 6.1 실내제작 및 현장코아 공시체의 일축압축시험 결과

실내에서 제작한 공시체에 대해 각 양생일수(14, 21 및 28일)별로 실시한 일축압축시험결과(그림 6.1 참조)에 의하면 공시체의 재령 28일차 평균 일축압축강도(σ_{28})의 범위는 11.4~27.5kg/cm²이었으며 현장 코아 공시체에 대한 재령 28일차 현장일축압축강도는 8.45kg/cm²으로 실내제작 및 현장코아 공시체 공히 설계기준강도 5kg/cm² 이상을 만족하는 것으로 나타났다.

6.2 변수위 투수시험

실내제작 및 현장코아 공시체에 대한 변수위 투수시험결과는 그림 6.2와 같다.

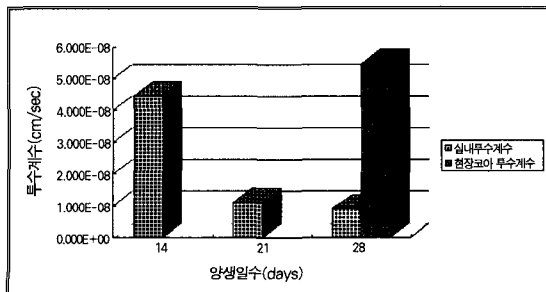


그림 6.2 실내변수위 투수시험결과

실내 변수위 투수시험에 의한 실내 제작 공시체의 재령 28일차 투수계수 k는 전체 대상 공시체에 대한 평균 투수계수는 $4.460 \times 10^{-7} \sim 8.951 \times 10^{-9}$ cm/sec의 범위에 존재하며, 재령 28일차 현장 코아 공시체에 대한 평균 투수계수는 5.481×10^{-8} cm/sec로 나타나 설계기준 투수계수 1.0×10^{-7} cm/sec 이하의 조건을 만족하여 침출수 차수층으로서 적합함을 보여주었다.

7. 결론

경서동 신규매립장의 차수층으로서 고화제를 이용한 포설형 표층고화처리공법의 적용성을 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 고화처리층의 일축압축강도 및 심도에 대한 검토결과 각 강도 5kg/cm², 처리심도 70cm가 소요되는 것으로 나타났으나 고화처리층의 작용하중에 대한 안정성 및 폐기물관리법의 지하수 오염 방지시설 설치기준 등을 고려하여 본 신규매립장에서는 고화처리 목표강도 5.0kg/cm² 이상, 처리심도 1m를 적용하였으며 투수계수는 1×10^{-7} cm/sec 이하 기준을 적용하였다.

2) 포트랜드시멘트 성분분석 시험(KS L5201-94 규정)에 의한 고화제 성분분석 시험결과 고화제의 화학성분은 CaO 42.2%, SiO₂ 34.8%, Al₂O₃ 12.84% 및 기타 함유량 순으로 나타났다.

3) 수질오염, 폐기물 공정시험법에 준해 실시된 고화제에 대한 용출시험 결과를 수질 환경보전법상의 오염물질기준과 비교해 본 결과 오염물 기준치를 초과하지 않는 것으로 나타났으며 또한 고화제의 pH 시험(20℃)결과 12.3으로서 강알칼리성을 갖는 것으로 나타났다.

4) 일축압축강도시험 결과 실내 평균 일축압축강

포설형 표층고화처리공법의 적용성 검토

도의 범위는 11.4~27.5kg/cm² 및 현장 코아공시체의 재령 28일차 현장 평균 일축압축강도는 8.45kg/cm²으로 실내제작 및 현장코아 공시체 공히 설계기준강도 5kg/cm² 이상을 만족하는 것으로 나타났다.

5) 현장 코아(Core) 공시체에 대한 실내 변수위 투수시험 결과 평균 투수계수 범위는 4.460×10^{-7} ~ 8.951×10^{-9} cm/sec에 존재하며 재령 28일차 현장 코아 공시체에 대한 평균 투수계수는 5.481×10^{-8} cm/sec로 실내제작 및 현장코아 공시체 공히 기준 투수계수인 1×10^{-7} cm/sec 이하를 만족하는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 본 신규매립장의 경우 5년이상 경과한 쓰레기에서 발생하는 낮은 침출수 농도와 원지반의 양호한 차수성 등을 감안할 경우 표층고화처리공법 도입에 따른 침출수 누출 문제가 발생할 우려는 없을 것으로 판단되나 고화처리층의 시멘트 수화작용으로 인한 건조수축 균열(Crack)발생, 고화처리층과 침출수와의 접촉시 강도 및 투수특성 변화 등에 따른 고화처리층의 내구성 저하, 연약지반 상에 광범위한 고화처리층 조성시 부등침하로 인한 균열(Crack)발생 등의 문제점은 추후 지속적인 연구를 통해 규명·보완하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원(1995), "폐기물 매립지 차수재 개발", pp.5~65.
2. 이상덕(1997), "토질시험(원리와 방법)", 도서출판 새론, pp.7~313.
3. 수도권 매립지 운영관리조합(1995.12), "수도권 매립지(3공구) 기반시설 조성사업 실시계획 보고서".
4. 신현국(1996), "수도권 매립지 시설운영관리의 문제점과 개선대책", 월간 폐기물 통권 4권 39

- 호, pp.157~162.
5. 송영무(1997), "수도권 매립지의 설계 시공 및 운영에 관한 분석", 월간 폐기물 통권 51호, pp.80~83.
6. 중앙대학교(1996), 초연약지반 표층고화처리 공법의 실용화 연구(Ⅱ)보고서, pp.5~20.
7. 社團法人 セメント協會(1994), セメント系固 化材による地盤改良マニュアル, 技報堂出版 pp 49-87, 東京
8. Manoj Datta(1997), "Waste Disposal in Engineered Landfill", Narosa Publishing House, New Delhi, India.
9. Amalend U. Bagchi(1994), "Design, Construction and Monitoring of Landfills 2nd Edition", pp.138~173, A Wiley-Interscience Publication.
10. Hari D.Sharma and Sangeeta P. Lewis(1994), Waste Contaminant Systems, Waste Stabilization, and Landfills(Design and Evaluation)", A Wiley-Interscience Publication.
11. Lambe.T.W., and Whitman, R.V., (1997)Soil Mechanics(S.I. Version), pp.281~294.
12. Remy.J.P.,(1973) "The Measurement of Small Peameabilities in the Laboratory," Technical notes Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, pp.454~458.