

난지도 매립지 안정화 공사계획과
Cement Bentonite Slurry 차수벽의 적합성 검증

서울특별시건설안전관리본부
이 봉 호

제1장 난지도 매립지 안정화공사 계획

1 사업의 배경

서울특별시 마포구 상암동 일대에 위치한 난지도 매립지에는 과거 15년 (1978 ~ 1993)동안 서울시에서 발생된 9,200만m³의 폐기물이 위생기반시설 및 오염방지 시설의 설치없이 비 위생적으로 매립·처분됨으로서 매립이 완료된 현재 침출수 발생으로 인한 한강과 주변지역의 지하수 및 토양오염, 매립가스로 인한 화재발생 및 대기오염, 산업폐기물 매립구역의 함몰, 우수배제 시설미비로 인한 기저 침출수 상승 및 사면붕괴등 매립지역의 불안정성을 초래하게 되었다.

이에 따라 서울특별시에서는 매립지 안정화 사업을 통해 비위생 매립지의 환경상 위해성을 제거함은 물론 쾌적한 생활환경 조성과 장래 토지의 효율적 이용을 기하기 위해 안정화 사업을 추진하게 되었다.

2 난지도 매립지 현황 분석

2.1 난지도 매립지 현황

- 1) 면 적 : 812.800평 (매립면적 571,000평)
- 2) 매립기간 : 1978. 3 ~ 1993. 3 (15년간)
- 3) 매 립 량 : 9,200만m³
- 4) 매 립 고 : EL. 92~99m (강변도로 : EL. 14m)

- 5) 발생오염 물질량
- ┌ 침출수 : 2,700m³/일
 - └ 매립가스 : 432,000m³/일

2.2 난지도 주변지역 오염현황

1) 침출수

- ① 평균발생량 : 2,700m³/일
- ② 침출수질
 - ┌ BOD : 72mg/ℓ
 - ├ COD_{Mn} : 605mg/ℓ
 - └ T-N : 1,418 mg/ℓ
- ③ 한강에 미치는 영향 : 환산인구로 BOD 3,340인, COD_{Mn} 38,857인 및 T-N 347,636인의 생활하수가 무처리 상태로 한강에 방류되는 것 이상의 영향을 주는 것으로 분석됨.

2) 매립가스

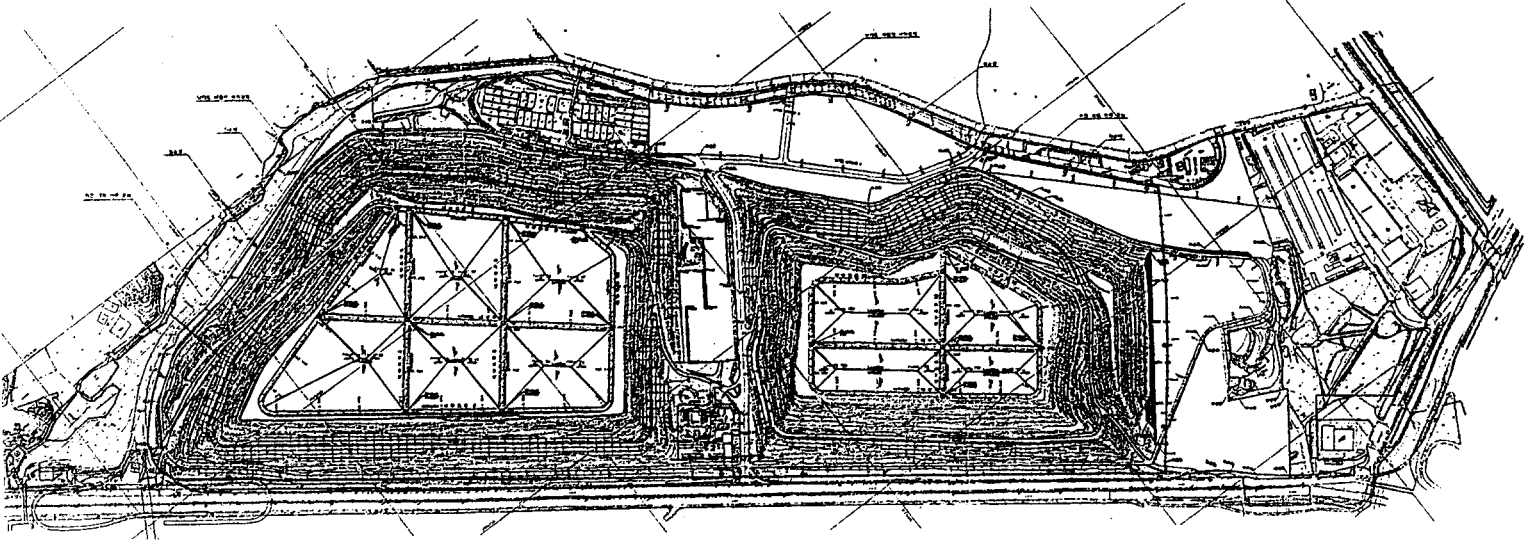
- ① 평균발생량 : 432,000m³/일
- ② 가스성분
 - ┌ CH₄ : 51%
 - ├ CO₂ : 46%
 - ├ H₂S : 1.47 ppm
 - └ BTX (벤젠, 톨루엔, 자이렌) : 27.7 ppm
- ③ 유해성 평가

NMOC(비메탄계 유기화합물)발생량이 평균 5.520mg/년으로 U.S EPA (미환경청)기준인 150mg/년을 초과함.

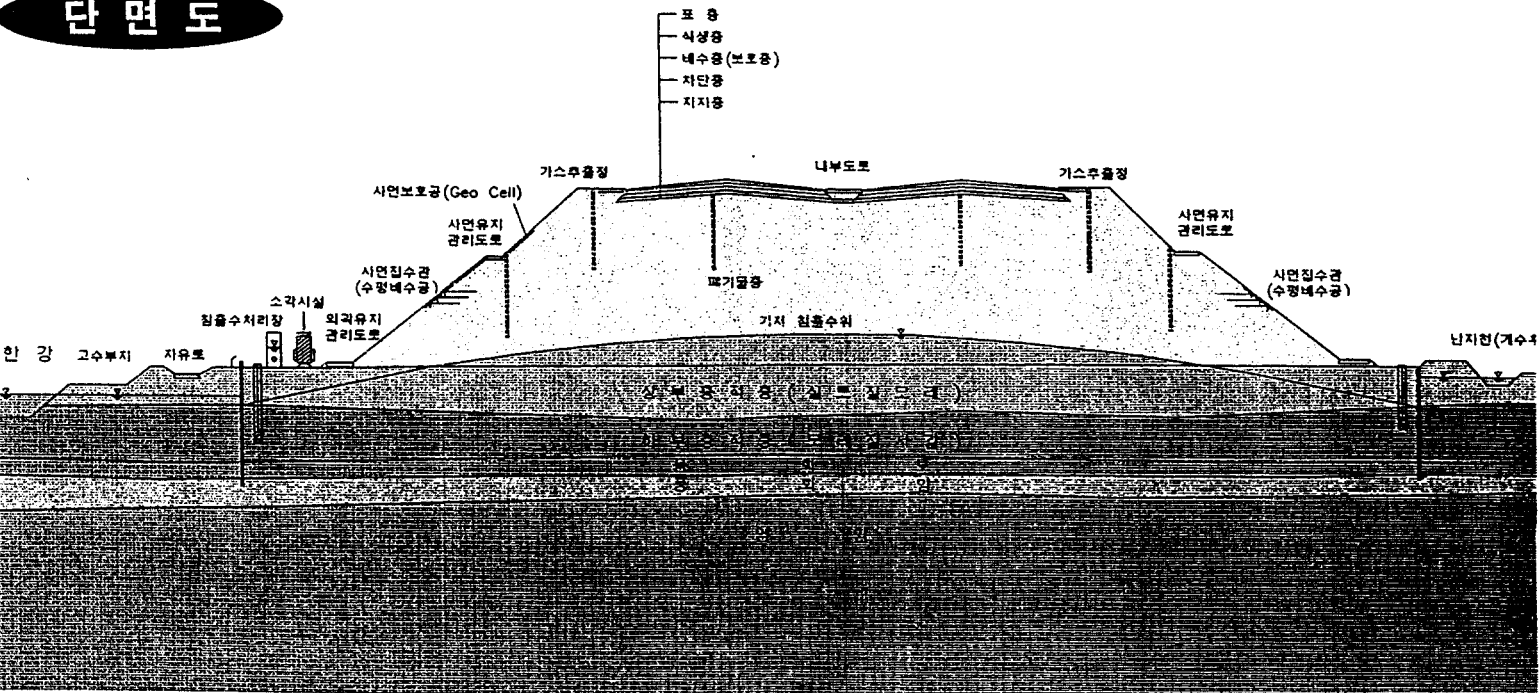
NAS(미과학원)가 제시한 평가방법에 의하면 잠재적 유해성이 있는 것으로 판정됨.

3. 안정화 주요시설 계획

평면도



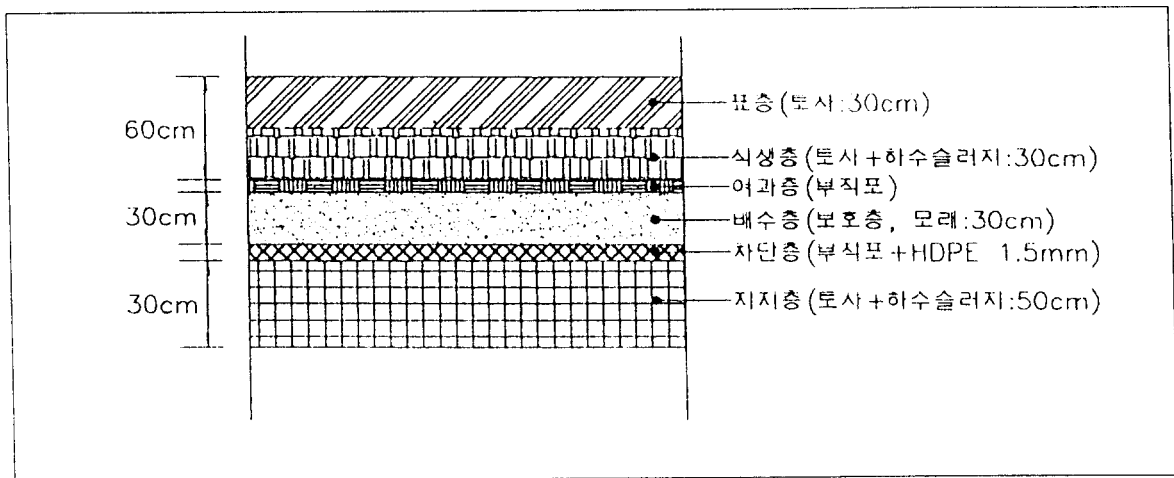
단면도



3.1 상부복토

1) 시설목적

- ① 우수침투 방지를 위해 차수막(HDPE)을 설치하여 침출수 발생량 최소화
- ② 위해매립가스의 대기발산 억제하여 포집처리
- ③ 식물이 성장할수 있도록 복토



최종복토 계획 단면도

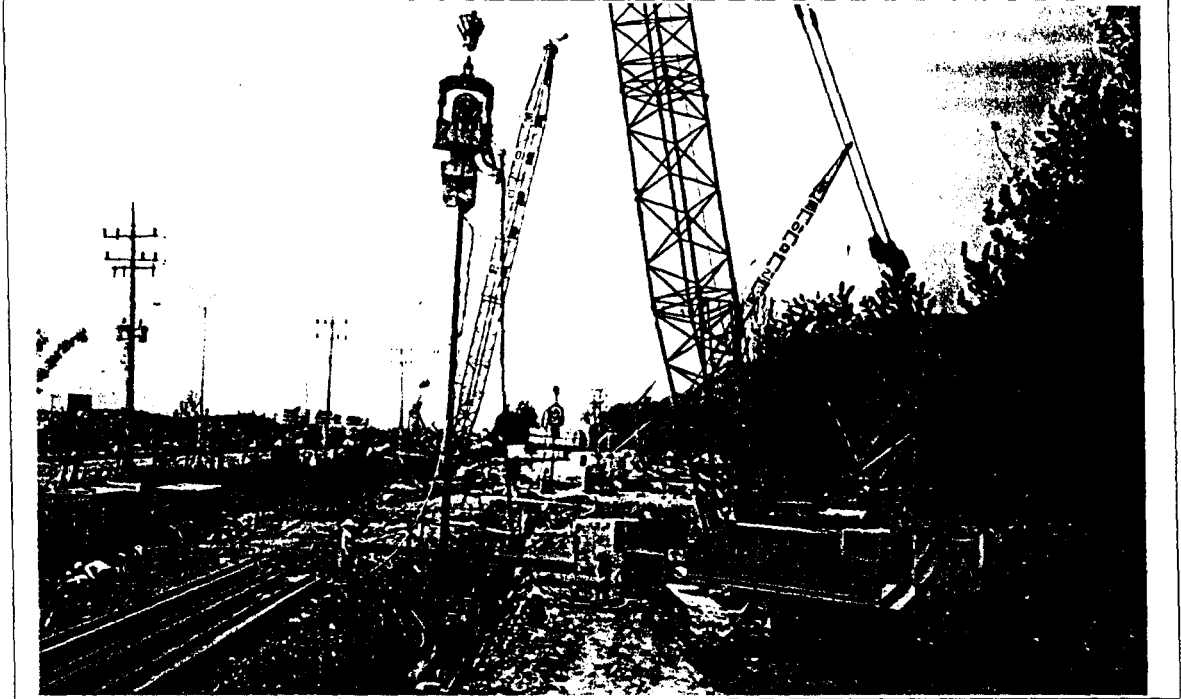
3.2 차수벽

1) 시설목적

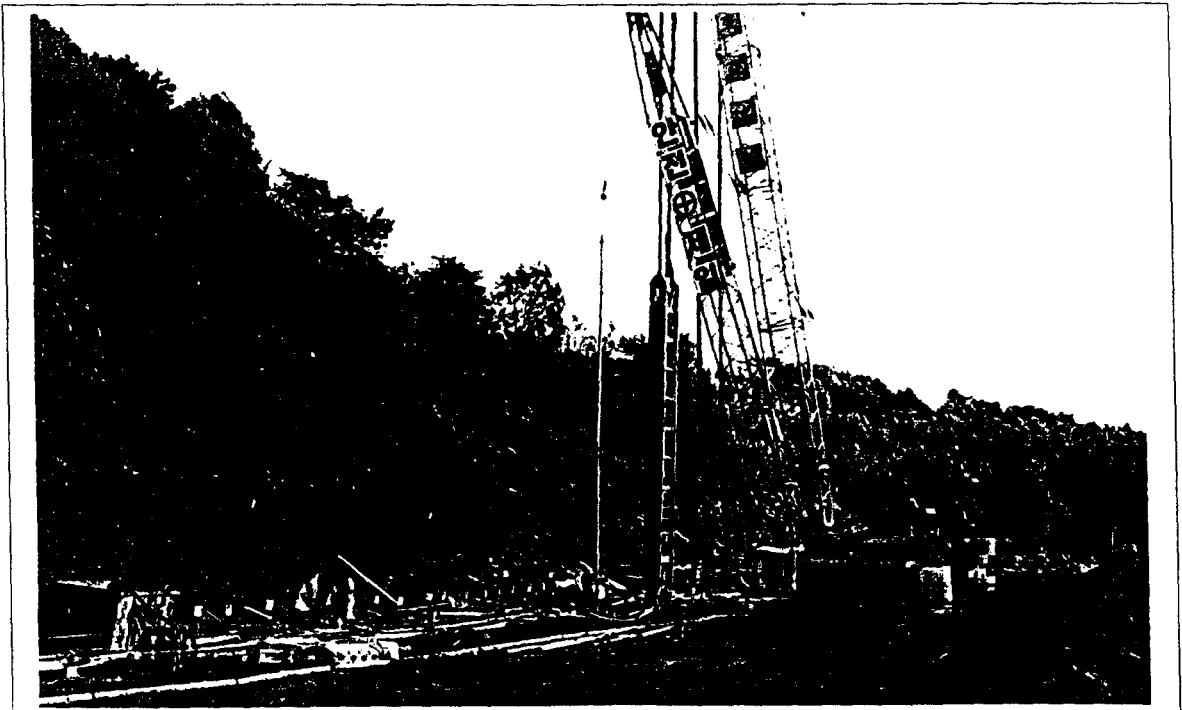
침출수의 이동 및 확산을 차단하여 한강 및 주변지역의 지하수 오염 방지

2) 시설계획

- ① 적용공법 : S.S.P Wall, C.B.S Wall 혼합적용
- ② 설치방법 : 전주변 배치방법 - 6,300m
- ③ 설치심도 : 풍화암 1m 근입



S.S.P Wall (J.V공법) 시공 현황



C.B.S Wall (Hydrofraise장비) 시공 현황

3.3 침출수 차집 및 처리시설

1) 시설목적

- ① 사면누출 및 기저 침출수를 차집하여 처리

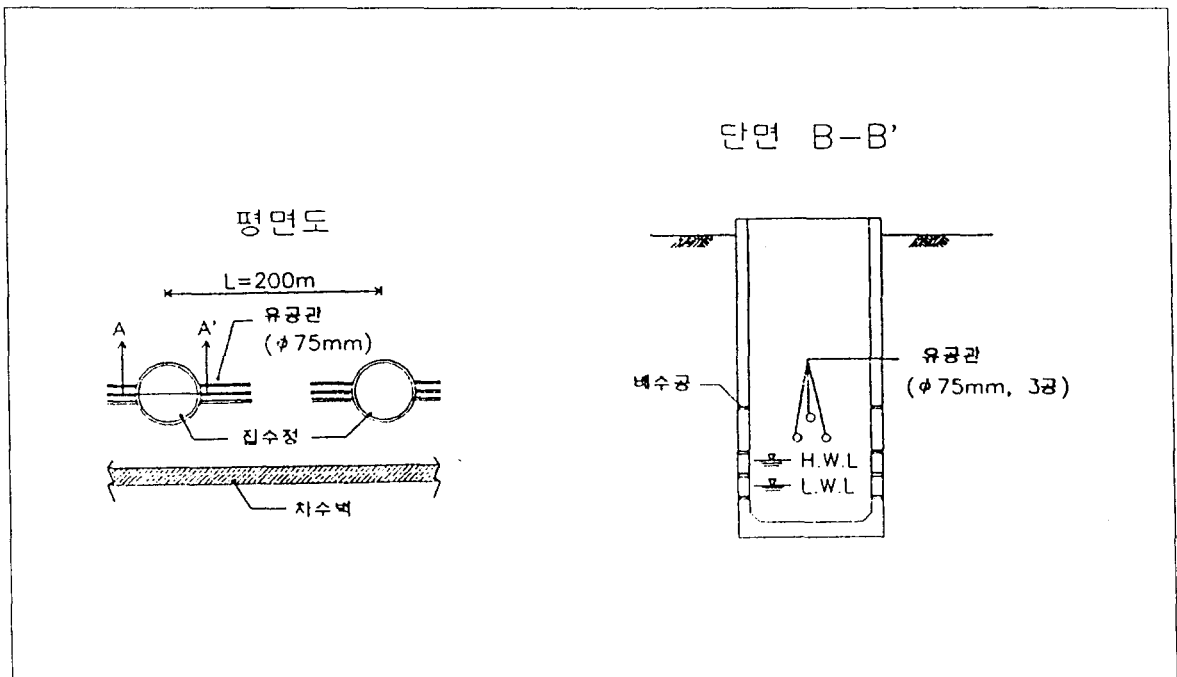
2) 시설계획

- ① 수평배수형 집수정 : 31개소

- ② 수평 strainer : 186공

- ③ 처리시설

- 처리방법 : 상시전 처리후 난지 하수종말처리장에 이송 합병처리
- 처리용량 : 1,860m³/일
- 처리공정 : 유량조절+응집침전+펜톤 산화



집수정 표준 단면도

3.4 GAS 포집처리

1) 시설목적

- ① 유해가스를 포집하여 안정처리하고 매립지 식물이 성장할수 있는 환경을 제공함.

2) 시설계획

- ① 추출정 : 106공 (상부 : 55공, 사면 : 51공)
- ② 처리용량 : 460m³/일

※ 안정화공사 이후 운영과정중 Monitoring 결과에 따라 재이용계획 수립

3.5 운영관리시설

1) 계측시설

- ① 침하판 : 66개소
- ② 간극수압계 : 17개소
- ③ 경사계 : 17개소
- ④ 수위계 : 62개소

2) 침출수 Monitoring

- ① 관측정 : 30개소 (차수벽 내·외부 각15개소)

3) 매립가스 Monitoring

- ① 감지정 : 15개소

제2장 난지도 매립지 침출수에 대한 Cement Bentonite Slurry Wall의 적합성 검증

1. 서 론

시멘트 벤토나이트 슬러리 벽체는 세계적으로 널리 사용되며 신뢰성있는 지반차폐 공법으로 알려져 있으나 국내매립지 특성과 시공목적에 부합할 수 있는 체계적인 검증방안이 확립되지 않은 관계로 시공 및 품질관리에 어려움이 있다. 따라서 난지도 매립지 안정화 공사중 침출수로 인한 인접지반 및 지하수로의 오염확산을 방지하기 위한 시멘트 벤토나이트 슬러지 벽체공사를 실험모형으로 하여 시공전 설계단계, 시공중 검증단계, 시공후 검증단계와 같은 시스템으로 체계적인 검증절차를 구성하여 매립지내에서 유출되는 침출수의 영향을 고려한 배합시방과 품질관리방안을 제시하며 이를 토대로 지반차폐벽으로써의 적합성을 검증하고자 한다.

난지도 매립지의 차폐시설은 연직 배치방법으로는 오염원의 유출량을 최소화 할 수 있는 불투수층내의 삽입식 (keyed-in)을 적용하였고, 평면 배치방법으로는 중앙부의 지하수위가 주변지역의 지하수위에 비해 높게 위치하여 여러방향으로 오염물질이 확산될 것으로 판단되어 전 주변 차단방법 (circumferential placement)를 적용하였다. 계획된 벽체의 형식은 시멘트 벤토나이트 슬러지 벽체로서 다음과 같은 조건을 만족할 수 있도록 설계되어야 한다.

- ① 불투수막을 형성하여 침출수의 지반내 확산을 방지할 수 있도록 한다.

- ② 차후 발생가능한 지반의 거동에 대하여 벽체손상이 발생되지 않도록 소요 강도를 발휘하여야 한다.
- ③ 시멘트 벤토나이트 슬러리의 시공이 완료된 후 차수벽이 침출수에 노출되었을 경우 화학적 반응으로 인한 벽체손상이 발생되지 않도록 시멘트 벤토나이트 슬러리의 배합설계가 이루어 져야 한다.

2 시멘트 벤토나이트 슬러리의 배합설계

시멘트 벤토나이트 벽체는 굴착중 침출수와 혼합되는 상태에서 시공되므로 이와 관련하여 배합시방이 선정되어야 할것으로 평가되므로 다음과 같은 시험절차를 따른다.

- ① 용수 및 침출수의 확보
- ② 수질분석
- ③ 벤토나이트 재료선정

가. 벤토나이트 선정

벤토나이트의 규정물질 및 순도를 고려하고 침출수의 화학적 성분을 참고로하여 적합한 사용재료를 선정한다.

나. 벤토나이트 시험

선정된 벤토나이트가 시방규정에 적합하고 현장에서 채취된 침출수에 합당

하게 반응하는지를 시험결과를 토대로 분석하여 적정성 여부를 확인한다. 이때 시험에 사용되는 벤토나이트로 국내에서 사용되고 있는 제품 2가지 이상을 시험재료로 준비한다.

④ 시멘트 벤토나이트 배합

현장의 시멘트 벤토나이트 슬러리 벽체의 시공과정에 다음과 같은 문제점이 예상될수 있다.

- . 깊은 굴착에 따른 과다시간소요에 의하여 시멘트 벤토나이트의 경화
 - . 침출수에 의한 시멘트 벤토나이트와의 화학적 반응으로 인한 품질저하.
- 이상의 문제점을 해결하기 위하여 표 2.1과 같이 시멘트 벤토나이트의 배합시험을 선행하여 배합의 적정성을 평가한다.

표 2.1 시멘트 벤토나이트 슬러리 시험배합

시험 배합안	배 합 비	사용 Bentonite	사용 Cement		침출수 첨가	
1안	W : P.C : B = 900 l : 250 kg : 45 kg	국산 G	D 시멘트	고로 시멘트	-	45 l
		국산 C				
		국산 T				
		외산 W				
2안	W : P.C : B = 900 l : 250 kg : 50 kg	국산 G	D 시멘트	고로 시멘트	-	45 l
		국산 C				
		국산 T				
		외산 W				
3안	W : P.C : B = 900 l : 210 kg : 45 kg	국산 G	D 시멘트	고로 시멘트	-	45 l
		국산 C				
		국산 T				
		외산 W				
4안	W : P.C : B = 900 l : 210 kg : 50 kg	국산 G	D 시멘트	고로 시멘트	-	45 l
		국산 C				
		국산 T				
		외산 W				

⑤ 시험결과 분석

시험시료는 각각에 대하여 8개를 준비하며 표 2.2와 같은 시험방법으로 시험을 실시하고 결과를 분석하여 현장여건에 적합한 배합을 선정하여 시험시공시 적용하도록 한다.

표 2.2 시험방법

시험항목	기준값	시험횟수 (각경우)
점성 (Marsh Second)	40-50	배합후 투수시험
강도	> 1.5 kg/cm ² (28일)	3회
투수시험	< 10 ⁻⁵ cm/sec * 28일 경과후 시험	2회

주) - 강도시험중 시료의 변형을 측정

- 시료는 침출수내에서 양생하며 시험전 체적변화를 측정한다.

2.1 시멘트 벤토나이트 벽체의 품질관리

실험실에서 선정된 배합재료를 사용하여 굴착시험을 시행하고 실제작업에 따른 배합의 적정성 및 굴착장비의 시공성을 평가한다.

현장시험시공중 차수벽의 품질관리는 굴착장비의 종류와 특성에 따라 시공순서에 입각하여 각각의 경우에 대해 그림 3.1과 같이 공사전반에 걸쳐 수행한다.

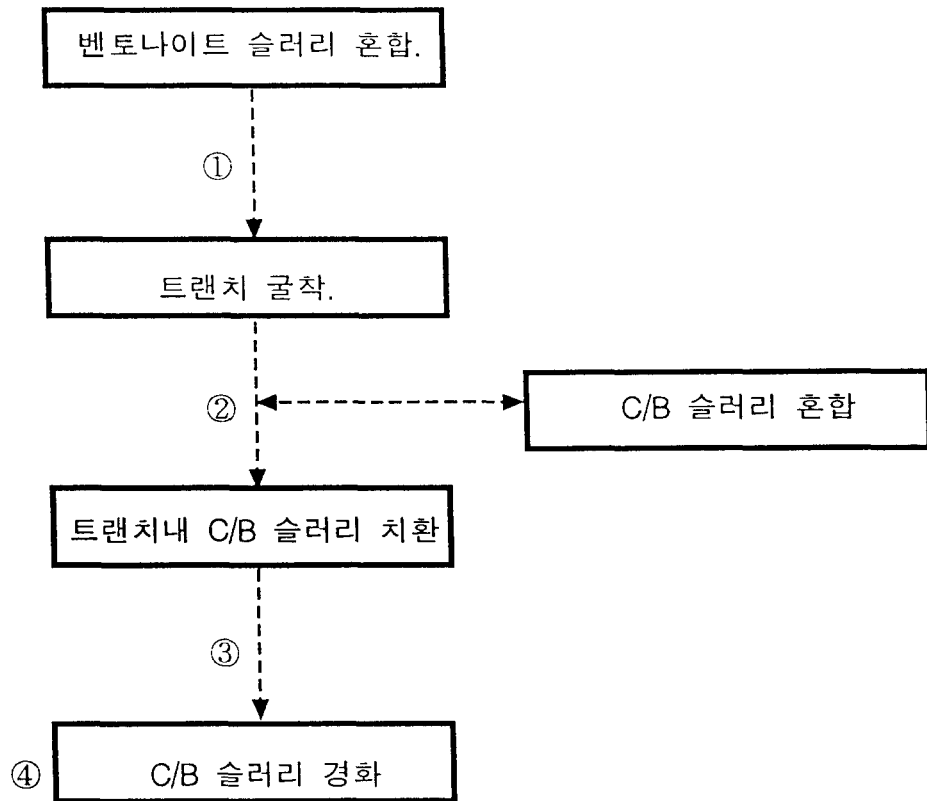


그림 2.1 Hydrofraise장비를 이용한 시멘트 벤토나이트 벽체 공사수행도

공정의 각 단계별 품질관리 단계 및 기준은 다음과 같다.

① 벤토나이트 품질관리

표 2.3 벤토나이트 품질관리

항목	기준값	측정횟수
비중 (g/cm^3)	1.02 - 1.08	각 판넬 당 1회 이상
점성 (Marsh Second)	35 - 48	
pH	8 - 12	

② 신선한 시멘트 벤토나이트 품질관리

표 2.4 신선한 시멘트 벤토나이트 품질관리

항목	기준값	측정횟수
비중 (g/cm^3)	배합비에 따른 조정	2회/일
점성 (Marsh Second)	40 - 50	1회/판넬 이상
강도 (kg/cm^2)	> 1.5 (28일)	각 판넬 당 1회

③ 트랜치내의 시멘트 벤토나이트 품질관리

표 2.5 트랜치내의 시멘트 벤토나이트 품질관리

항목	기준값	측정횟수
강도 (kg/cm^2)	> 1.5 (28일)	9개 시료 / 판넬
투수성 (cm/sec)	$\leq 10^{-5}$	- 강도시험 (7개) - 투수시험 (2개)

주) 굴착중 점성기준은 작업성을 고려하여 추후조정한다.

④ 양생후 시멘트 벤토나이트 품질관리

표 2.6 양생후 시멘트 벤토나이트 품질관리

항목	기준값	측정횟수
투수성 (cm/sec)	$\leq 10^{-5}$ (28일 경과후)	1개소 / 50 m

주) 측정은 완성된 시멘트 벤토나이트 슬러리 벽체에서 채취한 시료에 대하여 시행함.

2.2 실내 배합시험 결과분석

실내 배합시험 결과를 토대로 시멘트 벤토나이트 슬러리와 시멘트 벤토나이트 벽체의 모든 시방규정을 만족하는 사용재료, 배합비를 결정하기 위하여 다음 그림 2.2와 같은 과정에 따라 배합시험의 결과분석을 수행하였다.

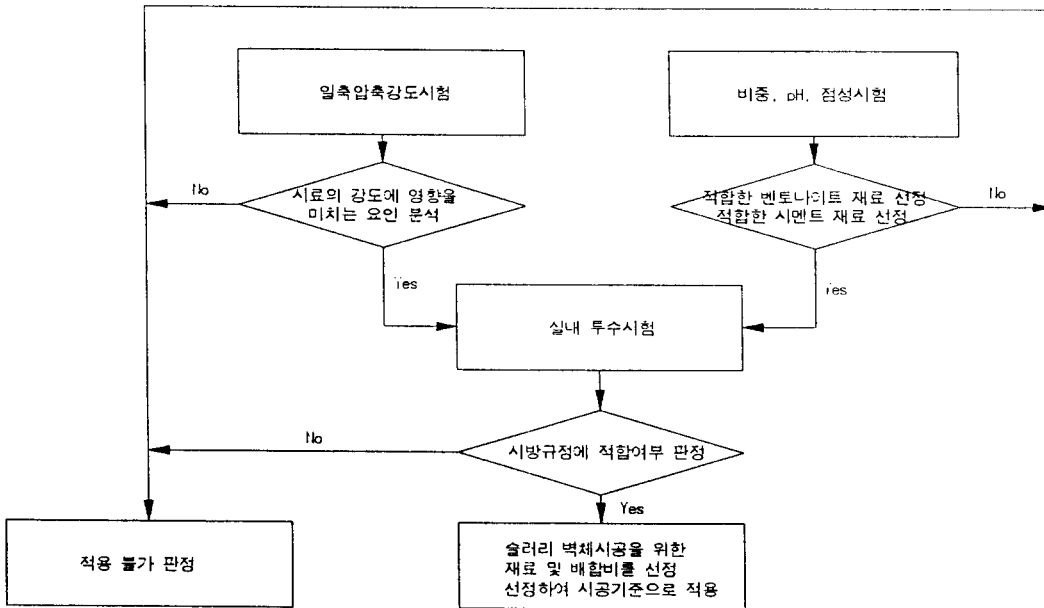


그림 2.2 실내배합시험 결과분석 수행도

2.2.1 비중시험

비중시험 결과 비중값의 범위는 1.18 - 1.21로서 트랜치의 안정에 적절한 비중 1.10 - 1.35의 범위를 만족하는 것으로 분석되었다.

2.2.2 pH시험

pH시험 결과 시방기준 8 - 12를 만족하는 것으로 확인되었으며 pH값의 범위는 벤토나이트의 종류에 따라 대체로 11.7 - 12.0의 범위인 것으로 측정되었다.

2.2.3 점성시험

점성시험 결과 국산 G, C 벤토나이트제품을 D 시멘트와 사용한 경우 40- 43 초, 외산 벤토나이트를 사용하거나 국산 T 벤토나이트와 고로시멘트를 배합한 경우에는 50 - 120 초이상으로 국산 G, C제품을 사용하였을 경우와 비교하여 높은 수치를 기록하였다.

시멘트 벤토나이트 슬러리에 대한 점성시방기준 40-50 초와 비교할 때 배합에 대한 사용재료의 적합성 여부를 표 2.7과 같이 요약할수 있다.

표 2.7 점성시험결과 요약 및 적합성 판정

배합	Marsh Test (sec)	시방기준
국산 G,C 벤토나이트 + D 시멘트	40 - 43	◎
국산 W 벤토나이트 + 고로 시멘트	42 - 48	○
국산 W 벤토나이트 + D 시멘트	56 - 60 이상	×
국산 G,C 벤토나이트 + 고로 시멘트	120 이상	×
외산 W 벤토나이트+ 모든 종류의 시멘트	45 - 120이상	△

주) 상기제품중, 외산 벤토나이트와 고로시멘트는 수급의 어려움이 있을것으로 예상됨.

2.2.4 일축압축강도시험

일축압축강도에 대한 실내시험은 양생에 미치는 지하수의 영향을 평가하기 위하여 한강수 양생과 침출수 양생으로 구분하여 시험하였다.

국산 벤토나이트를 사용한 시멘트 벤토나이트 배합의 경우 시멘트 배합량과 양생기간에 따라 다음과 같은 도표를 이용하여 일축압축강도 시험결과는 표2.8, 표2.9 및 그림2.3~그림2.6과 같다. 배합직후의 시멘트 벤토나이트에 대한 일축압축시험결과 벤토나이트의 제품종류와 배합량, 양생시 침출수에 대한 노출성 여부등은 현재 설계배합범위에서는 강도발현정도를 크게

좌우하지않는 것으로 분석되었으며 다만 조기강도(14일강도)발현에 대하여 다소 영향을 미치는 것으로 분석된다.

강도발현에 주영향을 미치는 인자는 시멘트의 배합량과 양생기간, 시료의 양생시 침출수의 유무로 설명될수 있을 것이다. 그림 2.3 와 그림 2.4에 나타나 있듯이 시방기준에 따라 일축압축강도 1.5 kg/cm²(28일강도)이상을 만족하는 시멘트 배합량은 250 kg인 경우로 강도발현범위는 한강수 양생인 경우 2.1 - 2.4 kg/cm²로 측정되었으며 침출수 양생인 경우 1.7 - 2.8 kg/cm²로 측정되어 시방기준을 모두 만족하는 것으로 분석되었다.

표 2.8 벤토나이트 제품종류와 함량에 따른
일축압축강도 결과치 (28일 양생시료)

	국산 G (45kg)	국산 G (50kg)	국산 C (45kg)	국산 C (50kg)	평균치
한강수 양생	2.4	2.1	2.2	2.3	2.3
침출수 양생	2.8	1.7	2.4	2.6	2.4

표 2.9 벤토나이트 제품종류와 함량에 따른
일축압축강도 결과치 (14일 양생시료)

	국산 G (45kg)	국산 G (50kg)	국산 C (45kg)	국산 C (50kg)	평균치
한강수 양생	2.1	1.5	1.2	1.4	1.5
침출수 양생	1.8	2.3	1.2	1.8	1.8

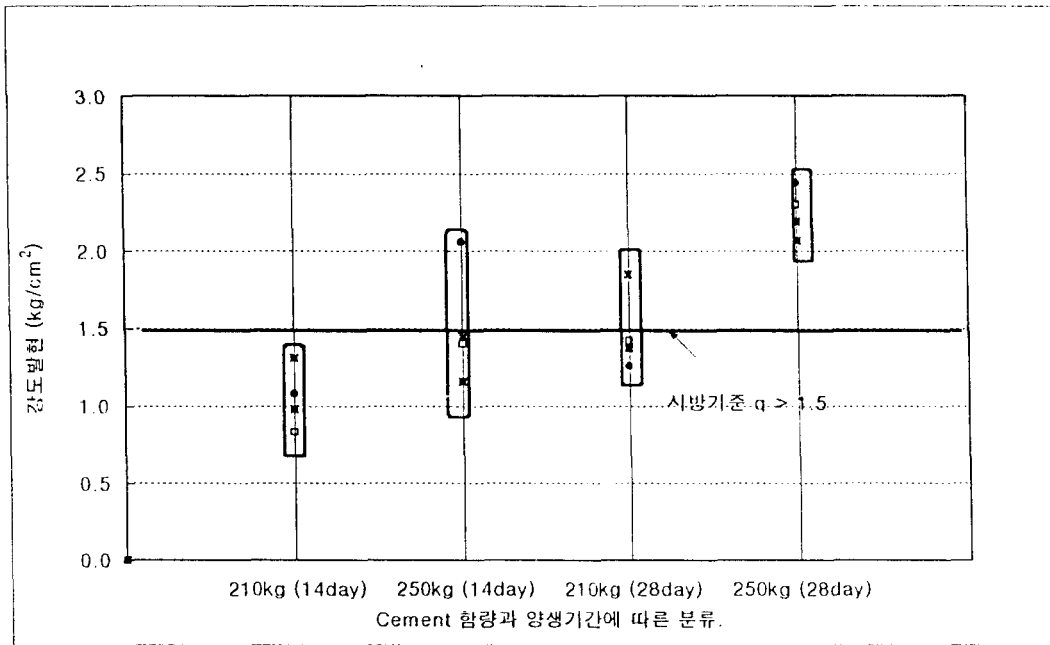


그림 2.3 양생기간과 시멘트함량에 따른 일축압축강도
(국산 G, C 벤토나이트와 D 시멘트의 슬러리에 대하여 한강수 내에서 양생)

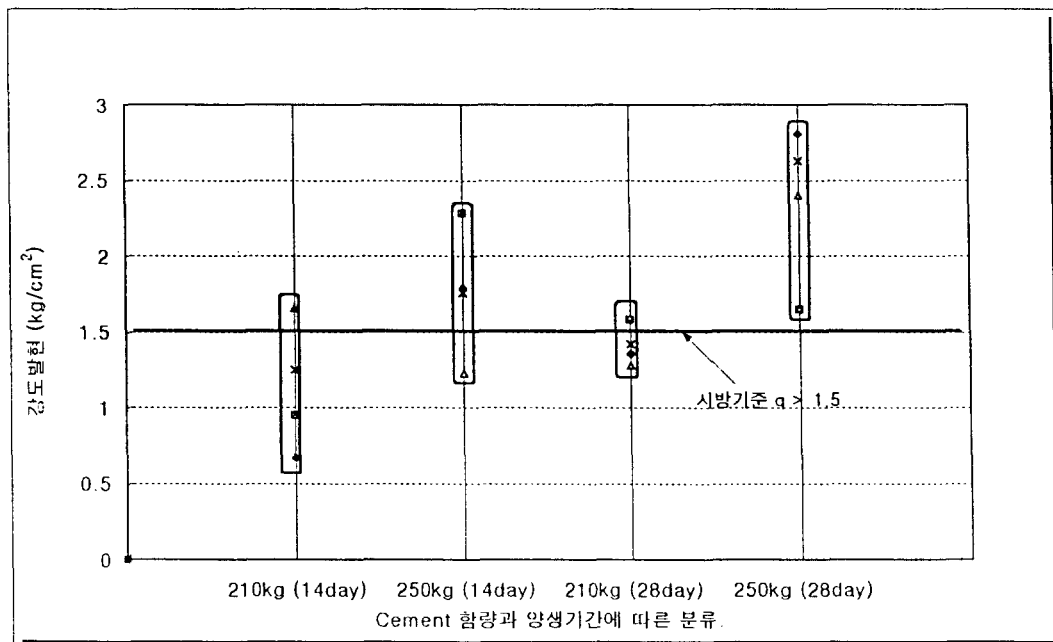


그림 2.4 양생기간과 시멘트함량에 따른 일축압축강도
(국산 G, C 벤토나이트와 D 시멘트의 슬러리에 대하여 침출수 내에서 양생)

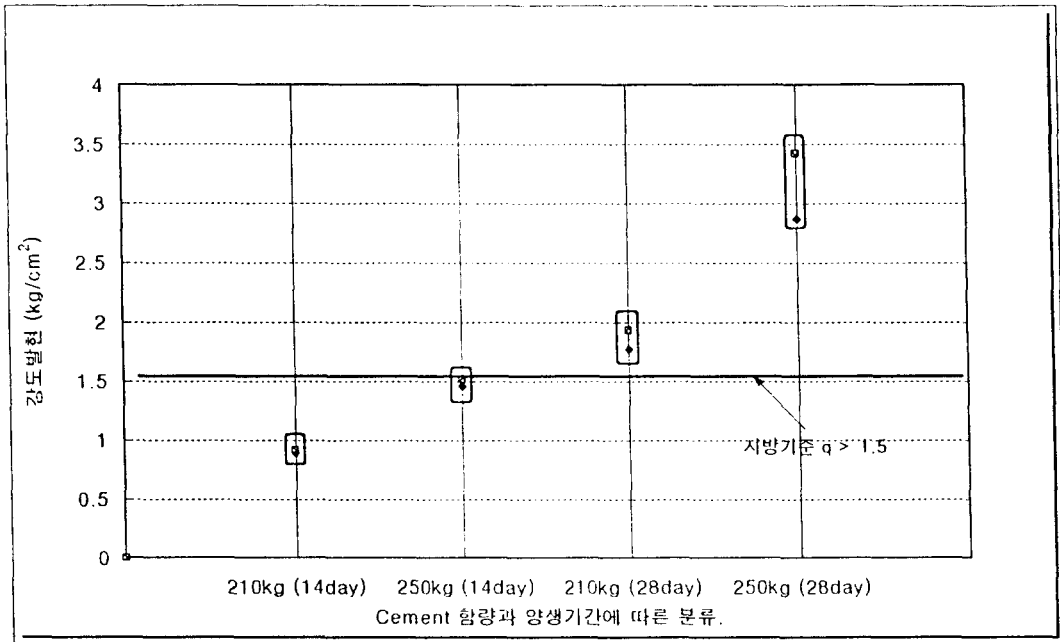


그림 2.5 양생기간과 시멘트함량에 따른 일축압축강도
(국산 T 벤토나이트와 고로시멘트의 슬러리에 대하여 한강수 내에서 양생)

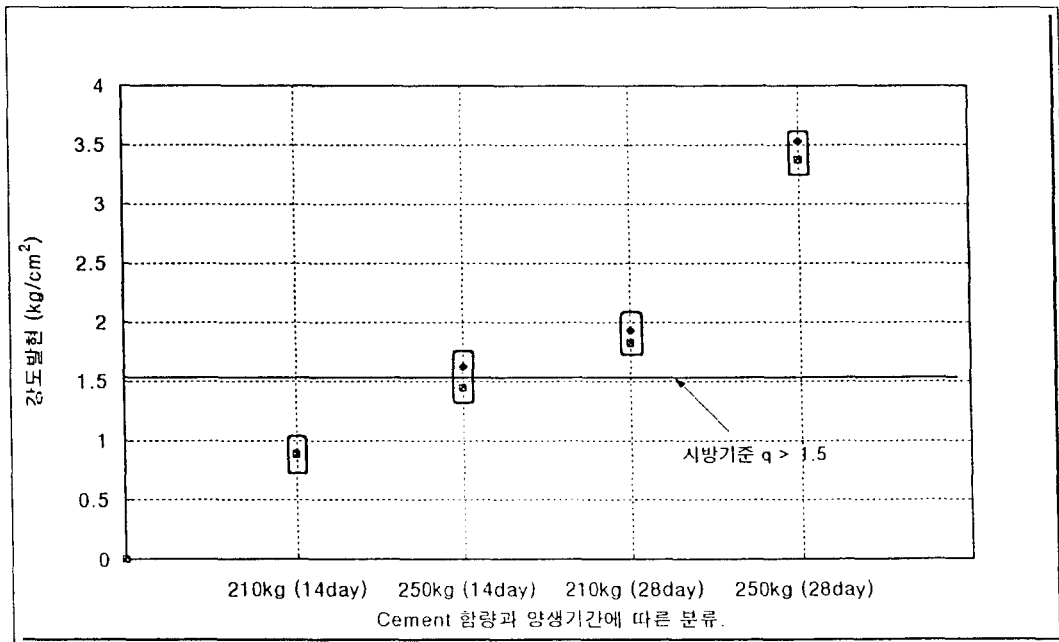


그림 2.6 양생기간과 시멘트함량에 따른 일축압축강도
(국산 T 벤토나이트와 고로시멘트의 슬러리에 대하여 침출수 내에서 양생)

2.2.5 실내 투수시험

투수시험은 일축압축시험결과 시방기준(1.5 kg/cm^2)을 만족하는 샘플에 대해서만 투수시험을 시행하였으며 표 2.10과 같이 요약된다.

표 2.10 투수시험 결과요약

시료의 한강수내 양생시	투수계수 (cm/sec)	시료의 침출수내 양생시	투수계수 (cm/sec)
국산 G 45kg + 시멘트 250kg	7.0×10^{-6}	국산 G 45kg + 시멘트 250kg	7.7×10^{-6}
국산 G 50kg + 시멘트 250kg	6.3×10^{-6}	국산 G 50kg + 시멘트 250kg	6.4×10^{-6}
국산 C 45kg + 시멘트 250kg	7.9×10^{-6}	국산 C 45kg + 시멘트 250kg	7.3×10^{-6}
국산 C 50kg + 시멘트 250kg	6.8×10^{-6}	국산 C 50kg + 시멘트 250kg	7.1×10^{-6}

(주) 국산 G 혹은 C는 제품의 분류상 기호임.

일축압축강도에 대해 시방기준을 만족하는 모든 샘플은 투수계수에 대한 시방기준($< 10^{-5} \text{ cm/sec}$)을 만족하는 것으로 측정되었으며, 벤토나이트의 함량에 따른 투수계수의 변동은 현재 배합설계범위내에서는 매우 미소한 것으로 판단된다.

2.2 분석결과

시멘트 벤토나이트 배합설계에 따른 각각의 실내시험결과 모든 시방기준을 만족하는 배합설계의 기준은 다음과 같은 범위로 한정시킬수 있다.

- ① 시멘트 배합량 : 250 kg (배합수 900 l 당)
 사용 시멘트 : D 포틀랜드 시멘트
- ② 벤토나이트 배합량 : 45 kg (배합수 900 l 당)
 사용 벤토나이트 : 국산 G 또는 C
- ③ 배합용수 : 한강수 또는 이에 합당하는
 수질의 용수

사용 벤토나이트의 제품에 대하여 외산 벤토나이트를 제외시킨 것은 점성에 대한 시방기준(40-50 초)을 만족시키지 못했기 때문이며 국산제품에 대한 평가는 현장 시공성을 고려하여 조기강도(7일-14일)시험이 추가적으로 이루어져야 할것으로 판단되나 시방기준의 28일강도는 두 제품 모두 만족하므로 사용상 제한이 없을 것으로 분석되었다.

3.1 실내시험을 통한 시멘트 벤토나이트 슬러리의 설계치 검증

실내시험을 통한 시멘트 벤토나이트 벽체의 설계치 검증은 표 3.1~표 3.3과 같이 양생전의 시멘트 벤토나이트 슬러리와 양생된후의 시멘트 벤토나이트 벽체에 대하여 평가하였다. 이를 위하여 시멘트 벤토나이트 슬러리가 타설된 트랜치내부에 계폐식 샘플러를 삽입하여 슬러리상태의 샘플를 확보하고 채취된 슬러리를 다시 침출수내에서 양생시키어 시멘트 벤토나이트 벽체의 품질을 평가하기 위한 시료를 확보하였다. 이때 슬러리의 수중양생을 위한 침출수는 난지도 현장내 오염구간에서 집수된 침출수를 사용하였다.

위와 같은 시험시료의 제작과정은 현장에서 시공된 실제 시멘트 벤토나이트 슬러리의 양생과정이 침출수에 노출된 상태에서 이루어지므로 트랜치내에서 채취된 슬러리 시료에 대한 양생 역시 침출수에 노출된 상태로 이루어져야 하기 때문이다.

표 3.1 시멘트 벤토나이트 슬러리에 대한 실내시험 항목

	양생전	양생후 (14일 양생)	양생후 (28일 양생)
비중시험	◎	×	×
점성시험	◎	×	×
pH 시험	◎	×	×
일축압축강도시험	×	◎	◎
투수시험	×	×	◎

(주) ◎ : 시행, × : 미시행

표 3.2 시공구간 제1매립지에 대한 실내시험 결과

	양생전	양생후 (14일)	양생후 (28일)	시방 규정	비 고
비중시험 (g/cm ³)	1.21	×	×	1.1 - 1.35	만 족
점성시험 (Marsh second)	47	×	×	40 - 50	만 족
pH 시험	11.0	×	×	8 - 12	만 족
일축압축강도시험 (kg/cm ²)	×	2.45	3.16	1.5 이상	만 족
투수시험 (cm/sec)	×	×	4.34 ×10 ⁻⁶	10 ⁻⁵ 이하	만 족

(주) 각 항목별 수치는 전체시험자료에 대한 평균치 임.

표 3.3 시공구간 제2매립지에 대한 실내시험 결과

	양생전	양생후 (14일)	양생후 (28일)	시방 규정	비 고
비중시험 (g/cm ³)	1.2	×	×	1.1 - 1.35	만 족
점성시험 (Marsh second)	48.9	×	×	40 - 50	만 족
pH 시험	11.2	×	×	8 - 12	만 족
일축압축강도시험 (kg/cm ²)	×	1.72	3.02	1.5 이상	만 족
투수시험 (cm/sec)	×	×	3.43 ×10 ⁻⁶	10 ⁻⁵ 이하	만 족

(주) 각 항목별 수치는 전체시험자료에 대한 평균치 임.

3.1 비중시험

비중시험 결과 비중값의 범위는 제1매립지의 경우 1.19~1.24의 범위가 전체 시험결과치의 77.8 % (그림 3.1a), 제2매립지의 경우 1.22~1.27의 범위가 전체 시험결과치의 78.0 % (그림 3.1b)를 나타내어 전반적으로 1.19~1.27의 범위가 당현장에서 실험을 통하여 검증된 비중임을 확인하였으며 트랜치의 안정에 적절한 비중 1.10~1.35의 범위를 만족하는 것으로 분석되었다.

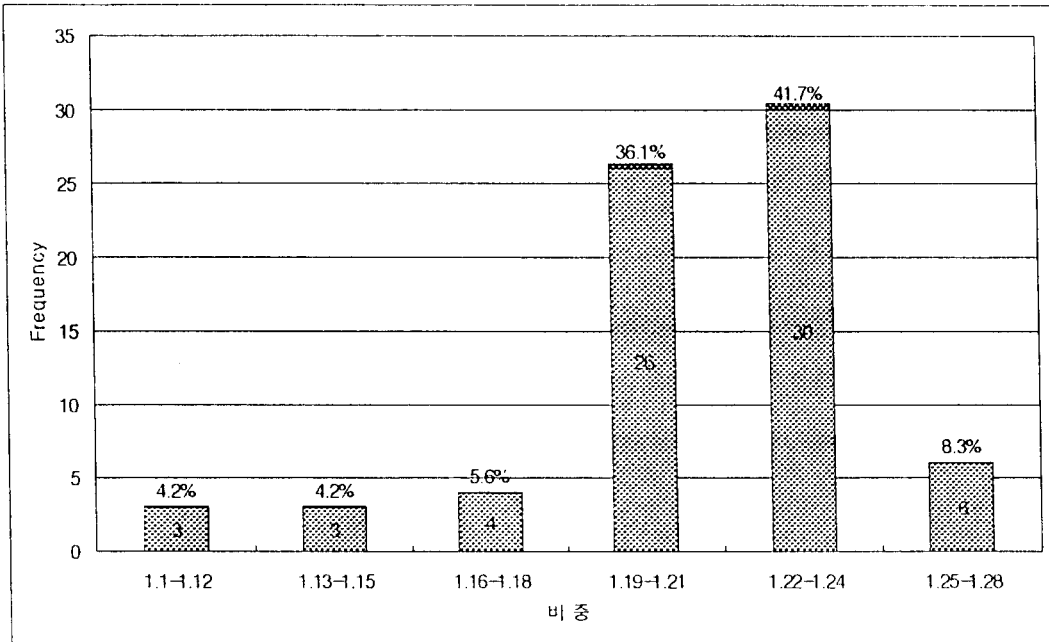


그림 3.1a 제1매립지내에서 비중시험에 따른 수치별 빈도

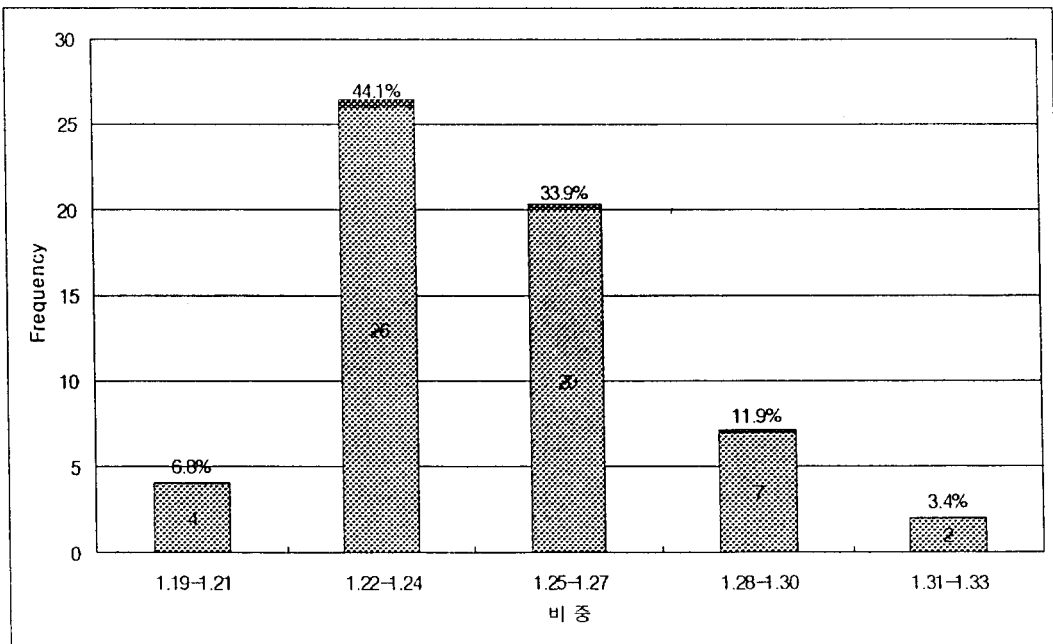


그림 3.1b 제2매립지내에서 비중시험에 따른 수치별 빈도

3.2 pH시험

pH시험 결과 pH의 범위는 제1매립지의 경우 10.2~11.3의 범위가 전체 시험결과치의 88.9 % (그림 3.2a)를 나타낸 반면, 제2매립지의 경우 10.3~12.0범위내에서 전반적으로 분산된 형태를 나타내었다 (그림 3.2b). 이에 따라 전반적으로 10.2~12.0의 범위가 당현장에서 실험을 통하여 검증된 pH 치임을 확인하였으며 시방기준 8.0~12.0를 만족하는 것으로 분석되었다.

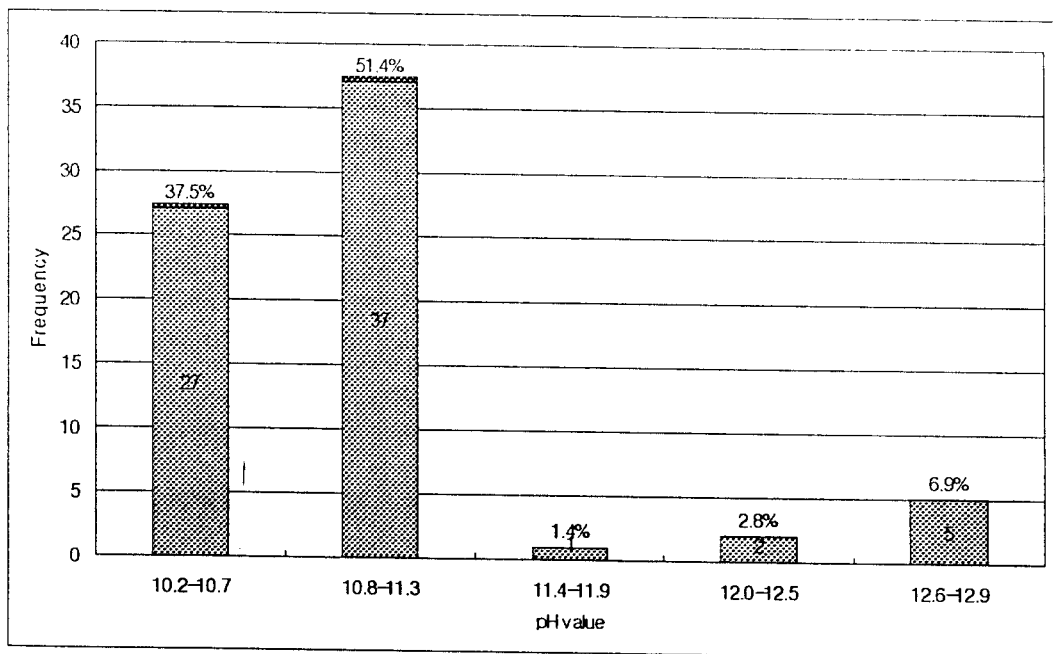


그림 3.2a 제1매립지내에서 pH 시험에 따른 수치별 빈도

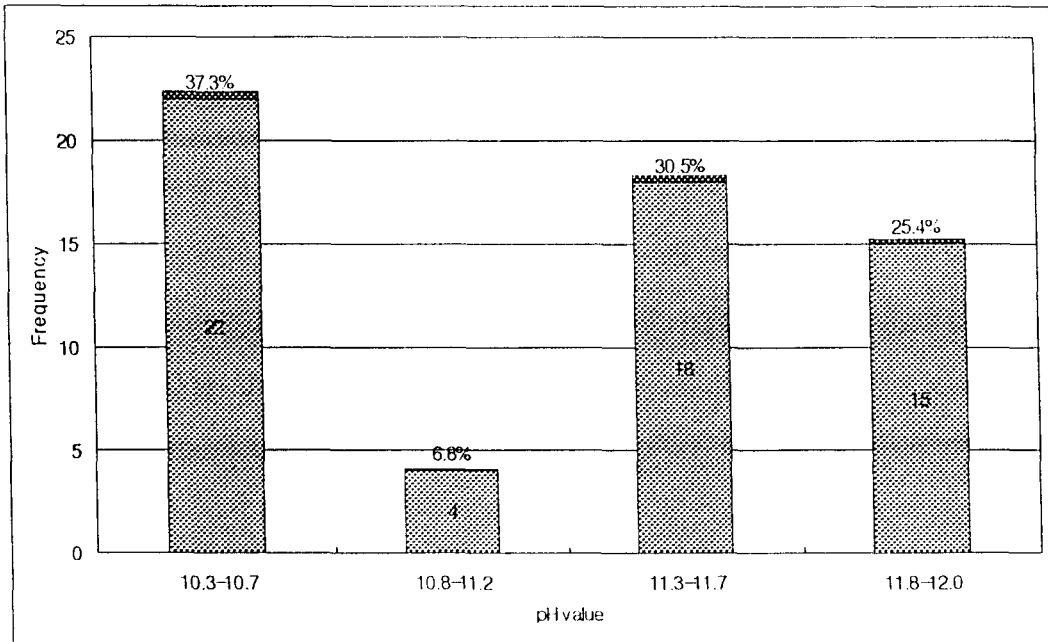


그림 3.2b 제2매립지내에서 pH 시험에 따른 수치별 빈도

3.3 점성시험

점성시험 결과 점성의 범위는 제1매립지의 경우 40~51 초의 범위가 전체 시험결과치의 77.7 % (그림 3.3a), 제2매립지의 경우 44~52 초의 범위가 전체 시험결과치의 84.7 % (그림 3.3b)를 나타내어 전반적으로 40~52 초의 범위가 당현장에서 실험을 통하여 검증된 점성임을 확인하였으며 시멘트 벤토나이트 슬러리에 대한 점성시방기준 40~50 초와 비교할 때 다소 큰범위를 갖는 것으로 분석되었다.

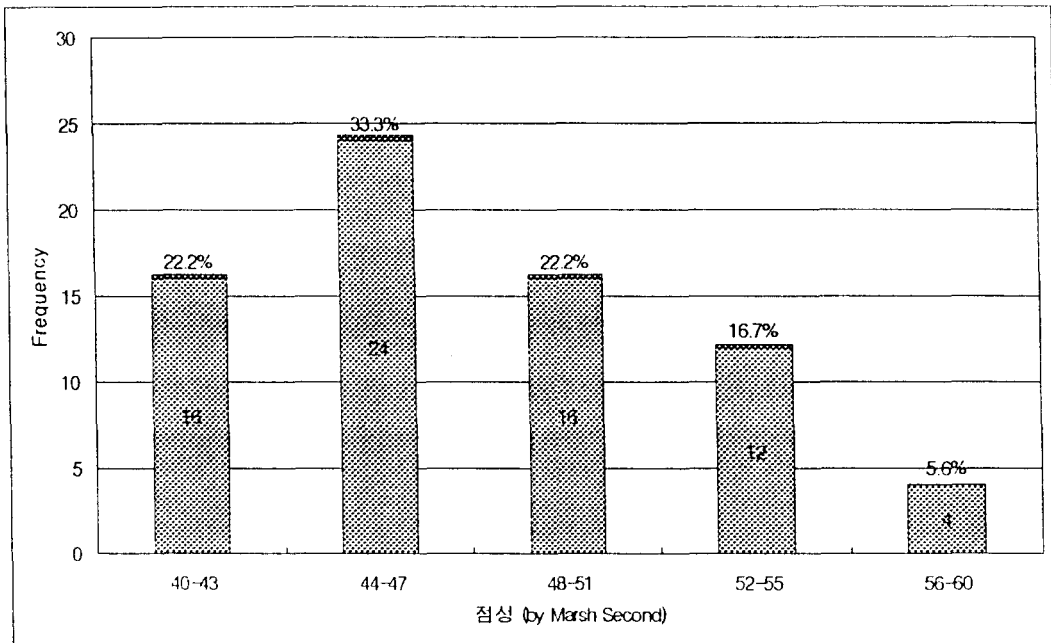


그림 3.3a 제1매립지내에서 점성시험에 따른 수치별 빈도

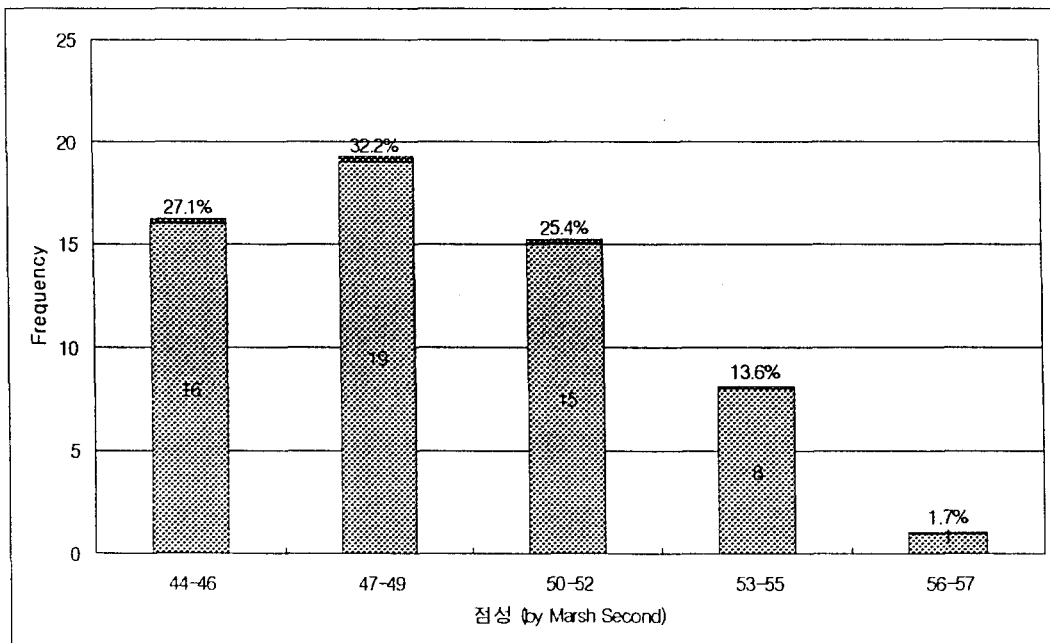


그림 3.3b 제2매립지내에서 점성시험에 따른 수치별 빈도

3.4 일축압축강도시험

일축압축강도시험 결과 강도발현의 범위는 제1매립지의 경우 2.2~4.4 kg/cm²의 범위가 전체 시험결과치의 81.4 % (그림 3.4a), 제2공구의 경우 2.5~3.6 kg/cm²의 범위가 전체 시험결과치의 93.4 % (그림 3.4b)를 나타내어 전반적으로 2.2~4.4 kg/cm²의 범위가 당현장에서 실험을 통하여 검증된 시멘트 벤토나이트시료의 강도범위임을 확인하였으며 강도시방기준 1.5 kg/cm²와 비교할 때 현저히 큰 강도가 발현되는 것으로 분석되었다.

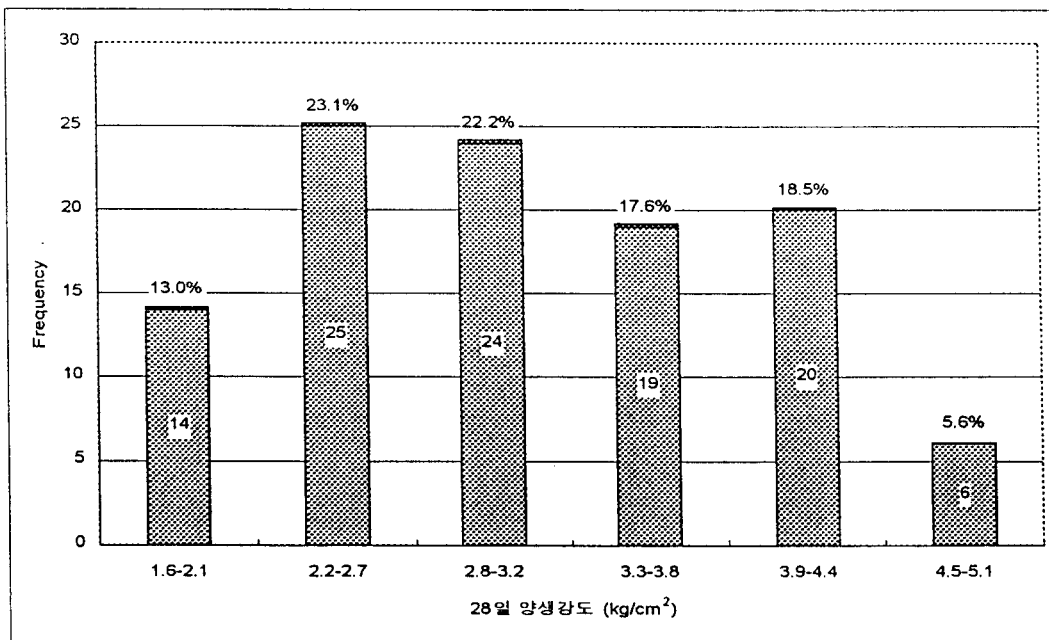


그림 3.4a 제1매립지내에서 일축압축시험에 따른 강도발현의 수치별 빈도

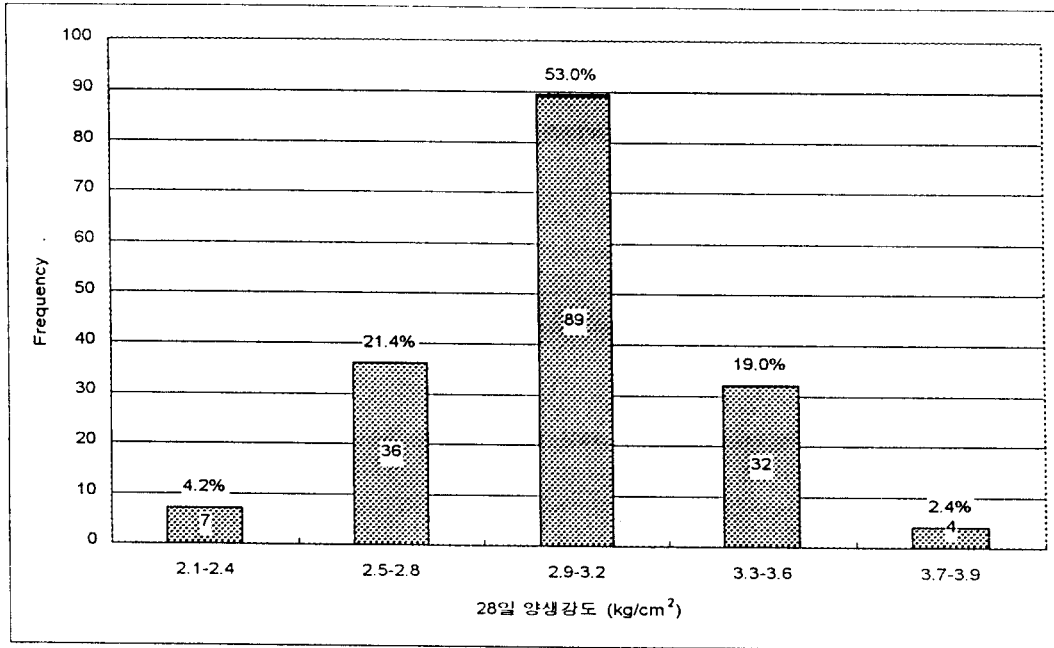


그림 3.4b 제2매립지내에서 일축압축시험에 따른 강도발현의 수치별 빈도

3.5 실내투수시험

트랜치로부터 채취되어 28일 양생된 시료를 기준으로 실내투수시험을 시행한 결과 16개의 시료에 대한 투수계수의 범위는 최소 7.8×10^{-7} cm/sec로부터 최대 8.3×10^{-6} cm/sec로 그림 3.5와 같이 투수계수의 범위가 상기 범위내에서 전반적으로 분산된 형태의 분포를 나타내고 있다. 이에대한 평균투수계수는 3.9×10^{-6} cm/sec로 투수계수에 대한 시방기준($< 10^{-5}$ cm/sec)을 만족하는 것으로 검증되었다.

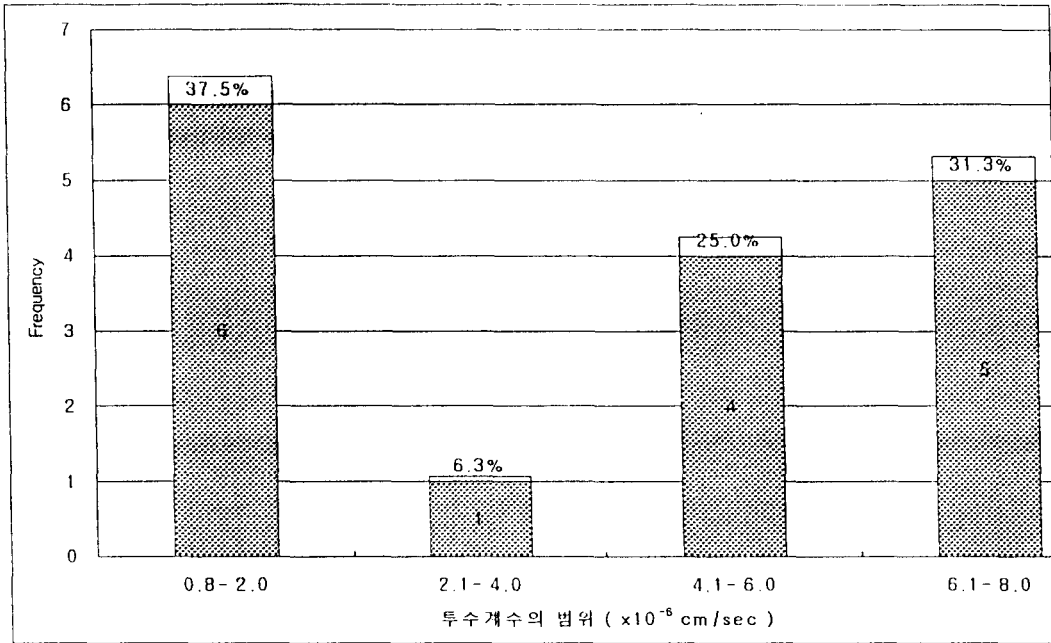


그림 3.5 실내투수시험에 따른 투수계수의 범위

4. 현장투수시험을 통한 시멘트 벤토나이트 슬러리 벽체의 적용성 검토

4.1 현장시험방법의 선정

현장투수시험의 방법은 시멘트 벤토나이트 슬러리 벽체 내부에서 일정심도(지하수위 이하)에서의 투수특성을 파악하기 위한 정수위 투수시험방법으로 수압시험방법과 비교해볼 때 시멘트 벤토나이트 슬러리 벽체에 손상을 가하지 않는 가장 적합한 시험방법으로 그림 4.1와 같은 방법으로 이루어진다. 별도로 지하연속벽의 연결부에 보링을 실시하여 투수시험을 통한 연결부의 누수여부를 점검하였다.

가. 시험기간 : 98년 1월 13일 - 98년 2월 6일 (24일간)

나. 측정간격 : 1일 간격

다. 시험순서

- ① 시험장비 설치 (참조 : 투수시험 모식도)
- ② 수두 설정
- ③ 설정된 수두 h 만큼 수두를 맞추어 놓은 시점에서 1일 간격으로 수두 변화를 점검하고 시험일지에 기록한다.
- ④ 투수계수 산정식에 따라 투수성을 산정한다.

$$k = \frac{2.3q}{2\pi LH} \log_{10} \frac{L}{R} \quad ; \quad L \geq 10R \quad (4.1)$$

여기서 L ; 유출길이, R ; 유출반경, H ; 수두차, q ; 유출유량

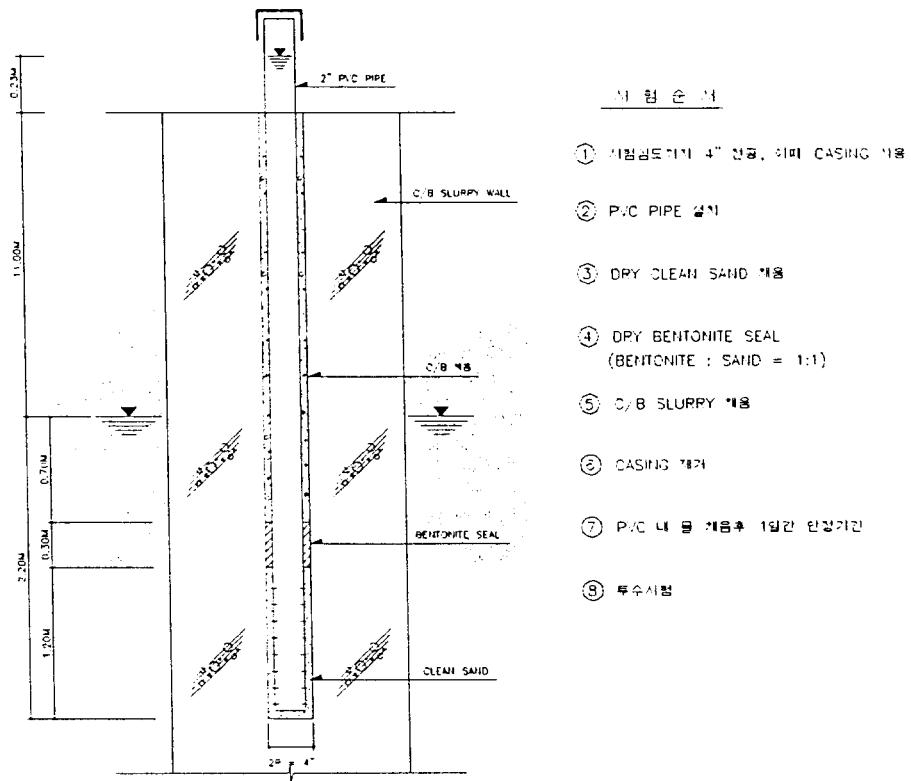


그림 4.1 투수시험 모식도

4.2 현장투수시험 결과분석

98년 1월 13일부터 98년 2월 6일까지의 일별수두저하 변화와 일별투수계수 측정치는 그림 4.2과 그림 4.3과 같으며 25일간 총 수두 저하량은 90.5 cm가 저하되었고 투수계수치는 최대 4.93×10^{-9} 부터 최소 2.02×10^{-9} cm/sec 범위로 평균 투수계수 3.45×10^{-9} cm/sec를 나타내었다.

또한 그림 4.4에서 볼수 있듯이 투수계수 측정을 위한 현장 투수시험 시스템의 안정화 단계는 98년 1월 20일을 전후로 완료된 것으로 판단되며 98-2-1의 투수계수값은 일일별 변화추이를 고려해 볼 때 무시할수 있는 오류치로 보이며 이를 토대로 일별 투수계수의 변화추세를 그림 4.5과 같이 log scale로 분석해보면 안정화 단계후 투수계수는 2.7×10^{-9} cm/sec 정도로 수렴하는 것으로 관찰되어 설계투수계수 제한값 이하를 만족하는 것으로 나타났다.

아울러 시험공의 위치가 시공이음부인 것을 감안할 때 이음부분의 차수성은 충분히 신뢰할만한 것으로 판단된다.

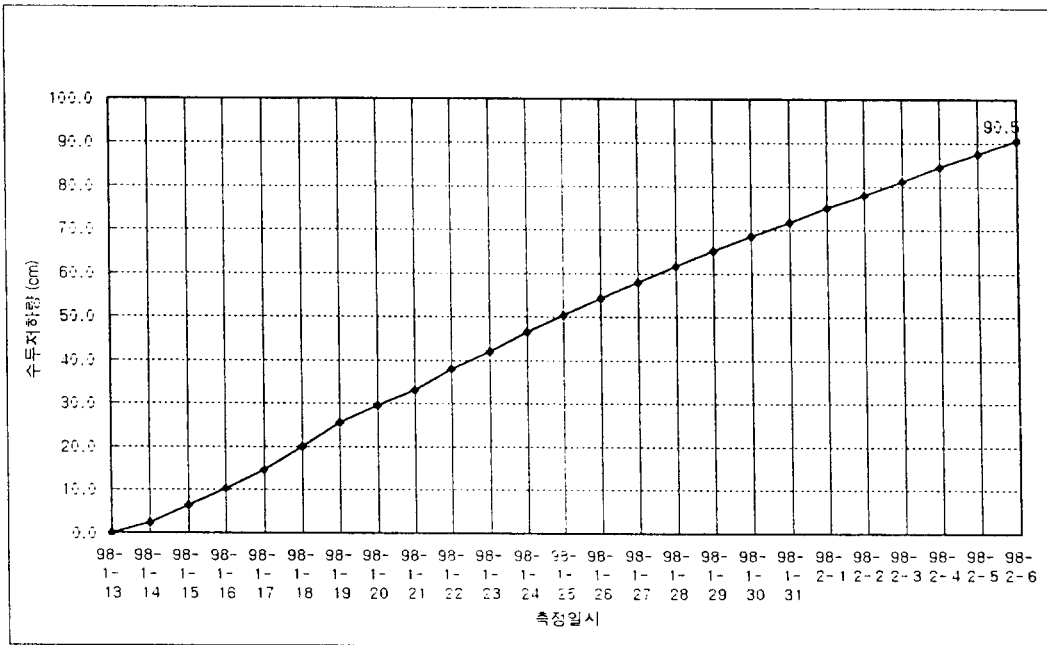


그림 4.2 일별 수두저하 변화곡선

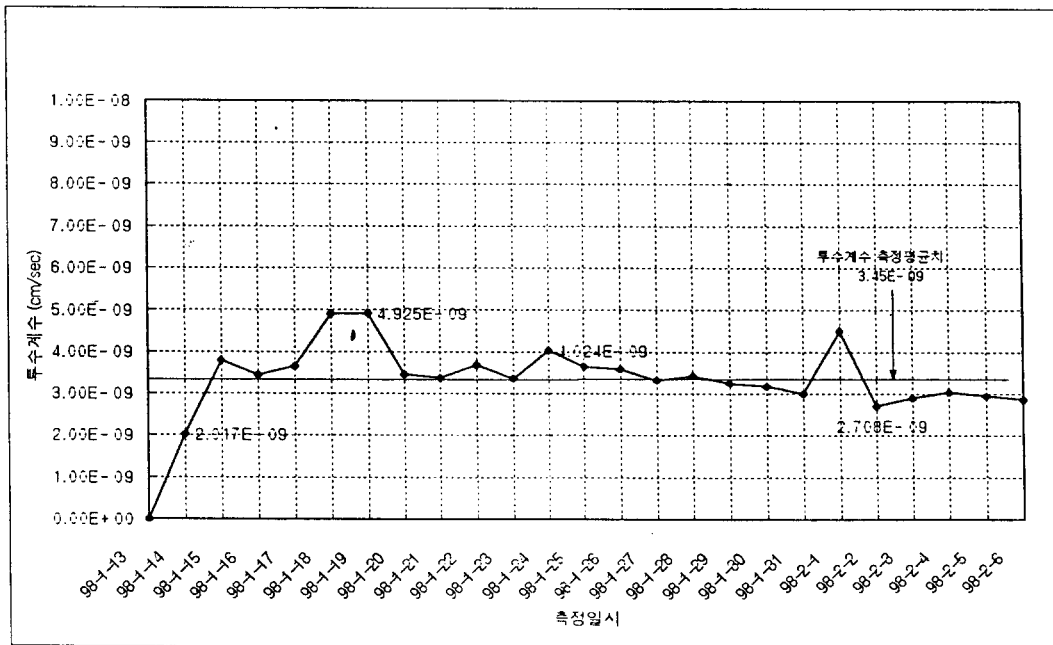


그림 4.3 일별 투수계수 측정치

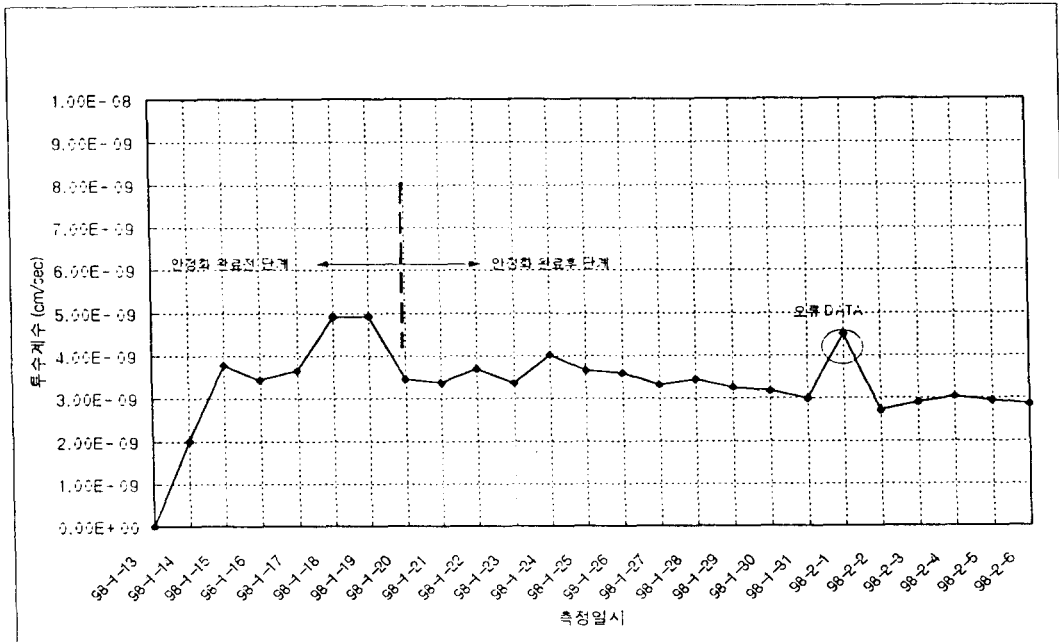


그림 4.4 투수계수 자료 분석 및 비교

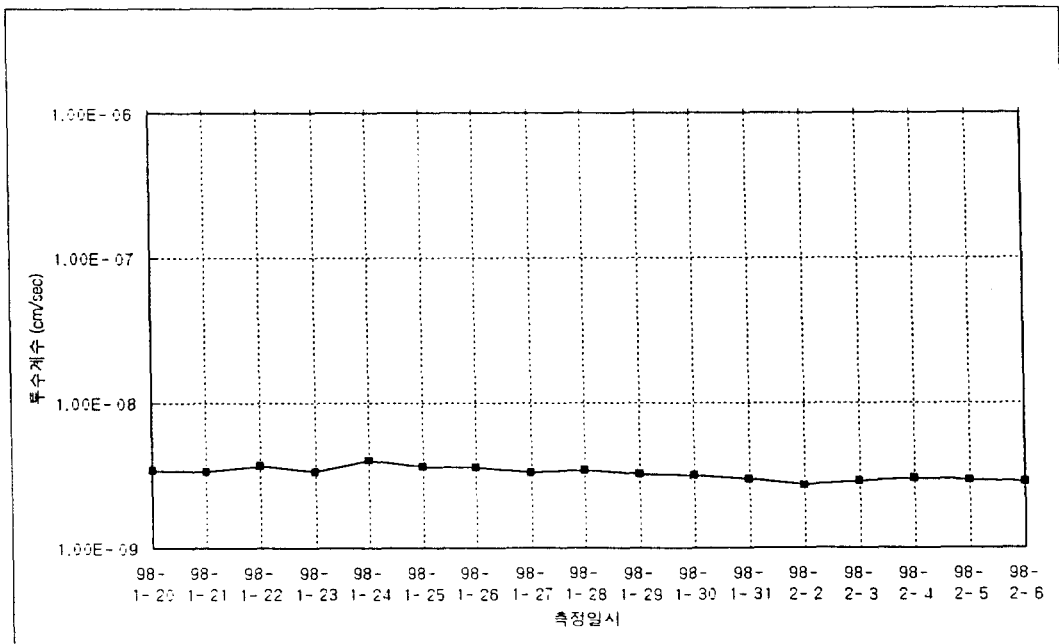


그림 4.5 안정화 단계후 투수계수 수렴도 (log scale)

5. 결 론

본 연구는 난지도 매립지 안정화 공사중 시멘트 벤토나이트 슬러리 벽체 공사를 실험모형으로하여 시공전 설계단계, 시공중 검증단계, 시공후 검증 단계와 같이 3단계로 나누어 슬러리 벽체에 대한 지중차폐벽으로써의 체계적인 검증을 시도한 것으로 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 난지도 매립지내의 폐기물로부터 발생하는 침출수는 시멘트 벤토나이트 슬러리의 양생되는 과정에서 물리적 특성변화에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

2. 벤토나이트제품중 외산 벤토나이트의 경우, 어떤 시멘트제품과 결합하여도 120 초이상의 높은 점성이 측정되어 시방기준에 만족하지 못하였고 시멘트 배합량이 210 kg/m^3 이하인 경우 시방기준을 만족하는 일축압축강도를 발휘하지 못하는 것으로 검증되었다.

3. 시방기준을 만족하는 시멘트 벤토나이트 슬러리의 적절한 배합비는 시멘트 250.0 kg, 벤토나이트 45.0 kg, 배합용수 900.0 l 인 것으로 실내시험을 통하여 검증되었다.

4. 난지도 매립지 안정화 공사현장에서 실제 시공된 시멘트 벤토나이트 슬러리를 채취하여 실내시험을 통해 확인한 결과 비중, pH치, 점성, 일축압축강도, 투수계수에 대한 일반적인 범위는 각각 1.19~1.27, 10.2~12.0, 40~

52 초, $2.2\sim 4.4 \text{ kg/cm}^2$, $8.3\times 10^{-7}\sim 7.8\times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ 로 측정되어 시멘트 벤토나이트 슬러리 벽체의 기능에 대한 시방기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

5. 현장 투수시험 결과 안정화 단계후 투수계수는 $2.7\times 10^{-9} \text{ cm/sec}$ 로 수렴하는 것으로 평가되어 설계 투수계수 제한값 이하를 충분히 만족하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원, 1992. 도시폐기물 매립장의 건설부지 활용과 위생 매립시스템에 관한 연구, 건기연 92-GE-112, p.274.
2. 한국건설기술연구원, 1995. 오염지반 및 지하수 정화기술에 관한 연구, 건기연 pp. 57~147.
3. U.S. ASCE, 1990. "Waste Containment System: Construction, Regulation, and Performance," Geotechnical Special Publication No. 26.
4. U.S. Department of Commerce, 1990. Ground Water and Soil Contamination Remediation: toward Compatible Science, Policy, and Public Perception, National Academy Press.
5. U.S. EPA, 1993. "Demonstration of Remediation Technologies for Contaminated Land and Groundwater".
6. U.S. EPA, 1984. "Slurry Trench Construction for Pollution Migration Control," EPA-540/2-84-00, pp. 1-1 ~ 4-22.
7. Xanthakos, P.P., 1979. "Slurry Walls," McGraw-Hill Book Company, 622p.