

연직배수공을 활용한 준설매립 연약지반 설계 사례



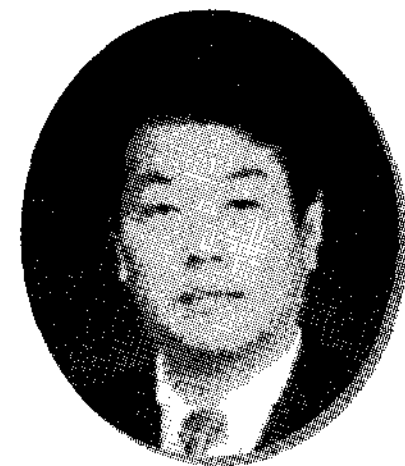
유 찬 호
(주) KER 대표이사
(randy2680@nate.com)



김 영 덕
현대산업개발
토목설계팀 과장



김 선 곤
현대산업개발
토목설계팀 상무



임 민 규
현대산업개발 마산항
진입도로 현장소장

1. 서언

국토의 제한성과 산지가 많은 지형적인 특성으로 인하여 국내의 건설산업은 지반조건이 불량한 연약지반까지 도로, 철도 및 산업단지과 같은 건설공사가 진행되고 있다. 포화된 연약점성토 지반에 구조물을 건설할 경우의 가장 큰 문제가 되는 것은 장기간의 압밀침하이다. 포화된 연약지반은 투수계수가 작기 때문에 압밀침하 시간이 길어지게 되고 결국에는 연약지반에서의 건설공사 공기는 더욱

늘어나게 된다. 따라서 최근 연약지반에서의 건설산업은 공사기간 중에 압밀에 의한 침하량을 빠르게 상당부분 일어날 수 있도록 하여 압밀시간을 단축시키는 압밀촉진공법이 적용되고 있다.

본 과업구간인 마산항 진입도로 계획구간 역시 연약지반상에 도로를 계획하고 있는 구간으로, 설계당시 컨테이너 부두 등의 시공을 위해 상당 부분은 준설매립이 완료되어 있어 원지반 점성토층 상부로 준설매립층이 분포하고 있는 구간이다.

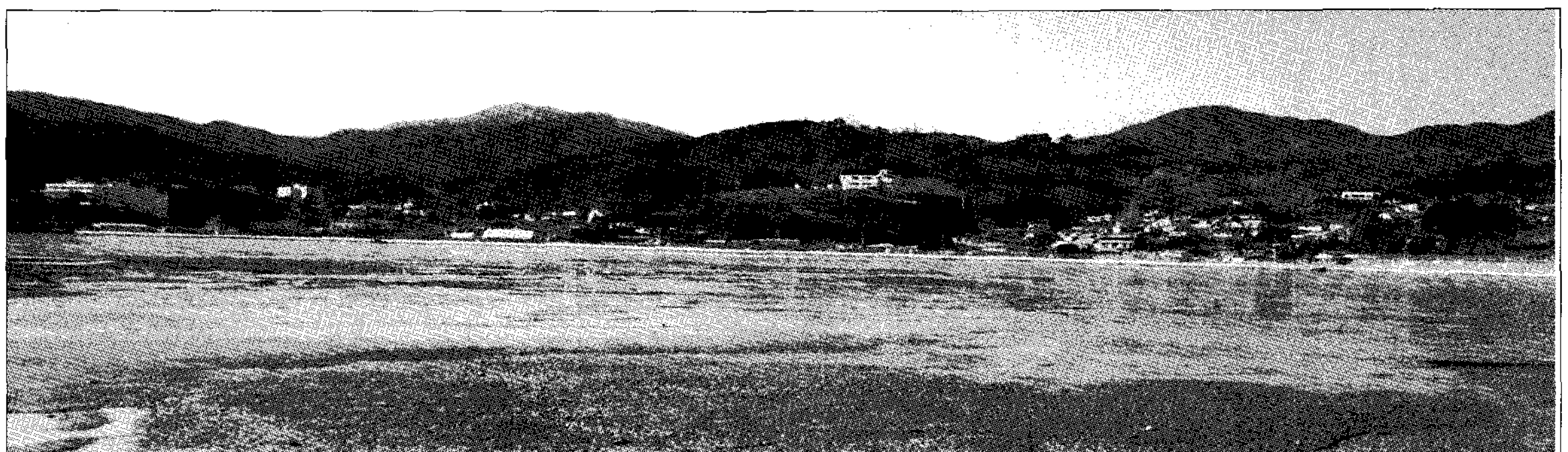


그림 1. 과업구간 전경

본 과업구간에 분포하고 있는 연약지반의 합리적인 설계를 위해서 준설매립층과 원지반 퇴적 점성토층의 특성을 고려하고자 하였다. 본 고에서 소개하고자 하는 준설매립지반 처리설계는 단지조성을 위해 준설한 후, 방치기간 등을 고려하여 준설매립층과 퇴적점성토층의 특성을 분석하였으며, 이를 토대로 효과적인 처리계획을 위해 다양한 분석을 수행한 대표적인 준설매립 연약지반의 처리설계라고 할 수 있다. 이에 본 고에서는 마산항의 연약지반 처리설계를 소개하고자 한다.

2. 구간현황

2.1 지층현황

본 고에서 소개하고자 하는 과업구간은 대부분 원지반 점성토 상부로 준설매립점토가 분포하고 있는 것이 특징

이며, 현장의 위치는 그림 2에 나타내었다. 과업구간은 설계당시의 준설매립상태로 크게 3구역으로 나누어 연약지반처리를 계획하였다.

과업구간의 구역별 지층구성상태는 그림 3에 나타내었으며, 그 내용을 살펴보면 과업구간에 분포하는 연약점성토는 5.3m~27.0m 정도의 층후를 보이고 있으며, 과업구간 중앙에서 가장 두텁게 분포하는 특징을 보인다.

전술한 바와 같이 준설매립여부와 연약점성토의 강도를 기준으로 하여 3구역으로 구분하였으며, 세부적인 처리계획을 수립하였다.

준설매립이 시행되지 않은 1구역과 준설매립이 시행되어 양호한 강도를 보이는 구간을 2구역 그리고 준설매립은 시행되었으나 강도는 약한 구간을 3구역으로 구분하였다.

2.2 연약지반의 물리적, 역학적 특성

과업구간에 분포하고 있는 연약지반의 물리적, 역학적

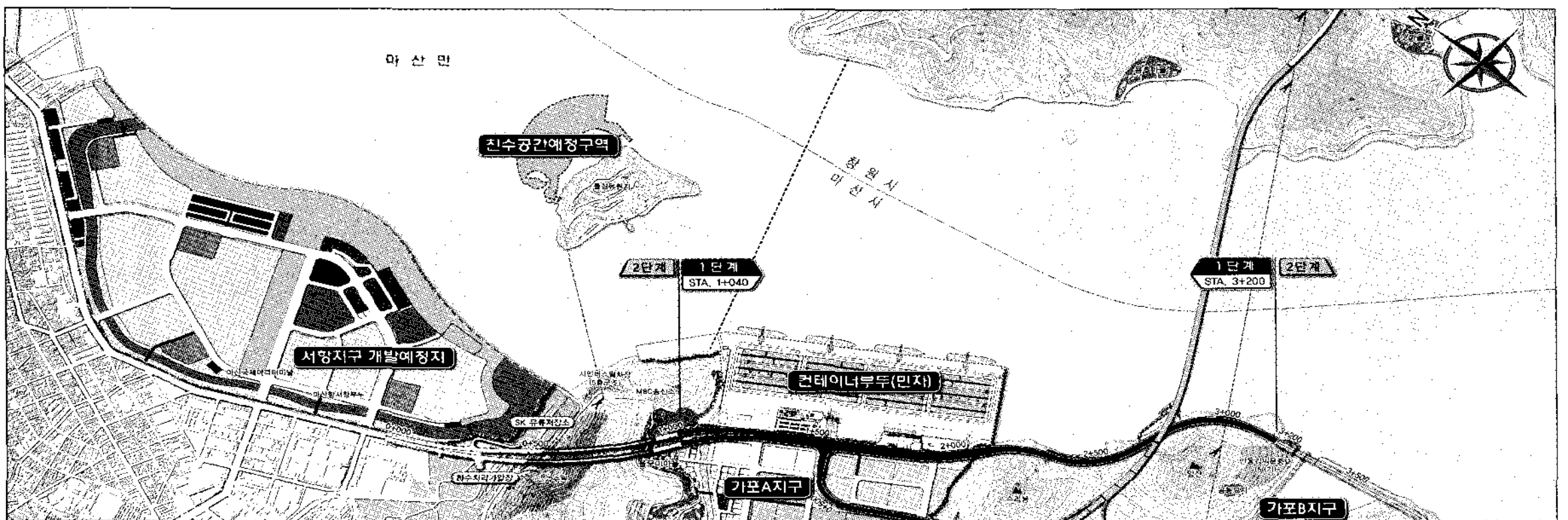


그림 2. 과업구간 위치도

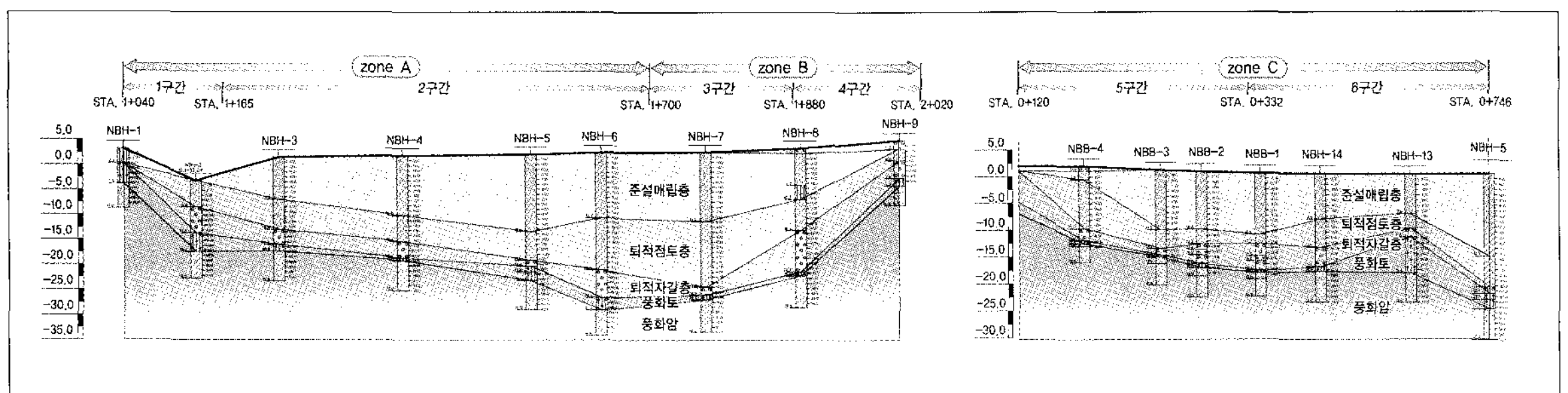


그림 3. 과업구간의 구역별 지층구성상태

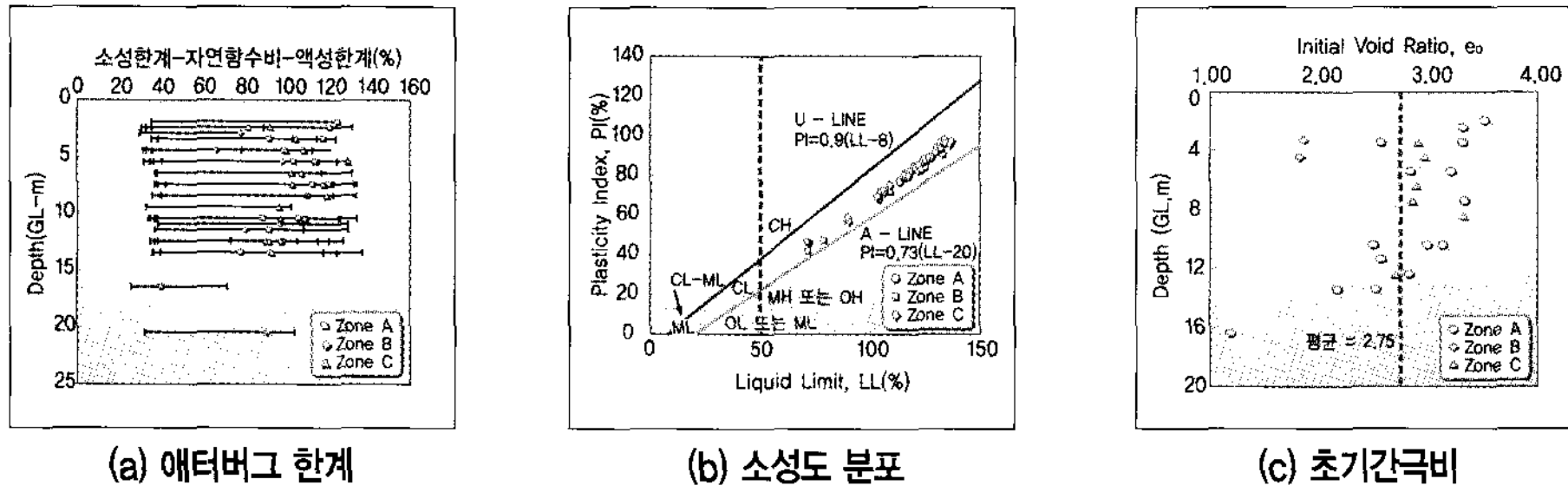


그림 4. 연약지반의 물리적 특성

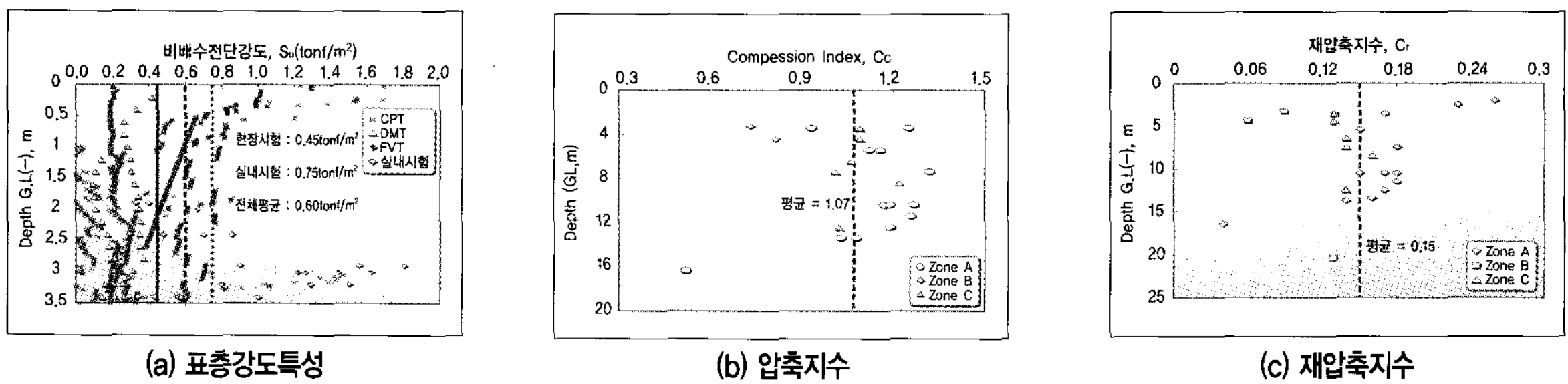


그림 5. 연약지반의 역학적 특성

특성을 분석하기 위하여 다양한 현장시험과 실내시험을 수행하였으며, 그내용을 간략히 정리하면 다음과 같다.

과업구간 연약지반의 자연함수비는 전 구간에 걸쳐 80~120% 범위를 보이는 것으로 평가되었으며, 초기간극비는 2구역과 3구역이 유사한 분포를 보이는 것으로 평가되었다. 1구역의 경우에는 상대적으로 낮은 초기간극비를 보이는 것으로 평가되었다(그림 4 참조).

연약지반의 심도에 따른 전단강도 증가는 0.1tonf/m²/1m 내외를 보이며, 표층의 전단강도는 약 0.6tonf/m²인 것으로 평가되었다. 압밀특성은 일정한 경향을 보이지 않으며, 분산폭이 다소 크게 평가되었으며, 압축지수 C_c는 0.52~1.32의 분포범위에 평균 1.047로 평가되었다(그림 5 참조).

3. 연약지반 처리계획

3.1 지층구성상태 추정

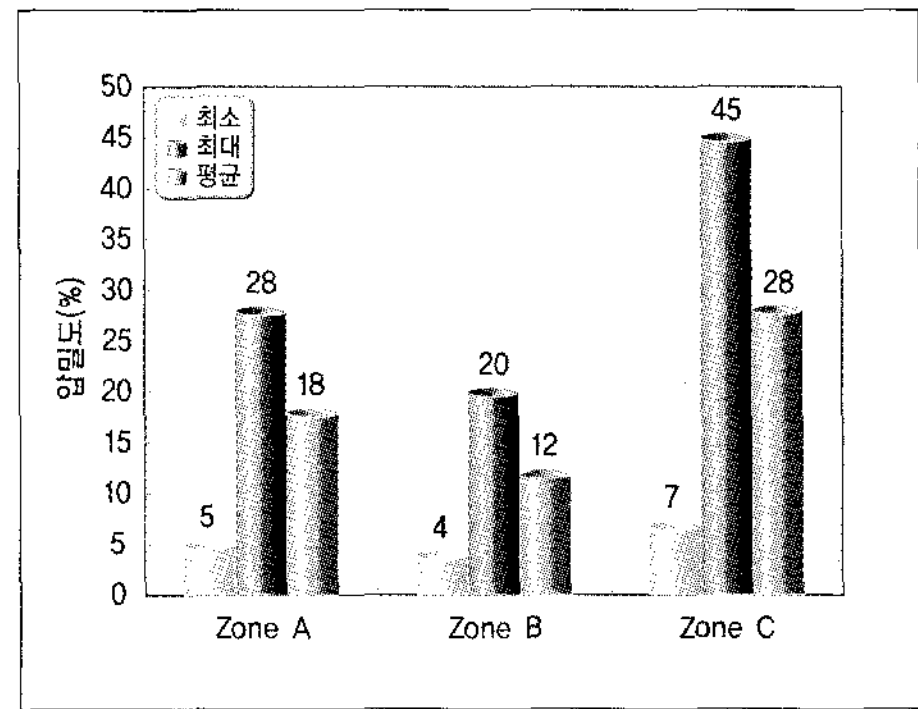
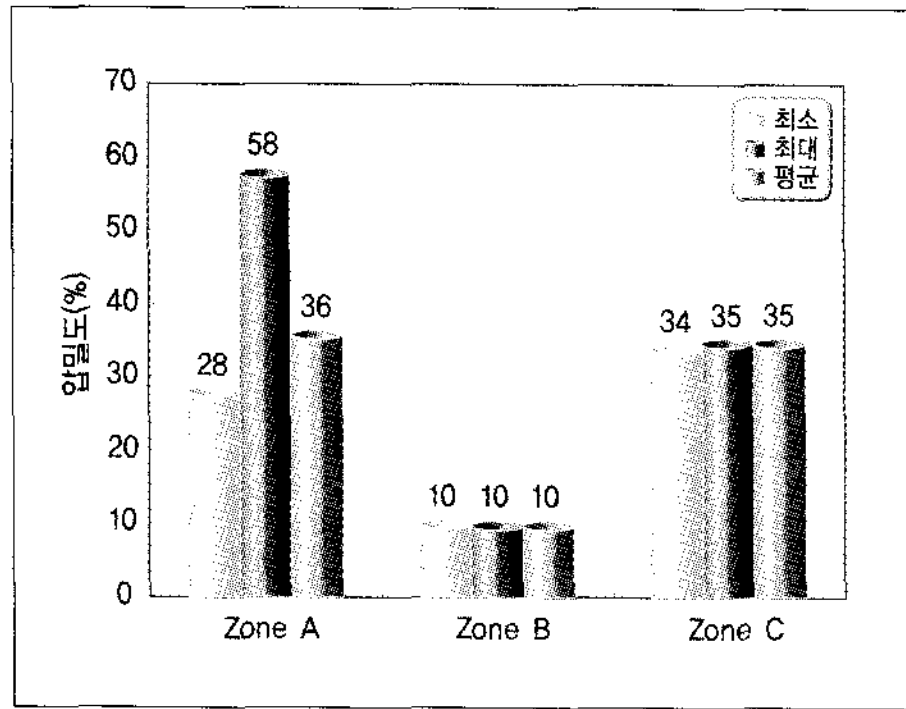
본 과업구간에 분포하고 있는 준설패립 연약지반은 준설패립 이후 상당기간 시간이 경과해 설계당시의 구성상태를 정확히 추정하는 것이 연약지반처리계획에 있어서 중요한 요소였다. 따라서 준설패립층과 퇴적점성토층의 현재구성상태를 파악하고자 원심모형시험, 현장시험 및 자중압밀시험 등을 수행하였으며, 그 결과를 토대로 연약지반의 현재 압밀도를 추정하였다.

일련의 과정을 통하여 연약지반의 설계당시 압밀도를 도출하였으며, 그 결과는 그림 6에 나타내었다.

분석결과, 준설패립층 및 퇴적점성토 지반의 압밀도 평가 결과 하부 퇴적점성토층이 준설패립층보다 비교적 높게 평가되었으며, 퇴적점성토층의 압밀도는 1구역이 28~58%, 2구역이 10%, 3구역은 34~35%로 평가되었다.

3.2 압밀침하량 산정

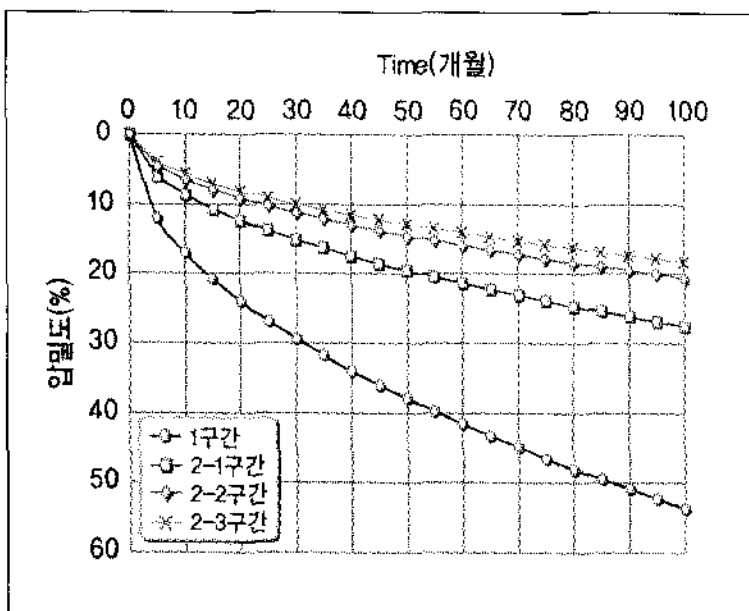
과업구간에 분포하고 있는 준설패립 연약지반의 압밀촉진공법 적용여부를 평가하고자 역해석을 수행하여 도출하였으며, 역해석은 유한변형률 압밀이론을 적용한 PSSDDF



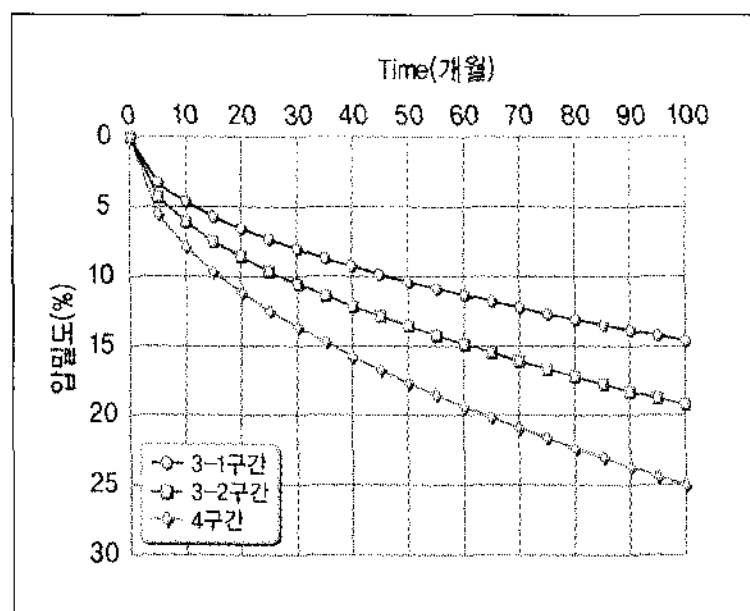
(a) 준설패립점토의 설계당시 압밀도

(b) 퇴적점성토의 설계당시 압밀도

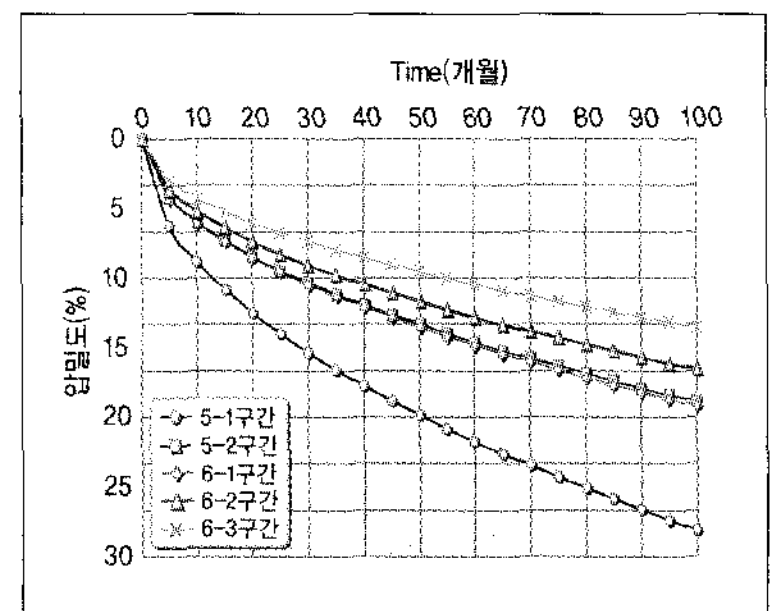
그림 6. 연약지반의 설계당시 압밀도



(a) 1구역의 압밀침하량 평가결과



(b) 2구역의 압밀침하량 평가결과



(c) 3구역의 압밀침하량 평가결과

그림 7. 연약지반의 압밀침하량 산정결과

프로그램을 이용하여 준설투기이력 및 상재하중 재하에 따른 압밀 침하량 산정하였다. 역해석에서는 과업구간에 분포하고 있는 준설패립지반의 준설이후 경과시간 표층의 상태 등을 고려하여 수행하였다. 구역별 침하량평가 결과는 그림 7에 나타내었다.

압밀침하량 산정결과 과업구간은 지반개량공 미적용시 전구간에 걸쳐 공사기간 내에 허용잔류침하량에 도달하지 못하는 것으로 평가되었다. 즉, 공사기간내에 연약지반처리를 완료하기 위해서는 지반개량공법이 필요함을 확인하였다.

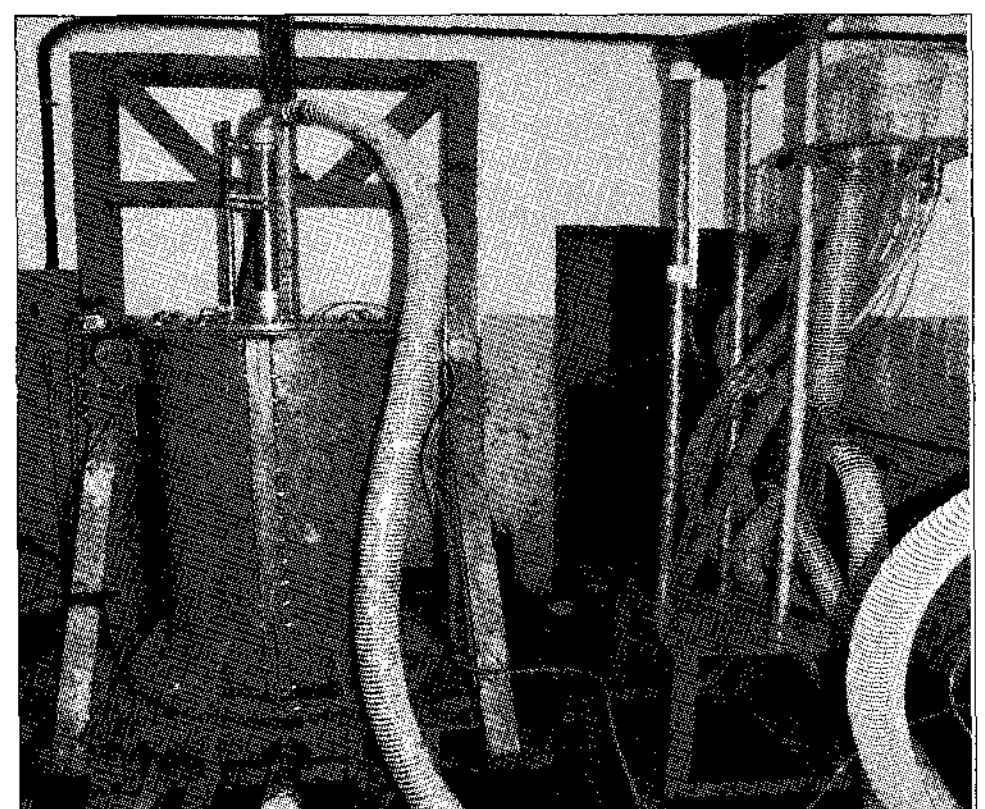


그림 8. 복합통수능 시험장비

3.3 연직배수재 통수능 시험

연약지반의 압밀을 촉진하기 위해서는 지반개량공법이 필요함을 확인하여 연직배수재를 활용하여 지반의 압밀을

촉진하는 방법을 결정하고자 하였다. 전술한 바와 같이 분과업구간의 대상 지층구성상태와 지층성분을 고려함으로써 합리적인 연직배수재를 결정하기 위하여 연직배수재의

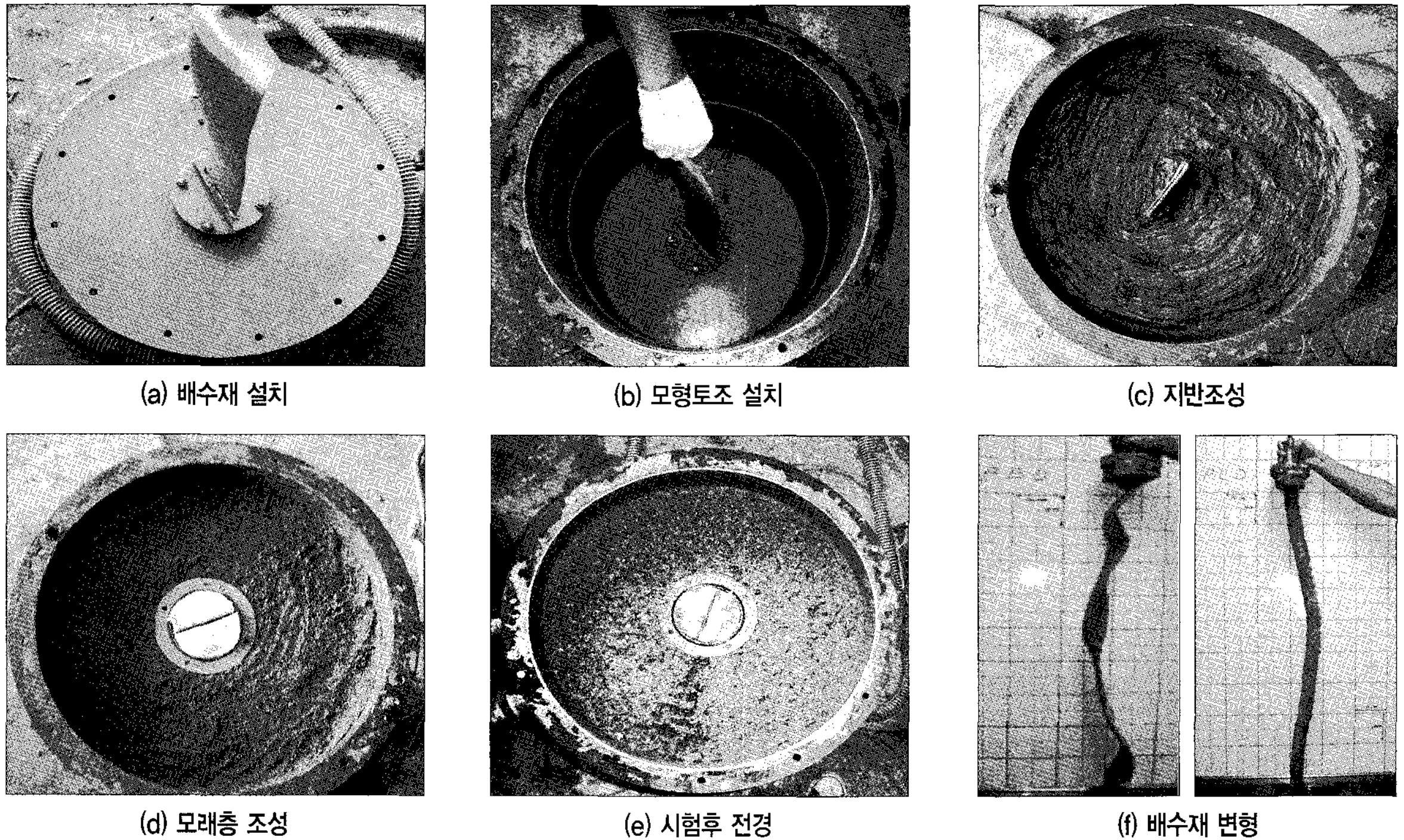


그림 9. 복합통수능시험 전경

표 1. 복합통수능 시험결과

구속압 (kgf/cm ²)	통수능 (cm ³ /s)				동수경사
	PBD(A)	PBD(B)	PCD	FD	
0.5	54	41	46	9.3	1.0
1.0	47.3	35.2	37.5	7.1	
2.0	34.4	28.42	28.8	4.5	
3.0	24.6	20.2	19.8	2.1	

복합통수능시험을 수행하여 최종적으로 연직배수공법을 확정하였다.

과업구간에 효과적인 연직배수재를 선정하기 위하여 당 현장시료를 이용하여 복합통수능 시험을 수행하였으며, 기존에 제안된 소요통수능에 대한 자료와 복합통수능시험으로부터 얻어진 자료를 분석하여 PBD (A), PBD (B), PCD, FD 등의 배수재에 대한 소요통수능을 평가하였다.

실험에 사용된 복합통수능장비의 전경은 그림 8에 나타내었으며, 실험과정은 그림 9에 나타내었다.

통수능 시험 결과는 표 1에 요약, 정리하여 나타내었으며, 배수재 종류에 따른 통수능 그래프는 그림 10에 나타내

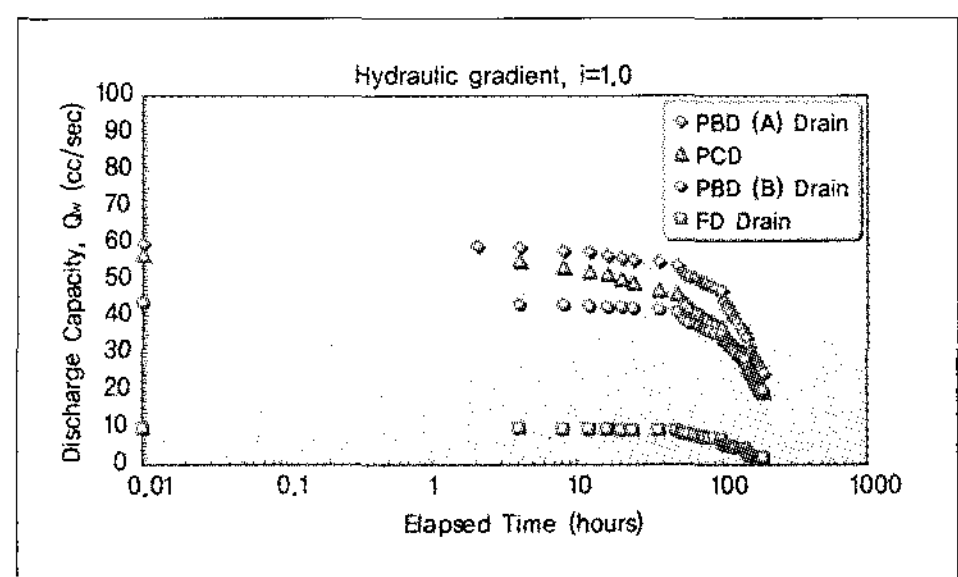
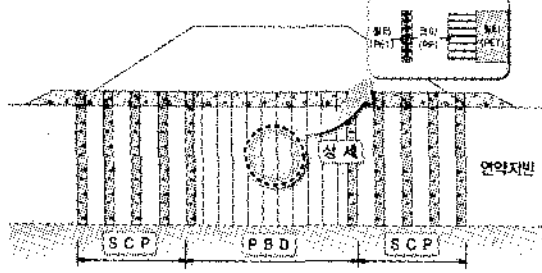
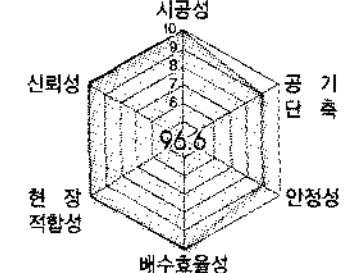


그림 10. 복합통수능시험 결과

었다. 복합 통수능 시험결과, PBD의 경우 배수재의 휨과 꺾임이 다소 발생하였으며, PCD는 완만한 굴곡형상의 변

표 2. 연약지반 처리계획

개요도	공법원리	특징	경제성 분석
	<ul style="list-style-type: none"> 안정성을 고려 비탈면부에는 SCP공법을 적용하고 중앙부는 PBDE타설로 압밀 촉진 	<ul style="list-style-type: none"> 진입도로 주변단지 개량공법으로 연계시공 유리 인근지역 시공사례가 많으며 자재공급이 용이하며, 가장 경제적임 	

형을 보였다. 이는 중앙 코어재의 원형형상에 기인한 것으로 판단된다.

FD는 천연섬유소재로 변형에 대하여 유연하여 급격한 변화양상은 보이지 않는 것으로 평가되었다.

PBDA 및 PCD의 경우 FD에 비하여 각각 11.7배, 9.4배의 통수능을 보이며, PBD B와 PCD가 유사한 통수능을 보이는 것으로 평가되었다.

소요통수능에 대한 기존 연구자료들을 토대로 비교 분석한 결과, 연직배수공법 적용시 소요통수능은 3.0~5.0cc/sec 정도의 범위이면 충분한 것으로 평가되었다. 따라서 과업구간에서는 타설심도가 최대 27m임을 감안하여 소요통수능을 2.0cc/sec로 결정하였다.

이러한 일련의 과정을 통해 본 과업구간에서는 배수재 타설간격 등의 처리계획을 수립하였으며, 경제성, 시공성, 안정성 등을 종합적으로 검토하여 표 2와 같은 연약지반 처리계획을 수립하였다.

4. 결론

본 고에서는 준설패립지반과 원지반퇴적 점성토로 구성되어 있어 압밀 이방성의 잠재성을 내포하고 있는 연약지반의 합리적인 처리를 위해서 설계단계에서 고려한 내용들을 소개하고자 하였다. 단지조성을 위해 준설펀 후, 방치기간 등을 고려하여 준설패립층과 퇴적점성토층의 특성을 분석하였으며, 이를 토대로 효과적인 처리계획을 위해 다양한 분석을 수행한 대표적인 준설패립 연약지반의 처리 설계라고 할 수 있다. 설계단계에서 정리된 내용들을 요약하면 다음과 같다.

(1) 과업구간은 설계당시의 준설패립상태로 크게 3구역으로 나누어 연약지반처리를 계획하였으며, 과업구간에 분포하는 연약점성토는 5.3m ~ 27.0m 정도의 층후를 보이고 있으며, 과업구간 중앙에서 가장 두텁게 분포하는 특징을 보인다.

(2) 과업구간 연약지반의 자연함수비는 전 구간에 걸쳐 80~120%범위를 보이는 것으로 평가되었으며, 표층의 전단강도는 약 0.6tonf/m²인 것으로 평가되었다.

(3) 압밀특성은 일정한 경향을 보이지 않으며, 분산폭이 다소 크게 평가되었으며, 압축지수 C_{cf}는 0.52~1.32의 분포범위에 평균 1.047로 평가되었다

(4) 퇴적점성토층의 압밀도는 1구역이 28~58%, 2구역이 10%, 3구역은 34~35%로 평가되었으며, 압밀침하량 산정결과 과업구간은 지반개량공 미적용시 전구간에 걸쳐 공사기간 내에 허용잔류침하량에 도달하지 못하는 것으로 평가되었다.

(5) PBDA 및 PCD의 경우 FD에 비하여 각각 11.7배, 9.4배의 통수능을 보이며, PBD A가 가장 효과적인 것으로 분석되었다. 과업구간에서는 타설심도가 최대 27m임을 감안하여 소요통수능을 2.0cc/sec로 결정하였다.

(6) 경제성 등을 종합적으로 분석하여 최종적인 처리공법을 결정하였으며, 안정성을 고려하여 비탈면부에는 SCP공법을 적용하고, 중앙부는 PBDE타설로 압밀을 촉진하는 공법으로 결정하였다.

참고 문헌

1. 김현태(1998), "스미어존내 투수성변화와 웰저항을 고려한 연직배수공법의 압밀해석", 동국대학교 박사학위 논문.
2. 마산항 진입도로(1단계) 건설공사 대안설계 보고서
3. Akagi, T.(1977) "Effect of displacement type Sand Drains on strength and compressibility of soft clay", Dr. Engrg. Dissert., Univ. of Tokyo.
4. Barron, R. A.(1948), "Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells", Trans, ASCE, 2346, pp. 221~228.
5. Christopher, B. R. and Holtz, R. D.(1985), Geotextile Engineering Manual, U.S. Federal Highway Administration, Washington, DC.
6. Hansbo, S.(1960), "Consolidation of clay with special reference to influence of vertical sand drains", Proc. Swedish Geotech. Institute, No. 18.
7. Hansbo, S.(1981) "Consolidation of fine-grained soils by prefabricated drains", Proc. 10th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Stockholm, Sweden Vol. 3, paper 12/22, pp. 677~682.
8. Hansbo, S.(1986), "Preconsolidation on soft compressible soils by the use of prefabricated vertical drains", Ann. des Travaux Publ, de Belgique, No.6. pp. 553~562.

해안항만기술위원회 2008년도 학술발표회 개최안내

해안항만기술위원회에서는 2008년도 학술발표회를 아래와 같이 개최하고자 하오니 회원여러분들의 많은 참여 부탁드립니다.

1. 일시 : 2008년 9월 5일(금) 09:00~18:00
2. 장소 : 한국과총회관 (강남구 역삼동)
3. 문의 : 한국지반공학회 T.02-3474-4428 F.02-3474-7379
해안항만기술위원회 위원장 박경호 011-791-3172
해안항만기술위원회 간 사 이육한 010-2395-3665
최항석 010-4660-9943
이만수 010-6657-5048
김제경 011-302-3287