

여천 임해 공업단지 매립계획 및 설계

Reclamation Plan and Design for The Yeochon Industrial Complex

한 경 석 * (Han, Kyung-Seok)
 신 승 철 * (Shin, Seung-Cheol)

* (주)대우엔지니어링 토목사업본부, 부장, Manager, Civil & Infrastructures Div, Daewoo Engineering Company, Seoul

SYNOPSIS

The elevation of reclamation work in the coastal area for the industrial complex is determined through the investigation and review of marine conditions, drainage plan and fill materials. The embankment to be constructed with crushed stone on the soft soil should be safe against the wave force, immediate and long term consolidation settlement, overturning and sliding due to self-weight and other forces.

Because of the lack of fill material from the borrow pit, the soft marine clay to be dredged shall be used as the reclamation material. And Paper Drain Board is used as the improvement method for the deep soft clay strata.

1. 사업목적 및 위치

1.1 사업목적

본 사업은 석유화학원료 및 제품에 대한 국내의 수요증가에 따라 여천국가공업단지 개발사업의 일환으로 추가확장고시된 인접해변지역을 공업단지로 개발하기 위하여 공유수면 매립을 포함한 단지조성공사를 시행함에 그 목적이 있다.

1.2 사업지역 위치

전남 여천시 화치동, 중흥동 및 월하동 일원으로 <그림 1>과 같다.

2. 사업개요

2.1 사업기간

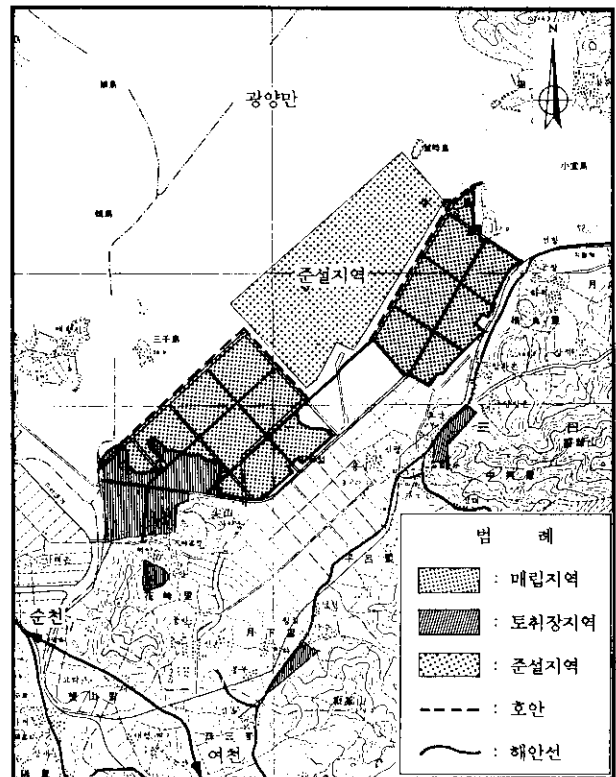
본 공사의 기간은 5년으로 1993년 부터 1997년 까지 계획하고 있다.

2.2 사업개요

본 공사의 사업개요는 다음과 같다.

- 가. 단지조성 및 매립공
 - 조성면적 : 7,560 천 m² (2,287 천평)
 - 매립토량 : 55,666 천 m³
 (육상토 20,726 천 m³, 준설토 34,940 천 m³)
- 나. 호안축조공 : 7 km
- 다. 도로 축조 및 포장공
 - 도로축조 : 27.6 km
 - 포 장 : 4,278 a
- 라. 하천개수공 : 5.73 km
- 마. 교 량 : 11개소
- 바. 상하수도관로 : 107.8 km

3. 지형 및 지질현황



<그림 1> 본 사업지역 위치도

3.1 지형

매립지역은 여천시 기존공업단지와 화지동, 율하동, 중흥동 및 월내동에 접해 있는 해안선을 따라 삼강도, 중흥부두 및 우순도를 연결하는 해상지역으로서 매립예정지역의 수심은 대략 평균 해면 (Mean Sea Level)하 1.0 - 4.0 m 내외로 해저의 경사는 완만한 편이다.

3.2 해상

본 사업지역은 광양만 내항에 위치한 지역으로써 파랑이 잔잔한 편이며 약 최고만조위는 평균해면상 +1.911 m, 약 최저간조위는 평균해면하 -1.911 m로 간만차는 3.822 m가 된다.

3.3 지질

본 사업지역에 발달, 분포하고 있는 기반암은 주로 안산암질암 및 응회암들로 이루어져 있으며 이들이 풍화작용을 받아 토질화된 풍화대층이 기반암 상부에 불규칙하게 피복되어 있어, 그 발달층위는 지점에 따라 많은 차이를 나타내고 있고 지역에 따라서는 해성퇴적층 하부에 바로 기반암이 발달, 분포하기도 한다. 풍화대 상부에는 미고결 상태의 해성퇴적층인 실트질 모래, 자갈층과 실트질 점토층이 광범위하게 발달, 분포하고 있다.

시추조사, 해상지층탐사, 현장 원위치 시험 및 실내토질시험 결과에 의하여 나타난 각 층의 특성은 다음과 같다.

3.3.1 해성 퇴적층

조사지역의 해안 및 해저를 따라서는 미고결 상태의 해성퇴적층이 광범위하게 발달, 분포하고 있으며 상부는 주로 실트질 점토로 구성되어 있으며 하부는 실트질 모래 자갈 등의 사질토로 구성되어 있으나 하부사질토층의 발달상태는 그 층위가 0.4 - 4.9 m 정도로 비교적 미미한 상태이다. 또한 지점에 따라 다소 차이는 있으나 조개껍질 등을 함유하고 있으며 그 발달 층위는 대략 0.4 m - 21.8 m의 범위를 나타낸다. 본층의 상부 실트질 점토층과 하부 사질토층에 대해 기술하면 다음과 같다.

가. 점성토층 (실트질 점토)

본층은 퇴적층 상부구간에 층후 0.4 - 20.0 m로 발달, 분포하고 있으며 해양쪽으로 갈수록 그 층후가 두껍게 발달하고 있다. 본층에서 실시한 표준관입 시험결과에 의하면 관입저항치 (N치)는 1회/45 cm - 4회/30 cm의 범위로서 매우 연약내지 연약한 상태를 보여주고 있다.

표준관입시험시 채취된 교란시료와 자연시료에 대한 실내 토질시험 결과에 의하면 본층은 통일분류상 CL, CH로 분류되며, 자연함수비 (Wn) 69.6 - 98.3 %, #200계 통과량 90 - 98 %, 액성한계 (LL) 54.1 - 75.5 %, 소성한계 (PL) 19.2 - 34.7 %, 점착력 (C) 0.009 - 0.249 kg/cm², 압축지수 (Cc) 0.78 - 1.45, 초기 간극비 (eo) 1.838 - 2.656, 일축압축강도 (qu) 0.088 - 0.500 kg/cm²의 매우 연약하고 압축성이 강한 특성을 보여주고 있다. (1, 2)

나. 사질토층

지질조사 결과에 의하면 점성토 (실트질점토) 하부에 0.4 - 4.9 m 범위로 분포하고 있으며 그 구성 성분은 점토질 모래, 실트질 모래 및 모래질 자갈 등 다양한 상태이며 지점에 따라 호박돌에 가까운 자갈이 분포하기도 한다. 본 층에서 실시한 표준관입시험 결과 관입저항치 (N치)는 10회 - 50회/8 cm로 느슨내지 매우 조밀한 상태를 보여주고 있으나 이것은 구성 성분의 차이에 따라서 관입저항치 (N치)가 심한 변화를 나타내고 있는 것으로 판단된다.

3.3.2 풍화대층

본층은 기반암인 안산암질암과 응회암이 오랜 풍화 과정을 통하여 완전풍화를 받아 생성된 지층으로 암석조직이 완전분해되어 토질화 되었고 모암의 원 구조는 보존하고 있는 상태이며 원위치에서 매우 굳고 치밀한 상태를 보여주고 있는 지층이다. 이 층에는 풍화되지 않은 암편들이 불규칙하게 내재되고 있어 전체적으로 불연속적인 상태이다.

본 층은 기반암의 변화에 따라 통일분류상 SM-CL의 다양한 입도분포

를 보여준다.

3.3.3 기반암층

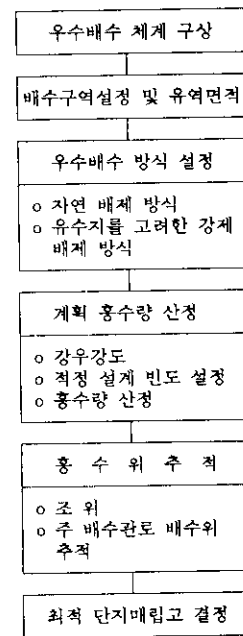
조사지역의 풍화대 하부에는 화학적 풍화작용과 기계적 풍화작용이 병행하여 진행되고 있는 안산암질암과 응회암이 기반암으로 발달하고 있다. 본층의 코아 최수율 (TCR)은 0 - 17 % 이고, 압밀표시율 (RQD)은 0 %로 매우 불량한 상태이다.

4. 단지 매립계획고 검토

4.1 매립계획고

본 사업은 공유수면을 매립하여 공업단지를 조성하는 것으로 이 지역의 조위, 주변지역의 매립고, 매립지의 배수처리 계획, 매립토량 확보 방안 등의 종합적인 검토를 거쳐 최적의 매립계획고를 수립하였다.

단지 매립계획고를 결정하기 위한 작업의 흐름은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 매립 계획고 작업 흐름도

4.2 단지 매립 방안별 비교검토

자연배수 및 강제배수 방식에 따른 단지매립 계획고를 방안별로 비교검토된 내용은 <표 1>과 같다. 검토결과 자연배수 방식을 선택하였다.

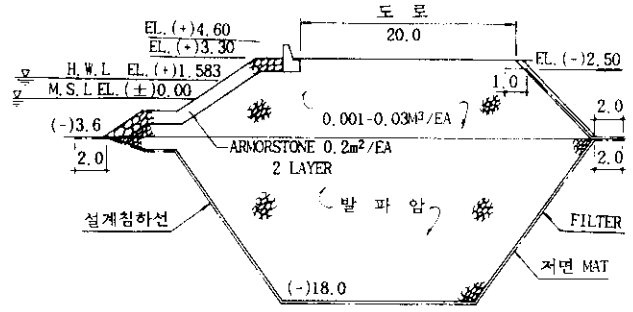
4.3 매립토량 확보 방안

본 사업지역 주위의 토취장지역은 대부분 개발제한 구역으로 되어 있어 채취가능한 지역은 <그림 1>에서 보듯이 4개소와는 없으며 이들도 산토보다는 사석량이 많이 채취되어 사석은 호안이나 도로축조용으로 사용하고 산토는 매립토로 이용토록 하되 산토매립고는 1.75m 밖에 안된다. 부족한 매립토량은 본 사업지구 일바다의 준설토를 이용하여 매립토로 하였다.

5. 호안축조

<표 1> 단지매립 계획과 방안별 비교조건

구 분	자연배수시 (고매립)	강제배수시 (저매립)
○ 가용면적	1,892천평	1,854천평
○ 평균 매립고	EL.(+) 3.84m	EL.(+) 2.43m
○ 매립소요토량	55,666천m ³	48,988천m ³
○ 총 공사비	4,829억원	4,746억원
○ 평당조성비	255천원/평	256천원/평
○ 장 단점	· 기존공단과의 연계용이 · 토지이용계획 용이 · 장래 확장 용이 · 자연배수로 공단입주자의 불안심리 해소 · 매립산토량 부족으로 준설토 사용 불가피	· 매립소요토량 감소 · 기존공단과의 연계불리 · 유수지 유지관리 필요 · 장래 확장 불리 · 공단입주자의 심리적 부담 · 매립산토량 부족으로 준설토 사용 불가피



<그림 3> 호안 단면

탄성이론 (Elastic Embankment)을 적용하여 해석하였다. 이러한 해석 방법은 제방자체가 지중응력을 분산시킨다는 점을 고려할 때 과거의 Boussinesque의 방법보다 현실적이라고 판단된다.

5.1 단면계획

5.1.1 설계조건 분석

가. 파랑조건

광양만이 전체의 양향으로 각종 공단조성이나 부두건설이 이루어지는 첫째 이유는 외해에서 침입하는 파랑이 차단되기 때문이다. 따라서 설계 파랑은 항내에서 발생하는 천해파를 추정하였으며 추정방법은 파랑의 발달과정을 바람에 의한 에너지의 공급과 해저마찰에 의한 에너지 손실과정으로 보는 Bretschneider 법으로 추산하였으며 파랑방향은 N - NNE, 설계 유의파고는 1.4m - 1.5m로 추정되었다.

나. 수심조건

본 사업지가 위치할 지역의 수심은 대체로 얕아, 매립이나 호안축조 조건은 양호하며 호안축조지점의 수심은 평균해수면하 1.0m - 4.8m가 된다.

다. 지질조건

앞에서 언급하였듯이 본 지역에는 광양만내로 유입되는 대소하천이 많고 만내의 퇴적조건이 양호하여 해성퇴적층이 두껍게 발달하였으며 호안 축조지역의 지질특성은 N지가 1 - 2 정도의 아주 연약한 점성토이며 분포 두께는 대략 18m 까지 이른다.

5.1.2 호안 단면계획

호안 축조 단면은 설계제위 및 설계파랑에 의한 월파분석을 토대로 적정천고고를 결정하여 파력 및 토압등의 외력에 대해 안전한 구조를 확보토록 단면구성을 한다. 또한 본 사업지구의 호안은 해안도로와 접하게 되어 있어 호안과 도로를 동시에 축조하는 방안으로 단면 계획을 하고 단면구조는 인근 토취장에서 충분히 채취할 수 있는 사석식 경사제로, 기초형식은 강제 치환 방식으로 채택하였으며 단면구조는 <그림 3>과 같다.

5.2 강제치환 사석 침하량 추정

5.2.1 침하량 추정방법

일반적으로 성토하중을 받고 있는 지반의 응력상태를 추정하기 위하여 Osterberg의 영향원이 이용되어 왔으며 Osterberg 영향원은 성토하중을 간단히 사다리꼴의 수직하중 (rH)으로 간주하고 지반에 Boussinesque의 탄성이론 (또는 Normal Loading Approximation)이 적용되었다. 이러한 방법은 제방과 기초지반 사이에 발생하는 전단응력을 무시하고 있다.

Perloff et al.(1965)⁵⁾는 성토재료의 변형에 대한 내부저항 및 성토재료와 기초지반사이의 마찰 등을 고려하여 기초지반의 응력상태를

Perloff et al.(1967) 방법은 제방과 기초 지반을 하나의 재료로 간주하고 탄성해석에 의하여 제체내부 및 하부의 응력을 구한다. 따라서 기초 지반의 탄성계수가 제방의 탄성계수와 다른 경우 Perloff et al.의 방법의 적용성은 문제가 될 수 있다. 그러나 Perloff et al.는 기초지반의 탄성계수가 상당히 작은 연약지반의 응력상태에 대한 유효요소 해석을 하였는데, 이 해석결과에 의하면 제방으로 인한 응력 분산 효과를 제방과 기초지반의 강도에 따라 영향을 받아서 제방아래 연약지반이 놓여 있는 경우 제방의 중심축을 따라 응력이 감소되는 경향을 보이고 있다. 따라서 연약지반상에 성토되는 제방에 의한 지중 응력 산정에도 Perloff et al.의 방법을 적용할 수 있으리라 판단된다.

5.2.2 응력분포와 침하추정

가. 응력분포

성토제방에 의한 지점별 깊이에 따른 Boussinesque의 Normal Loading Approximation 방법과 Perloff et al.의 Elastic Embankment 방법에 대한 응력분포계수와 응력분포 비교가 각각 <그림 4>와 <그림 5>에 나타나 있다.

나. 침하추정

성토제방으로 인한 침하추정은 Perloff et al.의 Elastic Embankment 방법으로 구한 지중응력과 Terzaghi의 극한 지지력을 고려하고자 하는 깊이에 따라 비교하여 침하여부를 판단하여 침하선을 추정하게 된다.

Perloff에 의해 제안된 재하하중을 구하는 식은 다음과 같다.

$$P = [\gamma_f \cdot H_1 + \gamma_f' \cdot H_2 + (\gamma_f' - \gamma_s') \cdot H_3] \times \alpha$$

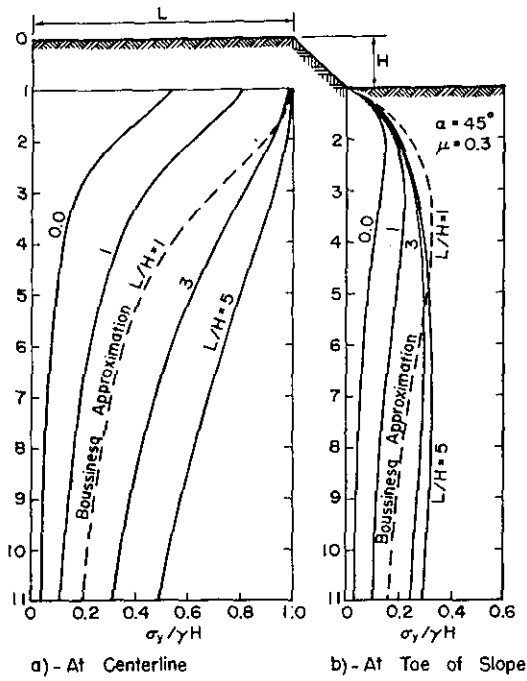
- 여기서 P : 도로 혹은 호안축조에 의해 원지반에 가해지는 하중
- α : Perloff에 의한 하중감소 계수
- γ_f : 성토재료의 전단위중량
- γ_f' : 성토재료의 유효 단위중량
- γ_s' : 원지반의 유효 단위중량
- H₁ : 평균 해수면 상부의 도로 혹은 호안의 높이
- H₂ : 평균 해수면부터 원지반 사이의 높이
- H₃ : 원지반 하부의 도로 혹은 호안 제체의 침하량

6. 연약지반 처리계획

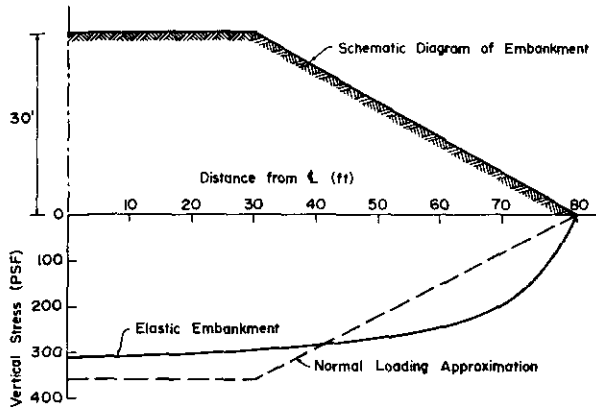
6.1 연약지반 분포현황

6.1.1 연약지반의 정의 및 기준

연약지반이라 함은 일반적으로 연약토로 이루어진 지반을 말하며 지



〈그림 4〉 응력분포 계수



〈그림 5〉 응력 분포도

반의 전단강도가 약하거나 응력증가로 인한 압축현상이 크게 발생하는 지반을 말한다. 그러나 지반의 전단파괴나 압축현상의 정도는 지반에 가해지는 하중의 크기나 구조물의 규모에 따라서 크게 달라지게 되므로 지반의 연약정도 및 대책은 상대적인 의미로 평가되어야 하고, 계 반설계 조건하에 필요한 최소한의 안정성을 만족해야 한다. 현장조사 및 실내시험 결과로부터 일반적인 의미의 연약지반에 대한 기준을 〈표 2〉와 같이 정하여 본 사업지구에 적용한다.

6.1.2 연약지반 분포현황

지질조사 및 실내토질시험 결과 본 사업지역의 연약지반에 해당하는 지반의 분포현황 및 단면도는 〈그림 6〉과 같으며 점토층 두께는 최대 20m 정도가 된다. 단지조성을 위해 준설토로 매립할때 지반침하까지 고려할 경우 연약층의 두께는 5 - 9m 정도 더 두꺼워질 것이다.

〈표 2〉 연약지반의 일반적 정의

구 분	층 후	일축압축강도 qu (ton/m ²)	N 치
점토 및 점성토	10m 미만	6.0 이하	4 이하
	10m 이상	10.0 이하	6 이하
모래 및 사질토	-	-	10 이하

6.2 토질 정수 선정

현장조사와 실내토질시험 결과 및 본 사업지구 주위의 기존 조사자료를 종합검토하여 연약지반처리에 이용할 연약한 원지반 및 준설토에 대한 토질정수를 〈표 3〉과 같이 선정하였다.

〈표 3〉 토질정수 선정

구분	압축지수 (Cc)	점착력 (C)	포화단위 중 (γ _{sat})	간극비 (e)	압밀계수 (Cv)	부수계수 (k)
원지반	1.3	1.0t/m ²	1.5t/m ³	2.3	5x10 ⁻⁸ m ² /sec	9x10 ⁻¹⁰ m/sec
준설토	1.3	0.2t/m ²	1.5t/m ³	2.3	5x10 ⁻⁸ m ² /sec	-

* 내부마찰각 (φ)은 0°

* 부수계수는 압밀시험 자료로부터 산정

6.3 압밀침하량 산정

6.3.1 준설토의 압밀특성

준설토는 물에 부유된 상태에서 침강되어 형성되므로 초기단계에서는 최대 간극비로 형성된다. 초기에 형성된 준설회적토 위에는 침강 속도가 보다 느린 작은 입자들이 퇴적되며 먼저 퇴적된 지반에 압밀하중으로 작용하게 된다. 따라서 먼저 퇴적된 지반속에는 과잉간극수압이 발생하게 되고 이는 시간이 지남에 따라 소산되는 압밀과정을 거치게 된다. 위와 같은 준설토 자중에 의한 자중압밀 (Self weight consolidation)은 매우 큰 간극비 상태에서 보통 간극비 상태로 변화되는 현상이므로 일반적으로 토질공학에서 사용하는 극소변형을 개념의 Terzaghi 압밀 이론을 적용하기가 곤란하며, 유효응력이론 혹은 저변형을 개념의 압밀이론이 적용될 수 있다.

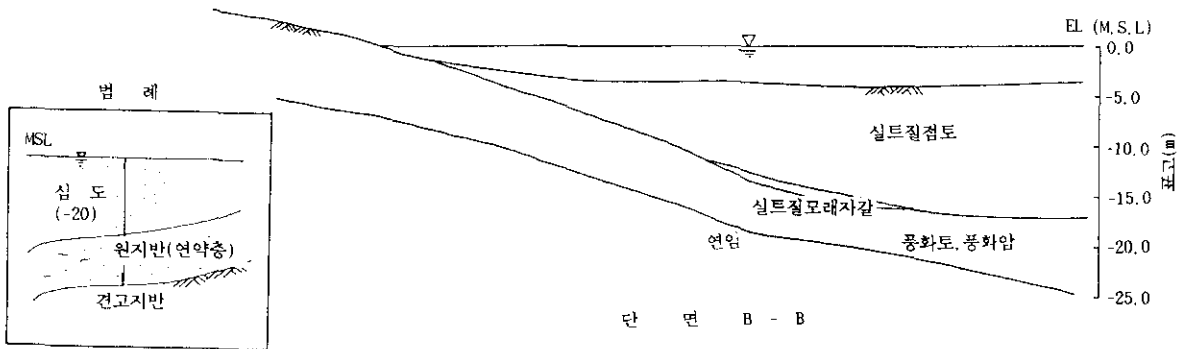
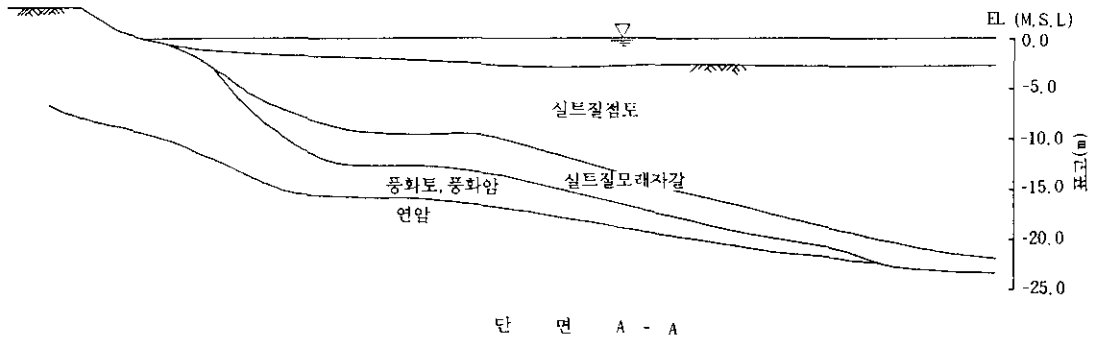
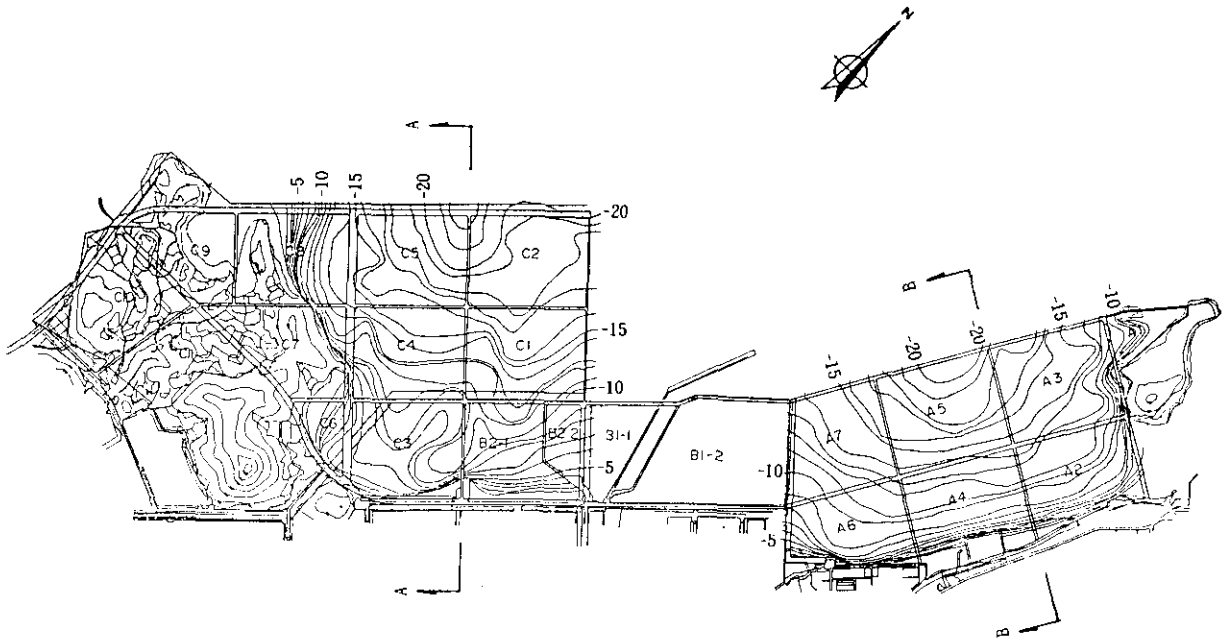
그러나 이러한 이론은 준설토를 이루는 광물질의 종류에 따라 다르며 아직 실용적인 단계가 아니므로 본 설계에서는 준설토의 압밀특성을 원지반토의 압밀특성과 유사한 것으로 가정하여 원지반토의 압밀특성을 사용하였다.

6.3.2 압밀침하량 산정

압밀침하량은 산정에는 Schmertmann의 공식을 이용하였다.

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \dots \dots \dots (1)$$

- 여기서, S_c : 압밀침하량
- C_c : 압축지수
- e₀ : 초기간극비
- H : 압밀층의 두께
- P₀ : 성토하중 재하이전에 지반이 받는 유효수직응력
- ΔP : 성토하중으로 인한 유효상재하중



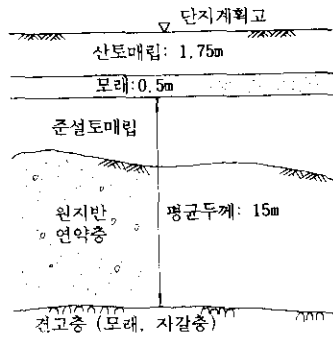
<그림 6> 연약지반 분포심도 및 단면도

또한 압밀침하 소요시간 산정에는 식 (2)와 같은 Terzaghi 압밀이론을 적용하였다.

$$t = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v} \dots \dots \dots (2)$$

여기서, t : 압밀소요시간
 T_v : 시간계수
 C_v : 압밀계수

본 사업지구의 연약층은 기존의 원지반 점토층과 준섷 매립 지반을 합하여 <그림 7>에서와 같이 평균 15m 정도의 두께로 형성된다.



<그림 7> 매립 단면도

자연압밀에 의하여 지반을 안정화 시킬 경우 평균압밀침하량은 약 3.25m가 되고 90% 압밀도에 이르는 소요시간은 약 30년이 걸리게 되는 것으로 산정되었다. 따라서 공장용지의 조성기간을 단축시키기 위하여 강제배수를 통한 지반개량이 필요하다.

6.4 연약지반 처리공법

6.4.1 지반개량 공법

본 지역은 기존의 연약한 지반위에 점성토를 준섷하여 이루어지는 매립지역이 될 것이므로 기초지반은 매우 연약한 지반으로 형성된다. 따라서 기초지반으로서 요구되는 침하특성 및 강도특성을 가지기 위해서는 지반개량이 필요하다.

본 사업지구는 공장용지로 이용될 예정이나 구체적인 구조물의 종류 등이 결정된 것이 아니므로 모든 구조물에 필요한 지반개량 및 침하특성을 완벽하게 충족시키는 것은 매우 어렵고 또한 비경제적이 된다. 따라서 본 과업에서의 지반개량 목적은 초연약지반의 특성을 전체적으로 개선하는데 있으며 정상적인 기준으로는 산토매립 완료후 2년의 기간에 90%의 압밀도를 얻어 내는 것으로 계획하였다.

지반개량공법으로는 물리적, 화학적, 전기적 방법이 있겠으나 화학적 방법의 경우 비용이 비싸고 지하수 오염등의 문제가 있으며 전기적 방법의 경우 비용이 비싸며 시공실적이 적다는 단점이 있어 국내에서는 물리적 방법이 널리 사용되고 있다.

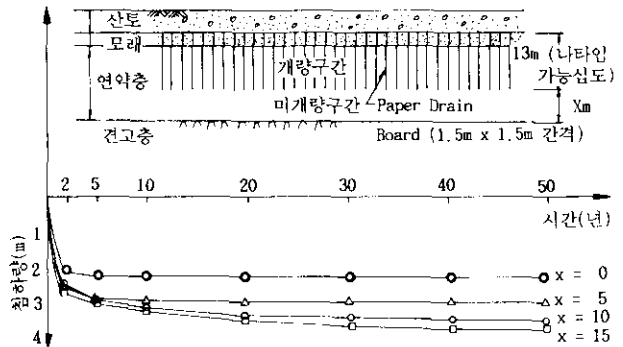
본지역에 대하여 적용가능한 물리적 지반개량 공법을 비교, 검토한 결과 경제성, 시공성 및 제반조건을 감안하여 Paper Drain Board 타입에 의한 지반개량공법을 선정하였다.

6.4.2 Drain Board의 시공심도 결정

연약지반 개량용의 시공심도는 전심도에 걸쳐서 시공하는 것이 원칙이나, 전심도에 걸쳐서 시공하지 않더라도 압밀 기간에 따라서는 연약지반전체의 압밀도가 90% 이상이 예상된다. 따라서 시공완료후 압밀기간별, Drain Board의 시공심도별 압밀도 예상 총침하량 및 잔여침하량 (그림 8 참조)등을 검토하면 <표 4>와 같게 된다.

본 사업 지구에서는 시공심도의 13m 이상 지역은 Drain Board의 시공심도를 5m 축소 조정하더라도 2년내에 90% 이상의 압밀도가 예상되므로 5m 축소 계획했다. 또한 시공심도가 13.0m 이하인 지역의 경우 압밀층 두께가 얇아 압밀도가 90%에 도달하지 않더라도 잔류침하가 작아 이 지역도 Drain Board의 심도를 5m 축소 조정하였다.

이와같이 시공심도를 축소 조정함으로써 나타입시공으로 인한 시공기간의 단축 및 공사비의 절감 효과가 증대 된다.



<그림 8> Drain Board 시공 심도별 압밀분석도

<표 4> Drain Board 시공심도별 압밀분석

구 분	2년	5년	10년	20년	30년	40년
X = 0	압 밀 도 (%)	96.00	99.90	99.90	99.90	99.90
	침 하 량 (m)	2.36	2.45	2.45	2.45	2.45
	잔여침하량(m)	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
X = 5	압 밀 도 (%)	91.00	99.00	99.90	99.90	99.90
	침 하 량 (m)	2.98	3.23	3.26	3.26	3.26
	잔여침하량(m)	0.25	0.03	0.00	0.00	0.00
X = 10	압 밀 도 (%)	76.00	86.00	94.00	98.00	99.90
	침 하 량 (m)	2.89	3.29	3.56	3.78	3.79
	잔여침하량(m)	0.40	0.27	0.22	0.01	0.00
X = 15	압 밀 도 (%)	68.00	77.90	94.00	94.00	99.00
	침 하 량 (m)	2.82	3.17	3.48	3.82	4.00
	잔여침하량(m)	0.35	0.31	0.34	0.18	0.09

6.5 Paper Drain Board 시공방법

6.5.1 성토 대기시간과 지지력증가

준섷토 매립지반의 초기상태의 극한 지지력은 1.14t/m² (qu = 5.7C = 5.7 x 0.2t/m²)로서 산토성도하중 약 0.6m에 해당한다. 따라서 추가되는 하중은 압밀에 따른 지반의 지지력이 증가된 후에 가능하며, 선행하중에 의한 지반의 지지력 증가는 다음식과 같다.

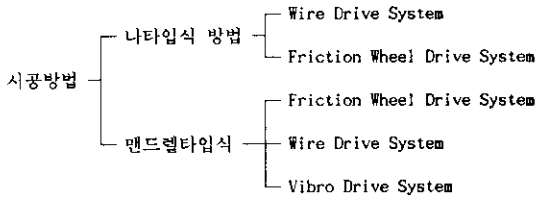
$$C = C_0 + \Delta P \cdot U (C/P) \dots \dots \dots (3)$$

여기서, C : 증가된 후의 점착력
 C₀ : U시험에 의한 초기 점착력
 ΔP : 유효압밀하중
 C/P : 점착력과 유효상재하중의 비 는 0.25

식 (3)에 의하여 압밀기간에 따른 지반의 지지력 증가에 의한 산토 성분도 및 장비진입 가능 시점을 구할 수 있으며 <그림 9>는 이를 도식화 한 것이다.

6.5.2 Paper Drain Board 시공방법

Paper Drain Board의 시공방법 및 장비는 다음과 같다.



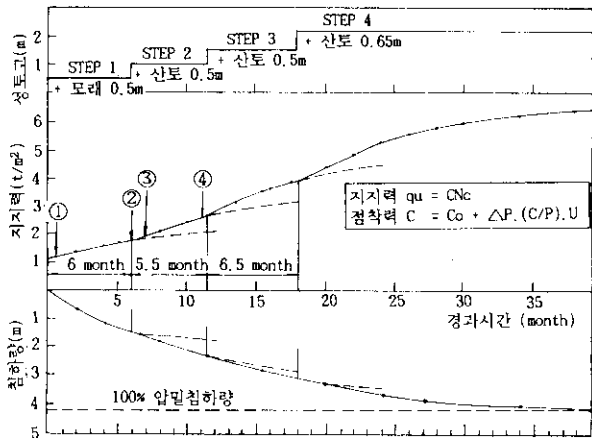
국내에서 주로 사용되고 있는 장비는 주로 나타입식의 경우 Friction Wheel Drive System이며, 맨드렐타입식의 경우 주로 Vibro Drive System이다. 이와 같은 장비는 궤도 혹은 무한궤도를 이용하여 작업한다.

장비무게는 제작회사에 따라 차이가 있으며 궤도식 장비는 주로 경량으로서 초연약지반에도 시공이 가능하나 시공심도가 제한이 있으며 무한궤도식 장비는 주로 중량으로서 시공가능 심도가 깊은 대신 초연약지반에의 진입성에 문제가 있다. 따라서 사용 시공장비의 특성과 압성도후 대기 시간별 지지력 증가를 <그림 9>에 의해 검토하여 사용 장비를 결정한다.

본 설계에서는 Paper Drain Board 시공심도가 13.0m 이하인 지역에서는 궤도식 장비를 이용한 나타입식 방법으로, 그 이상에서는 맨드렐타입식의 무한궤도식 장비를 사용토록 했다. 무한궤도장비의 경우 초연약지반에의 장비진입성을 위해 궤도식 장비를 이용하여 표면 5m 심도까지 Paper Drain Board를 1차 시공하여 지반의 지지력을 증가시킨 후 중량장비에 의하여 깊은 심도까지 2차 Paper Drain Board를 시공하도록 했다. 시공심도에 따른 시공도는 <그림 10>과 같다.

7. 침하 안정관리

지반은 본질적으로 비등방성, 비균질성을 나타내고 있으며 특히 본 지역은 연약지반 상부에 준설토에 의한 성토가 이루어지는데 준설토는 아직 그 특성 규명이 이분적으로 정립되지 않은 상태라 설계 결과와 실제 지반거동과는 많은 차이가 있을 것으로 예상된다. 따라서 침하 등 지반거동을 보다 정확히 예측하기 위하여 계속관리가 수행되어야 하며 이 결과를 시공에 반영하여 시공의 안전성, 경제성 및 신뢰성을 향상시켜야 할 것이다.



- ① 2.0 t/m² 초습지도자 이하 장비 진입가능 시점
- ② 3.0 t/m² 습지도자 이하 장비 진입가능 시점
- ③ 4.5 t/m² 일반도자 이하 장비 진입가능 시점
- ④ 6.0 t/m² 일반장비 진입가능 시점

<그림 9> 성토대기시간과 지지력 증가

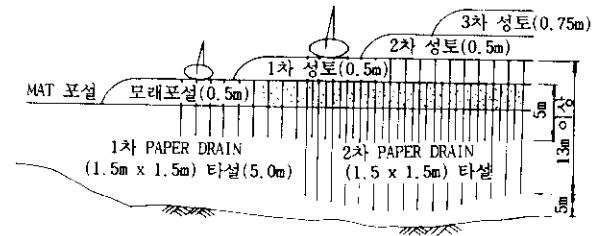
7.1 계속관리의 정의

계속관리는

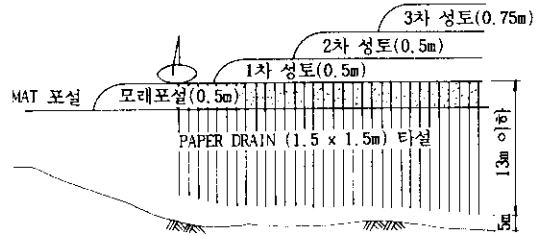
- 연약 지반상에 공사를 시행함에 있어 예상지역의 주요지점에 계속관리상 필요한 계속기를 설치, 측정하여
- 지반거동을 정성적, 정량적으로 파악하여 시공에 반영하며, 공사의 안전성, 경제성, 신속성 및 지반의 안정 상태를 판단하고
- 예상과 다른 거동이 생겼을때 신속히 그 원인을 규명하여 이에 대처하는 것을 말한다.

7.2 계속관리의 흐름

계속관리는 현장의 효과적인 시공관리 및 침하관리를 위하여 <그림 11>과 같은 흐름도로 진행된다.

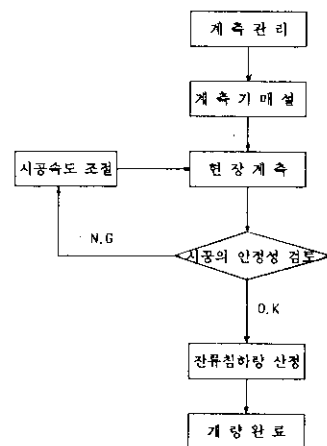


a) 시공심도 13m 이상 지역



b) 시공심도 13m 이하지역

<그림 10> 시공심도에 따른 시공도



<그림 11> 계속관리의 흐름도

7.3 현장 계측항목 및 계측 위치

7.3.1 계측항목 및 목적

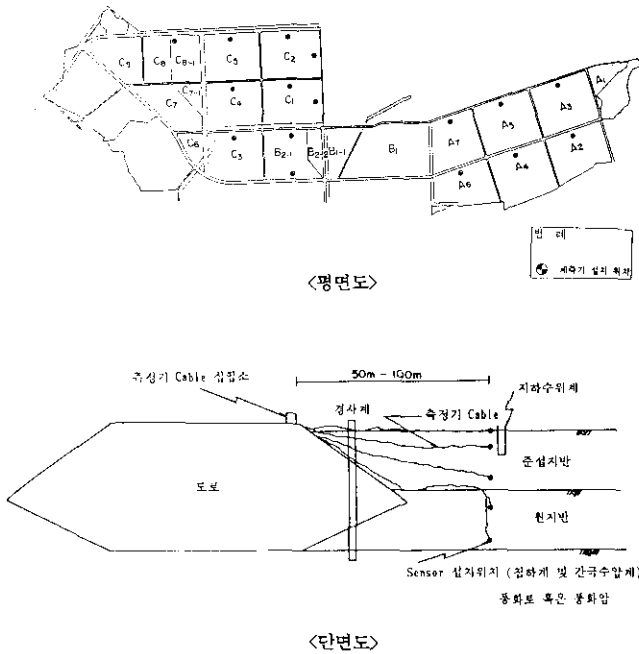
현장 계측항목은 최소의 항목으로 필요한 자료를 얻기 위하여 <표 6>과 같이 결정하였다.

<표 6> 계측항목 및 목적

계측항목	계 측 목 적	비 고
층별침하	○ 지표 및 지중의 침하를 측정하여 장래 침하량 예측 및 압밀상태 파악	지표침하관 설치는 별도
간극수압	○ 성토에 의한 과잉 간극수압을 측정하여 시공의 안전성 파악 ○ 압밀상태 파악 ○ 강도 증가 상태 파악	
수평변위	○ 성토 및 절토부의 시공 안정성 파악	
지하수위	○ 성토부의 안전성 파악 ○ 과잉간극수압 산정시 기본자료로 활용	

7.3.2 계측기 매설위치

계측기의 매설위치는 최소한의 수량으로 최대한의 효과를 얻을 수 있도록 제한여건을 감안하여 <그림 12>와 같이 배치하였으며, 계측 방식은 원격측정방식을 선택하였다.



<그림 12> 계측기 설치 위치도

7.4 계측빈도

계측빈도는 최소한의 비용으로 최대한의 성과를 거두기 위하여 <표 7>과 같이 실시한다.

<표 7> 계측빈도

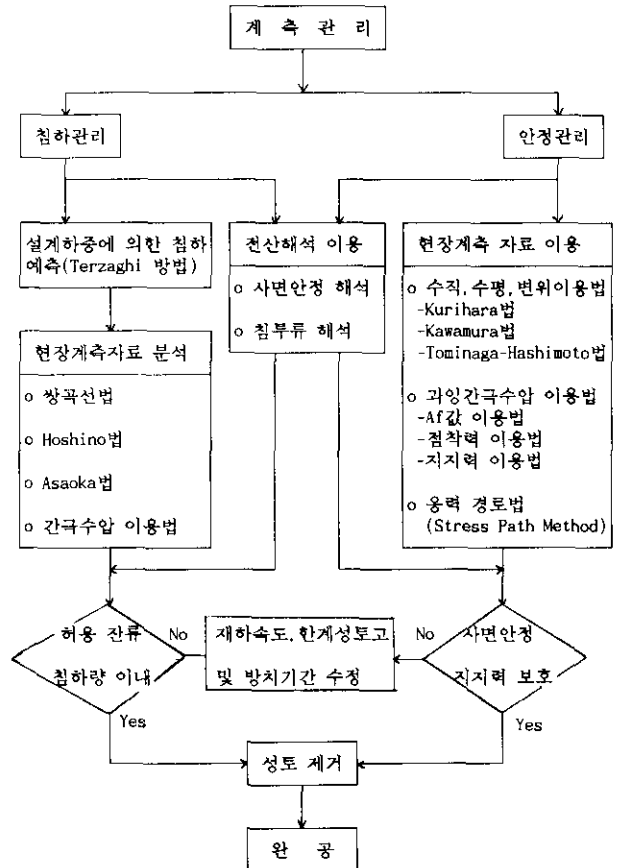
계측항목	계 측 빈 도
층별침하	○ 계측기 설치후에서 성토전까지 초기치 측정: 5회 내외
간극수압	○ 성토 시작에서 성토완료후 1개월까지: 주 3회
지하수위	○ 성토 완료후 1개월에서 성토완료후 6개월까지: 주 1회
수위변위	○ 성토완료후 6개월에서 성토 제거시까지: 월 2회 ○ 성토 제거사에서 성토 제거후 1개월 혹은 설치하중 재하시작까지: 주 2회

* Paper Drain시공, 혹은 성토시작시 및 이상 거동 발견시 수시

7.5 계측결과 분석 및 관리기법

개략적인 계측결과와 분석 및 관리기법의 종류 및 흐름은 <그림 13>과 같으며 실제 현장계측의 성 패 여부는 계측결과 분석 System의 양, 불에 의하여 크게 좌우된다.

즉 현장계측에 의해 발생하는 방대한 량의 계측자료를 신속히 분석하여 효과적으로 시공에 반영할 수 있는 기술자 및 전산 System이 필수적이다. 따라서 계측수행지는 상기 각 항목에 해당하는 전산 소프트웨어를 충분히 확보하고 있어야 한다. 또한 현장계측은 설계 시공과 유기적으로 연결되어야 하므로 설계도면 및 구조제안서를 충분히 숙지하고 있어야 한다.



<그림 13> 계측결과와 분석 및 관리기법 흐름도

8. 결 언

8.1 시험결과에 의한 한계

본 과업에서 현장시료에 대한 시험은 불교란시료에 대하여 수행되었으나 <표 5>와 같은 문제점으로 인하여 시험결과는 실제 지반의 특성과 달라질 수 있다.

<표 5> 시험결과에 영향을 미치는 요인들 (결성토의 경우)

요 인	영 향	비 고
-시료채취 및 운반시의 교란문제	-강도가 저하됨 -압축지수가 크게됨	SHANSEP 방법을 적용하거나 개량 SAMPLER를 사용하고 시료를 항공기를 이용하여 운반하는 방법등이 있으나, 비용이 고가이며 완전한 해결책은 없음
-시료채취시 구속압력의 해소문제	-강도가 저하됨 -압축지수가 크게됨 -압밀계수가 크게됨	약 5분의 구속압력 해소는 약 5000일의 압밀 시간을 필요로하나 뚜렷한 해결책이 없음
-지반의 비 균질성 비 등방성 문제	-지역에 따라 강도 및 압밀 특성이 다르게 나타남 -하중의 방향에 따라 특성이 다르게 나타남 (연직방향 하중에 대한 강도가 수평방향 하중에 대한 강도보다 큼)	-비 균질성에 대하여는 여러곳의 시료를 시험하며 -비 등방성에 대하여는 일반적으로 무시함
-실내시험 조건이 현장조건과 다른데 기인하는 문제	-일반적인 삼축압축 시험의 경우 Hydrostatic 구속압력 조건이나 실제 지반의 구속조건은 Geostatic 조건임 -일반적인 압밀시험의 경우 수직방향에 대한 압밀계수가 산정되나, Paper Drain 시공시는 수평방향 압밀계수에 의해 압밀속도가 지배됨 (수평방향 압밀계수가 수직방향 압밀계수보다 큼)	-일반적으로 무시함 -일반적으로 수평방향 압밀계수 = 수직방향 압밀계수로 취급

8.2 공학적 이론에 의한 한계

지반에 대한 공학적 이론은 지반자체의 비균질성, 비등방성으로 인하여 정밀한 해석에는 한계가 있으며, 그 결과의 정밀도는 다른 재료에 대한 이론적 결과보다 떨어지게 된다.

8.2.1 압밀침하량

지반공학에 있어서 압밀침하량 산정은 Biot 이론, Terzaghi 이론, Gibson 이론, Mikasa 이론, Bjerrum 이론 등이 있으나 각각 나름대로의 가정을 포함하고 있으며, 가장 정확한 결과를 산정하는 방법은 없다. 그러나 그 적용성에 있어^{3), 4)} 가장 편리하여 일반적으로 널리 쓰이는 방법은 Terzaghi의 압밀이론이다.

Terzaghi의 압밀이론은 지반이 등방성이고, 등질성이며, 또한 압밀 과정에 있어서 압밀계수가 변하지 않는다는 등의 여러가지 가정하에서 성립된다.⁶⁾ Terzaghi 이론의 이러한 가정 사항은 지반을 이상적인 상태로 단순화 하였으나, 단순화 하지 않은 지반에 대한 이론의 개발은 불가능한 상태이므로, Terzaghi 압밀이론이 보편적인 방법으로 받아들여지고 있다.

본 과업에서는 Terzaghi 압밀이론에 근거한 Schmertmann 식을 이용하여 압밀침하량을 산정하였으며, 따라서 산정된 압밀침하량은 기존의 압밀이론의 한계에 의해 실제 압밀침하량과 차이가 발생할 수 있다.

8.2.2 준설토의 특성

준설토의 특성 및 해석법은 가장 잘 알려지지 않은 부분중의 하나이며, Gibson, Mikasa 등의 이론이 있으나, 이러한 이론의 적용은 매우 까다로우며, 입력자료를 결정하기 위한 시험방법 또한 매우 어렵다.

따라서 준설토에 대한 설계는 대부분이 경험적 방법에 의존하고 있다. 본 설계에서 준설토의 특성은 인근 지역에서 준설매립된 지반의 특성 및 국내의 관련 연구자료를 이용하여 객관성을 높이려고 하였으나 해석법의 한계에 따라 계산된 결과와 실제와는 차이가 발생할 수 있다.

8.2.3 시공후 잔류침하량

본 설계에서의 연약지반개량은 예정된 기간내에 90% 압밀침하가 발생되도록 설계되었다. 따라서 공단 완료후에도 나머지 10%에 해당하는 압밀침하량이 발생할 수 있다.

따라서 공단부지의 사용자는 10%의 잔류침하를 고려하여 각종 구조물의 기초설계를 하여야 한다.

8.3 설계한계에 대한 대책

전술한 설계상의 한계에 의하여 발생할 수 있는 문제를 극복할 수 있는 방안으로서 근래에는 계속관리 (침하안정관리 혹은 현장계측)를 이용하는 방안이 널리 사용되고 있다. 특히 본 과업대상지역은 준설 후 준설토의 안정기간 (자중 압밀 기간)이 별도로 허용되지 않고, 차 단계 시공이 연속하여 수행되므로 지반의 침하특성은 더욱 그 예측이 어렵다.

따라서 현장에 침하 및 지반의 기타 특성을 파악할 수 있는 계측기를 설치, 지속적으로 계속하여 그 결과를 시공에 반영하여 침하특성을 예측, 시공하는 것이 바람직하다. 또한 최초 시공 구간에서 시험시공을 시행하여 그 결과를 설계와 비교, 보완하는 방법도 고려할 수 있을 것이다.

9. 참고문헌

- 1) (주)대우엔지니어링 (1988), 여천 산업기지 확장단지 개발 기본계획 지질조사보고서
- 2) (주)대우엔지니어링 (1992), 여천 국가공업단지 확장단지 조성공사 실시설계 지질조사 보고서
- 3) Gibson, R.E.(1958), "The Progress of Consolidation in a Clay Layer Increasing in Thickness with Time", *Geotechnique* Vol No., pp.171-182
- 4) Mikasa, M and Takada, N.(1984), "Self weight Consolidation of Very Soft Clay by Centrifuge", *Proceedings of a Symposium Sponsored by ASCE Geotechnical Division in Conjunction with ASCE convention in San Francisco, California, Oct.1, pp.121-140*
- 5) William H. Perloff, W.H & William Baron W. (1976), "Soil Mechanics, Principles and Applications", Ronald, pp.160-195, pp.681-696
- 6) Terzaghi, K (1954), Theoretical Soil Mechanics, McGraw Hill, pp.265-296