

# 수평배수공법에 의한 연약지반처리

김 형 주\*

---

## 요 지

본 연구에서는 해저에 퇴적하고 있는 연약 준설퇴토를 Pump 준설퇴토에 의해 형성된 연약지반을 비교적 단기간에 지반개량을 할 경우, 수평배수 공법의 적용성을 제시하므로써 국내의 해상 매립지반의 처리기술 향상과 매립지반의 성토 시공시 토량확보 문제를 해결하기 위한 것이다.

연구결과 준설퇴토층 또는 매립직후 형성된 연약지반에 수평 Drain을 설치하여 부압을 작용시키면 비교적 단기간에 압밀 축진이 가능하므로 시공기간을 단축할 수 있다. 또한 방치기간중 발생하는 침하량에 상당하는 준설퇴토를 추가로 투입할 필요가 없어 경제적인 공법임을 제안하고자 한다.

---

\* 정회원, 군산대학교 해양공학과 전임강사

## 1. 서론

해저에 퇴적된 연약한 점성토를 매립지에 투입하면 슬러리 상태에서 침강되면서 연약지반이 조성되며 시간경과와 함께 자중압밀종료후 지반이 안정한 상태에 이르기까지는 장시간이 필요하다. 또한 자중압밀 도중에 있는 지반의 지내력은 거의 제로상태이므로 시공기계의 반입은 물론 사람의 보행조차도 곤란하다. 그러므로 매립지반의 지지력을 증가시키기 위해 표면수를 배제하고 노상건조로 얻어지는 지지력을 이용한 복토공사 또는 Geotextile을 이용하여 복토공사를 하는 지반개량공법은 개량전의 지반지지력이 매우 작아 적당한 압밀하중을 재하할 수 없으므로 보다 효과적인 개량공법이 요구되며, 단 기간에 이러한 연약지반상에 성토 시공에 의해 토지로서 유효하게 이용하기 위해서는 성토하중을 지지할 수 있는 충분한 강도를 가진 지반으로 개량할 필요가 있다. 그러므로 국내에는 현재까지 적용예가 없는 수평배수공법은 점성토를 매립지에 투입기간중, 혹은 투입완료시점에서 Card-Board Drain을 지반내에 수평으로 매설하여 진공압밀 또는 침투압밀에 의해 지반개량을 하는 것이다. Drain의 지반내 매설은 종래의 연직 Drain 타설과 같이 압밀배수거리의 단축을 목적으로 부압 또는 침투수압에 의해 점토층을 압밀시키며 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- ① 매립과 동시에 형성된 연약지반을 조기에 크게 침하시켜 침하에 상당하는 토량을 매립지에 여분으로 유효하게 이용할 수 있다.
- ② 보통 준설매립 지반상에 모래를 직접 포설시공은 곤란하기 때문에 본 공법으로 개량하면 조기에 모래의 포설시공이 용이하다.

점토에 부압을 작용시켜 압밀개량을 하는 방법으로서 일반적으로 연직 Drain을 타설하고 Drain 상부를 밀폐시켜 부압을 작용시키는 진공압밀공법(대기압공법<sup>1,2)</sup>, 중심응력저하공법<sup>3)</sup>)이 이용되어 많은 실적이 있지만 본 연구의 수평배수공법은 이러한 진공압밀공법 또는 침투압밀공법을 슬러리 상태의 준설매립지의 연약지반에 적용가능케 하고자 한 것으로서 원리 및 설계방법, 시공관리에를 설명한 것이다.

## 2.1 수평배수공법의 유효성 검토(침투압밀공법<sup>42</sup>)

수평 Drain을 겸용한 침투압밀공법은 우선 매립 Pond내에 수평으로 Drain을 배치하고 그 위에 준설편성토를 투입한다. 그리고 준설편성토층이 적당한 두께로 되는 단계에서 Drain으로 부터 펌프를 이용하여 물을 흡입하여 점토층내에 침투수압을 발생시켜 그것을 압밀압력으로서 이용하여 준설편성토층을 압밀시킨다. 또한 동시에 준설편성토를 투입하여 어느정도 퇴적한 후 또다시 Drain을 수평으로 배치하면서 작업을 반복하여 목적하는 층두께 까지 매립을 하는 공법이다. **그림-2-3**은 이용된 조건과 Douglas-Jones가 제안한 예측자-수정자법을 Mikas의 압밀지배방정식에 적용시켜 수치해석결과를 시간경과에 따라 유효응력과 심도관계를 표시한 것이다. 일반적으로 유효응력은 심도에 따라 직선으로 증가하지만 2층으로 나누어 심도 2m에서 침투수압(1.5t/m<sup>2</sup>)을 작용시키면 배수거리가 짧아지고 압밀하중이 증가되므로 유효응력이 **그림-1(c)**와 같이(ABC구간) 증가된다. 이 공법은 지지력이 큰 매립지반을 단 기간에 형성시킬 수 있음을 알 수 있다.

## 2.2 수평배수공법의 특징

**그림-2-3**은 연약지반이 토지로서 유효하게 이용될 때 까지의 과정에 관해서 종래 방법과 수평배수공법을 적용한 경우에 대해 비교한 예로서 다음과 같은 특징을 지니고 있다.

### ① 매립지의 투입토량의 증대

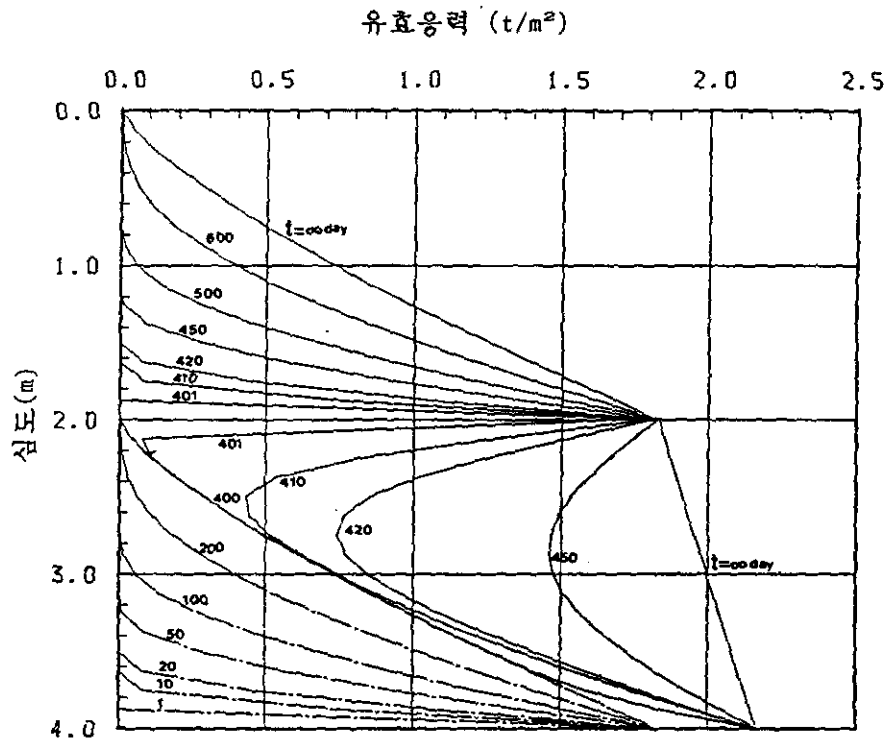
준설편성토를 투입하는 경우에는 한정된 Pond내에 보다 많은 준설편성토를 처분할 수 있으면 매우 이상적이므로 본 공법을 적용하는 경우 퇴적토층의 거대침하(체적감소)를 발생시키므로 통상의 1.5배 정도의 투입토량 증대가 가능하다.

### ② Sand Mat량(피복모래량) 저감

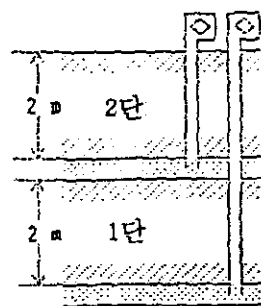
본 공법을 이용하여 투입토량을 증대시키면 **그림-2-3**과 같이 매립지내의 점토의 실질토량이 종래보다 많아지므로 피복 모래량을 절약 할 수 있다.

③ 모래포설시공이 용이

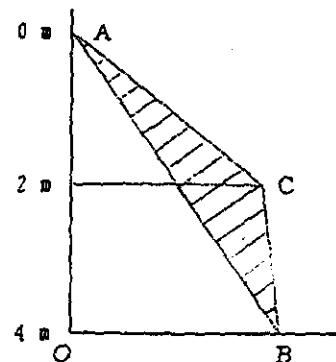
종래는 연약지반상에 모래를 직접 포설하는 경우에는 Geotextile 등으로 지반의 지지력을 보강할 필요가 있으나 본 공법은 이미 강도증가를 한 지반상에 포설하기 때문에 시공이 용이하다.



(b)



(a)

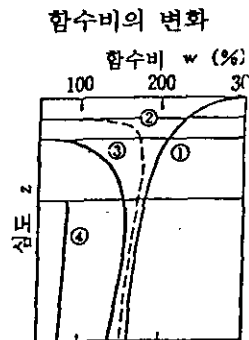
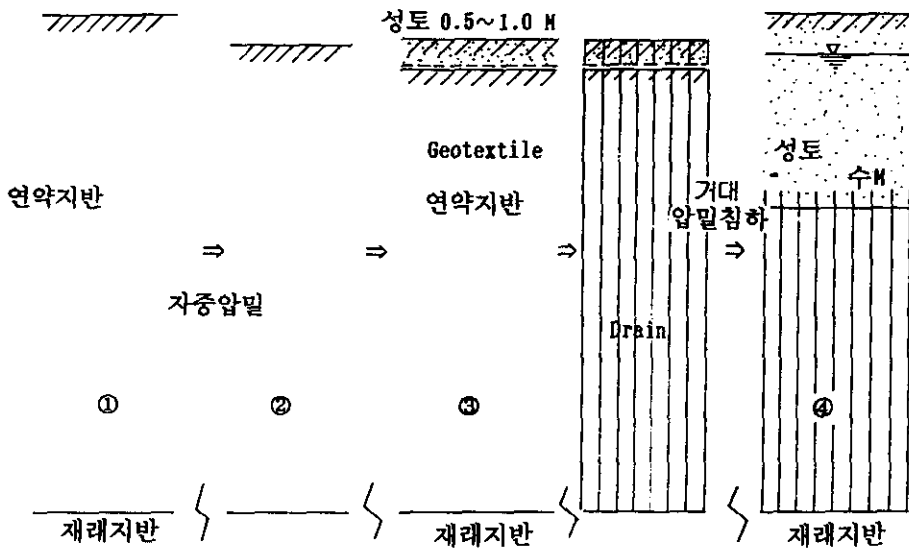
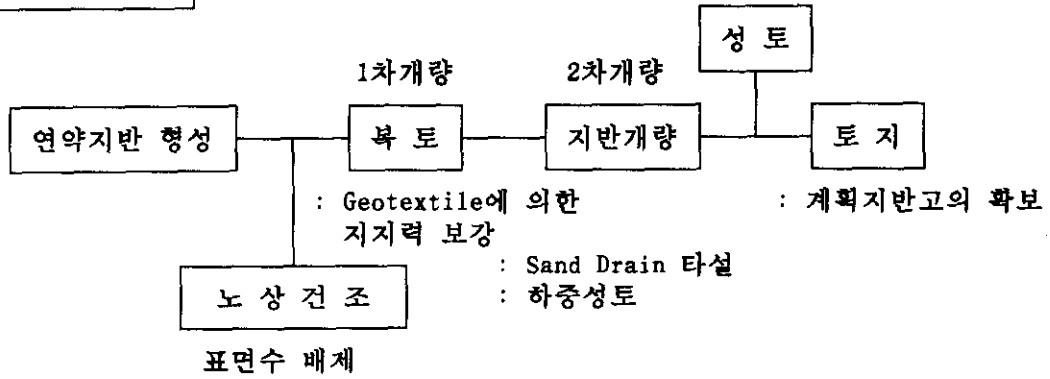


(c)

(a) 설정조건 (b) 시간경과에 의한 유효응력

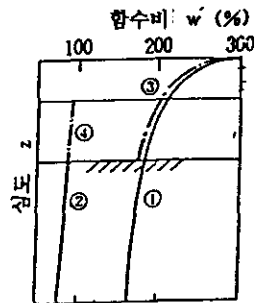
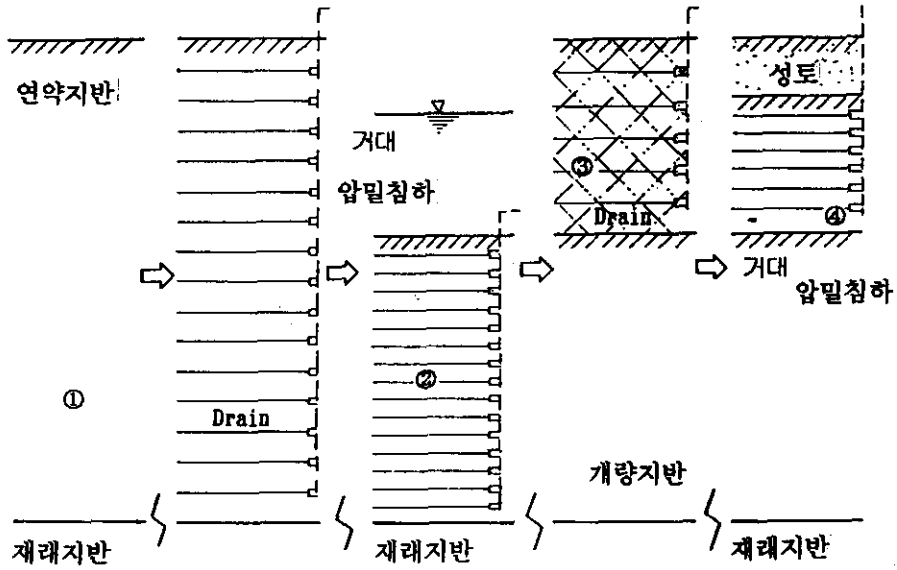
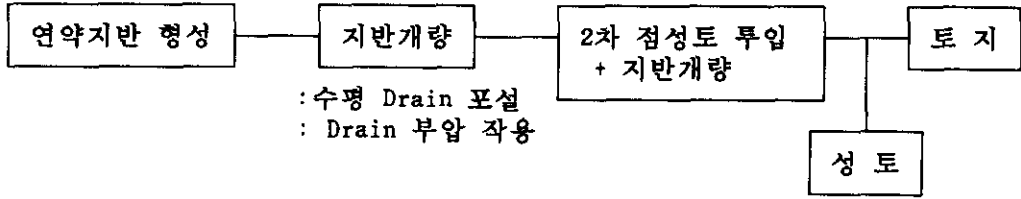
(c) 수평배수에 의한 유효응력 증가형태

종래 공법



종래공법 적용시 지반개량 및 침하특성

수평 배수 공법




수평배수공법에 의한 지반개량 및 침하특성

### 3. 수평배수공법설계

#### 3.1 설계조건

- ① 투입점성토 : 전토량  $V_k$  평균간극비  $e_D$
- ② 매립지(POND) : 면적  $A_k$ (넓이B x 길이L), 심도 $D_k$ , 퇴적토의 평균간극비 $e_o$
- ③ 토질정수 : 간극비  $e \sim$ 유효응력 P의 관계, 압밀계수  $C_v$
- ④ 기 타 : 매립완료기간,  $t_k$

#### 3.2 설계순서

설계순서는 의 Flow Chart와 같이 나타내었고 준설토의 투입속도가 일정한 경우 본 공법에 의해 투입토량을 증가시킨 예이다.

##### 3.2.1 개략검토

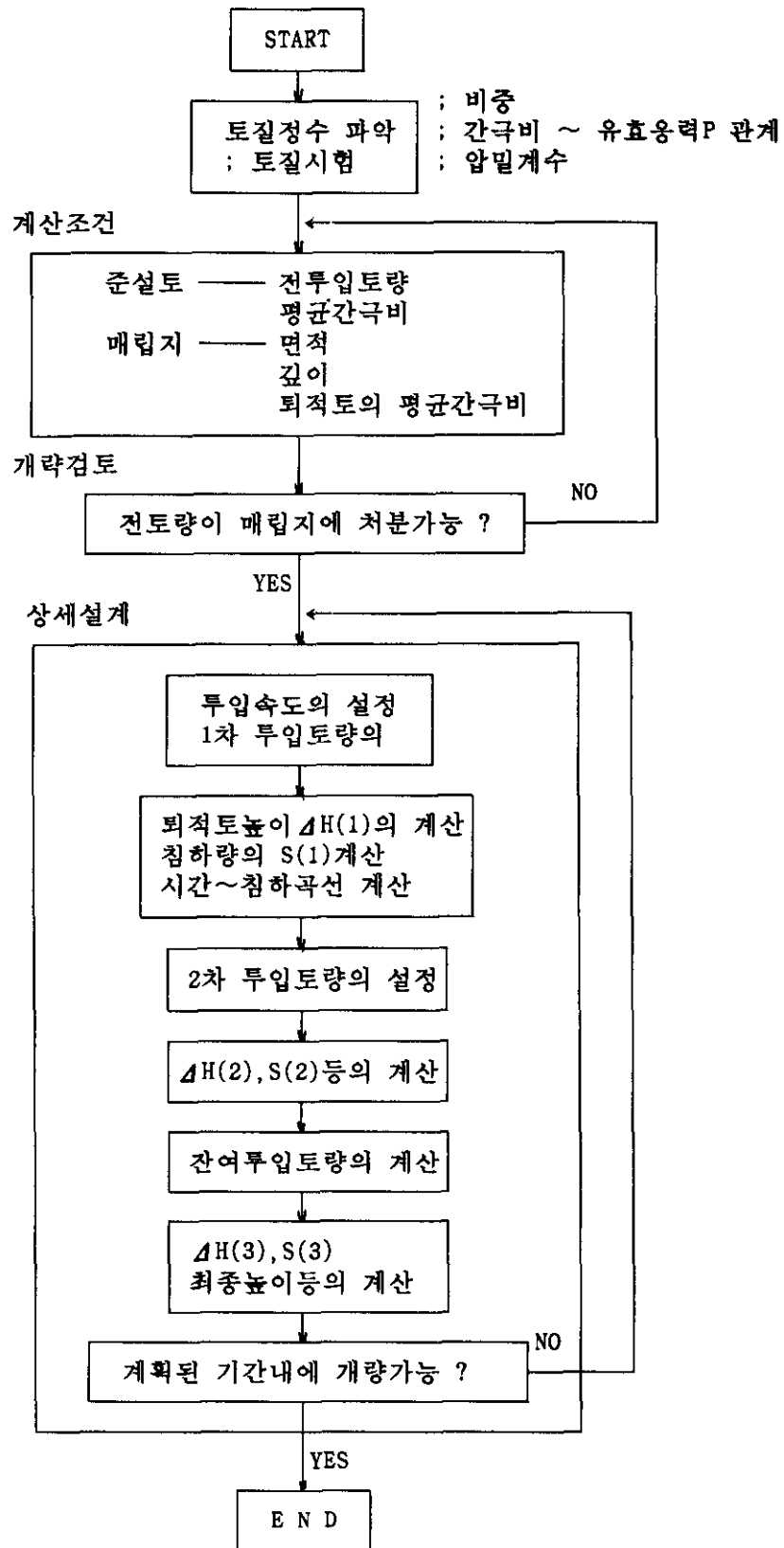
계획토량이 전량 매립지내에 투입가능한가를 다음식에 의해 개략적으로 검토한다.

$$H'_z = \frac{V_D (1+e_z)}{A_D (1+e_D)} \leq D_k \text{ -----(1)}$$

여기서  $e_z$ 는  $e \sim P$  관계로부터 구하는 값으로서 점토에 작용하는 부압  $-\sigma \text{ Kg/cm}^2$  ( $-0.5 \text{ Kg/cm}^2$ 정도, 여기서 점토의 자중을 무시)를 유효응력으로 치환했을때의  $P = -\sigma$ 에 대응하는 간극비이다.

$H'_z$ 는 계획한대로 전토량을 매립지에 투입했을 때 매립지내의 흙이 전부  $e_z$ 의 상태로 되었을 때 퇴적고 이다.

$H'_z \leq D_k$ 이면 계획투입 토량이 전부 매립지에 처분가능하다.



설계 Flow chart (3단계 개량의 경우)



### 3.2.2 설계에 필요한 계산식

최적고 및 압밀계산 등은 다음과 같이 실시한다.

$$\text{투입기간} : t_D : t_D = V_D / q_D$$

여기서  $q_D$ 는 점성토의 투입속도 -----(2)

최적고,  $H_0$  : 계획단계에서 처분토량  $V_D$ 를 매립지에 투입하면

$$H_0 = \frac{V_D (1+e_0)}{A_k (1+e_D)} \text{ -----(3)}$$

● 최종침하량,  $S_z$

$$S_z = H_0 \frac{e_0 - e_z}{1+e_0} \text{ -----(4)}$$

● 압밀침하후의 연약점토층 두께,  $H_U$  :

$$H_U = H_0 - S_z \times U \text{ -----(5)}$$

여기서  $U$ 는 압밀도이다.

● 압밀속도

압밀속도의 계산에는 Barron의 근사식을 적용할 수 있다. Card-Board Drain을 수평으로 매설하는데 있어서는 매설장이 매우길면 Drain의 통수성을 무한대로 간주할 수 없고, Drain의 선단부에는 Well Resistance<sup>5)</sup>에 의한 압밀지연이 발생되므로 다음과 같이 Drain 재를 선정할 필요가 있다.

$L = 50 \sim 100\text{m}$ 의 경우 : 넓이 10cm x 두께 3mm의 Drain재

$L = 100 \sim 300\text{m}$ 의 경우 : 넓이 10cm x 두께 8mm(또는 15cm x 10mm)

Drain 길이에 따라서 대 통수 능력을 가진 Drain재가 필요하다.

Barron 이론<sup>6)</sup>에 의한 압밀도  $U(T_n)$ 의 근사식은 다음과 같다.

$$U(T_n) = 1 - e \times p (-8T_n/F(n)) \text{ -----(6)}$$

$$\text{여기서 } F_n = \frac{n^2}{n^2-1} \ln(n) - \frac{3n-1}{4n^2}$$

$$n = de/dw, \quad T_h = C_v t/de^2$$

여기서  $de$ 는 개량점토의 유효등가직경(정방향배치에서는  $de=1.13d$ ,  $d$ =Drain의 간격),  $dw$ 는 Drain의 유효직경(넓이10cm x 두께 3mm 및 8mm의 Drain :  $dw=5cm$ , 넓이 15cm x 두께 10mm의 Drain :  $dw=10cm$ 로 각각에 대한 외주길이를 등가원으로 환산)이다. 또한, Drain간격  $d$ 는 원래 Drain 간격이 압밀에 의해 크게 감소하는 경우는 다음식에 의해 평균 Drain간격  $d$ 를 구해 이용할 필요가 있다.

$$d = \left( \frac{d_o^2 + d_x^2}{2} \right)^{0.5} \text{-----}(7-1)$$

여기서  $d_o$ 는 원래의 Drain간격,  $d_x$ 는 압밀후의 Drain간격으로 다음과 같다.

$$d_x = d_o \frac{1 - (e_o - e_x)/(1 + e_o)}{\text{-----}(7-2)}$$

또한, Drain간격은 압밀에 의해 연직방향은 감소하지만 수평방향으로는 감소하지 않는다. 그러나 현장실험결과에 의하면 (7)식의 근사가 가능하다.

### 3.3 펌프 용량설계

펌프는 진공펌프와 배수펌프가 필요하고 배수펌프는 진공실내에 설치하기 때문에 양정은 10m 이상이 필요하고, 진공펌프의 위치는 ~~배수관~~의 실선과 같이 설치하면 위치수두가 플러스 요인의 되므로 효율적이다.

#### 3.3.1 진공펌프 용량설계

진공펌프는 최초 Tank 및 배수관내의 공기를 제거하기 위해 필요하다. 또한, 압밀기간중에는 배수관으로부터 공기의 흡입에 의한 부압의 상승을 막기위해 항상 작용시켜 둘 필요가 있다. 그러나 진공펌프용량  $S_v$ 는 최초공기제거량과 그 속도에 의해 결정되므로 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_v = 2.3 V_m / T \log P_1 / P_2 \text{ -----(8)}$$

여기서  $V_m$ : Tank 및 배수관내의 공기총량 T:  $P_1$  부터  $P_2$ 까지 압력이 하강하는데 걸리는 시간.

$P_1$  : 대기압 (=10<sup>5</sup>Pa)

$P_2$  : 부압 ( $\sigma = -0.9 \text{ kgf/cm}^2$ 의 경우 10<sup>4</sup>Pa)이다.

### 3.3.2 배수펌프 용량설계

배수펌프는 점토로부터 압밀배출수를 진공실내에서 밖으로 배수하기 위해 필요하다. 압밀도  $U(T_n) = 5\%$ 시점에서 drain의 유입량과 배수펌프 용량이 평형하다고 가정하면  $U=5\%$ 까지 drain에서 총 유입량,  $Q(5\%)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q(5\%) = 0.05 S_x A_R \text{ -----(9)}$$

$U$ 가 5%로 되는 시간  $t(5\%)$ 는 식(6)에 의해

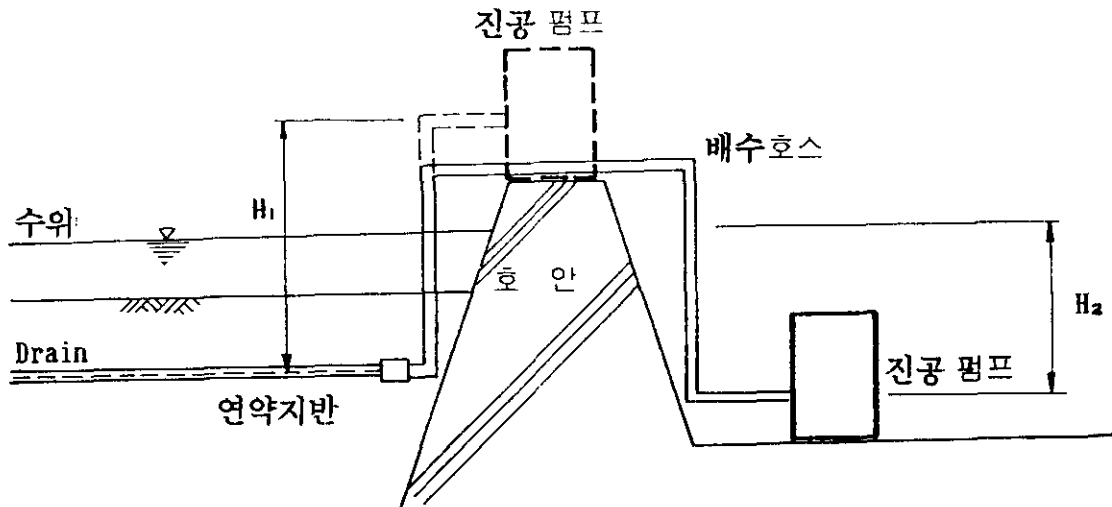
$$t(5\%) = d_w^2 / T_n(5\%) C_v \text{ -----(10)}$$

$$T_n(5\%) = -\ln(0.95) F(n) / 8 \text{ -----(11)}$$

여기서  $S_x$ 는 최종침하량이므로 배수펌프용량  $Q_v$ 는

$$Q_v = Q(5\%) / t(5\%) \text{ -----(12)}$$

가 필요하다.



■ 펌프의 설치위치와 개량효과

#### 4. 수평배수공법의 설계

설계조건을 [표 1]과 같이 설정하며 [표 2]은 OITA 점토에 대한 시험결과이다. 점성토의 투입을 계획고(+5.0m)까지 투입하고 수평배수공법에 의한 개량을 3차 까지 하면 매립지의 총 투입토량 및 그 외의 사항 등을 전술한 계산방법에 의해 구한 결과를 [표 3]과 [표 4]에 요약하여 표시하였다.

여기서 압밀도  $U > 80\%$ 의 시간은 장시간이 소요되므로 압밀도는  $U = 80\%$ 로 결정하였고 본 공법은 이용하여 3차 개량을 한 결과 준설토량은 종래보다 약 1.44배 처 분가능( $1,044,000\text{m}^3/725,500\text{m}^3$ )함을 알 수 있다.

[표 1] 설계조건

항 목	설 계 정 수
· 매립지의 면적, $A_k$	· $100,000\text{m}^2$ (200m x 500m)
· 투입토량 높이, $D_k$	· 10m, (-5m~+5m)
· 흡입지반 평균간극비, $e_D$	· 2.7, ( $G_s = 2.7$ ) (평균함수비, $W_o = 100\%$ )
· 퇴적토의 평균간극비, $e_D$	· 4.1 (평균함수비, $W_o = 100\%$ )
· 점성토의 투입속도, $q_o$	· $4,800\text{ m}^3/\text{일}$ (흡입지반)
· e~p관계	· [표 2]
· 압밀계수, $C_v$	· $2.5 \times 10\text{cm}^2/\text{min}$ ([표 2])

[표 3] 설계계산 결과

항 목	1차 개량	2차 개량	3차 개량
투입토량 $V_D$ (i) ;	$725,500\text{m}^3$	$239,400\text{m}^3$ 계 $964,900\text{m}^3$	$79,100\text{m}^3$ 계 $1,044,000\text{m}^3$
투입속도 $q_D$ ;	$4,800\text{m}^3/\text{일}$	$4,800\text{m}^3/\text{일}$	$4,800\text{m}^3/\text{일}$
투입시간 $t_D$ (i) ;	151 일	50 일	17 일
초기 퇴적토 두께 $\Delta H_o(i)$ ; ( $e_o = 4.1$ )	10.00m	3.30m	1.09m
투입완료시의 점성토 두께 $H_o$ (i);	10m	10m (6.70 + 3.30)	10m (8.91 + 1.09)
침하량 $\Delta S_z$ (i);	4.10m	1.36m	0.45m
Drain 간격 $d_o$ ;	0.9m (Grid Drain을 이용)		
$U = 80\%$ 시간 $t_{80}$ ;	53 일		
$U = 80\%$ 침하량 $\Delta S_{80}(i)$ ;	3.30m	1.09m	0.36m
$U=80\%$ 퇴적토높이 $\Delta H_{80}(i)$ ;	$\Delta 6.70\text{m}$	$\Delta 2.21\text{m}$	$\Delta 0.73\text{m}$
$U = 80\%$ 총퇴적고 $H_{80}(i)$ ;	6.70m	8.91m (6.70 + 2.21)	9.64m (8.91 + 0.73)

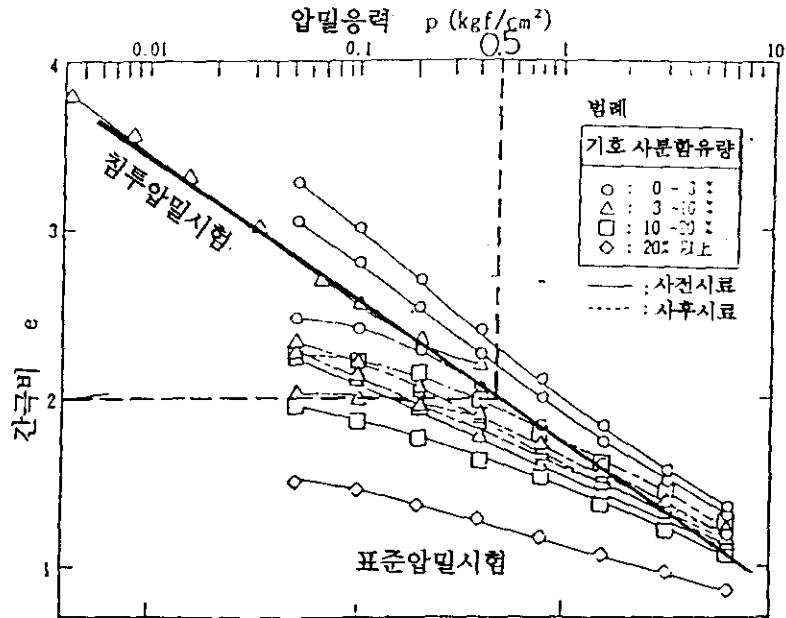


그림-5 간극비 압밀응력  $p$  관계 (OITA점토)

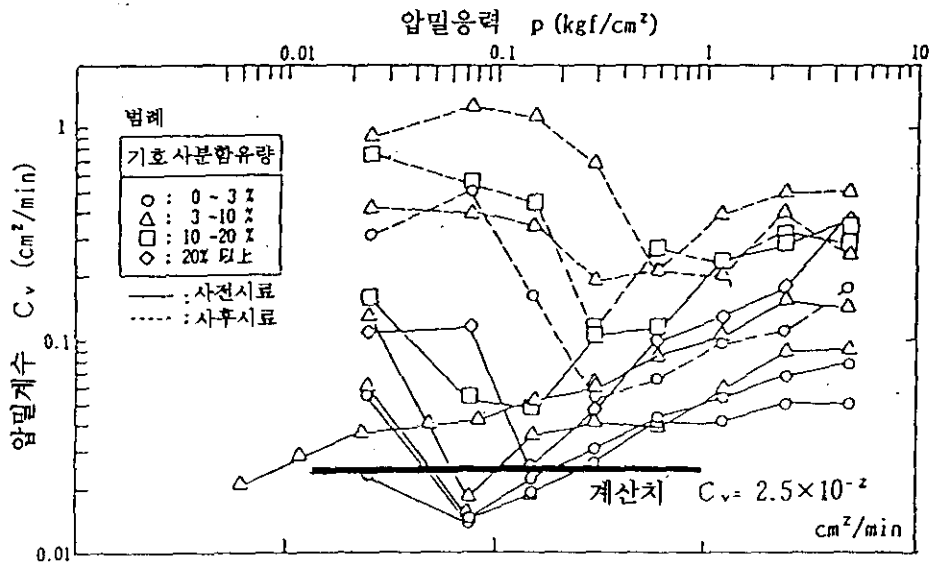


그림-6 압밀계수  $C_v$  ~ 유효응력  $p$  관계 (OITA점토)

퇴적토고의 경시변화

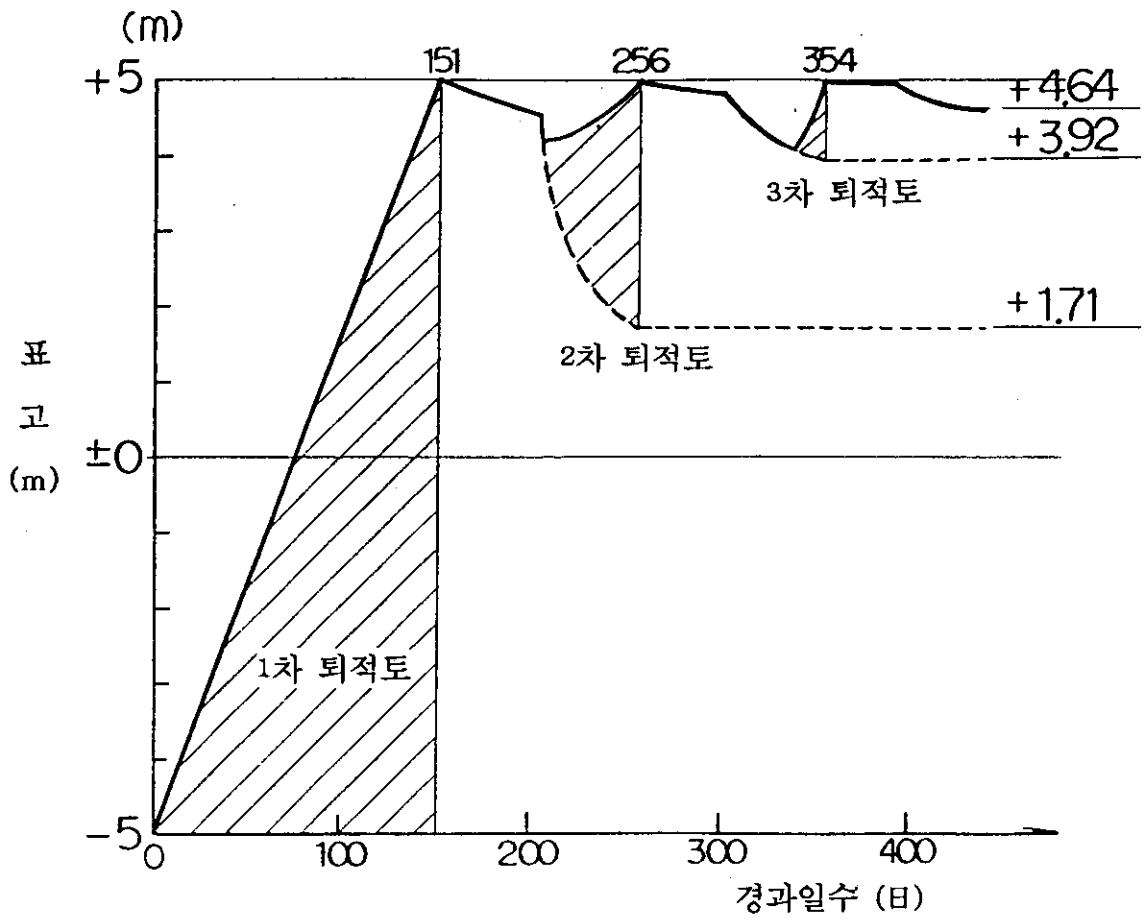


그림 7 퇴적토고의 경시변화도(설계에)

## 5. 시공방법과 관리

### 5.1 Drain 매설방법

Drain 매설장치는 Drain을 적재할 수 있는 발포스티롤제의 부선과 Drain을 소정의 심도까지 유도하는 Guide장치로 구성되어 있다. Drain의 매설을 다음과 같이 실시한다.

- ① Guide 장치를 선상에 고정된 상태로 Drain과 Cap이 달린 배수호스를 연결한다. 또한 배수호스와 반력말쪽을 로프로 연결한다.
- ② Guide장치를 Winch조작으로 점성토층에 관입시키고 동시에 반력말쪽을 지반내에 관입시킨다. Guide 장치와 수평축이 소정의 각도가 형성되면 Guide장치의 관입을 정지시킨다.
- ③ Guide 장치를 삽입한 상태에서 부선을 매설방향으로 이동하고 Drain을 매설한다.
- ④ Drain을 소정의 거리까지 매설한 곳에서 일단 부선을 정지하고 Drain을 절단하여 단부를 밀폐한다.
- ⑤ 부선을 매설방향으로 재차이동하여 Drain을 완전히 지반내에 매설한다.

Drain의 매설은 Drain을 1열(4단)매설한다. 발포스티롤제의 부선의 흡수, 수위를 측정하여 부선이 완전하게 부유된 상태를 확인한다. Drain매설시의 인장력은 지반이 연약상태이므로 용이하게 매설이 가능하다.

### 5.2 부압재하와 계측관리

**그림 8**에 부압재하와 계측 System를 표시하였다. Drain으로부터 물은 일단 Suction Head에 모아진 후 부압 Tank에 이동한다. 부압 Tank안에는 배수펌프가 있고 상부전극에 물이 접촉하면 자동적으로 집수 Tank로 물이 배수된다. 또한, 이때 유량계가 작동하고 총 배수량이 기록된다. 또한 이 시스템의 장점은 준설 점토에 부압작용을 중단하지 않고 물을 부압실에서 외부로 배수시킬 수 있는 것이다. 또한 배수각도를 각각 구해 지반표면으로 부터 침투수의 영향을 조사한다.

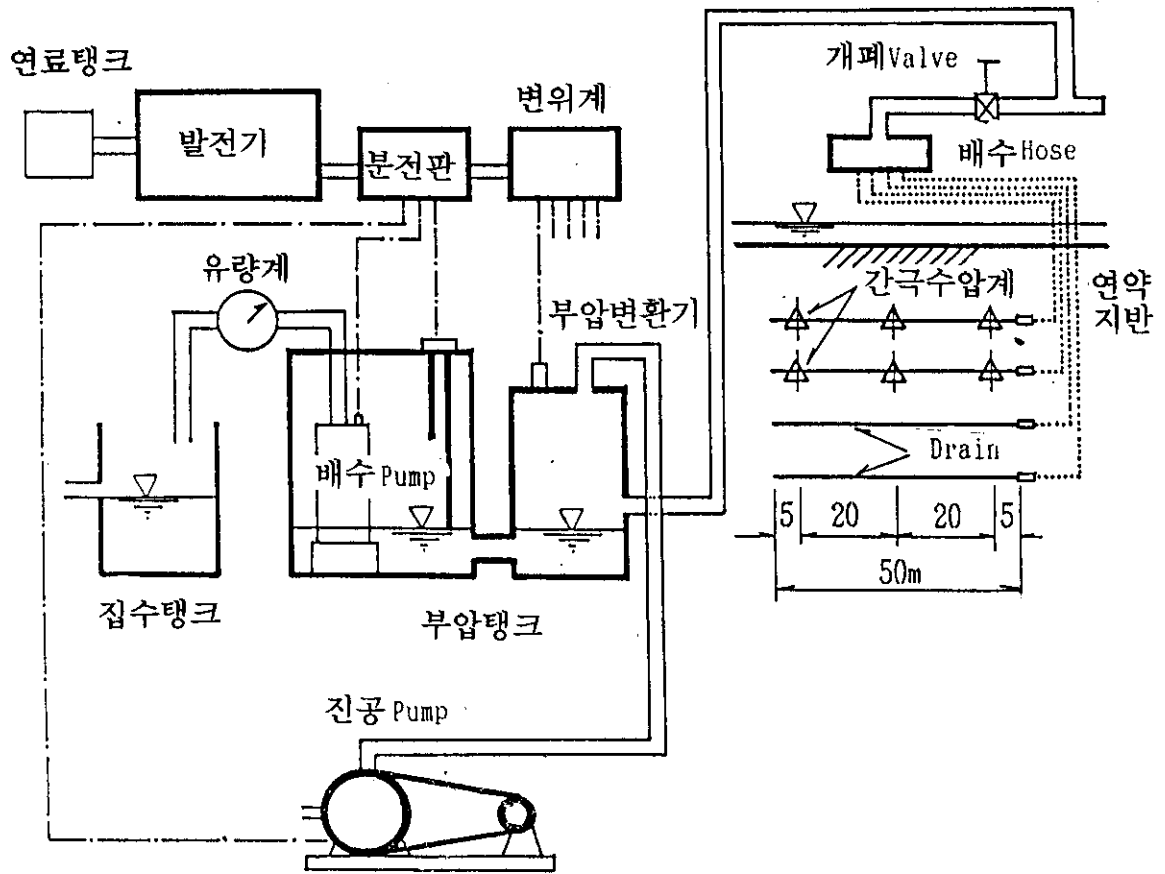


그림 8 부압 및 계측 SYSTEM

Drain 매설에 관한 관리항목은 표 4와 같이 Drain의 매설장, 매설심도, 횡방향과 심도방향의 Drain 간격이다. 여기에서 드레인 매설장은 매설하는 Drain길이의 약 5m 앞에서 일단 매설부선을 정지하고 Drain을 소정의 길이로 절단할 필요가 있으므로 이 정지 위치에서 관리를 한다. 한편 Drain의 매설심도와 심도방향의 Drain 간격은 수평측과 Mandrel과의 각도를 항상 일정하게 관리를 한다.

표 4 Drain 매설관리 항목

항 목	관 리 방 법
매 설 장	트랜시트 측량
Drain 간격 (횡방향)	트랜시트 측량
매설 심도	수평측과 Mandrel의 각도
Drain 간격 (심도방향)	수평측과 Mandrel의 각도



또한, 개량효과(압밀)에 관한 관리항목을 요약하면 표-5와 같으며, 부압 탱크실 내의 압력이 저하하면 배수호스 Joint 부근에서 공기의 유입가능이 있으므로 작용 부압은 연속적으로 관리할 필요가 있다. 또한 Drain의 부압은 점토에 실제적으로 작용하고 있는 압력의 변화를 나타내고 있다. 시간-침하곡선의 형상으로부터 압밀도를 추정할 수 있으며, 총 배수량과 침하체적과의 비교에 의해 주변으로부터 침투수의 영향을 검토할 수 있다. 또한, 지반의 함수비의 변화를 경시적으로 측정하므로써 압밀진행정도를 파악할 수 있다.

표-5 관리항목

항 목	장 소	측 정 방 법
부 압	부압탱크실 Drain 부근	간극수압계 간극수압계
침 하	개량지역	레벨측량
배수량	집수탱크	유 량 계
함수비	개량지역	시료채취

### 5.3 현장실험 결과

일본 OITA공항 준설매립지에 Plastic board Drain을 연약지반에 매설하여 Drain 후단부분에 부압을 작용시켜 수평배수공법 실험을 하였다. 실험의 규모는 50m 길이의 Drain을 0.7m의 정방형 배치로 40개(4단 x 10열)를 매설하여 시공성과 수평배수공법에 의한 개량효과를 파악한 것이다.

그림-9는 진공펌프 부근에서 부압과 배수량 및 배수속도의 경시변화를 나타내고 있다. 수평 Drain 40개의 총 배수량은 t=57일에서 약 510m<sup>3</sup>이고 배수속도 q는 부압 재하 직후가 q=40l/min이고 그 후에는 압밀진행에 따라 감소하여 t=1일에서 재하직후의 약 1/2로 되었다. 또한 실험을 종료한 t=57일에서 q=3 l/min으로 크게 저하되었다. 그림-10은 Drain 내부의 간극수압을 그림-11은 침하곡선을 각각 표시하였다.

Drain에 부압을 작용시키면 t=20일 까지 간극수압은 거의 변화가 없고 t>20일에서 점차 감소한다. 여기에서 t=21일 경에서 간극수압의 급격한 감소는 수위를 0.5m 저하시켜 발생한 것이다. 실험을 종료한 t=57일에서 간극수압이 초기값에서 0.1~0.2kg/cm<sup>2</sup> 감소 하였다.

그림 11에서 보면 배수호스의 인접부분에서 침하량 차이는 거의없고, 침하와 간극수압 거동을 비교하면  $t=20$  일에서 침하가 70cm 발생하지만 간극수압은 큰 변화가 없다. 한편  $t=57$  일에서 침하는 거의 종료되고 있지만 반면 간극수압은 점차 감소하는 결과가 되었다. 이것은 점토의 초기 유효응력이 매우 작은 것과 응력 - 변형관계가 비선형적인 것으로 생각할 수 있다.

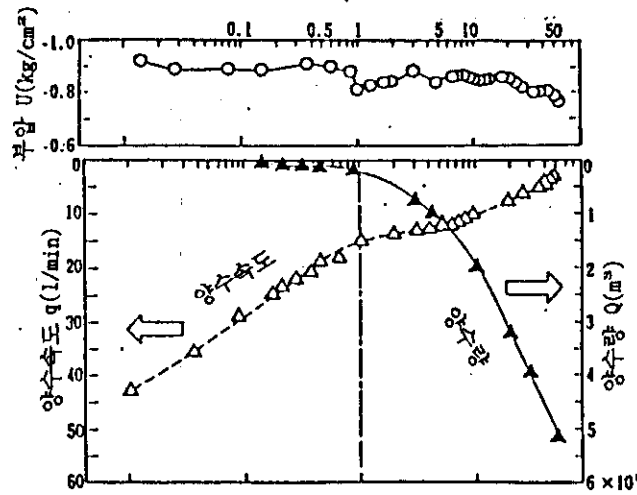


그림 9 부압과 배수량 관계

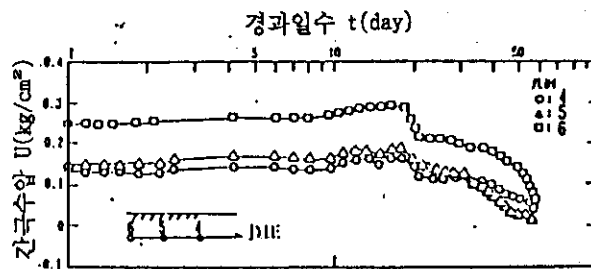


그림 10 Drain 내부의 간극수압

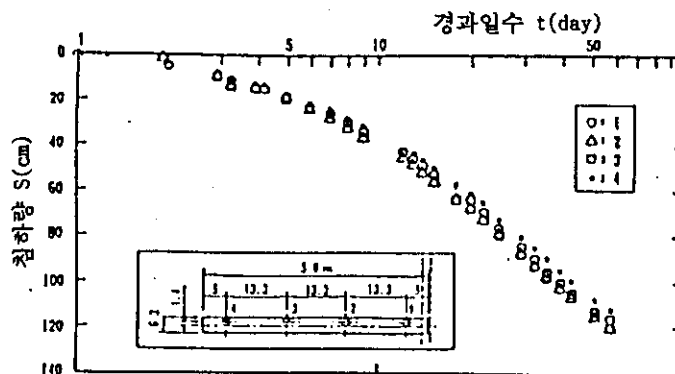


그림 11 침하곡선

## 6. 결 론

본 연구는 수평 Drain을 이용하여 준설패립 연약지반 처리공법에 관한 기초적 연구로서 공법의 배경 및 설계방법, 현장적용 등을 고찰한 결과 아래와 같이 결론을 요약할 수 있다.

1. 시공기계의 반입이 불가능한 자중압밀 지반에 수평 Drain을 매설하므로써 압밀진행속도를 촉진할 수 있다.
2. 해상연약지반처리 시공기계 및 토취장이 부족한 국내 현실을 고려하면 본 공법은 Drain 매설 부선제작이 간단하고 해저 준설택토를 다량으로 투입가능하기 때문에 표층처리 매립토를 절감할수 있으며 강도증가를 기대할 수 있다.
3. 본공법 적용시 연구되어야 할 사항은 Drain의 통수성과 Drain의 매설장(1=200m)에 의한 Well Resistance의 영향을 극복할 수 있는 대단면 Drain의 개발등이 요구되고 있다.

## 참고문헌

- 1) 岡田, 橋田(1974) : 베-바드렌大氣壓工法 による 軟弱地盤의 改良, 建設と 機械化, Vol.11, PP.31-36
- 2) Kjellman, W.(1949) : Consolidation of clay soil by means of atmospheric pressure, conference on soil stabilization in MIT, PP.1-6
- 3) 佐久木, 笠島, 阿久根(1973) : 中立應力低下による 海底地盤의 改良 日本土木學會 論文集, 第24號 PP.9-15
- 4) 吉園洋, 金亨柱, 三本竹徹也(1991) : ホリゾンタルドレンを用いた 浸透壓密工法, 第26回 日本土質工學會 研究發表 講演集, PP.872-873
- 5) Yoshikuni, H. and Nakanodo, H.(1974) : Consolidation of soils by vertical drain walls with finite permeability, Soils and Foundation, Vol.14, No.2, PP.35-46
- 6) Barron, R. A. : Consolidation of fine grain soils by drain well, Trans. A. S. C. E., Vol.4, No.3, 1956