

# Personal Computer를 이용한 沈下安定管理 技法

(Settlement Data Acquisition and Analysis Technique  
by Personal Computer)

송 정 략 \*

Song, Chung-Rak

여 유 현 \*

Yeoh, Yoo-Hyeon

\* (주) 대우엔지니어링

## Abstract

Accurate prediction of future settlement is essential for the settlement control of soft soil by pre-loading method. To predict future settlement in clayey soft soils, several methods like Asaoka method, Hyperbolic Method and Hoshino method are currently being used. These methods predict the future settlement by mathematical treatment of the measured settlement data on the basis of consolidation theory and empiricism. But the correlation coefficient between the measured and the predicted settlement was relatively low (0.8~0.9). Also, the prediction of future settlement for the design load is very difficult.

In this article, the measured field settlement data was treated as the field consolidation test. Hence, consolidation coefficient( $C_v$ ) and compression index( $C_c$ ) was evaluated from the field settlement data.  $C_v$  and  $C_c$  values from field data was used to calculate the degree of consolidation and settlement at desired time. By this method, the correlation coefficient between the measured and the predicted settlement was significantly increased(0.97~0.99). Also the settlement by the design load after the improvement of soft soil could be predicted reasonably.

This method is quite rational and sound but it requires thousands of calculation steps. Today, by the aid of low priced personal computers, above mentioned technique could be used much more economically and effectively than conventional methods. This article presented the mechanisms and capacities of this method and demonstrated the enhanced correlation coefficient when applied to actual field settlement data.

연약 지반의 침하안정관리를 위하여서는 장래의 침하를 정확히 예측하는 것이 매우 중요하다. 이를 위한 기존의 방법으로는 Asaoka 법, 쌍곡선법, Hoshino 법 등의 여러 가지 방법들이 사용된다. 이 방법들은 암밀 이론 및 경험에 근거하여 침하 계측자료들을 수학적 방법으로 처리하여 장래의 침하를 예측한다. 그러나 이 방법들에 의해 예측된 침하량과 실제 관측된 침하량의 상관계수(Correlation Coefficient)는 비교적 낮으며(0.8~0.9), 설계 하중에 대한 잔류 침하예측에 있어서도 뚜렷한 방법을 제시하지 못하는 실정이다.

본 고에서는 현장 침하계측을 현장 암밀시험으로 취급하여 그로부터 암밀계수( $C_v$ )와 압축지수( $C_c$ )를 구하였으며 장래 임의의 시점에서의 침하 혹은 압밀도를 구하기 위해서 현장 계측으로부터 구해진  $C_v, C_c$  값을 사용하였다. 이 방법에 의하여 예측된 장래 침하량과 실제 침하량 사이의 상관계수는 기존 방법보다 훨씬 높은 값(0.97~0.99)을 보여 주었으며, 지반 개량후 설계하중에 대한 잔류 침하도 합리적으로 구할 수 있었다.

상기 방법은 방대한 계산과정을 필요로 하나 오늘날 대중화된 개인용 컴퓨터를 이용하여 신속하고 효과적으로 수행될수 있었다. 본 고는 이 방법의 개요와 실제 현장 계측 자료에 적용된 결과를 제시하였다.

## 1. 서론

Pre-Loading 공법에 의하여 연약 지반을 개량할시, 지반의 압밀거동이 설계자의 의도대로 진행되는지를 확인하기 위해서는 현장 계측을 이용하는 방법이 점차 널리 적용되고 있다. 이러한 계측된 결과로부터 장래의 침하를 예측하기도 하고, 재하된 Pre-Load의 철거시기를 결정하기도 한다. 설계시 Pre-Load 에 의한 침하가 어느 시점에서 만족할수준이 될것이라고 산정되었으면, 현장 계측에 의하여 이를 확인할 수 있으며, 설계된 시간내에 침하가 만족할 수준이 되지 않을 것으로 판단되면 Pre-Load의 재하 기간을 연장하거나 Pre-Load 재하고를 증가시킨다. 또 설계된 시간이내라도 침하가 만족할 수준이면 Pre-Load 를 철거하여 시공 기간을 단축하는등 궁극적으로 시공의 신뢰성 향상 및 공사비 절약을 도모할수 있다.<sup>1), 2)</sup>

본 고는 인천지역 남동공단 2 단계 부지 조성 공사중 Pre-Load 설치부의 현장 침하 계측자료를 현장 암밀시험자료로 취급하여 Terzaghi 암밀 이론에 의해 장래침하를 예측하고, 아울러 장래 설계하중에 대한 침하를 예측하는 기법을 제시하고자 하였다. 또한 이 기법에 의한 결과와 기존의 침하 안정 관리 기법에 의한 결과의 정확도를 수학적으로 비교하고자 하였다.

## 2. 현장개요

본 현장은 서해안 인천지역 남동공단 2 단계 지역에 위치하고 있다. 이 지역은 본래 갯벌 혹은 염전 지역이었던 곳을 매립하여 공업단지를 조성하였으며 그 위치는 그림 1 과 같다.

현장 시추조사 결과 얻어진 지반 조건은 개량 대상 연약 지반의 두께가 평균 8 M, 일축 압축강도가 평균 0.5 kg/cm<sup>2</sup>, 점착력이 평균 0.3 kg/cm<sup>2</sup> (깊이에 대한 변화는 미 소함), N치 평균 4, Cone 지지력 평균 8 kg/cm<sup>2</sup>, 압축 지수 평균 0.3, 압밀계수 평균 0.01 cm<sup>2</sup>/sec 이다.<sup>4)</sup>

상기 연약층에 대하여 침하 측정위치 11 개소, 간극수압 측정위치 11 개소, 수평 변 위측정위치 10 개소, 지하수위 측정위치 10 개소를 설치하여 현장 계측이 실시되었다.

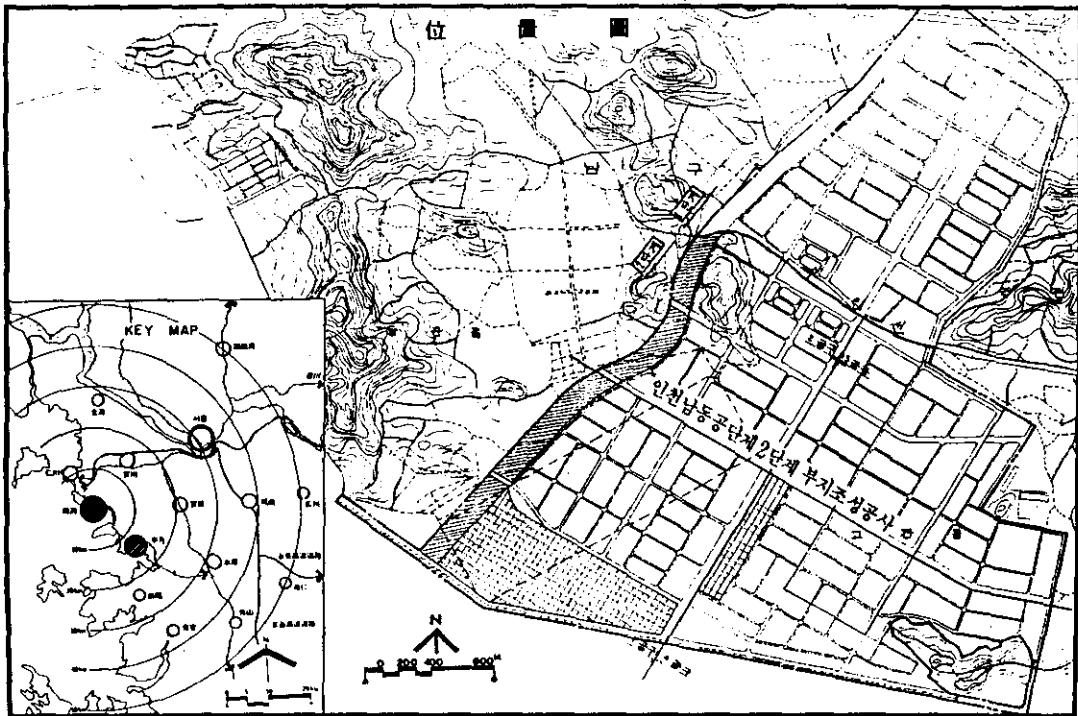


그림 1. 현장 위치도

## 3. 이 론

### 3.1 침하 안정 관리 기법

#### 3.1.1 Asaoka 방법

Asaoka 방법은 Mikasa(1963)에 의해 유도된 압밀 미분 방정식인 식 (1) 을 이용한 다.<sup>5)</sup>

$$C_v = \frac{\partial^2 \epsilon_v}{\partial z^2} = \frac{\partial \epsilon_v}{\partial t} \quad \text{----- (1)}$$

식 (1)을 풀면 식 (2)와 같은 해를 얻을수 있으며, 이로부터 임의의 시점에서의 침하

량을 구한다.

$$S(t) = S_{\infty} - (S_{\infty} - S_0) \exp(-t/a_1) \text{----- (2)}$$

여기서,

$S_0, S_{\infty}$  = 최초, 최종 압밀침하량

$$a_1 = (5/12)(h^2/C_v)$$

$h$  = 압밀층 두께

$$C_v = \text{압밀계수} = -(5/12)(h^2)(\ln \beta_1) / (\Delta t)$$

$\beta_0$  = 그림 2.2 의 종축절편

$\beta_1$  = 그림 2.2 의 기울기

$\Delta t$  = 그림 2.1 의 시간 증분

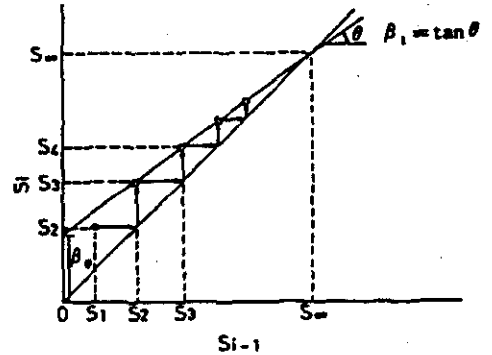
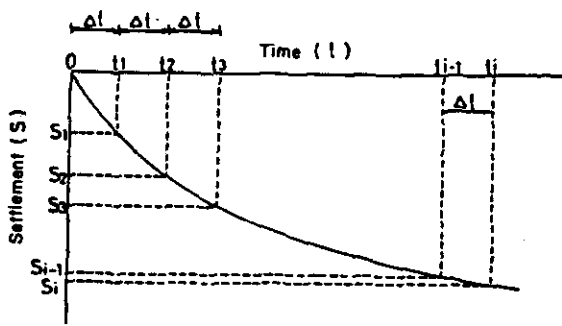


그림 2.1. 등 시간 간격에 대한 침하량의 재배치      그림 2.2. 계수의 결정

식 (2)는 다음과 같이 도해적으로 풀어진다.

- 1) 실측 침하 자료를 동일 시간 간격( $\Delta t$ )으로 재배치하고(그림 2.1), 이를 이용하여  $S_i - S_{i-1}$ 의 관계도를 작성한다(그림 2.2)
- 2) 그림 2.2의 직선이 원점에서  $45^\circ$ 로 그은 직선과 만나는 점이 최종 침하량이다.
- 3) 또한 이때의 기울기가  $\beta_1$ 이라면, 이 값을 식 (2)의 압밀계수 산정 공식에 대입하여 압밀 계수를 구할수 있다.

Asaoka 방법은 압밀 이론을 수학적으로 처리하여 최종 침하량 및 압밀계수 그리고 중간 침하량을 구하고 있다. 그러나 이 방법은 지반에 따라 그림 2.2의 기울기가 직선이 되지 않는 경우가 발생하기도 한다<sup>5)</sup>. 이런 경우는 보다 오랜 기간동안의 침하자료가 수집되어야만 하는 단점이 있다. Blasubramaiaam & Brenner(1981)<sup>5)</sup>의 하다면 Asaoka 방법의 경우 최소한 60% 압밀도 이상의 침하자료 수집이 되어야 신뢰성이 있는 결과가 얻어진다고 보고하였다.

### 3.1.2 Hyperbolic 방법

일명 쌍곡선법이라 불리는 이 방법은 “침하의 평균 속도가 시간에 대하여 쌍곡선적으로 변한다”고 가정하여  $t \sim t/(S_t - S_0)$  ( $t$ =경과시간,  $S_t$ =시간  $t$ 에서의 침하량,  $S_0$ =시간 0에서의 침하량)의 관계가 일정한 직선성을 가지는 성질을 이용한다 (그림 3 참조)<sup>3)</sup>.

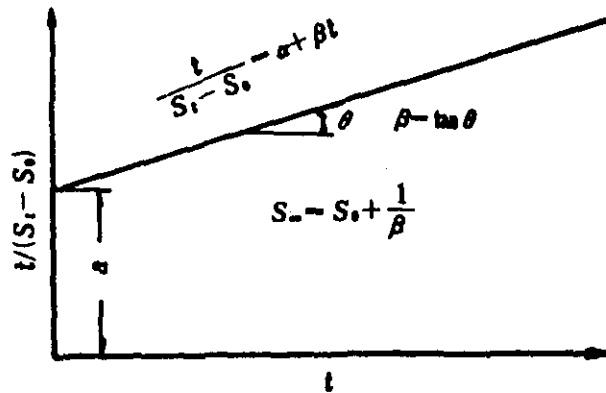


그림 3. Hyperbolic 방법

그림 3에서 임의의 시점에서의 침하량은 식 (3)과 같이 나타나고 시간이 무한대인 경우의 침하량은 식 (4)와 같이 나타남을 알 수 있다.

$$S_t = S_0 + t/(\alpha + \beta t) \text{----- (3)}$$

$$S_{\infty} = S_0 + 1/\beta \text{----- (4)}$$

여기서,

$S_t$  = 임의의 시간  $t$ 에서의 침하량

$S_0$  = 시간  $t = 0$  일때의 침하량

$\alpha$  = 그림 3의 절편

$\beta$  = 그림 3의 기울기

$S_{\infty}$  = 시간이 무한대일때의 침하량

이 방법은 전술한 Asaoka 법이나 다음의 Hoshino 법에 비해 그 적용방법이 비교적 간단하다는 것을 알 수 있으며, 또한 그 결과는 실제와 비교적 잘 일치한다고 알려져 있다<sup>3)</sup>.

### 3.1.3 Hoshino 방법

전술한 Hyperbolic 방법은 지반에 따라 그림 3에서의 측정자료의 기울기가 직선으로 나타나지 않고 곡선으로 나타나는 경우가 있다. 이런 경우에 계측 자료의 직선성을

종계 하기 위하여 그림 3 의 종축을  $t/(S_t - S_0)^2$  으로 취하는 방법이 Hoshino 방법이  
 다. Hoshino 방법에 의한 임의의 시점에서의 침하량과 시간이 무한대 일때의 침하량은  
 각각 식 (5), (6)과 같이 표시된다<sup>3)</sup>.

$$S_t = S_0 + AK^2 t^{0.5} / (1 + K^2 t)^{0.5} \text{----- (5)}$$

$$S_{\infty} = S_0 + A \text{----- (6)}$$

여기서,

$S_t$  = 성토완료후 경과시간  $t$  에서의 침하량

$S_0$  = 성토완료직후의 침하량

$S_{\infty}$  = 시간  $t = \infty$  에서의 침하량

$$A = (1/a)^{0.5}$$

$$K = (a/\beta)^{0.5}$$

$a$  = 그림 4 의 기울기

$\beta$  = 그림 4 의 종축의 절편

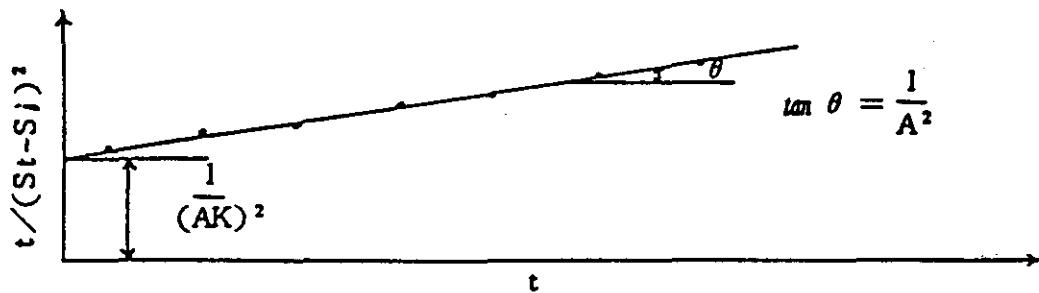


그림 4. Hoshino 방법

### 3.2 기존 침하안정 관리기법의 문제점

#### 3.2.1 Recompression 문제

Pre-Load 설계시에 고려되는 침하의 종류는 흔히 압밀 침하뿐이거나 압밀침하+Creep 침하 뿐이다<sup>6), 8)</sup>. 그러나 Pre-Load가 제거되면 지반이 Rebound 되고, 여기에 설계하중이 가해지면 지반은 과압밀토의 특성을 가지며 침하하게 된다. 정밀 구조물은 물론 이려니와 도로나 철도등의 설계에서 보통 잔류 침하의 허용치로 쓰이는 10 cm 의 한계는 Recompression의 영향을 상당히 받는다고 할수 있다. (예 : 본 지역에서 연약층 두께 10 m, 재압축 지수  $C_r = 0.03$ , 설계하중 10 Ton,  $e = 1.0$  일때 Compression 에 의한 침하량은 약 3.5 cm 이다.) 그러므로 설계하중에 대한 잔류 침하량 고려시에는 Recompression량을 고려하는 것이 합리적이다. 그러나 전술한 Asaoka 방법이나, Hyperbolic 방법, Hoshino 방법 등에서는 Recompression를 고려해줄 수 있는 방안이

없다.

### 3.2.2 설계하중에 대한 잔류 침하량 산정

설계 하중에 대한 잔류 침하량 산정 능력에 있어서 전술한 방법들은 특별히 이를 수행할수 있는 능력이 없다. 전술한 방법을 써서 설계하중에 대한 잔류 침하를 식 (7), (8)과 같이 예측하는 방법으로 다음과 같은 방법이 적용된적이 있으나, 이는 설계 시에 예측된 침하특성과 실측된 침하특성이 비슷한 경우에만 근사치를 산출할수 있다.

$$S_{r1}=[S_f(pre)/S_t(pre)]-S_t(pre) \text{-----} (7)$$

$$S_r=S_{r1}+S_{r2}+S_{r3} \text{-----} (8)$$

여기서

$S_{r1}$ =압밀에 의한 잔류 침하량

$S_f(pre)$ =Pre-Load에 의한 예상 최종 침하량

$S_t(pre)$ =Pre-Load에 의한 현재 침하량(측정치)

$S_r$ =설계 하중에 대한 총 잔류 침하량

$S_{r2}$ =설계 하중에 대한 Creep에 의한 잔류 침하량

$S_{r3}$ =설계 하중에 대한 Recompression에 의한 잔류 침하량

### 3.2.3 Pre-Load 제거 시기의 결정

지금까지는 Pre-Load 제거 시기를 결정하는데 있어 압밀도를 이용하는 방법이 주로 사용되어 왔다. 즉 전술한 방법에 의하여 Pre-Loading 후의 최종 침하량을 예측하고 이를 현재의 침하량과 비교하여 지반의 압밀도를 계산하며, 압밀도가 설계 압밀도에 도달하였는가를 판단하여 Pre-Load의 철거 시기를 결정한다.

이 방법은 Pre-Load의 크기가 설계 하중과 유사하고, 현장 침하계측결과가 설계시 가정된 침하 양상과 동일한 경우에만 타당성이 있다. 일반적으로 실내 시험용 시료들은 지반의 일부분에서 채취되나 실제 현장에는 모래나 실트층이 얇게 존재하는 경우가 많으므로 현장 계측에 의한 현장 압밀속도는 실내 시험에 의한 실내 압밀속도보다 큰 경향이 있다. 또한 실내 시험용 시료는 현장 지반중의 취약한 부분에서 채취되는 경향이 있으므로 현장 압밀 침하량은 실내 압밀침하량보다 작은 경향이 있다. 따라서 이 방법은 안전측이라고는 할수 있으나, 실제의 잔류 침하량을 충분히 고려치 못하고 Pre-Load제거 시기를 결정하는 결과를 초래한다.

### 3.3 본 연구에서 사용된 방법

본 연구에서 사용된 방법은 현장 침하 측정 자료들을 Terzaghi의 1 차원 압밀 이론 9)에 적용하여 압밀 제정수 ( $C_c$ ,  $C_v$ )를 찾아내어 임의의 시점에서의 침하량을 쉽게 구하고, 설계하중에 대한 침하량도 Recompression 및 Creep를 고려하여 합리적으로 구하였다. 그 방법은 다음과 같다.

- 1) 간극수압 측정자료로 부터 압밀계수  $C_v$  를 결정한다.

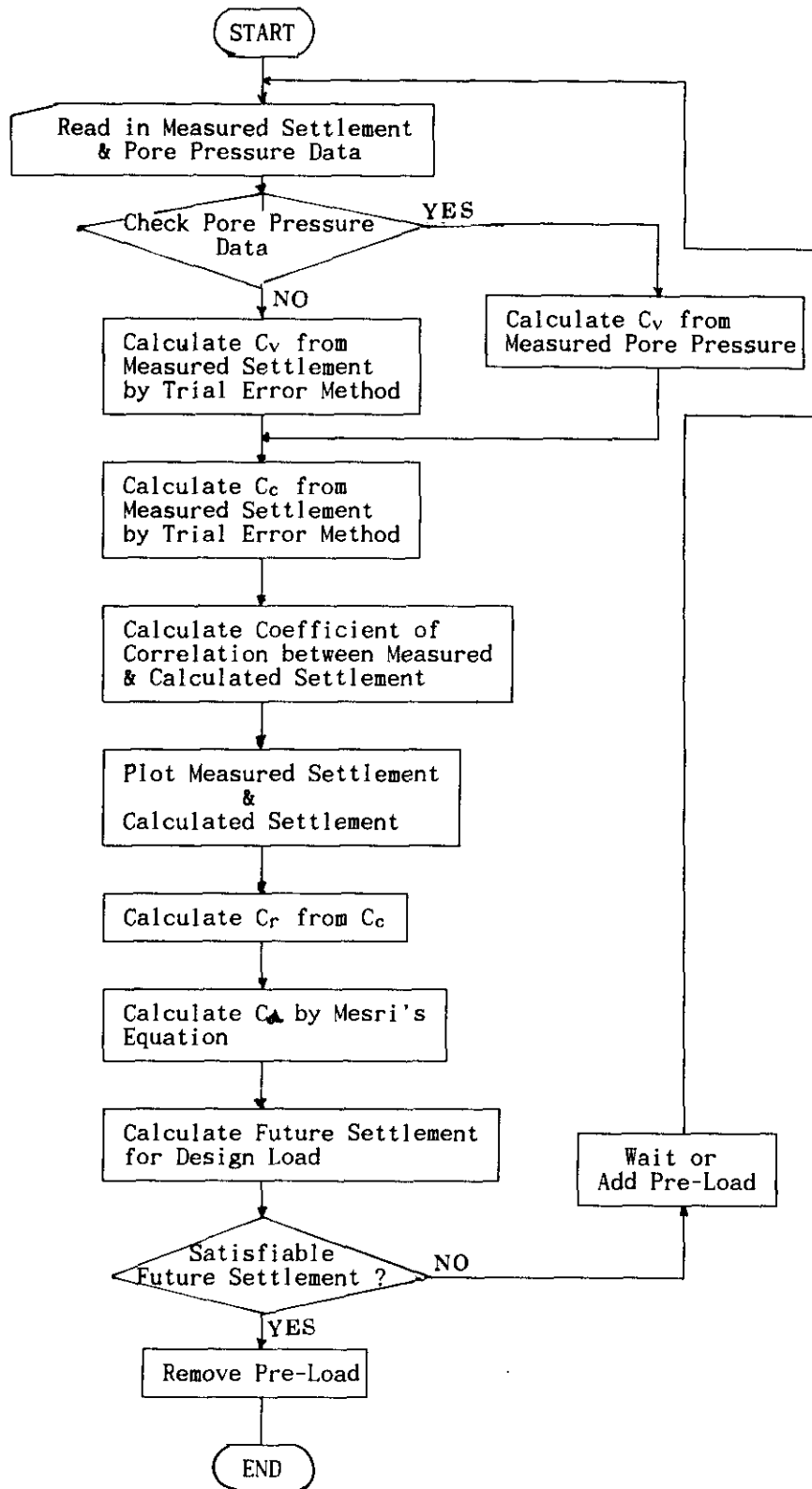


그림 5. Program SCH-iii의 흐름도



- 2) 실측된 간극 수압 자료로 부터 구한  $C_v$  값은 시간에 따라 다르므로 통계 처리하여 가장 빈도수가 높은 값을 측정한다.
- 3) 2)항의 압밀 계수를 이용하여 침하 측정 자료에 적합한 압축지수  $C_c$  를 시행 착오법에 의하여 선택한다. 이때 간극 수압 측정 자료가 없으면 시행 오차법에 의하여  $C_v$ 를 함께 구한다.
- 4) Mesri & Choi(1985) 의 방법<sup>7)</sup>에 의하여 Creep 에 의한 침하지수인  $C_\alpha$  를 구한다.
- 5) 3)항의 압축지수  $C_c$  와 재압축지수  $C_r$  의 경험적 관계에 의해  $C_r$ 을 구한다.
- 6) 3), 4), 5)항의  $C_v, C_\alpha, C_c, C_r$  값에 의하여 임의의 시점, 임의의 하중에 대한 침하를 예측한다.
- 7) 6)항에 의해 설계하중에 대한 잔류 침하량으로부터 Pre-Load의 철거 시기 및 추가 여부를 결정한다.

이 방법의 요지는 시행 착오법에 의하여 압밀 계 정수( $C_v, C_c$ )를 구하고,  $C_c$  와  $C_r$  의 경험적 관계에 의해  $C_r$ 을 구한다. 또한 Mesri & Choi(1985)의 방법<sup>7)</sup>에 의해  $C_\alpha$ 를 구하면 Creep을 포함한 지반의 압밀 특성을 모두 파악한 것이므로 이를 이용하여 필요한 것들을 구한다. 이 방법은 Terzaghi의 고전적 압밀이론을 이용하고 있다. 위의 과정은 컴퓨터를 쓰지 않을 경우 수많은 계산을 하여야 하고, 복잡한 그림들을 이용해야 하며 그 소요 시간이 많아 실질적으로 불가능하다. 그러나 본 연구에서는 IBM 호환성 개인용 컴퓨터를 이용하여 신속하고 정확히 위의 계산과정을 수행할 수 있었다. 본 방법을 이용한 Program의 논리 흐름은 그림 5 에 나타난 바와 같다.

## 4. 결 과

### 4.1 해석 결과

본 연구에서는 현장 침하 계측 자료의 처음 일부분을 이용하여 장래의 침하량을 예측하고 이의 정확도를 각 방법별로 비교하였다. 대상 지역인 인천 남동공단 2 단계 조성공사의 침하계측은 약 18 개월동안 진행되었으므로, 충분한 압밀이 발생하여 계측 결과들을 검증하기에 적당한 결과들이 얻어진 것으로 판단된다.

각 측정별 자료중  $M_8, M_9$ 는 자료의 불충분으로 검토 대상에서 제외 되었다. 각 측정별 측정자료를 기존의 침하예측 방법인 Asaoka 방법, Hyperbolic방법, Hoshino방법에 의해 최종 성토후 1 개월, 2 개월, 3 개월 까지의 결과를 토대로 예측한 최종 침하량 과 실제 계측치와의 관계를 상관계수로 나타내었다. 또한 본 방법을 이용하여 상기 방법과 동일한 과정으로 최종 침하량을 예측하고 실측에 의한 관계를 상관계수로 나타내었다.

상기와 같은 방법으로 최종 성토후 1 개월 까지의 측정자료를 토대로 각 방법별 예측침하치와 상관계수는 표 1 과 같다.

표 1. 각 방법에 대한 최종 침하량 예측(성토 완료후 1개월 까지의 계측자료 이용)

Measuring Point	Target Number	Final Settlement/Coefficient of Correlation				Last Measured Settlement
		Asaoka	Hyperbolic	Hoshino	This Study	
M <sub>1</sub>	1	9.76/0.91	9.81/0.99	9.82/0.98	9.87/0.99	9.76
	2	4.73/0.95	4.77/0.99	4.78/0.98	4.76/0.97	4.72
	3	0.14/0.21	0.80/0.05	-	1.36/0.63	0.35
M <sub>2</sub>	1	7.30/0.24	7.37/0.96	7.40/0.96	7.33/0.96	12.87
	2	1.37/0.30	1.42/0.90	1.42/0.90	1.26/0.995	4.35
M <sub>3c</sub>	1	-2.86/0.30	20.39/0.99	-	3.43/0.993	9.15
M <sub>3s</sub>	1	11.49/0.90	7.58/0.86	7.59/0.86	7.69/0.916	7.63
	2	2.18/0.93	0.03/0.97	-	2.74/0.98	3.81
M <sub>4</sub>	1	10.37/0.79	10.37/0.97	10.38/0.97	10.32/0.94	10.79
	2	2.14/0.24	4.93/0.35	0.89/0.35	2.13/0.94	2.45
M <sub>5</sub>	1	11.30/0.87	12.60/0.94	10.23/0.94	11.63/0.97	13.44
	2	1.30/0.83	1.58/0.89	1.65/0.89	1.34/0.80	2.38
M <sub>6</sub>	1	17.00/0.86	8.70/-0.3	15.0/-0.38	16.59/0.998	17.47
	2	13.69/0.90	169.9/0.62	11.83/0.62	13.37/0.997	14.21
M <sub>7</sub>	1	17.61/0.90	20.68/0.98	57.29/0.98	16.55/0.996	22.77
	2	6.90/0.94	6.92/0.33	-	7.15/0.987	7.98
M <sub>10</sub>	1	13.26/0.57	18.18/0.77	-	13.08/0.992	13.62
	2	3.19/0.69	5.59/0.97	-	3.43/0.987	3.39
M <sub>11</sub>	1	4.34/0.97	5.54/0.67	-	4.75/0.993	6.72
	2	0.60/0.79	0.70/0.69	-	0.80/0.928	0.95

(단위: cm)

그림 6 은 M<sub>6</sub>점에서의 최종 성토후 1 개월 까지의 계측결과에 의한 실측치와 예측 방법별 예측치와의 관계를 나타낸 것이다.

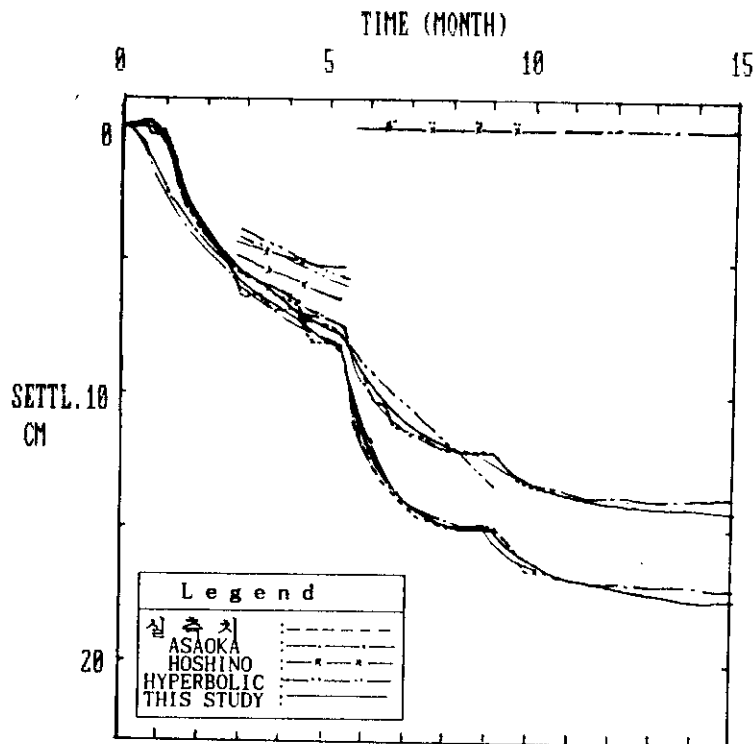


그림 6. 1개월 침하자료를 이용한 장래침하량 예측과 실측치의 비교(M<sub>6</sub>)

표 2 는 최종 성토 완료후 2 개월 까지의 측정자료를 토대로 각 방법별 최종 침하에 측치와 상관계수를 나타낸다.

표 2. 각 방법에 대한 최종 침하량 예측(성토 완료후 2개월 까지의 계측자료 이용)

Measuring Point	Magnet Number	Final Settlement/Coefficient of Correlation				Last Measured Settlement
		Asaoka	Hyperbolic	Hoshino	This Study	
M <sub>1</sub>	1	-	-	-	-	9.76
	2	-	-	-	-	4.72
	3	-	-	-	-	0.35
M <sub>2</sub>	1	10.59/0.18	36.59/0.97	7.42/-0.60	9.59/0.891	12.87
	2	3.37/0.10	1.42/-0.07	2.08/-0.62	2.90/0.929	4.35
M <sub>3c</sub>	1	-6.80/0.93	12.02/0.99	-	5.87/0.995	9.15
M <sub>3s</sub>	1	-	-	-	-	7.63
	2	-	-	-	-	3.81
M <sub>4</sub>	1	10.30/0.90	10.43/0.97	10.44/-0.62	10.61/0.979	10.79
	2	2.31/0.29	2.66/0.57	0.89/-0.49	2.20/0.923	2.45
M <sub>5</sub>	1	12.92/0.85	13.67/0.93	10.23/0.49	12.85/0.967	13.44
	2	5.27/0.83	2.52/0.89	1.65/0.49	2.14/0.697	2.38
M <sub>6</sub>	1	16.83/0.87	18.87/0.39	15.03/0.49	16.92/0.998	17.47
	2	13.61/0.91	14.69/0.98	11.83/-0.48	13.81/0.998	14.21
M <sub>7</sub>	1	6.89/0.91	40.00/0.97	57.29/-0.48	18.06/0.997	22.77
	2	6.82/0.92	-	-	7.25/0.983	7.98
M <sub>10</sub>	1	13.31/0.60	15.29/0.96	-	13.34/0.991	13.62
	2	2.89/0.70	3.73/0.97	-	3.58/0.988	3.39
M <sub>11</sub>	1	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-

(단위: cm)

그림 7 은 M<sub>6</sub>점에서의 최종 성토후 2 개월 까지의 계측결과에 의한 실측치와 예측 방법별 예측치와의 관계를 나타낸 것이다.

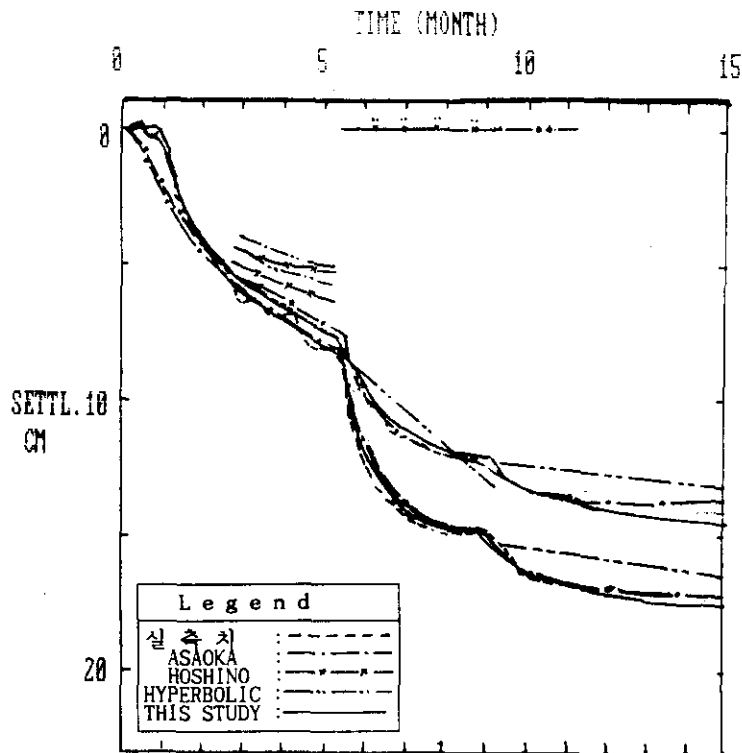


그림 7. 2개월 침하자료를 이용한 장래침하량 예측과 실측치의 비교(M<sub>6</sub>)

표 3 은 최종 성토완료후 3 개월 까지의 측정자료를 토대로 각 방법별 최종 침하에 측치와 상관계수를 나타낸다.

표 3. 각 방법에 대한 최종 침하량 예측 (성토 완료후 3월 까지의 계측자료 이용)

Measuring Point	Magnet Number	Final Settlement/Coefficient of Correlation			This Study	Last Measured Settlement
		Asaoka	Hyperbolic	Hoshino		
M <sub>1</sub>	1	-	-	-	-	9.76
	2	-	-	-	-	4.72
	3	-	-	-	-	0.35
M <sub>2</sub>	1	11.41/0.24	48.18/0.98	7.42/-0.05	10.17/0.927	12.87
	2	3.78/0.10	2.12/-0.25	2.08/-0.05	2.96/0.961	4.35
M <sub>3c</sub>	1	-6.80/0.94	11.07/0.98	-	6.18/0.996	9.15
M <sub>3s</sub>	1	-	-	-	-	7.63
	2	-	-	-	-	3.81
M <sub>4</sub>	1	10.39/0.81	10.44/0.97	10.44/0.19	10.50/0.979	10.79
	2	2.32/0.21	2.47/0.59	0.89/0.19	2.25/0.930	2.45
M <sub>5</sub>	1	13.38/0.84	14.24/0.92	10.23/0.42	12.56/0.969	13.44
	2	2.79/0.83	3.14/0.89	1.65/0.42	2.27/0.768	2.38
M <sub>6</sub>	1	17.13/0.87	18.75/0.49	15.03/-0.53	16.92/0.998	17.47
	2	13.86/0.91	14.71/0.99	11.83/-0.53	17.23/0.998	14.21
M <sub>7</sub>	1	30.71/0.93	18.17/0.43	57.29/0.55	20.58/0.996	22.77
	2	9.42/0.92	-	-	7.85/0.985	7.98
M <sub>10</sub>	1	13.74/0.65	15.13/0.04	-	13.52/0.992	13.62
	2	3.68/0.71	4.10/0.97	-	3.74/0.987	3.39
M <sub>11</sub>	1	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-

(단위: cm)

그림 8 은 M<sub>6</sub>지점에서의 최종 성토후 3 개월 까지의 계측결과에 의한 실측치와 예측방법별 예측치와의 관계를 나타낸 것이다.

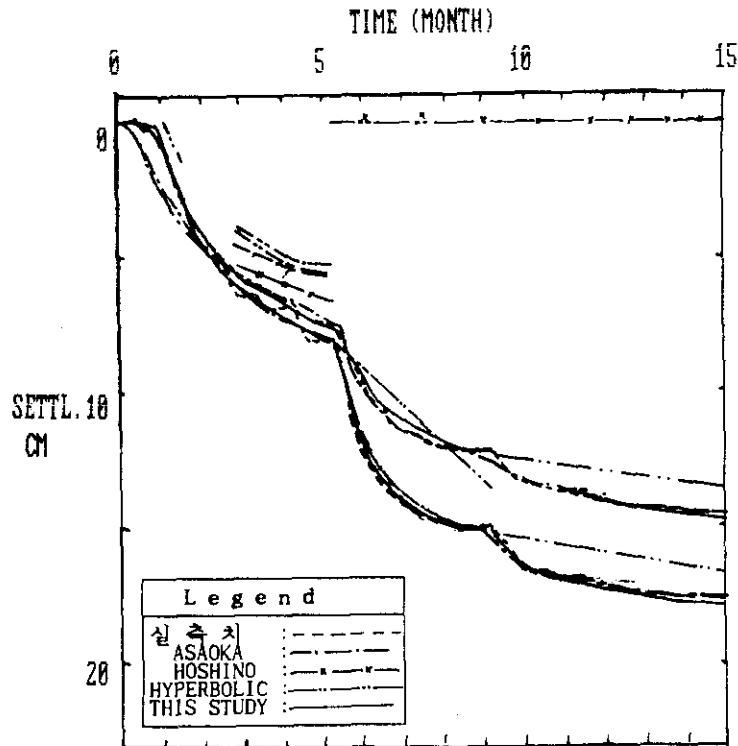


그림 8. 3개월 침하자료를 이용한 장래침하량 예측과 실측치의 비교(M<sub>6</sub>)

표 4 는 전기간 계측 자료를 토대로 각 방법별 최종 침하예측치와 상관계수를 나타낸다.

표 4, 각 방법에 대한 최종 침하량 예측 (최종 계측 자료 이용)

Measuring Point	Target Number	Final Settlement/Coefficient of Correlation				Last Measured Settlement
		Asaoka	Hyperbolic	Hoshino	This Study	
M <sub>1</sub>	1	9.76/0.92	9.79/0.98	9.82/0.95	10.20/0.990	9.76
	2	4.73/0.95	4.74/0.99	4.78/0.95	4.92/0.974	4.72
	3	0.31/0.19	-	-	1.41/0.632	0.35
M <sub>2</sub>	1	13.36/0.72	7.40/0.99	7.40/0.95	12.62/0.964	12.87
	2	4.58/0.81	0.20/-0.53	1.42/-0.56	4.18/0.985	4.35
M <sub>3c</sub>	1	19.65/0.97	-	-	8.90/0.994	9.15
M <sub>3s</sub>	1	7.42/0.92	7.70/0.86	7.59/0.28	7.59/0.994	7.63
	2	4.49/0.93	-	-	2.22/0.916	3.81
M <sub>4</sub>	1	10.80/0.81	10.99/0.97	10.38/0.28	10.72/0.981	10.79
	2	2.50/0.25	0.89/0.62	0.89/-0.51	2.30/0.936	2.45
M <sub>5</sub>	1	13.45/0.83	18.77/0.92	10.23/-0.5	13.90/0.970	13.44
	2	2.58/0.85	1.65/0.89	1.65/0.82	2.50/0.796	2.38
M <sub>6</sub>	1	17.38/0.88	15.03/0.53	15.03/0.82	17.39/0.992	17.47
	2	14.08/0.92	11.82/0.98	11.83/-0.5	14.44/0.987	14.21
M <sub>7</sub>	1	20.50/0.94	57.28/0.23	57.28/-0.5	22.08/0.996	22.77
	2	7.62/0.95	-	-	8.14/0.987	7.98
M <sub>10</sub>	1	13.85/0.65	-	-	13.55/0.992	13.62
	2	3.56/0.71	-	-	3.76/0.987	3.39
M <sub>11</sub>	1	5.99/0.93	-	-	6.03/0.993	6.72
	2	0.94/0.87	0.70/0.69	0.77/-0.01	1.19/0.928	0.95

(단위: cm)

그림 9 은 M<sub>6</sub>점에서의 전기간 계측결과에 의한 실측치와 예측방법별 예측치와의 관계를 나타낸 것이다.

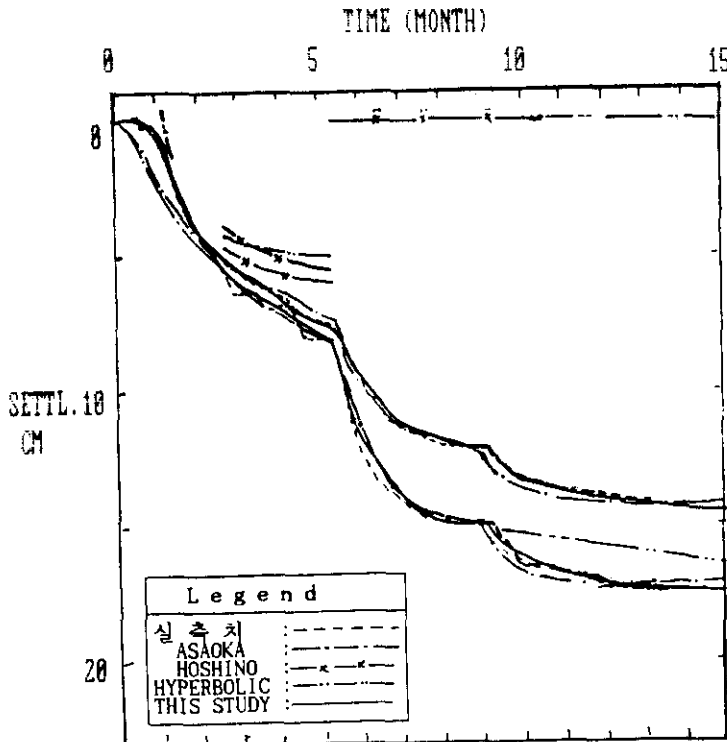


그림 9, 최종 침하자료를 이용한 장래침하량 예측과 실측치의 비교(M<sub>6</sub>)

하여 Pre-Load의 제거 시점 혹은 추가 Pre-Load의 필요성 유·무를 신속히 판단하는 것이 가장 중요하다.

이와 같이 설계하중에 대한 침하량 예측능력에 있어 기존의 방법들은 식 (7), (8)을 이용하여 수행하나 이는 설계하중과 Pre-Load의 크기가 비슷한 경우에만 성립한다는 문제점이 있다.

본 연구에서 사용된 방법은 기 파악된 지반의 침하특성으로 부터 탄성침하, 압밀침하 및 2 차 압밀을 고려한 침하량을 산정하여 그림 10 과 같이 출력한다. 따라서 설계하중에 대한 침하량을 매우 신속하게 파악할 수 있다.

#### 4.2.3 Pre-Load 제거시기 및 추가량 결정 능력

Pre-Load에 의한 지반개량공사의 경우 지반의 침하안정관리에서 설계하중에 대한 침하량이 예측되면 이로부터 Pre-Load의 제거시기를 예측하고 필요시 추가로 필요한 Pre-Load의 량을 결정할 수 있어야 한다.

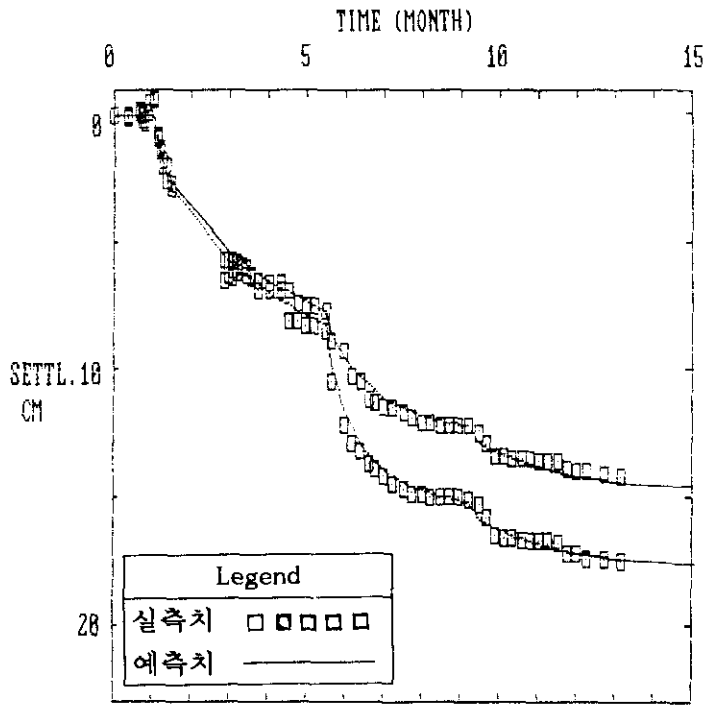
기존의 방법들은 현재 계측된 실측 침하량 자료의 장래 추세에 대하여만 예측하는 능력을 가지고 있으므로 하중 조건이 달라지는 경우에 대해서는 침하특성을 예측하지 못한다. 따라서 현재 침하량과 예측된 최종침하량을 비교한 압밀도를 산정하고, 이를 설계시 예측된 압밀도와 비교하여 Pre-Load 제거 시기를 결정한다. 또한 추가 Pre-Load 가 필요한 경우 이를 결정하는 능력이 없다. 따라서 예측된 침하특성과 실측된 침하특성이 비슷한 경우에만 타당성이 있다. 본 연구에서 사용된 방법은 Terzaghi 압밀이론을 이용하고 있으므로 압밀속도 및 하중-침하량 관계를 파악하여 Pre-Load의 제거시기 및 추가량을 그림 10 과 같이 신속히 결정·출력한다.

## 5. 결 론

본 연구에서 개발된 고전적 방법은 Terzaghi 압밀 이론에 근거를 두고 현장 침하 자료를 Fitting하고 이로부터 장래 침하를 예측하였고 또한 설계하중에 대한 잔류 침하를 합리적으로 예측하였다. 이상 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 현장침하자료로부터 지반의 실제 압밀 특성을 완전히 파악할 수 있다.
- 2) 침하 계측 결과로부터 장래 침하를 기존의 방법보다 정확하고 신속하게 예측하여 예측치에 대한 신뢰성을 높일 수 있다.
- 3) 설계 하중에 대한 잔류 침하를 합리적으로 예측할 수 있다.
- 4) Pre-Load의 철회시기 및 추가 필요량을 합리적으로 결정할 수 있다.

그러나 계산과정이 시행오차법을 이용 복잡하게 진행되므로 컴퓨터를 이용하지 않을 시 본 방법의 수행이 불가능하다.



PREDICTED SETTLEMENT BY TERZAGHI METHOD

Current Degree Consolidation : 89 %  
 Future Settlement for Pre-Load : 1.87 Cm  
 Future Settlement for DesignnLoad : 5.62 Cm  
 Possible Pre-Loaad Removing Time : 0 Month(from now)  
 Required Additional Pre-Loaad : 0 Ton/m<sup>2</sup>  
 Coefficient of Correlation : 0.992

그림 10, 프로그램 SCH-iii의 Output 예

## 4.2 결과 고찰

### 4.2.1. 실측 침하량 Simulation능력

그림 6~ 9는 대표적 지점인 M<sub>6</sub>에 대하여 최종 성토 완료후 1 개월, 2 개월, 3 개월, 전체 계측결과를 이용하여 예측침하결과를 보여주고 있다. 이 그림들로 부터 본 연구에서 사용된 방법은 비교적 실측자료가 부족한 상태인 그림 6 및 그림 7 에서도 매우 정확한 장래 침하예측 능력을 보여줌을 알 수 있다.

특히 표 1~ 4는 실측침하량과 예측침하량의 근접성을 수학적으로 표시하여 객관적 기준으로 삼을 수 있는 상관계수(Coefficient of Correlation)에 있어 본 연구에서 사용된 방법의 경우 대부분 0.97~0.99의 수치를 나타내었다. 이는 기존의 다른 방법들이 0.8 ~ 0.9 정도의 범위를 보여주는데 비추어, 본 연구에서 사용된 방법의 실측침하량 Simulation의 우수한 능력을 보여준다.

### 4.2.2. 설계하중에 대한 예측능력

연약지반의 침하안정관리에서는 설계하중에 대한 침하량을 신속하고 타당하게 예측

## 감사의 글

본 논문이 나오기까지 지도와 편달을 아끼지 않은 (주)대우엔지니어링 유태성 박사에게 감사드리며, 측정자료를 이용할수 있도록 도와주신 (주)선진 엔지니어링 백정수 상무에게 심심한 감사를 표한다.

## 참고문헌

1. 대우엔지니어링. (1984). Interim Report on Improvement of Marine Soft Clay at The YUKONG NAC Site Block 3, pp.12~13
2. 유태성, 박광준. (1987). "선행하중과 Wick drain 공법에 의한 연약해성점토의 개량". 대한토질공학회지, 제 3 권, 제 1 호, pp.7~23
3. 포항종합제철주식회사. (1990). 광양제철소 연약지반 개량공사 종합보고서. pp.119~246.
4. 한국토지개발공사. (1991). 인천남동공단 2단계 조성공사 연약지반 침하안정관리 종합 보고서. pp.3~11
5. Balasubramaniam, A.S. & Brenner, R.P. (1981). Soft Clay Engineering, Elsevier, Edited by Brand, E.W. & Brenner, R.P. pp. 479~566
6. Johnson, S.J. (1970). "Precompression for Improving Foundation Soils." J. of Soil Mechanics and Foundation Engineering Div. ASCE. Vol.96, No.SM1, pp.111~144
7. Mesri, G. & Choi, Y.K. (1985). "Settlement Analysis of Embankment on Soft Clays." J. of Geotech. Eng. Div., ASCE, Vol.111, No. 4, pp.441~464
8. NAVFAC. (1982). Soil Mechanics Design Manual, pp.7.1-205~7.1-258
9. Terzaghi, K. (1954). Theoretical Soil Mechanics, McGraw Hill, pp.265-296