

1. 동다짐 공법과 모래 다짐 말뚝 공법 설계를 위한 전문가 시스템의 개발

김명모, 이승원

동다짐 공법과 모래 다짐 말뚝 공법 설계를 위한 전문가 시스템의 개발

Development of Expert System for Dynamic Compaction Method and Sand Compaction Pile Method

김 명 모 (Myoung-Mo Kim)¹, 이 승 원 (Seung-Weon Lee)²

1. 서울대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Eng., Seoul Nat'l Univ., Seoul
2. 서울대학교 토목공학과 박사과정, Ph. D student, Dept. of Civil Eng., Seoul Nat'l Univ., Seoul

1. 서 론

최근들어 해안 매립지를 비롯한 여러 지역에서 연약 지반 개량 공사가 활발히 시행되고 있는데, 각 지반의 사용 목적, 주변 환경적인 제약, 경제성 등을 고려하여 실로 다양한 공법들이 시행되고 있다. 그런데 실제 현장에서 각 공법들을 적절히 적용하여 합리적인 결과를 얻어내기 위해서는 각 공법에 대한 전문가의 지식이 필요하게 되는데, 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 전문가의 지식을 프로그램화하여 비전문가도 이용할 수 있는 전문가 시스템을 구축하고자 한다. 본 연구에서는 연약 지반 개량 공법 중에서 동다짐 공법과 모래 다짐 말뚝 공법의 설계를 위한 전문가 시스템을 개발하고자 하였다.

2. 전문가 시스템

전문가 시스템은 특정 분야의 전문가의 지식을 지식 표현 기법을 이용하여 지식 베이스를 구축하고, 프로그램화된 추론 엔진을 통해 일련의 추론 과정을 수행해 가며 목적하는 결과를 출력해 주는 시스템이다.

전문가 시스템은 유용성과 편의성, 그리고 추론 결과에 대한 일관성을 유지하며 지식의 추가, 수정이 용이한 장점을 가지는 반면에 비창조적이고 작은 범위내에서만 유용하다는 단점을 가지고 있다. 일반적으로 전문가 시스템의 능력은 구축된 지식 베이스의 질과 양, 그리고 추론 엔진의 효율성에서 비롯된다. 따라서 본 연구에서는 동다짐 공법과 모래 다짐 말뚝 공법에 대한 설계 과정에 소요되는 지식들을 충실히 구축하도록 노력하였으며, 그 효율성을 높이기 위해 퍼지 이론을 부분적으로 도입하기로 하였다. 이 퍼지 이론이 도입된 부분은 지반의 개량 심도의 결정 과정, 동다짐 공법시 개량 심도 계수의 결정 과정, 모래 다짐 말뚝 설치시의 침하 저감 계수의 산정 과정, 압밀 시간의 산정 과정 등이다.

또한, 본 연구에서는 일부 추론 과정을 프로그래밍하는 과정에서 전문가 시스템 개발 도구인 CLIPS의 도움을 받았다. 전문가 시스템 개발 도구는 전문가 시스템의 추론 엔진 부분을 제공해 주는 것으로 프로그래밍 과정과 실행시의 효율성을 높여주는 역할을 한다.

본 전문가 시스템은 UNIX로 운영되는 워크스테이션 환경하에서 개발되었으며, 그래픽 라이브러리는 XLIB를 사용하였다.

3. 동다짐 (Dynamic Compaction) 공법의 설계

동다짐 공법은 연약한 매립 지반을 개량하는데 많이 쓰이는 공법으로 사질토, 쇄석층 성토 및 점성토를 포함하는 광범위한 종류의 흙, 그리고 쓰레기와 잡석 성토 다짐에 특히 효과적인 공법이다. 이 공법은 시공 기간이 짧고, 비교적 경제적인 공법으로 시공이 용이한 장점을 가지고 있으나 설계 시 불확실한 요인이 많아 경험적인 부분들을 실제 현장 상황에 적절히 맞추어 나가는 것이 중요하다.

3.1. 동다짐 공법의 설계를 위한 흐름도

동다짐 공법의 설계의 주된 내용은 중추의 무게와 낙하고를 결정하여 타격점간 간격과 타격 횟수를 얼마로 하느냐 하는 것이다. 이러한 내용을 결정하기 위해서는 그림 3.1과 같은 설계 흐름도가 필요하다.

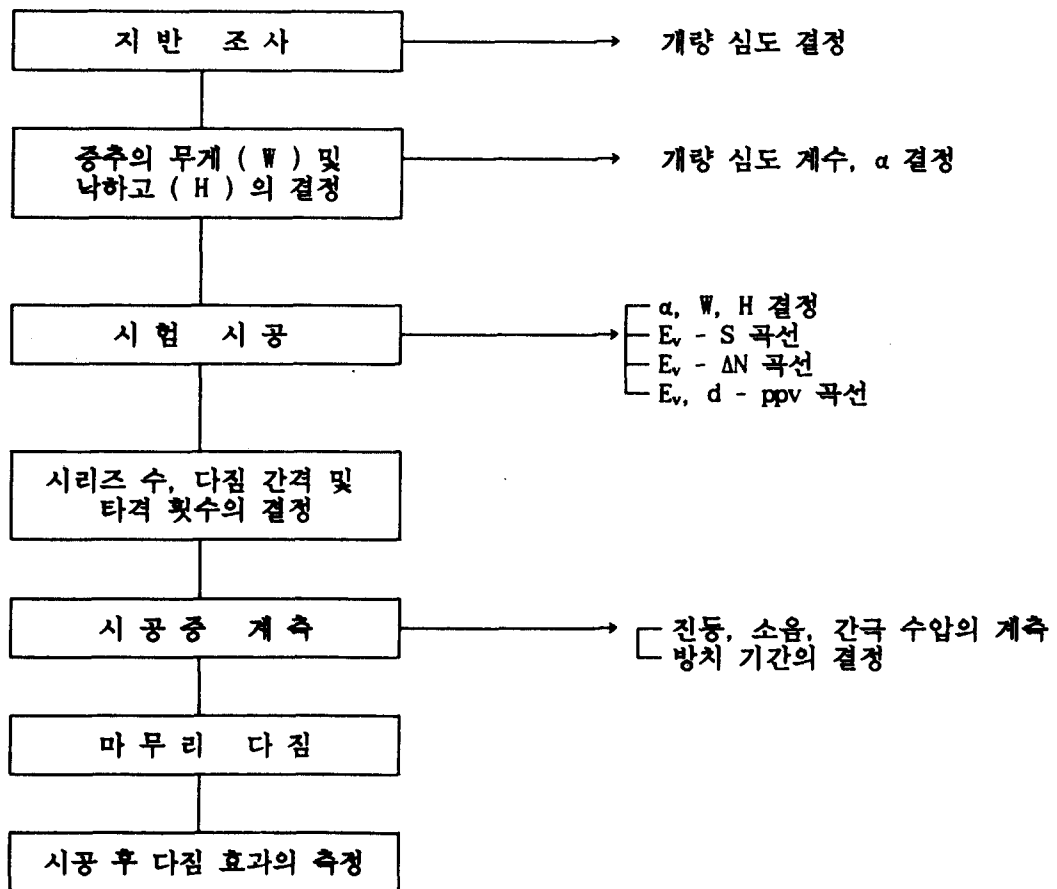


그림 3.1 동다짐 공법 설계를 위한 흐름도

3.2. 시험 시공

동다짐 공법은 대상 지반 조건에 따라 경험적인 요소가 많이 포함되어 있다. 따라서, 일정한 구역내에서 시험 시공을 하여 본 다짐 설계에 반영해야 한다. 시험 시공에서 얻을 수 있는 자료와 실제 쓰임새는 다음과 같다.

1) 개량 심도 계수, α 의 결정

먼저 지반 조사를 통하여 개량할 심도를 결정한 후에 그 깊이까지 다짐이 이루어질 수 있는 타격 에너지를 결정해야 한다. 그런데 여러 연구에 의하면 이 타격 에너지의 제공근과 다짐 영향 깊이 사이에는 식 (3-1)과 같은 관계가 성립한다고 알려져 있다. 따라서, 그 비례 계수 α (개량 심도 계수)를 시험 시공에 의해 결정해야 한다. 일반적으로 α 는 지반 흙의 종류에 따라 0.3 ~ 1.0 사이의 값을 가지는데, 특히 사질토 지반에서는 0.4 ~ 0.6, 쇄석 지반에서는 0.3 ~ 0.7, 폐기물 매립 지반에서는 0.3 ~ 0.5 정도의 값을 갖는 것으로 되어 있다. 따라서 시험 시공 구역내에서 시험 다짐 후 지반 조사를 다시 수행하여 개량 영향 깊이를 확인하여 α 값을 결정해야 한다.

$$D = \alpha \sqrt{WH} \quad \text{식 (3-1)}$$

여기서, D : 개량 깊이, α : 개량 심도 계수, W : 중추의 무게, H : 낙하고

2) 단위 체적당 타격 에너지 (E_v) 의 결정

등다짐 공법 설계시에 가장 중요한 내용은 단위 체적당 타격 에너지를 결정하는 것이다. 이 타격 에너지는 개량 목표치 (지지력, 침하량)와 관계되는 것으로 시험 시공을 통해 아래와 같은 관계 곡선을 얻어 타격점간 간격 및 타격 횟수 등을 결정하게 된다.

a. $E_v - S$ 곡선

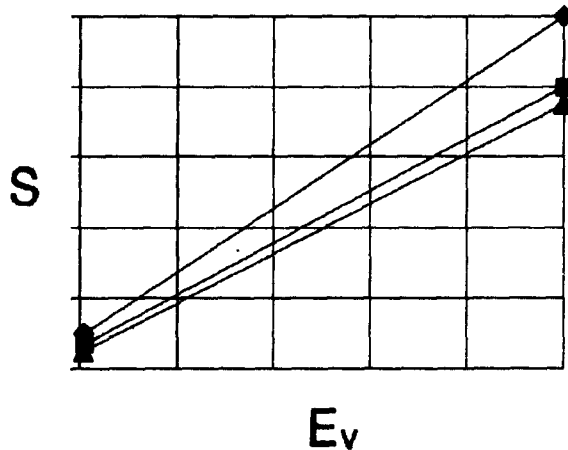


그림 3.2 단위 체적당 타격 에너지 vs. 침하량 곡선

b. $E_v - \Delta N$ 곡선

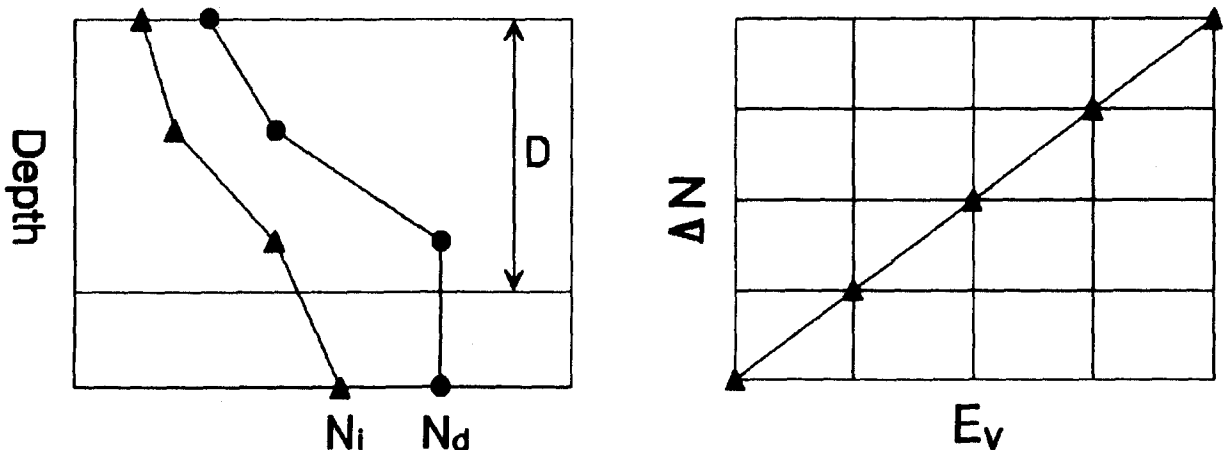


그림 3.3 단위 체적당 타격 에너지 vs. ΔN 곡선

3) E_v, d - ppv 곡선

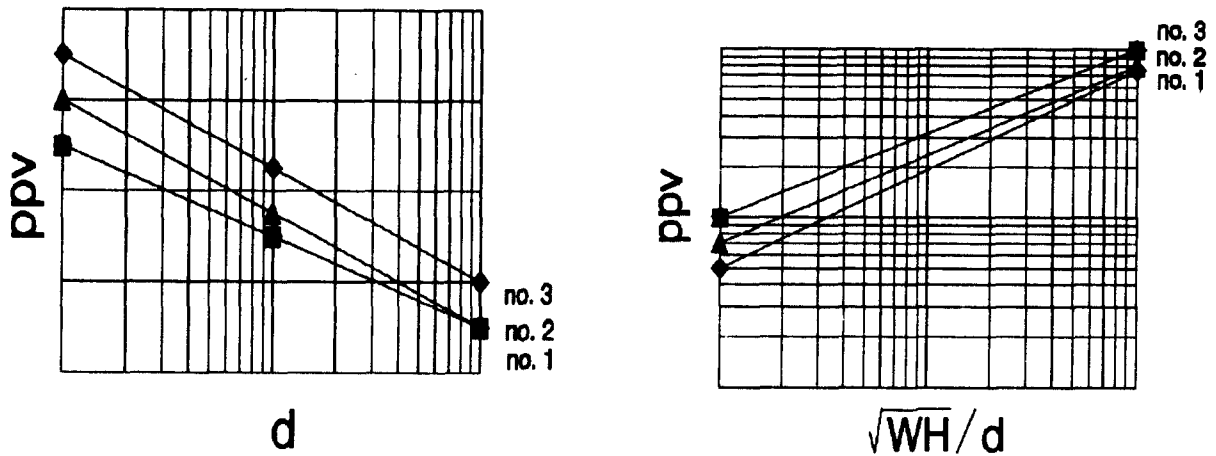


그림 3.4 단위 체적당 타격 에너지와 측정 거리에 대한 ppv 관계 곡선

3.3. 타격 단계수, 타격간 간격 및 타격 횟수의 결정

동다짐 공법에서는 지반의 조건과 개랑 심도를 고려하여 타격 단계수를 결정하게 되는데, 각 단계에 대한 타격점간 간격과 타격 횟수의 관계는 식 (3-2)와 같다.

$$E_{vm} = \frac{B_n WH}{L_n^2 D} \quad \text{식 (3-2)}$$

여기서, E_{vm} : 각 타격 단계별 단위 체적당 타격 에너지
 B_n : 각 타격 단계별 타격 횟수
 L_n^2 : 각 타격 단계별 타격점간 거리

3.4. 시공 중 계측 관리

1) 진동 및 소음 관리

동다짐 공법은 타격에 의한 다짐 공법이므로 공법 수행 중 진동 및 소음이 발생하게 된다. 이들은 타격 에너지와 측정 거리에 밀접한 관계를 가지므로 시공 중 계측을 통하여 타격 에너지를 수정할 수도 있다. 또한 진동의 전파 효과를 감소시키기 위해서 진동 방지용 스크린 트랜치를 설치하는 경우도 있다.

2) 방치 기간의 결정

지반이 세립분을 많이 포함하거나 함수비가 높을 때에는 각 단계별 타격 수행 후마다 일정 기간동안의 방치 기간이 필요하다. 이 방치 기간을 결정하기 위해서 시공중에 간극 수압을 계측할 필요가 있다. 따라서 간극 수압이 어느 정도 소산되었을 때 다음 단계의 타격을 수행한다.

4. 모래 다짐 말뚝 (Sand Compaction Pile) 공법

모래 다짐 말뚝 공법은 큰 지름을 가진 모래 말뚝을 지중에 조성하여 지반을 개량하는 공법으로, 주로 지지력과 전단 저항, 그리고 압밀 배수 효과를 증대시켜 주는 공법이다. 특히 이 공법은 느슨한 사질토와 점성토, 유기질토 등 거의 모든 토질에서 적용되고 있어 매립 지반을 개량하는 경우에 많이 사용되는 공법이다.

4.1. 모래 다짐 말뚝 공법의 설계를 위한 흐름도

모래 다짐 말뚝을 설계하는데 있어서의 주안점은 연약 지반의 지지력을 증대시키는데 있는데, 특히 그 목적을 만족시킬수 있는 치환율을 결정하는 것이 중요하다. 아래의 흐름도는 무처리 원 지반을 모래 다짐 말뚝 공법으로 개량하는 과정을 보이고 있다.

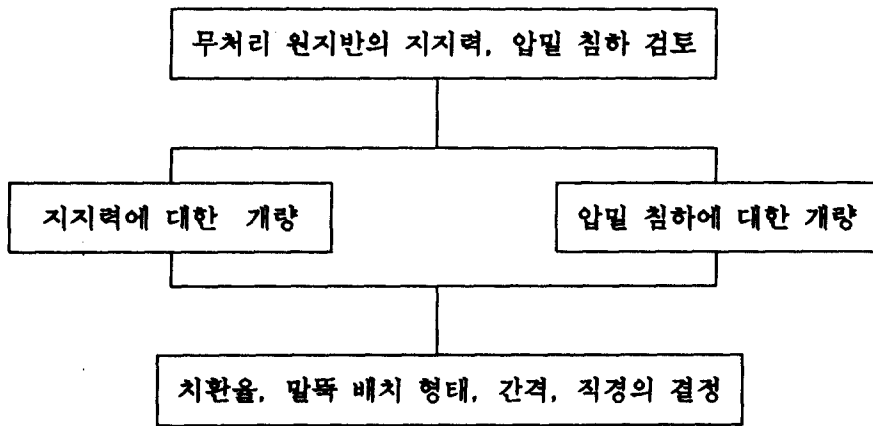


그림 4.1 모래 다짐 말뚝 공법 설계를 위한 흐름도

4.2. 원지반에 대한 평가

원지반에 대한 평가는 크게 지지력, 침하량, 압밀 시간을 산정하는 과정으로 나눌 수 있는데, 이 항목들에 대한 평가로부터 원지반에 대한 개량 필요성 여부를 판정하게 된다.

1) 원지반의 극한 지지력 산정

본 연구에서는 지반의 극한 지지력을 구하기 위해 식 (4-1)과 같은 Meyerhof의 식을 사용하였다. 그러나 이 식은 일층의 균일한 지반에 대한 극한 지지력 공식이므로, 다층의 지반에 대한 극한 지지력을 산정하기 위해서는 지반의 단위 중량 및 강도 정수의 수정이 필요하다. 따라서, 지반의 파괴 모형을 그림 4.2와 같이 가정하고 그 파괴 영향 영역안에 존재하는 지층의 단위 중량과 강도 정수를 평균하여 일층의 균일한 지반으로 단순화시켰다.

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c + \gamma DN_q s_q d_q + \frac{1}{2} \gamma BN_\gamma s_\gamma d_\gamma \quad \text{식 (4-1)}$$

지지력 계수 :

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

기초의 형상 계수 :

$$s_c = 1 + 0.2 k_p B/L \quad (\text{any } \phi)$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 k_p B/L \quad (\phi > 10^\circ)$$

$$s_q = s_c = 1 \quad (\phi = 0^\circ)$$

기초의 근입 깊이 계수 :

$$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{k_p} D/B \quad (\text{any } \phi)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \sqrt{k_p} D/B \quad (\phi > 10^\circ)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad (\phi = 0^\circ)$$

여기서, $k_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$

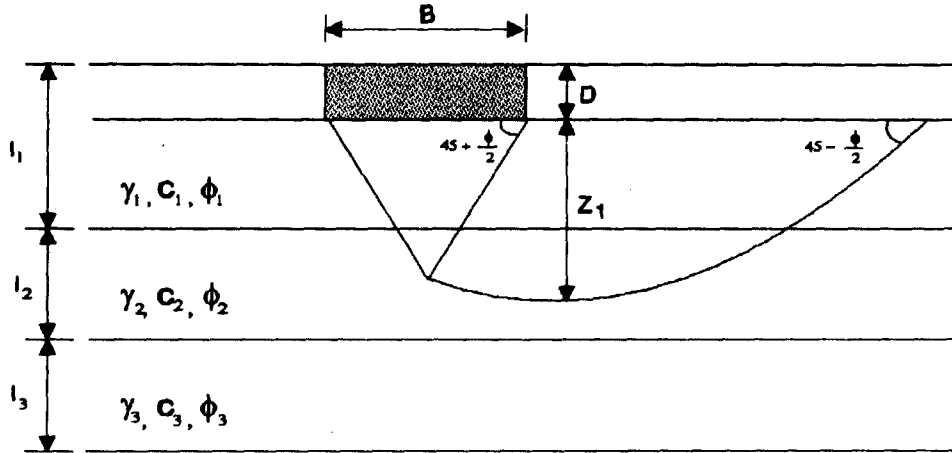


그림 4.2 기초 하중에 의한 지반의 파괴 모형

이 때 그림 4.2에서의 파괴 영향 영역의 깊이 D_i 는 식 (4-2)로 구할 수 있다.

$$D_i = D + z_1 = D + \frac{B}{2 \sin(45^\circ - \frac{\phi}{2})} e^{(\pi/4 + \phi/2) \tan \phi} \cos \phi \quad \text{식 (4-2)}$$

그리고, 각 층의 단위 중량과 강도 정수 값을 그림 4.2에 보인 바와 같다고 하면, 깊이 D_i 까지의 평균 단위 중량과 강도 정수는 식 (4-3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \gamma_{av} &= (l_1 \times \gamma_1 + (D_i - l_1) \times \gamma_2) / D_i \\ c_{av} &= (l_1 \times c_1 + (D_i - l_1) \times c_2) / D_i \\ \phi_{av} &= \tan^{-1} [(l_1 \times \tan \phi_1 + (D_i - l_1) \times \tan \phi_2) / D_i] \end{aligned} \quad \text{식 (4-3)}$$

따라서 위에서 구한 평균 정수값들을 사용하여 식 (4-1)에 의해 극한 지지력 값을 구한다.

2) 설계 하중에 의한 침하량의 산정

설계 하중에 의한 침하량은 식 (4-4)에 의해 계산하는데 다층의 지반에서는 각 층에서 발생하는 침하량을 계산하여 이들의 합으로 총 침하량을 구한다.

$$S_d = \frac{c_c}{1 + e_0} H \log \left(\frac{\sigma_0 + \sigma_d}{\sigma_0} \right) \quad \text{식 (4-4)}$$

이 때 지반의 자중에 의한 초기 유효 수직 응력 σ_0 와 설계 하중에 의한 증가 수직 응력 σ_d 는 각 지층의 중간 지점에서 아래와 같은 Boussinesq의 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\text{연속기초: } \sigma_z = \frac{P}{\pi} [(\beta_2 - \beta_1) + \sin(\beta_2 - \beta_1) \cos(\beta_2 + \beta_1)] \quad \text{식 (4-5-a)}$$

$$\text{직사각형: } \sigma_z = \frac{P}{4\pi} \left[\frac{2xyz(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}}{z^2(x^2 + y^2 + z^2) + x^2y^2} + \tan^{-1} \left(\frac{2xyz(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}}{z^2(x^2 + y^2 + z^2) - x^2y^2} \right) \right] \quad \text{식 (4-5-b)}$$

$$\text{원형기초: } \sigma_z = p \left[1 - \frac{1}{(1 + (r/z)^2)^{3/2}} \right] \quad \text{식 (4-5-c)}$$

2차 압축을 고려하는 경우에는 식 (4-6)으로 2차 압축 침하량을 계산하여 1차 압밀 침하량과 더하여 총 침하량을 계산한다.

$$SS_d = \epsilon_a H \log \frac{t_i}{t_p} = \frac{c_a}{(1 + e_p)} H \log \frac{t_i}{t_p} \quad \text{식 (4-6)}$$

4.3. 모래 다짐 말뚝 처리된 지반에 대한 평가

모래 다짐 말뚝 공법은 원지반의 지지력을 증대시켜 주고, 압밀 침하량을 감소시켜 주며, 압밀 배수를 촉진시켜 압밀 시간을 단축시켜 주는 공법이다. 이러한 모래 다짐 말뚝 공법의 개량 효과를 산정하는 방법은 다음과 같다.

1) 극한 지지력의 산정

먼저 지반 전체를 모래 다짐 말뚝으로 치환했을 때의 지반의 극한 지지력을 식 (4-1)로 구하면 식 (4-7)과 같이 되고, 원지반을 치환율 a_s 만큼만 모래 다짐 말뚝을 설치했을 때의 극한 지지력은 식 (4-8)과 같이 된다.

$$q_{usand} = \gamma_{sand} DN_q^* s_q d_q + \frac{1}{2} \gamma_{sand} BN_r^* s_r d_r \quad \text{식 (4-7)}$$

$$q_{uscpl} = (1 - a_s) q_{ult} + a_s q_{usand} \quad \text{식 (4-8)}$$

2) 침하량의 산정

모래 다짐 말뚝을 설치한 지반에서의 침하량은 무처리시의 침하량보다 감소하게 되는데 그 원인은 모래 다짐 말뚝이 어느 정도의 하중을 분담하여 압밀 지반에 작용하는 응력을 감소시키기 때문이다. 식 (4-9)는 모래 다짐 말뚝 설치시의 침하량을 구하는 식이다.

$$S_{dscp} = \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \left(\frac{\sigma_0 + \beta \sigma_d}{\sigma_0} \right) \quad \text{식 (4-9)}$$

위 식에서 β 는 침하 저감 계수라 하는데 식 (4-10)으로 표시된다.

$$\beta = \frac{1}{1 + (n - 1) a_s} \quad (a_s < 0.5) \quad \text{식 (4-10)}$$

$$= 1 - a_s \quad (a_s \geq 0.5)$$

$$\text{여기서, } n(\text{응력 분담비}) = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} \approx \frac{E_s}{E_c} \quad (2 \sim 6)$$

3) 압밀 시간의 산정

압밀 시간을 산정하는 방법은 샌드 드레인 공법과 동일한 방법으로 계산하는데, 그 방법은 다음과 같다.

a. 유효 집수 지름(d_e)의 계산

모래 다짐 말뚝의 배치 형태에 따라 식 (4-11)과 같이 나타낸다.

$$\text{정삼각형 배치 : } d_e = 1.050 d \quad \text{식 (4-11-a)}$$

$$\text{정사각형 배치 : } d_e = 1.128 d \quad \text{식 (4-11-b)}$$

b. 수평 방향 시간 계수의 계산

수평 방향 시간 계수 T_h 는 식 (4-12)에 의해 계산된다.

$$T_h = -\frac{F(n)}{8} \ln(1 - U_h) \quad \text{식 (4-12)}$$

여기서,

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \quad (n \leq 20)$$

$$F(n) = \ln(n) - \frac{3}{4} \quad (n > 20)$$

$$n = \frac{d_e}{d_w}$$

c. 압밀 시간의 계산

모래 다짐 말뚝을 설치했을 때의 압밀 시간은 식 (4-13)에 의해 계산되는데, 수직 방향의 배수는 수평 방향의 배수에 비해 매우 작으므로 수직 방향의 압밀은 무시하는 것으로 가정한다.

$$t = \frac{T_h d_e^2}{c_h} \quad \text{식 (4-13)}$$

d. 교란 효과의 고려

모래 다짐 말뚝을 설치하는 과정에서 주위 지반이 교란을 일으켜 수평 방향의 투수성이 크게 저하되는 것이 보통이므로, 샌드 드레인에서와 마찬가지로 교란 효과를 고려하여 압밀 시간을 다음의 세가지 방법으로 수정한다.

① Hansbo의 방법

c_h 이외에 k_s , k_h , d_s 를 아는 경우에 사용하는 방법으로 식 (4-14)로 수평 방향 시간 계수를 구한다.

$$T_h = -\frac{F}{8} \ln(1 - U_h) \quad \text{식 (4-14)}$$

여기서, $F = F(n) + F_s$

$$F_s = \left(\frac{k_h}{k_s} - 1\right) \ln \frac{d_s}{d_w}$$

② Leonard의 방법

c_h 를 아는 경우에 교란 효과를 고려하기 위해 말뚝의 직경을 감소시켜 계산하는 방법으로 일반적으로 말뚝 직경의 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}$ 값을 유효 직경으로 계산한다.

③ c_v 만 아는 경우

$c_h = c_v$ 로 가정하고 계산하는 방법으로, 이 때 사용하는 수직 압밀 계수는 경험적인 자료에 의하면 식 (4-15)와 같이 보정해 주는 것이 좋다.

$$c_{vp} = (0.25 + 0.016/a_s) c_v \quad \text{식 (4-15)}$$

4.4. 모래 다짐 말뚝의 설계

1) 치환율의 결정

치환율은 지반의 강도와 침하량에 영향을 주는 요소로 모래 다짐 말뚝 공법 설계시 가장 중요한 부분이다. 치환율을 결정하기 위한 과정은 다음과 같다.

a. 지지력에 대한 검토

$$a_s = \frac{Q_{design} - Q_{ult}}{Q_{sand} - Q_{ult}} \quad \text{식 (4-16)}$$

b. 침하량에 대한 검토

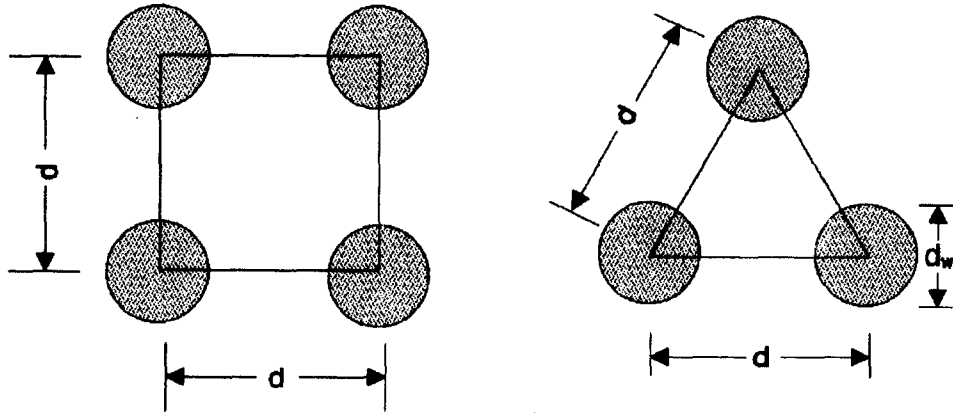
식 (4-9)와 식 (4-10)에서 보듯이 치환율은 침하량에 직접적인 영향을 미친다. 따라서, 목표하는 지반의 침하량에 맞도록 치환율을 결정할 수 있다.

c. 압밀 시간에 대한 검토

식 (4-12)에서 n 은 치환율과 관계하며, 식 (4-15)에서도 치환율은 중요한 역할을 하고 있다. 따라서 치환율은 압밀 시간을 조절하는 중요한 요소가 된다.

2) 말뚝 배치 형태, 간격, 직경의 결정

치환율이 결정되면 말뚝의 배치 형태, 말뚝간 간격 및 말뚝의 직경을 결정하는데, 그 관계는 그림 4.3 으로 표현된다.



$$A_s = \frac{\pi d_w^2}{4}$$

$$a_s = \frac{A_s}{d^2}$$

a) 정사각형 배치

$$A_s = \frac{\pi d_w^2}{4}$$

$$a_s = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{A_s}{d^2}$$

b) 정삼각형 배치

그림 4.3 모래 다짐 말뚝의 말뚝 배치 형태

5. 실행 예

본 연구에서 개발한 전문가 시스템의 실행예를 그림 5.1 에서 그림 5.6 까지 보였다.

6. 결론

본 연구에서 개발한 전문가 시스템은 편의성에 중점을 두었으며 유용성을 높이는 데에도 많은 노력을 기울였다. 즉, 사용자가 사용하기 편리하도록 그래픽 기능을 많이 포함하였으며, 보다 많은 지반 조건하에서도 합리적인 설계 결과가 도출되도록 노력하였다. 본 연구에서 개발한 전문가 시스템을 사용하면서 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서는 기존의 동다짐 공법과 모래 다짐 말뚝 공법에 대한 내용들을 체계적으로 정리하여 일관적인 흐름을 가지고 설계하도록 만들어 비전문가도 쉽게 사용할 수 있어서 시간과 경비를 줄일 수 있었다.
- 2) 본 연구에서는 이론적이고 일반적인 내용들을 위주로 구성하였기 때문에 특수한 환경에 대한 고려가 부족한 편이다. 따라서 현재 구축된 지식 베이스를 추가하고 수정하는 작업을 계속해야 할 것이다.

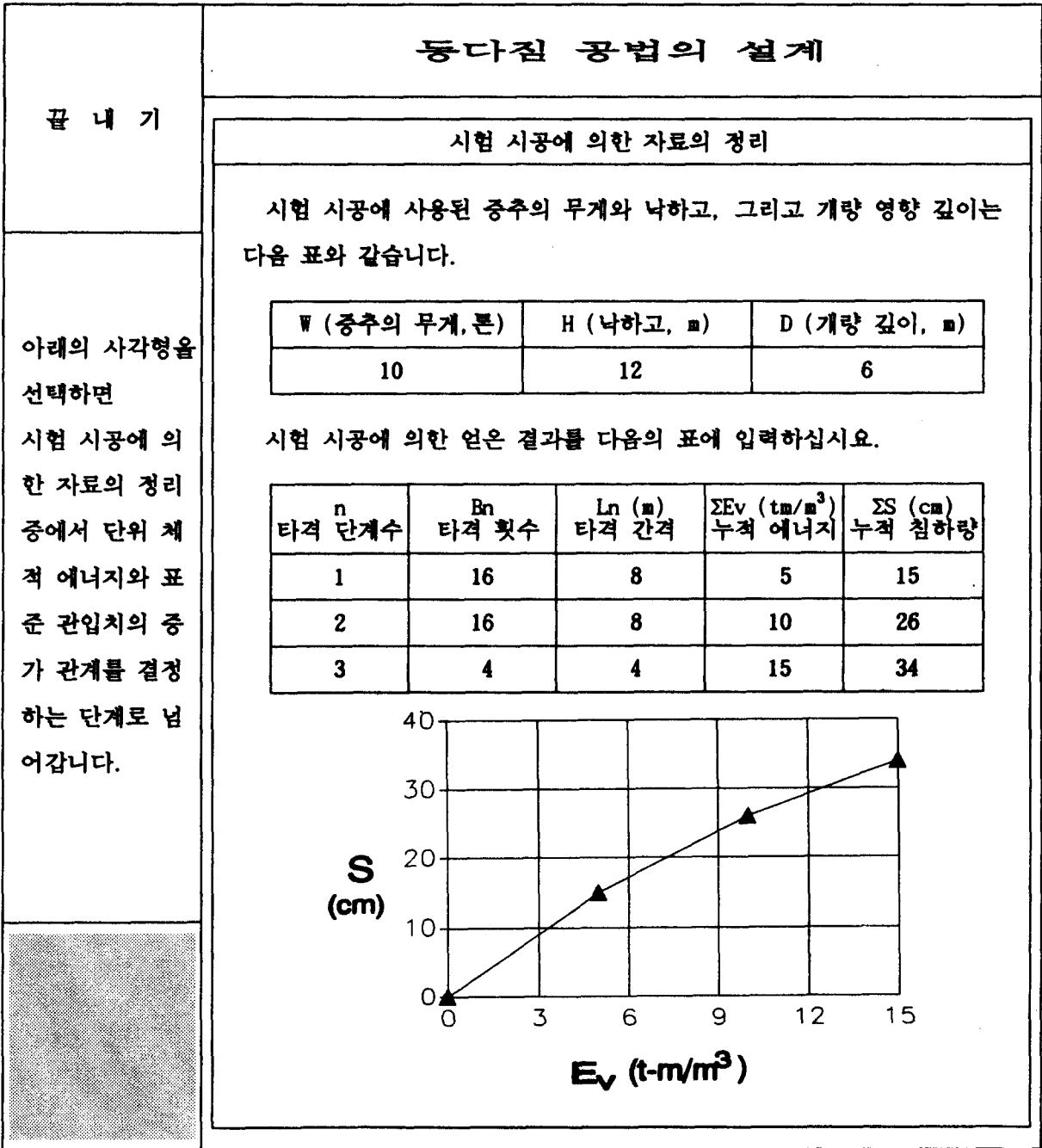


그림 5.1 동다짐 공법 설계를 위한 전문가 시스템 실행예 1

동다짐 공법의 설계

타격 에너지, 타격 간격, 타격 횟수 등의 결정

동다짐 공법에 의해 발생하는 침하량과 표준 관입치의 변화량에 대한 설계 목표치를 아래의 표에 입력하면, 본 다짐에서의 단위 체적당 타격 에너지와 각 단계별 타격 간격, 타격 횟수 등을 출력합니다.

목표 침하량 (cm)	목표 N치의 변화량	Ev (t-m/m ³)
30	10	12.5

n 타격 단계수	Bn 타격 횟수	Ln (m) 타격 간격	ΣEv (tm/m ³) 누적 에너지	ΣS (cm) 누적 침하량
1	13	8	4.17	12.5
2	13	8	8.33	22.3
3	3	4	12.5	30.0

Legend

□ : 1st Series

○ : 2nd Series

△ : 3rd Series

아래의 사각형을 선택하면, 다음 단계로 넘어 갑니다.

그림 5.2 동다짐 공법 설계를 위한 전문가 시스템 실행예 2

모래 다짐 말뚝 공법의 설계																																																								
탈출구	지반의 조사 결과																																																							
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>층의 두께</th> <th>단위 중량</th> <th>점착력</th> <th>내부마찰각</th> <th>간극비</th> <th>압축 지수</th> <th>압밀 계수</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">6.4</td> <td style="text-align: center;">1.50</td> <td style="text-align: center;">3.8</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">0.87</td> <td style="text-align: center;">0.40</td> <td style="text-align: center;">0.0006</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">7.8</td> <td style="text-align: center;">1.70</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">32.0</td> <td style="text-align: center;">0.64</td> <td style="text-align: center;">0.32</td> <td style="text-align: center;">0.003</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8.5</td> <td style="text-align: center;">1.92</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">35.0</td> <td style="text-align: center;">0.45</td> <td style="text-align: center;">0.27</td> <td style="text-align: center;">0.05</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	층의 두께	단위 중량	점착력	내부마찰각	간극비	압축 지수	압밀 계수	6.4	1.50	3.8	0.0	0.87	0.40	0.0006	7.8	1.70	0.0	32.0	0.64	0.32	0.003	8.5	1.92	0.0	35.0	0.45	0.27	0.05																											
층의 두께	단위 중량	점착력	내부마찰각	간극비	압축 지수	압밀 계수																																																		
6.4	1.50	3.8	0.0	0.87	0.40	0.0006																																																		
7.8	1.70	0.0	32.0	0.64	0.32	0.003																																																		
8.5	1.92	0.0	35.0	0.45	0.27	0.05																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">지하 수위</td> <td style="text-align: center;">- 2.4 m</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="width: 50%;">기초의 치수</td> <td style="text-align: center;">B 6 m</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">L 8 m</td> </tr> <tr> <td>기초의 근입 깊이, Df</td> <td style="text-align: center;">1 m</td> </tr> </table>		지하 수위	- 2.4 m	기초의 치수	B 6 m	L 8 m	기초의 근입 깊이, Df	1 m																																																
지하 수위	- 2.4 m																																																							
기초의 치수	B 6 m																																																							
	L 8 m																																																							
기초의 근입 깊이, Df	1 m																																																							
<p style="text-align: center;">모래 다짐 말뚝 공법에서 필요로 하는 지반 조사 항목과 그 조사 값은 위의 표에 나타낸 바와 같습니다.</p> <p style="text-align: center;">위의 값중에서 수정이나 추가하고자 하는 값이 있으면 아래 선택 항목중에 수정 및 추가 를 선택하시고, 그렇지 않을때는 다음 단계로 를 선택하십시오.</p> <p style="text-align: center;"> 수정 및 추가 다음 단계로 </p>																																																								

그림 5.3 모래 다짐 말뚝 공법 설계를 위한 전문가 시스템 실행예 1

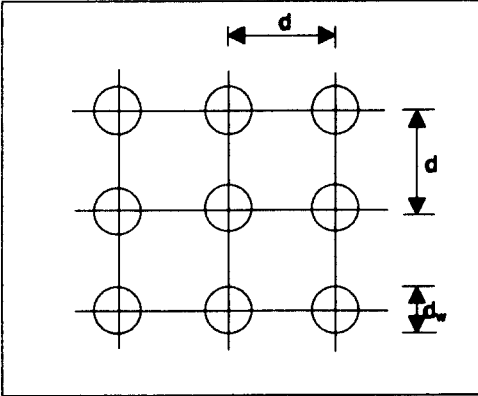
모래 다짐 말뚝 공법의 설계															
<p>끝 내 기</p>	<p style="text-align: center;">모래 다짐 말뚝의 배치에 대한 설계</p> <p>치환율을 결정하여 모래 다짐 말뚝의 배치 간격을 결정하기 위해서는 아래의 표와 같은 자료의 입력이 필요합니다.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">설계 하중 (t/m^2)</th> <th style="width: 33%;">치환재의 단위 중량</th> <th style="width: 33%;">치환재의 내부마찰각</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: center;">2.0</td> <td style="text-align: center;">35</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">말뚝의 배치 형태</th> <th style="width: 40%;">말뚝의 직경 (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">정사각형</td> <td style="text-align: center;">70</td> </tr> </tbody> </table> <p>모래 다짐 말뚝의 치환비와 말뚝간 간격의 계산 결과는 아래 표와 같고, 말뚝 배치 모양은 아래 그림과 같습니다.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">모래 다짐 말뚝의 치환비</th> <th style="width: 50%;">모래 다짐 말뚝의 간격 (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">0.15</td> <td style="text-align: center;">160</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;">  </div>	설계 하중 (t/m^2)	치환재의 단위 중량	치환재의 내부마찰각	100	2.0	35	말뚝의 배치 형태	말뚝의 직경 (cm)	정사각형	70	모래 다짐 말뚝의 치환비	모래 다짐 말뚝의 간격 (cm)	0.15	160
설계 하중 (t/m^2)	치환재의 단위 중량	치환재의 내부마찰각													
100	2.0	35													
말뚝의 배치 형태	말뚝의 직경 (cm)														
정사각형	70														
모래 다짐 말뚝의 치환비	모래 다짐 말뚝의 간격 (cm)														
0.15	160														
<p>아래의 사각형을 선택하면, 침하량을 계산하는 단계로 넘어갑니다.</p>															

그림 5.4 모래 다짐 말뚝 공법 설계를 위한 전문가 시스템 실행에 2

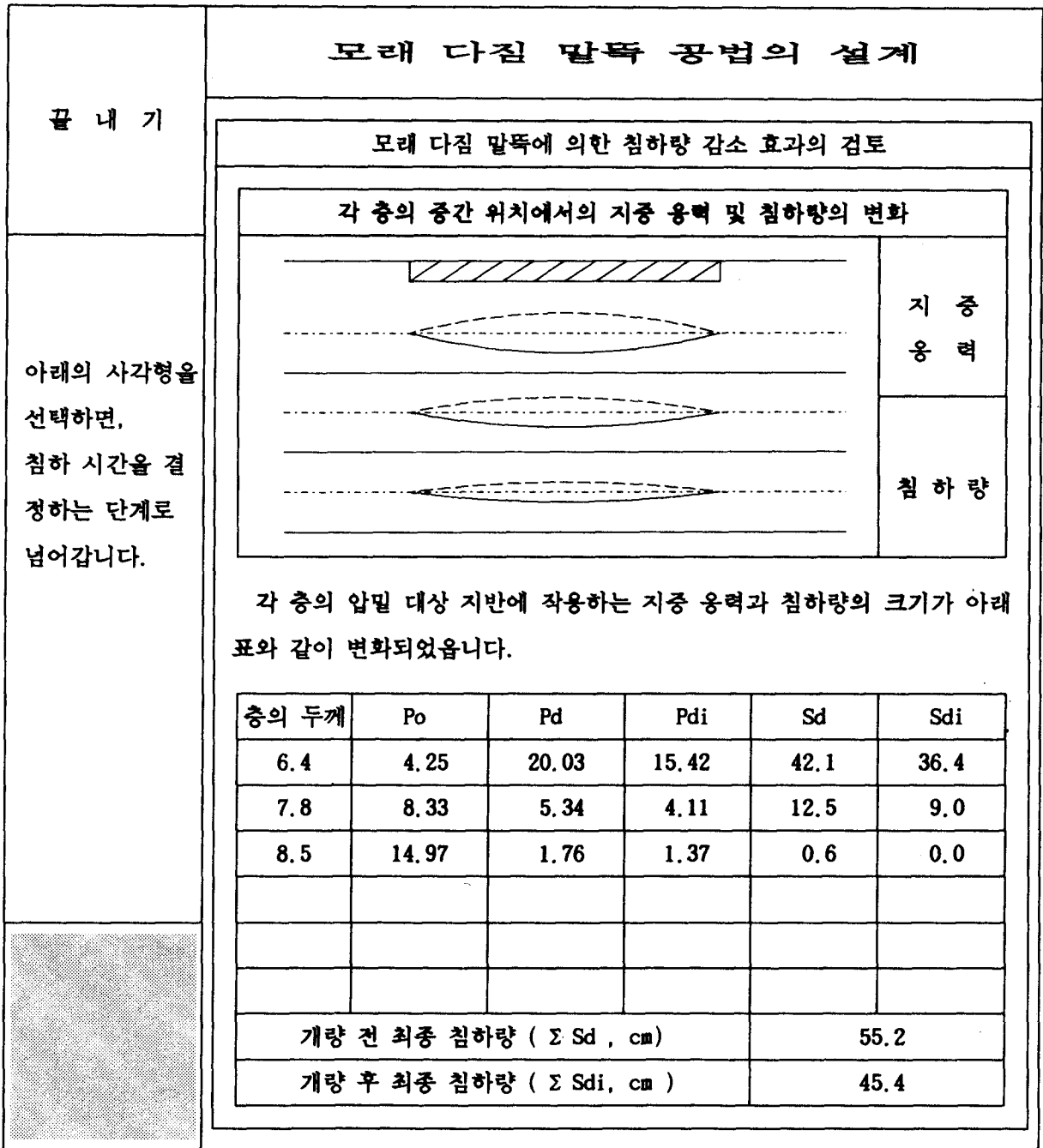


그림 5.5 모래 다짐 말뚝 공법 설계를 위한 전문가 시스템 실행예 3

모래 다짐 말뚝 공법의 설계																																																	
<p style="text-align: center;">끝 내 기</p>	<p style="text-align: center;">모래 다짐 말뚝 설치시의 압밀 시간의 결정</p>																																																
<p>아래의 사각형을 선택하면, 다음 단계로 넘어 갑니다.</p>	<p>모래 다짐 말뚝 공법에서의 압밀 시간의 계산은 모래 말뚝(Sand Drain)과 같은 방법으로 계산합니다. 따라서 말뚝의 교란 효과를 고려해야 하는데 아래의 세 방법 중에서 추가로 입력해야 하는 내용을 참고하여 그 중 하나를 선택하십시오.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px 0;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">번 호</th> <th style="width: 50%;">교란 효과를 고려하는 방법</th> <th style="width: 40%;">추가로 입력해야 할 내용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Hansbo 의 방법</td> <td>d_s, k_s, k_h, c_h</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>Leonard 의 방법</td> <td>c_h</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Cv 만 아는 경우</td> <td>추가로 입력할 내용이 없음</td> </tr> </tbody> </table> <p>세번째 방법을 택했습니다. 이 방법은 $c_h = C_v$ 로 보고 계산하는 것으로 이 방법에 의해 계산된 결과는 충분히 보수적인 값이 나올 가능성이 큽니다.</p> <p>원지반에서의 압밀 시간과 개량 지반에서의 압밀 시간을 아래의 표로 비교하였다. 여기서, 압밀 시간의 단위는 일입니다.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px 0;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">압밀도(%)</th> <th style="width: 15%;">원지반</th> <th style="width: 15%;">개량 지반</th> <th style="width: 10%;">압밀도(%)</th> <th style="width: 15%;">원지반</th> <th style="width: 15%;">개량 지반</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">44.4</td> <td style="text-align: center;">9.4</td> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">1596.3</td> <td style="text-align: center;">82.1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">177.4</td> <td style="text-align: center;">20.0</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">2274.4</td> <td style="text-align: center;">107.9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">399.1</td> <td style="text-align: center;">32.0</td> <td style="text-align: center;">80</td> <td style="text-align: center;">3202.0</td> <td style="text-align: center;">144.2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">709.5</td> <td style="text-align: center;">45.8</td> <td style="text-align: center;">90</td> <td style="text-align: center;">4787.7</td> <td style="text-align: center;">206.3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">1108.6</td> <td style="text-align: center;">62.1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	번 호	교란 효과를 고려하는 방법	추가로 입력해야 할 내용	1	Hansbo 의 방법	d_s, k_s, k_h, c_h	2	Leonard 의 방법	c_h	3	Cv 만 아는 경우	추가로 입력할 내용이 없음	압밀도(%)	원지반	개량 지반	압밀도(%)	원지반	개량 지반	10	44.4	9.4	60	1596.3	82.1	20	177.4	20.0	70	2274.4	107.9	30	399.1	32.0	80	3202.0	144.2	40	709.5	45.8	90	4787.7	206.3	50	1108.6	62.1			
번 호	교란 효과를 고려하는 방법	추가로 입력해야 할 내용																																															
1	Hansbo 의 방법	d_s, k_s, k_h, c_h																																															
2	Leonard 의 방법	c_h																																															
3	Cv 만 아는 경우	추가로 입력할 내용이 없음																																															
압밀도(%)	원지반	개량 지반	압밀도(%)	원지반	개량 지반																																												
10	44.4	9.4	60	1596.3	82.1																																												
20	177.4	20.0	70	2274.4	107.9																																												
30	399.1	32.0	80	3202.0	144.2																																												
40	709.5	45.8	90	4787.7	206.3																																												
50	1108.6	62.1																																															

그림 5.6 모래 다짐 말뚝 공법 설계를 위한 전문가 시스템 실행에 4

7. 참고 문헌

김 봉근 (1987), "동다짐 공법에 의한 지반 개량", 서울 대학교

남 기천 (1988), "동다짐 공법에 의한 지반 개량 효과의 평가", 연세 대학교

Chameau, J. L. & Santamarina, J. C. (1989), "Knowledge Based System for Soil Improvement", ASCE, J. of Computing in Civil Eng., Vol. 3, No. 3, pp. 253 ~ 267

Masher, Marry L. (1987), "Expert System for Civil Engineers : Technology and Application", ASCE

Mitchell, J. K. (1981), "Soil Improvement, State of the Art Report", Proc. 10th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Vol. 4, pp. 509 ~ 565

Mayne (1984), "Ground Response to Dynamic Compaction", ASCE, Vol. 110, No. 6, pp. 757 ~ 774

Lukas (1980), "Densification of Loose Deposits by Pounding", ASCE, Vol. 106, No. 4, pp. 435 ~ 446

Leonards, G. A. (1980), "Dynamic Compaction of Granular Soils", ASCE, Vol. 106, No. 1, pp. 35 ~ 44

Menard (1975), "Theoretical and Practical Aspects of Dynamic Consolidation", Geotechnique, Vol. 25, pp 3 ~ 18

日本土質工學會 (1988), "軟弱地盤對策工法"

日本土質工學會 (1988), "地盤改良の調査設計から施工まで", pp. 161 ~ 206

日本建設機械化協會 (1988), "最近の軟弱地盤工法と施工例"