

KGS Spring '95 National Conference
25, March, 1995/Seoul/Korea

동다짐 공법 설계를 위한 전문가 시스템 Expert System for Dynamic Compaction Method

이 승원*, SEUNG-WEON LEE, 김 명모**, MYOUNG-MO KIM

* 서울대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Seoul National University

** 서울대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Seoul National University

SYNOPSIS : Dynamic compaction method which is widely used in loose sand or waste reclamation is economical, and its construction period is short. This method has a simple principle and construction characteristics, but practical detail design for this method depends on expert's experiences and published construction data. Therefore, in this study, the expert system which can give practical assistance based on expert's knowledge and experimental know-how to engineers is developed by building the knowledge base for dynamic compaction method. This expert system produces reasonable and consistent results, and it is developed under the workstation environment using UNIX OS.

1. 서 론

동다짐 공법은 연약 지반을 개량하는데 많이 사용되는 공법으로, 대상 지반에 동적인 하중을 가함으로써 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다. 지반내 미세 기포의 존재로 인한 압축 효과, 역상화 현상에 의한 다짐 효과, 투수성의 개선에 의한 압밀 촉진 효과, 시간 경과에 따른 강도 회복 효과 등. 따라서 이 공법은 역상화 유발이 쉬운 포화된 느슨한 사질토 지반과 압축성이 큰 쓰레기 매립 지반과 느슨한 잡석 성토 지반, 그리고 동적인 하중에 의해 투수성의 개선 및 강도 회복 효과를 기대할 수 있는 점성토 및 실트질 지반에 효과적인 공법이다.

이 공법은 시공 기간이 짧고 비교적 경제적인 공법으로 시공이 용이한 장점을 가지고 있으나 설계시 불확실한 요인이 많아 경험적인 부분들을 실제 현장 상황에 적절히 맞추어 나가는 것이 중요하다. 이러한 불확실한 요인들은 현장 경험이 많은 전문가의 판단으로 해결하는 것이 바람직하지만 실무에서 이들 전문가의 지식과 경험을 항상 쉽게 이용하기는 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 현장에서 손쉽게 전문가의 지식과 경험을 이용할 수 있도록 전문가 시스템을 개발하였다. 여기서 개발한 전문가 시스템은 지반과 하중 조건에 따른 동다짐 개량 깊이를 결정하고 시험 시공에 관한 설계를 수행하며, 시험 시공 후의 실측 자료들을 이용하여 동다짐 중추의 무게, 낙하고, 다짐 간격 및 타격 횟수 등을 결정하여 동다짐 공법에 대한 세부적인 설계를 하는데 도움을 주는 프로그램이다.

2. 동다짐 공법의 설계

동다짐 공법 설계의 주요 내용은 중추의 무게와 낙하고를 결정하여 타격점간 간격과 타격 횟수를 얼마로 하느냐 하는 것이다. 이러한 내용을 결정하기 위해서는 지반과 하중의 조건을 고려하여 개량 목표치를 결정하게 되고, 이에 따라 동다짐 개량 깊이와 개량 심도 계수를 결정하는 것이 선행되어야 한다. 또한 이렇게 결정된 내용들은 시험 시공을 통하여 비교 수정되는 등의 검증 과정을 거쳐야 한다. 그림 1은 위와 같은 동다짐 공법 설계시의 설계 흐름도를 보인 것이다.

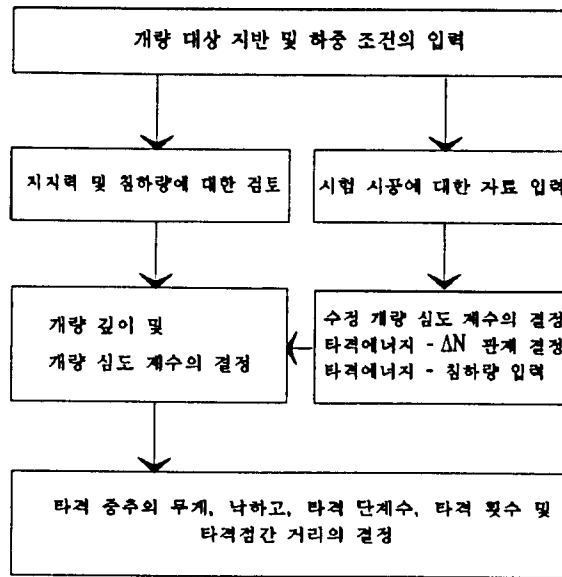


그림 1. 동다짐 공법 설계를 위한 흐름도

2.1 지반 조사 및 하중 조건의 입력

동다짐 공법을 설계하기 위해서는 대상 지반의 상태와 그 지반에 작용하게 될 하중의 조건을 파악해야 하는데, 여기서 필요로 하는 내용들은 다음과 같다.

- ① 지반 깊이별 N치의 분포 (지반의 액상화 가능성에 대한 N치의 상관 관계가 양호)
- ② 각 층의 두께와 각 층의 단위 중량 및 흙의 종류
- ③ 지하 수위의 위치
- ④ 하중 조건(사각형, 원형, 연속, 성토 하중 등) 및 하중 조건에 따른 자료(기초 폭 B, 기초 근입 깊이 D_r , 기초 설계 하중 P 등)

2.2 지지력에 대한 검토

앞에서 입력받은 깊이별 N치를 이용하여 그 지반의 허용 지지력을 식 (1)과 식 (2)에 의해 구하고, 이 값과 하중 조건에서 입력받은 하중의 크기, P와 비교하여 지지력에 대한 검토를 수행한다. 여기서 지반의 허용 지지력보다 작용 하중의 크기가 큰 경우에는 이 하중을 지지할 수 있도록 지반을 기량해야 한다.

$$q_f = 3.3 B \bar{N} (1 + D_r / B) \quad (1)$$

$$q_a = q_f / FS \quad (2)$$

여기서, q_f , q_a : 지반의 극한 지지력과 허용 지지력 (t/m^2), B , D_r : 기초 폭 (m) 및 기초 근입 깊이 (m).

\bar{N} : 지반의 깊이별 N치를 평균한 값.

FS : 지지력에 대한 안전율

2.3 침하량에 대한 검토

지반의 상태와 작용 하중에 의한 지중 응력 분포 상태에 따른 지반의 침하량을 식 (3)으로 구할 수 있다. 이 식을 이용해서 구한 침하량과 허용 침하량을 비교하여 지반의 기량 여부를 판단하게 되는데, 허용 침하량을 초과하는 경우 식 (3)에서 각 층의 N치를 증가시켜 침하량이 허용 침하량 이하가 되는 각 층의 N치를 구하게 된다.

$$S = 0.4 \int \frac{P_1}{N} \log \frac{P_2}{P_1} dh \quad (3)$$

여기서, S : 지반의 침하량 (cm), P_1 : 원지반의 초기 지중 응력 (kg/cm^2),
 P_2 : 작용 하중에 의한 증가 지중 응력 (kg/cm^2), dh : 각 지층의 두께 (cm)

2.4 동다짐 기량 깊이의 결정

2.4.1 설계 N치의 결정

2.2절의 지지력에 대한 검토를 만족시키는 N치와 원지반 N치의 차를 ΔN_i 라 하고, 2.3절의 침하량에 대한 검토로부터 구한 각종의 증가 N치를 ΔN_2 라 하여 이 중에서 큰 값을 ΔN 으로 결정한다. 그리고 식 (4)로 설계 N치(N_{design})를 결정한다.

$$N_{design} = \bar{N} + \Delta N \quad (4)$$

여기서, \bar{N} : 기량 깊이까지의 평균 N치

2.4.2 기량 깊이의 결정

각 깊이별 N치와 설계 N치를 비교하여 설계 N치 보다 작은 구간에 대하여 다음 항목에 대한 검색을 수행한다. 이들 항목에 대한 검색에서의 요구치를 만족하는 최대의 깊이를 동다짐 기량 깊이로 결정한다. 이들 항목과 각 항목에 대한 요구치는 다음과 같다.

- ① 설계 N치 이하 구간의 두께는 0.5 m 이상되어야 한다.
- ② 구간의 평균 N치는 설계 N치, N_{design} 보다 작아야 하고, 역상화가 가능한 N치의 상한값인 한계 N치 보다 작아야 한다. 여기서, 한계 N치는 Koizumi (1966), Kishida (1966), Highway bridges (1972) & Railway facilities codes (1974), Building code (1974)에서 제시하는 값들의 평균값으로, 입도 분포가 좋은 경우는 10, 입도 분포가 나쁜 경우는 15이다.
- ③ 구간의 흙의 종류는 통일분류법상 SM 이상(즉, GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM)의 흙으로 한다.
- ④ 구간의 포화 상태는 동다짐시 역상화를 유발시킬 수 있도록 대상 구간 주변에 포화 상태를 이루고 있어야 한다.
- ⑤ 최대 가능 기량 깊이는 20 m 이하이다.

2.5 기량 심도 계수 α 의 결정

기량 깊이와 타격 에너지, 그리고 기량 심도 계수 α 는 일반적으로 식 (5)와 같은 관계로 표현되는데, 여기서 기량 심도 계수는 흙의 종류에 따라 0.3 ~ 0.7의 값을 가지는 것으로 알려져 있다. 따라서 지반 구성이 복잡한 경우에는 기량 깊이까지의 지층별 기량 심도 계수를 평균하여 기량 심도 계수(α_1)를 결정한다. 여기서 구한 기량 심도 계수는 시험 시공에 의해 구한 기량 심도 계수 α_2 (2.6.2 절)와 비교 수정하여 최종의 기량 심도 계수 α_c (2.7.1 절)를 결정한다.

$$D = \alpha \sqrt{WH} \quad (5)$$

여기서, W : 중추무게 (ton), H : 낙하고 (m), D : 기량 깊이 (m)

2.6 시험 시공에 의한 검토

2.6.1 시험 시공의 설계

동다짐 공법은 현장 조건에 따라 상당히 많은 변수를 가지기 때문에 현장에서 시험 시공을 실시하여 얻어진 결과를 본 설계에 반영하는 것이 바람직하다. 따라서 기존의 자료와 경험을 바탕으로 지반의 조건과 기량 목표에 따른 예비 설계를 하여 시험 시공을 실시하고, 이 시험 결과에 따라 본다짐 설계를 한다. 다음은 시험 시공에 대한 설계 내용이다.

- ① 시험 시공에 관한 계획의 결정
 : 중추의 무게, 낙하고, 타격 횟수, 타격 단계수, 타격점간 간격 등
- ② 시험 시공후 지반의 증가 N치 및 침하량의 예측

2.6.2 시험 시공 결과에 의한 기량 깊이와 기량 심도 계수의 결정

원지반과 시험 시공후의 평균 N치의 차이를 ΔN_{ob} 라 하고, 각 깊이별로 원지반과 시험 시공후 N치의 차이를 ΔN_i 라 한다. 그리고 ΔN_i 가 ΔN_{ob} 보다 큰 ($\Delta N_i > \Delta N_{ob}$) 최대의 깊이를 시험 시공에 의한 기량 깊이로 결정한다. 여기서 결정된 기량 깊이를 식 (5)에 대입하여 기량 심도 계수 α 를 결정한다.

2.6.3 타격 에너지와 ΔN 과의 관계

각 단계별 타격 에너지에 대한 지반의 N치의 평균 증가량을 구한다. 여기서 N치의 평균 증가량과 타격 에너지의 관계는 1차 회귀 분석을 이용하여 구하게 되는데, 본다짐 설계시에 필요로 하는 타격 에너지를 결정할 때 사용하게 된다.

2.6.4 타격 에너지와 침하량과의 관계

각 단계별 타격 에너지는 식 (6)과 같은 식으로 구할 수 있는데, 이렇게 구한 각 단계별 타격 에너지에 대한 침하량을 입력하여 타격 에너지와 침하량의 관계를 구하게 된다.

$$E_m = \frac{B_n W H}{L_n^2 D} \quad (6)$$

여기서, E_m : 각 타격 단계별 타격 에너지 ($t\text{-m}^3$), B_n : 각 타격 단계별 타격 횟수, L_n : 각 타격 단계별 타격점간 간격 (m)

2.7 본다짐의 설계

2.7.1 기량 심도 계수의 재결정

Menard (1975), Lukas (1980), Mitchell (1981), Mayne (1984) 등이 제안한 기존 자료에 의한 흙의 종류에 따른 기량 심도 계수와 시험 시공을 통해서 구한 기량 심도 계수는 약간의 차이가 발생하게 된다. 따라서 이들 값을 이용하여 식 (7)과 같이 각 흙의 종류별 수정 기량 심도 계수 α_{c1} 를 결정하며, 이를 이용하여 원지반에 대한 수정 기량 심도 계수 α_c 를 결정한다.

$$\alpha_{c1} = \alpha_1 + \Delta\alpha \quad (7)$$

여기서, $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$,

α_2 : 식 (5)에 의해 결정된 시험시공 지반의 기량 심도 계수,

α_1 : 흙의 종류에 따른 기량 심도 계수 값을 이용하여 구한 시험 시공 지반의 평균 기량 심도 계수,

α_1 : 기존 자료에 의한 흙의 종류별 기량심도계수, α_{c1} : 각 흙의 종류별 수정 기량심도계수

2.7.2 동다짐 제원의 결정

위에서 결정된 α_c , 그리고 기량 깊이 D를 식 (5)에 대입하여 동다짐 중추의 무게(W)와 낙하고(H)를 결정한다. 여기서, 일반적인 중추 무게의 범위는 10 ~ 50 ton 정도이고, 낙하고의 범위는 5 ~ 40 m 정도이다.

2.7.3 타격 횟수, 타격점간 간격, 타격 단계수의 결정

동다짐 공법에서는 지반의 조건과 기량 심도를 고려하여 타격 단계수를 결정하게 되는데, 일반적으로 조립토 지반의 경우 2 ~ 3 단계, 세립토 지반의 경우 4 ~ 6 단계의 타격 단계수를 가진다. 따라서 대상 지반의 기량 깊이 범위내의 흙의 분포 상태에 따라 타격 단계수를 결정하게 된다. 그리고 2.6.3절에서 결정한 타격 에너지와 ΔN 과의 관계를 이용하여 대상 지반에 대한 N치의 목표 증가량 ΔN 에 해당하는 타격 에너지를 결정한다. 또한 2.7.2절에서 결정한 중추의 무게와 낙하고를 식 (7)에 대입하여 각 단계별 타격 횟수와 타격점간 간격 등을 결정한다. 여기서, 타격점간 간격(l)은 일반적으로 타격 단계에 따라 다음과 같이 결정한다.

제 1 단계 : $l_1 \approx D$ (지반이 극도로 느슨한 경우 : $l = 0.8D$)

제 2 단계 : $l_2 \approx D$, 제 1 단계 타격점의 중간점

제 3 단계 : $l_3 \approx D/2$, 제 1 단계와 제 2 단계 타격점의 중간점

...

3. 전문가 시스템의 개발 및 실행에

3.1 전문가 시스템 개발 환경

본 연구에서 개발한 전문가 시스템은 연약 지반 개량 공법과 지반 보강 공법의 설계를 포함하는 전문가 시스템의 일부로 개발된 것으로 전체 시스템 개발에 필요한 메모리 용량 문제를 해결하기 위해 UNIX로 운영되는 워크스테이션(Workstation) 환경하에서 개발되었다. 개발에 사용된 워크스테이션은 (주) 삼보에서 제작한 TriGem station SDT-500이며, 사용자의 편의를 위한 그래픽 처리 부분은 X 윈도우(window) 시스템에서 제공해 주는 그래픽 라이브러리인 XLIB를 사용하였다.

3.2 개발된 전문가 시스템의 구조 및 특징

본 연구에서 개발한 전문가 시스템은 지반과 그 지반에 작용할 설계 하중에 대한 자료를 입력하면 지반의 지지력과 허용 침하량을 만족시킬 수 있도록 지반을 개량하는데 필요한 제반 설계 사항을 출력해 주는 프로그램이다. 본 전문가 시스템은 표 1과 같은 구조를 가지는데, 원지반과 시험 시공 대상 지반, 그리고 하중 조건 등과 같은 입력 자료와 실행 후의 결과 및 그래픽 출력 자료들을 관리하는 부분과 원지반을 분석하여 시험 시공에 관한 설계를 하는 부분, 그리고 시험 시공 지반을 분석하고 합리적인 결과를 위해 추천하는 부분, 그리고 이 모든 것을 종합하여 최종적으로 본다짐 설계를 하는 부분으로 크게 나누어져 있다. 여기서 분석 및 추천 과정에 해당하는 표 1의 ANALYSIS & DESIGN OF TEST TAMPING과 ANALYSIS FOR TEST TAMPING 부분은 경험적인 내용들을 많이 이용하여 전문가 시스템에서 판단할 수 있도록 개발하였다. 또한 표 2는 본 전문가 시스템에서 제공되는 출력 내용들을 입력 자료와 비교하여 보인 것이다.

표 1. 개발된 전문가 시스템의 구조

FILE MANAGEMENT 입력, 출력, 그래픽 화일의 관리	INPUT FILE
	OUTPUT FILE
	GRAPHIC FILE
ANALYSIS & DESIGN OF TEST TAMPING 원지반에 대한 분석 및 시험 시공에 대한 설계	
TEST TAMPING 시험 시공에 관한 자료 입력 및 분석	TEST TAMPING FILE MANAGEMENT
	N VALUE BEFORE TAMPING
	DATA OF TEST TAMPING
	SETTLEMENT VS. TAMPING ENERGY
	ANALYSIS FOR TEST TAMPING
DESIGN 본다짐에 대한 설계	

표 2. 동다짐 설계를 위한 전문가 시스템의 입출력 내용 비교

	입력 자료	출력 자료	최종출력자료
본다짐	깊이별 N치 층별 흙의 종류 및 γ_c 하중조건(B, Dr, P 등) 지하수위	개량 깊이 개량심도계수 α N_{design} , ΔN	α , W, H, N_{design} , ΔN , 타격단계수, 타격에너지, B_n , L_n 결정
시험시공	시험 시공 제한 (W, H, B_n , L_n 등) 깊이별 N치의 변화 타격에너지 vs 침하량	α 의 재결정 타격에너지 vs ΔN	

3.3 개발된 전문가 시스템의 실행에

본 연구에서 개발한 전문가 시스템의 실행에는 그림 2에서 그림 7과 같으며, 예제로 사용된 지반과 하중 조건은 매립 지역의 일반적 인 경험값들을 이용하여 입력하였다.

그림 2는 개량 대상 지반에 대한 자료(지반의 깊이별 N치의 분포, 하중 조건, 지하수위 등)를 입력한 것이며, 그림 3과 그림 4는 앞의 입력 자료에 따른 개량 심도 및 설계 N치 등을 합리적으로 결정하여 시험 시공에 대해 설계해 주는 과정을 보인 것이다. 그리고 그림 5와 그림 6은 시험 시공을 통하여 얻을 수 있는 자료들을 입력한 예를 보여주며, 그림 7은 이를 이용하여 설계한 본 다짐 설계 내용을 제시한 것이다.

FILE		ANALYSIS		TEST TAMPING		DESIGN	
Input Data of Original Soil & Load Condition							
Depth & N value				Soil Classification & Unit Weight			
Depth (m)	N value			Thick. (m)	gam. (t/m ³)	USCS	
0.00	3			4.00	1.75	7	
1.00	11			8.00	1.85	6	
2.00	16			8.00	1.90	3	
3.00	15						
4.00	9						
5.00	17						
6.00	21						
7.00	20						
8.00	19						
9.00	23						
10.00	26						
13.00	28						
Data for Loading				United Soil Classification System			
B (m)	Df (m)	p (t/m ²)		1 GH	2 GP	3 CH	4 GC
3.00	0.00	80.00		5 SW	6 SP	7 SM	8 SC
				9 ML	10 CL	11 OL	12 MH
				13 CH	14 OH	15 Pt	16 MS
				Water table (m) 2.00			
F1 D & N F2 CLASS F3 LOAD F4 WATER ESC EXIT							

그림 2. 기량 대상 지반의 상태와 하중 조건에 대한 입력어

FILE		ANALYSIS		TEST TAMPING		DESIGN									
Analysis Results for Original Soil															
Graph for Depth vs. N Value				Weak Zone Data											
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Depth (m)</th> <th>From</th> <th>To</th> <th>Average</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0.00</td> <td>9.67</td> <td>17</td> </tr> </tbody> </table>				Depth (m)	From	To	Average		0.00	9.67	17
Depth (m)	From	To	Average												
	0.00	9.67	17												
Analysis Data for Depth, Bearing Capacity & Settlement															
Depth to Improve (m)		9.67		Design N for S.L.		17									
Influence Cf., Alpha		0.500		Design N for S.L.		28									
Average N Value		17		df (= Hdesign - Havg)		0									

그림 3. 지지력, 침하량에 의한 설계 N치 및 기량 깊이의 결정

FILE		ANALYSIS		TEST TAMPING		DESIGN																															
Spec. of Dynamic Compaction																																					
<table border="1"> <tr><td>Depth to Improve (m)</td><td>9.67</td></tr> <tr><td>Co. of Inf., Alpha</td><td>0.51</td></tr> <tr><td>H x H (ton x m)</td><td>20.00 x 10.00</td></tr> <tr><td>Total ER (t/m²)</td><td>363.25</td></tr> <tr><td>Total Ev (t/m²)</td><td>37.37</td></tr> <tr><td>Settlement (cm)</td><td>33.4</td></tr> <tr><td>No. of Series</td><td>3</td></tr> </table>				Depth to Improve (m)	9.67	Co. of Inf., Alpha	0.51	H x H (ton x m)	20.00 x 10.00	Total ER (t/m ²)	363.25	Total Ev (t/m ²)	37.37	Settlement (cm)	33.4	No. of Series	3	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Series No.</th> <th>H (m)</th> <th>Dist. (m)</th> <th>Ev (t/m²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>12</td><td>6.00</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>12</td><td>6.00</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td><td>3.00</td><td>12.00</td></tr> </tbody> </table>				Series No.	H (m)	Dist. (m)	Ev (t/m ²)	1	12	6.00	12.00	2	12	6.00	12.00	3	3	3.00	12.00
Depth to Improve (m)	9.67																																				
Co. of Inf., Alpha	0.51																																				
H x H (ton x m)	20.00 x 10.00																																				
Total ER (t/m ²)	363.25																																				
Total Ev (t/m ²)	37.37																																				
Settlement (cm)	33.4																																				
No. of Series	3																																				
Series No.	H (m)	Dist. (m)	Ev (t/m ²)																																		
1	12	6.00	12.00																																		
2	12	6.00	12.00																																		
3	3	3.00	12.00																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Series No.</th> <th>No. of Blows</th> <th>Dist. (m)</th> <th>Ev (t/m²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>12</td><td>6.00</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>12</td><td>6.00</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td><td>3.00</td><td>12.00</td></tr> </tbody> </table>				Series No.	No. of Blows	Dist. (m)	Ev (t/m ²)	1	12	6.00	12.00	2	12	6.00	12.00	3	3	3.00	12.00																		
Series No.	No. of Blows	Dist. (m)	Ev (t/m ²)																																		
1	12	6.00	12.00																																		
2	12	6.00	12.00																																		
3	3	3.00	12.00																																		
Design of Blow No. & Distance																																					

그림 4. 시험 시공에 대한 설계

FILE		ANALYSIS		TEST TAMPING		DESIGN													
Tamping Energy vs. Settlement																			
Input for Settlement				Graph for Energy vs. Settlement															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Series No.</th> <th>Ev (t/m²)</th> <th>S (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>12.00</td><td>23.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>24.00</td><td>40.00</td></tr> <tr><td>3</td><td>36.00</td><td>64.00</td></tr> </tbody> </table>				Series No.	Ev (t/m ²)	S (cm)	1	12.00	23.00	2	24.00	40.00	3	36.00	64.00				
Series No.	Ev (t/m ²)	S (cm)																	
1	12.00	23.00																	
2	24.00	40.00																	
3	36.00	64.00																	
$E_{vm} = E_{m0} + H \times H / (L^2 \times \alpha)$ <p> Ev: Tamping E of Unit Vol. for nth S Em: No. of Blow for nth Series L: Distance for nth Series H: Depth to Improve H, H: Tamping Height & Height </p>																			
Settlement for Normalized Tamping Energy of each Series																			
ESC EXIT																			

그림 5. 시험 시공에서의 타격 에너지와 침하량의 관계 그래프

FILE		ANALYSIS		TEST TAMPING		DESIGN																	
Depth vs. N Value				Energy vs. dh																			
<table border="1"> <tr><td>Inf. Depth (m)</td><td>10.00</td></tr> <tr><td>Co. of Inf., alpha</td><td>0.507</td></tr> </table>				Inf. Depth (m)	10.00	Co. of Inf., alpha	0.507	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Series No.</th> <th>Energy (t/m²)</th> <th>dh</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>12.00</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>12.00</td><td>6</td></tr> <tr><td>3</td><td>12.00</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>				Series No.	Energy (t/m ²)	dh	1	12.00	3	2	12.00	6	3	12.00	0
Inf. Depth (m)	10.00																						
Co. of Inf., alpha	0.507																						
Series No.	Energy (t/m ²)	dh																					
1	12.00	3																					
2	12.00	6																					
3	12.00	0																					
Legend: Original N, 1st Series, 2nd Series, 3rd Series																							

그림 6. 시험 시공 결과에 대한 분석

FILE		ANALYSIS		TEST TAMPING		DESIGN																															
Spec. of Dynamic Compaction																																					
<table border="1"> <tr><td>Depth to Improve (m)</td><td>9.67</td></tr> <tr><td>Co. of Inf., Alpha</td><td>0.50</td></tr> <tr><td>H x H (ton x m)</td><td>20.00 x 10.00</td></tr> <tr><td>Total ER (t/m²)</td><td>359.21</td></tr> <tr><td>Total Ev (t/m²)</td><td>37.15</td></tr> <tr><td>Settlement (cm)</td><td>64.0</td></tr> <tr><td>dh</td><td>0</td></tr> </table>				Depth to Improve (m)	9.67	Co. of Inf., Alpha	0.50	H x H (ton x m)	20.00 x 10.00	Total ER (t/m ²)	359.21	Total Ev (t/m ²)	37.15	Settlement (cm)	64.0	dh	0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Series No.</th> <th>No. of Blows</th> <th>Dist. (m)</th> <th>Ev (t/m²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>11</td><td>6.0</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>11</td><td>6.0</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td><td>3.0</td><td>12.12</td></tr> </tbody> </table>				Series No.	No. of Blows	Dist. (m)	Ev (t/m ²)	1	11	6.0	12.00	2	11	6.0	12.00	3	3	3.0	12.12
Depth to Improve (m)	9.67																																				
Co. of Inf., Alpha	0.50																																				
H x H (ton x m)	20.00 x 10.00																																				
Total ER (t/m ²)	359.21																																				
Total Ev (t/m ²)	37.15																																				
Settlement (cm)	64.0																																				
dh	0																																				
Series No.	No. of Blows	Dist. (m)	Ev (t/m ²)																																		
1	11	6.0	12.00																																		
2	11	6.0	12.00																																		
3	3	3.0	12.12																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Series No.</th> <th>No. of Blows</th> <th>Dist. (m)</th> <th>Ev (t/m²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>11</td><td>6.0</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>11</td><td>6.0</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td><td>3.0</td><td>12.12</td></tr> </tbody> </table>				Series No.	No. of Blows	Dist. (m)	Ev (t/m ²)	1	11	6.0	12.00	2	11	6.0	12.00	3	3	3.0	12.12																		
Series No.	No. of Blows	Dist. (m)	Ev (t/m ²)																																		
1	11	6.0	12.00																																		
2	11	6.0	12.00																																		
3	3	3.0	12.12																																		
Design of Blow No. & Distance																																					

그림 7. 본다짐 설계에 대한 출력어

4. 결 론

본 연구에서는 설계시에 경험적인 요소를 많이 필요로 하는 동다짐 공법에 관한 내용을 전문가 시스템으로 구현하여 일반적인 매립 지반의 조건과 하중 조건에 대한 예제를 만들어 실행하여 보았다. 그 결과 앞의 실행예에서 보인 바와 같이 일반적인 입력 자료를 이용하여 심도있는 전문적인 설계 결과를 출력할 수 있었다. 즉, 최소한의 입력 자료를 토대로, 기랑 깊이와 기랑 심도 계수를 경험적인 기준에 맞게 구할 수 있었으며, 허용 지지력과 허용 침하량을 이용하여 설계 N치를 결정하고, 시험 시공에 의한 자료로부터 대상 지반의 기랑 심도 계수를 비교 수정하여 재결정하는 등의 과정을 통하여 일관되고 합리적인 설계 결과를 얻었다.

그러나 지반에 따른 각 단계별 방치 기간이나 시공 중의 진동 및 소음 관리, 그리고 경제성의 비교 등에 관한 내용들을 본 연구에서 수용하지 못하였는데, 앞으로 이에 대한 보완 연구가 필요하며 계속적으로 경험적인 자료들을 추가 보완하는 작업이 필요하다고 생각한다.

참 고 문 헌

1. Mitchell, J. K., "Soil Improvement, State of the Art Report", Proc. 10th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Vol. 4, 1981, pp. 509 ~ 565
2. Maher, M. L., Expert System for Civil Engineers : Technology and Application, ASCE, 1987
3. Chameau, J. L. & Satamarina, J. C., "Knowledge Based System for Soil Improvement", ASCE, J. of Computing in Civil Eng., Vol. 3, 1989, pp. 253 ~ 267
4. Mayne, "Ground Response to Dynamic Compaction", ASCE, Vol. 110, No. 6, 1984, pp. 757 ~ 774
5. Lukas, "Densification of Loose Deposits by Pounding", ASCE, Vol. 106, No. 4, 1980, pp. 435 ~ 446
6. Menard, "Theoretical and Practical Aspects of Dynamic Consolidation", Geotechnique, Vol. 25, 1975, pp. 3 ~ 18
7. Leonards, G. A., "Dynamic Compaction of Granular Soils", ASCE, Vol. 106, No. 1, 1980, pp. 35 ~ 44
8. Greenwood, D. A., & Thomson, G. H., Ground Stabilization : Deep Compaction and Grouting, ICE Works Construction Guides, 1983, pp. 5 ~ 19
9. Lee, I. K., Geotechnical Engineering, Pitman, 1983, pp. 406 ~ 466
10. Lutenecker, A. J., "Dynamic Compaction in Friable Loess", ASCE, Vol. 112, No. 6, 1986, pp. 663 ~ 667
11. Chow, Y. K., Yong, K. Y. & Lee, S. L., "Dynamic Compaction of Loose Granular Soils : Effect of Print Spacing", ASCE, Vol. 120, No. 7, 1994, pp. 1115 ~ 1133
12. Ramaswamy, S. D., Aziz, M. A., Subrahmanyam, R. V., Abdul Khader, M. H. & Lee, S. L., "Treatment of Peaty Clay by High Energy Impact", ASCE, Vol. 105, GT8, 1979, pp. 957 ~ 967
13. Scott, R. A. & Pearce, R. W., "Soil Compaction by Impact", Geotechnique, Vol. 25, 1975, pp. 19 ~ 30

14. Chow, Y. K., Yong, D. M., Yong, K. Y. & Lee, S. L., "Dynamic Compaction Analysis", ASCE, Vol. 118, No.8, 1992, pp. 1141 ~ 1157
15. Cleaud, J., et al., "Analysis of Results Obtained on a Dynamic Compaction Site", 8th ECSMFE, Vol. 1, Helsinki, 1983, pp. 19 ~ 24
16. Gambin, M. P., "The Menard Dynamic Consolidation at Nice Airport", 8th ECSMFE, Helsinki, 1983
17. Cognon, J., et al., "Combination of Drains, Surcharge and Dynamic Compaction Site", 8th ECSMFE, Vol. 1, Helsinki, 1983, pp. 219 ~ 222
18. 김 병일, "선형 지하 공법 설계를 위한 전문가 시스템", 박사 학위 논문, 서울대학교, 1994
19. 김 봉근, "동다짐 공법에 의한 지반 개량", 석사 학위 논문, 서울대학교, 1987
20. 남 기천, "동다짐 공법에 의한 지반 개량 효과의 평가", 석사 학위 논문, 연세대학교, 1988
21. 日本建設機械化協會, 最新の軟弱地盤工法と施工例, 1988, pp. 153 ~ 208
22. 日本土質工學會, 軟弱地盤對策工法, 1988, pp. 89 ~ 152
23. 日本土質工學會, 地盤改良の調査設計から施工まで, 1988, pp. 161 ~ 206