

동치환공법의 적정심도 결정에 관한 연구

LandAnalysis of Effective Depth of Dynamic Replacement Method

김성환^{a,1,*}

Sung-Hwan Kim^{a,1,*}

^a Dept. of Civil and Environmental Eng., Incheon National Univ, Incheon 406-772, Republic of Korea

ABSTRACT

Purpose: Dynamic Replacement Method currently lacks of sufficient research, implementation cases, and case histories, compared with other comparable methods, such as Dynamic Compaction Method.

Method: In this study, for Dynamic Replacement Method, the effective improvement depth and improved strength were analyzed for silty clayey soils.

Results: Testbed test was performed to verify the effectiveness of Dynamic Replacement Method followed by the main dynamic replacement implementation on real construction site.

Conclusion: A The effects of changes of soft ground depth, dynamic replacements' diameter, depth, spacing, and applied energy on dynamic replacement efficiency in silty clays were assessed and the followings were found: Empirical coefficient for soil n_R of Dynamic Replacement Method was within the range of 0.14~0.32 and its \sqrt{WH} is recommended to be 1.25~2.5 times of those from Dynamic Compaction Method.

KEYWORDS

Dynamic Replacement Method,
Ground Improvement, Drop Height, Applied Energy, Dynamic Compaction Method

연구목적: 동치환공법은 유사한 동다짐공법에 비해 동치환 직경, 심도, 간격, 타격에너지(중추 무게와 낙하고), 지반강도 증대 효과, 지반 개량효율 등에 대한 연구 및 실증이 부족하다.

연구방법: 본 연구에서는 실트질 점토지반을 연구 대상 지반으로 선정하여 예비 동치환시공과 본시공 동치환의 2가지 경우로 나눠서 지반개량을 실시하고 효과를 분석하였으며, 결과를 바탕으로 적정 개량심도 결정 및 개량효과에 미치는 인자에 관하여 연구하였다.

연구결과: 실트질 점토 지반을 대상으로 동치환 적정 심도 결정, 지반개량효과에 끼치는 특성을 상세히 분석하여 동치환 시 적용할 수 있는 개량심도 (D_R) 관계식을 제안하였다.

결론: 동치환공법을 실트질 점토 지반에 적용한 경우, 동다짐공법의 낙하에너지보다 1.25~2.5배 증가시켜야 하는 것으로 나타났다.

동치환공법,
지반개량,
낙하고,
타격에너지,
동다짐공법

© 2018 Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-10-9150-2594. Email. sherikim315@naver.com
1 Tel. 82-10-9150-2594. Email. sherikim315@naver.com

ARTICLE HISTORY

Received Aug. 16, 2018
Revised Aug. 20, 2018
Accepted Sep. 6, 2018

1. 서 론

동다짐공법을 응용한 동치환공법은 점성토 지반에서, 쇄석의 관입에 의해 주변 지반을 압축시켜 지반 강도를 증대시키며, 타입된 쇄석말뚝이 지반 압축시 발생한 과잉간극수압을 소산시키는 배수로 역할을 하여 선행하중공법 등 타 공법에 비해 과잉간극수압 소산시간을 짧게 하여 점성토층의 지지력 증대 및 침하 감소를 기대할 수 있는 공법으로 보고되고 있다. 동다짐 공법의 경우 연약지반에서의 적용성은 높은 것으로 보고되어 있으나 동치환공법의 경우 타 대책공법에 비하면 시공실적이나 연구가 아직까지는 미진한 상태이며, 어느 정도의 개량효과가 있는지 아직 불투명한 상태라고 할 수 있다. 1980년대 이후, Gambin(1979)이 해안의 연약지반에 구조물을 축조할 목적으로 동다짐을 실시한 후 실효성이 인정되기 시작하였다. Mayne and Jones(1983)는 동다짐 하에서 충격응력 산정을 시도하였고, Qian(1986)은 유한차분법과, 경계요소법을 이용하여 모델과 경험적인 지반의 응력-변형을 관계로부터 낙하추의 근입 깊이를 예측하였다. 최근에 와서 Chow and Lee(1994)에 의해 말뚝향타시의 동적해석을 응용하여 느슨한 사질토에서, 낙하추의 근입에 의한 타격공의 깊이나 접지면 아래의 개량 정도와 깊이를 추정할 수 있는 지반과 낙하추의 상호작용을 고려한 해석프로그램과 측방으로의 파전달 에너지 이론을 고려한 타격지점 간격의 영향해석에 의한 프로그램을 작성하였다. 본 연구에서는 실트, 점성토 지반까지 적용성이 다양하지만 실트 질 점토지반을 연구 대상 지반으로 선정하여 예비 동치환, 본시공 동치환의 조사, 시험 및 계측을 수행하였다. 동치환공법의 계획은 이론적 배경이 정립되어 있는 것이 아니라, 경험적인 부분에 의존하는 부분이 많다. 본 논문에서는 연구지반을 대상으로 예비 동치환과 본시공 동치환 계측, 수치해석 결과를 고찰하고, 그로 인해 산출된 치환율, 낙하횟수, 낙하고의 타당성 여부 등에 대해서도 연구하였다.

2. 동치환공법의 설계방법

2.1 동치환공법의 개요

동다짐공법은 최초로 심부를 다져서 개량하고, 순차적으로 상부지반 개량을 실시하여 최종적으로 마무리 다짐으로 지표면을 다지는 것이 계획의 기본이며, 이론적인 근거보다는 경험적 방법으로 Menard(1975)에 의해 정립되었지만, 현재까지도 시공후의 효과를 사전에 추정하는 방법이 정형화되어 있지 않다. 동다짐공법의 계획은 대부분의 경우 경험이 축적된 전문가에 의해 추정 계획이 이루어지며, 이에 대한 효과 판정 및 성과에 대한 책임이 시공전문가에 귀속되므로, 그 공정이 단순함에도 불구하고 널리 보급되지 않고 있다. 현재까지 문헌에 공개된 설계법은 다음과 같다. 개량심도와 타격에너지는 타격에너지의 크기와 개량심도가 상관관계가 있음은 누구나 쉽게 착안할 수 있다. Menard(1975), FHWA(1995)는 이 관계를 식 (1)과 같이 제안하였다.

중추의 무게와 낙하고는 장비의 시공능력에 의해 좌우되는 값으로 현재까지 많이 사용되는 동다짐 시공장비는 Table 1과 같다. 개량 총 소요 에너지는 지반의 개량효과를 얻기 위한 최적에너지를 말하며, 쉽게 표현하면 최대 건조단위중량을 얻기 위하여 흙을 몇 번 다지느냐와 유사한 개념이다. 이에 대해서는 각 지역별로 지반조건에 따라 다를 수 밖에 없으나, 일본에서 작성된 개략치를 소개하면 Table 2와 같다. 하지만 이를 국내에 직접 적용하는 것은 합리적이지 않다. 총 소요 에너지는 지표면적 1 m²에 타입하여야 할 타격에너지를 말한다.

$$D = n \sqrt{WH} \quad (1)$$

여기서, D : 개량심도(m), n : 1보다 작은 지반 실험계수, W : 중추의 무게(Tonf), H : 낙하고(m)

Table 1. Construction equipment for Dynamic Compaction

Item		Drop height H (m)	Tamper weight W (kN)	Applied energy E (kJ)	Depth of improvement D (m)
Crawler Crane	500 kN	10	100	1,000	≤ 9
	1,500 (1,200 kN)	25 (20)	200	5,000 (4,000)	
Mega - Machine		60	250	15,000	≤ 14
Tripod		40	400	16,000	≤ 20
Giga - Machine (5,500 kN)		30	2,000	60,000	≤ 30

Table 2. Sample of total applied energy for required depth of ground improvement

Soil types	Tamper condition	
	Total applied energy (kJ/m ²)	Number of passes (No.)
Crushed stone, sandy gravel	2,000~4,000	2~3
Sand	2,000~5,000	2~3
Clay	3,000~5,000 more	4~6
Waste	3,000~6,000	2~3

타격 간격은 타격 간격의 결정은 표준화할 수 없으나, 1회 타격에너지와 개량 총 소요에너지의 크기를 비교하여, 전 면적에 걸쳐 고르게 필요한 에너지를 공급토록 격자망을 짜서 타격한다. 첫 번째 격자망을 제 1시리즈, 그 다음 빈공간의 중간점을 따라 구성된 격자망을 제 2시리즈로 부르며, 이와 같이 시리즈가 거듭 함에 따라 간격은 좁아지게 된다. 첫 번째 격자망의 간격을 개량심도와 같게 할 것을 제안한 경우도 있으나, 이것은 토질조건, 현장조건에 따라서 크게 변할 수 있다. 타격 횟수는 각 지점에서 타격횟수는 타격에너지, 단위 면적당 소요 에너지, 시리즈의 수 등에 의해 복합적으로 결정되므로 일률적으로 설명은 곤란하나, 어떤 지점이든 타격에너지와 타격 횟수의 곱이 총 소요 에너지이며, 이를 작용면적으로 나눈 것이 단위면적당 소요 에너지이므로, 단위면적당 소요 에너지는 항상 타격에너지를 상회하도록 타격횟수를 결정하여야 한다. 과잉간극수압 소산시간은 포화 점성토 및 세립분이 많은 포화 사질토 등의 개량에서는 타격에 따른 과잉 간극수압 및 분사현상이 발생한다.

이런 상태에서는 타격을 계속하여도 개량효과를 기대할 수 없기 때문에 과잉간극수압이 소산될 때까지 일정시간을 두어야 한다. 대기기간이 길어지면 경제성의 문제가 있으므로 과잉간극수압을 빠르게 소산하기 위하여 Menard 드레인공법과 병용하여 적용함으로써, 수직드레인에 의해 과잉간극수압이 빠르게 소산되므로 대기기간을 빠르게 할 수 있다. 인접구조물에 대한 영향은 지표면의 충격에 의해 발생한 진동에 의해서 인접구조물의 영향을 주는 파는 지표면을 따라 전달되는 Rayleigh파로서, 인접구조물의 피해유무를 판단할 수 있는 Rayleigh파의 질점속도(V_r)로 평가할 수 있다. 질점속도는 충격이 가해진 지점으로부터 거리에 반비례하며, 가해진 에너지에 비례한다. 동다짐 및 동치환공법은 충격에너지의 크기에 따라 다소 차이는 있으나, 강성 구조물에서는 20 m 정도는 인접하여 시공할 수 있으며, 예민한 구조물에서는 안전한 시공을 위해서는 50 m 정도의 이격거리가 필요하다. 충분한 이격거리를 확보하지 못할 경우에는 Rayleigh파를 감소시키거나 구조물을 보호하는 방법이 있다. 첫 번째 방법은 지표면에서 1.5~2.5 m의 구덩이를 굴착한 후 구덩이내에 충격에너지를 가하는 방법으로서, 보다 많은 에너지가 Love파로 전환되어 본질적으로 Rayleigh파의 강도가 감소 되도록 도랑을 파서 Rayleigh파의 질점속도를 감소시키는 방법이다. 도랑을 설치하면 충격지점과 구조물 사이에 불연속면이 발생하여 Rayleigh파의 질점속도는 현저히 감소된다.

2.2 동치환공법의 설계흐름도

동치환공법의 주된 내용은 중추의 무게와 낙하고를 결정하기 위하여 타격점 간 간격과 타격횟수를 얼마로 하느냐 하는 것이다. 이러한 내용을 결정하기 위하여 설계흐름도가 필요하며 설계흐름도는 Fig. 1과 같다.

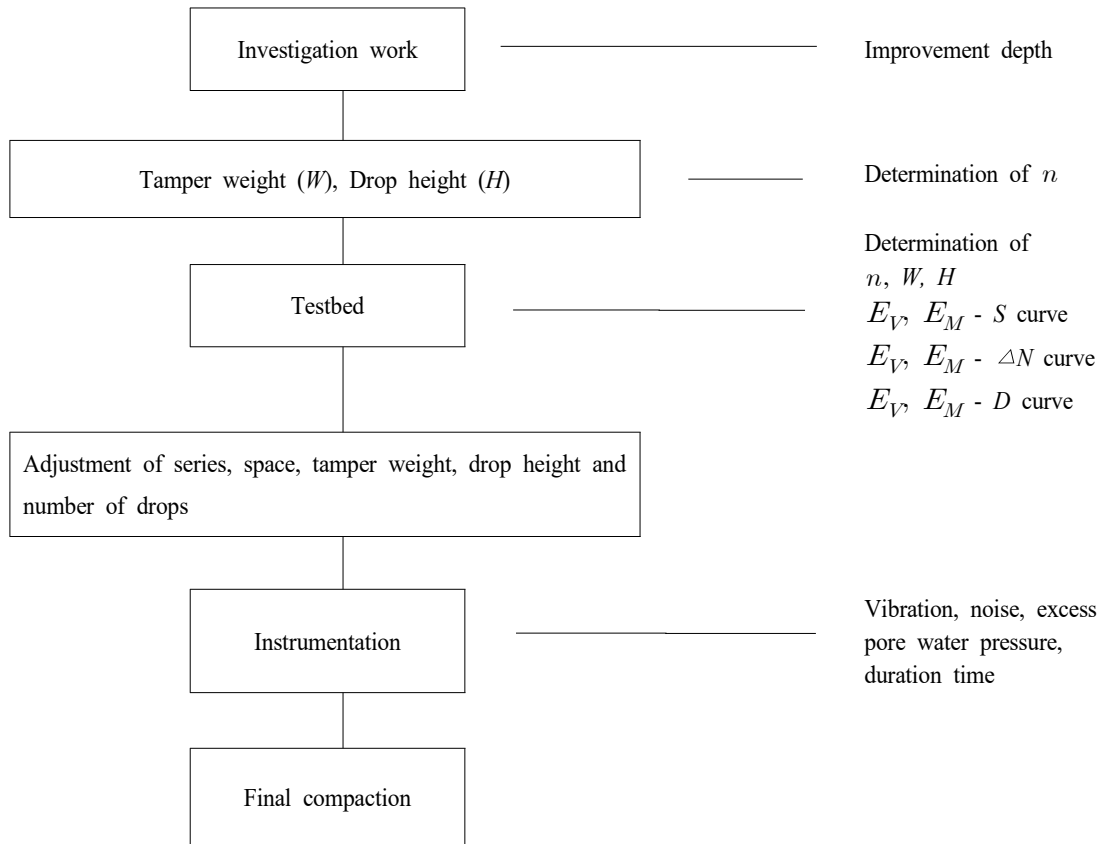


Fig. 1. Flow diagram of dynamic compaction design

동치환공법은 제 1시리즈로 심부를 개량하고 시리즈를 거듭하면서 순차적으로 상부층을 개량하여 최종적으로 끝맺음 다짐으로 지표면을 다지는 것을 계획의 기본으로 한다. 이론적인 근거보다는 경험적 방법으로 Menard에 의해 정립되었지만 현재 까지도 시공후의 효과를 사전에 추정하는 방법이 공개되어 있지 않다. 동치환공법의 계획은 대부분의 경우 경험이 축적된 전문가에 의해 추정 계획이 이루어지며 이에 대한 효과 판정 및 성과에 대한 책임이 시공전문가에 귀속되므로 그 공정이 단순하게 보임에도 불구하고, 널리 보급되지 않고 있다.

3. 현장사례를 통한 동치환공법의 개량효과

3.1 동치환공법의 기준

일반적으로, 동치환의 개량목표치는 상부층에 신축되어질 구조물의 하중에 따라 산정한다. 지반개량후의 허용지지력(q_a)은 구조물 기초설계 기준에 의하여 구조물 허용침하량 25 mm 이내일 때, N 값을 이용한 허용지지력식(Bowles, 1988)은 식 (2)와 같다.

$$q_a = \frac{N}{0.08} \left(\frac{B+0.3}{B} \right)^2 \left(1 + \frac{D}{3B} \right) \quad (B > 1.2 m \text{ 일때}) \quad (2)$$

여기서, q_a : 허용지지력 (kPa), N : 기초저면하부 2B까지의 평균 표준관입시험치, B : 기초폭(m), D : 근입깊이(m)

위 식에 의하여 개량을 목표로 하는 연약지반의 N 값을 구할 수 있다. 동치환 심도 결정시 적용할 적절한 제안식이 없어 동다짐 공식을 준용하여 결정하고 있는 바, 식 (1)에서 이미 언급한 바와 같이 Menard(1975)와 FHWA(1995)에 의해 발표된 식을 사용하고 있다. 이 식에서, 중요한 지반 실험계수 n 값은 당초 Menard사에서 공법을 개발할 당시에는 정확한 값이 제시되어 있지 않았다.

이 값은 지반조건에 따라 변화하는 것으로 알려져 있으나, 각종 시공사례에 의하면 대략 0.3~0.7 정도의 값을 적용한다. Mayne 외(1984)는 총 124건의 시공사례로부터 타격에 의한 지반의 거동을 분석한 바, 타격에 의한 영향은 어떤 한계 깊이 (H_c)까지는 개량 효율이 높으나, 그 이후 효율이 떨어지는 구간이 있고, 이 영향을 받는 최대깊이 (H_{max})를 초과하면 영향이 없는 것으로 보고하였다. FHWA(1995)에 의하면 지반 실험계수 n 값은 0.35~0.6이 일반적이며, 크레인의 낙하기구 효율, 작용 총에너지, 다져질 흙의 종류, 에너지를 흡수할 수 있는 지층의 존재, 다져질 흙의 상하부에 견고한 지층의 존재, 중추의 접촉응력에 등에 의해 영향을 끼친다고 알려져 있다. 여러 종류의 흙에 대한 지반 실험계수 n 값을 Table 3에 보여주었다.

Table 3. Recommended n value for various types of soil (FHWA, 1995)

Soil type	Degree of saturation	Recommended n value*
Pervious soil deposits - granular soils	High	0.5
	Low	0.5~0.6
Semipervious soil deposits - primarily silts with plasticity index of < 8	High	0.35~0.4
	Low	0.4~0.5
Impervious deposits - primarily clayey soils with plasticity index of > 8	High	Not recommended
	Low	0.35~0.40 Soils should be at water content less than plastic limit

*For an applied energy of 1 to 3 MJ/m² and for a tamper drop using a single cable with a free spool drum(FHWA, 1995)

여기서 발표한 개량심도 D_{max} 과 WH와의 관계그래프를 Fig 2에 나타내었으며, n 값은 0.3~0.8 사이에 있음을 보여주고 있다. Fig 2에는 토질별 개량심도와 중추 낙하횟수와의 관계 그래프(FHWA, 1995)를 보여준 바, 낙하횟수 2 회 이상에서 지반개량효과가 직선 비례하지만 점토광물질로 구성된 폐기물 지반은 상대적으로 개량심도가 얇음을 보여주고 있다. 가는 모래와 중간정도의 크기를 가진 모래의 경우와 실트질 세립 모래의 경우는 동일한 낙하횟수에서 지반개량심도가 깊게 나타나 효과적인 지반개량공법을 알 수 있다.

3.2 낙하높이 및 타격회수 산정

실트질 점토지반의 동치환 심도를 결정하기 위하여 현장실험을 계획한 구역별로 개량목표치를 설정하고 이에 따른 개량심도, 동치환공법 적용시 필요한 낙하높이, 중추의 무게, 타격회수를 산정하였다. 연약지반 개량 목표치 설정 시 DB-24 교통하중, 포장하중, 노상하중을 고려한 하중, 여쌍기하중을 산정하여 적용하였으며, 이에 따른 허용지지력을 산정한 후 개량 목표 표준관입값(N)을 산정하였다. 식 (2)를 이용하여, 도로 1로는 허용지지력 131.2 kN/m²으로 산정되어 지반개량 목표 N은 11로, 도로 2로는 허용지지력 144.3 kN/m²으로 산정되어 지반개량 목표 N은 12로, 도로 3로는 허용지지력 142.0 kN/m²으로

로 산정되어 지반개량 목표 N은 12로, 도로 4로는 허용지지력 156.6 kN/m²로 산정되어 지반개량 목표 N은 13으로, 도로 5로는 허용지지력 139.5 kN/m²로 산정되어 지반개량 목표 N은 11로 정하였다. Fig. 3에는 실트질 점토지반의 입도분포곡 선을 나타낸 것이다.

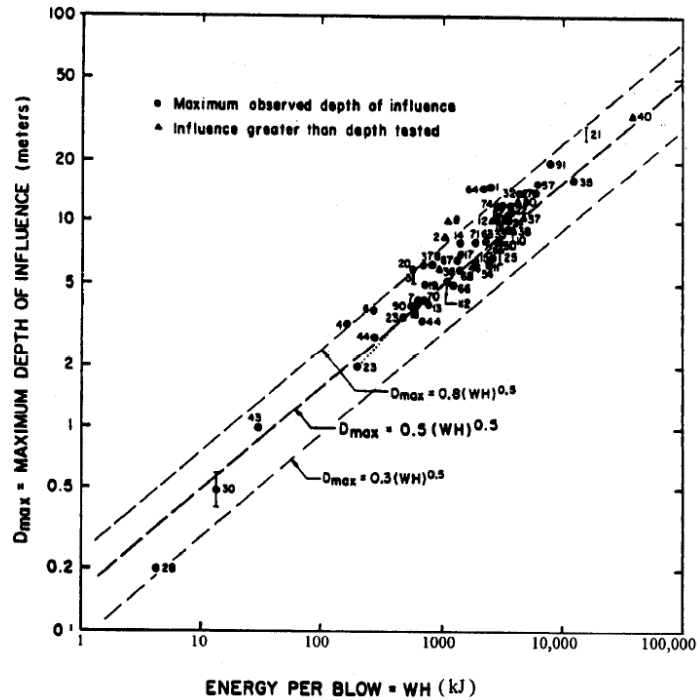


Fig. 2. Trend between apparent maximum depth of influence and energy per blow (FHWA, 1995; Mayne, 1984)

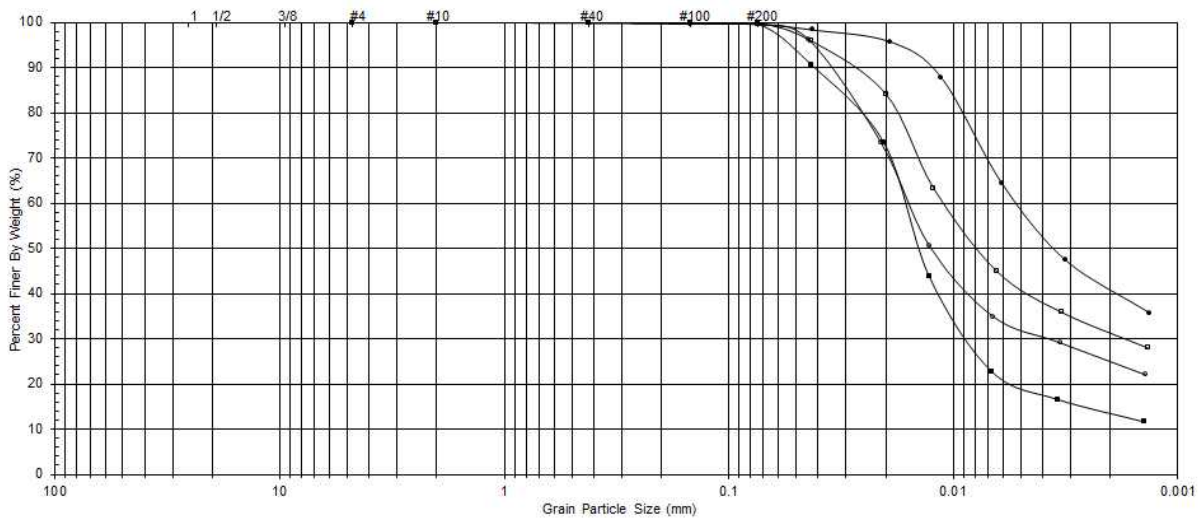


Fig. 3. Particle size distributuin for dynamic replacement method, in study area

실트질 점토지반의 개량심도는 구역별로 차이는 있으나, 도로 1로의 경우 연약지반 심도가 평균 5.0 m 정도이고 4 m는 동치환을 적용하고, 연약층 최하단 1 m 내외는 상부 치환에 의하여 압축되어 강도가 증가하는 것으로 계획하였다. 본 연구에서 적용한 실트질점토 지반의 목표 개량심도는 2.5~5.0 m로 적용하였다. 목표 개량심도를 결정하고 이에 따라 동치환 적용

시 중추의 중량과 낙하고를 결정하였다. Fig 4에 동치환 개량공법 적용 평면도를 보여주었는데 도로구분은 시추조사시와 동일하며, Fig 5에는 대표적인 도로 3로, 도로 4로의 동치환 단면도를 보여주었다.

타격지점의 간격을 결정하고, 말뚝의 직경은 2.0 m, 타격지점 간격은 4.0 m이다. Fig 6에는 동치환공법 탬핑 상세도와 같이 배치하였고 타격에너지 결정은 개량목표치 지반 표준관입값과 원지반의 N 값과의 증가분을 고려하여 산정하였으며, 1,310~2,060 kN/m² 으로 산정되었다. 여기에서 산정된 값을 적용하여 동치환 타격회수는 11~14 회로 정하였다. 동치환의 경우 1 단계는 쇄석기등을 조성하는 단계이므로 적용타격에너지를 증가시켜 주어야 하며, 증가량은 현장토질조건에 따라 차이가 있다. Table 4는 실트질 점토지반의 동치환 검토를 통한 타격회수 산정결과를 나타낸 것이다.

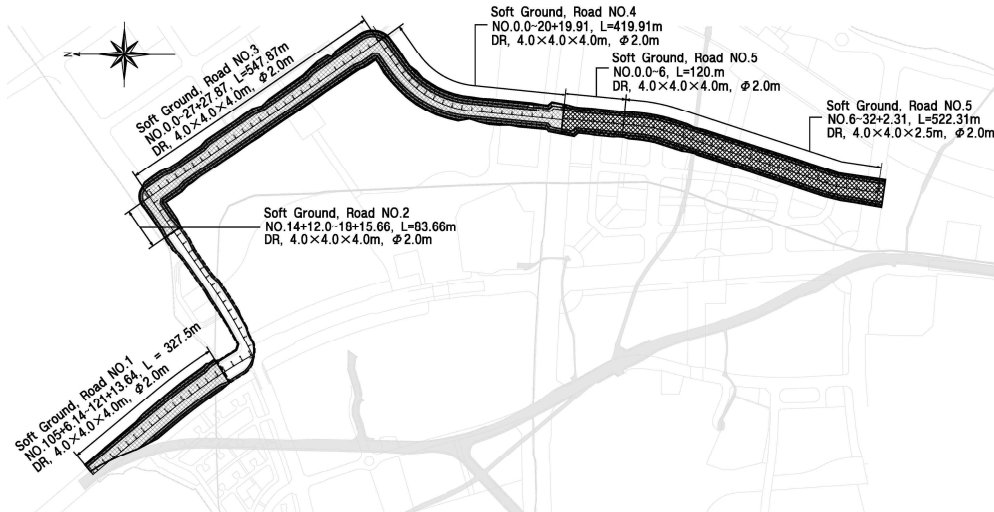


Fig. 4. Plan for Dynamic Replacement improvement method

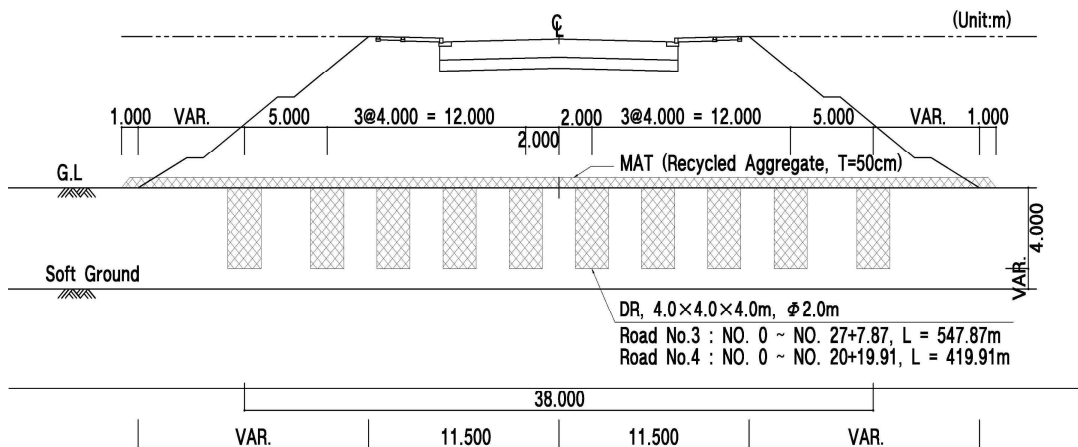


Fig. 5. Typical cross section for Road Nos. 3 and 4

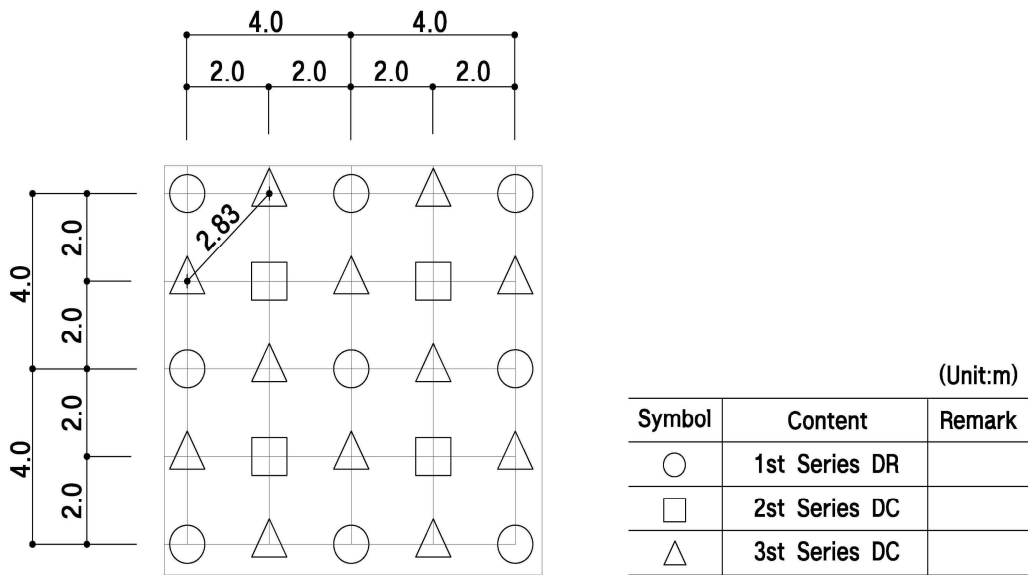


Fig.6 Detailed plan for Dynamic Replacement tamping

Table 4. Calculated result for number of Dynamic Replacement drops

Road No.	Tamper weight (W)	Drop height (H)	Series (n)	Applied energy (kNm/ m ²)	Grid spacing (S)	Number of drops (N_b)
1	10	10	3	2,060	4	11
2	10	10	3	2,060	4	11
3	10	10	3	2,060	4	11
4	10	10	3	2,060	4	11
5	10	5	3	1,310	4	14

3.3 동치환공법의 연약지반 개량효과 분석

동치환 현장실험시 얻은 자료를 바탕으로 Fig. 7에 치환심도와 타격에너지 \sqrt{WH} 와의 관계 그래프를 보여주었다. Menard(1975), FHWA(1995)가 동다짐 개량심도에 관한 식 (1)을 제안했으며, SI 국제단위계로 다시 표시하면 식 (3)이 된다.

$$D = \frac{n}{3.16} \sqrt{WH} \tag{3}$$

여기서, D : 개량심도(m), n : 1 보다 작은 지반 실험계수, W : 중추의 무게(Tonf에서 kN으로 SI 국제단위계로 수정), H : 낙하고(m) 이다.

식 (3)에서 n 을 3.16 으로 나눈 것은 중추의 무게를 Tonf에서 kN으로 단위환산한 계수값이다. Table 3에서 포화도가 낮은 점성토의 n 값은 0.35~0.40 정도이며, Fig 6의 값과 그래프를 이용하여 동치환 시 지반 실험계수 n_R 값을 계산하면 0.14~0.32 이다. 본 연구에서 수행한 실트질 점토 지반의 경우, 동다짐 시 제시된 Table 3의 n 값보다 40~80% 작게 나오므로 원하는 동치환 심도를 얻기 위해서는 낙하에너지인 중추의 무게, 낙하고에 해당하는 \sqrt{WH} 를 1.25~2.5 배 증가 시켜야 하는 연구결과를 얻었다. 이는 동다짐 시 보다 동치환 시 연약지반 점성으로 인해 치환 시 저항력이 매우 크게 작용하

는 것으로 나타난 결과이고, 재생골재 등을 사용하여 원하는 구근과 심도가 나오도록 하기 위해서는 계획 시 이를 감안하여 타격에너지를 증가시켜야 하며 동치환공법에 적용할 수 있는 개량심도 관계식(D_R)을 제안하면 식 (4)와 같다.

$$D_R = \frac{n_R}{3.16} \sqrt{WH} \tag{4}$$

여기서, D_R : 동치환 개량심도(m), n_R : 동치환 시 적용하는 1 보다 작은 지반 실험계수, W : 중추의 무게(kN), H : 낙하고(m)이다. 동다짐공법과 비교하면 낙하에너지인 중추의 무게, 낙하고에 해당하는 \sqrt{WH} 를 1.25~2.5 배 증가시켜야 하고, 예비 동치환시공을 통한 계측, 에너지 조정이 필수적이다. 여러 종류의 지반에 획일적으로 동일하게 적용하는 데 제약조건이 따르지만 본 연구에서 시험한 결과를 바탕으로 동치환공법 시 지반 실험계수 n_R 값을 전체적으로 조정하여 Table 5와 같이 제안한다.

Table 5 Recommended n_R value for various types of soil for Dynamic Replacement Method

Soil type	Degree of saturation	Recommended n_R value
Pervious soil deposits - granular soils	High	0.4
	Low	0.2~0.48
Semipervious soil deposits - primarily silts with plasticity index of < 8	High	0.14~0.32
	Low	0.16~0.4
Impervious deposits - primarily clayey soils with plasticity index of > 8	High	Not recommended
	Low	0.14~0.32 Soils should be at water content less than plastic limit

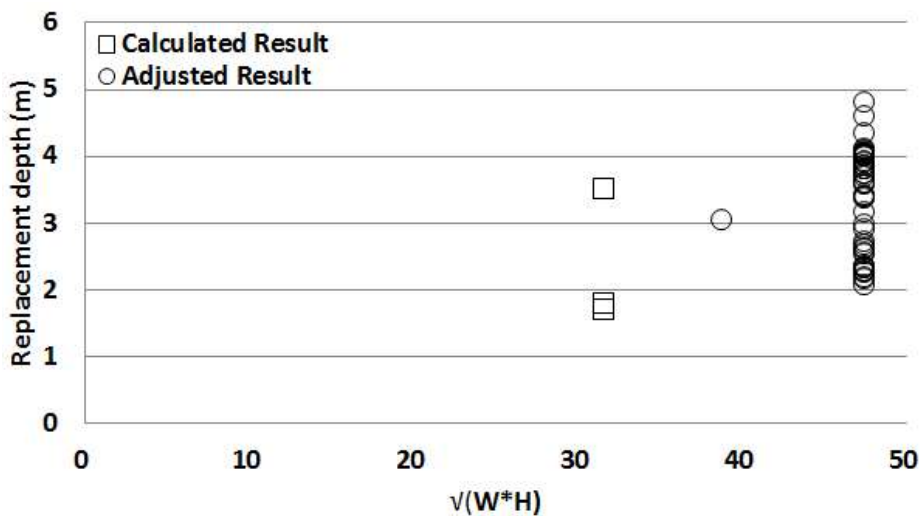


Fig. 7. Relationship between replacement depth and \sqrt{WH} after preliminary and main Dynamic Replacement constructions

4. 결론

동치환공법은 이론적 배경이 명확히 정립되어 있는 것이 아니라, 경험적인 부분에 의존하는 부분이 많다. 동치환 공법이 모래, 실트, 점성토 지반까지 적용성이 다양하지만 실트질 점토지반을 연구 대상 지반으로 선정하여 예비 동치환, 본시공 동치환의 조사, 시험 및 계측결과를 기본으로 연약지반 두께, 동치환 심도, 직경, 치환율, 낙하횟수, 낙하고와 간격을 변화시킨 모든 경우에 대해 영향을 고찰하였다. 각각의 결과를 근거로 도출한 결론은 다음과 같다.

- (1) 동다짐공법에 준하여 계획하고 동치환 구근심도, 직경, 치환율 확인을 위해 예비 동치환을 실시하였다. 계획값과 비교한 결과 중추의 무게, 낙하고, 낙하횟수를 변경시켜 동치환 타격시방을 확정하였다.
- (2) 예비 동치환 시 도로 3로, 도로 4로에 시추조사와 연약지반 계측을 수행함과 동시에 동치환 시방규정을 변경하여 시공하였고, 백호로 굴착한 결과, 계획직경은 2.0 m 이나 시공된 동치환 직경은 2.4~3.2 m 이고, 구근심도가 대부분 계획심도 이상임을 확인하였다.
- (3) 치환심도 및 타격당에너지, 치환심도 및 단위면적당 타격에너지, 치환심도 및 타격횟수, 치환심도 및 낙하고와의 관계 그래프를 보여 주었고, 타격당에너지, 단위면적당 타격 타격에너지, 타격횟수 및 낙하고는 치환심도가 깊을수록 비례하여 커지는 경향을 보였다. 중추의 규격이 100 kN, 150 kN의 2 종류이며 동일지점이 아니므로 위치에 따라 연약지층의 두께가 다르고 연약정도가 다르므로 동일한 단위면적당 타격에너지에서 치환심도의 편차가 발생하고 있다.
- (4) 동치환 현장실험시 얻은 자료를 바탕으로 치환심도에 따른 타격에너지 \sqrt{WH} 와의 관계 그래프를 보여주었다. 동치환 시 본 연구에서 수행한 실트질 점토 지반의 경우 시험분석 결과, 지반 실험계수 n_R 값이 0.14~0.32 으로 제시된 표의 값보다 40~80% 작게 나오므로 원하는 동치환 심도를 얻기 위해서는 낙하에너지를 조정하여야 하며 중추의 무게나 낙하고를 1.25~2.5 배 정도 증가시켜야 한다는 결론을 도출했다.

References

- [1] Gambin, M. P.(1979), "Menard Dynamic Consolidation", presented at ASCE Seminar on Ground Reinforcement, George Washington University, Washington, D.C., Jan.
- [2] Mayne, P. W., Jones, J. S.(1983), "Impact Stress during Dynamic Compaction", Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 10, Oct., 1983, pp.1342-1347.
- [3] Mayne, P. W., Jones, J. S. and Dumas, J. C.(1984), "Ground Response to Dynamic Compaction", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.110, No.6, pp.757-774.
- [4] Qian, J. H.(1986), "Dynamic Consolidation from Practice to Theory", 8th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp.213-217.
- [5] Chow, Y. K., Lee, S. L.(1994), "Dynamic Compaction of Loose Granular Soils: Effect of Print Spacing", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.120, GT.7, pp.1115-1133.
- [6] Menard, L., Broise, Y.(1975), "Theoretical and Practical Aspects of Dynamic Consolidation", Geotechnique 25. No.1, pp.3-18.
- [7] Federal Highway Administration.(1995), "Dynamic Compaction", Geotechnical Engineering Circular No.1, pp.27-38.
- [8] Bowles, J. E.(1988), Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill, 4th edition.