

구조물 기초보강용 짧은 쇄석다짐말뚝(Geopier)의 적용성 및 활용방안에 관한 연구 Application of Rammed Aggregate Pier(Geopier) for Foundation Reinforcement of Structures

정경환¹⁾, Gyong-Hwan Joeng, 정선태²⁾, Sun-Tae Jung, 문준배³⁾, Jun-Bai Moon, 김동준⁴⁾, Dong-Jun Kim, 백경종⁵⁾, Kyung-Jong Baek

¹⁾ (주)동아지질 대표이사, Chief Executive Officer, Dong-A Geological Engineering Co., LTD

²⁾ (주)동아지질 설계2부 부장, General Manager, Dong-A Geological Engineering Co., LTD

³⁾ (주)동아지질 설계2부 차장, Deputy General Manager, Dong-A Geological Engineering Co., LTD

⁴⁾ (주)동아지질 설계2부 기사, Engineer, Dong-A Geological Engineering Co., LTD

⁵⁾ (주)다솔컨설턴트 대표이사, Chief Executive Officer, DASOL Consultant Co., LTD

SYNOPSIS : Geopier soil reinforcement system which crushed aggregate is put into a hole and rammed the aggregate with tamper is a viable alternative to deep foundation to over-excavation and replacement. Also, Geopier is intermediate foundation of deep and shallow foundation. In this paper, the value of Geopier element stiffness modulus(K_g) when designed is compared with the measured value(K_g) by the in-situ modulus Load test in the field. Also, this paper presents a technology overview of system capabilities and application for foundation reinforcement of structures.

Keywords : Rammed Aggregate Pier, Geopier, Settlement, Stiffness Modulus, Modulus Load Test

1. 서론

국내에서 다짐 방식에 의한 말뚝은 진동쇄석말뚝과 모래다짐말뚝 등으로 구분되어 적용되고 있다. 모래다짐말뚝은 연약지반에서의 배수기능 및 일부 연약 사질토 지반의 액상화 방지 또는 지반보강 개념으로 오래 전부터 이용되어 왔다. 진동쇄석말뚝의 경우, 모래 대신 쇄석을 이용하여 지반개량효과 및 침하 방지대책으로 개발되어 실무에 적용되고 있다. 이와 같이, 자갈이나 쇄석과 같은 비교적 강성이 크고 압축성이 작은 재료를 지중에 다짐말뚝을 형성하여 지반을 보강하는 공법은 최근 들어 국내에서도 그 활용빈도가 급격히 증가하고 있는 실정이다(황정순, 2004).

해외에서는 모래말뚝 및 쇄석말뚝(Stone Column)은 매우 다양하게 활용되고 있으며, 진동쇄석말뚝의 경우, 쇄석을 진동 다짐하는 Vibrator로 말뚝 상단에서 천공 Rod를 흔들며 다지는 국내의 진동쇄석말뚝과는 달리 Vibrator가 말뚝선단에 놓여 쇄석투입과 동시에 하부에서 진동을 일으켜 다지는 Deep Vibrator 방식을 사용하고 있어 국내에서 시공되어지는 방식보다 훨씬 확실한 다짐 및 계획공경(Hole Diameter)을 형성할 수 있다.

한편, 짧은 쇄석다짐말뚝(이하 Geopier)은 Vibrator가 아닌 Compaction을 이용하는 방법으로 현재 미국 Geopier사를 중심으로 미국은 물론 필리핀, 인도, 말레이시아, 독일, 러시아 등 전 세계적으로 활용성을 넓혀가고 있다. Geopier는 각종 건축구조물의 기초보강에서부터 연약지반상의 도로 지반보강, 제방기초, 액상화 방지, 지진 및 풍하중에 의한 인발하중(Uplift Load)억제 등에 적용되고 있다.

국내의 경우 그 적용사례가 적고, 재하 시험을 통한 설계지지력 확인 등의 계측데이터가 없는 실정으로 실제 현장적용을 위한 설계시 구조 검토나 지지력 산정에 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 구조물 기

초보강용으로 Geopier를 적용했을 때, 미국 시공사례를 기초로 하여 Geopier 설계 매뉴얼(Fox and Cowell, 1998)에 제안된 설계값(표 2.1)과 국내 현장재하시험을 통하여 얻어진 Geopier의 강성계수(K_g)를 비교 검토하여 설계시 적용된 K_g 의 타당성을 평가하고, Geopier의 적용성 및 활용방안을 제시하고자 한다.

2. Geopier의 이론적 고찰

2.1 개요

Geopier는 연약지반에서 천공 후 높은 다짐에너지로 쇄석을 다짐으로서 원지반의 전단강도 및 지지력을 높이는 공법으로 긴 말뚝과 직접 기초의 중간개념(Intermediate Foundation)의 기초 보강공법이다. 일반적으로 사용하는 Geopier의 유효단면은 800 mm 정도이며, 시공가능 깊이는 10 m 내외로서 시공 방법은 대구경 Auger에 의한 천공후 바닥에 골재를 붓고 전용 Rammer로 다져 구근을 형성한다(그림 2.1).



그림 2.1 시공 개요

다짐을 통하여 형성된 Geopier는 수평토압을 증가시켜 마찰전단저항을 증가시키게 된다. 이렇게 형성된 Geopier는 지반보강 및 기초공법 용도로 사용되며 원지반의 전단강도를 증가시켜 침하량을 기준치 내로 제어함으로써 상부구조물을 지지한다. 국외 400여 개 이상의 현장에서 시공한 결과 Geopier의 내부 마찰각은 $49 \sim 52^\circ$ 범위(Fox and Cowell, 1998)이고, 강성(Stiffness)은 시공 전과 비교하여 원 지반 강성의 10 ~ 50배 인 것으로 나타났다.(그림 2.2, 2.3)(Lawton, 2000).

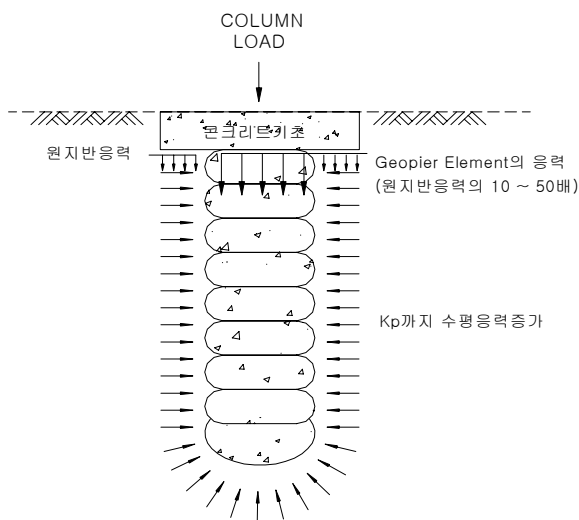


그림 2.2 Geopier 하중지지 Mechanism

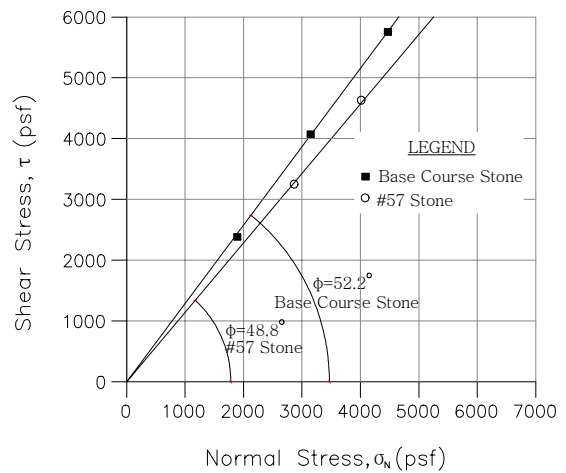


그림 2.3 Geopier의 직접전단시험결과

2.2 Geopier의 침하량 산정

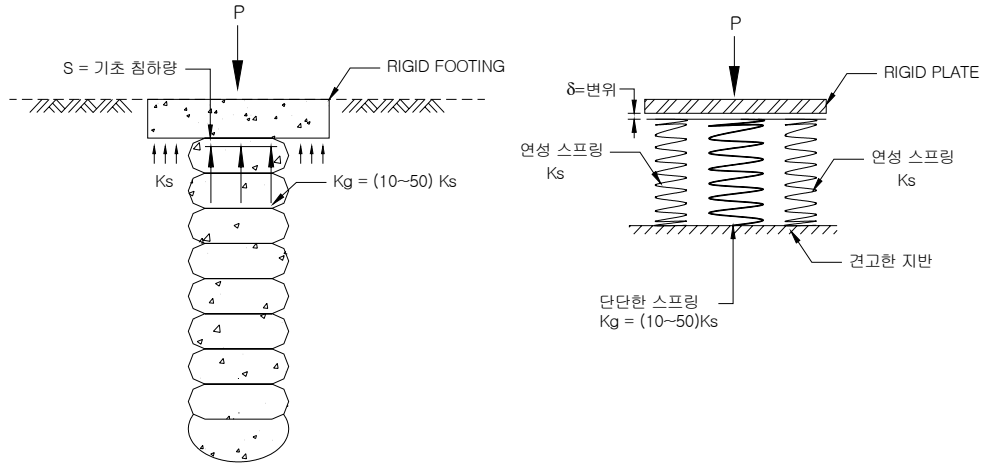


그림 2.4 Geopier 기본 개념도

Geopier는 설치길이에 따라 크게 상부영역(Upper Zone)과 하부영역(Lower Zone)으로 구분된다. 따라서, Geopier의 전체침하량은 식(1)과 같이 상부영역과 하부영역의 침하량을 각각 더하여 산정하며, 상부영역 침하량 계산은 그림 2.4와 같이 Spring analogy에 근거하여 산정하고 하부영역 침하량은 지반 조건에 따라 사질지반 또는 점성토 지반으로 구분되어 즉시침하와 압밀침하로 산정한다(Lawton, Fox, 1994). 각각의 영역에서 침하량 산정방법은 다음과 같다.

$$S_{\text{FOOTING}} = S_{\text{UZ}} + S_{\text{LZ}} \quad (1)$$

여기서, S_{UZ} 는 상부보강영역 침하량, S_{LZ} 는 하부미보강영역 침하량이다.

2.2.1 상부영역(Upper Zone) 침하량 산정

말뚝기초의 경우 말뚝이 총하중을 지지하는 것과 달리, Geopier의 경우 Geopier와 원지반이 함께 상부하중을 지지한다.

$$Q = q A = Q_g + Q_s = q_g A_g + q_s A_s \quad (2)$$

여기서, q 는 개랑지반의 허용지지력, A 는 기초 전체면적, q_g 는 Geopier 수직응력, A_g 는 Geopier 단면적, q_s 는 원지반 수직응력, A_s 는 원지반 면적이다. 상부의 기초가 강성인 경우 원지반과 Geopier는 동일한 침하거동을 보인다. 기초 침하는 식(3)과 같이 Geopier응력과 Geopier의 강성계수(K_g) 또는 원지반이 부담하는 응력과 원지반의 강성계수(K_s)의 관계이다.

$$\begin{aligned} S_{\text{UZ}} &= \text{Geopier 침하량} = \text{원지반 침하량} \\ &= \frac{q_g}{K_g} = \frac{q_s}{K_s} \end{aligned} \quad (3)$$

원지반이 부담하는 응력은 식(4)와 같이 Geopier가 부담하는 응력과 Geopier와 원지반 강성비(R_s)의 관계로 표현된다. 즉, 강성비 만큼 하중을 분담하여 지지한다.

$$q_s = q_g \left(\frac{K_s}{K_g} \right) = \frac{q_g}{R_s} \quad (4)$$

여기서, R_s 는 강성비(= K_g/K_s)이다.

식 (4)를 식(2)에 대입하여 면적비($R_a = A_g/A$)와 강성비(R_s)로 나타내면 식(5)와 같다.

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{A_g}{A} \times q_g + \frac{A - A_g}{A} q_s \\
 &= R_a \times q_g + (1 - R_a) \frac{q_g}{R_s} \\
 &= \frac{q_g}{R_s} (1 + R_a R_s - R_a)
 \end{aligned} \tag{5}$$

식(5)의 Geopier의 수직응력(q_g)를 개량지반의 허용지지력(q)에 대하여 정리하면 식(6)과 같다.

$$q_g = \frac{q R_s}{1 + R_a R_s - R_a} \tag{6}$$

식(6)을 식(3)에 대입하여 정리하면 상부영역(Upper Zone)의 침하량은 다음 식(7)과 같다.

$$S_{UZ} = \frac{q R_s}{(1 + R_a R_s - R_a) K_g} \tag{7}$$

또한, 표 2.1은 상부영역 침하량 산정시 적용되는 Geopier의 초기 설계 값으로 여러 지반조건과 하중 조건에서 현장시험 및 실내시험을 통하여 얻어진 결과 값이다.

표 2.1 Geopier 초기 설계 값(Fox 등, 1998)

N 값	일축압축강도 (UCS) kN/m^2	모래 & 모래질 실트			실트 & 점토			Peat		
		허용지지력 (q) kN/m^2	Geopier 지지력 (Q_{cell}) kN	강성계수 (K_g) MN/m^3	허용지지력 (q) kN/m^2	Geopier 지지력 (Q_{cell}) kN	강성계수 (K_g) MN/m^3	허용지지력 (q) kN/m^2	Geopier 지지력 (Q_{cell}) kN	강성계수 (K_g) MN/m^3
1 ~ 3	10~49	235.4	289.0	44.8	215.7	229.1	33.9	166.7	139.5	20.3
4 ~ 6	49~108	328.5	408.5	61.1	235.4	318.8	47.5	196.1	199.3	29.8
7 ~ 9	108~167	333.4	478.3	70.6	328.5	388.6	57.0	235.4	249.1	33.9
10 ~ 12	167~216	382.5	518.1	77.4	333.4	448.4	67.9	N/A	N/A	N/A
13 ~ 16	216~284	411.9	567.9	84.1	333.4	478.3	70.6	N/A	N/A	N/A
17 ~ 25	284~383	431.9	587.9	88.3	362.8	498.2	74.6	N/A	N/A	N/A
25 이상	383 이상	480.5	657.6	97.7	382.5	538.1	81.5	N/A	N/A	N/A

2.2.2 하부영역(Lower Zone)침하량 산정

Geopier구근 아래인 하부영역의 침하는 각종 시험을 통하여 얻어진 흙의 탄성계수(E)내지 압밀계수를 이용하여 아래와 같이 탄성침하 또는 압밀침하 이론식을 사용 산정한다.

사질지반에서는 Geopier가 탄성거동을 한다고 가정하여 하부영역의 침하량(S_{LZ})을 식(8)과 같이 산정한다.

$$S_{LZ} = \frac{q I_a}{E} H_{LZ} \tag{8}$$

여기서, q 는 작용하중, I_a 는 그림 2.5와 같이 Westergaard의 응력영향계수(Bowles, 1977), E 는 지반의 탄성계수, H_{LZ} 는 하부영역의 두께이다.

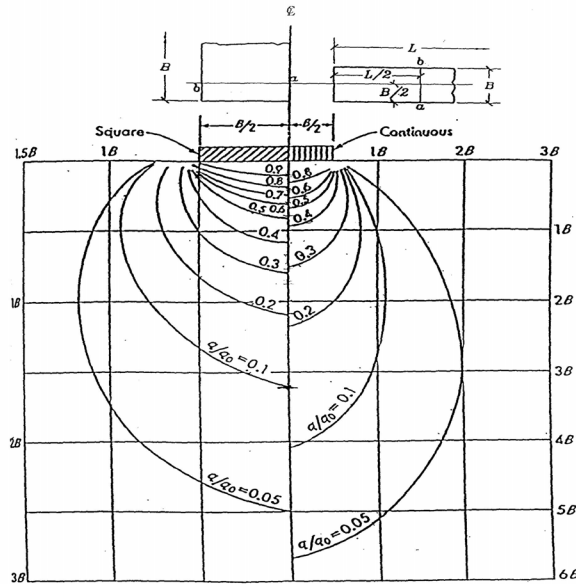


그림 2.5 Westergaard 응력분포도

하부영역의 지반조건이 점성토층인 경우 하부영역 침하량 (S_{LZ})은 식(9)와 같이 계산되어진다.

$$S_{LZ} = H_{LZ} \cdot c_{\epsilon} \cdot \log \left(\frac{p_f}{p_o} \right) \quad (9)$$

여기서, H_{LZ} 는 하부영역의 깊이, c_{ϵ} 은 변형율-응력(Strain-Log Pressure)곡선에서 처너 혹은 재압 축곡선의 기울기, p_o 는 기초가 설치되기 이전 지반의 초기유효수직응력, p_f 는 하중이 재하된 최종유효 수직응력(= $p_o + I_{\sigma} q$), q 는 작용하중이다.

Geopier 설치로 인한 응력 영향원의 깊이는 기초 형식에 따라 표 2.2와 같이 구분하고, 하부영역(Lower Zone)의 깊이(H_{LZ})는 영향원의 깊이와 상부영역(Upper Zone) 깊이의 차이와 같다.

표 2.2 Geopier 설치에 따른 응력 영향원 깊이(Fox 등, 1998)

구분		응력 영향원 깊이(H)	비고
독립기초	정사각형 기초	$2 \times B$	B : 기초 폭
	직사각형 기초	$2 \times B'$	$B' : (B \times L)^{0.5}$, L : 기초길이
줄기초 및 연속기초		$4 \times B$	B : 기초 폭 또는 Geopier 길이

2.3 Modulus Load Test

말뚝재하시험과 동일한 방식으로 실시하고 Modulus Load Test는 설계시 가정한 Geopier의 강성계수 (K_g)를 확인하기 위한 시험으로써 별도의 시험공이 아닌 본 공에 시험을 할 경우 설계 하중(Δq)의 150%까지 하중을 재하하고, 이 때의 침하거동을 분석함으로써 식(10)과 같이 강성계수를 확인한다.

$$K_g = \frac{\Delta q}{\Delta S}, \text{ N/m}^3 \quad (10)$$

3. 현장시험

3.1 시험 목적

Geopier의 현장 적용성 평가를 위하여 국내 공사 현장 2개소에서 Geopier를 설계·시공하였으며, 설계 시에 적용한 Geopier의 강성계수(K_g)와 Modulus Load Test를 통하여 확인된 강성계수를 비교하여 그 타당성을 검토한다. 설계시 적용되는 K_g 는 국외 현장에서 시험 결과에 근거하여 선정되었으며, 본 시험시공을 통하여 국내의 적용성을 평가하고자 한다.

3.2 시험 개요

Geopier의 강성계수(K_g)는 재하하중을 이용하여 결정할 수 있고, 설계 하중의 150 %까지 단계적으로 재하 하였다. 최대 설계하중은 A 현장의 경우 402.1 kN, B 현장의 경우 313.8 kN으로 하였으며, 하중 증가는 표 3.1과 같이 적용하였다. 시험반력은 시험공에 인접한 Geopier 4개소에 인장용 강봉을 설치하여 적용하였고, Geopier 바닥면 침하량 평가를 위하여 Telltale을 Geopier 하부에 설치하였다. Modulus Load Test에 대한 시험전경과 개요도는 그림 3.1, 그림 3.2와 같다.

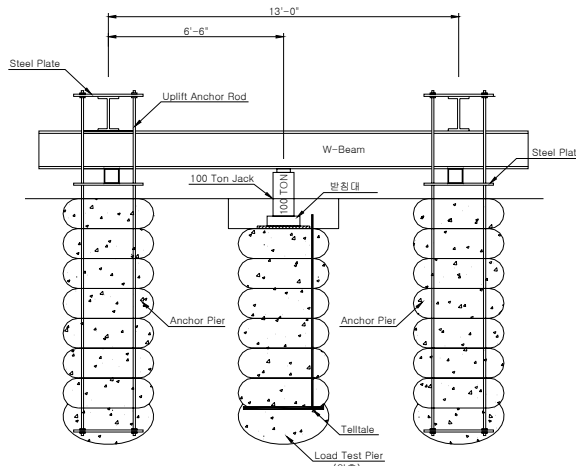


그림 3.1 Modulus Load Test 개요도

각각의 하중이 증가함에 따라 정밀도 1/100 mm의 다이얼 게이지 두 개를 사용하여 변위를 측정하고 기록하였다. 하중은 표 3.1과 같이 최소재하시간을 유지하였고, 두 개의 다이얼 게이지 측정값 중 변형률이 시간당 0.1 mm이하 이거나 최대재하시간에 도달할 때까지 재하 하였다. 그 때 각각의 하중 증가에 따른 침하량을 그래프로 나타내었다.



(a) A 현장 시험 전경



(b) B 현장 시험 전경

그림 3.2 시험 전경

표 3.1 Modulus Load Test 재하 하중 및 시간

구분 단계	재하 하중			최소 재하시간 (분)	최대 재하시간 (분)
	비율 ($\times Q_{cell}$, %)	A 현장 (kN/m ²)	B 현장 (kN/m ²)		
Seat	9 이하	78.6	61.4	N/A	N/A
1	17	148.6	116.0	15	60
2	33	288.4	225.2	15	60
3	50	427.1	340.9	15	60
4	67	585.7	457.1	15	60
5	83	725.5	566.2	15	60
6	100	874.1	682.2	15	60
7	117	1,022.6	798.3	60	240
8	133	1,162.5	907.4	15	60
9	150	1,311.1	1,203.4	N/A	N/A
10	100	874.1	682.2	N/A	N/A
11	66	647.2	450.3	N/A	N/A
12	33	288.4	225.2	N/A	N/A
13	0	0.00	0.00	N/A	N/A

3.3 현장 개요

□□□□동 복합빌딩 신축공사 현장(이하 A 현장)□□에는 지상 4층·지하 1층 건축구조물의 기초안정을 위한 목적으로 Geopier를 적용하였다. 지반조사결과 지하수위는 풍화토 구간인 G.L.(-)10.00 ~ 11.50 m에 위치하였고, 지층조건은 표 3.2와 같다. 건축구조물 기초가 놓이는 붕적토층의 평균 N 값이 5/30회 가량으로 침하 및 지지력 확보에 대한 방안이 요구되었다.

□□□□동 오피스텔 지하주차장 기초공사 현장(이하 B 현장)□□은 지하주차장 기초의 안정을 위한 목적으로 Geopier를 적용하였으며, 본 현장의 지하 터파기 심도가 G.L.(-)5.36 ~ 7.36 m로 연약한 실트층으로 이루어져 있어 전면기초만으로 지지력의 확보가 어려울 것으로 판단되었다. 본 현장의 지하수위는 G.L.(-)10.00 m에 위치하였고, 지층조건은 표 3.3과 같다.

표 3.2 A 현장 지층조건

주상도	지층 현황
	<ul style="list-style-type: none"> 자갈 섞인 실트질 모래 N-Value : 4/30 ~ 5/30
	<ul style="list-style-type: none"> 모래질 점토 N-Value : 3/30 ~ 19/30
	<ul style="list-style-type: none"> 실트질 세립모래 N-Value : 15/30 ~ 50/14

표 3.3 B 현장 지층조건

주상도	지층 현황
	<ul style="list-style-type: none"> 모래 섞인 자갈
	<ul style="list-style-type: none"> 모래 섞인 실트 N-Value : 4/30 ~ 12/30
	<ul style="list-style-type: none"> 모래 섞인 자갈 N-Value : 30/30 ~ 50/12

3.4 Geopier 설계

Geopier의 적용성 평가를 위한 Modulus Load Test에 앞서 2.2항에 제시한 침하량 산정방법에 따라 Geopier를 설계하였고, 그 결과를 표 3.4에 나타내었다. Geopier에서 침하량은 상부영역과 하부영역으로 나누고, 각각의 침하량을 합산하여 산정한다. 본 연구에서는 상부영역 침하량 산정시 적용되는 강성계수 (K_g)의 평가가 주 목적이므로 하부영역의 침하량 산정은 제외하였다.

표 3.4 상부영역(Upper Zone) 침하량 산정

구분		A 현장	B 현장	비고
설계조건	작용하중(Q, kN/m ²)	98.1	98.1	
	기초폭(B, m)	19	19.4	
	허용침하량(S _a , mm)	25.4	25.4	
지반조건	N 값(회)	5	5	표 3.2, 표 3.3 참조
	허용지지력(q _a , kN/m ²)	62.3	62.3	Bowles(1982)
	강성계수(K _s , MN/m ³)	2.45	2.45	= q _a /S _a
Geopier 제원	직경(d, m)	0.76	0.76	
	지지력(Q _{cell} , kN)	402.1	313.8	표 2.1 참조
	강성계수(K _g , MN/m ³)	61.1	47.5	
	간격(S, EA)	3.0	2.2	
	면적비(R _a)	0.05	0.10	= A _g /A _s
	강성비(R _s)	24.93	19.37	= K _g /K _s
침하량	상부영역 침하량(S _{UZ} , mm)	18	15	식(7)

3.5 시험결과

국내 두 곳의 현장에서 행한 Geopier의 Modulus Load Test 결과를 그림 3.3, 그림 3.4에 나타내었다. 강성계수(K_g)는 2.3절의 식(10)과 아래 식(11)의 산정과정을 통하여 얻을 수 있다. 산정결과 A 현장의 경우 63.7 MN/m³, B 현장의 경우 51.6 MN/m³로 나타났다. 여기서, ΔP₁은 초기시험하중, ΔP₂는 Geopier 설계하중, Δs₁은 Geopier 바닥면 침하량, Δs₂는 Geopier 상부침하량이다.

$$K_g = \frac{\Delta q}{\Delta s} = \frac{\Delta P_2}{\Delta s_2} \quad (11)$$

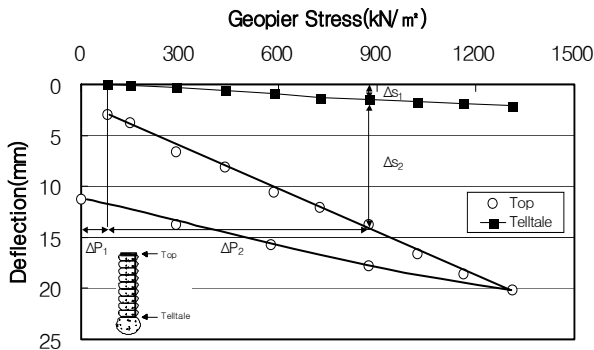


그림 3.3 A 현장 Modulus Load Test 결과

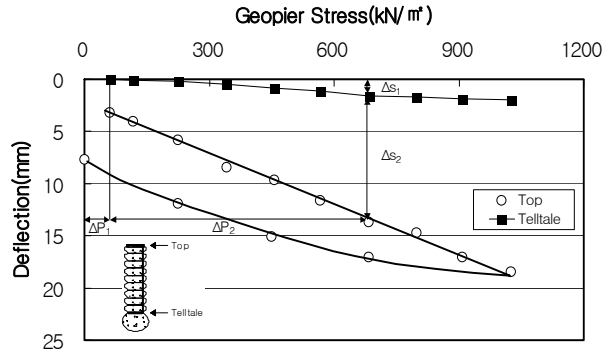


그림 3.4 B 현장 Modulus Load Test 결과

3.6 결과분석

Modulus Load Test 결과 시험을 통하여 확인된 Geopier의 강성계수는 Fox(1998) 등이 제안한 Geopier 초기 설계 값(표 2.1)보다 A 현장은 4%, B 현장의 경우 8% 큰 것으로 나타났다(표 3.5, 그림 3.5). 이는 Geopier 보강에 따른 상부영역 침하량 예측시 적용되는 강성계수(K_g)가 국내 현장 적용에도 적합한 것으로 판단된다.

표 3.5 Modulus Load Test 결과

구분	Geopier 강성계수(K _g , MN/m ³)		평가	비고
	설계 값	시험 결과		
A 현장	61.1	63.7	4% ↑	% = (시험 결과)/(설계 값)
B 현장	47.5	51.6	8% ↑	

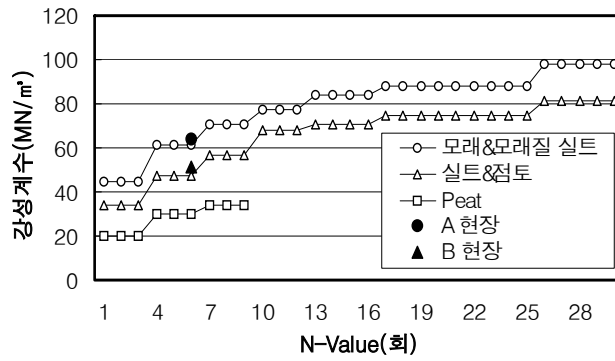


그림 3.5 Modulus Load Test 결과

4. Geopier의 향후 활용방안

4.1 연약지반 액상화(Liquefaction) 방지

Geopier는 국외 다수의 현장에서 경제성 있는 액상화 저감 대책(그림 4.1)으로 평가되었다. Geopier 말뚝체는 gravel drain으로서 작용하여 지진 등의 급격한 간극수압 상승을 효과적으로 소산시킬 수 있는 배수 통로로서 역할을 하고, 시공시 쇄석을 다짐으로서 발생하는 횡방향 응력은 주변의 원지반을 다지는 효과가 있고, 이에 의해 원지반의 전단강도가 커져 액상화에 대한 저항력을 증가시킨다. 또한, Geopier는 주변지반보다 강성이 더 크기 때문에 보강지반에 작용하는 지진하중은 강성이 큰 말뚝체에는 큰 하중이, 강성이 작은 원지반에는 보다 작은 하중이 전달되는 하중분배효과를 유발한다. 따라서, Geopier로 치환된 부분은 지진하중 작용시 지반내부에 발생하는 큰 전단응력을 소산시키는 역할을 함으로써 보강지반은 동일한 진동하중에 대해 결과적으로 더 큰 저항력을 발휘한다.

그림 4.2는 Geopier로 보강된 복합지반의 지진하중에 대한 하중분배효과에 대한 개념도이다.

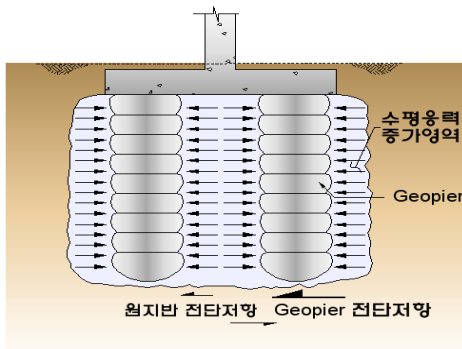


그림 4.1 Geopier에 의한 액상화 방지

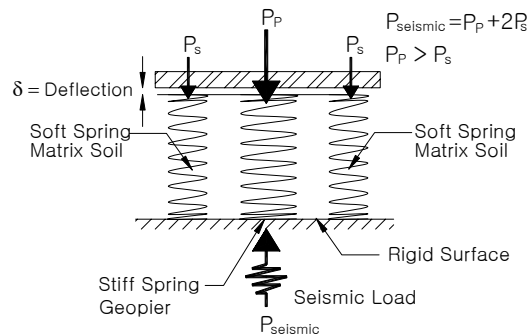


그림 4.2 Geopier 보강지반의 하중분배효과

4.2 도로 및 철도 성토사면 안정

Geopier의 시공은 기초 지반의 전단강도(점착력, 내부마찰각)를 증가시키며, 시공된 지반에 대해서는 복합 전단강도($\tau_{\text{composite}}$)를 사용하여 사면안정에 대한 검토를 실시한다. 도로 등의 설치를 목적으로 하는 성토하부에 Geopier 적용시 상부하중을 Geopier가 지지하므로 압밀방치 기간과 Pre-loading이 필요 없고, 성토사면의 안정성 확보는 물론 노상 침하억제 효과도 기대할 수 있다(그림 4.3).

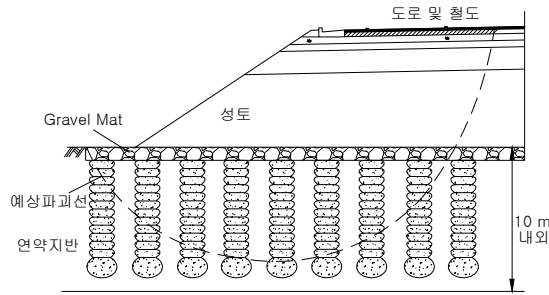


그림 4.3 Geopier에 의한 성토사면 안정

5. 결론

건축구조물 기초보강용으로서의 Geopier의 적용성을 평가하기 위하여, 침하량 산정과 현장시험인 Modulus Load Test를 실시하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. Geopier로 보강된 A 현장과 B 현장의 강성계수 (K_g)는 각각 61.1 MN/m^3 , 47.5 MN/m^3 로 적용했을 때 상부침하량은 각각 18 mm, 15 mm로 산정되어 허용침하량 25.4 mm를 만족하는 것으로 나타났다.
2. 침하량 산정시 적용된 강성계수를 평가하기 위한 현장 Modulus Load Test 결과 A 현장의 경우 63.7 MN/m^3 , B 현장의 경우 51.6 MN/m^3 로 나타났으며, 이는 설계시 적용한 강성계수보다 A 현장은 4 %, B 현장의 경우 8 % 큰 것으로 평가되어, 상부영역 침하량 예측시 적용된 강성계수 (K_g)가 국내 현장 적용에도 적합한 것으로 판단된다.
3. Geopier 설계 매뉴얼에 제안된 설계값(표 2.1)은 국외 현장을 대상으로 시험한 결과를 근거로 작성된 것으로, 향후 국내 여러 현장을 대상으로 추가적인 시험을 시행하여 그 결과를 그림 3.5와 같이 종합하여 국내 여건에 맞는 설계값의 도출이 요구된다.
4. 연약지반에 천공후 높은 다짐에너지로 쇄석을 다짐으로서 원지반의 전단강도 및 지지력을 높이는 Geopier는 향후 액상화 방지 및 성토사면 안정을 위한 방안으로 활용이 가능하다.
5. 도로 및 철도 등의 시공을 위한 연약지반 처리시 압밀배수를 통한 기존의 시공방법을 개선하여 직접 도로 및 철도 하중을 지지하는 구조로 Geopier를 효과적으로 적용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 황정순(2004), “연약지반에 설치된 조립토 다짐말뚝의 극한지지력 및 침하량 산정기법”, 홍익대학교 대학원 박사학위 청구논문, p. 1.
2. Bowles(1977), “Foundation Analysis and Design”, pp. 84 ~ 156.
3. Fox N. S. and Michael J. Cowell(1998), Geopier Foundation and Soil Reinforcement Manual, pp. 55 ~ 100.
4. Lawton E. C.(2000), “Performance of Geopier foundation during simulated seismic tests at South Temple Bridge on Interstate 15, Salt Lake City, Utah” Report No. UUCVEEN 99-05, University of Utah Department of Civil and Environmental Engineering, Salt Lake City, Utah.
5. Lawton E. C. and N. S. Fox(1994), “Settlement of structures supported on marginal or inadequate soils stiffened with short aggregate piers”, Geotechnical Specialty Publication No.40, Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments, ASCE, 2, pp. 962 ~ 974.