

RAP의 배치형태에 따른 지지력에 관한 연구

A Study on Bearing Capacity for Installed Rammed Aggregate Pier

김영훈¹⁾ · 조창구²⁾ · 천병식[†]

Kim, Younghun · Cho, Changkoo · Chun, Byungsik

ABSTRACT : Rammed Aggregate Pier (RAP) method is intermediate foundation between deep and shallow foundation, and it has been built in world wide. RAP represents a relatively new method that has grown steadily over 19 years since Geopier of USA developed this revolutionary method in 1989. The investigation and research in domestic is not accomplished. In this paper, the examined details of different spacing of piles, bearing capacities, respectively, conclude with recommendations on how RAP can be used in future needs. This documentation further provides comparisons of the laboratory test results which were obtained from changing the spacing of piles, namely installed rammed aggregate pier. Laboratory model test was administered in a sand box. Strain control test was conducted to determine the bearing capacities of the piers; 20 mm, 30 mm and 40 mm RAP in diameter using drilling equipment to make holes were installed in sand at initial relative densities of 40%. By comparing different spacing of piles, in this experiment, piles are spaced structurally span, form a ring shape, narrowing the distance of each other, to the center. the result shows that as diameter of pier is bigger in diameter, bearing capacity also dramatically increased due to raised stiffness. Also, as the space between each piers was closed, the settlement rate of soil was decreased significantly. From the test results, as the space between each piles were getting closer, it allows greater chances to have more resistance to deformation, and shows more improved stability of structures. After from the verification work which is continuous leads the accumulation of the site measuring data which is various, and bearing capacity and the settlement is a plan where the research will be advanced for optimum installed RAP.

Keywords : RAP (Rammed Aggregate Pier), Model Test, Similarity Role

요 지 : 짧은 쇄석다짐말뚝 공법(RAP)은 깊은 기초와 얇은 기초의 중간개념으로 1989년 미국에서 시작하여 세계적으로 활용성을 넓혀가고 있다. 국내의 경우, 체계적인 조사 및 연구가 이루어지지 않아 실제 현장에 적용하기 위한 설계시방이나 지지력 산정방법 등의 확보가 시급한 실정이다. 본 연구는 RAP공법의 구조물 기초로서의 배치형태에 따른 지지력 측정을 통해 사용성 확보를 위한 기초연구로서, 지지력 측면에서 최적의 배치에 대한 적용방안을 검증하기 위해서 이루어졌다. RAP공법이 적용된 지반의 지지력을 실내모형토조시험을 통하여 검토하였다. 연구방법은 사질토로 조성된 모형지반에 RAP의 배치형태별(정방형, 육각형, 십자형, 마름모형), 직경별(20mm, 30mm, 40mm)로 변위제어시험을 수행하여 RAP의 지지력을 검토하였다. 실험결과, 중심간 간격이 좁아짐에 따라 인접한 말뚝에 의한 구속효과 및 변형억제 등의 상호작용 효과가 증대되어 지지력이 증가하였으며, 직경이 커질수록 강성이 커져서 지지력이 증가하였다. 또한, 말뚝의 중심간격이 좁아짐에 따라 주변지반이 조밀해지면서 침하량도 감소하였다. 향후 다양한 현장측정자료의 축적을 통한 지속적인 검증작업과 침하량 및 지지력 측면에서 RAP의 최적 배치형태에 대한 연구가 요망된다.

주요어 : 짧은 쇄석다짐말뚝, 모형실험, 사상법칙

1. 서 론

짧은 쇄석다짐말뚝공법(이하, RAP(Rammed Aggregate Pier))은 진동방식이 아닌 다짐방식을 이용하는 방법으로 현재 미국 Geopier사를 중심으로 미국내 뿐만 아니라 필리핀, 인도, 말레이시아, 독일 등 전 세계적으로 활용성을 넓혀가고 있다. 미국에서는 1989년 최초로 시공된 후 현재까지 300개가 넘는 구조물에 적용되어 안정성을 인정받고 있다. 국내의 경우, 최근에 이르러 일부 지역에 건축물 기초로 적용되고 있으나, 체계적인 조사 및 연구가 이루어지지 않아 실제 현

장에 적용하기 위한 설계시방이나 지지력 산정방법 등의 확보가 시급한 실정이다(김경민, 2005).

국내외의 선행연구조사결과 RAP의 배치에 대한 지지력 효과에 대한 연구성과는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 지지력 측면에서 RAP의 최적 배치에 대한 적용방안을 검증하기 위해서 이루어졌다.

본 연구에서는 다양한 방법으로 RAP를 배치한 후 다시 낙하고 250mm에서 강사 후 쇄석을 넣고 다짐을 실시하였다. 직경을 20, 30, 40mm로 달리하여 실험을 실시하였고, 말뚝의 중심간 거리를 달리하여 실험을 실시하여, 지지력을

1) 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 석·박사과정

2) 정희원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

† 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail : Hengdang@unitel.co.kr)

비교하였다. 기존의 연구는 RAP의 지지력, 파괴거동 등에 관한 연구가 진행되었으나, RAP 배치형태(정방형, 육각형, 십자형, 마름모형)별 지지력에 관한 연구가 미흡한 실정이다. 그 결과 RAP의 다양한 배치형태에 대한 극한지지력을 평가하기에는 어려운 한계성이 있었다. 따라서 본 연구에서는 향후 수행될 지지력에 대한 RAP의 최적설계를 위한 선행단계로서, 다양한 배치형태로 설치된 RAP에 대해서도 극한지지력의 평가가 가능한 방법을 제시하고, RAP의 다양한 배치형태에 대한 극한지지력을 평가하여 지지력 측면에서 최적 배치형태를 제시하였다. RAP을 이용하여 상대밀도 40%에서 직경을 달리하여 실험을 추가하였고, 원지반의 지지력과 비교하여 실험하였다.

2. 이론적 배경

2.1 RAP 공법의 특성

짧은 쇄석다짐말뚝공법(RAP)은 깊은 기초와 얇은 기초의 중간개념으로 직경 750mm 내외, 깊이 2000~7000mm의 굴착공(그림 1)을 천공한 후 바닥에 골재를 깔고 다짐으로써 구근을 형성하고 단계별로 골재갈기 및 다짐을 반복 시행하여 말뚝을 형성하는 공법이다. RAP를 따라 생기는 수평토압을 증가시켜 마찰전단저항을 증가시킨다. 일반적으로 RAP 내부마찰각의 범위는 48~52°이고 RAP의 강성은 시공 전 흙의 10~40배로 알려져 있다(Fox 등, 2001).

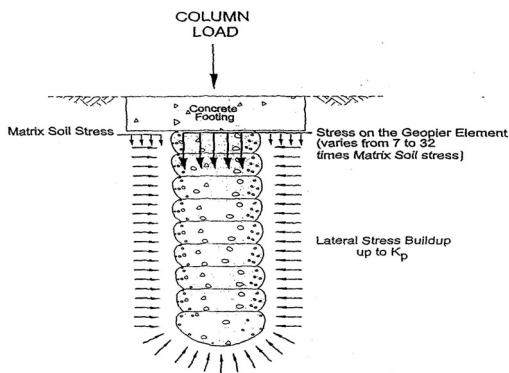


그림 1. RAP의 하중지지(김경민, 2005)

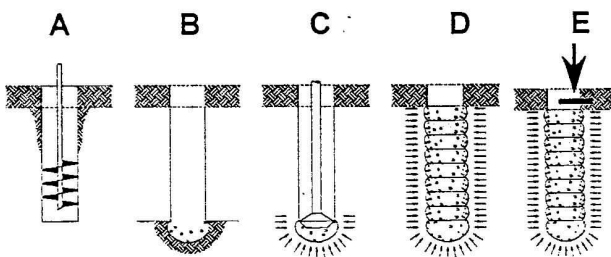


그림 2. RAP의 시공과정(Fox 등, 2001)

2.2 RAP공법의 시공법

RAP의 시공과정은 그림 2에서 보는 바와 같으며, 크게 4단계로 나누어 설명할 수 있다. 첫 번째 단계는 골재를 투입하기 위한 공동을 굴착하는 것이다. 일반적으로 파여지는 공동의 깊이는 지표면에서 약 2500~8000mm로 다양하며 직경은 600~900mm로 형성된다. 그 때 흙벽이 안정적이지 않고 지반의 함몰이 발생할 때 케이싱이 일시적으로 사용된다. 필요로 하는 깊이에 케이싱을 놓고 한번에 300mm 정도를 위로 올리면 그때 케이싱의 아래에 각각의 층이 형성된다. RAP의 가장 일반적인 굴착공의 직경은 750mm이다.

두 번째 단계는 공내에 깨끗하고 분쇄된 골재들을 넣은 후 높은 에너지를 주는 경사진 다짐장치(그림 2(C))로 골재를 다져서 안정적인 밑바닥이 형성된다. 골재에 가해진 에너지는 진동에너지가 아니고 일반적으로 분당 300~600번의 주기를 갖는 충격 다짐에너지이다.

세 번째 단계는 입도가 좋은 분쇄된 골재의 얇은 층(약 300mm)을 밑바닥 구근 위에 넣은 후 조밀하고 매우 강성이 큰 말뚝을 형성하기 위해 같은 다짐장치로 다진다. 이와 같은 방법으로 시공을 계속한다.

마지막 단계는 완성된 RAP의 위쪽에서 아래쪽으로 선행하중을 작용시키는 것이다. 이 선행하중은 RAP과 원지반에 미리 응력과 변형을 주어 강성과 시스템 능력을 향상시킨다(Fox 등, 2001).

3. 상사법칙

3.1 상사의 원리

대규모의 시험시공은 시간과 경제적 부담이 크기 때문에 많은 공학적인 문제의 해결을 위해서는 원형을 적절히 축소시켜 만든 모형을 이용하여 원형의 각종 현상을 관찰하는 모형실험 기법이 많은 분야에서 이용된다.

여러 가지 실험에서 도출되는 각종 물리량 사이의 관계는 이론적으로 분명할 수도 있고, 그렇지 않을 경우도 있기 때문에 모형실험이 무조건 각종 역학적인 현상에 대한 답을 제공해 주지는 않는다. 즉 모형실험은 원형을 기하학적으로 축소하여 수행되는 것이므로 하중이나 응력 중 여러 가지 물리량 사이의 관계가 이론적으로 불분명하다. 그러므로 차원해석법(dimension analysis)을 이용하여 물리량으로 구성되는 무차원 변량 사이의 관계를 사전에 수립하여 실험을 계획하고 결과가 해석되어야 한다.

공학적인 문제에서는 단위질량에 작용하는 중력 [F]을 1차원으로 하는 FLT계를 사용하나 물리변수의 차원을 나타

표 1. 기초문제의 모형실험에 적용되는 물리량의 차원(유충식 등, 2005)

물리변수	FLT계	MLT계	물리변수	FLT계	MLT계
길이	L	L	속도	LT-1	LT-1
시간	T	T	가속도	LT-2	LT-2
질량	FL-1T2	M	중력가속도	LT-2	LT-2
무게	F	MLT-2	압력	FL-2	ML-1T2
힘	F	MLT-2	밀도	FL4T2	FL4T2

내기 위해서는 표 1에 나타난 것과 같이 질량 [M]과 길이 [L] 및 시간 [T]을 기본 단위로 하는 MLT계를 사용하여 각 물리량 간의 관계를 정의한다. 모형실험 결과를 원형으로 전이해석하려면 상사성을 가지도록 축소해야 하며, 축소된 물리량과의 관계는 다음과 같다.

기하학적 축소는 식 (1)과 같이 원형과 모형의 대응 길이 사이의 축소율로 이와 관련된 물리량은 길이(L), 면적(A), 체적(V)이 있으며, 정사각형과 모형간의 대응 길이는 모든 방향에 대하여 일정하여야 한다(유충식 등, 2005).

$$\text{길이} : \frac{L_m}{L_p} \quad \text{면적} : \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^2 \quad \text{체적} : \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^3 \quad (1)$$

시간에 대한 축소율은 현장의 중력가속도(g_p)와 모형실험의 중력가속도(g_m)가 동일하므로 이 관계로부터 시간에 대한 축소율을 결정할 수 있다.

$$\frac{L_p}{T_p^2} = \frac{L_m}{T_m^2}, \quad \frac{T_m}{T_p} = \frac{T_m^2}{T_p^2}, \quad \frac{T_m^2}{T_p^2} = \sqrt{\frac{L_m}{L_p}} \quad (2)$$

밀도와 질량에 대한 축소율에서는 밀도는 단위체적당 질량을 나타내므로 밀도에 대한 축소율(p_m/p_p)로부터 다음과 같이 관계를 정의할 수 있다.

$$\frac{p_m}{p_p} = \frac{M_m L_m^{-3}}{M_p L_p^{-3}} = \left(\frac{M_m}{M_p}\right) \left(\frac{L_p}{L_m}\right)^3 = \left(\frac{M_m}{M_p}\right) \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^3 \quad (3)$$

표 2. 모형실험을 위한 길이에 의한 축소비

구분	축소비(모형/원형)	축소율
기하학적 축소비	(L_m/L_p)	0.027
	(L_m/L_p)	0.04
	(L_m/L_p)	0.06

표 3. 원형 및 모형 RAP의 기하학적 제원

	원형(mm)	모형1(mm) (축소율 1/37.5)	모형2(mm) (축소율 1/25)	모형3(mm) (축소율 1/16.67)
RAP의 지름	750mm	20mm	30mm	40mm
길이	4000mm	106.7mm	160mm	240mm
거리	2000~5000mm	53.3~133.3mm	80~200mm	120~300mm

하중과 응력에 대한 축소율은 다음과 같다.

$$\frac{F_m}{F_p} = \frac{M_m L_m T_m^2}{M_p L_p T_p^2} = \left(\frac{M_m}{M_p}\right) \left(\frac{L_m}{L_p}\right) \left(\frac{T_p}{T_m}\right)^2 \quad (4)$$

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_p} = \frac{M_m L_m T_m^{-2}}{M_p L_p T_p^{-2}} = \left(\frac{M_m}{M_p}\right) \left(\frac{L_p}{L_m}\right) \left(\frac{T_p}{T_m}\right)^2 \quad (5)$$

3.2 상사율의 산정

본 논문에서는 모형실험을 통한 현장에서의 RAP의 배치 형태에 따른 지지력을 검증하기 위하여 원형RAP의 직경, 길이, 거리, 쇄석의 입경에 대한 상사만 수행하였으며, 지반과 RAP 물성에 대한 상사는 고려하지 않았다. RAP의 가장 일반적인 굴착공의 직경 750mm, 길이 4000mm, 중심간 거리 2000~5000mm를 1/37.5, 1/25.0, 1/16.7로 축소하여 모형 RAP의 배치에 따른 지지력을 검증하기 위한 실험을 실시하였다. 그림 1에 나타낸바와 같이 시험 시공된 RAP는 모형1 직경 20mm, 길이 106.7mm, 거리 53.3~133.3mm, 모형2 직경 30mm, 길이 160mm, 거리 80~200mm, 모형3 직경 40mm, 길이 240mm, 거리 120~300mm로 시공되었다. 모형실험을 위한 길이에 의한 모형/원형의 축소비는 표 2와 같다. 이를 기하학적 축소비를 적용하여 상사 할 경우 표 3에 나타난 바와 같다.

4. 실내모형시험

4.1 대상시료의 특성

본 연구에서는 사질토 지반에서 RAP의 특성을 비교·평가하기 위하여 모형지반을 형성하였다. 실험 전 실험대상토의 원지반 특성을 파악하기 위하여 비중, 체분석, 상대밀도

를 계산하기 위한 물성시험 결과는 표 4와 같다. 말뚝을 형성하기 위한 채움재로서 쇄석은 불순물의 제거를 위해 충분히 세척한 후 건조로에 건조하여 사용하였다(이인모 등, 1993). 그림 3에서 보는 바와 같이 실험에 사용된 모형쇄석시료의 크기는 현장에서 적용되는 RAP의 직경에 대한 쇄석시료의 직경비와 유사하도록 선별하고 비교적 양호한 입도분포를 가지도록 하였다. 채움재의 물리·역학적 특성을 파악하기 위하여 비중시험, 체분석시험을 실시하였고 최대, 최소건조단위중량을 산정하기 위해 다짐몰드를 이용하여 단위중량시험을 실시하였으며, 실험 결과는 표 4, 그림 3과 같다.

표 4. 사질토와 쇄석의 물성치

물리적 성질	사질토	쇄석
USCS	SP	GW
비중	2.67	2.69
최대건조단위중량(kN/m ³)	15.55	15.61
최소건조단위중량(kN/m ³)	13.73	14.82
균등계수	1.69	1.14
No.200체 통과율(%)	0.07	-

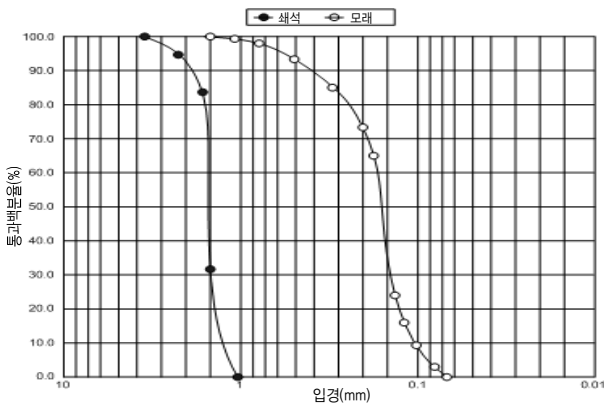
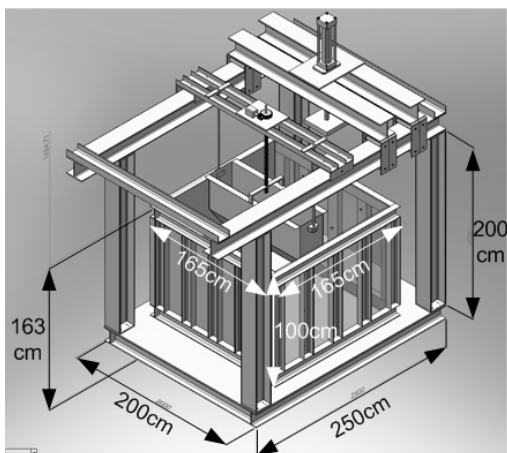


그림 3. 쇄석과 사질토의 입도분포곡선



(a) 모형토조 입체도

4.2 모형지반 제작 및 RAP의 설치

본 연구를 위해 그림 4에서 보는 바와 같이 가로 1500mm, 세로 1500mm, 높이 1000mm의 모형 토조를 사용하였다. 본 시험에서는 물성치가 파악된 사질토를 노건조시켜 모래지반의 상대밀도를 40%로 맞추었다. 여러 번의 반복시험을 통해 상대밀도에 따른 낙하높이의 관계가 표 5와 같이 나타났다. 모형토조의 측면 벽체와 토체의 마찰을 최소화하기 위하여 매끄러운 투명 아크릴판을 설치하였고 투명 아크릴판을 사용으로 RAP공법의 변위제어의 상황을 확인할 수 있었다.

RAP 설치는 모형지반 바닥면에서 500mm 높이에 미리 PVC관을 설치하고 공벽의 붕괴를 방지하기 위해 삽입된 PVC관을 일정간격으로 인발하며 쇄석 재료를 다져 넣었으며, 인발시의 교란을 최소로 하기 위해 PVC관을 그리스로 도포하였다. RAP는 주로 연약지반에 쓰이는 공법으로서 상대밀도 40%, PVC관 직경 30mm에서 약 1kg의 강봉래머를 사용하여 낙하고 40mm에서 3층다짐으로 쇄석 재료를 다졌으며, RAP의 직경변화에 따른 지지력을 측정하기 위해 PVC관의 직경을 20, 30, 40mm로 달리하여 실험하였다.

4.3 실험내용

4.3.1 RAP의 배치형태

그림 5와 같이 말뚝의 배치를 정방형, 육각형, 십자형으로 달리하면서 지지력을 측정하였다.

본 연구에서는 RAP의 정방형 대칭형태 뿐만 아니라 다

표 5. 강사시 낙하고 250mm일 때의 상대밀도 및 지반물성

낙하고(mm)	상대밀도 Dr(%)	단위중량 γ_d (kN/m ³)	내부마찰각 ϕ (°)
250	40	14.40	28



(b) 모형토조 전경

그림 4. 모형토조

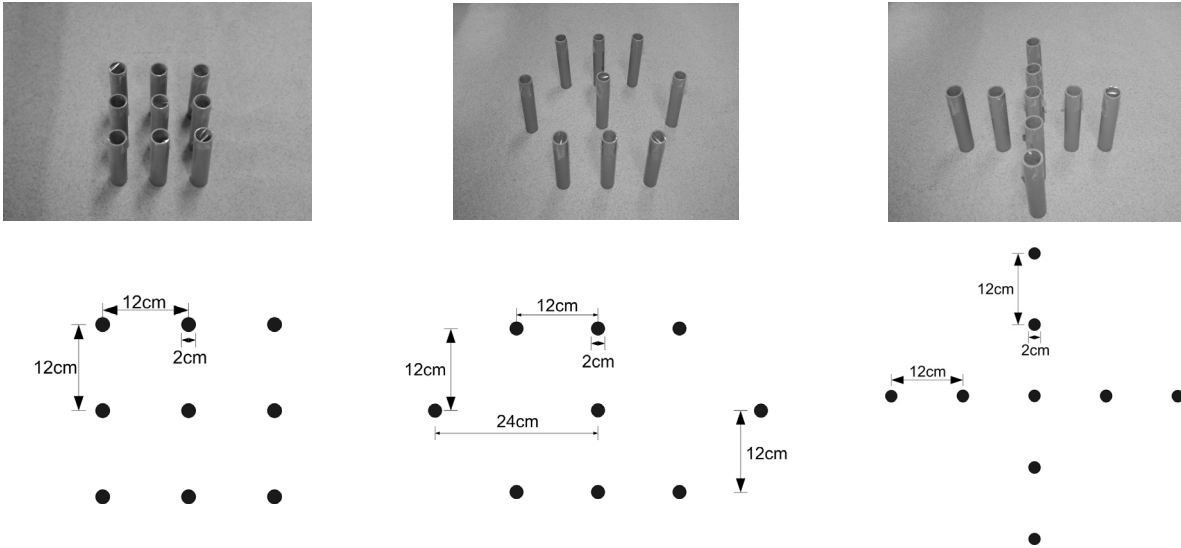


그림 5. 짧은 RAP의 배치형태(왼쪽부터 정방형, 육각형, 십자형)

양한 배치형태로 설치된 RAP의 지지력을 비교하였다. 사진 토와 RAP 부재의 침하를 동일하다고 보고 강성 재하조건을 적용하여 변위제어시험을 실시하였다. 그림 4의 모형토조를 이용하여 원지반, RAP 설치지반으로 구분하여 시험을 하였으며 속도는 1mm/min., 재하판은 직경 760mm의 원형 모양의 재하판을 사용하였으며, 재하판 밑에 각각의 직경에 맞게 강성이 있는 두께 20mm의 강철판을 설치하여 RAP 자체에서 변위제어가 이루어지게 하였다. 모형토조를 이용한 원지반, RAP 설치지반의 하중재하시험 후에 상대밀도 변화를 확인하기 위해 모형지반 설치 시 모형지반의 RAP 중심으로부터 1.5D 간격에 직경 80mm, 높이 40mm의 함수비 측정관을 네 방향으로 설치하였으며 낙하고 250mm에서 강사를 하였으며, 강사 후 굴착하여 함수비 측정관을 꺼낸 후 상대밀도 40%를 확인하였다.

4.3.2 말뚝 중심간 간격이 증가시(마름모형)의 배치형태

그림 6에서는 정방형 모형 RAP의 배치형태에서 각 파일 간의 중심간격을 달리한 마름모형 모형 RAP의 지지력을 측정하였다. 정방형과 비교하였을 때, 마름모형의 경우 중심간 거리를 1.41배 증가시키고 RAP의 직경도 20, 30, 40mm로 달리하여 실험하였다.

5. 실험결과 분석 및 고찰

5.1 RAP의 배치형태에 따른 재하시험 결과

본 시험에서는 상대밀도 40%일 때 배치 형태(정방형, 육각형, 십자형)와 직경(20mm, 30mm, 40mm)을 달리하여 지지력을 측정하였다. 지지력을 결정하는 여러 방법 중에서 본 시험에서는 RAP 직경의 10%(침하량 2, 3, 4mm)를 기준으로 극한지지력을 결정하는 방법(Tomlinson, 1986)을 이용하여 계산하였다. 상대밀도 40%일 때, 정방형에서 모델의 직경을 달리했을 때 지지력은 표 6과 같다. 그림 7과 같이 직경 20mm의 RAP일 때, 정방형, 육각형, 십자형의 경우 원지반에 비해 지지력이 367, 300, 183%만큼 증가하였으며, 직경 30mm일 때, 정방형, 육각형, 십자형의 경우 원지반에 비해 지지력이 531, 458, 394%만큼 증가하였으며, 직경 40mm일 때, 정방형, 육각형, 십자형의 경우 원지반에 비해

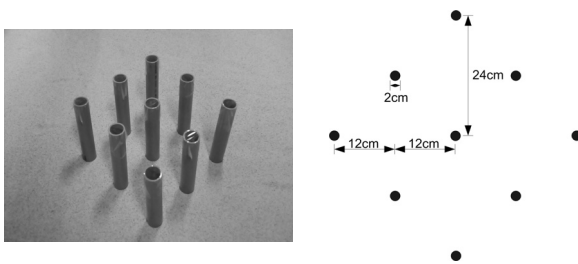
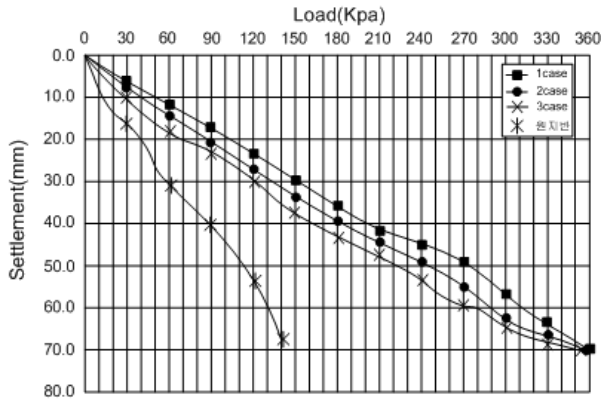


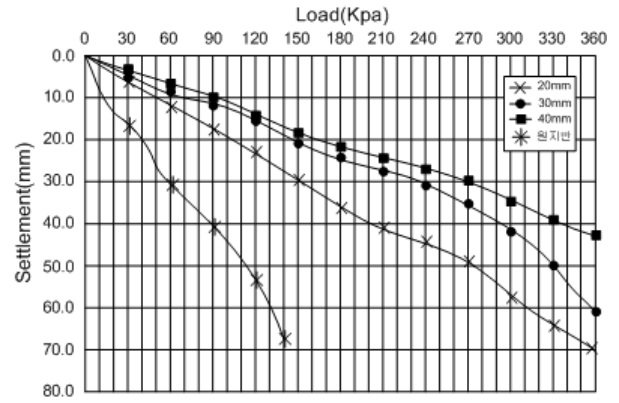
그림 6. 중심간격이 정방형의 1.41배인 배치형태

표 6. 원지반과 배치형태별 RAP의 직경변화에 따른 극한지지력 변화(침하량 0.1D기준, $D_r=40\%$)

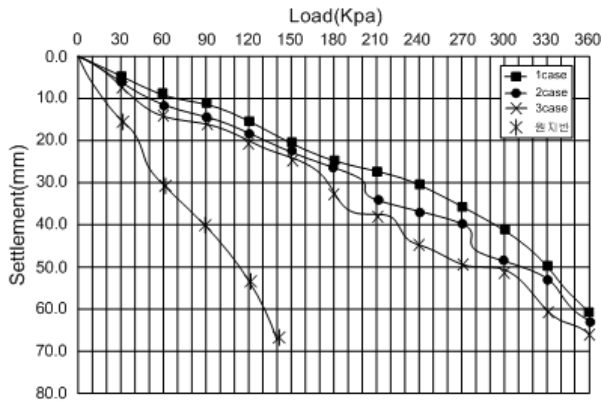
상대밀도(%)	모델직경(mm)	원지반(kPa)	정방형	육각형	십자형
40	20	2.4	8.8	7.2	4.4
	30	3.6	19.1	16.5	14.3
	40	5.1	33.5	26.2	20.6



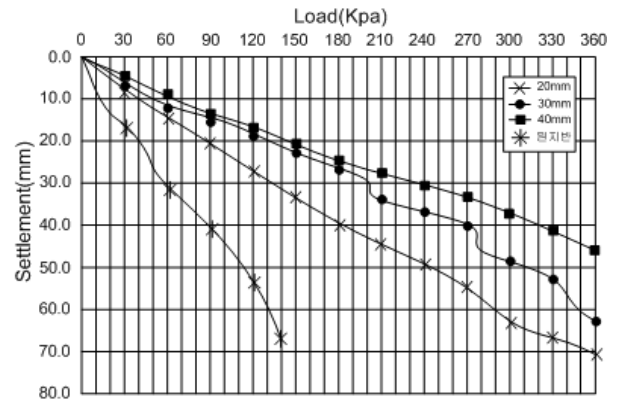
(a) 직경 20mm



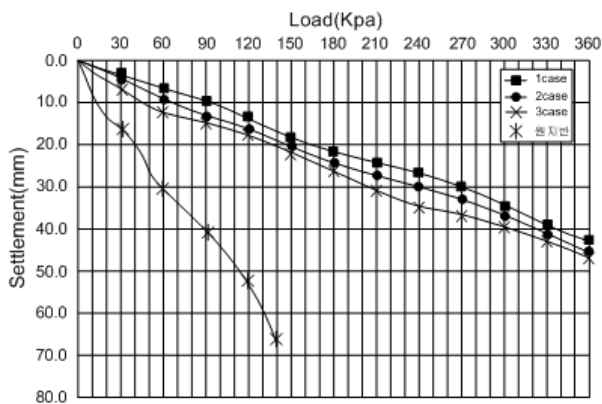
(a) 정방형



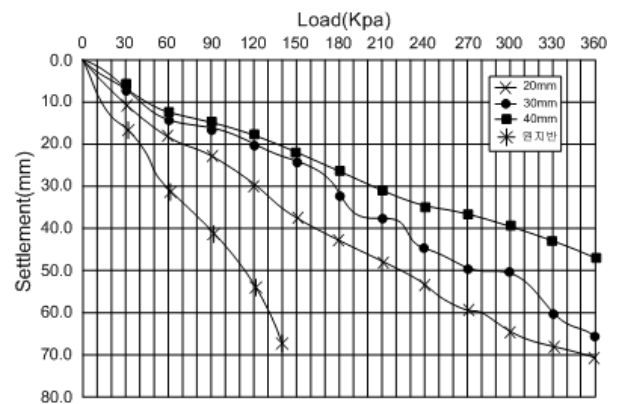
(b) 직경 30mm



(b) 육각형



(c) 직경 40mm



(c) 십자형

그림 7. 배치형태별 직경변화에 따른 하중-침하 곡선($D_r=40\%$)

그림 8. 배치형태별 직경변화에 따른 하중-침하 곡선($D_r=40\%$)

지지력이 657, 520, 403%만큼 증가하였으며, 가장 지지력이 높은 정방형의 모형 RAP의 직경이 20, 30, 40mm로 증가할 때, 원지반에 비해 지지력이 367, 531, 657%만큼 증가하였다. 이것은 직경이 커질수록 모형 RAP 자체의 지지력과 다짐을 하였을 때, RAP모형의 직경이 작은 모델보다 직경이 큰 모델의 경우 다짐의 영향을 받는 면적이 넓어져서 지지력 특성이 개선된 것으로 판단된다.

그림 8에 나타난 배치형태별 직경변화에 따른 지지력 비교결과, 정방형, 육각형, 십자형로 갈수록 지지력이 감소하

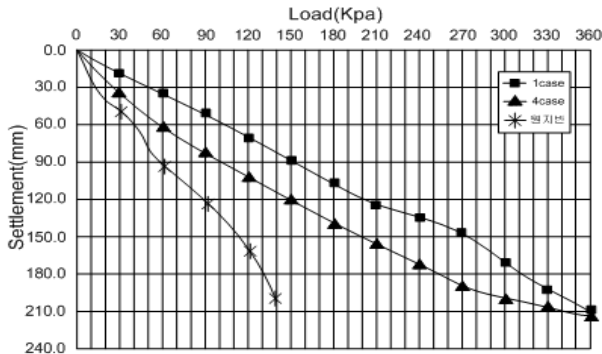
였다. 모형 RAP는 중심간 거리가 멀어질수록 지지력이 크게 감소되었다. 그 이유는 중심간 거리가 멀어짐에 따라 인접한 말뚝에 의한 구속효과 및 변형억제 등의 상호작용 효과가 감소하여 지지력이 감소하였다.

5.2 말뚝 중심간 간격이 증가시(마름모형)의 배치형태에 따른 변위제어시험 결과

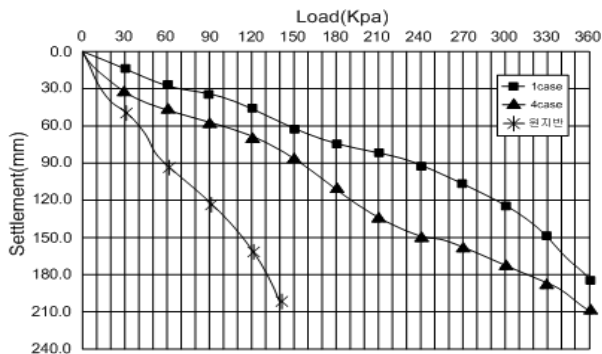
표 7과 그림 9, 10에서는 모형시험에서 정방형에서 중심간 거리를 길게 한 마름모의 지지력을 비교하였다. 그림 9

표 7. 상대밀도 40%일때 원지반과 정방형, 마름모형의 RAP의 직경변화에 따른 지지력 변화

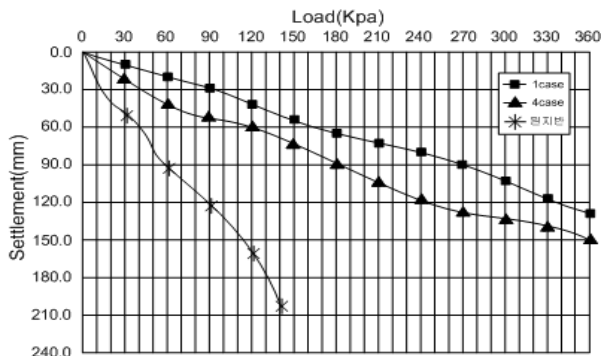
상대밀도(%)	모델직경(mm)	원지반(kPa)	정방형(kPa)	마름모형(kPa)
40	20	2.4	8.8	4.2
	30	3.6	19.1	7.1
	40	5.1	33.5	16.5



(a) 직경 20mm



(b) 직경 30mm



(c) 직경 40mm

그림 9. 정방형, 마름모형의 직경변화에 따른 하중-침하 곡선($D_r=40\%$)

에서는 직경 20mm의 모형 RAP일 때, 정방형, 마름모형의 경우 원지반에 비해 지지력이 367, 175%만큼 증가하였으며, 직경 30mm일 때, 정방형, 마름모형의 경우 원지반에 비해 지지력이 531, 197%만큼 증가하였으며, 직경 40mm일 때, 정방형, 마름모형의 경우 원지반에 비해 지지력이 657, 324%만큼 증가하였다는 것을 알 수 있었다.

그림 10에서는 모형 RAP의 직경이 20, 30, 40mm로 증가

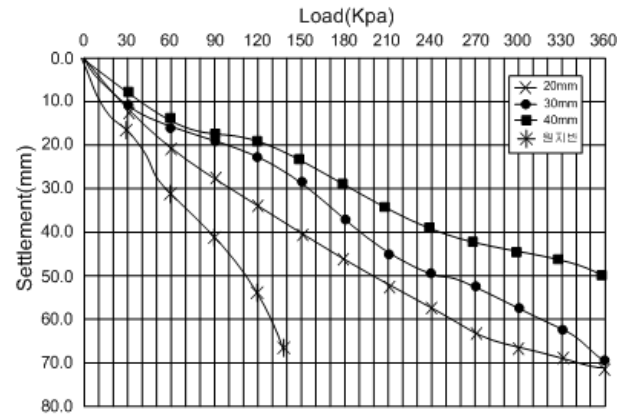


그림 10. 마름모형에서의 직경변화에 따른 하중-침하 곡선($D_r=40\%$)

할 때, 원지반에 비해 지지력이 증가한 것을 볼 수 있었다. 그 이유는 중심간 거리가 좁아짐에 따라 인접한 말뚝에 의한 구속효과 및 변형억제 등의 상호작용 효과로 지지력이 증가하였다. 여기서 직경이 커질수록 모형 RAP 자체의 지지력과 다짐을 하였을 때, RAP모형의 직경이 작은 모델보다 직경이 큰 모델의 경우 다짐의 영향을 받는 면적이 넓어져서 지지력 특성이 개선된 것으로 판단되었다.

6. 결론 및 제언

본 연구에서는 사질토 지반에서의 RAP의 배치형태에 따른 지지력을 연구하기 위하여 상대밀도(D_r)가 40%일 때, 배치형태(정방형, 육각형, 십자형, 마름모형)별, 직경(20, 30, 40mm)별 변화에 따른 공학적 특성을 비교 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 모형 RAP의 직경이 20mm일 때, 정방형, 육각형, 십자형의 경우 원지반에 비해 지지력이 367, 300, 183%만큼 증가하였으며, 모형 RAP의 직경이 30mm일 때, 정방형, 육각형, 십자형의 경우 원지반에 비해 지지력이 531, 458, 394%만큼 증가하였으며, 모형 RAP의 직경이 40mm일 때, 정방형, 육각형, 십자형의 경우 원지반에 비해 지지력이 657, 520, 403%만큼 증가하였으며, 가장 지지력이 높은 정방형의 모형 RAP의 직경이 20, 30, 40mm로 증가할 때, 원지반에 비해 지지력이 367, 531, 657%만큼 증가하였다. 그 이유는 중심간 거리가 좁아짐에 따라

인접한 말뚝에 의한 구속효과 및 변형억제 등의 상호작용 효과로 지지력이 증가하였다.

- (2) RAP 설치 후 직경에 따른 지지력을 측정해본 결과, 직경이 20, 30, 40mm로 증가함에 따라 지지력이 증가하는 현상을 볼 수 있으며 이 결과는 말뚝직경이 증가할수록 다짐의 영향을 받는 면적이 넓어져서 지지력 특성이 개선된 것으로 판단된다.
- (3) 모형 RAP의 직경이 20mm일 때, 정방형, 마름모형의 경우 원지반에 비해 지지력이 367, 175%만큼 증가하였으며, 모형 RAP의 직경이 30mm일 때, 정방형, 마름모형의 경우 원지반에 비해 지지력이 531, 197%만큼 증가하였으며, RAP의 직경이 40mm일 때, 정방형, 마름모형의 경우 원지반에 비해 지지력이 657, 324%만큼 증가하였다.
- (4) 모형 RAP의 지지력 비교 결과, RAP 중심간격이 좁아짐에 따라 인접한 말뚝에 의한 구속효과 및 변형억제 등의 상호작용 효과가 증대되어 지지력이 증가하였다. 또한, 말뚝의 중심간격이 좁아짐에 따라 주변지반이 조밀해지면서 침하량은 감소하였다.
- (5) 실험결과, 중심간격이 좁아짐에 따라 인접한 말뚝에 의한 구속효과 및 변형억제 등의 상호작용 효과가 증대

되어 지지력이 증가하였으며, 직경이 커질수록 강성이 커져서 지지력이 증가하였다. 또한, 말뚝의 중심간격이 좁아짐에 따라 주변지반이 조밀해지면서 침하량도 감소하였다. 향후 다양한 현장계측자료의 축적을 통한 지속적인 검증작업과 침하량 및 지지력 측면에서 RAP의 최적 배치형태에 대한 연구가 요망된다.

참 고 문 헌

1. 김경민 (2005), *사질토 지반에서 짧은 쇄석다짐말뚝의 지지력 특성*, 한양대학교 대학원 박사학위논문, pp. 7~9.
2. 유충식, 정혁상, 전상수 (2005), 축소 모형 실험에 의한 계단식 보강토옹벽의 파괴 메카니즘, *한국지반공학회 논문집*, 제 21권 3호, pp. 65~77.
3. 이인모, 이정학, 임병석, 이명환 (1993), 모형실험을 통한 말뚝지지력의 평가 및 치수효과의 비교분석, *한국지반공학회 논문집*, 제9권 4호, pp. 37~44.
4. Fox, N. S. and Wissmann, K. and Lien, B. (2001), *Geopier® Technical Workshop*, Geopier Foundation Company, Inc., North Carolina, USA, pp. 129~132.
5. Tomlinson, M. J. (1986), *Foundation Design and Construction*, Pitman Publishing Ltd., London, United Kingdom, pp. 398~426.

(접수일: 2009. 2. 2 심사일: 2009. 2. 16 심사완료일: 2009. 7. 20)