

## 사질토지반에서 짧은 쇄석다짐말뚝의 배치형태에 따른 지지력특성에 관한 연구

### A Study on the Characteristics of Bearing Capacity for Rammed Aggregate Pier in Sand

천병식<sup>1)</sup>, Byungsik Chun, 김영훈<sup>2)</sup>, Younghun Kim, 류우현<sup>3)</sup>, Woohyun Yoo, 김종환<sup>3)</sup>, Jonghwan Kim

<sup>1)</sup> 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

<sup>2)</sup> 한양대학교 공과대학 토목공학과 석·박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

<sup>3)</sup> 한양대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

**SYNOPSIS** : Rammed Aggregate Pier method is intermediate foundation of deep and shallow foundation, it has been built on world wide. But the investigation and research in domestic is not accomplished. In this paper, 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 differentiate the spacing of piles, namely installed rammed aggregate pier. Strain control test was conducted to determine the bearing capacities of the piers; 20mm, 30mm and 40mm diameter drilling equipment to drill 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, the space between each piers narrowed, settlement rate of soil was decreased significantly. From the test results, as the space between each piles were getting closer, allows greater chances to have resistance to deformation, shows improved stability of structures.

**Keywords** : RAP(Rammed Aggregate Pier), Ultimate Bearing Capacity, Similarity Role

## 1. 서론

짧은 쇄석다짐말뚝공법(이하, RAP(Rammed Aggregate Pier))은 Compaction을 이용하는 방법으로 현재 미국 Geopier사를 중심으로 미국내 뿐만 아니라 필리핀, 인도, 말레이시아, 독일 등 전 세계적으로 활용성을 넓혀가고 있다. 국내의 경우, 최근에 이르러 일부 지역에 건축물 기초로 적용되고 있으나, 체계적인 조사 및 연구가 이루어지지 않아 실제 현장에 적용하기 위한 설계시방이나 지지력 산정방법 등의 확보가 시급한 실정이다(김경민, 2005).

선행연구조사결과 RAP의 배치형태에 대한 지지력효과에 대한 연구성과는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지지력 측면에서 RAP의 최적 배치에 대한 적용방안을 검증하기 위해서 이루어졌다.

기존의 연구에서는 RAP의 지지력, 파괴거동등에 관한 연구가 진행되었으나, RAP 배치형태별(정방향, 육각형, 십자형) 지지력에 관한 연구가 미흡한 실정이다. 그 결과 RAP의 다양한 배치형태에 대한 극한 지지력을 평가하기에는 어려운 한계성이 있었다. 따라서 본 연구에서는 향후 수행될 지지력에 대한 RAP의 최적설계를 위한 선행단계로서, 다양한 배치형태로 설치된 RAP에 대해서도 극한지지력의 평가

가 가능한 방법을 제시하고, RAP의 다양한 배치형태에 대한 극한지지력을 평가하여 지지력 측면에서 최적 배치형태를 제시하였다. RAP을 이용하여 상대밀도 40%에서 직경을 달리하여 실험을 추가하였고, 원지반과 지지력을 비교하여 실험하였다.

## 2. 실내모형시험

### 2.1 대상시료의 특성

본 연구에서는 사질토 지반에서 RAP의 특성을 비교·평가하기 위하여 모형지반을 형성하였다. 실험 전 실험대상토의 원지반 특성을 파악하기 위하여 비중, 체분석, 전단시험, 상대밀도를 계산하기 위한 물성시험 결과는 표 1과 같다. Pile을 형성하기 위한 채움재로서 쇄석은 불순물의 제거를 위해 충분히 세척한 후 건조로에 건조하여 사용하였다(이인모 등, 1993). 그림 1에서 보는 바와 같이 실험에 사용된 모형쇄석시료의 크기는 현장에서 적용되는 RAP의 직경에 대한 쇄석시료의 직경비와 유사하도록 선별하고 비교적 양호한 입도분포를 가지도록 하였다.

표 1. 사질토와 쇄석의 물성치

물리적 성질	사질토	쇄석
USCS	SP	GW
비중	2.67	2.69
최대건조단위중량( $g/cm^3$ )	1.586	1.592
최소건조단위중량( $g/cm^3$ )	1.400	1.512
균등계수	1.69	1.14
No.200체 통과율(%)	0.07	-

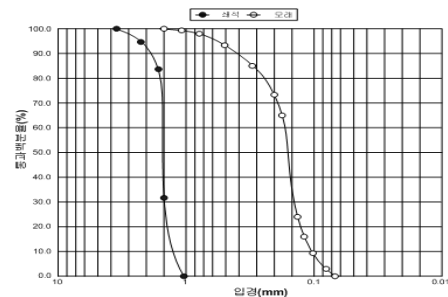


그림 1. 쇄석과 사질토의 입도분포곡선

### 2.2 모형지반 제작 및 RAP의 설치

본 연구를 위해 가로 1500mm, 세로 1500mm, 높이 1000mm의 모형 토조를 사용하였다. 본 시험에서는 물성치가 파악된 사질토를 강사하여 모래지반의 상대밀도를 40%로 조성하였다.

RAP 설치시 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 Grease로 도포하였다. RAP는 주로 연약지반에 쓰이는 공법으로서 상대밀도 40%에서 PVC관 직경 30mm에서 래머를 사용하여 낙하고 40mm에서 쇄석 재료를 다졌으며, RAP의 직경변화에 따른 지지력을 측정하기 위해 PVC관의 직경을 20mm, 30mm, 40mm로 달리하여 실험하였다.

### 2.3 RAP의 배치형태

본 연구에서는 RAP의 정방형 대칭형태 뿐만 아니라 다양한 배치형태로 설치된 RAP의 지지력을 비교하였고 그림 2와 같이 말뚝의 배치를 정방형, 육각형, 십자형으로 달리하면서 지지력을 측정하였다. 사질토와 RAP 부재의 침하를 동일하다고 보고 강성 재하조건을 적용하여 변위제어시험을 실시하였다. 모형토조를 이용하여 원지반, RAP 설치지반으로 구분하여 시험을 하였으며 속도는 1mm/min, 재하판은 직경 760mm의 원형모양의 재하판을 사용하였으며, 재하판 밑에 각각의 직경에 맞게 강성이 있는 두께 20mm의 강철판을 설치하여 RAP 자체에서 변위제어가 이루어지게 하였다.

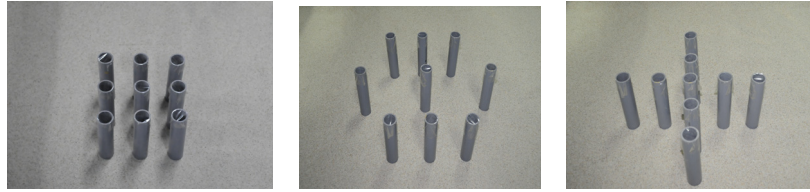


그림 2. 짧은 쇠석다짐말뚝의 배치형태(왼쪽부터 정방형, 육각형, 십자형)

### 3. 실험결과 분석 및 고찰

#### 3.1 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 방법을 이용하여 계산하였다(Tomlinson, 1986). 상대밀도 40%일 때, 정방형에서 모델의 직경을 달리했을 때 지지력은 표 2와 같고 각각의 직경별 배치 형태에서 원지반과 비교시 증가된 지지력의 비율은 표3과 같다. 가장 지지력이 높은 정방형의 모형 RAP의 직경이 20mm, 30mm, 40mm로 증가할 때, 원지반에 비해 지지력이 367%, 531%, 657%로 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.

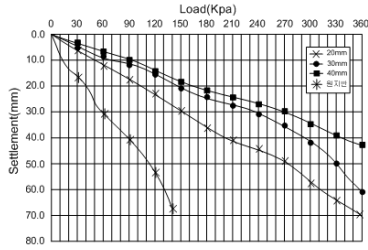
표 2. 원지반과 배치형태별 RAP의 직경변화에 따른 지지력 변화(침하량 0.1D기준 극한지지력,  $D_r=40\%$ )

상대 밀도 (%)	모델 직경 (mm)	원지반 (kPa)	침하량 0.1D기준 정방형 극한지지력(kPa)	침하량 0.1D기준 육각형 극한지지력(kPa)	침하량 0.1D기준 십자형 극한지지력(kPa)
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

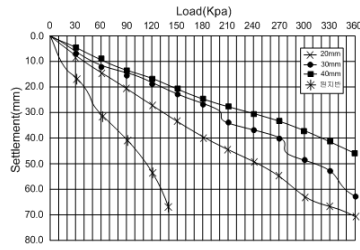
표 3. 원지반과 배치형태별 RAP의 직경변화에 따른 지지력 변화(침하량 0.1D기준 극한지지력,  $D_r=40\%$ )

상대밀도(%)	모델직경(mm)	원지반과 비교시 증가된 지지력비율(%)		
		정방형	육각형	십자형
40	20	367	300	183
	30	531	458	394
	40	657	520	403

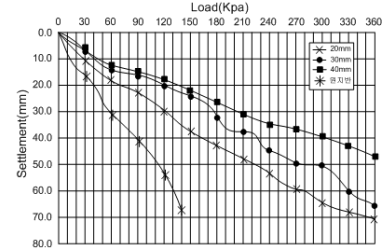
그림 3에 나타난 배치형태별 직경변화에 따른 지지력 비교결과, 정방형, 육각형, 십자형로 갈수록 지지력이 감소하였다. 모형 RAP는 중심으로부터 거리가 멀어질수록 지지력이 크게 감소되었다. 그 이유는 중심으로부터의 거리가 멀어짐에 따라 인접한 말뚝에 의한 구속효과 및 변형억제 등의 상호작용 효과가 감소하여 지지력이 감소하였다.



(a) 정방형에서의 직경변화에 따른 하중-침하 곡선



(b) 육각형에서의 직경변화에 따른 하중-침하 곡선



(c) 십자형에서의 직경변화에 따른 하중-침하 곡선

그림 3. 배치형태별 직경변화에 따른 하중-침하 곡선( $D_r=40\%$ )

#### 4. 결론

본 연구에서는 사질토 지반에서의 RAP의 배치형태에 따른 지지력을 연구하기 위하여 상대밀도 ( $D_r=40\%$ )일때, 배치형태별(정방형, 육각형, 십자형), 직경(20, 30, 40mm) 변화에 따른 공학적 특성을 비교 분석하였으며, 그 결과를 요약,정리하면 다음과 같다.

- (1) 모형 RAP의 직경별 원지반과의 지지력 비교시 십자형배치, 육각형 배치, 정방형 배치의 순으로 지지력이 증가하였고, 가장 지지력이 높은 정방형의 모형 RAP의 직경이 20mm, 30mm, 40mm로 증가할 때, 원지반에 비해 지지력이 367%, 531%, 657%로 증가하였다. 그 이유는 중심으로부터의 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 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.
- (4) RAP의 최적 배치형태를 검토한 결과, 최적배치형태는 중앙부에 집중적으로 배치되는 경우로 나타났다.

향후 다양한 현장계측자료의 축적을 통한 지속적인 검증작업과 침하량 및 지지력 측면에서 RAP의 최적 배치형태에 대한 연구가 요망된다.

#### 참고문헌

1. 김경민(2005), 사질토 지반에서 짧은 쇄석다짐말뚝의 지지력 특성, 한양대학교 대학원 박사학위논문, pp. 7~9.
2. 유충식, 정혁상, 전상수등(2005), 축소 모형 실험에 의한 계단식 보강토옹벽의 파괴 메카니즘, 한국지반공학회 논문집, 제21권 3호, pp. 65~77.
3. 이인모, 이정학, 임병석, 이명환(1993), 모형실험을 통한 말뚝지지력의 평가 및 치수효과의 비교분석, 한국지반공학회지, pp. 37~44.
4. Fox N. S. and Kord Wissmann and Bon Lien(2001), Geopier® Technical Workshop, Geopier Foundation Company, Inc., pp. 129~132.
5. Tomlinson, M. J.(1986), Foundation Design and Construction, Pitman Publishing Ltd., pp. 398~426.