

쇄석과 모래 혼합다짐말뚝의 공학적 특성에 관한 연구

A Study On The Engineering Properties of Rammed Aggregate and Sand Mixture Piers

천병식¹⁾, Byungsik Chun, 김백영²⁾, Baekyoung Kim, 도종남³⁾, Jongnam Do, 국길근⁴⁾, Kilkeun Kuk

¹⁾ 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

²⁾ 석정건설(주) 대표이사, Representative Director, SeokJung Construction Ltd.

³⁾ 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

⁴⁾ 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

SYNOPSIS : The gravel compaction pile method has been used as a soft foundation improvement method because bearing capacity and discharge capacity is excellent. But the discharge capacity decreased when the clogging was generated because the clay penetrate into a void of gravel compaction pile. Accordingly, the purpose of this study is to reduce the clogging generation in gravel compaction pile constructing in the soft ground and take a step to minimize a void of gravel compaction pile. And the proper mixing ratio was determined with the large scale direct shear test performed to get strength and permeability with mixing ratio of crushed stone and sand(100:0, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25). As a result of the test, it was showed that internal friction angle was the highest at 85:15 mixing ratio of crushed stone and sand and we can make sure a tendency of internal friction angle's decrease when the mixing ratio of crushed stone and sand passed 15%.

Keywords : Gravel compaction pile method, Clogging, Mixing ratio of crushed stone and sand, Internal friction angle

1. 서론

쇄석다짐말뚝(Gravel Compaction Pile, 이하 GCP)공법은 연약한 점토 지반이나 느슨한 사질토지반에 모래 및 쇄석을 적절한 상대밀도로 다지면서 압입하여 원지반에 일정한 지름을 가진 쇄석말뚝을 조성하는 지반개량공법이다. 점토지반에서는 원지반과 다져진 말뚝으로 이루어진 복합지반을 형성하여 지반의 전단강도 및 지지력 증대, 측방변위 억제, 그리고 압밀 침하 시간 단축 및 압밀침하를 저감시키고, 사질토지반의 경우에는 밀도증대와 액상화방지, 수평저항력 증가 등의 효과를 목적으로 시공한다.(이창호 등, 2005).

쇄석다짐말뚝을 형성하는 쇄석은 모래나 천연자갈에 비해 경제적이며 소요강도를 지니고 있어서 연약지반개량 현장뿐만 아니라 댐, 항만시설, 철도노반 및 도로노반 등에 활발히 사용되고 있다. 특히 쇄석다짐말뚝의 내부마찰각은 쇄석다짐말뚝의 지지력에 영향을 가장 크게 미치는 것으로 알려져 있다(Barksdale et al, 1983). 따라서 쇄석다짐말뚝의 지지력 및 강도특성을 평가하기 위해서 쇄석다짐말뚝의 내부마찰각을 평가하는 것이 필요하다.

쇄석다짐말뚝공법은 배수능이 우수하여 연약지반 개량공법으로 많이 쓰여지고 있으나, 배수 시 미세한 점토입자가 쇄석다짐말뚝의 공극 속으로 침투하는 clogging현상이 발생하여 배수능이 저하된다(고용일 등 2004).

따라서, 본 연구에서는 연약지반에 시공되어지는 쇄석다짐말뚝에 발생하는 clogging현상을 억제하기 위해 쇄석다짐말뚝의 공극을 최소화 하면서 전단강도를 증대시키는 방안을 강구하고자 하였다.

2. 실내시험

2.1 시험대상 모래 및 쇄석

본 연구에 사용된 재료는 주문진 표준사와 쇄석이다. 시험 전 시험대상토의 특성을 파악하기 위하여 비중시험, 체분석시험, 전단시험, 상대밀도를 산정하기 위한 Limiting density test(ASTM standard)를 실시하였고, 그 결과는 표 1과 같다. 실험에 사용된 쇄석시료는 불순물의 제거를 위해 충분히 세척한 후 건조로에 건조하여 사용하였다. 쇄석시료의 크기는 현장에서 사용하는 쇄석의 직경에 대한 쇄석시료의 직경비와 유사하도록 선별하고 비교적 양호한 입도분포를 가지도록 하였다. 시료의 물리·역학적 특성을 파악하기 위하여 비중시험, 체분석시험, 다짐시험, 전단시험을 실시하였으며 그 결과는 표 2와 같다.

표 1. 시험대상 모래의 물성치

물리적 성질	사질토의 물성치
USCS, 통일분류법	SP
비중, G_s	2.61
최대 간극비, e_{max}	0.867
최소 간극비, e_{min}	0.545
$\gamma_{d_{max}}(t/m^3)$	1.689
$\gamma_{d_{min}}(t/m^3)$	1.398
균등계수, C_v	1.66
No.200체 통과율(%)	0.04

표 2. 쇄석시료의 물성치

물리적 성질	사질토의 물성치
USCS, 통일분류법	GW
비중, G_s	2.63
건조단위중량, $\gamma_d(t/m^3)$	1.70
내부마찰각, $\phi(^{\circ})$	49.3

2.2 대형직접전단시험 개요

대형직접전단시험에 관한 명확한 시험법이 정립되어 있지는 않으나 보통 직접전단시험을 기준으로 하여 시험되고 있다(Head. K. H.(1986), 신동훈(2000), KS F 2343, ASTM D 3080-98, 한국수자원공사(1999)). 본 연구에서는 연약지반에 시공되어지는 쇄석다짐말뚝에 발생하는 clogging현상을 억제하기 위해, 쇄석다짐말뚝의 공극을 최소화 하면서 전단강도를 증대시키는 방안으로 쇄석다짐말뚝의 공극에 모래를 채워 상대밀도를 증가시키는 방법을 고안하였다. 따라서, 쇄석과 모래의 혼합비를 100:0, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25로 변화시켜가며 대형직접전단시험을 실시하여 적정배합비를 산정하였다. 본 시험에서는 수직하중 100, 200, 300kPa로 변화시켜 가면서 쇄석:모래의 혼합비 100:0, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25에

대하여 1mm/min의 전단속도로 시험을 수행하였다. 대형직접전단시험기에 대한 제원은 표 3과 같다.

표 3. 대형직접전단시험기의 제원

장비 크기	2100mm(L)×1700mm(W)×1850mm(H)	
최대 재하하중	수평	50ton
	연직	20ton
유압밸브 및 제어장치	1~100mm/min	
유압펌프장치	250kg/cm ²	
변위계	수평	200mm
	연직	100mm
전단상자 크기	d=300mm	h=350mm

2.3 대형직접전단시험 결과

쇄석다짐말뚝에서 지지력에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 내부마찰각이다(천병식 등, 2002). 실험을 통하여 도출된 쇄석:모래의 혼합비 100:0, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25에 대한 수직응력-전단응력의 그래프는 그림 1,2,3,4,5와 같고 모래함유율에 따른 내부마찰각 변화는 그림 6과 같다. 시험결과 쇄석:모래의 혼합비가 85:15일 때 내부마찰각이 가장 크게 나타났으며 모래의 혼합비가 15%를 넘어가면 내부마찰각이 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

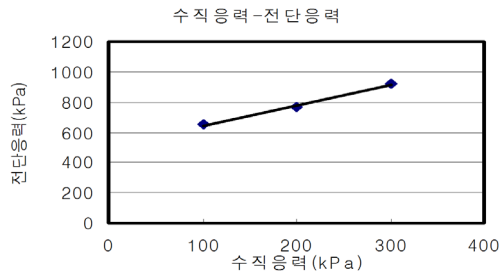


그림1. 쇄석:모래의 혼합비 90:10

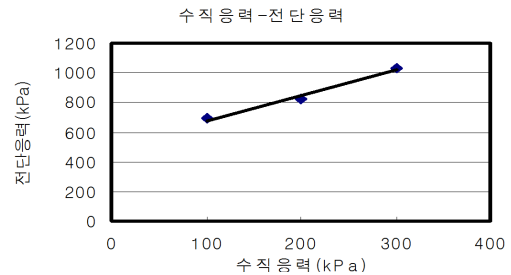


그림2. 쇄석:모래의 혼합비 85:15

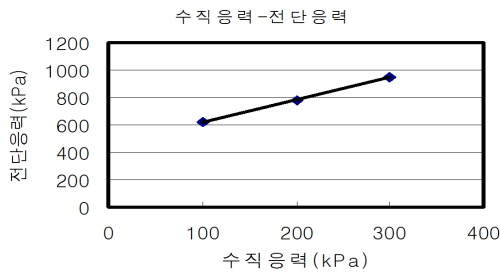


그림3. 쇄석:모래의 혼합비 80:20

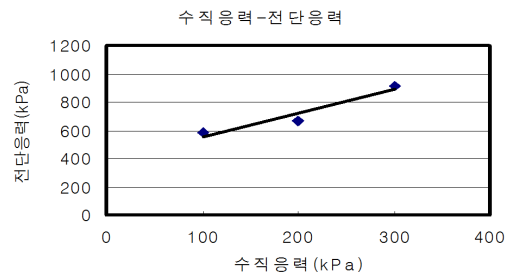


그림4. 쇄석:모래의 혼합비 75:25

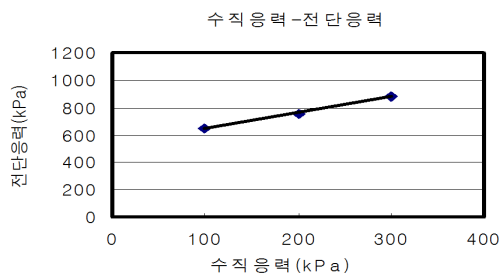


그림5. 쇄석 100

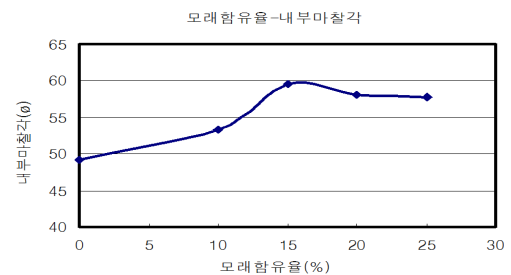


그림6. 모래함유율-내부마찰각

3. 결 론

본 연구에서는 연약지반에 시공되어지는 쇄석다짐말뚝에 발생하는 clogging현상을 억제하기 위해 쇄석다짐말뚝의 공극을 최소화 하면서 전단강도를 증대시키는 방안을 강구하고자 쇄석과 모래의 혼합비를 달리하여 대형직접전단시험을 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 쇄석과 모래의 혼합비를 100:0, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25로 변화시켜가며 대형직접전단시험을 실시하였으며 실험을 통하여 최대강도가 나오는 경우의 적정배합비를 도출하였다. 시험결과 쇄석:모래의 혼합비가 85:15일 때 내부마찰각이 가장 크게 나타났으며 모래의 혼합비가 15%를 넘어가면 내부마찰각이 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.
- (2) 향 후, 쇄석과 모래 혼합다짐말뚝의 clogging 특성을 파악하기 위해 모형토조 제작 및 시험을 실시하여 점토지반 압밀에 따른 투수성 평가를 실시할 예정이다.

참고문헌

1. 신동훈(2000), 필댐축조용 암석재료의 대형직접전단시험, **대한토목학회 학술발표회 논문집**, 2000권 2호, pp. 375~378
2. 고용일, 김홍택, 박영호, 김대영(2004), 연약지반 개량용 배수재의 Clogging현상에 관한 실험적 연구, **한국지반공학회 2004 봄 학술발표회논문집**, pp. 19~19.
3. 이창호, 임형덕, 이우진(2005), 치환율에 따른 쇄석다짐말뚝(GCP) 지반의 유한요소해석, **대한토목학회 2005년도 정기학술대회논문집**, p. 5423.
4. 천병식, 정현철(2002), 모래다짐말뚝의 모래대체재로서 등슬래그의 활용, **한국지반공학회논문집**, 18권 5호 pp. 195~207.
5. 한국수자원공사(1999), 댐축조용 조립재료의 대형전단시험 표준화 방안 연구, **한국수자원연구소**, pp. 34~42.
6. 한국산업규격, KS F 2343, 압밀 배수 조건에서 흙의 직접전단 시험방법
7. ASTM D 3080-98, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.
8. Barksdale, R. D. & Bachus, R. C(1989), *Design and construction of stone column*, Volumn I, FHWA/RD-83/026.
9. Head, K. H.(1986), *Manual of Soil Laboratory Testing*, Volumn 2, pp. 240~243.