

옹벽구조물용 복합재료의 전단거동 특성

The Shear Behavior of Composite Material for Retaining Wall

오기대¹⁾, Gi-Dae Oh, 김경열²⁾, Kyung-yul Kim, 김대홍³⁾, Dae-Hong Kim

¹⁾ 한전 전력연구원 일반연구원 M. T. S. Korea Electric Power Research Institute(ogd@kepri.re.kr)

²⁾ 한전 전력연구원 선임연구원 M. T. S. Korea Electric Power Research Institute

³⁾ 한전 전력연구원 선임연구원 M. T. S. Korea Electric Power Research Institute

SYNOPSIS : In these days, the composite material is popular as a material of Retaining wall because of the advantages of economy and construction. In general, retaining wall is not estimated for the stability of structure, but some of retaining walls that are composed of composite materials became thin because of the highly dense materials. So the concern of shear failure for the structure is rising. Because standard test criterion and large scale tests equipment are rarely available, few studies are performed. So, in this study, we performed large scale direct shear tests for various confining stresses(147, 294, 441 kPa), and estimate shear behavior of composite material by the relation of shear stress - displacement and vertical - shear displacement.

Key words : sheare behavior, direct shear, composite material

1. 서론

중력식옹벽시공이 최근에는 기존의 철근콘크리트 옹벽 형태보다는 시공 및 경제성을 향상시킨 복합재료를 이용한 신공법들이 많이 적용되고 있는 실정이다. 일반적으로 수평하중에 대해서 중력식 옹벽은 자중의 안전성 검토만을 수행 할 뿐 보강토 옹벽의 경우와 같이 옹벽 구조물 자체에 대한 건전성 검토를 수행하지 않는다. 하지만, 최근의 신공법들은 기존의 옹벽과 달리 시공성을 높이기 위해서 조립식 구조를 채택함으로써 구조적으로 일체화되지 않는 경우가 많아 구조물 자체의 건전성에 대한 문제가 제기되기도 한다. 하지만, 이에 대한 검토는 쉽지 않은데, 이는 복합적으로 구성된 재료에 대한 표준시험방법이 없어 재료에 대한 강도특성에 대한 검토가 어려운 때문이다.

이에 본 연구에서는 대형직접전단시험기의 전단상자 (1.5 × 1.5 m)에 쇠석재료와 철근콘크리트 블록으로 구성된 복합재료를 성형하여 수직응력 범위 (147, 294, 441 kPa)에 대해서 시험을 수행하였으며, 그 결과를 전단응력-전단변위 및 수직-전단 변위관계에 대해서 분석함으로써 전단거동 특성을 조사하고자 한다.

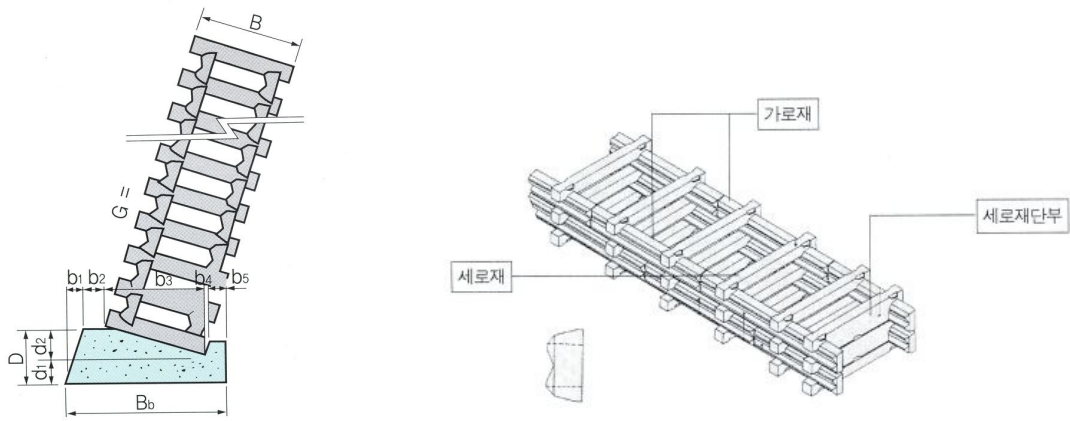


그림 1. 복합재료 중력식 옹벽구조물

2. 시험방법

2.1 대형 직접전단시험기의 제원과 특징

본 시험에 사용된 대형직접전단시험기는 전력연구원에서 자체 제작한 장비로 조립재료의 최대허용입경이 150 mm 인 시료까지도 시험이 가능하도록 제작되었으며, 가압축의 고정과 정압장치의 부착으로 기존의 대형 직접전단 시험기의 단점이었던 가압축의 기울어짐과 조립재료의 다이렉트시 발생으로 인한 수직하중이 변하는 문제들을 보완하였으며 직접적으로 조립재료를 담아 전단을 시키게 되는 전단상자의 규모는 1.5m(W)×1.5m(L)×0.6m(H)로써 국내 최대규모이다. 그리고 시료에 가하는 수직하중은 최대 200 tonf 까지 가력이 가능하며, 수평하중은 최대 300 tonf 까지 가력이 가능하다.

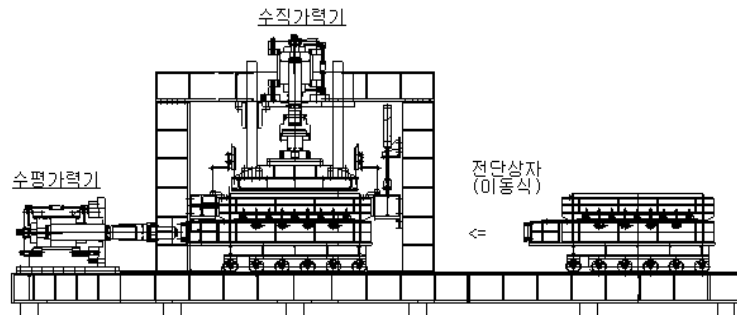


그림 2. 대형 직접전단시험기 단면도

2.2 시험재료 및 방법

본 연구에서 제작된 콘크리트 블록 구조물은 정(井)자 형태로 아래 그림 1과 같이 일체화시키기 위해서 아래 그림 3과 같이 홈이 패인 기성품인 가로 및 세로용 블록을 사용하여 그림 4 와 같이 대형직접 전단시험용 시료 제작하였다. 사용된 콘크리트 부재는 재령 28일 강도가 29.4 MPa 이상으로 품질관리된 제품으로 KSF 2405 및 KSF2422DHK에 근거하여 제작되었었다. 그리고 블록의 내부에는 현장에서 는 강자갈, 깬돌, 혼합골재 및 모래 등 을 사용하며, 현장여건상 다짐이 어려워 시험체 제작시에는 무다 짐 밀도인 1.7 ton/m³을 쇄석재료의 다짐밀도로 사용하였으며, 복합시료를 성형 한 후 두 물질의 강성 및 재료들 사이의 공극에 의한 불균등한 하중전달을 최소화하기 위해서 모래를 상부에 모래를 포설하여 제작을 완료하였다.

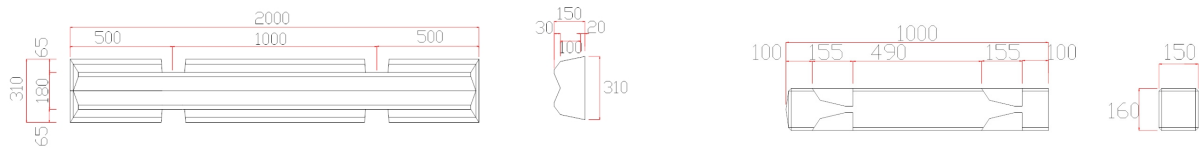


그림 3. 가로재, 세로재

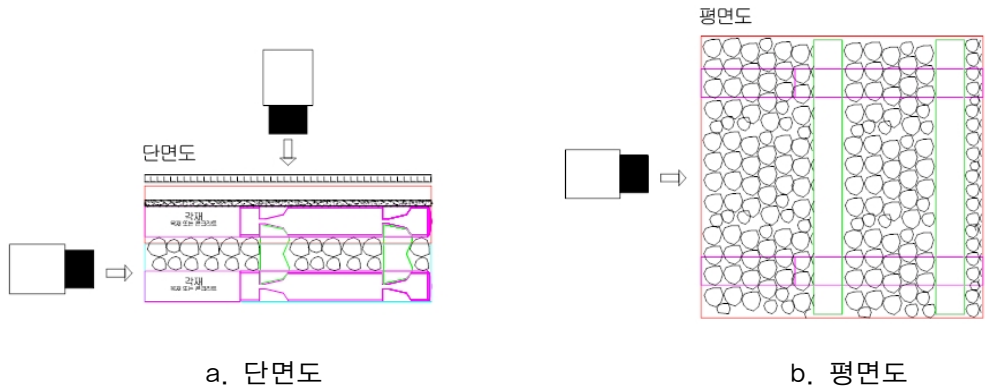


그림 4. 전단상자내 시험체 제작도

공시체 제작 완료 후 전단상자 상부에 가압판을 상재시켜 옹벽 10 m 높이에 해당되는 수직응력(294 kPa) 전후 값인 147, 294, 441 kPa 에 대해서 압밀 및 시료 안정화 과정을 거친 후, 변형률 제어방식 (전단속도 : 10 mm/min)으로 전단을 실시하였다.

3. 쇄석재료의 특성

대형 시험장비들이 개발되면서 대입경 조립재료에 대한 연구는 Marsal(1967, 1973), Marachi 등 (1972)이 사력담체체에 사용되는 대입경 재료의 압축성 및 전단강도에 대해서 대형삼축실험을 수행하면서 활발해졌으며, 국내에서는 수자원공사(2001) 및 한국전력공사(2005) 등이 국내 담체체 및 주요 석산에서 생산된 쇄석들에 대한 전단거동특성 연구를 수행하면서 활발히 진행되어 다양한 모암의 쇄석에 대한 전단거동 특성 연구가 활발히 수행되어 주요 인자별 거동 특성 및 전단강도에 대한 경험적 연구결과가 많이 발표되었다.

이대수(2005)는 쇄석재료의 주요 영향인자인 밀도, 최대입경 및 파쇄율 등에 대해서 국내 지역별 석산에서 채취된 쇄석재료로 시험한 결과 전단강도는 모암의 일축압축 강도, 파쇄율이 중요 영향인자로 제시했으며, 대략적으로 다양한 현장조건에서 내부마찰각이 39.4 - 49.3의 범위 값을 제시하였다(그림 5,6 및 표 1).

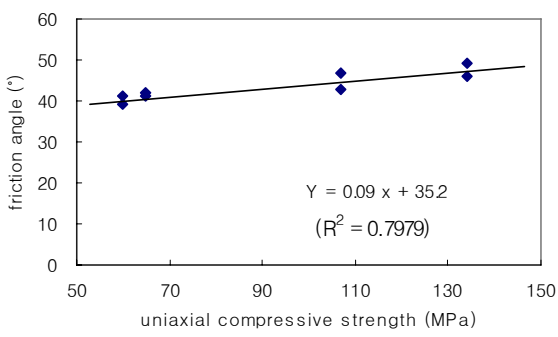


그림 5. 일축압축강도와 내부마찰각

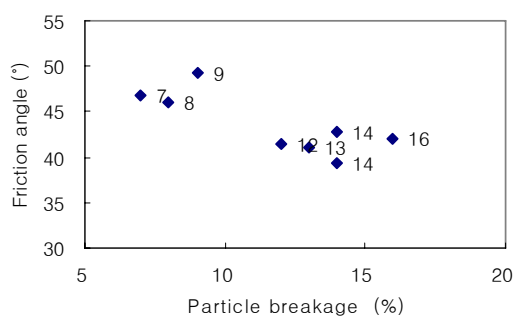


그림 6. 평균파쇄율과 내부마찰각 (그림내부의 숫자는 파쇄율 표시)

표 1. 국내 4개지역 생산 쇄석재료 전단특성(한국전력, 2005)

지역 및 최대입경	시료기호	시험 밀도 (g/cm ³)	포화조건	내부마찰각 (°)	파쇄율 (%)	
경 기	76.3mm	KD	1.85	공기건조	41.4	12
	76.3mm	KW	1.85	24시간 수침	39.4	14
충 청	76.3mm	C7	1.85	공기건조	42.8	14
	50.8mm	C5	1.85	공기건조	46.7	7
경 상	76.3mm	G1	1.85	공기건조	46.0	8
	76.3mm	G2	2.10	공기건조	49.3	9
전 라	76.3mm	J3	1.85	공기건조	42.0	16
	76.3mm	J10	1.85	공기건조	41.1	13

4. 복합재료의 전단거동

선행연구를 통해서 강도특성이 규명된 콘크리트와 쇄석 재료로 조합된 복합재료에 대해서 응력-변위 및 수직-전단변위의 관계를 분석함으로써 두 재료의 상호작용에 대해서 검토하였다.

4.1 응력-변위

대형직접전단시험결과를 수직응력 147, 294, 441 kPa에 대해서 응력-변위에 대해서 그림 7 과 같이 나타냈다. 그림 7은 복합재료의 전단응력-변위 관계를 나타낸 것으로 전단변위 50 mm 이전 구간의 선형거동을 나타내고, 50 mm 이후 구간에서는 비선형적인 거동 특성을 보였다.

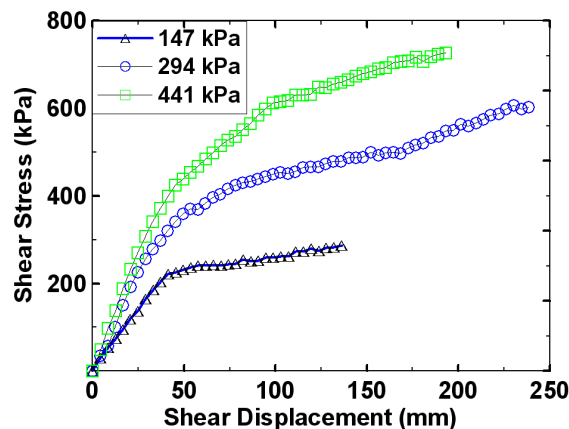


그림 7. 전단응력- 전단변위

그림 8과 같이 시험 후 시료 상태를 확인한 결과 콘크리트 부재가 맞물린 부분에서 전단변위 초기단계에서 파괴된 것으로 추정되는 대각선의 전단파괴 Crack이 확인 되었으며, 그 주위로 전단변형이 진행됨에 따라서 파쇄된 콘크리트 파편과 쇄석재료들이 전단저항을 수행하면서 파쇄된 흔적이 발견되었다.

이는 변위 초기 단계(전단변위 : 50 mm 이하) 에서는 강성이 큰 콘크리트 부재의 맞물림이 전단을 저항하고, 이후 단계(전단변위 : 50 mm 이상)에서는 파쇄된 콘크리트 잔류저항력과 쇄석의 맞물림력(interlocking) 이 하중을 저항한 때문으로 판단된다.



그림 8. 전단파괴 후 복합재료

4.2 수직-전단변위

그림 9는 수직응력 1.5, 3.0, 4.5 kgf/cm²에 대해서 수직-전단변위 관계를 나타낸 것으로 초기 전단 변위 50 mm까지는 압축거동을 나타내고, 50 mm 이후 구간에서는 일반적인 쇄석재료와 유사하게 수직응력이 증가하면서 다이러턴시 현상이 감소하는 거동을 나타냈다.

이는 4.1 절에서 언급한 바와 같이 초기단계 (전단변위 : 50 mm 이하)에서는 콘크리트 부재의 맞물림 저항력이 작용하여 재료의 거동특성이 다양한 수직응력에 대해서 유사하게 나타났으며, 이후단계 (전단변위 : 50 mm 이상)에서는 콘크리트부재가 파쇄를 일으키면서 쇄석재료의 일반적인 다이러턴시 거동과 유사하게 나타난 것으로 판단된다.

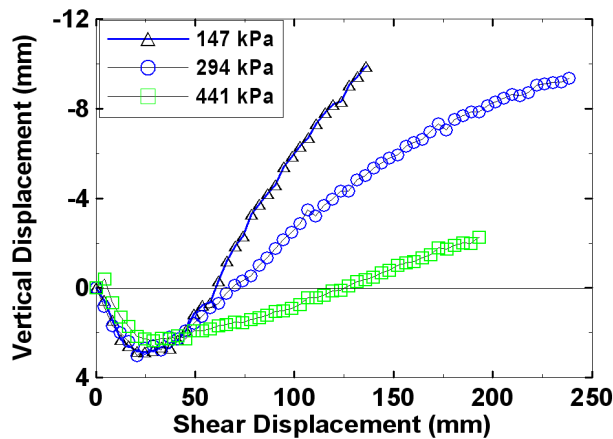


그림 9. 수직 - 전단변위(Dilatancy)

5. 결론

본 연구에서는 용벽구조물용 복합재료를 수직응력을 달리하며 대형직접전단시험을 수행하였으며, 그 결과 다음과 같은 전단거동 특성에 대한 결론을 얻었다.

- 1) 응력-변위 관계에서는 변위 50 mm 이내에서는 전단변위 증가에 전단응력이 선형적으로 증가하였고, 변위 50 mm 이상부터는 비선형적인 거동을 나타냈다.
- 2) 수직-전단변위 관계에서는 변위 50 mm 이내에서 다양한 수직응력 조건에 대해서 거의 유사한 압축거동을 나타내고 변위 50 mm 이후부터는 수직응력이 증가하면서 다이러턴시 현상이 감소하였다.

- 3) 상기 결과는 초기에는 강성이 큰 콘크리트 부재가 하중을 저항하고, 변위가 증가하면서 콘크리트 부재의 파쇄와 더불어 쇄석재료와 상호거동을 보인 때문으로 판단되며, 향후, 전단파괴 기준수립을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 산업자원부 (2005), “구조물 단면절감을 위한 조립질 토목재료 변형특성 연구”, 최종보고서, R-2002-0-172
2. 한국수자원공사 (2001), “대형삼축기를 이용한 댐재료의 전단강도 특성 연구”, 최종보고서, WRRI-GT-01-2
3. 이대수, 김경열, 홍성연, 조화경, 황성춘 (2005), “대형직접전단시험을 이용한 조립재료의 전단거동 특성(I)”, *한국지반공학회 논문집*, 제21권 제6호, pp.81-91
4. Marachi, N.D., Chan, C.K., and Seed, H.B. (1972), "Evaluation of Properties of Rockfill Materials", *J. of Soil Mech. And Found. Div.*, ASCE, Vol. 98, No. SM1, Jan, 1972. pp.95-114
5. Marsal, R.J. (1967), "Large Scale Testing of Rockfill Materials", *J. of Soil Mech. And Found. Div.*, ASCE, 93(2), pp.27-43
6. Marsal, R.J. (1973), "*Mechanical Properties of Rockfill*", in *Embankment Dam engineering*. Casagrande Volume, John Wiley & Sons, New York, pp.109-200