

조립재료와 지오신세틱스의 접촉면 마찰특성 평가

Evaluation of Interface Friction Properties between Coarse Grained Materials and Geosynthetics

장용채[†] · 이승은¹⁾ · 서지웅²⁾

Chang, Yongchai · Lee, Seungeun · Seo, Jiwoong

ABSTRACT : The purpose of the study was to evaluate how much gastropod shell effected its properties better than crushed stone as coarse grained materials by comparing friction properties of a contact surface between coarse grained materials and geosynthetics with the large-scale direct shear test. To achieve the purpose, the study compared and analyzed friction coefficient and friction angle by making crushed stone or gastropod shell into model ground and by installing and shearing non-woven fabric or geostrip geosynthetics. As the results of the analysis, crushed stone had the internal friction angle of 33.8° when its unit weight was 13.7 kN/m³ and gastropod shell had the internal friction angle of 35.4° when its unit weight was 5.4 kN/m³. Also, the friction angle of a contact surface between geosynthetics and crushed stone was larger than the friction angle of a contact surface between geosynthetics and gastropod shell.

Keywords : Coarse grained materials, Geosynthetics, Large scale direct shear test, Friction angle

요 지 : 본 연구에서는 대형직접전단시험을 이용하여 조립재료와 지오신세틱스 사이의 접촉면 마찰특성을 비교하여, 조립재료인 고동껍질과 쇄석간의 조립재료특성을 파악하여 고동껍질의 효용성을 높이는데 그 목적이 있다. 이 연구를 위하여 모형지반을 조립재료인 쇄석 또는 고동껍질로 형성하여 부직포 또는 지오스트립 지오신세틱스를 포설 전단시켜 마찰계수와 마찰각을 비교 분석하였다. 분석결과 쇄석의 단위중량이 13.7kN/m³ 일 때 33.8°, 고동껍질의 단위중량이 5.4kN/m³ 일 때 35.4°의 내부마찰각을 나타내었다. 또한 지오신세틱스와 쇄석의 접촉면 마찰각이 지오신세틱스와 고동껍질 접촉면 마찰각보다 크게 나타났다.

주요어 : 조립재료, 지오신세틱스, 대형직접전단시험, 마찰각

1. 서 론

조립재료와 지오신세틱스의 접촉면 마찰특성은 폐기물 매립지, 연약지반 안정화, 도로건설, 옹벽 및 사면보호 등의 설계 시 고려되어야할 중요한 특성이다. 먼저 “조립질 토목재료” 라 함은 쇄석 또는 자갈 등과 같은 입상재료를 일컫는 말로써, 국내의 많은 건설현장에서 사용되고 있는 기본재료이다(이대수 등, 2006). 이와 관련하여 해양부산물 재활용차원에서 접근하여 관련된 국내외의 연구 사례를 살펴보면, 굴폐각 모르타르의 혼합토에 대한 연구, 굴폐각 혼합토의 비배수 전단강도 특성, 굴폐각이 혼합된 해성점토를 매립재료로 활용하는 방안 등을 들 수 있다(윤길립 등, 2001). 일본의 경우에는 연약지반에 대한 도로광복 공사의 노상재료에 응용하는 연구와 굴폐각을 파쇄하여 모래대체재로 사용한 연구 등이 있다(Miyamoto, M, et al, 2001; Miyaji Y. and Okumura T, 2000). 한편 모래, 흙, 자

갈 등의 환경에 사용되는 토목공사의 시공기술과 밀접한 관계가 있는 지오신세틱스(geosynthetics)는 직포, 부직포, 매트 등과 같은 직물형태와 플라스틱 멤브레인, 압출판 및 3차원 압출성형 구조물, 네트 등과 같은 고분자 제품이 광범위하게 포함된다. 지오신세틱스의 종류로는 지오텍스타일(geotextiles), 지오멤브레인(geomembranes), 지오그리드(geogrids), 지오네트(geonets), 지오웹(geowebs)등을 들 수 있다. 이중 지오스트립(geostrip)은 초기 보강토공법의 보강재로 적용된 아연도금 띠형 철재보강재를 대체하기 위해 개발되었고, 철재 제품의 부식에 따른 내구성의 단점을 해결하기 위하여 제안된 제품으로 고강도의 폴리에스테르 섬유를 폴리에틸렌으로 코팅하여 폭 90~100mm 정도의 띠형으로 제조된 토목합성보강재를 말한다.

토목용 부직포의 주요기능은 분리(separation), 여과(filtration), 보강(reinforcement), 배수(drainage)의 기능으로 널리 이용되고 있으며, 특히 인장강도에 의해 흙 구조물의 안정

† 정회원, 목포해양대학교 해양토목공학과 부교수(E-mail : geo@mmu.ac.kr)

1) 비회원, 목포해양대학교 해양토목공학과 박사수료

2) 비회원, 목포해양대학교 해양토목공학과 석사과정

성을 증진시키는 보강기능으로 인장강도가 클수록 흙과의 마찰력이 클수록 보다 큰 효과를 보여준다. 이렇듯 보강토 응력과 지반의 보강기능에서 접촉면의 마찰특성이 구조물에 큰 영향을 미치기 때문에 조립재료와 지오신세틱스 간의 접촉면의 전단강도를 정확히 산정하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 조립재료인 쇄석, 고등껍질과 지오신세틱스 즉, 부직포, 지오스트립을 이용하여 쇄석/쇄석, 쇄석/부직포, 쇄석/지오스트립, 고등껍질/고등껍질, 고등껍질/부직포, 고등껍질/지오스트립 접촉면의 대형전단시험을 실시한 후 결과를 분석하였다.

2. 시험재료

2.1 조립재료

본 연구를 위하여 사용된 조립재료는 공사현장에서 흔히 사용되는 쇄석과 바닷가에서 쉽게 확보할 수 있는 고등껍질로 시료의 균일성을 위하여 13.2mm체를 통과하고 9.5mm체에 잔류한 조립재료로 그림 1에 나타낸 바와 같다.

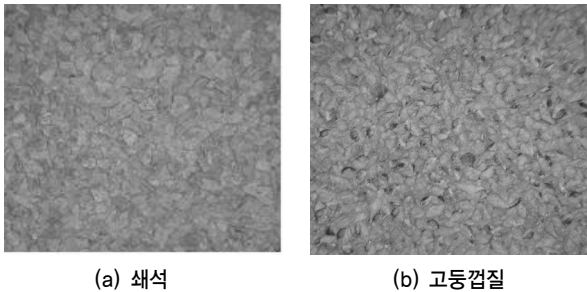


그림 1. 연구에 사용된 조립재료

2.2 지오신세틱스

본 시험에 사용된 지오신세틱스는 인장강도가 각각 50kN/m 인 지오스트립과 토목용부직포로, 그림 2와 표 1은 본 연구에 사용된 지오스트립과 부직포의 모습 및 규격이다.

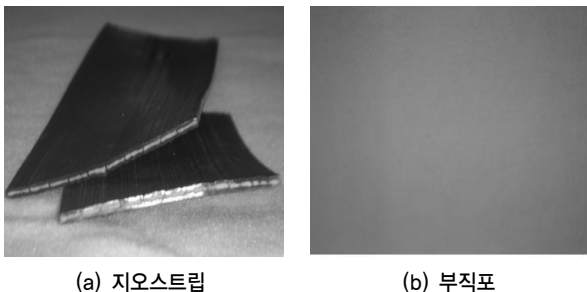


그림 2. 지오신세틱스

표 1. 시험에 사용된 지오신세틱스 규격

형태	구분	인장강도 (kN/m)	재질
지오신세틱스	지오스트립	50	PET/PE (core/sheath)
	부직포	50	polyester

3. 시험장치 및 방법

3.1 대형전단시험기

본 시험 장치는 전단 및 인발이 가능한 시험기로서 전단 상자의 크기를 조절할 수 있는 시험기이다. 그림 3과 같이 전단상자 크기는 길이, 폭, 높이가 각각 300×300×200mm로 전단 상자가 상·하부로 분리되어 있으며, 상부 전단 상자에는 평면베어링(flat bearing)이 부착되어 있어 직접전단시험시 상부 전단 상자의 이동이 가능하도록 되어있다. 상부와 하부 전단 상자는 각각 깊이가 100mm이다. 로드셀 최대용량은 최대 11,023lbs이며, 변위속도 제어 시스템에 의하여 임의의 속도로 조절이 가능하다. 그림 4는 대형전단시험기의 개략도를 보여주고 있다.

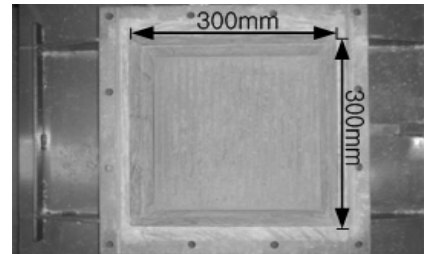


그림 3. 전단상자 300×300×200mm

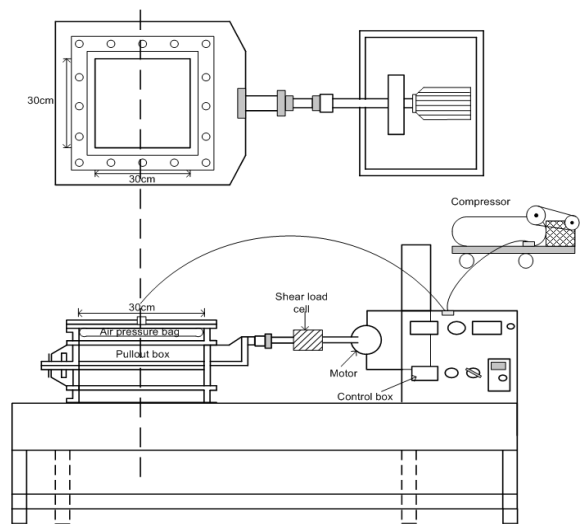


그림 4. 대형전단시험기 개략도

3.2 시험방법

조립재료와 지오신세틱스 접촉면 전단시험방법은 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 그림 5와 같이 전단상자내 목재블럭 위에 지오신세틱스를 고정시킨 후 그 위에 조립 재료인 쇄석과 고동껍질의 단위중량을 각각 13.7kN/m^3 , 5.4kN/m^3 로 조절하여 채워 넣었다. 모형지반에 공기압을 50, 100, 150kPa 연직하중을 가하고 1mm/min의 속도로 전단시킴으로서 조립재료와 지오신세틱스의 마찰특성을 파악하였다.

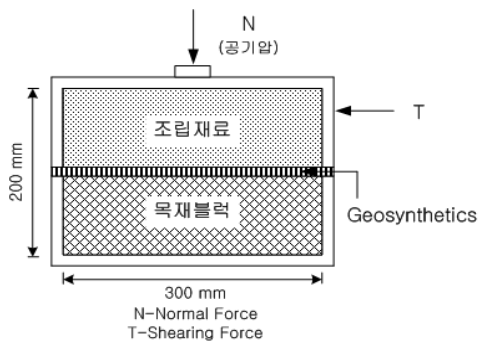


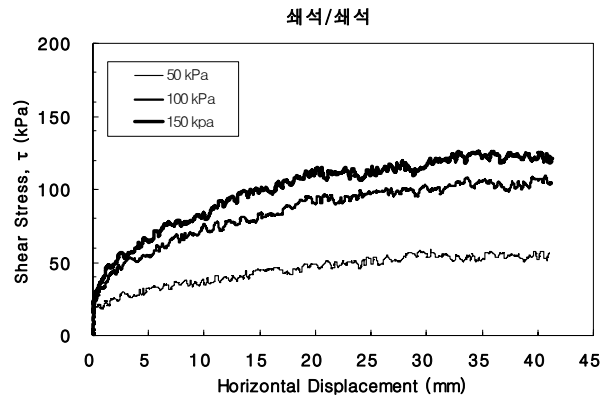
그림 5. 조립재료와 지오신세틱스의 접촉면 개략도

4. 시험결과

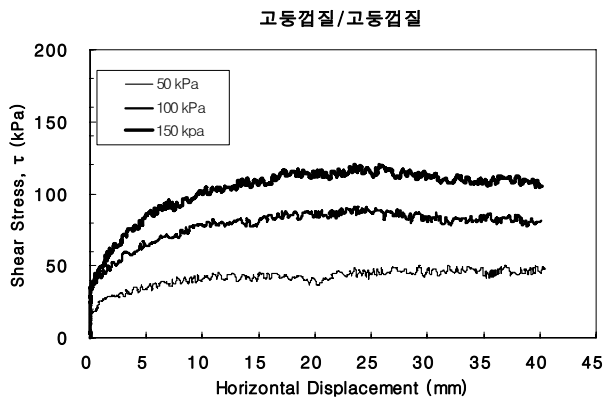
4.1 조립재료의 전단 시험 결과

그림 6과 그림 7은 전단상자안에 각각의 조립재료인 쇄석과 고동껍질을 단위중량 13.7kN/m^3 과 5.4kN/m^3 으로 채워 넣은 뒤 쇄석/쇄석, 고동껍질/고동껍질을 전단하였을 경우 전단응력과 수평변위, 응력비와 수평변위, 파괴포락선을 나타내었다. 두재료 모두 전반적으로 최대전단응력을 지나면서 각각의 곡선들이 수렴하는 형태를 보이고 있으며, 응력비는 수직응력이 작을수록 수평변위가 증가 할수록 증가하는 경향을 나타냈다. 그림 7에서는 재료별 전단응력과 수평변위를 비교하여 나타내었고, 각각의 수직응력(σ_n)에 따른 최대전단응력(τ)의 변화관계를 파괴포락선으로 나타내어 쇄석과 고동껍질의 접촉면의 마찰각을 비교하였다. 그 결과 쇄석의 경우 접촉면의 전단 마찰각이 33.8° 이며, 고동껍질은 35.4° 로 나타났다.

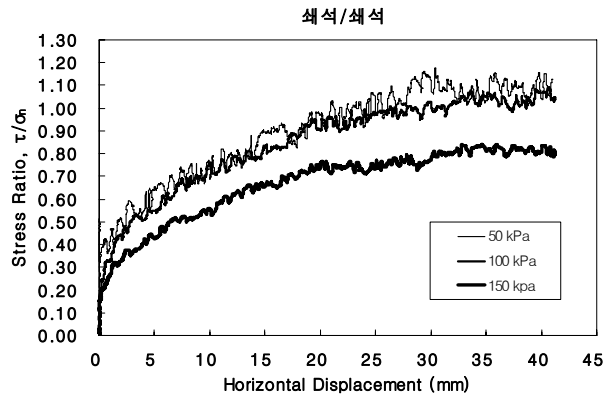
쇄석과 고동껍질과의 수평변위에 따른 전단응력을 분석해 보면 전단응력은 앞서 언급한 단위체적 중량으로 실험한 경우 쇄석이 고동껍질에 비해 수평변위가 증가 할수록 최대 전단응력이 크게 나타났다. 하지만 20~25mm 범위 사이에서는 두 재료의 전단응력 값이 유사하게 나타나는 등 골재 대응으로 고동껍질의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.



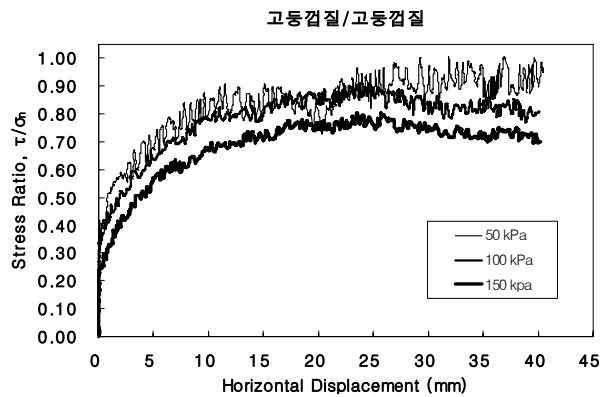
(a) 전단응력 vs 수평변위



(b) 전단응력 vs 수평변위

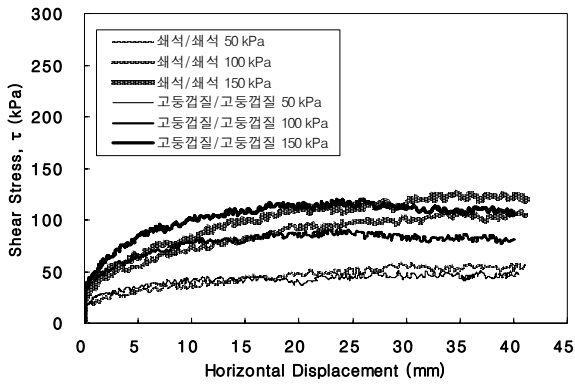


(c) 응력비 vs 수평변위

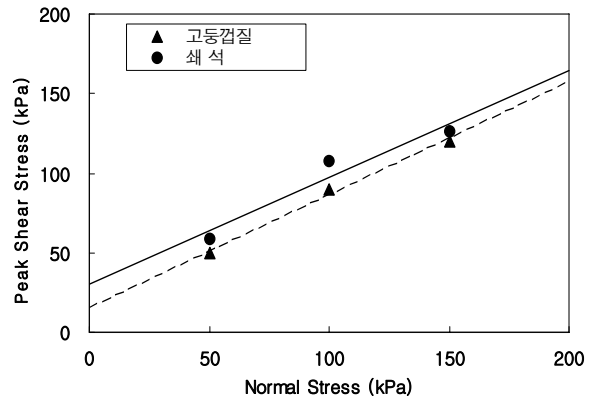


(d) 응력비 vs 수평변위

그림 6. 조립재료 접촉면에서 전단응력 vs. 수평변위 및 응력비 vs. 수평변위



(a) 전단응력 vs 수평변위



(b) 전단응력 vs 수직응력

그림 7. 조립재료 접촉면에서 전단응력 vs. 수평변위 및 전단응력 vs. 수직응력

표 2. 조립재료의 전단강도 및 마찰각

수직응력	시험조건	쇄석(단위중량 13.7kN/m ³)		고동겹질(단위중량 5.4kN/m ³)	
		최대전단강도(kPa)	마찰각(°)	최대전단강도(kPa)	마찰각(°)
50kPa		58.8	49.7	49.4	44.7
100kPa		107.8	47.2	89.8	41.9
150kPa		126.0	40.0	120.4	38.6

표 2는 조립재료인 쇄석과 고동겹질의 접촉면 전단시험 결과를 정리하여 나타내었다. 조립재료인 쇄석의 경우 기존의 연구결과(Matsuoka, 1998a)와 동일하게 낮은 수직응력하의 마찰각이 높은 수직응력에서 보다 큰 값을 나타내며, 높은 수직응력에서의 시험결과를 이용하여 전단강도 곡선을 도시한 결과 기존의 연구결과와 동일하게 조립재료에서도 겉보기 점착력(apparent cohesion)이 나타남을 확인할 수 있었다.

한편, 쇄석이나 고동겹질처럼 입경이 상대적으로 큰 재료는 낮은 전단강도와 큰 파쇄율을 나타내는데, 이러한 현상이 발생하는 주요 원인은 전단시 입자상호간의 엇물림(interlocking)에 의한 전단저항이 발생하기 전에 단계적으로 수직응력을 가할 때 입자의 파쇄가 먼저 발생하기 때문에 파쇄율은 커져 내부마찰각이 감소하는 것으로 판단되어 진다.

4.2 조립재료와 지오신세틱스의 전단 시험결과

그림 8~그림 10은 쇄석/부직포, 고동겹질/부직포, 쇄석/지오스트립, 고동겹질/지오스트립 등의 조립재료와 지오신세틱스 사이의 접촉면 전단시험에 대한 결과로 전단응력과 수평변위, 응력비와 수평변위, 그리고 파괴포락선의 관계를 나타낸 것이다. 모두 전반적으로 최대전단응력을 지나면서 각각의 곡선들이 수렴하는 형태를 보이고 있으며, 전체적으로 쇄석/부직포, 지오스트립이 고동겹질/부직포,

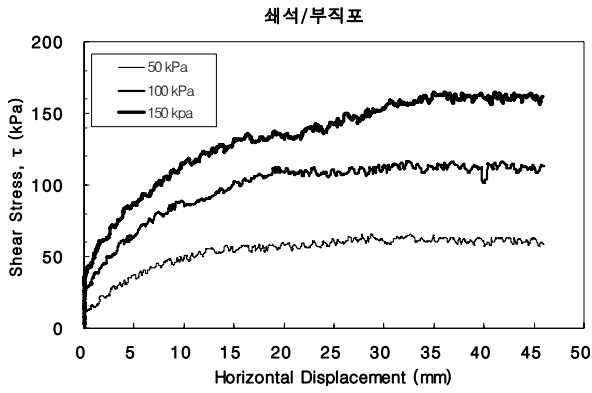
지오스트립에 비해 전단응력이 크게 나타남을 알 수 있었는데 이는 쇄석이 고동겹질보다 표면이 거칠기 때문이라 판단된다.

또한 인장강도가 같은 부직포, 지오스트립 에서도 접촉면이 거칠수록 접촉면 전단강도가 크다는 것을 알 수 있었다.

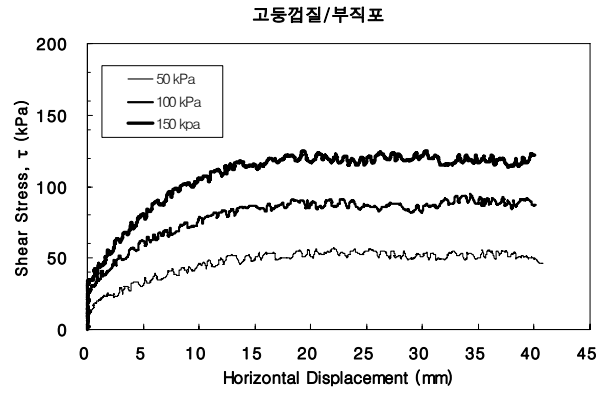
각각의 전단응력과 수직응력의 파괴포락선에서는 쇄석과 부직포 접촉면의 마찰각은 44.8°, 고동겹질과 부직포 경우는 34.1°, 쇄석과 지오스트립은 35.9°, 그리고 고동겹질과 지오스트립의 경우는 27.0° 로 나타났다. 쇄석/부직포, 고동겹질/부직포간의 마찰각을 비교하여 보면, 쇄석/부직포가 고동겹질/부직포에 비하여 10.7°, 쇄석/지오스트립이 고동겹질/지오스트립에 비하여 8.9° 정도 크게 나타났다.

그림 10에서 (c)는 조립재료와 지오스트립 접촉면의 전단응력과 수평변위 관계를 알아보기 위하여 각각 수직응력을 50, 100, 150kPa를 가하여 전단시험을 한 결과이다. 고동겹질/스트립 보다 쇄석/스트립이 전단응력이 크게 나타남을 알 수 있었다.

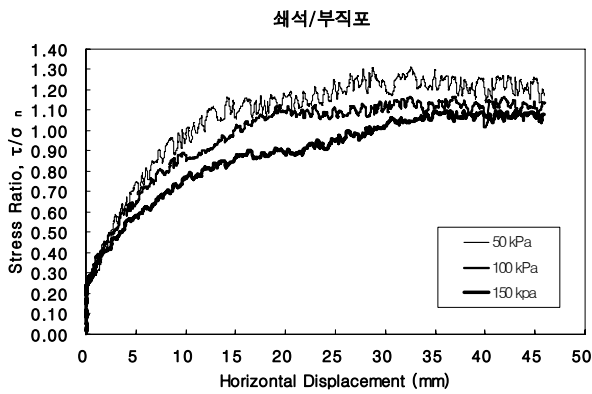
쇄석/부직포와 쇄석/스트립의 전단응력-수평변위 관계를 그림 9와 그림 10을 중심으로 각각 분석해 보면, 쇄석/부직포 관계 에서는 그림 9의(a)에 나타난 바와 같이 각 조건에 따른 전단응력이 개별적인 거동을 하였다. 하지만, 그림 10의 쇄석/스트립의 관계에서는 쇄석/스트립 100kPa와 고동겹질/스트립 150kPa, 쇄석/스트립 50kPa와 고동겹질/스트립 100kPa와 전단응력-수평변위 관계가 매우 유사하게 나타났다.



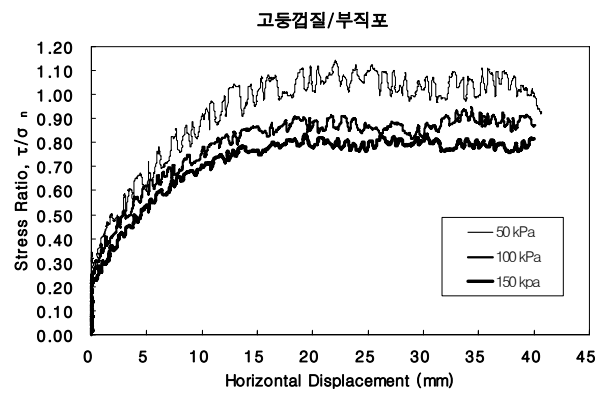
(a) 전단응력 vs 수평변위



(b) 전단응력 vs 수평변위

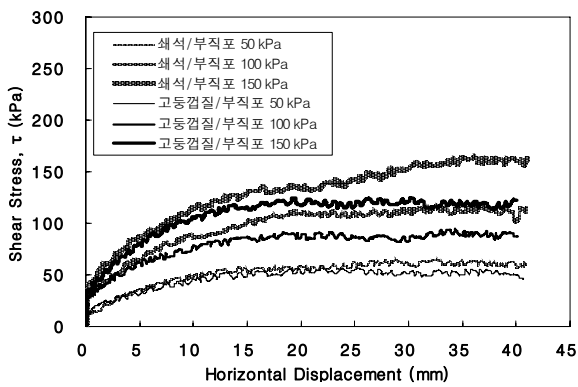


(c) 응력비 vs 수평변위

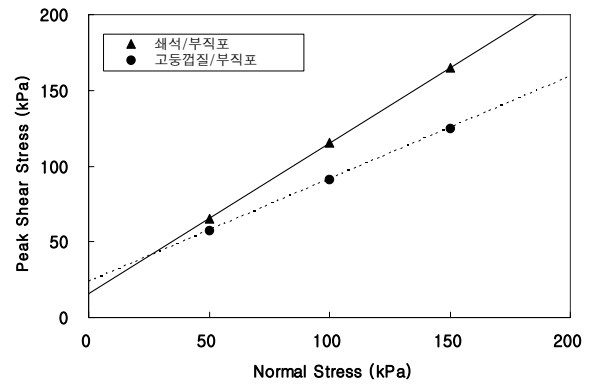


(d) 응력비 vs 수평변위

그림 8. 조립재료 부직포 접촉면에서 전단응력 vs. 수평변위 및 응력비 vs. 수평변위



(a) 전단응력 vs 수평변위



(b) 전단응력 vs 수직응력

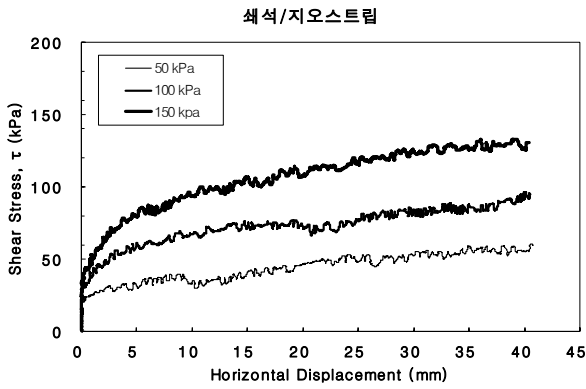
그림 9. 조립재료 부직포 접촉면에서 전단응력 vs. 수평변위 및 전단응력 vs. 수직응력

이는 쉐석과 고동겹질이 스트립과의 마찰 관계에 있어 이와 같은 크기의 전단응력 특성이 있는 것으로 나타났다.

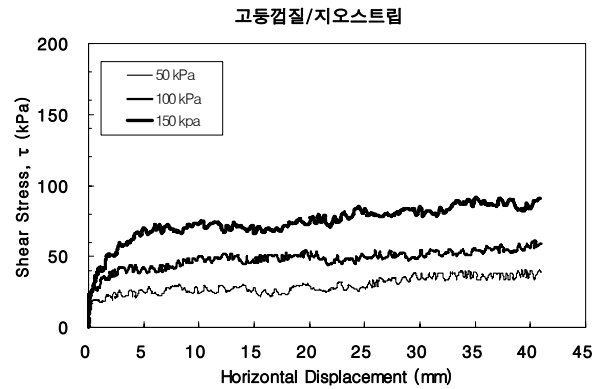
또한 조립재료와 지오신세틱스의 파괴포락선을 종합하여 나타내면 (d) 와 같다. 즉, 각 직선의 기울기가 그 접촉면에서의 전단 마찰각을 의미하며 쉐석/부직포, 쉐석/스트립, 고동겹질/부직포, 고동겹질/스트립 순서로 도시되었으며, 표 3은 각각의 수직응력 조건하에 조립재료와 지오신

세틱스의 전단강도 및 마찰각을 나타내었고, 접촉면 마찰각을 종합적으로 정리하면 표 4와 같다.

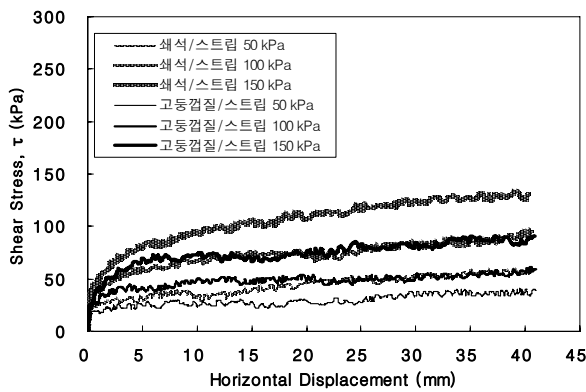
그림 11은 시험 후의 부직포와 지오스트립의 모습을 보여주고 있다. 지오스트립은 겉 표면 재질이 Polyethylene로 굽힘이 있으나, 큰 손상은 없었다. 하지만, 부직포는 Polyester로 전단 시 조립재료들로 인한 굽힘은 물론 부직포 섬유 속으로 관입하여 섬유의 손상이 나타났다.



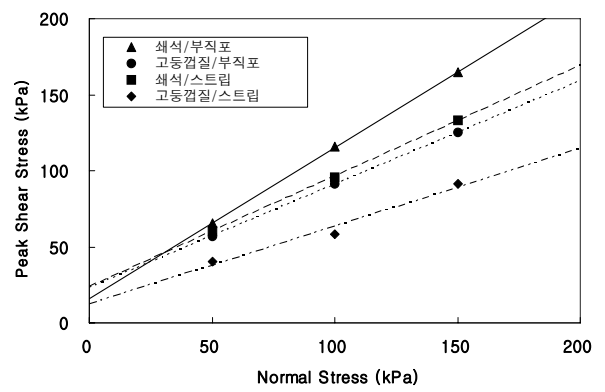
(a) 전단응력 vs 수평변위



(b) 전단응력 vs 수평변위



(c) 전단응력 vs 수평변위



(d) 전단응력 vs 수직응력

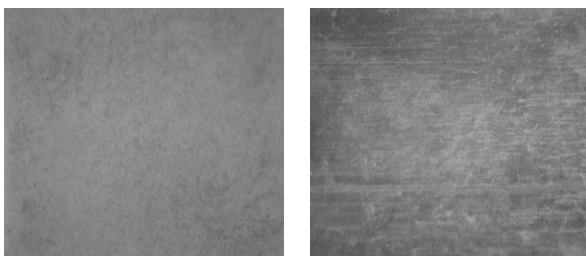
그림 10. 조립재료 지오신세틱스 접촉면에서 전단응력 vs. 수평변위 및 전단응력 vs. 수직응력

표 3. 조립재료의 전단강도 및 접촉면마찰각

시험조건 수직응력	쇄석 / 부직포		쇄석 / 지오스트립		고등껍질 / 부직포		고등껍질 / 지오스트립	
	최대전단강도 (kPa)	마찰각 (°)	최대전단강도 (kPa)	마찰각 (°)	최대전단강도 (kPa)	마찰각 (°)	최대전단강도 (kPa)	마찰각 (°)
50kPa	65.2	52.4	60.4	50.4	57.1	48.7	40.5	39.0
100kPa	115.7	49.2	95.5	43.5	91.4	42.3	58.0	30.1
150kPa	164.7	47.7	132.9	41.6	124.9	39.7	91.3	31.4

표 4. 내부마찰각과 접촉면의 전단 마찰

시험재료	쇄석(13.7kN/m ³)	고등껍질(5.4kN/m ³)	부직포	지오스트립
쇄석(13.7kN/m ³)	33.8°	-	44.8°	35.9°
고등껍질(5.4kN/m ³)	-	35.4°	34.1°	27.0°



(a) 부직포 (b) 지오스트립

그림 11. 시험 후 지오신세틱스 모습

5. 결 론

조립재료인 쇄석과 고등껍질을 이용하여 부직포와 지오스트립의 접촉면 마찰특성을 대형직접전단시험을 통하여 평가한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 쇄석의 단위중량이 13.7kN/m³인 경우 내부마찰각은 33.8°이며, 단위중량 5.4kN/m³ 고등껍질의 경우 내부마

찰각은 35.4°로 나타났다. 쇄석과 부직포 접촉면의 마찰각은 44.8°를 나타내었고 쇄석과 지오스트립 경우는 35.9°, 그리고 고동껍질과 부직포는 34.1°, 고동껍질과 지오스트립의 경우는 27.0°로 나타났다.

- (2) 쇄석/부직포, 고동껍질/부직포간의 마찰각을 비교하여 보면, 쇄석/부직포가 고동껍질/부직포에 비하여 10.7°, 쇄석/지오스트립이 고동껍질/지오스트립 보다 8.9°의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 쇄석자체와 고동껍질자체를 비교한다면 다소 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- (3) 고동껍질/부직포, 고동껍질/지오스트립 보다 쇄석/부직포, 쇄석/지오스트립의 접촉면 마찰각이 크게 나타났다. 즉 조립재료나 지오신세틱스의 접촉면이 거칠면 접촉면 전단강도가 크다는 것을 확인하였다.
- (4) 시험후의 부직포와 지오스트립의 변화 모습을 관찰한 결과 부직포가 조립재료로 인하여 굽힘은 물론 부직포 섬유 속으로 관입하여 섬유의 손상이 나타났다.
- (5) 이상의 결과를 정리하면 조립재료, 즉 쇄석과 고동껍질의 전단강도는 고체입자간의 마찰과 인터록킹에 의해 생기며, 고동껍질의 전단 특성이 쇄석의 전단 특성과 매우 근접한 특성을 보이기 때문에 고동껍질이 쇄석

대용으로 토목현장에 사용이 가능하다고 판단된다. 이는 요즘처럼 천연재료의 수급이 어려운 현실에 있어 불용자원의 효율적 활용을 통한 대체 재료의 무한한 개발 가능성을 확인해 준 것이라고 볼 수 있다.

참고 문헌

1. 윤길림, 채광석, 백승철, 윤여원(2006), 친환경 굴껍질 고화재 개발, *한국지반공학학회논문집*, Vol. 21, No. 3, pp. 79~86.
2. 윤길림, 김병탁(2001), 재활용을 위한 굴폐각 혼합토의 강도특성 조사, *2001년도 학술발표회논문집*, 한국지반환경공학회 학술발표논문집, pp. 71~76.
3. 이대수, 김경열, 홍성연, 황성춘(2006), 대형직접전단시험을 이용한 조립재료의 전단거동 특성(II), *한국지반공학학회논문집*, Vol. 22, No. 4 pp. 51~59.
4. Matsuoka, H. (1998a), Simplified Direct Box Shear Test on Granular Materials and Its Application to Rockfill Materials. *Soils and Foundations*, Vol. 38, No. 4, pp. 275~284.
5. Miyamoto, M. Taniguchi, K. Yamada, M. and Hana, S. (2001), Reuse of Oyster Shell Resources of Civil Engineering Materials, *Japan Ishigawa Industry Reports*, Vol. 51. pp. 1~5.
6. Miyaji, Y. and Okumura T. (2000), Geo-Material Properties of Wasted Oyster Shell-sand Mixture and its Application as Material for Sand Compaction Pile, *Proc. of Coastal Geotechnical Engineering in Practice, Nakase & Tsuchida(Eds), Rotterdam*, pp. 675~680.

(접수일: 2008. 4. 15 심사일: 2008. 4. 18 심사완료일: 2008. 5. 29)