

다공성 지오셀의 개발 및 특성 연구

New Developing the Porous Geocell and Researches on its Properties

유 중 조^{1*} Yuu, Jung-Jo
오 영 인² Oh, Young-In

ABSTRACT

This paper summarized that the developing Geocell(Geocomb[®]) cellular confinement system with a porous strip and the researches on its properties. The new geocell has shown excellent properties; frictional and permeable characteristics, and is expected to be a proper solution to various fields related.

요 지

지지력개선, 보강토분야, 식생기반층 조성 등에 사용되는 3차원 구조의 벌집형태인 지오셀(geocell)에 대한 연구를 통해 국내 고유기술로 독창적인 다공성의 지오셀을 개발하였다. 본 논문에서는 독창적인 다공성 망상구조에 대한 특성평가를 실시하여 그 결과를 제시하였다. 특성평가를 통해 신규 개발된 다공성 지오셀은 우수한 마찰특성과 차별화된 투수특성으로 향후 관련분야에서 경쟁력있는 공법으로 적용될 것으로 기대된다.

Keywords : Geocells, Porous, Permeability, Cellular, Confinement

1. 서 론

지오셀(Geocells)은 일정 폭을 갖는 다수의 띠를 접착시켜 3차원의 벌집형태로 토립자 구속을 통해 지지력개선 등의 보강효과를 발휘하는 지오신세틱스(geosynthetics)이다. 1970년대 말에 실시된 미공병단에 의한 연구를 기점으로 해외에서는 다양한 분야에 많은 시공사례와 기술적인 체계가 구축되었다(전한용 등, 2001). 그 적용분야는 연약지반의 지지력 개선, 보강토공법, 식생기반층, 수리환경분야 등으로 넓은 범위에 적용된 사례들이 보고되고 있으며, 최근 지오셀 제품의 도로기층보강공법으로 적용을 위한 수치해석 등에 대한 연구가 활발히 발전, 진행되고 있다(J. Yuu et al., 2008).

한편, 국내에서는 지오셀 제품의 1980년대 중반부터 도입되어 지속적인 적용이 이루어지고 있음에도 수입제품이 갖는 적용 한계를 벗어나지 못하여 활발한 시장의 형성이

되지 못하고 있다. 이는 해외제품이 갖는 특허기술에 대한 높은 기술의존도와 높은 제품 단가, 낮은 사업성 등으로 국내 관련분야에 적극적인 적용과 기술적 연구가 활발히 이루어지지 못하고 있는 것이다. 그러나 해외사례 검토를 통해서 독립적인 기술력과 국내 생산에 의한 제품단가 현실화를 통해 국내에서도 충분한 시장을 확보할 수 있을 것으로 판단되고 있다.

이와 같이 국내 지오셀 관련 산업의 활성화를 위해서는 차별화된 고유 지오셀 제조기술의 개발이 필요하고 더불어 관련 공법의 개발과 산업의 활성화를 위한 노력이 요구되었다. 이러한 개발요구에 부응하여 (주)골든포우에서는 해외특허기술에 저촉되지 않는 국내 고유기술로 지오셀 제품을 연구하여 다공성의 친환경적인 지오셀(Geocomb[®], 지오콤[®])을 개발하였다. 본 논문에서는 국내외 관련기술 동향과 개발된 다공성 지오셀 제품의 특성평가를 실시하여 그 결과를 제시하였다.

1* 정회원, (주)골든포우, 기술연구소, R&D 실장 (Member, General Manager of R&D Dept., GoldenPow Co., Ltd., E-mail: Jungjoyuu@korea.com)
2 정회원, 농어촌연구원, 선임연구원 (Member, Senior Researcher, Rural Research Institute, KRC)

2. 기술 동향

2.1. 지오셀 공법원리

일반적으로 연약한 기초지반에 하중이 작용하면 그림 1(a)와 같이 토립자는 영역 1에서 영역 3으로 이동하여 파괴되나 그림 1(b)와 같이 지오셀로 영역 2를 구속함으로써 토립자의 수평변위를 억제하여 지지력을 증대시키는 효과를 나타낸다. 이와 같이 지오셀은 연속적인 셀구조를 갖는 매트릭스형태로 적용되어 하중을 분산시키는 메커니즘을 보이게 된다(이은수 등, 2007).

2.2. 지오셀 제품 동향

국내외에 사용중인 지오셀 제품은 표 1에 제시된 바와 같다. 대표적인 제품을 그림 2에 나타내었다. 제품을 대별하면 폴리에틸렌 시트를 초음파 용착시킨 제품군과 부직포를 접착시킨 제품군으로 대별할 수 있다. 초기 지오셀은 매끄러운 지오멤브레인(geomembrane)을 일정 폭으로 하

여 초음파용착을 통해 접합하여 지오셀을 제조하였으며, 점차 스트립의 마찰특성을 개선하기 위하여 요철(엠보싱)을 부여하였고, 또한 통수성 등의 기능을 부여하기 위해 천공(punching)을 실시한 제품이 주를 이루고 있다. 이후 용착방법을 차별화한 제품이 개발되었으며, 부직포 스트립을 이용한 제품 등도 등장하였다. 국내에서는 기술특허와 관련하여 천공된 제품의 생산에 제약이 있어 해당제품의 국내 생산이 이루어지지 않고 있다. 또한 제조설비의 초기투자비용이 과다하여 양산시스템의 구축에도 한계를 보여 국산화가 더딘 상황이다.

3. 다공성 지오셀의 개발

3.1. 연구배경 및 목적

서론에 언급한 바와 같이 국내에서는 지오셀 공법의 적용에 있어 활발한 시장형성이 이루어지지 않은 상황이다. 이는 제품이 갖는 우수한 기능성에 비해 수입제품이 갖는 수급의 단점, 제품의 높은 단가 및 환율의존성, 높은 기술

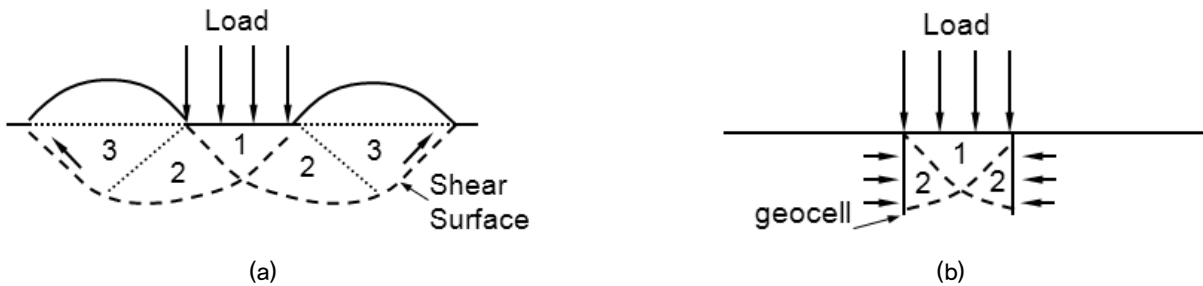
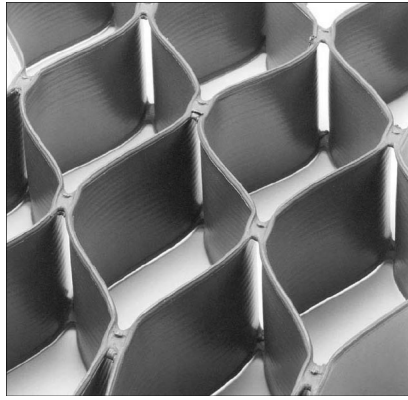


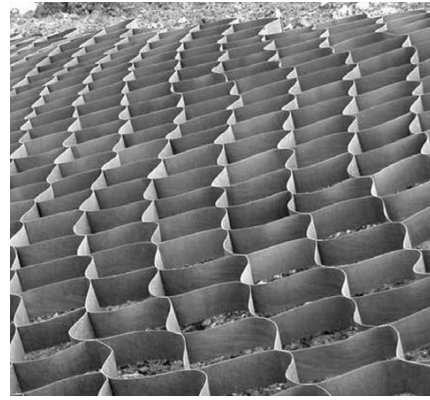
그림 1. 지오셀의 하중분산 메커니즘

표 1. 대표적인 지오셀 제품 및 기본적인 특성

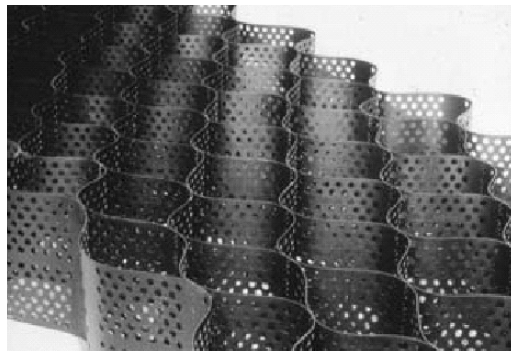
지오셀 제품	셀 크기(mm)		재질	비고
Geoweb®	GW20V	224 x 259	HDPE	초음파용착
	GW30V	287 x 320		
	GW40V	475 x 508		
Tenweb®	TW20	200	PE	열용착
	TW30	300		
Miraweb®	MW20	224 x 259	HDPE	초음파용착
	MW40	475 x 508		
Terracell®	TC140	224 x 259	HDPE	초음파용착
	TC175	287 x 320		
	TC280	475 x 508		
Bodcell™	220	264 x 218	Nonwoven	스티칭
	250	300 x 265		
	350	414 x 363		
Armater®	한 변 200mm 정육각형		Nonwoven	스티칭



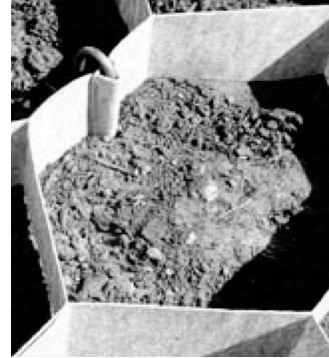
(a) Tenweb



(b) Bodcell



(c) Geoweb



(d) Aramater

그림 2. 대표적인 지오셀 제품

적 의존도 등으로 국내 적용에 제한적일 수밖에 없었다. 지오셀의 국산화를 위해서는 특허권 문제로 인해 원천적으로 생산이 불가능하였다. 또한 제품에 대한 전문가가 부족한 상황에서 고유제품에 대한 연구개발을 추진하기 어려운 실정이었다. 이러한 어려운 한계상황을 넘어서기 위해 국내기술로 차별화된 그리고 해외기술권을 침범하지 않은 지오셀 제품의 연구개발이 필요하였으며, 이에 (1) 신규 지오셀 제품의 개발, (2) 지오셀 제조기술의 확보, (3) 지오셀 특성 평가, (4) 시험시공을 통한 적용성 평가 등을 목적으로 연구를 수행하였다.

3.2. 다공성 지오셀의 개발

3.2.1 다공성 스트립의 개발

기존 지오셀이 갖는 마찰특성을 확보하고 더불어 충분한 배수특성(통수성)을 확보하기 위해 도출된 연구결과물은 폴리에틸렌 다공성이다. 이형 압출을 통해 제조된 스트립은 요철효과와 공극부를 통한 마찰특성의 향상을 기대할 수 있으며, 충분한 공극을 갖는 스트립으로 셀 벽을 통한 유수의 흐름을 확보할 수 있을 것으로 기대하였다. 그

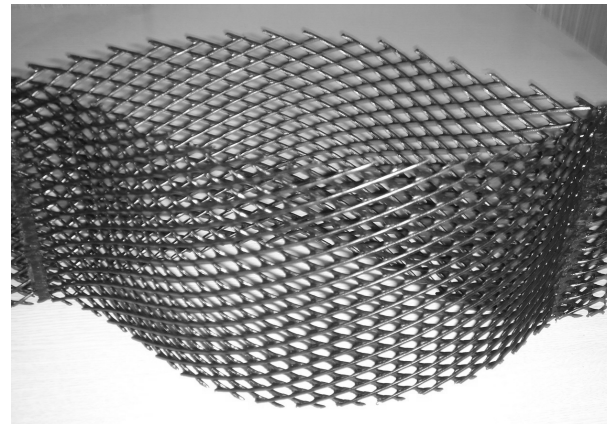


그림 3. 다공성 스트립으로 제조된 지오셀

림 3과 같은 이형 압출을 통해 얻어진 망상구조는 충분한 역학적 특성을 갖도록 망(openning)의 크기와 살(rib)의 두께 등을 최적화하였다.

3.2.2 다공성 스트립의 접착

스트립의 접착방법은 가장 보편화된 초음파용착기법을 적용하였다. 다공성의 스트립에 대해 적합한 초음파 용착기를 개발하였다. 기존의 요점접착방식이 아닌 전면 접착 방식으로 접착특성을 보강하였다.

4. 다공성 지오셀의 특성평가

4.1. 형상적 특성

개발된 다공성 지오셀의 기본적인 형상적 특성인 두께, 밀도, 카본블랙함량 및 단위 중량을 평가하였다. 그 결과를 표 2에 시험규격과 함께 제시하였다.

4.2. 역학적 특성

다공성 지오셀의 주요 역학적 특성은 스트립의 인장강도와 접점에서 박리강도이다. 각 특성은 KS K ISO 10319와 KS K ISO 13426-1:2007에 의거하여 평가하였다. 다공성 스트립의 인장강도는 길이 방향, 11.0kN/m 이상, 폭 방향 9.0 kN/m 이상의 값을 그리고 접합강도는 6.5kN/m 이상을 보여 이를 기준으로 공칭 관리강도값을 도출하여 표 3과 그림 5에 나타내었다.

4.3 역학적 특성

다공성 지오셀 다공성 지오셀의 스트립면과 채움재 사이의 마찰특성을 평가하기 위하여 대형 직접전단시험기를



그림 4. 다공성 지오셀 제조설비

표 2. 다공성 지오셀의 형상적 특성

항목	특성값	시험법
중량(g/m ²)	1304.8	KS K ISO9864:2007
두께(mm)	4.39	KS K ISO 9863-1:2005, A법
밀도(g/cm ³)	0.942	ASTM D1505
카본블랙 함량(%)	2.1	ASTM D 1603

표 3. 다공성 지오셀의 기본적 역학적 특성

	셀 높이 (mm)	공칭 스트립 인장강도 (kgf/strip)	공칭 접합 박리강도 (kgf/seam)
지오콤®	70	70	42
Geocomb®	100	100	60
	150	150	90
	200	200	120

이용하여 ASTM D5321에 의거하여 마찰각을 구하였다. 대형 직접전단 시험기의 토조크기는 30 (cm) × 30 (cm)이 있으며 공압식 하중재하 장치에 의해 약 0.5, 1.0, 1.5 kgf/cm²의 상재하중을 가하여 전단거동을 평가하였다. 채움재인 화강풍화토의 내부마찰각과 채움재와 스트립 사이의 마찰각을 각각 구하였으며, 그림 6에 그 결과를 나타내었다.

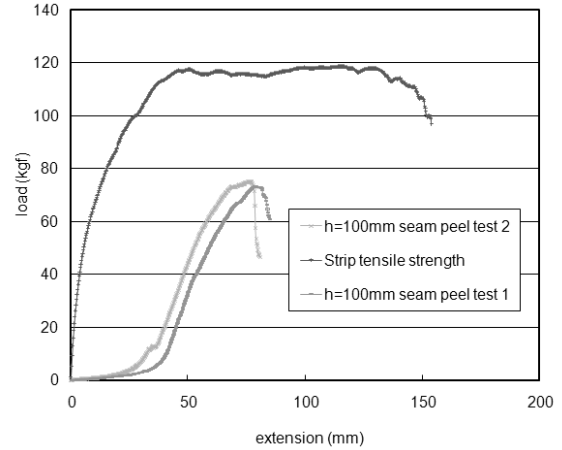
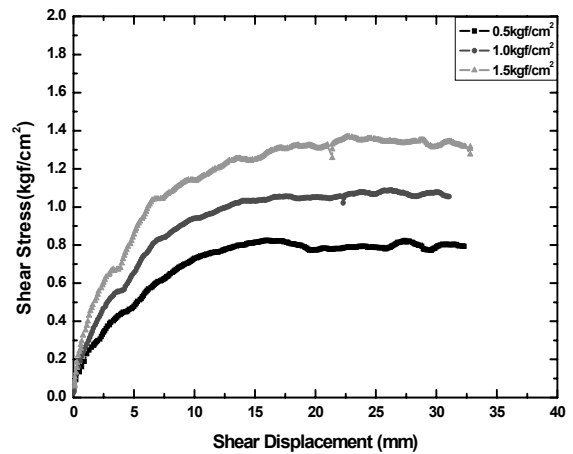
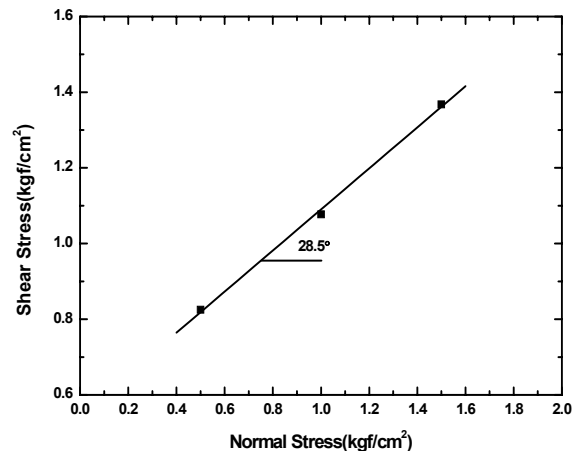


그림 5. 다공성 지오셀의 인장시험 거동 대표곡선



(a) 변위-전단력곡선



(b) 수직응력-최대전단응력 곡선

그림 6. 다공성 지오셀과 채움재 사이의 직접전단거동

표 4. 다공성 지오셀 스트립의 마찰특성

상부 : 풍화토 하부 : 다공성 스트립			
수직응력(kg/cm ²)	0.5	1.0	1.5
최대전단하중(kg)	742.5	969.3	1231.3
전단응력(kg/cm ²)	0.825	1.077	1.368
점착력(kg/cm ²)	0.547	마찰각(°)	28.5°

채움재의 내부마찰각은 35°로 나타났다.

시험에 사용한 화강풍화토와 다공성 스트립사이의 마찰각은 28.5°로 나타났으며 이는 채움재 내부마찰각의 약 81.5%으로 높은 마찰특성을 보임을 알 수 있다.

4.4 수리적 특성

다공성 지오셀의 투수특성을 평가하기 위해서는 실제 다양한 채움재로 채워진 셀에 대한 평가가 가장 합리적이거나 적합한 시험규격이 없어 다공성의 스트립에 대한 투수계수를 구하였다. KS K ISO 11058에 의한 다공성 스트립의 cross plane에 대한 투수계수를 평가하였으며 시험법에 규정한 최대 평가치인 9.9×10^{-1} (cm/c) 이상의 값을 보였다(손실수두는 50mm 조건).

4.5. 특성평가 결과에 대한 고찰

기존 천공된 지오셀의 경우 인장특성은 1.5kgf/cm 정도의 값을 보이며 개발된 다공성 지오셀의 경우 1.2kgf/cm 전후의 값을 보이고 있어 최적화된 이형압출공정을 통해 적합한 인장특성을 보임을 확인할 수 있었다. 또한 개발 목표로한 마찰특성의 개선은 다공성 특징과 이형압출에 의한 살(rib)의 입체효과로 인해 양질의 채움재의 80% 이상의 마찰극을 보여 충분한 마찰효율을 확보할 수 있음을 확인할 수 있다. 이는 엠보싱처리와 천공을 위한 후공정이 요구되는 기존의 지오셀 제조공정에 비해 간소화된 제조공정을 의미하며 결국 생산단가의 절감을 유도할 수 있다. 그리고 다공성이 갖는 우수한 투수성은 모래나 골재 등의 다공성 채움재가 갖는 투수성보다 높아 다공성 지오셀이 배수보강층으로 적용될 때 특히 더 우수한 장점을 갖는 것으로 판단된다.

위와 같이 다공성 지오셀의 단기적인 역학적 특성, 수리적 특성의 평가를 통해 기존 제품에 비해 특화된 특성과

유사한 수준의 특성을 각각 보유하고 있음을 확인할 수 있으며 특화된 특성을 통해 친수리 환경적인 분야에 보다 활발히 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 다만 장기적인 자외선 안정성과 내화학성 등은 지금까지 축적된 폴리에틸렌에 대한 문헌을 통해 안정성을 유추할 수 있다하더라도 제품에 대한 구체적인 데이터 도출을 위한 추가연구가 요구된다.

5. 결론

본 연구는 지오셀제품의 국산화와 차별화된 기술로 지적재산권의 확보를 통한 경쟁력 제고 등을 위해 연구 개발된 다공성 지오셀의 개발하였으며, 그 특성 연구 결과를 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 연구개발을 통해 최적화된 다공성 스트립을 통하여 지오셀을 제조하였으며,
2. 다공성 지오셀의 인장강도는 11.0kN/m 이상(길이방향), 접합강도는 6.5kN/m 이상이었으며,
3. 다공성 지오셀 셀 벽과 화강풍화토 사이의 마찰각은 28.5°로 화강풍화토 내부마찰각의 81% 수준을 보였으며,
4. 다공성 특징으로 인한 지오셀 벽의 투수계수는 9.9×10^{-1} m/s을 보였다.

이상의 연구결과로 얻어진 다공성 지오셀은 충분한 역학적 특성을 보이며 특화된 우수한 투수성과 마찰특성의 개선으로 지오셀 분야에서 충분한 경쟁력을 갖출 것으로 판단된다. 또한 개발된 제품을 토대로 하여 다양한 공법의 개발과 기술에 대한 지속적인 연구를 통해 관련분야의 활성화가 기대된다.

참고문헌

1. J. Yuu, J. Han, A. Rosen, R. L. Parsons & D. Leshchinsky, (2008), "Technical Review of Geocell-Reinforced Base Courses over Weak Subgrade", *Proc. of GeoAmerica 2008*, pp.1022-1030.
2. 전한용, 유중조, 유한규, 김홍택 (2001), *토목합성보강재*, 전남대학교출판부, pp.203.
3. 이은수, 김홍택, 이승호, 김경모 (2007), *보강토공법*, 건설가이드, pp.447.

(논문접수일 2008. 11. 1, 심사완료일 2008. 11. 21)