

# 차수재(HDPE) 보호재로서 토목섬유의 천공(꺾뿔림)하중에 대한 저항효과

## Resistant Effects of Geosynthetics Against Puncture Loads as a Protective of HDPE

이 광 열<sup>1</sup> Lee, Kwang-Yeol  
장 삼 식<sup>2</sup> Jang, Sam-Sik  
구 태 곤<sup>3</sup> Gu, Tae-Gon

### Abstract

This study focused on the protection effects of geosynthetics installed on HDPE to resist against puncture loads. The study was conducted by a model test with various types of puncture loads created by different shapes of tools. The puncture resistance of geosynthetics installed as a protective material on HDPE is varied depending on the sizes of geosynthetics and types of puncture loads. In this study, it was found that the protection effect for all kinds of geosynthetics when a truncated cylindrical shape of puncture tool is used is lower than others. Also, geocomposite has the most excellent protection effect against all types of puncture loads.

### 요 지

본 연구는 천공(꺾뿔림) 하중으로부터 차수재(HDPE)를 보호하기 위한 목적으로 설치한 토목섬유의 보호 효과에 대하여 비교 분석하기 위하여 수행되었다. 연구에서는 다양한 모양의 천공(꺾뿔림) 기구를 이용하여 재현한 천공 형식을 이용하여 모형 실험을 수행하였다. 보호재로서 차수재 상부에 설치되는 토목섬유의 천공 저항성은 보호재의 규격, 종류 그리고 천공 형식에 따라 큰 차이를 보인다. 연구 결과에 따르면, 독립적인 돌출부(원추 모양)를 천공 기구로 사용했을 때 모든 토목섬유에서 보호 효과가 가장 작은 것으로 나타났다. 또한, 모든 천공 형식에 대하여 지오폴리머의 보호 효과가 가장 우수한 것으로 나타났다.

**Keywords :** Geosynthetics, Landfill, Liner, Protective materials, Puncture load, Waste

### 1. 서 론

토목섬유를 이용하는 차수구조에서 배수층과 차수재(HDPE) 사이에 차수재인 지오펜브레인을 천공(꺾뿔림) 파괴로부터 보호하는 목적으로 지오텍스타일을 사용한다. 일반적으로 배수층의 재료로서 모래를 사용하여 침

출수의 원활한 배수를 도모하나, 모래입자 사이의 이물질 폐색으로 인하여 침출수의 원활한 배수가 이루어지지 않는 사고가 빈번하다. 이러한 점을 고려하여 최근에는 잡석이나 강자갈 등과 같은 입경이 큰 재료를 배수층에 사용하는 현상이 늘고 있다. 차수재 상부에 설치되는 폐기물이 큰 하중으로 작용하여 폐기물의 날

1 정희원, 동서대학교 건설공학부 부교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Univ. of Dongseo, civklee@gdsu.dongseo.ac.kr)

2 동서대학교 토목공학과 석사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Dongseo)

3 동서대학교 토목공학과 석사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Dongseo)

카로운 물질 등이 차수재에 천공(궤뿔림)파괴를 일으키거나(그림 2), 또는 차수재 하부의 입경이 큰 재료에 의해 천공파괴가 발생한다(그림 3). 따라서 천공(궤뿔림)하중에 의한 보호재의 평가는 천공시험을 이용하는데, 보호기능에 대한 성능을 평가할 수 있는 기준으로 사용할 수 있다. 이러한 천공시험은 불규칙한 형상을 갖는 쇄석, 강자갈, 페타이어 등으로 인한 천공하중을 재현할

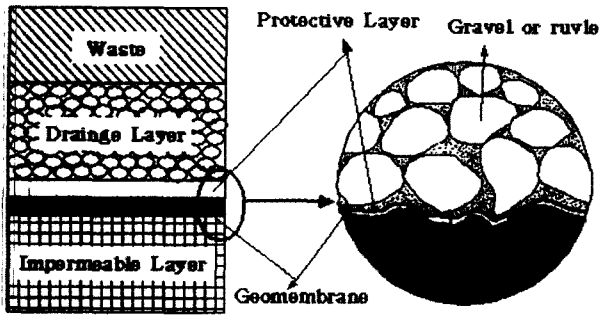


그림 1. 차수구조와 토목섬유의 변형



그림 2. HDPE 상부의 폐기물로부터의 천공파괴

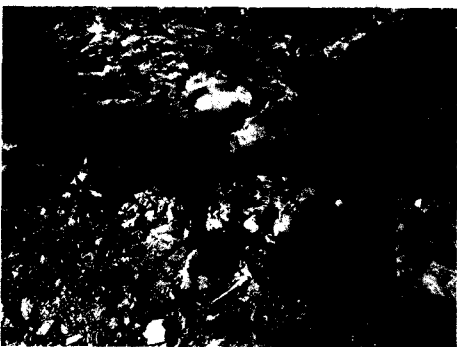


그림 3. HDPE 하부의 돌출물(암석)로부터 천공파괴

수 없기 때문에 신뢰성이 약하다. 따라서, 유사한 형상을 이용한 천공하중에 대한 평가가 필요할 것이다. 폐기물 매립지의 차수구조에서 지오멤브레인 상부에 설치되는 지오텍스타일(부직포)은 차수 재료인 지오멤브레인을 천공(궤뿔림)파괴로부터 보호하기 위하여 사용되는 보호재이다. 이와 같이 보호재를 차수재와 조합하여 사용함으로써 천공(궤뿔림)에 대한 저항력을 증가시킬 수 있다.

천공하중에 의한 차수재의 응력-변형에 대한 연구는 소수의 연구자에 의해 수행되었는데 Pape와 Huang(1990, 1992)은 압축공기 또는 수압을 배수층에 가함으로써 지오멤브레인의 천공강도를 측정하였다. Saathoff(1991)은 보호층에 하중을 재하하여 배수층을 통해 지오멤브레인에 응력이 전달되도록 하였고, Brummermann et al. (1993) 등은 하중재하 형식에서 하나의 관입원추를 사용하여 보호재에 하중이 전달되도록 하였다. 이(2001, 2002) 등은 여러 가지 천공기구로 천공(궤뿔림)하중에 의한 지오멤브레인 상부에 설치하는 보호재의 응력-변형 특성에 관하여 연구하였다.

본 연구에서는 돌출물질에 의해 발생하는 천공하중을 모사하기 위해 직경 19~25mm인 강자갈과 쇄석 그리고 2종류의 천공기구(단일원추, 천공판)를 제작하였다. 단일원추는 90mm의 정사각형 판에 원추의 침정을 절단하여  $\phi$ (직경) 30mm의 원추를 부착하였으며, 침정을 절단한 원추의 길이는 42.73mm이다. 천공판은 90mm의 정사각형판에 침정없는 원추들을 부착한 것으로 침정없는 원추의 길이는 25mm이다. 그리고 천공기구(단일원추와 천공판)의 원추앞부분은 수평으로부터 60°의 각을 유지하고 있다.

실내모형실험을 통하여 차수재 상부에 여러 가지 종류의 보호재료 설치에 따른 차수재(HDPE)의 천공응력에 대한 하중-변형 특성을 분석하였다(표 1 참조). 차수재(HDPE) 상부의 보호재료로서 부직포, NaBento GCL, Geo-Composite, GCL(토목섬유점토차수재)을 설치하여, 천공(궤뿔림)에 대한 저항효과를 비교 분석하였다.

표 1. 모형시험항목

재 료	천 공 발 생 장 치			
	단일원추	천공판	강자갈	쇄석
차수재(HDPE)만 설치	단일원추	천공판	강자갈	쇄석
HDPE상부에 보호재 설치 (부직포, Na-Bento GCL, GCL, Geo-Composite)	단일원추	천공판	강자갈	쇄석

## 2. 실험

### 2.1 재료특성

본 논문에서는 차수재(HDPE) 상부에 보호재 설치 시 차수재(HDPE)의 변형상태를 알아보기 위하여 차수재(HDPE) 상부에 보호재로서 부직포, NaBento GCL, Geo-Composite, GCL(토목섬유점토차수재)을 사용하였다. 실험에 사용한 토목섬유재료의 종류와 특성을 표 2에 나타내었다.

### 2.2 실험방법

모형 시험장치는 최대 5.0tonf의 Load Cell을 설치한 하중재하장치와 차수구조를 모사하기 위한 모형상자로 구성하였다. 모형상자 내 상부로부터천공(꺾뿔)기구, 보호재(부직포, NaBento GCL, Geo-Composite, GCL), 차수재(HDPE), 지지층(Geoform)의 순서로 구성하였으며, 천공(꺾뿔) 하중을 발생시키기 위한 천공(꺾뿔) 기구로는 깨끗이 물로 씻은 강자갈(Gravel)과 쇠석(Macadam) 2종류의 자연천공재료와 돌출모형을 재현하기 위해 단일원추, 천공판을 제작하여 사용하였다. 천

공시험모식도와 천공기구들을 그림 4와 5에 나타내었다. 실험에 사용한 보호재료를 HDPE 상부에 설치하고 천공(꺾뿔)기구를 보호재 위에 설치하여 천공(꺾뿔)하중을 가하였다. 보호재료 중 NaBento-GCL, GCL(토목섬유점토차수재)은 24시간물속에 넣어 둔 후 실험에 사용하였다. 하중재하속도는 모두 동일한 7mm/min으로 하여 실험을 실시하였다.

### 3. 시험결과 및 분석

시험결과에 의하면 HDPE 상부에 설치한 모든 보호재는 연직변형량이 약 25mm에서 찢김이나 천공파괴가

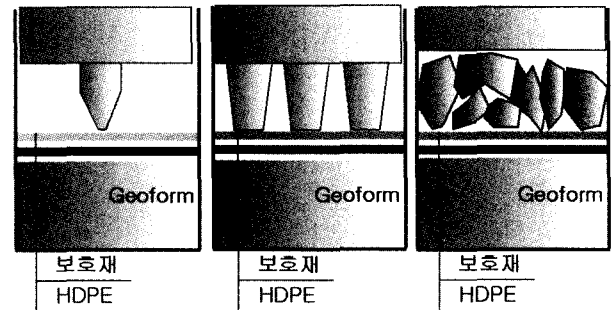


그림 4. 천공(꺾뿔)시험 모식도

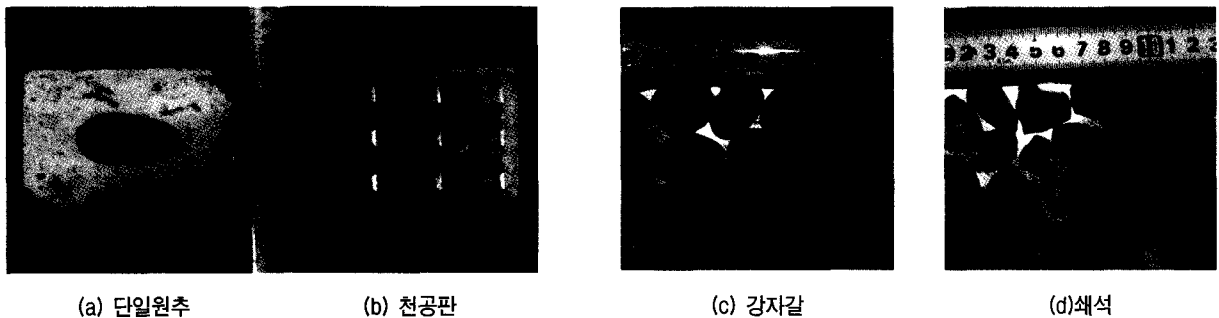


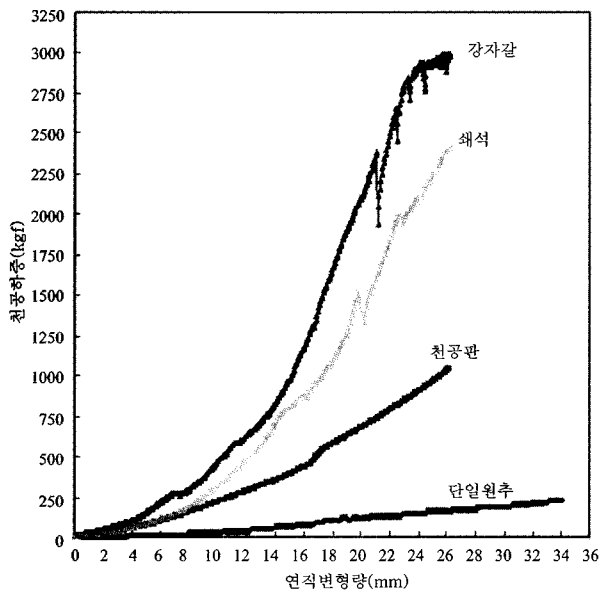
그림 5. 천공(꺾뿔)기구 종류

표 2. 사용재료의 종류와 특성

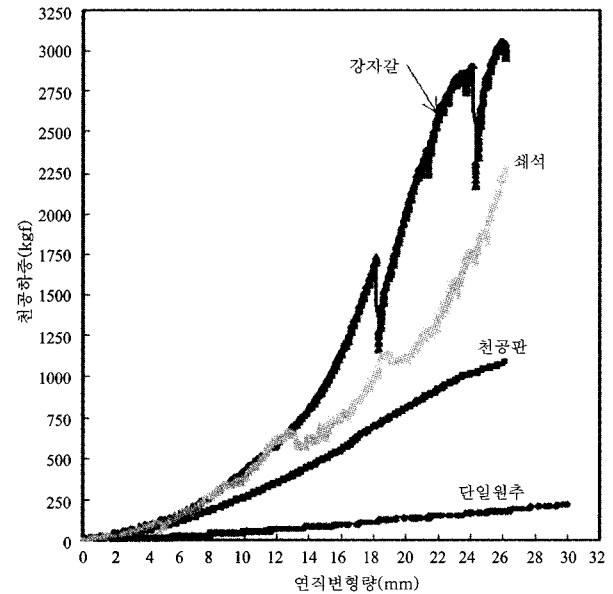
재 료	규 격	인 장 강 도		비 고
		측정방향	측정값	
HDPE	2.0mm	길이	201.5kgf/cm <sup>2</sup>	KPS M 6000
		폭	194kgf/cm <sup>2</sup>	
부직포	1000g/m <sup>2</sup>	길이	294.5kgf	KS K 0520-1995
		폭	283.5kgf	
NaBento GCL	6.0mm	길이	25KN/m	양면섬유(PP직포) 양면 friction
		폭	35KM/m	
GCL (토목섬유점토차수재)	4.0mm	양방향	55kgf	양면섬유(직포, 부직포) 니들편칭으로 고정
Geo-Composite	5.0mm	양방향	12.5kgf/cm	양면섬유(부직포) + 지오그리드

발생하였으나, HDPE에는 천공이 발생하지 않았다. 천공(뚫림)하중은 동일한 변형량에서 HDPE를 단독으로 사용했을 때 보다 상부 보호재를 설치하였을 때가 더 크게 나타났다. 그림 6의 (a), (b), (d)에서 보여지듯이 강자갈을 사용하였을 때 동일한 변형에서의 천공하중이 가장 크게 나타났고 쇄석, 천공판, 단일원추 순으로 보호재의 천공하중에 대한 저항효과가 크게 나타났다. 이 결과에 따르면, 강자갈을 배수재로 사용하는 경우가 차수재에 미치는 천공응력이 가장 작게 발생한다는 결과이다. 그러나 그림 6(c)에서는 쇄석을 사용하였을 때

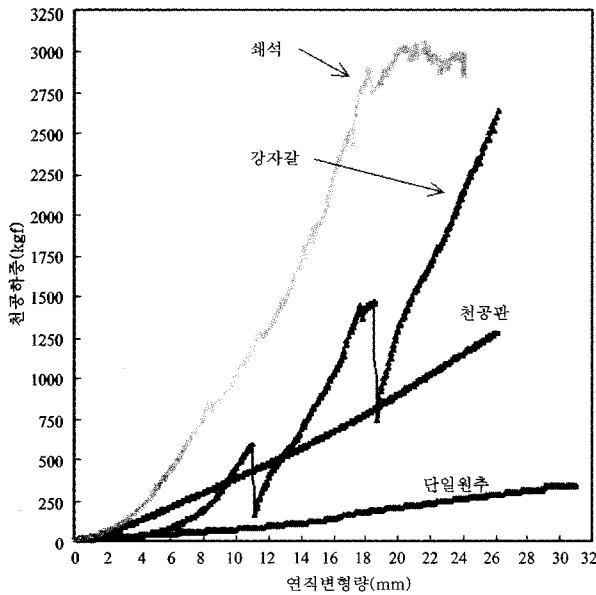
강자갈을 사용했을 때보다 크게 나타났는데 이는 강자갈을 사용하여 실험을 하는 과정에서 강자갈의 부서짐 때문에 천공(뚫림)하중이 크게 감소하여 쇄석보다 작게 나타난 것으로 판단된다. 강자갈이 쇄석보다 부서짐이 큰 이유는 강자갈이 쇄석에 비해 균등한 입도분포를 갖고 있어 큰 공극상태에서 하중재하시 재료간의 마찰이 크게 나타났기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 차수재 상부에 각각의 보호재를 설치하여 실험하였을 경우 천공형식 중 강자갈에 의한 천공에서 보호효과가 가장 우수하였고, 단일원추 사용 시 보호재의 저항성이 가



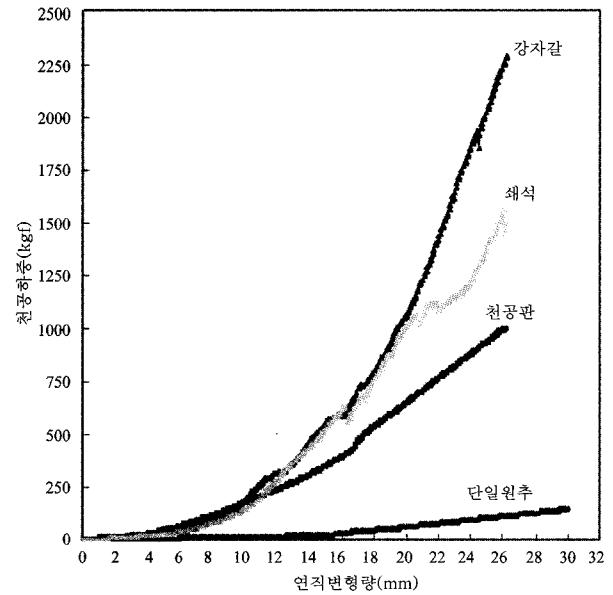
(a) HDPE 상부에 부직포 설치



(b) HDPE 상부에 NaBento GCL 설치

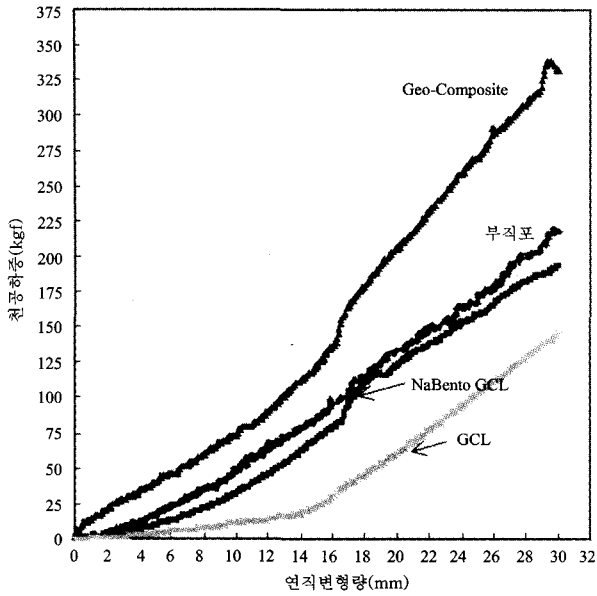


(c) HDPE 상부에 Geo-Composite 설치

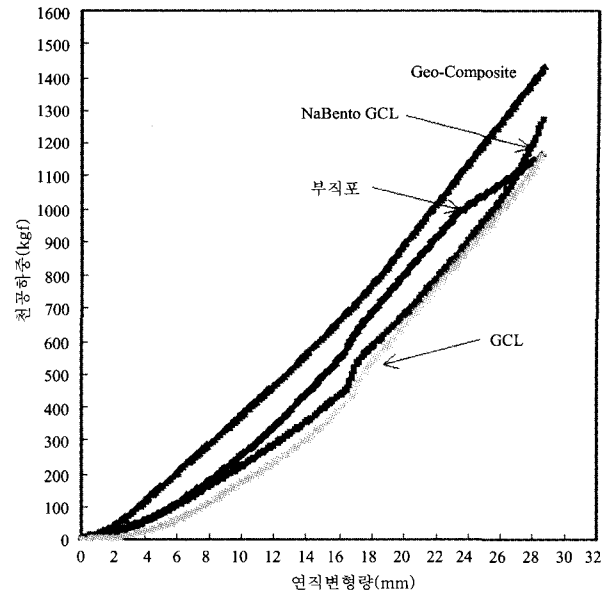


(d) HDPE 상부에 GCL 설치

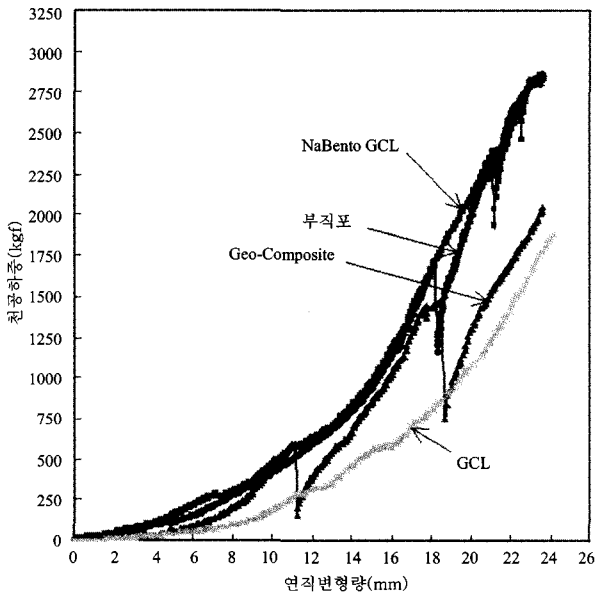
그림 6. HDPE 상부에 보호재를 설치했을 때 HDPE의 하중-변형 거동



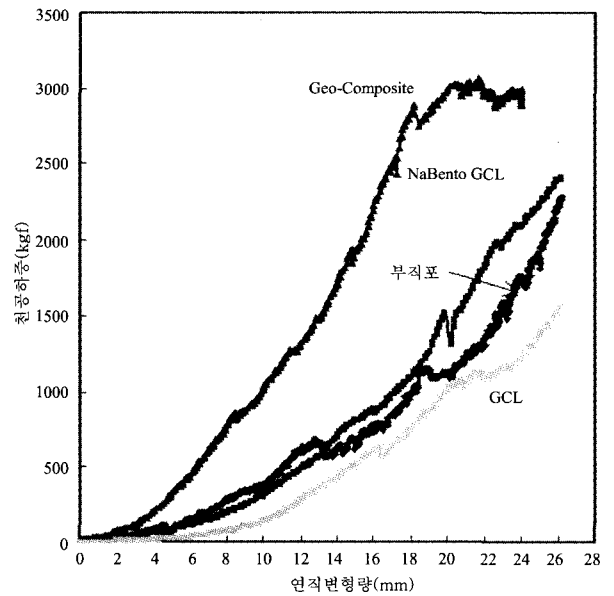
(a) 단일원추(Single Cone)에 의한 천공



(b) 천공판(Puncture Plate)에 의한 천공



(c) 강자갈(Gravel)에 의한 천공



(b) 쇄석(Macadam)에 의한 천공

그림 7. 천공(꺾뚫림)기구에 따른 HDPE 보호재료의 하중-변형 특성(HDPE+보호재)

장 약한 것으로 나타났다. 이는 현장에서 폐기물 내의 날카로운 물질로 인해 천공파괴가 쉽게 일어날 수 있음을 알 수 있다.

HDPE 상부에 각각의 보호재를 설치하여 실험한 결과 그림 7(a) 단일원추의 조건에서는 Geo-Composite의 보호효과가 가장 우수하였고 부직포와 NaBento GCL은 비슷한 결과를 보였다. 그리고 GCL(토목섬유점토차수재)을 설치하였을 때가 천공하중이 가장 작게 발생하였다. 이 결과는 GCL(토목섬유점토차수재)을 사용했을 때가 천공에 대한 저항성이 가장 약하다는 의미이다. 그

림 7(b)와 (d)에서도 그림 7(a)의 경우와 마찬가지로 Geo-Composite, 부직포, NaBento GCL, GCL(토목섬유점토차수재) 순으로 천공(꺾뚫림)하중이 크게 발생하였다. 그러나 그림 7(c)에서는 Geo-Composite를 설치하여 실험하는 과정에서 강자갈의 부서짐이 크게 발생하여 천공(꺾뚫림)하중이 작게 나타난 것으로 판단된다. 이는 Geo-Composite를 사용하는 경우에 파괴점에서의 응력이 타재료를 사용했을 때보다 크게 나타나기 때문이다. 강자갈이나 쇄석을 사용한 경우에는 각 재료에 대해 연직변위에 따른 천공(꺾뚫림)하중이 쇄석보다 강자갈을

사용했을 때 거의 유사하게 증가하는 현상을 보였으나 Geo-Composite에 대하여는 강자갈보다 쇄석을 사용했을 때 연직변위에 따른 천공(꺾뿔림)하중이 크게 증가하는 현상이 나타났다.

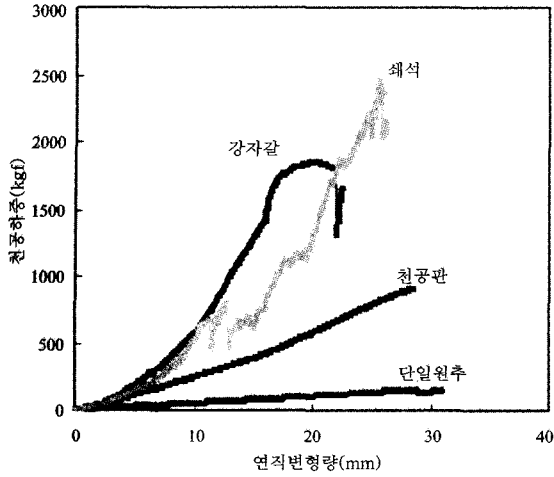
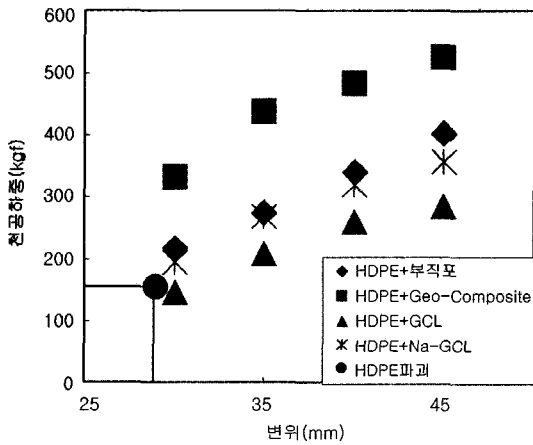
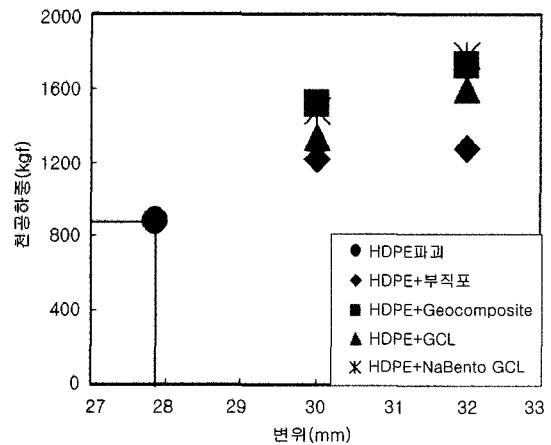


그림 8. HDPE만 설치한 경우의 하중-변형 거동

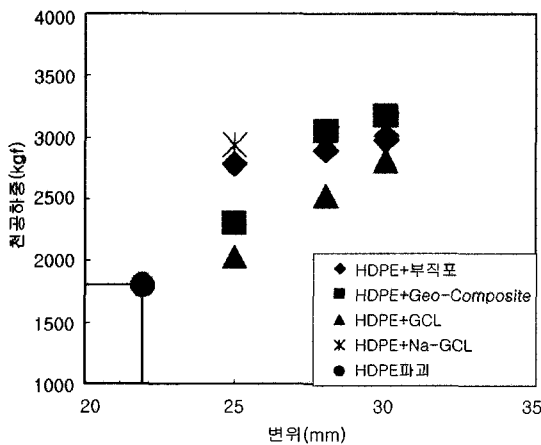
차수재인 지오멤브레인(HDPE)만 설치하였을 때의 천공(꺾뿔림)파괴하중을 그림 8에 나타내었다. 그림 9에서는 각 천공형식에서의 HDPE 변위이상에서의 각 보호재 설치 시 천공(꺾뿔림)파괴하중을 비교하였다. 모든 천공(꺾뿔림)형식에 대해 HDPE를 단독으로 사용했을 때보다 천공(꺾뿔림)파괴를 일으킨 변위 이후에서도 보호재를 설치하였을 때가 지속적으로 천공하중을 더 받을 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 독립적인 돌출부의 천공 형식을 사용했을 때 모든 천공형식에 대해 Geo-Composite가 가장 큰 천공(꺾뿔림)하중을 받는 것으로 나타나 보호효과가 가장 우수하고, 천공판 형식을 제외하고는 GCL을 설치하였을 때가 가장 작은 천공(꺾뿔림)하중을 받는 것으로 나타났다. 그림 9(d) 쇄석을 사용했을 때에는 HDPE만 설치시의 천공파괴변위를 넘어서도 보호재를 설치한 경우가 더 작은 천공하중을 받았지만, 계속 천공(꺾뿔림)하중을 받아서 HDPE의 천공파괴하중보다 더 크게 받는 것으로 나타났다. 이는 보호재



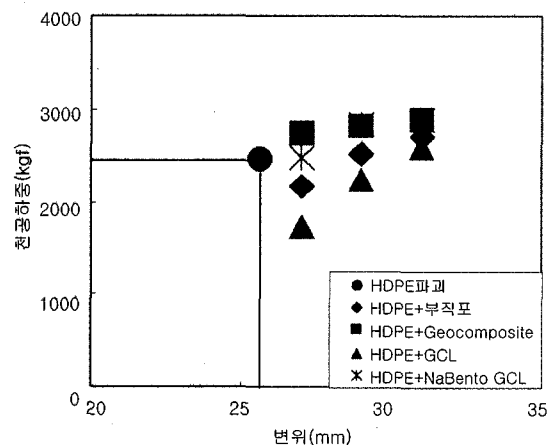
(a) 단일원추(연직변형량 28.91mm)



(b) 천공판(연직변형량 27.86mm)



(c) 강자갈(연직변형량 21.96mm)



(d) 쇄석(연직변형량 25.62mm)

그림 9. HDPE 천공(꺾뿔림)파괴응력 이상에서 보호재의 응력-변형 거동

가 천공파괴변위를 증가시키고, 또한 처음에는 쇄석의 부서짐으로 인한 보호재의 하중이 작게 작용하였기 때문인 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 차수구조에서 차수재로 쓰이는 HDPE 상부에 부직포, Na-Bento GCL, GCL(토목섬유점토차수재), Geo-Composite 등 4가지의 보호재를 설치하여 천공(꺾뚫림)에 대한 저항성을 비교하였다. 시험은 정적하중을 적용하여 재료에 작용하는 하중과 그에 따른 변형을 관계그래프를 이용하여 비교분석한 결과를 다음과 같이 제시하고자 한다.

- (1) 모든 천공형식에 대해서 차수재인 HDPE만 사용하였을 경우 모두 천공(꺾뚫림)파괴가 일어났지만, HDPE의 상부에 보호재로 부직포, NaBento GCL, Geo-Composite, GCL(토목섬유점토차수재)을 설치하여 시험한 결과 차수재(HDPE)에는 천공파괴가 일어나지 않았다. 그러나 보호재 종류별로 천공(꺾뚫림)하중에 대한 차수재에 미치는 영향은 다를 수 있으므로, 향후 연구에서는 차수재에 계지를 부착하여 차수재에 대한 실제의 응력과 변형을 측정할 필요가 있겠다.
- (2) 일정 변형량에서 모든 천공형식에 대하여 HDPE 상부에 Geo-Composite를 설치한 경우에 가장 큰 천공(꺾뚫림)하중을 발생시키므로 천공응력에 대한 저항성이 가장 우수하게 나타났다. 그리고 HDPE 상

부에 GCL(토목섬유점토차수재)을 설치하였을 때 가장 작은 천공하중을 발생시키므로 천공응력에 대한 저항성이 가장 약하게 나타났다.

이 연구를 통하여 향후 사면부 차수구조에서의 차수재와 보호재의 천공응력에 대한 거동과 그에 따른 적정 차수구조의 설계가 연구되어야 할 것이다.

#### 참고 문헌

1. 이광열 (2001), "차수구조에서 꺾뚫림하중에 의한 보호재의 변형에 관한 연구", 2001년도 추계학술발표회 논문집 B-13, 한국폐기물학회, pp.129-132.
2. 이광열 (2002), "차수구조에서 꺾뚫림하중에 의한 지오텍스타일의 변형에 관한 연구", 대한토목학회 논문집 제22권 제5-C호, pp.461-467.
3. Brummermann, K., Kohlhase, S., and Saathoff, F. (1993), "Puncture loads on geomembranes in composite liners", Sardinia 93, Fourth International Landfill Symposium, Proceedings, Vol.1, pp.357-367.
4. Lee, Kwang-Yeol (2002), "The Stress-Strain Behavior of Geotextiles under Puncture Loads in Liner System", *Proceedings of The Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference*, Kitakyushu Japan, May 26-31, pp.592-597.
5. Pape, J.T., and Huang, L. (1990), "Large-scale testing of waste containment sealing under point loading in high pressure testing device", In: 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Den Haag, pp.585-587.
6. Pape, J.T., Huang, L., and Boehm, W. (1992), "Schutzlagenprüfung für Deponiebasisabdichtungen mit dem Hochdruckprüfbehälter für Abdichtungssysteme", *Wasser und boden*, No.12, pp.797-799.
7. Saathoff, F. (1991), "Geokunststoffe in Dichtungssystemen - Laboruntersuchungen zum Verhalten von Geotextilien und Kunststoffdichtungsbahne", *Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover*, No.72.

(접수일자 2003. 11. 24, 심사완료일 2004. 8. 20)