

# 지오신세틱스의 천공(꺾뚫림) 저항성에 관한 연구 : 재료별 천공하중-변형관계

## Resistance of Geosynthetics Due to Puncture Loads : Resistance Forces-deformation

이 광 열<sup>\*1</sup> Lee, Kwang-Yeol

정 진 교<sup>\*2</sup> Chung, Chin-Gyo

안 용 수<sup>\*3</sup> Ahn, Yong-Soo

### Abstract

Various types of geosynthetics have been manufactured and their applications are rapidly extended disregarding unreliable lifetime, chemical and biological persistence and puncture resistance. Puncture resistance of geosynthetics in earth structures and liner systems has been a critical issue to be improved. In this paper, comparative studies were made on a puncture resistance of various geosynthetics that were used to a liner system. Two types of puncture tools and rubles and gravels were used to generate punctures on geosynthetics. From the results it is shown that types of puncture tools affect puncture resistance of materials significantly and puncture forces were irregular depending upon puncture tools and materials.

### 요 지

여러 가지 형식의 지오신세틱스가 개발되고 있는데, 설계 수명에 대한 신뢰성, 화학적 생물학적 내구성, 그리고 천공(꺾뚫림)에 대한 저항성 등에 대한 문제가 있는데도 불구하고 이들의 적용 분야는 증가 추세에 있다. 토공구조물이나 차수구조물에서 천공(꺾뚫림) 저항에 대한 문제는 해결되어야 할 중요한 문제로 드러나고 있다. 본 연구에서는 차수구조에 사용되는 여러 가지의 지오신세틱스의 천공(꺾뚫림) 저항성에 대하여 모형실험을 통하여 비교 분석하였다. 지오신세틱스에 천공(꺾뚫림)을 발생시키는 기구로서 두 가지 형식의 기구와 강자갈 그리고 쇄석을 사용하였다. 연구결과에 따르면, 천공기구의 형태는 재료의 천공(꺾뚫림)저항성에 큰 영향을 끼치고, 천공(꺾뚫림)강도의 크기는 천공(꺾뚫림) 발생기구의 형태와 재료에 따라 불규칙적인 것으로 나타났다.

**Keywords :** Geosynthetics, Liner system, Puncture resistance, Puncture tools, Stress-strain

### 1. 서 론

다양한 종류의 지오신세틱스(Geosynthetics)가 개발되면서 그 적용영역은 과거의 일반토공분야에서 환경

분야에까지 확대되고 있다. 지오신세틱스는 흙이나 지하수 또는 오염물질등에 노출되면서 장기간 이들과 접촉하게 된다. 이와같은 시공환경조건은 지오신세틱스를 설계함에 있어서 설계수명에 대한 신뢰성, 생·화

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

\*2 정회원, 부산정보대학 건설환경시스템과 조교수 (Member, Dept. of Civil Engrg., Busan Technical Collage)

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

학적인 내구성, 돌출물질과의 접촉에 의한 천공(깨뚫림)에 대한 저항성등의 문제점을 유발시키고 있다. 이들의 문제점 중에서 천공(깨뚫림)에 의한 재료의 결합은 인접한 환경적 요소와 연직하중에 의한 물리적 결합이며, 재료의 재질강도에 직접적인 영향을 미치는 중요한 요소이다. 지오신세틱스의 기능에 따른 구조물내에서 깨뚫림이 발생하면 재질강도의 손실은 물론 차수기능으로 사용될 경우나 필터기능으로 사용되는 경우에는 본래의 기능이 손실되어 2차적인 하자 문제가 발생하게 되며, 한번 발생한 천공(깨뚫림)파괴는 기능복구가 어렵다. 이와같은 문제를 해결하기 위하여 본래의 목적에 대한 기능을 갖는 주재료와 그 재료를 보호하기 위한 보호재료를 조합한 구조의 설계가 많이 적용되고 있다. 폐기물 매립지의 차수구조에서 지오멤브레인 상부에 설치되는 지오텍스타일(부직포)은 차수재료인 지오멤브레인을 천공(깨뚫림)파괴로부터 보호하기 위하여 사용되는 보호재이다. 이와 같이 보호재를 주재료와 조합하여 사용함으로써 천공(깨뚫림)에 대한 저항력을 증가시킬 수 있다. 천공(깨뚫림)파괴에 대한 저항성은 재질의 인장강도와 같은 일반적 특성과는 큰 차이를 나타내며 국부적인 재질강도 특성을 나타낸다. 천공(깨뚫림)파괴 형태 역시 아주 다양하게 나타난다. 돌출물질(천공기구)의 형태와 규격에 따라 지오신세틱스의 천공(깨뚫림)에 대한 저항성이 크게 달라지기 때문이다. 따라서 지오신세틱스의 천공(깨뚫림)에 대한 저항성 평가는 여러 가지 형태의 천공 발생기구를 적용하여야 할 것으로 판단된다.

천공하중에 의한 차수재의 응력-변형에 대한 연구는 소수의 연구자에 의해 수행되었는데 Pape와 Huang (1990), Pape et al.(1992)은 압축공기 또는 수압을 배수층에 가함으로써 지오멤브레인의 천공강도를 측정하였다. Saathoff(1991)은 보호층에 하중을 재하하여 배수층

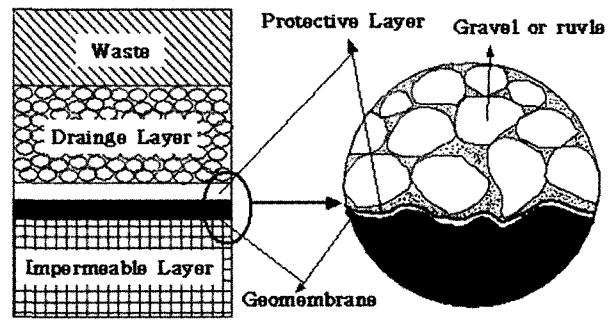


그림 1. 차수구조와 지오신세틱스의 변형

을 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 깨뚫림하중에 의한 지오멤브레인 상부에 설치하는 보호재의 응력-변형 특성에 관하여 연구하였다.

본 연구에서는 여러종류의 지오신세틱스에 대하여 천공(깨뚫림)에 대한 하중-변형 특성을 실내 모형실험을 통하여 분석하였으며, 천공(깨뚫림)하중을 재현하기 위해서 강자갈, 쇠석, 단일원추(Single Cone), 그리고 천공판(Structured Plate)을 사용하였다. 또한, 본 연구에서는 현장에서의 일반적인 차수구조의 모형을 적용하였으며, 하부지층의 영향을 최소화하기 위하여 지오폴을 사용하여 개별재료(HDPE, 부직포, Geocomposite, NaBento GCL, GCL)의 하중-변형 특성을 분석하였다.

## 2. 실험

### 2.1 재료의 종류 및 특성

차수구조 내에서 매립하중에 의한 보호재 및 차수재의 변형상태를 알아보기 위하여 차수재로는 2.0mm인

Table 1. 사용재료의 종류와 특성

재료	규격	방향	인장강도	비고
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	-	길이	25KN/m	양면섬유(PP직포) 양면 friction
		폭	35KN/m	
GCL	-	양방향	55kgf	양면섬유(직포, 부직포) 니들핀칭으로 고정
Geocomposite	-	양방향	12.5kgf/cm	ASTM D 5035

고밀도 폴리에틸렌(HDPE)을 사용하였고 보호재로는 부직포( $1000\text{g/m}^2$ ), NaBento GCL, Geocomposite, GCL을 사용하였다. NaBento GCL은 friction type의 GCL로 양면에 인장력에 대하여 보강된 PP직포로 되어 있으며, 40mm 간격으로 양면 PP직포와 중간 차수층을 봉제하여 전단강도 및 박리강도를 보강한 재료를 사용하였다. 그리고 GCL은 소디움 벤토나이트를 주성분으로 하며 한면이 부직포, 다른 한면은 직포로 되어 있고, 섬유내에서 벤토나이트가 이동하거나 유실되지 않도록 니들핀칭으로 고정하여 양면을 접합한 재료를 사용하였다. 시험에 사용한 재료의 종류와 특성은 Table 1과 같다.

## 2.2 천공(꺾뿔림)시험장치

본 연구에 사용한 시험장치는 하중재하장치와 차수구조 모형으로 구성된다. 하중재하장치는 최대 5.0t의 Load Cell을 설치한 하중재하장치를 이용하였고 차수구조 모형은 직육면체의 상자로서 상부상자와 하부상자가 분리될 수 있도록 제작하였다. 실험 재료를 고정시키기 위해 모형상자 주위로 볼트를 연결시켰다. 보호재의 변형량 측정을 위하여 LVDT(수직변위 측정장치)를 부착하였다. 하중재하장치 및 차수구조 모형상

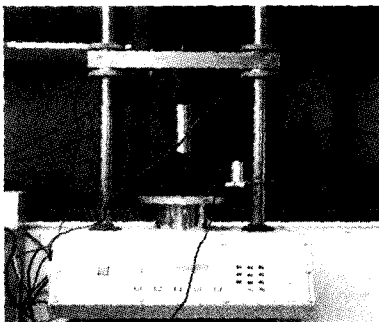


그림 2. 하중재하장치

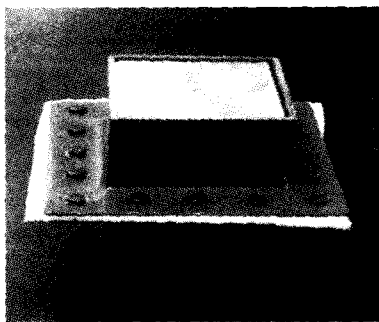
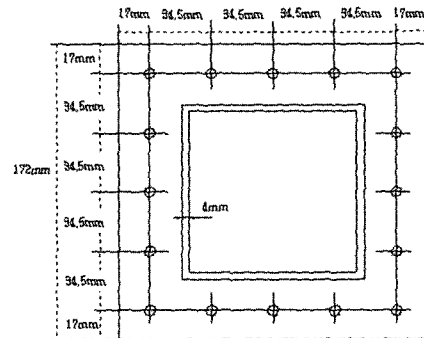


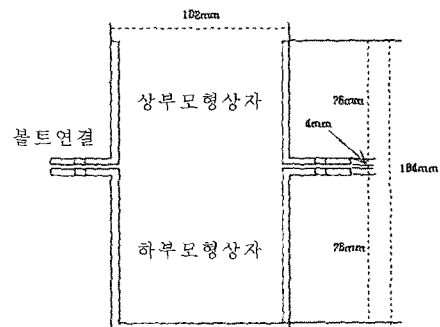
그림 3. 모형 상자

자는 그림 2~그림 4에 도시하였다. 모형상자는 차수구조(Liner System)를 모사하기 위한 모형으로 제작하였다.

차수구조는 상부로부터 천공기구, 재료(HDPE, 부직포, NaBento GCL, Geocomposite, GCL), 지지층의 순서로 구성하였으며, 천공(꺾뿔림)하중을 발생시키기 위하여 자연천공(꺾뿔림)기구로는 10mm~15mm의 자갈(Gravel)과 쇄석(Macadam)으로 깨끗이 물로 씻어서 사용하였으며, 자갈에 의해 발생하는 천공(꺾뿔림)하중을 모사하기 위해 단일원추, 천공판 2가지의 관입기구를 제작하여 사용하였다. 차수구조 및 모형단면 그리고 천공(꺾뿔림)하중을 위한 관입기구와 관입재료를 그림 5~그림 7에 나타내었다.



(a) 평면도



(b) 측면도

그림 4. 모형상자 상세도

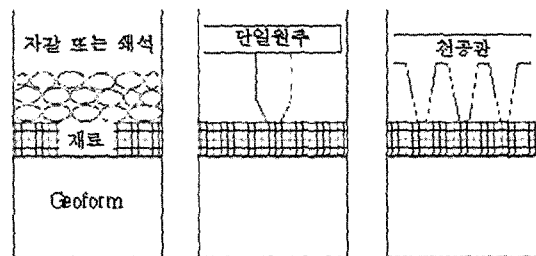
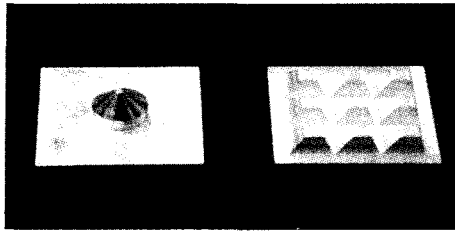
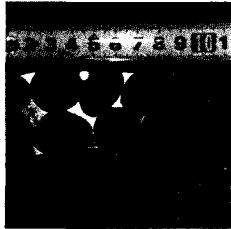


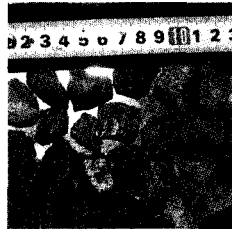
그림 5. 천공(꺾뿔림)시험 원리



(a) 단일원추 (b) 천공판

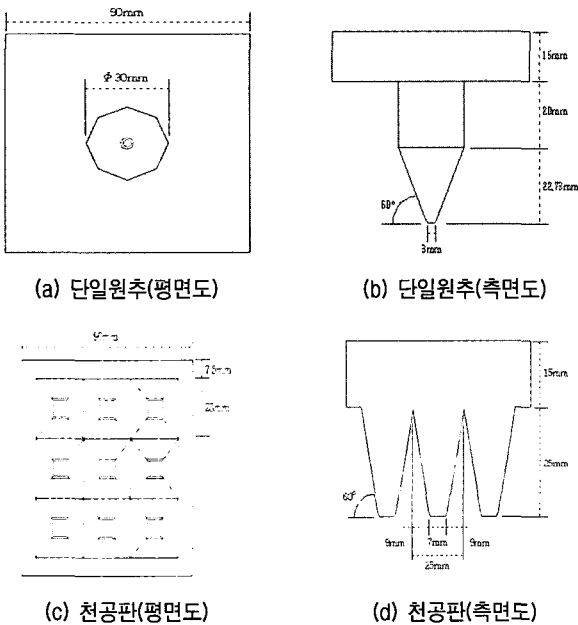


(c) 강자갈



(d) 쇠석

그림 6. 천공(꺾뿔림)기구 종류



(a) 단일원추(평면도) (b) 단일원추(측면도)  
(c) 천공판(평면도) (d) 천공판(측면도)

그림 7. 천공기구 상세도

### 2.3 실험 방법

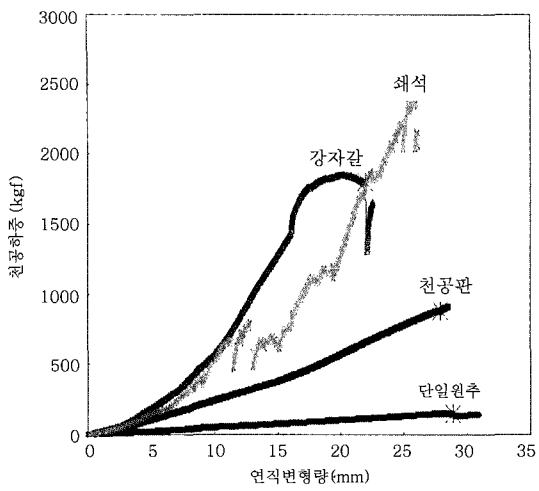
본 연구에서는 변형을 일정하게 유지시키면서 천공(꺾뿔림)하중과 변위를 측정하였으며 개별재료로 모형상자에 설치하여 천공(꺾뿔림)하중과 변형을 측정하였다. 그림 4(b)에 나타난 상·하부 모형상자를 이용하여 실험에 사용할 지오신세틱스를 모형상자 연결부위에 볼트를 이용하여 고정시켰다. 이렇게 설치한 지오신세틱스에 천공(꺾뿔림)기구를 재료 위에 설치하여 천공(꺾뿔림)하중을 적용하였다. 그리고, NaBento GCL과 GCL은

건조상태와 24시간 물속에 넣어둔 습윤상태 두가지로 실험에 사용하였다. 최대하중 5.0t의 Load Cell과 LVDT를 이용하여 하중과 변위를 1초마다 자동데이터 수집기를 통해서 측정하였다. 하중재하속도는 모든 재료에 동일하게 5mm/min으로 하여 실험을 실시하였다. 실험은 HDPE, 부직포, NaBento GCL, Geocomposite, GCL의 개별재료를 단일원추, 천공판, 강자갈, 쇠석의 천공(꺾뿔림)기구를 사용하여 천공(꺾뿔림)실험을 실시하였다.

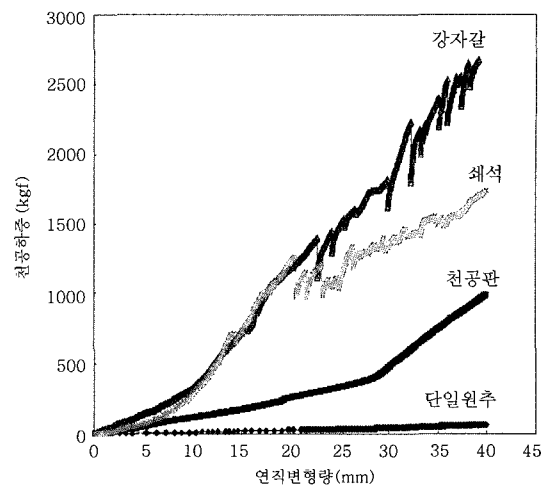
### 3. 시험결과 및 분석

시험결과에 따르면 천공(꺾뿔림)하중을 가하는 천공기구와 형태는 하중-변형 관계에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 각 재료들에 대하여 단일원추, 천공판, 강자갈, 쇠석의 천공기구로 시험한 결과를 그림 8에 나타내었고, 천공(꺾뿔림)이 발생했을시의 천공파괴하중과 천공파괴강도, 천공파괴변형을 Table 2에 나타내었다. 그림 8(a)의 경우에는 모든 천공(꺾뿔림)기구를 사용했을 때 HDPE에 천공(꺾뿔림)이 발생하였으며, 쇠석을 사용하여 실험했을시 천공파괴하중을 가장 크게 발생시켰고 강자갈, 천공판, 단일원추 순으로 천공파괴하중을 크게 발생시켰다. (b)에서는 모든 천공기구에서 천공이 발생하지 않았다. 이는 부직포의 신율이 크기 때문에 천공(꺾뿔림)이 발생하지 않은 것으로 판단된다. (c)~(e)에서는 천공판을 사용했을시에 천공(꺾뿔림)이 발생하지 않았다. (c)와 (e)에서는 강자갈을 사용했을 때 가장 큰 천공파괴하중을 발생시켰고, (d)는 쇠석을 사용했을 때 가장 큰 천공파괴하중을 발생시켰다. 천공파괴강도는 단일원추를 사용하였을 때 다른 천공기구를 사용하였을 때보다 약 8~25배 정도로 단일원추를 사용했을가 크게 나타났다.

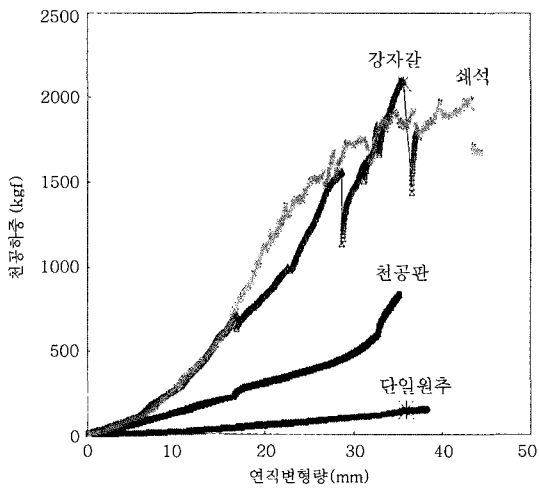
그림 9에서는 건조상태와 24시간 물속에 넣어둔 습윤상태 NaBento GCL의 하중-변형 특성을 나타내었다. (a)에서는 같은 변형에서 건조상태일때가 천공하중이 크게 나타났으나, 천공파괴하중과 천공파괴변형은 습윤상태에서 더 크게 나타났다. (b)에서는 건조상태일 때 천공파괴가 발생하였고 습윤상태에서는 발생하지 않았다. (c)의 초기에는 습윤상태의 천공(꺾뿔림)하중이 크게 나타났고 변형 약 19mm에서부터는 건조상태의 천공(꺾뿔림)하중이 크게 나타났다. 그러나 천공파괴하중과 천공파괴변형은 습윤상태에서 더 크게 나타났고, (d)에서는 건조상태에서의 천공(꺾뿔림)하중이 크게 나타났다.



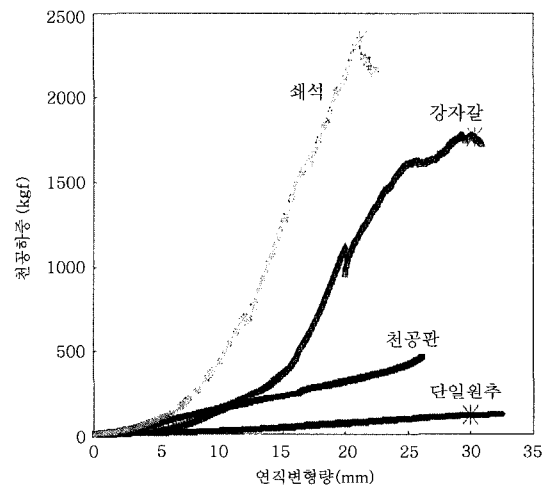
(a) HDPE(2mm)



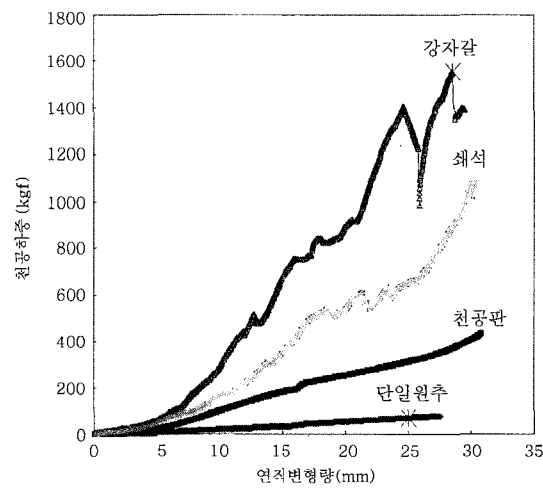
(b) 부직포(1000g/cm2)



(c) NaBento GCL(습윤상태)



(d) Geocomposite

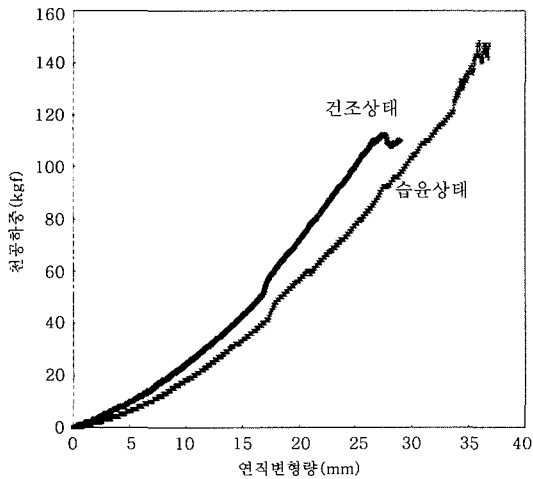


(e) GCL(습윤상태)

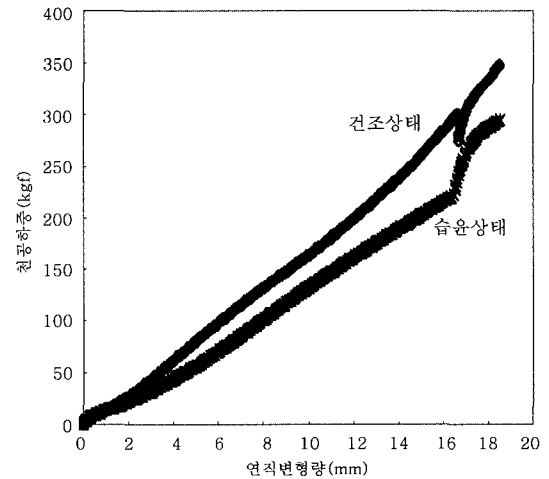
그림 8. 재료종류에 따른 하중-변형

Table 2. 재료별 천공파괴하중과 천공파괴변형(천공 발생시)

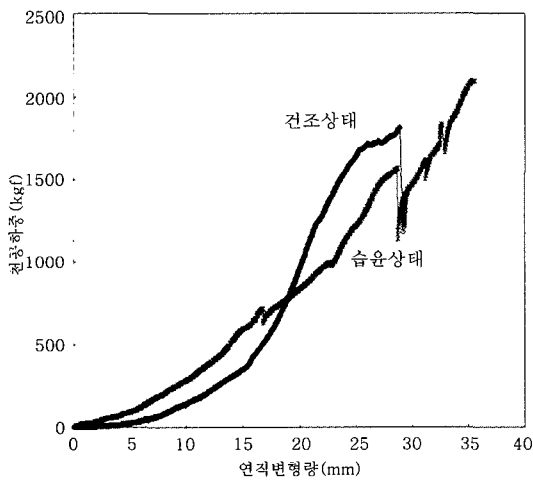
천공기구	HDPE			NaBento GCL (습윤상태)			Geocomposite			GCL (습윤상태)			재하시 유효면적 (cm <sup>2</sup> )	비 고
	천공파괴하중 (kgf)	천공파괴강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	천공파괴변형 (mm)	천공파괴하중 (kgf)	천공파괴강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	천공파괴변형 (mm)	천공파괴하중 (kgf)	천공파괴강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	천공파괴변형 (mm)	천공파괴하중 (kgf)	천공파괴강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	천공파괴변형 (mm)		
단일원추	153	2166	28.91	148	2095	35.94	117	1656	29.95	72	1019	24.98	0.07	(×)는 천공발생하지 않음.
천공판	884	201	27.86	×	×	×	×	×	×	×	×	×	4.41	
강자갈	1801	79	21.96	2094	92	35.65	1776	78	30.32	1557	69	28.57	22.69	
쇄석	2461	90	25.62	1986	73	43.36	2340	86	21.19	1094	40	30.03	27.37	



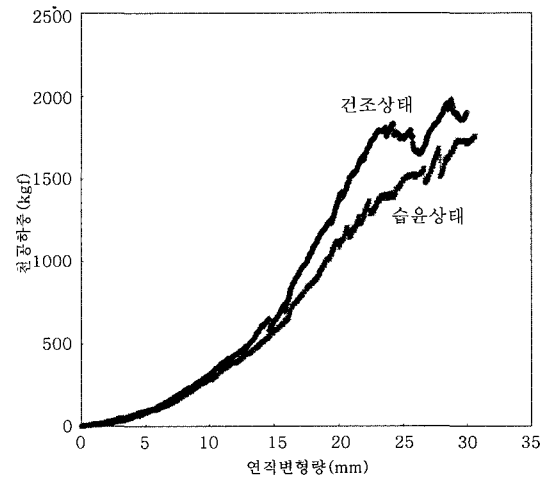
(a) 단일원추



(b) 천공판



(c) 강자갈

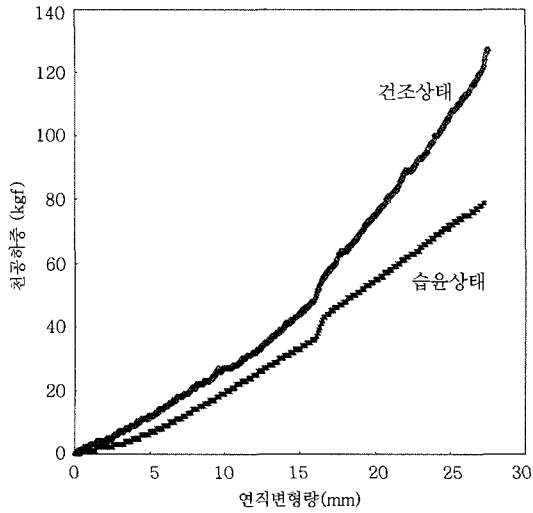


(d) 쇄석

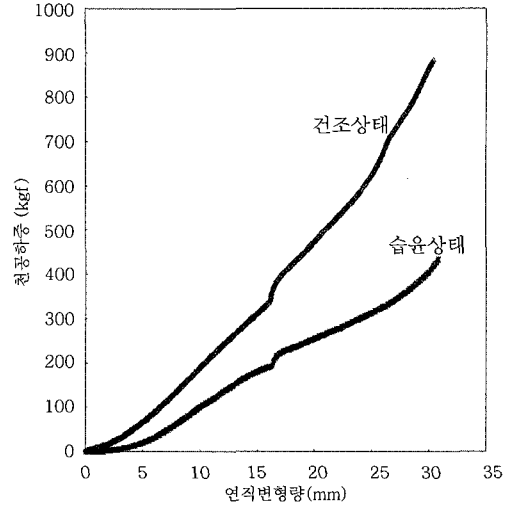
그림 9. 천공기구별 NaBento GCL의 습윤상태와 건조상태의 하중-변형

GCL의 건조상태와 습윤상태의 하중-변형 특성을 그림 10에 나타내었다. 건조상태의 GCL은 동일한 변형에서 단일원추 사용시 35kgf 이상, 천공판 사용시 300kgf 이상, 강자갈 사용시 700kgf 이상, 쇄석 사용시 1700kgf 이상으로서 천공(꺾뚫림)하중이 크게 나타났다. 그리고, NaBento GCL과 GCL에서 습윤상태와 건조상태의 천공 파괴하중, 천공파괴변형을 Table 3에 나타내었다.

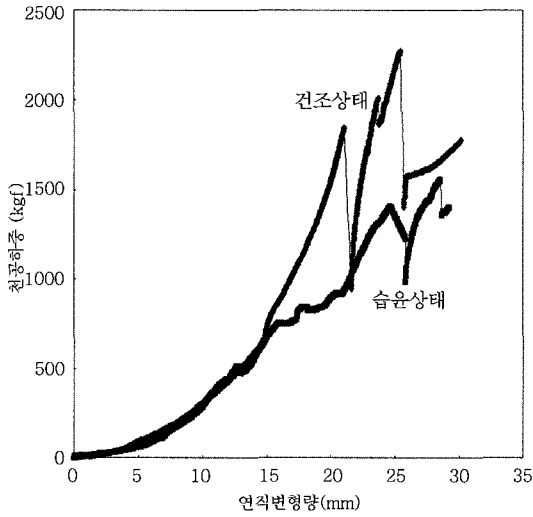
각 천공(꺾뚫림)기구에 대하여 재료별로 분석해 본 결과 그림 11(a)의 경우 모든 재료에서 천공(꺾뚫림)이 발생하였고 천공파괴하중은 HDPE가 가장 크게 발생하였으며, 다른 재료들 중에서는 NaBento GCL이 가장 큰 천공(꺾뚫림)하중에서 천공(꺾뚫림)이 발생하였다. (b)에서는 HDPE와 부직포에서만 천공(꺾뚫림)이 발생하였고 나머지 재료들에서는 천공파괴가 발생하지 않았



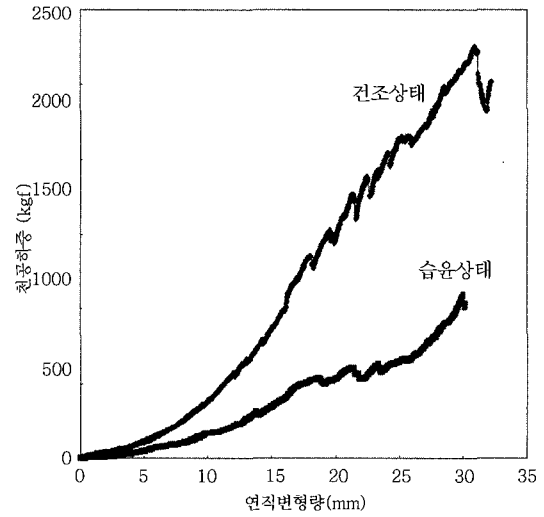
(a) 단일원추



(b) 천공판



(c) 강자갈



(d) 쇄석

그림 10. 천공기구별 GCL의 습윤상태와 건조상태의 하중-변형

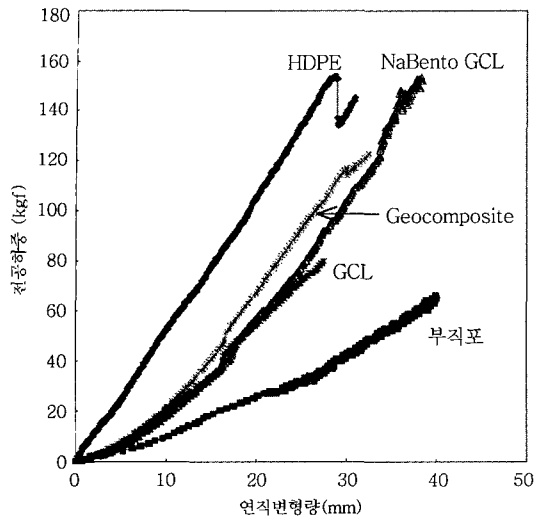
Table 3. 습윤상태와 건조상태의 천공파괴하중과 천공파괴변형(천공 발생시)

천공기구	NaBento GCL (습윤상태)		NaBento GCL (건조상태)		GCL (습윤상태)		GCL (건조상태)		비고
	천공파괴 하중 (kgf)	천공파괴 변형 (mm)	천공파괴 하중 (kgf)	천공파괴 변형 (mm)	천공파괴 하중 (kgf)	천공파괴 변형 (mm)	천공파괴 하중 (kgf)	천공파괴 변형 (mm)	
단일원추	148	35.94	112	27.75	72	24.98	89	22.11	(×)는 천공발생하지 않음
천공판	×	×	299	16.68	×	×	×	×	
강자갈	2094	35.65	1812	39.92	1557	28.57	2275	25.46	
쇄석	1986	43.36	1958	28.8	1094	30.03	2709	31.16	

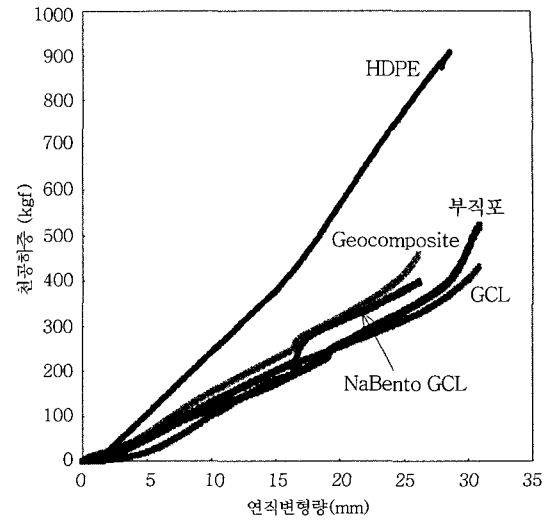
다. 그리고 천공(뚫림)하중은 Geocomposite, NaBento GCL, GCL 순으로 크게 발생하였다.

그림 11의 (c)와 (d)에서 보면 하중이 자주 감소했다가 증가하는 것을 알수 있는데 이것은 천공(뚫림)이나 찢김이 발생한 것이 아니고 자갈과 쇄석의 부서짐

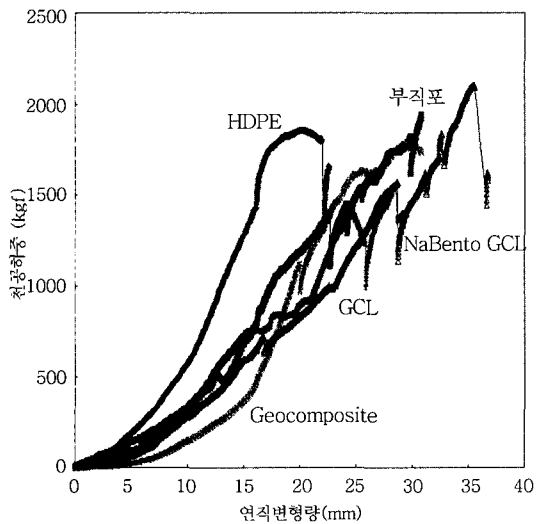
때문에 이러한 현상이 발생했다. (c)에서는 NaBento GCL이 가장 큰 천공파괴하중을 나타냈고, GCL이 가장 작게 발생하였다. (d)에서 천공파괴하중은 HDPE, Geocomposite, NaBento GCL, 부직포, GCL 순으로 크게 발생하였다.



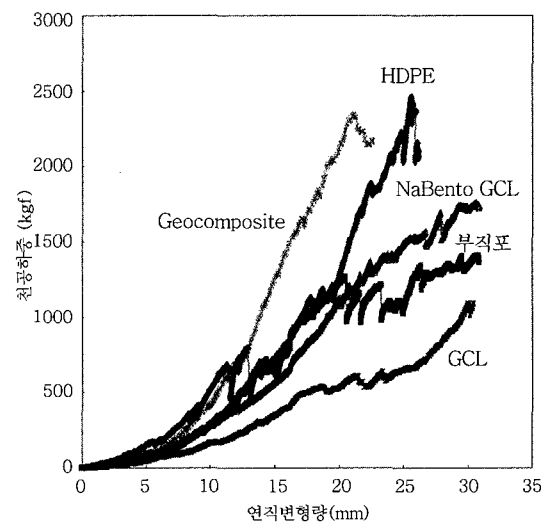
(a) 단일원추



(b) 천공판



(c) 강자갈



(d) 쇠석

그림 11. 천공기구별 지오신세틱스의 하중-변형

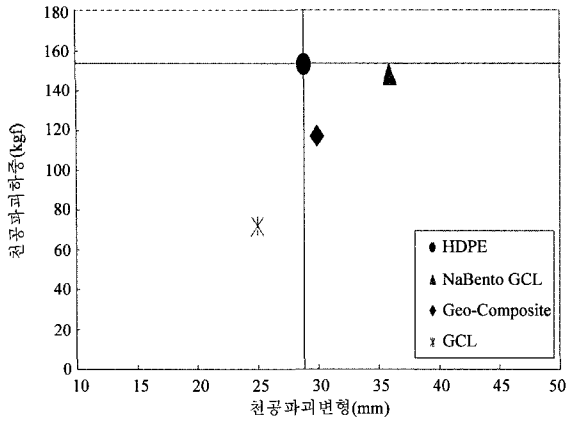
Table 4. HDPE를 기준으로한 천공파괴하중 및 변형량 평가

천공기구	재료	NaBento GCL		GCL		Geocomposite	
		천공파괴하중	천공파괴변형	천공파괴하중	천공파괴변형	천공파괴하중	천공파괴변형
단일원추		HDPE보다 작다	HDPE보다 크다	작다	작다	작다	크다
강자갈		크다	크다	작다	크다	작다	크다
쇠석		작다	크다	작다	크다	작다	작다

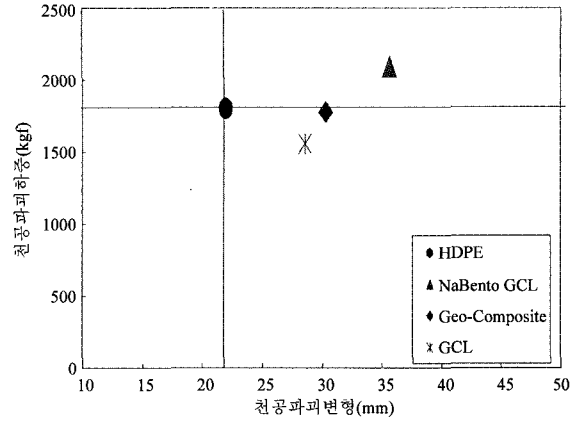
천공(꺾뚫림)이 발생했을때의 HDPE를 기준으로 천공파괴하중과 천공파괴변형을 그림 12에 나타내었고 Table 4에 비교 분석하였다. 그림 12(a)의 HDPE는 다른 재료들보다 천공파괴하중이 크게 나타났고, 천공파괴 변형은 GCL보다는 크고 NaBento GCL, Geocomposite 보다는 작게 나타났다. (b)는 NaBento GCL이 HDPE 보다 천공파괴하중과 천공파괴변형이 크게 나타났고,

Geocomposite와 GCL은 천공파괴하중은 작게 나타나고 천공파괴변형은 크게 나타났다. (c)의 HDPE는 다른 재료들보다 천공파괴하중이 크게 나타났고 Geocomposite, NaBento GCL, GCL 순으로 크게 나타났다. 또한 천공 파괴변형은 Geocomposite실험시에만 HDPE보다 작게 나타났다.

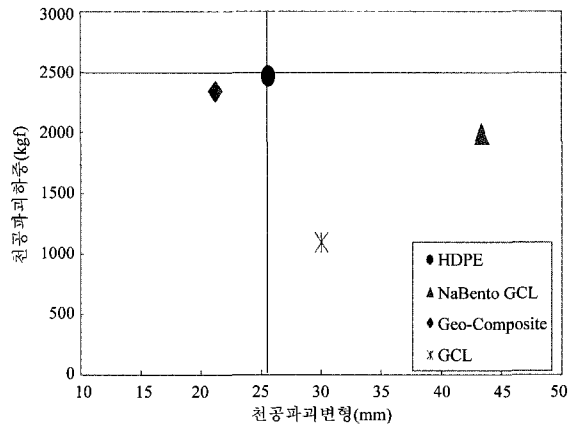




(a) 단일원추



(b) 강자갈



(c) 쇠석

(주) 천공판일때는 HDPE를 제외하고는 천공파괴가 발생 않음

그림 12. 지오신세틱스의 천공파괴하중 크기 분포(파괴시의 하중-변형)

#### 4. 결론

본 연구에서는 차수구조에서 차수재의 보호와 보강을 목적으로 사용되고 있는 지오텍스타일, NaBento GCL, GCL, Geocomposite의 천공(뚫림)에 대한 저항성을 비교하였다. 천공(뚫림)을 발생시키는 기구로써 두 가지의 돌출모형과 강자갈 및 쇠석을 사용하였다. 정적하중을 적용하여 재료에 작용하는 하중과 그에 따른 변형을 관계그래프를 이용하여 비교 분석한 결과를 다음과 같이 제시하고자 한다.

(1) 동일한 천공하중크기에서 강자갈 보다는 쇠석이 대부분의 천공재료에서 큰 변형을 발생시켰으나, Geocomposite에서는 강자갈이 쇠석보다 더 큰 변형을 발생시킨 것으로 나타났다. 또한 단일원추는 천공판(다량의 돌출)보다 같은 천공하중에서 더 큰 변형을

나타내었다.

(2) NaBento GCL은 습윤상태에서 실험을 실시한 결과가 건조상태에서 실험한 결과보다 천공에 대한 저항성이 우수하게 나타났다. GCL은 모든 천공기구를 사용하여 실험한 결과 건조상태에서 천공하중이 크게 나타났다. 그리고 동일한 변형에서 천공(뚫림)하중은 습윤상태일때 NaBento GCL이 GCL보다 더 크게 나타났고, 건조상태일때 GCL이 NaBento GCL보다 더 크게 나타났다.

(3) 동일한 천공하중크기에서 천공(뚫림)변형은 NaBento GCL이 모든 천공(뚫림)기구를 사용하였을 때 가장 크게 나타났고, HDPE는 단일원추와 쇠석을 사용하였을 때 천공에 대한 저항성이 가장 우수하게 나타났다, NaBento GCL은 강자갈을 사용하였을 때 저항성이 가장 우수하게 나타났다. 그리고 천공판을 사용했을시에는 천공(뚫림)이 발생하지 않았으며 동

일 변형에서의 천공(꺾뚫림)하중은 HDPE에서 가장 크게 나타났다. GCL은 모든 천공(꺾뚫림)기구를 사용하였을 때 다른 재료들보다 천공에 대한 저항성이 약하게 나타났다.

- (4) 천공이 발생할 때의 HDPE를 기준으로 비교한 결과 NaBento GCL이 모든 실험에서 천공 파괴 변형이 가장 크게 나타났으며, 보호와 보강을 목적으로 한 재료들은 전반적으로 HDPE보다 작은 천공 파괴 하중을 나타내었다.

## 참 고 문 헌

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. 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
5. 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
6. Saathoff, F.(1991), "Geokunststoffe in Dichtungssystemen - Laboruntersuchungen zum Verhalten von Geotextilien und Kunststoffdichtungsbahnen", *Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover*, No.72.

(접수일자 2003. 6. 27, 심사완료일 2003. 9. 27)