

폐기물 매립지 건설시 옥외 노출된 Geotextiles의 내구성에 관한 연구

고재학·이재영·전한용*

서울시립대학교 환경공학부, *전남대학교 섬유공학과

The Durability of Geotextiles for Outdoor Exposure during the Construction of Solid Waste Landfill

Jae-Hac Ko, Jai-Yong Lee, Han Yong Jeon*

Dept. of Environmental Engineering, University of Seoul

** Dept. of Textile Engineering, Chonnam National University*

ABSTRACT

Recently, many landfills are constructed by using geosynthetics with earth materials. Geotextiles in geosynthetics are applied for the various purposes such as filters of the leachate collection and removal system and protectors of geomembrane liner. However, geotextiles can be exposed to direct sunlight during the construction of landfill for several months. As you know, the exposure of polymers to sunlight can be a major source of degradation of them.

This study is to suggest a criteria on the installation of heavy weight geotextiles at the landfill. For this purpose, several different geotextiles were evaluated by outdoor exposure at two different locations and under the different seasons for one and half years. As the results of outdoor exposure, polypropylene geotextiles with 500g/m² and 700g/m² were maintained around 40% of the initial strength during for one and half years. However, the polypropylene geotextile of 1000g/m² showed 65% of the retained strength for the same duration of exposure. The retained strength of all polypropylene geotextile reduced

dramatically with the cumulative sunshine radiation on a horizontal surface of around 1500MJ/m².

Key words : Geotextiles, Waste Landfill, Outdoor Exposure, Tensile Strength

요 약 문

현재 대부분 매립지의 건설에 있어서 천연 재료에 기초하여 토목합성섬유가 함께 이용되고 있으며 점차 사용이 증가되고 있는 추세에 있다. 이러한 토목합성 섬유 중에서도 Geotextile은 Geomembrane 보호를 위한 보호재와 침출수 집수 및 배수 시설에서 배수재 및 집수관의 막힘을 방지하기 위한 필터로서 이용되고 있다. 그러나, Geotextile의 원료로 이용되는 폴리머는 매립지 건설 시 경우에 따라서 장기간 태양광에 노출될 수 있어 자외선에 의한 내구성의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 매립지 설계에 필요한 기초적인 자료를 제공하기 위하여 최근 많이 이용되고 있는 고중량 Geotextile을 이용하여 옥외 노출에 의한 내구성 변화에 관한 평가를 수행하였다.

부직포의 옥외 노출 실험 결과, 옥외 노출된 부직포의 인장강도는 18개월의 노출기간에, 500g/m²과 700g/m²의 부직포는 초기 인장강도의 40%정도까지 인장강도가 감소하였으며, 1000g/m²의 부직포는 동기간의 옥외노출에의 초기강도의 60%까지 인장강도가 감소하였다. 또한, 인장강도의 손실은 노출 초기에 수평면 누적 일사량이 약 1500MJ/m²정도가 될 때까지 빠르게 감소하였다.

주요어 : 부직포, 폐기물 매립지, 옥외 노출, 인장강도

1. 서 론

우리 나라에서는 1990년대 이후부터 위생적 개념이 매립지에 도입되어 대부분의 폐기물 매립지는 바닥층, 폐기물층과 복토층의 기본적인 구조로 건설되고 있다. 매립지의 바닥층(Bottom Layer)은 차수층과 침출수 집수 및 배수 시스템(Leachate Collection and Removal System)으로 구성되며 최종복토층과 더불어 침출수의 관리에 있어서 가장 핵심적인 부분이다.

매립지 건설에서는 점토, 자갈, 모래 등의 천연 재료를 바탕으로 하여 토목합성섬유(Geosynthetics ; Geomembrane, Geotextile, Geonet, Geocomposite, Geogrid 등)가 주로 이

용되고 있다. 이러한 재료들은 매립지의 구성에 있어서 각각의 설계 목적에 의해 선정되며, 재료마다 다양한 기능(차수, 배수, 분리, 보강, 및 보호 등)들을 수행하게 된다. 이러한 토목합성섬유의 이용은 매립공간을 늘리고 포설이 간편하기 때문에 계속 증가하고 있지만, 매립지 건설시 중장비에 의한 파손 가능성이 있으며 장기간 옥외 노출에 따른 내구성의 문제가 발생될 수 있다^{1, 2)}.

Geotextile은 Geomembrane 보호를 위한 보호재와 침출수 집수 및 배수 시스템에서 막힘을 방지하기 위한 필터로 이용되고 있다. Geotextile(직포, 부직포)의 원료로 이용되는 폴리머는 화학적·생물학적으로 매우 안정하여 매립지에서 이용이 더욱 증가하고 있다. 그러나 매립지의 시공 시 포설

된 Geotextile은 경우에 따라서 수개월 혹은 수년간 태양광에 노출될 수 있으며, Geotextile의 원료로 사용되는 대부분의 폴리머들은 장기간 태양광에 노출될 경우 태양광 중 자외선에 의해서 광분해되어 강도저하가 우려되며, 매립지 건설 시 파손 가능성이 높아짐에 따라, 매립지 설계 시에 목적했던 기능들을 수행하지 못 할 수 있다.

또한, Geotextile 직조 기술의 발전으로 고중량 Geotextile($\geq 1000\text{g}/\text{m}^2$)이 생산되고 있으며, 현재까지의 연구에서는 $500\text{g}/\text{m}^2$ 이하의 저중량($< 1000\text{g}/\text{m}^2$) Geotextile를 이용한 옥외 노출 실험결과가 대부분이다^{3, 4, 5)}. 따라서 저중량 Geotextile은 고중량 Geotextile에 비하여 태양광에 노출되었을 때, 상대적으로 쉽게 내구성 변화를 일으킬 수 있기 때문에 현재 이용되는 고중량의 Geotextile까지 그 결과를 적용하는데 어려움이 있다.

현재 국내에서도 폐기물 매립지의 건설에 있어서도 Geomembrane의 보호를 위한 보호재로서 Geotextiles의 이용이 증가하고 있는 추세에 있으나 이러한 재료에 대하여 매립지 시공 시 발생하는 자외선에 의한 내구성 저하에 대한 평가가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 매립지 건설 시 옥외 노출된 Geotextile에 대하여 자외선에 의한 내구성 변화 막힘을 평가하여 폐기물 매립지 설계 시에 필요

한 기초자료 제공을 목적으로 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험 재료

본 연구서 사용한 Geotextile은 중량이 $500\text{g}/\text{m}^2$ 에서 $1000\text{g}/\text{m}^2$ 인 Needle Punched Nonwoven Type(이하에서 부직포라 함)이며, 부직포의 제조에 이용된 폴리머는 폴리프로필렌이다. 두께는 $3.5\text{mm}\sim 6.0\text{mm}$ 의 범위이며, 흰색 부직포를 이용하였다. 각각의 부직포에 대한 중량과 인장강도 등 세부적인 특성을 Table 1에 나타내었다.

2.2 실험 방법

옥외 노출실험을 위한 부직포의 포설은 중량이 다른 것을 각각 $300\text{cm}\times 300\text{cm}$ 의 넓이로 계절과 지역을 달리하여 포설하였다. 옥외 노출 실험은 1998년 5월에서 1999년 10월에 걸쳐 수행하였으며 1998년 5월(Exposure I), 8월(Exposure II), 그리고 1999년 5월(Exposure III)에 부직포를 옥외 포설하였다. Exposure I과 Exposure II에서는 중량이 각각 $500\text{g}/\text{m}^2$, $700\text{g}/\text{m}^2$, $1000\text{g}/\text{m}^2$ 인 P.P500, P.P700, P.P1000을 서울시에 포설하였으며, Exposure III에서는 중량이 $1000\text{g}/\text{m}^2$

Table 1. The Properties of Tested Geotextiles

Code	Color	Geotextile type	Polymer type	Weight per Area(g/m^2)	Thickness (mm)	Grab strength ^{a)} (kg)
P.P500	White	NPN ^{b)}	P.P ^{c)}	500	3.5	127
P.P700	White	NPN	P.P	700	4.5	178
P.P1000	White	NPN	P.P	1000	6.0	280

a) : KS K 0520

b) : Needle Punched Nonwoven Geotextiles

c) : Polypropylene

Table 2. The Schedule of Installation and Sampling of Geotextiles

No.	Installation	Sampling				
		1st	2nd	3rd	4th	5th
Exposure I	'98. 5. Seoul	'98. 7.14.	'98. 9. 4.	'98.11.11.	'99. 4.17	'99. 9.28
Exposure II	'98. 8. Seoul	'98. 9. 4.	'98.11.11.	'98.12.29.	'99. 4.17	'99. 9.28
Exposure III	'99. 5. Seoul & Cheju	Every half months				

인 P.P1000을 서울시와 제주시에 포설하였다.

2.3 시료채취 및 인장강도 실험

옥외 노출된 시료는 노출 기간의 경과함에 따라 Table 2에 나타난 일정에 따라 절취하여 KS K 0520(직물의 인장강도 및 신도 시험방법)에 규정된 그래브법에 의해 시험하였다⁶⁾.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 옥외노출 실험 기간의 기상조건

연구기간 동안 기상자료는 기상청 자료를 이용하였으며 이를 Table 3과 Table 4에 각각 서울시와 제주시의 기상 자료를 나타내었다.

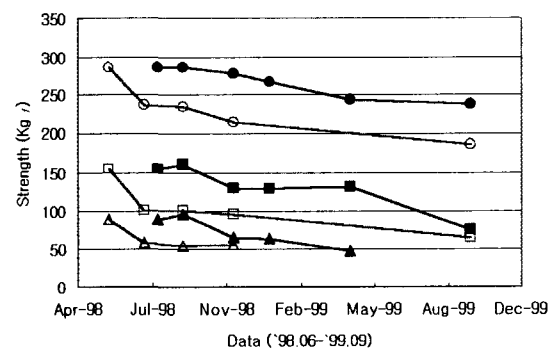
서울시의 경우, 1998년 6월에서 1999년까지 평균기온은 15.8℃이었으며 최고 월 평균기온은 26℃, 평균 상대습도는 66%이었다. 강수량은 8월에 집중되었으며 월 평균 일조시간은 173 시간, 월 평균 수평면 일사량은 11.3MJ/m²으로 하절기가 동절기에 비하여 2~3배 크게 나타났다. 실험기간의 평균 풍속은 2.1m/s이었다.

Table 4에서 1999년 5월에서 10월의 제주도 기상 결과를 보면 평균 온도는 22.2℃, 평균 일조시간은 150 시간으로 같은 기간의 서울시 기상 조건

보다 다소 낮은 반면 평균 습도, 수평면 일사량 및 평균 풍속은 제주도 지역이 높게 나타났다.

3.2 부직포의 노출 기간에 따른 인장강도 변화

1998년 5월과 8월에 옥외 포설된 부직포를 Exposure I과 Exposure II로 구분하여 노출 기간 따른 인장강도의 변화를 Fig.1에 나타내었다. Fig.1에 나타난 바와 같이 Exposure I과 Exposure II의 모든 부직포에서 인장강도는 노출 기간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였다.



(1) : Exposure I , (2) : Exposure II

Fig. 1. The Variation of the Tensile Strength of Geotextiles in Exposure I and Exposure II .

Table 3. Monthly Meteorological Data of Seoul during Exposure

Month	*Air Temp. (°C)	*Relative Humidity (%)	**Precipitation (mm)	**Duration of Sunshine (hours)	*Radiation on a Horizon Surface (MJ/m ²)	*Mean Wind Speed(m/s)
'98. 6	21.9	67	234	163.7	13.6	2.1
7	24.9	74	312	137.2	11.5	2.5
8	25.0	78	1238	114.1	9.6	2.0
9	23.0	70	178	177.9	11.6	1.8
10	17.0	67	27	202.2	9.7	1.9
11	7.3	61	27	167.5	7.0	2.2
12	2.7	59	4	185.6	6.2	2.2
'99. 1	-0.8	58	10	184.1	6.8	2.6
2	0.7	60	3	159.1	9.1	2.8
3	6.7	50	55	197.7	12.0	2.5
4	11.5	68	97	227.5	15.4	2.6
5	17.5	65	109	235.1	16.5	2.2
6	23.1	68	132	217.5	17.3	1.8
7	25.9	73	230	130.0	12.9	2.1
8	26.0	74	601	160.4	12.8	1.2
9	22.9	76	337	119.9	10.1	1.3
10	14.3	70	82	162.4	10.5	1.1

* : Monthly Mean

(From Korea Meteorological Administration)

** : Monthly Sum

Exposure I에서 P.P500, P.P700, P.P1000의 인장강도는 노출 초기에 강도가 빠르게 감소하는 특징을 보였으며, 이후 지속적으로 감소하여 16개월의 노출 기간 동안 90~100 kgf 정도의 강도가 저하되었다. Exposure I의 부직포에 대하여 초기 인장강도에 대한 강도보유율은 P.P700의 경우 원래 인장강도의 42%, P.P 1000은 65%이었다.

Exposure II에서는 Exposure I의 결과와는 달리 초기에는 인장강도의 변화를 보이지 않다가 이후에 계속 감소하여 13개월 정도 노출되었을 때 50~80 kgf 정도의 강도가 손실된 것으로 나타났다. Exposure II의 노출 초기에 인장강도의 감소

를 보이지 않았던 것은 Table 3에 나타난 바와 같이 노출 초기인 8월의 집중강우로 인하여 수평면 일사량과 일사 시간이 감소되었기 때문인 것으로 사료된다.

P.P500의 경우에는 Exposure I과 Exposure II에서 6~8개월간의 노출에 40~60%의 인장강도 보유율을 보여 P.P700과 P.P1000에 비하여 상대적으로 강도보유율이 빠르게 감소됨을 알 수 있었다. 즉, 높은 인장강도를 갖는 부직포가 동 기간동안 동일한 인장강도 감소를 나타낼 때, 상대적으로 높은 인장강도를 갖는 부직포가 강도보유율이 높게 나타난다.

Table 4. Monthly Meteorological Data of Cheju during Exposure

Month	*Air Temp. (°C)	*Relative Humidity (%)	**Precipitation (mm)	**Duration of Sunshine (hours)	*Radiation on a Horizon Surface (MJ/m ²)	*Mean Wind Speed(m/s)
'99. 5	18.4	69	79	228	21.2	2.9
6	21.8	80	204	146	16.6	2.7
7	24.0	84	706	112	13.2	3.3
8	25.6	83	643	102	12.0	3.2
9	24.6	81	509	131	11.8	3.1
10	18.5	65	41	185	11.5	2.7

* : Monthly Mean

(From Korea Meteorological Administration)

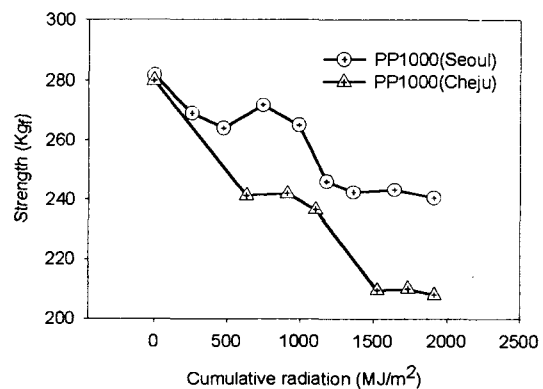
** : Monthly Sum

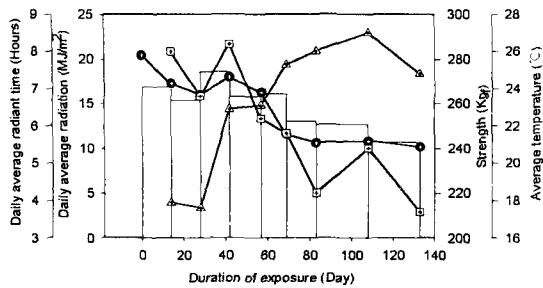
3.3 부직포의 종류와 포설지역에 따른 인장강도 변화

Exposure III의 결과로 부직포의 인장강도 변화를 지역적 차이를 비교하기 위하여 수평면 누적 일사량에 대하여 Fig.2에 나타내었다. 두 지역에 포설된 부직포인 P.P 1000의 인장강도는 수평면 누적 일사량이 증감함에 따라 Exposure I과 Exposure II의 결과와 마찬가지로 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. 서울지역에 포설된 P.P1000은 수평면 누적 일사량이 1500MJ/m² 가량 되었을 때 인장강도가 40kg_f 정도 감소하여 Exposure I의 인장강도 변화와 유사하게 나타났다. 반면, 제주시에 포설된 P.P 1000은 수평면 누적 일사량이 1500MJ/m²에서 각각 70kg_f 정도가 감소된 것으로 나타나 서울시에 포설된 부직포의 인장강도에 비하여 대략 2배정도 더 감소된 것으로 나타났다.

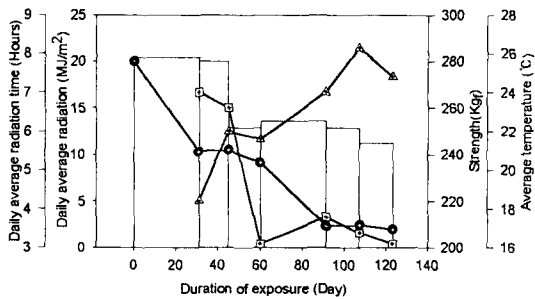
이러한 지역적인 차이의 원인을 분석하기 위하여 1999년5월에 포설된 P.P1000의 인장강도 변화와 서울과 제주의 기상 요인의 관계를 Fig.3에 나타내었다. 여기서 수평면 일사량, 일사 시간, 기온은 각각의 시료채취기간에서의 일평균값이다. 노출

실험 기간 중의 서울과 제주 지역의 기상 변화를 보면, 40일까지의 수평면 일사량이 제주 지역에서는 약 20MJ/m²이었으나 서울지역의 경우는 16~18MJ/m²로 차이를 보였으며 전체적으로 높은 값을 보였고 평균 일사 시간과 평균 기온은 서울 지역이 높은 값을 보였다. 따라서 부직포의 인장강도 감소에 있어서 수평면 일사량이 다른 기상요인보다 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한, 전체적인 인장강도의 감소는 일일 평균 수평면 일사량이 13MJ/m² 정도일 때까지 발생하였으며, 그 이

**Fig. 2. The Variation of the Tensile Strength of Geotextiles in Exposure III .**



(a) Seoul



(b) Cheju

Fig. 3. The Relation between the Strength of Geotextiles and Meteorological Data(Exposure III).

하에서는 인장강도의 변화가 둔화되는 것으로 나타났다. 그러나, 풍속과 습도 등에서도 양 지역에서 큰 차이를 보이기 때문에 좀더 정확한 원인을 평가하기 위해서는 다양한 기상 요인에 대한 세밀한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3.4 인장강도와 기상요인의 상관성

부직포의 인장강도와 수평면 일사량, 일사 시간, 누적 강우량, 노출 기간 등을 누적시킨 값과의

상관관계를 분석한 결과를 Table 5에 나타내었다. 각각의 기상 요인과 인장강도는 대부분 -0.8 이하의 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 또한, 인장강도의 감소는 노출 기간이 길수록 (Exposure I, Exposure II) 누적 일사량과 일사 시간에 대한 상관성이 감소하는 경향을 보였으며, 노출 기간이 짧을수록(Exposure III) 누적 일사량과 일사 시간에서 높은 상관성을 보였고 누적 강우량에 대해서는 낮은 상관성을 보였다.

옥외 노출된 부직포 섬유 표면 변화를 확인하기 위하여 현미경을 이용하여 섬유를 확대 관찰한 결과를 Fig.4에 나타내었다. 노출된 부직포와 노출되기 전의 부직포 섬유 표면을 비교하면 노출에 의한 크랙의 발생이 확연히 구분되며 이로 인해 인장강도 저하가 나타난 것으로 사료되었다. 그러나

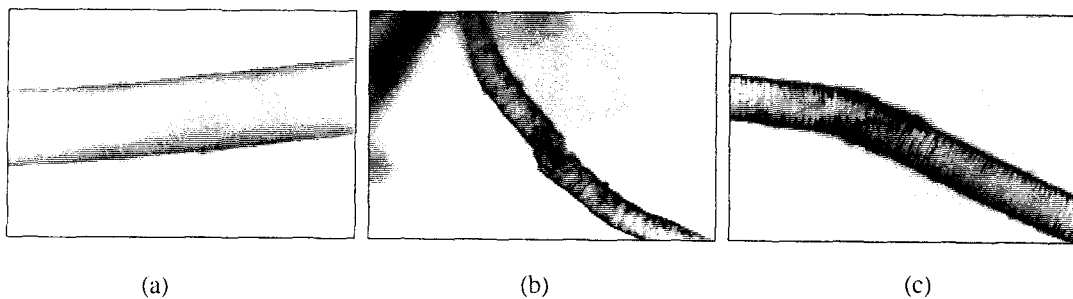


Fig. 4. The Degradation of Geotextile Fiber by Outdoor Exposure; (a) : before exposure, (b), (c) : After exposure during ten months.

Table 5. The Coefficient of Correlation between the Strength of Geotextiles and Meteorological Data

Code	Cumulative Radiation on a Horizon Surface	Cumulative Duration of Sunshine	Cumulative Precipitation	Duration of Exposure
(1)P.P1000	-0.87	-0.86	-0.92	-0.87
(1)P.P700	-0.82	-0.80	-0.87	-0.82
(1)P.P500	-0.79	-0.72	-0.78	-0.76
(2)P.P1000	-0.97	-0.98	-0.54	-0.98
(2)P.P700	-0.79	-0.79	-0.64	-0.78
(2)P.P500	-0.94	-0.95	-0.59	-0.94
P.P1000(S)	-0.92	-0.91	-0.76	-0.91
P.P1000(C)	-0.97	-0.98	-0.85	-0.95

(1) and (2) mean Exposure I and Exposure II

(S) and (C) mean Seoul and Cheju in Exposure III

이러한 크랙의 발생은 노출된 부직포의 상부 표면에서 심하게 발생하며 부직포의 하부에서는 크랙이 발견되지 않아 자외선에 의한 영향이 부직포의 깊이 따라 다르게 나타남을 알 수 있었다.

4. 결 론

매립지 건설 중 옥외 노출된 부직포의 내구성 변화를 평가하기 위하여 옥외 노출 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 옥외 노출된 부직포의 인장강도는 노출 기간이 증가함에 따라 감소되었으며, 포설 시기와 지역에 따라 큰 차이를 보였다. 특히, 지역적 차이는 2배까지 나타나 매립지 건설 시 부직포의 옥외 노출은 지역에 따라 다르게 관리될 수 있으나 그 기간을 최소화하여야 할 것으로 사료된다.
2. 옥외 노출에 따른 부직포의 인장강도 감소는 수평면 누적 일사량, 일사 시간 및 노출 기간에

대하여 높은 역의 상관성을 보여, 기상 요인에 대한 노출 기간이 증가함에 따라 부직포의 내구성이 저하됨을 확인하였다.

3. 부직포의 노출 기간에 따른 인장강도의 감소는 부직포의 중량에 관계없이 유사한 감소 경향을 보였으며, 부직포의 강도 보유율은 원래 강도가 큰 고중량일수록 큼을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 1999년도 서울시립대학교 교내학술연구 조성비 지원과제에 선정되어 연구되었기에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Koerner, R.M., "Designing with Geo-synthetics", 4th Edition, Prentice Hall Publ. Co., Engewood Cliffs, NJ, pp.152 ~155(1998).
2. Ingold, T.S., The Geotextiles and Geo-membranes

- Manual, Elsevier Advanced Technology, UK, pp.235~237(1994).
3. Schneider, H., Groh, M., "An Analysis of the Durability Problems of Geotextiles" , Geosynthetic '87 Conference, New Orleans, USA, pp.434~440(1987).
 4. Brand, E.W., Pang, P.L.R., "Durability of Geotextiles to Outdoor Exposure in Hong Kong", J. of Geotechnical Engineering, 117(7), pp.979~1000(1991).
 5. Koerner, G. R., Grace Y. H., Koerner, R. M. "Photo-initiated Degradation of Geotextiles", J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, pp.1159~1166(1998).
 6. 한국산업규격, "직물의 인장강도 및 신도 시험 방법", KS K 0520(1990).