

현장노출시험에 의한 부직포 지오텍스타일의 내후성 평가

Weatherability Assessment of Nonwoven Geotextiles by Field Exposure Test

*1 전 한 용 Jeon, Han-Yong

*2 유 중 조 Yuu, Jung Jo

*3 김 영 윤 Kim, Young Yoon

*4 변 성 원 Byun, Sung Weon

*5 이 용 의 Lee, Young Yoon

Abstract

In the reinforced retaining wall system, non-woven geotextiles are placed at the face of reinforced earth until the facing blocks are built up. And when this system is used as temporary structure, geotextiles facings are exposed to sunlight during service lifetime. During these periods, degradation of nonwoven geotextiles are occurred by UV light. So the UV-resistance of nonwoven geotextiles must be assessed correctly, in considering of the site conditions. In this study, laboratory test and the field test have been performed to evaluate the UV resistance of non-woven geotextiles used in KOESWall system and the results are expressed in terms of tensile characteristics & SEM photographs.

요 지

보강토 옹벽시스템에서, 부직포 지오텍스타일은 블럭이 시공될 때 보강토체의 전면에 노출, 포설되어 있다. 임시구조물에 보강토 옹벽이 적용될 때 지오텍스타일은 시공기간 중 일광에 노출되게 된다. 이 기간 중, 자외선에 의해 부직포 지오텍스타일의 분해가 발생하게 된다. 따라서 현장시공의 관점에서 부직포 지오텍스타일의 자외선 저항성이 명확하게 평가되어야만 한다. 본 연구에서는 실험실 및 현장시험을 수행하여 KOESWall 시스템에 사용되는 부직포 지오텍스타일의 자외선 저항성이 평가되었고, 그 결과를 SEM 사진과 인장특성으로 나타내었다.

Keywords : Weatherability, Reinforced Earth, Non-woven Geotextiles, UV resistance

1. 서 론

부직포 지오텍스타일은 가장 광범위한 분야에 걸쳐 사용되는 토목합성재료이다. 거의 모든 토목 현장에서 주, 부재료로 사용되고 있으며 평가 특성

또한 적용분야에 따라 다양하게 분류되고 있다.

부직포 지오텍스타일이 보강토 구조물의 전면체, 고형 폐기물 매립장의 노출 라이너 시스템 등에 적용되는 경우에는 태양광에 의한 영향을 평가하게 되는데 이에 대한 평가항목이 내후성(weatherability)

*1 정회원, 전남대학교 응용화학공학부 교수 (Member, Faculty of Applied Chemical Eng., Chonnam National Univ.)

*2 정회원, 보강기술(주) 기술연구소 선임연구원 (Member, Researcher, R&D Center, E&S Engineering Co., Ltd., 135-080, Seoul, Korea)

*3 정회원, 보강기술(주) 대표이사 (Member, CEO, E&S Engineering Co., Ltd., 135-080, Seoul, Korea)

*4 정회원, 산업용섬유팀, 한국생산기술연구원 수석연구원 (Member, Principal Researcher, Textile Technology Center, 330-825, Chonan, Korea)

*5 정회원, 광주여자대학교 패션디자인과 교수 (Member, Professor, Dept. of Fashion Design, Kwangju Women's Univ., 500-713, Gwangju, Korea)

평가이다.

일반적으로 토목합성재료의 내후성은 사용되는 원료 물질, 기후조건, 하중조건, 노출 기간 등에 따라 상이한 결과를 나타내며, 이러한 영향인자에 대한 많은 연구가 국내외적으로 이루어졌으나 이는 각 적용 지역의 환경조건을 고려하여 실시된 경우로 지역적인 조건과 기후 차이로 국내 여건에 적합한 데이터라 할 수 없다.

또한 실내시험을 통해 평가되는 내후성도 현장 노출시에 나타나는 거동을 정확히 설명하지 못하고 있다. 이는 실내시험과 현장거동 사이의 상호연관성에 대해 아직 증명된바가 없기 때문이다.

따라서 토목섬유를 적용하기 전에 실내시험과 현장조건을 고려한 종합적인 고찰이 이루어진 후 선택된 토목섬유가 적용되어야 한다.

토목합성재료의 내후성은 자외선에 대한 분해거동으로 주로 평가되는데 미국 AASHTO M288-96의 권장안을 보면 ASTM D4355법에 의거하여 실시되며 이 시험을 통해 500시간 노출하였을 때 초기강도의 50-70% 이상을 유지하도록 되어 있다(Koerner, 1997).

자연광 노출에 의한 시험은 ASTM D5970에 의해 이루어지며 실내시험데이터와 상호간의 상관관계에 대해서 아직 어떠한 연관성도 확인되지 않았기 때문에 토목합성보강재의 적용에 있어 현장기후조건을 고려한 자외선 노출시험이 선행되어야만 함을 알 수 있다.

특히 전술한 바와같이 적용분야가 지속적인 대기 및 자연광에 노출되는 경우에는 실 현장노출시험이 필수적이라 하겠다.

이러한 부직포 지오텍스타일의 내후성에 대해서는 실내시험 등을 통해 국내에서도 많은 부분 연구되고 있으며 제조업체에서도 실내시험 데이터를 제시하여 설계단계에서 고려할 수 있는 정보를 제공하고 있다. 그러나 제시되는 데이터가 실내시험 데이터에 주로 의존하여 현장 적용에 대해서 상대적으로 빈약한 것이 현실이다.

본 연구에서는 임시구조물로 적용된 분리형 보강 토옹벽의 전면체를 형성하는 부직포 지오텍스타일

에 대해 현장 적용 노출시험을 실시하였으며 약 1년간의 지속적인 계측을 통해 실제 국내 현장에서 나타나는 부직포 지오텍스타일의 내후성 거동에 대해서 평가하였다.

2. 지오텍스타일의 내후성

2.1 지오텍스타일의 자외선 분해

고분자재료인 지오텍스타일이 자연광에 노출되는 경우 태양광의 UV영역의 광에 의해 분해가 나타나게 된다. 이때 지오텍스타일의 원료에 따라 분해거동이 나타나는 자연광의 파장영역이 조금씩 다르며, 분해거동은 전체 영역에서 나타나는 것이 아니라 해당 파장 전까지 분해거동이 발생하지 않다가 분해가 발생하는 파장에서부터 분자쇄의 절단 등의 분해거동이 시작된다.

폴리에틸렌이 약 300nm 부근에서, 폴리에스테르가 약 325nm 그리고 폴리프로필렌이 370nm 부근에서 주로 분해가 시작되는 것으로 파악되었으며 폴리에틸렌이 자외선에 가장 취약하며 폴리에스테르가 상대적으로 더 안정한 것으로 알려졌다.

그림 1에 나타낸 바와 같이 자연광의 조사량은 동절기와 하절기에 따르며 지리적 위치, 온도, 구름, 오존, 습도 등에 따라 다르므로 동일한 토목섬유를 시험하더라도 자외선 분해거동은 지역적인 차이에 의해 그 거동이 상이하게 나타날 수 있다.

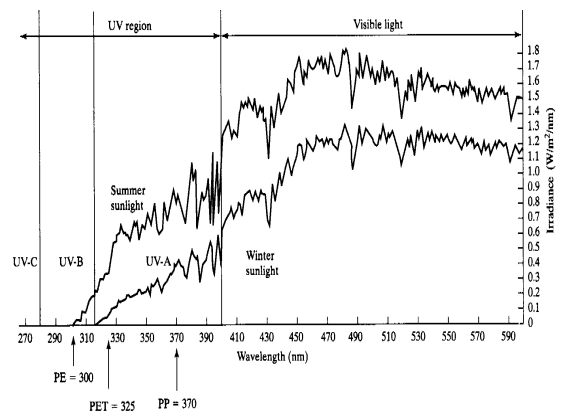


그림 1. 자외선의 대표적 파장 스펙트럼

2.2 시료의 준비

보강토옹벽이 임시구조물로 사용되는 경우에는 대부분 전면 포장형(wrapping face)을 갖는 형태이며 분리형보강토 옹벽에서도 임시구조물로 적용되는 경우 전면을 부직포 지오텍스타일로 형성하는 방식을 채택하고 있다.

본 연구를 위해 사용된 부직포 지오텍스타일의 제원은 표 1과 같다.

표 1. 부직포 지오텍스타일의 제원

분류	특성치	비고
원료	PP	카본블랙 2-3% 첨가
인장강도	3.0 ton	광폭시험법
	2.9 ton	컷 스트립법
중량	700 g/m ²	

2.3 자외선 저항성 시험

지오텍스타일의 내후성 평가를 위한 실내시험으로는 자외선 내구성시험 ASTM D4355에 따라 Xenon 광을 사용하여 실시하였으며, 인장강도 시험법은 실내시험의 경우 그래브법을 적용하였다.

현장 노출시험은 그림 2와 같이 시료를 자연광에 노출한 후 설치 3개월, 6개월, 9개월 그리고 12개월



간격으로 시료를 채취하여 인장강도의 변화를 평가하였다.

구조물의 최대 높이는 7.5m, 연장 8m로 시공하였다. 또한 기타의 강우 차단장치를 두지 않아 현장의 기후조건에 완전히 노출되도록 실시하여 풍화(aging)의 영향도 노출시험에 포함되도록 하였다.

이때 인장강도는 폭 5cm 컷 스트립법을 적용하여 기계방향(MD) 및 폭방향(CD)에 대해 모두 평가하였다. 또한 주사전자현미경(SEM)을 통해 표면분해 거동을 함께 관찰하였다.

2.4 시험 시공

시험 시공하는 분리형 보강토옹벽이 임시구조물로 적용되는 경부고속도로 확장공사 구미-동대구 구간에서 시험시공 부지를 조성하고 그림 2와 같은 최종 구조물을 축조하였다.

당 구조물은 설계연한이 약 5년 미만으로 설계된 구조물로 최대 높이는 7.8m, 연장 8.0m이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 인장강도 변화

실내시험과 현장노출시험을 통해 얻어진 결과를

그림 2. 시공 완료 후 현장 사진 및 설계도

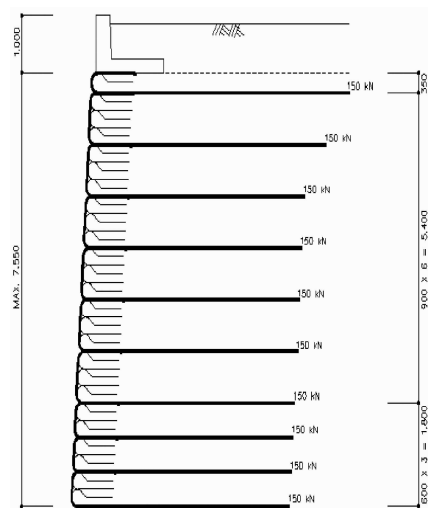


표 2와 그림 3에 제시하였다. 또한 얻어진 결과의 비교를 위해 외국에서 실시된 지오텍스타일의 자외선 노출 시험결과를 그림 4에 함께 제시하였다.

표 2(a)에 제시된 실내시험결과를 보면 500시간 동안 인공광원에 노출되는 경우에도 폭 방향에서 강도감소가 나타나지 않으며, 길이 방향에서만 약간의 강도감소를 확인할 수 있다.

한편 표 2(b)와 그림 3을 보면 약 9개월까지 강도의 증가를 확인할 수 있는데 이는 고분자재료의 분해 거동에서 나타나는 무정형 영역의 분해에 의한 강도 증가현상으로 대부분의 고분자에서 분해와 함께 초기에는 약간의 강도증가가 나타나고 있는 것으로 판단된다.

이는 그림 4에 제시된 McGown 등(1995)과 Cazzuffi 등(1994)의 연구에서 제시된 400wh/m²(50일)까지 초기강도 증가와 1200시간(50일)까지 초기강도 증가현상과 일맥상통하는 현상이다.

다만 본 연구에서는 광안정화시킨(카본블랙을 첨가한) 부직포를 사용하여 초기 분해거동에 의한 강도 증가 거동이 9개월이라는 장시간에 걸쳐 나타난 것으로 사료된다.

즉, 시험결과에서 약 9개월 이후부터 점차적으로 강도가 감소하는 경향을 확인할 수 있으며, 이로 인해 확실히 카본블랙 첨가에 의해 자외선에 대한 분해 거동이 지연된다고 사료된다.

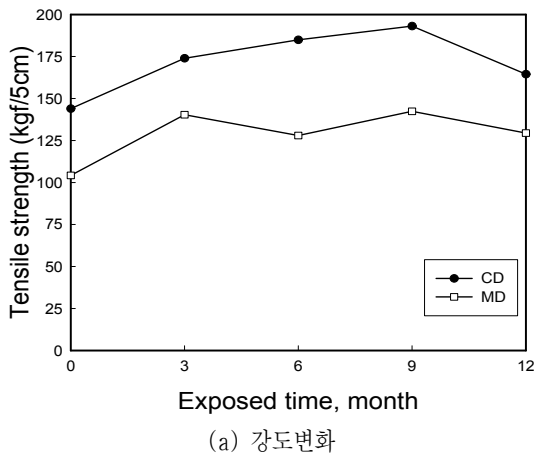


표 2. 부직포 지오텍스타일의 UV 저항성

(a) 실내시험 결과

처리기간	인장강도(kgf)		인장강도 보유율(%)*	
	폭방향	길이방향	폭방향	길이방향
처리 전	274.5	216.7	100.00	100.00
100 시간	286.8	213.3	104.5	98.4
200 시간	286.6	215.2	104.4	99.3
300 시간	286.6	210.9	104.4	97.3
400 시간	282.6	214.6	103.0	99.0
500 시간	284.5	218.8	103.6	100.9

(b) 현장시험 결과

노출기간	인장강도 (kg/5cm)**		인장강도 보유율(%)	
	폭방향	길이방향	폭방향	길이방향
시공 전	144.00	104.20	100.00	100.00
3 개월	173.96	140.33	120.81	134.67
6 개월	184.90	128.00	128.40	122.84
9 개월	193.10	142.40	134.10	136.66
12 개월	164.50	129.40	114.20	124.20

** 폭 5cm 컷 스트립법에 의거하여 인장강도 평가 (KS K 0520)

3.2 부직포 지오텍스타일 구조변화

현장 노출된 시료에 대해 SEM 사진을 함께 취하였으며, 그 결과를 그림 5에 제시하였다. 얻어진 사진에서 섬유 특이적인 특별한 분해거동은 확인할 수 없었으며

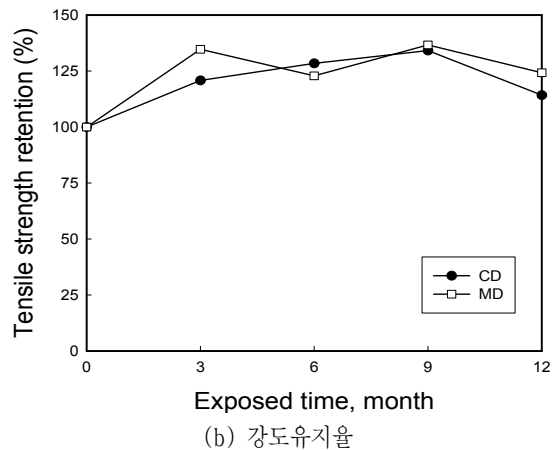


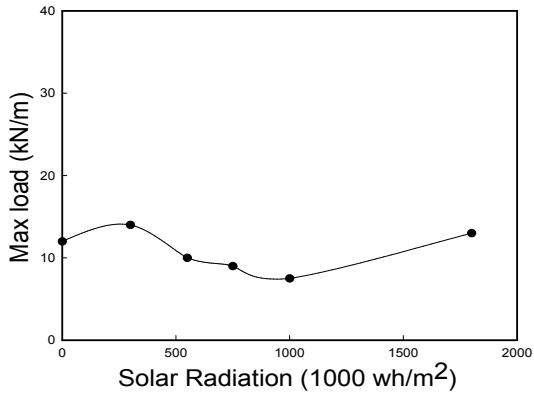
그림 3. 카본블랙 첨가된 부직포 지오텍스타일의 현장 자외선 분해시험 결과곡선

인장거동의 변화에서 얻은 결과로부터 아직까지 부직포 구성섬유에 심각한 분해거동은 나타나지 않은 것으로 판단된다.

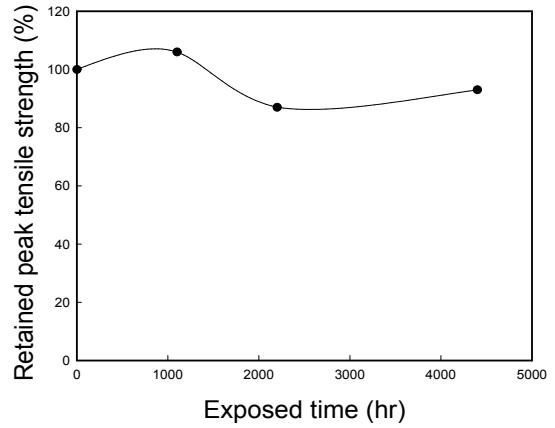
또한 본 연구 결과와 비교하기 위해 Tisinger 등 (1990)의 선행연구에서 제시한 광안정화 처리하지

않은 경우의 지오텍스타일의 분해사진을 함께 제시하였다.

Tisinger 등의 연구에서는 심각한 섬유 단면방향으로의 분해거동을 확인할 수 있으며 이러한 거동은 온화한 자연광 조건인 국내 여건에서는 단기간의



(a)

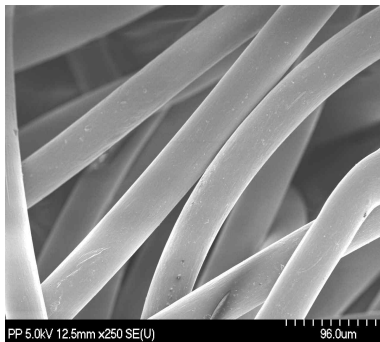


(b)

그림 4. (a) 자연광 조사에 따른 부직포 지오텍스타일의 인장강도 변화

(시험기간 : 2개월, 12개월 총 조사량 : 1,800,000 조/m², 1000 wh/m² = 약 200일[2])

(b) 현장노출에 따른 PET 부직포 지오텍스타일의 인장강도 변화[3]



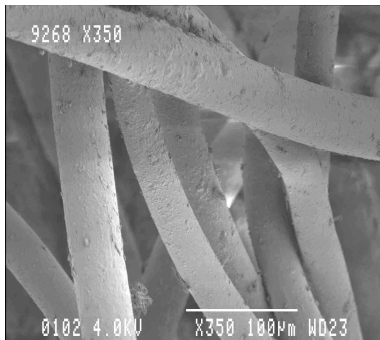
(a) 시공 전 사진



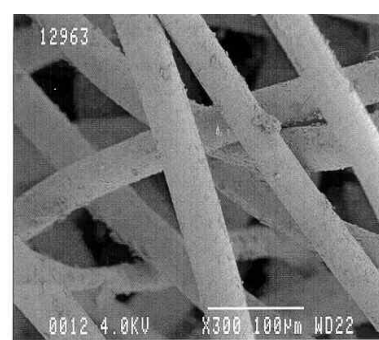
(b) 시공 3 개월 후



(c) 시공 6 개월 후



(d) 시공 9 개월 후



(e) 시공 12 개월 후

그림 5. 현장 노출된 부직포 지오텍스타일의 표면 SEM 사진

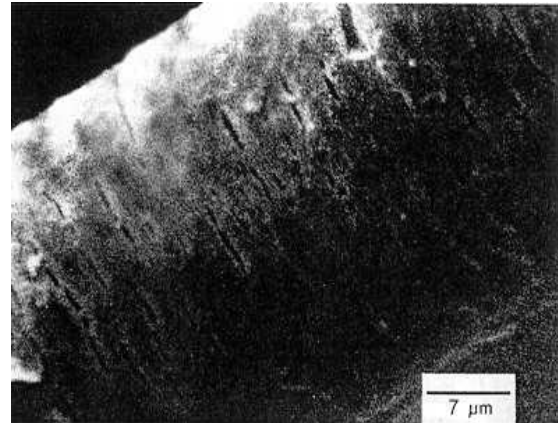
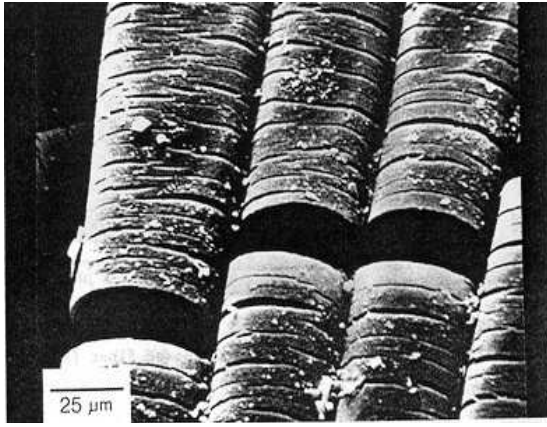


그림 6. 72일간 노출된 무처리 지오텍스타일의 표면 SEM 사진(Tisinger 등, 1990)

설계연한을 갖는 임시구조물에서는 나타나기 힘든 분해거동이다.

4. 결 론

부직포 지오텍스타일이 보강토 옹벽의 전면체 형성 등과 같이 직접적으로 장기간 자연광에 노출되는 경우를 고려하여 임시구조물로 적용된 보강토옹벽 구조물에 대한 현장 노출에 의한 내후성 평가시험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 임시구조물 보강토 옹벽에 적용되는 부직포 지오텍스타일의 내후성 평가를 위한 자외선 저항성 평가 실내시험(ASTM D4255)에서 약 500시간이 경과한 후에 인장강도 유지율(폭 방향)은 103.6%이었으며, 동일 제품에 대한 현장노출시험에서 12개월 노출 후의 인장강도 유지율은 폭방향 = 114.2%, 길이방향 = 124.2%로 나타났다.
2. 현장노출시험을 통해 얻어진 주사전자현미경 사진을 통해 적용 초기에는 심각한 분해거동이 표면에서 나타나지 않음을 알 수 있다.
3. 시험시공을 통한 현장노출시험결과, 부직포 지오텍스타일의 강도가 시공 전 보다 감소하게 되는 시기가 12개월 이후로 나타났으며, 이로부터 설계

연한이 5년 이하인 임시구조물에 적용되는 경우와 단기간에 매립되는 매립장의 라이너 시스템에 적용되는 경우에 해당 부직포 지오텍스타일에서는 대기 및 자연광에 의한 심각한 분해거동은 나타나지 않을 것으로 판단되며, 해당 구조물은 임시구조물로서 그 기능을 정확히 발휘하였다.

참 고 문 헌

1. 보강기술(주), “전면블록과 토목섬유보강재를 병용한 분리형보강토옹벽”, 신기술지정신청서, pp.89-92.
2. Cazzuffi, D. A. & Fede, L., Montanelli, F. & Rimoldi, P.(1994), “Outdoor and UV-B Laboratory Weathering Resistance of Geosynthetics”, *Proc. of the 5'th Int'l. Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Vol. 5, pp.1195-1200.
3. Koerner, R. M.(1997), *Designing with Geosynthetics*(4th ed.).
4. McGown, A., Andrawes, K. Z. and Al-Mudhaf, H. F. (1995), “Assessment of the effects of long-term exposure on the strength of geotextiles and geogrids”, *Proceedings of Geosynthetics '95*, Vol. 3, pp.939-945.
5. Tinsinger, L. G., Peggs, I.D., Dudzik, B.E., Winfree, J.P. and Carraher, C.E.(1990), “Microstructural Analysis of a Polypropylene Geotextiles after Long-term Outdoor Exposure”, *Geosynthetics Testing for Waste Containment Applications*, Koerner, R.M.(Edited), pp.335-351.