

천연섬유 부직포 지오텍스타일의 공학적 특성 ENGINEERING PROPERTIES OF NATURAL FIBER USED NONWOVEN GEOTEXTILES

전한용¹⁾, H.Y. Jeon, 장연수²⁾, Y.S. Jang, 이광열³⁾, K.W. Lee

¹⁾ 인하대학교 나노시스템공학부 교수, Professor, Division of Nano-Systems Eng., Inha Univ.

²⁾ 동국대학교 사회환경시스템공학과 교수, Professor, Dept. of Civil and Environmental Eng.,
Dongguk Univ.

³⁾ 동서대학교 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Dongseo Univ.

SYNOPSIS : The purpose of this study is to improve the environmental applicability of nonwovens by using special composition. Polypropylene spunbonded and needle punched nonwovens which have the lower cost than polyester nonwovens were used as the raw materials to manufacture the natural fiber used nonwoven geotextiles. These geotextiles were made by use of the thermal bonding methods and composed of jute(or flax)/polypropylene staple fiber blends were obtained in consideration of environmental application. Finally, the engineering properties of natural fiber used nonwoven geotextiles were investigated as eco-friendly materials.

Key words : natural fiber used nonwoven geotextiles, thermal bonding methods, environmental application, engineering properties, eco-friendly materials

1. 서 론

환경문제가 중요한 사회문제로 대두되면서 토목섬유도 장기성능과 더불어 환경친화성이 요구되고 있으며, 지오텍스타일 제품 중에서 부직포 및 부직포 관련 지오텍스타일은 그 용도가 매우 광범위하여 주시 대상으로 부각되고 있는 면도 간과해서는 안 된다.

그러나 대부분의 지오텍스타일 제품들은 주원료로 폴리프로필렌 등의 합성섬유가 사용되고 있기 때문에 환경친화성과는 관계가 없는 걸로 인식되고 있는 실정이다. 일부에서는 이러한 분해되어 시공 후 사용기간 중 지반구조물과 일체화가 되지 않는 합성섬유의 문제점들을 해결하기 위하여 천연 섬유소재의 사용을 요구하고 있기도 하지만, 실제 실용화 제품의 현장적용은 많은 해결과제를 내포하고 있다.

한편, 미국, 독일, 프랑스, 일본 등 선진 국가에서는 이를 실현하기 위하여 마섬유를 부직포 및 지오텍스타일 화하여 사용하는 경우도 있으며, 천연섬유를 이용한 부직포 및 부직포 지오텍스타일을 사용하여 화학섬유가 가지고 있는 여러 가지 문제점들을 해결하고 성능을 향상시킬 수 있다면 매우 바람직할 것으로 생각된다.

이러한 점을 감안해 볼 때 폴리프로필렌 같은 저융점 섬유를 마섬유와 혼합하여 부직포를 제조하면 플라스틱이나 sheet와는 달리 가변성 지오텍스타일을 용이하게 만들 수 있다는 장점이 있으며 나아가서

는 더 큰 구조적 강도가 요구되는 지오텍스타일로서의 가능성도 갖게 된다.

본 연구에서는 천연섬유 부직포 지오텍스타일의 분해성을 고려하여 기본 물성이 우수하고 부직포 제조가 용이한 마섬유를 천연 섬유원료로 선택하여 폴리프로필렌과의 부직포 지오텍스타일을 제조하였으며 그 공학적 특성을 일차적으로 측정, 분석하였다.

2. 실험

2.1 천연섬유 부직포 지오텍스타일의 제조

아마섬유를 3~5회 실린더 가공을 거쳐 4cm 정도의 단섬유로 만든 다음 Mini-Carding M/C을 이용하여 중량 115g/m²의 웹을 제조하였다. 그리고 20%의 폴리프로필렌섬유와 실린더 가공을 거친 80%의 아마섬유를 혼합하여 같은 방법으로 웹을 제조하여 각각 니들펀칭용 및 열융착 부직포 지오텍스타일 제조에 사용하였다.

니들펀칭 부직포 지오텍스타일의 경우 스트로크 횟수를 400회 이상으로 할 경우 섬유절단, 분진발생, 펀칭의 어려움 등이 발생하므로 스트로크 횟수를 400회로 하여 100% 아마섬유 부직포와 폴리프로필렌섬유/아마섬유(20/80) 부직포 지오텍스타일을 표 1의 조건으로 제조하였다.

한편, 열융착법의 경우 접착섬유인 폴리프로필렌섬유를 아마섬유사이에 잘 분산, 혼합시켜 웹을 제조한 다음 일정 면적(20×20cm²)의 평판위에 2×2mm²의 돌기들을 가열한 다음 압력을 가하여 접착섬유를 용융시켜 섬유상호간을 결합시키는 방법을 사용하였다. 열융착 조건은 온도 186℃, 압력 6kgf/cm², 시간 1초이었으며, 여기서 융착온도가 186℃보다 높으면 폴리프로필렌섬유가 용해, 소멸되어 부직포제조가 어려우며 낮으면 융착효과가 저하됨을 알 수 있었다.

표 1. 천연섬유 부직포 지오텍스타일의 규격

형태	조성	중량(g/m ²)
NP-1	Flax(100)	342
NP-2		453
NP-3		568
NP-4	Polyprpylene/Flax(20/80)	342
NP-5		453
NP-6		568
TB-1	Polyprpylene/Flax(20/80)	115
TB-2		232
TB-3		342

그림 1에 NP-1과 TB-3의 사진을 각각 나타내었다.

2.2 공학적 특성 평가

제조된 천연섬유 부직포 지오텍스타일의 공학적 특성을 평가하기 위하여 인장성질, 압축성질, 인열성질, 파열성질, 마모성질 등을 측정하였다. 그리고 투과도 및 온도에 따른 열적성질을 측정하였다.



(NP-1)



(TB-3)

그림 1. 천연섬유 부직포 지오텍스타일의 사진

3. 결과 및 고찰

3.1 웹의 특성

아마섬유와 폴리프로필렌섬유의 섬유장을 측정한 결과 아마섬유는 실린더 처리를 거치면서 일정길이가 절단되었기 때문에 섬유장의 오차가 ~3%이었고 폴리프로필렌섬유의 섬유장 오차도 ~2% 정도이었다. 따라서 섬유장이 비슷한 두 섬유를 혼합하여 웹을 제조할 경우 아마섬유가 폴리프로필렌섬유에 비해 굵기 때문에 상대적으로 가는 폴리프로필렌섬유를 잘 분산시켜 한곳으로 뭉치는 현상을 방지해야만 한다.

한편, 니들펀칭용 웹은 중량이 너무 작으면 펀칭이 어려우므로 중량을 342, 453, 568g/ m^2 으로 차별화 하였으며 열융착 웹은 융착효과와 중량과의 관계를 고려하여 최대 열융착 중량인 115, 232, 342g/ m^2 으로 차별화하여 중량과 두께 따른 특성을 고려하였다. 그리고 이들 웹의 섬유배열은 랜덤하게 섬유들이 서로 엮혀 있는 상태로 부직포 제조의 이상적인 구조임을 확인하였다.

3.2 공학적 특성

3.2.1 역학적 성질

3.2.1.1 인장성질

9 가지 부직포 및 부직포 지오텍스타일의 인장강도를 측정한 결과를 그림 2에 나타내었다. 니들펀칭의 경우 같은 중량에서 아마섬유의 경우보다 폴리프로필렌/아마섬유의 인장강도 값이 큰데 이것은 폴리프로필렌섬유가 크립프 구조를 형성하고 있어 아마섬유와의 결속효과가 좋아지기 때문에 나타나는 결과이며, 중량이 증가함에 따라 인장강도가 커지는 것은 니들펀칭 중량이 커짐에 따라 인장강도가 감소하는데 이는 두꺼울수록 융착효과가 나빠지기 때문이라 생각된다. 그리고 중량과 섬유조성이 같은 NP-4와 TB-3의 경우TB-3이 인장강도가 큰 값을 나타내는데 그 이유는 TB-3의 융착효과에 의한 결합력의 향상에 기인하기 때문이라 생각된다.

3.2.1.2 압축성질 및 인열성질

각 시료의 압축성질을 측정한 결과 압축에 대한 회복율은 니들펀칭 부직포 지오텍스타일보다는 열융착 부직포 지오텍스타일의 경우가 더 좋음을 알 수 있었으며 니들펀칭의 경우 중량이 큰 NP-3, NP-6의 압축회복율이 작은 경향을 보였다.

열융착의 경우에는 폴리프로필렌/아마섬유(20/80) 부직포 지오텍스타일의 압축회복율은 큰 변화를 보이지 않았지만 중량이 커질수록 융착효과 저하로 인하여 작은 값을 보였다. 각각의 부직포 지오텍스타일의 인열강도를 측정, 분석한 결과 인장강도의 경우와 비슷한 경향을 보였으며 이는 인장성질이 우수한 부직포가 인열성질도 우수함을 입증하고 있다.

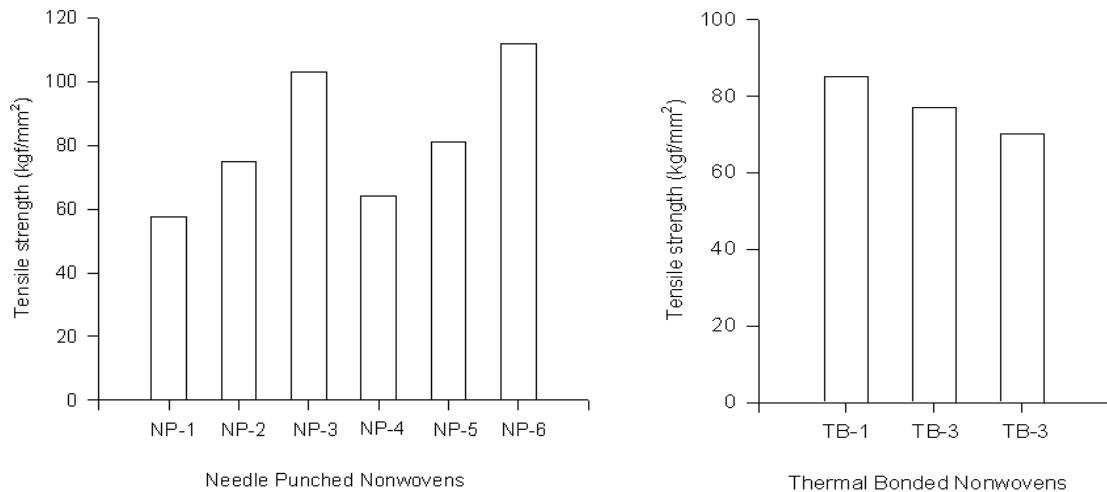


그림 2. 천연섬유 부직포 지오텍스타일의 인장강도

3.2.1.3 파열 및 마모성질

각 시료의 파열강도를 측정한 결과 파열강도는 부직포 지오텍스타일의 구성섬유의 엉킴상태에 크게 영향을 받기 때문에 니들펀칭의 경우 섬유 엉킴상태가 좋은 NP-6, 열융착의 경우에는 TB-1의 파열에 대한 저항성이 가장 우수하였다.

니들펀칭의 경우는 비교적 균일하게 파열이 전파, 진행되었지만 열융착의 경우에는 접착섬유인 폴리프로필렌섬유가 융착되어 있는 부분을 중심으로 응력집중에 의한 파열이 진행되었으며 중량이 동일하고 섬유 혼합조성이 같은 NP-4와 TB-3의 경우에는 열융착에 의해 섬유의 결합상태가 강화된 TB-3의 파열 성질이 우수함을 나타내었다.

한편, 각각의 부직포 지오텍스타일의 필링(우모발생)에 의한 내마모성을 측정한 결과 열융착의 경우 내마모성이 우수하였으며 이는 마찰시 필링발생이 적기 때문에 섬유탈락에 의한 손상을 방지할 수 있어 내구성을 요하는 용도에 적합하다고 생각된다.

따라서 필링에 의한 내마모성은 니들펀칭의 경우 폴리프로필렌/아마섬유(20/80) 부직포 지오텍스타일의 내마모성이 아마섬유만을 사용한 경우보다 우수한 경향을 나타내었고 중량이 작을수록 내마모성이 저하됨을 보였다. 그러나 열융착의 경우에는 중량이 적을수록 융착효과가 좋기 때문에 내마모성이 우수

하여 압축성질과 관련지어 해석하면 압축회복율이 좋은 부직포가 내마모성도 우수함을 알 수 있었다.

3.2.3 투과도

그림 3의 천연섬유 부직포 지오텍스타일의 투과도는 향후 필터 및 배수기능 평가 시 중요한 기본 항목으로 사용되며, 니들펀칭의 경우 중량이 커질수록 섬유와 섬유사이의 공간이 많아지지만 펀칭에 의한 압착에 의해 조밀하게 결합되므로 투과도는 작아지며, 동일 중량 및 섬유조성의 경우 폴리프로필렌/아마 섬유(20/80) 부직포 지오텍스타일이 약간 낮은 값을 보이는데 이 사실로 부터 투과에 대한 저항성이 우수하다고 단정 지을 수는 없지만 융착효과 저하에 의한 투과도의 향상이라고 생각된다. 열융착된 TB-3의 경우, 같은 조건의 니들펀칭된 NP-4에 비해 낮은 투과도를 나타내는데 이는 열융착시 접착섬유인 폴리프로필렌섬유가 융착된 부분 때문에 공기흐름의 저항이 커지기 때문이며, NP-4의 경우 니들펀칭시 니들이 통과한 부분이 공기흐름을 좋게 하기 때문이라고 생각된다.

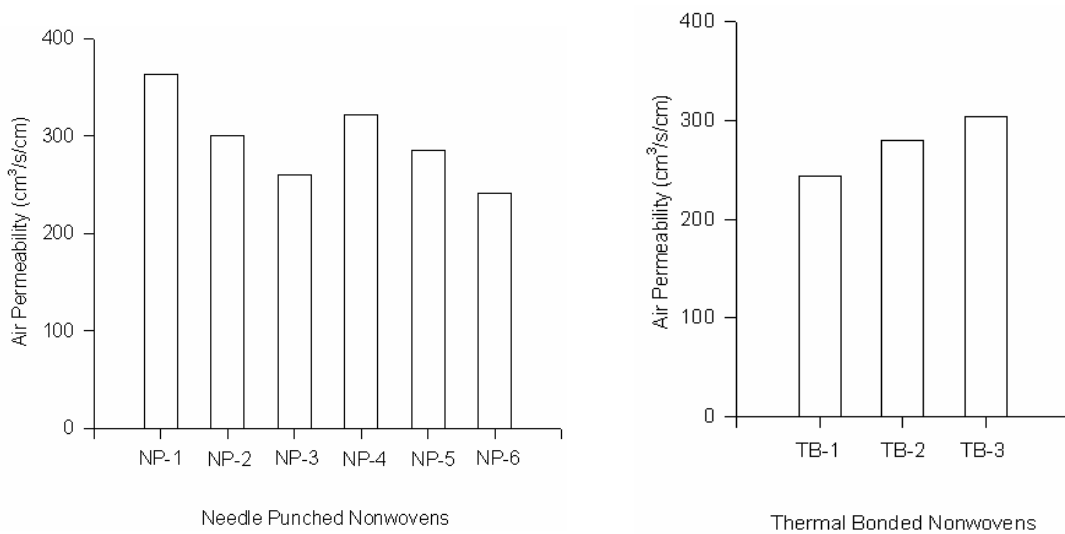


그림 3. 천연섬유 부직포 지오텍스타일의 투과도

그러나 이는 천연섬유 부직포 지오텍스타일의 기본 투과도 평가이지, 실제로 직접적인 투수성 평가 지표라고 할 수 없기 때문에 이 결과를 투수성 평가와 관련짓기 위해서는 좀더 specific한 시험조건에서의 평가가 적용되어야만 한다.

3.2.4 내열성

각각의 부직포 지오텍스타일의 단열특성을 측정한 다음 TIV(Thermal Insulation Values)값으로 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 부직포 지오텍스타일의 내열성은 지금까지는 크게 주목받는 평가항목은 아니지만, 외부온도가 높은 하절기 시공 전 보관 상태나 야적상태를 고려할 경우 일광 및 자외선 등에 의한 지오텍스타일의 분해와 관련이 있기 때문에 매우 중요하다.

부직포 지오텍스타일의 단열특성은 앞의 투과도에서 지적한 바와 같이 부직포내의 섬유와 섬유사이의 공간의 크기에 비례하므로 니들펀칭의 경우 중량이 커지면 체적은 증가하지만 상대적으로 섬유와 섬유사이의 공간이 압축되어 열을 보유할 수 있는 체적이 감소하여 단열 효과가 좋아짐을 보이고 있다. 그러나 아마섬유만을 사용한 경우보다 폴리프로필렌/아마섬유(20/80)를 혼합한 경우 단열특성이 저하되는 이유는 접착섬유로 사용된 폴리프로필렌섬유의 낮은 열전도성에 영향을 받기 때문이라 생각된다.

이러한 이유로 열융착의 경우에는 동일 중량 및 혼합 조성을 가진 NP-4 보다 TB-3의 단열특성이 저하되며 융착효과에 따라 전반적으로 단열 특성도 저하됨을 보이고 있다. 따라서 위와 같은 단열성질을 고려한다면 100% 아마섬유를 사용하고 최적 중량을 최대한 크게 한 니들펀칭 부직포 지오텍스타일이 적합하다고 할 수 있다.

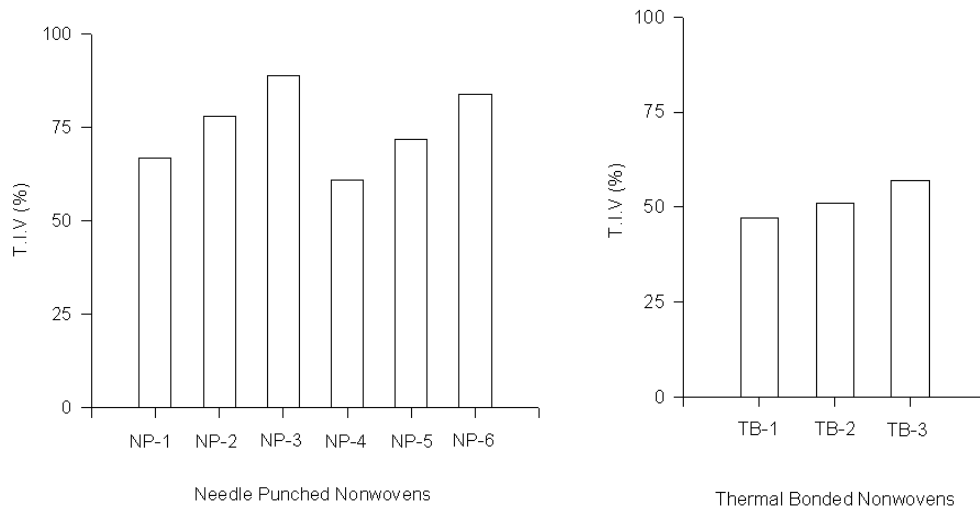


그림 4. 천연섬유 부직포 지오텍스타일의 내열성

4. 결론

니들펀칭법과 열융착법을 동시에 사용하여 니들펀칭법의 경우 아마섬유, 폴리프로필렌/아마섬유(20/80)의 부직포를 지오텍스타일을 제조하였고 열융착법의 경우에는 폴리프로필렌/아마섬유(20/80)의 혼합부직포를 제조하였다. 그리고 웹의 특성으로 중량, 두께 및 균제도를 측정하고 섬유상호간의 배열상태를 확인하기 위하여 형태학적 구조를 관찰하였으며 이들 웹으로 부터 제조된 부직포의 역학적 성질(인장, 압축, 인열, 좌열성질 등)과 내마모성, 투과도 및 내열성 등을 측정, 분석하여 지오텍스타일의 용도를 고찰하였다. 이상의 결과로부터 니들펀칭 부직포의 경우에는 중량이 커질수록, 열융착 부직포의 경우에는 융착효과가 좋은 적정중량(115g/m²)일수록 우수한 물성을 가짐을 알 수 있었으며 이들 물성치에 적합한 지오텍스타일의 용도를 채택함이 바람직하다고 생각된다. 그리고 이들 부직포의 특성 가운데 특별히 고성능화 특성과 관계있는 투과도와 단열특성 등은 서로 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었고 향후 이들 특성을 객관화하고 표준화시킬 수 있는 심도 깊은 연구가 진행되고 천연섬유 소재의 사용이 확대될 때 지오텍스타일의 고성능화와 환경오염을 방지할 수 있는 대책이 마련될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 日本纖維機械學會誌 (平成 5年 8月 25日), 不織布研究會, 不織布の基礎と應用.
2. J. Lünenschloss and W. Albrecht (2005), Non-Woven Bonded Fabrics, John Wiley & Sons, New York.
3. J. W. S. Hearle (1972), A Theory of Mechanics of Needled Fabrics, The Textile Trade Press, Manchester.
4. Václav Mrština and Franišek Fejgl (1990), Needle Punching Textile Technology, Elsevier, New York.