

Green Structure 적용 Geosynthetics의 기술동향

심진섭, 심완섭, 임대영¹, 유중조², 김초룡³

(주)골든포우, ¹한국생산기술연구원 섬유소재본부,
²한국 Geosynthetics 연구소, ³인하대학교 대학원 섬유공학과

1. 서 언

geosynthetics는 초기 순수 토목분야만의 적용에서 그 영역을 환경, 해양 부분까지 점차 확대해 가고 있다. 이는 공학 분야의 연구형태가 서로 다른 분야 간의 협력연구를 통한 다양한 정보의 교류에 의해 이루지는 최근의 연구 흐름에 부합하는 현상이라고 할 수 있다. 지오텍스타일 튜브와 지오텍스타일 컨테이너 등을 이용한 해양 및 환경관련 분야로 새로운 적용분야를 넓힌 것과 같이 다양한 분야에서 요구하는 바를 geosynthetics가 대안으로서 훌륭히 적용될 수 있기 때문이다. 또한 신소재의 개발 및 발굴에 의한 기존 제품의 적용분야가 획기적으로 확대될 수 있는 방법이 개발되었기 때문에 점차 geosynthetics의 적용분야는 확대될 것으로 전망된다[1-3].

이와 같이 요즈음의 geosynthetics 시장에서 새로운 소재의 적용에 의한 적용분야 확대를 위한 연구가 활발히 요구 및 진행되고 있으며 그 한 주제가 'Green structure'를 적용한 geosynthetics의 개발이다. Green structure를 적용한 geosynthetics라 함은 geosynthetics가 반영구적으로 적용되는 것이 아니라 소요되는 사용기간 동안 요구하는 특성(기능)을 발휘하며 그 목적하는 바를 이룬 후에는 자연 분해되는 친환경적인 소재의 geosynthetics로 정의할 수 있다.

초기 geosynthetics 분야에서는 천연섬유소재 제품의 주를 이루었으나 그 내구성과 물성 제어가 어려워 점차 합성수지 소재로 사용원료가 전환되었다. 그러나 최근 친환경 개념이 대두되고 geosynthetics 분야에서도 관련소재에 대한 요구가 증대됨에 따라 다시 천연소재 geosynthetics에 대한 관심과 제품 적용이 증대되고 있다. 더불어 생분해성 고분자의 범용화를 위한 많은 연구들이 진행되고 실적이 상업화로 나타나면서 친환경 geosynthetics의 원료 선택이 다양화되고 있다. 최근에 이러한 생분해성 고분자가 석유원료가 아닌 천연원료에서 합성되므로서 다양한 친환경적 옵션을 geosynthetics 분야에 부여할 수 있게 되었다.

그리고 geosynthetics의 기능 또한 용도와 직결되기 때문에

일반적인 산업용 섬유제품과 마찬가지로 용도가 불분명한 geosynthetics의 개발은 이루어질 수 없으며, 특히 근래에는 환경보호 문제의 심각성이 급부상하면서 기존의 geosynthetics의 판도에도 중요한 영향을 미치고 있다.

하지만, 엄밀한 의미에서 geosynthetics의 경우 '환경친화형'의 의미는 geosynthetics이 적용되는 토체구조물의 안정성 및 안전성을 고려한다면, '환경일체형' 또는 '환경적합형'의 의미가 동반되어야 한다는 사실도 간과할 수는 없다.

한 예로, 기존의 '생분해성 재료 개발기술'을 geosynthetics 제조에 적용하는 문제는 무조건 토양오염방지라는 차원이 아니라 구조물의 안정성과 안전성을 고려한 신중한 접근이 이루어져야만 할 것이다.

이러한 green Structure의 개념은 임시 구조물이나 일회성 소모 제품의 적합하다. 임시구조물이나 일회성 제품은 비교적 짧은 사용 수명 (5년 이내)의 적용분야를 지칭하며 대표적인 분야가 연직배수재, 매립지 일일 복토재, 침식방지매트 등이 있다. 특히 생분해성 소재는 침식방지용 geosynthetics(erosion control geosynthetics)에 많이 적용되고 있다. 침식방지용 geosynthetics는 여러 수리적 하중 조건에 의해 나타나는 침식을 억제 혹은 방지하기 위해 임시적으로 또는 반영구적으로 사용되는 geosynthetics로, 기존 제품은 합성수지 기반의 비분해성 반영구적 제품이 갖는 환경오염 문제와 천연소재 기반의 제품은 제어되지 않은 분해능에 의해 임시 구조물 적용 등의 한계를 갖고 있다. 이 두 가지 문제를 해결할 수 있는 소재가 생분해성 합성수지 소재이며 분해거동과 요구특성을 원하는 설계연한에 맞게 제어할 수 있는 기술 개발과 적용분야에 대한 기준 등의 정립이 요구된다.

따라서 본 고에서는 'Green structure'를 적용한 침식방지 geosynthetics 제품을 기준으로 현재 경향과 앞으로 친환경 소재의 발굴에 의한 시장 활성화 및 확대의 가능성과 기술개발에 대해 살펴보았다.

2. 환경친화형 geosynthetics의 원료

(1) geosynthetics에 사용되는 천연섬유원료는 매우 한정적이지만 주로 섬유, 실, 직물 및 편물 등의 형태로 초기에 적용되었으며, 부직포 형태의 제품이 개발되면서 그 수요가 증가하고 있다.

한편, geosynthetics의 원료 중 천연섬유원료는 환경친화형 원료라는 장점을 가지고 있기 때문에 근래에 geosynthetics으로서의 효용성이 다시 부각되기 시작하였으며, 그 종류도 cotton, jute, wool, coir, straw, basalt fiber 등에서 waste assembly 등에 이르기까지 매우 다양하다.

현재 특정용도에 사용되고 있지만, 수분흡수성이 뛰어난 장점을 활용한 사면안정화, 침식방지, 배수용 또는 녹지조성용 matrix 등으로의 용도확장이 기대되고 있다. 특히 여과 및 배수용 복합화 제품의 원료로 사용 가능성이 매우 높다.

(2) geosynthetics의 제조에 사용되는 섬유원료들은 워낙 대량으로 사용되는 경우가 많기 때문에 우선 경제적인 측면에서 가격이 비쌀 경우 경쟁력이 없어지므로 성능이 비슷할 경우에는 제조단가가 저렴해야만 한다.

또한, 환경 친화적인 측면에서 재활용 섬유원료를 사용한 eco-environmental geosynthetics 제조에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나 재활용 섬유원료를 사용하여 제조된 geosynthetics의 경우 물성 저하가 발생하므로 향후 이를 보완하거나 개선해야만 하는 문제점을 안고 있다. 이를 위하여 특수기능의 첨가제와 원료수지 및 제조공정 및 장치들의 개선에 관한 기술개발이 진행 중이며, 특별히 환경친화의 초점을 분해성과 적합성 중 어느 분야로 맞추어야 할 것인가가 해결되면 이 분야에 대한 진보는 매우 빠르게 진행될 것으로 예상된다.

(3) 특수기능을 가진 고분자 원료를 이용한 geosynthetics 제조기술의 개발이 향후 절실히 필요할 것으로 예측되며, geosynthetics 제품들이 당면하고 있는 mechanical and chemical resistances, durability, weatherability 등을 고려한다면 적용환경에 부합되는 geosynthetics의 개발은 가장 선진화된 기술이라고 생각된다.

3. 대표적인 환경친화형 geosynthetics[4,5]

3.1. 지오텍스타일

분리, 보호, 배수기능을 향상시킨 부직포 및 직포 형 지오

텍스타일 등의 개발이 기대되며, 나노섬유를 이용한 필터 용 제품이 환경분야에 사용될 전망이 크다고 볼 수 있다.

그리고 환경친화형 지오텍스타일로 생분해성 제품 개발이 진행되고 있으나, 이는 분해에 따른 성능저하 및 유지가 지속적인 문제로 지적되고 있으며, 특히 경제성면에서 높은 제조원가가 실용화에 걸림돌이 되고 있다.

하지만, 환경보존이라는 차원에서 목표 사용기간 동안 성능구현 후 분해되어 토양 및 환경과의 일체화가 될 수 있는 제품의 수요가 점점 증가하고 있기 때문에 개발의 필요성은 매우 크다고 볼 수 있다.

또한, 시공기간이 길어질수록 자외선에 노출되어 강도저하 등이 발생할 경우 이에 대한 대비책으로 원료섬유를 차별화하거나 새로운 조성을 가진 지오텍스타일 제품들의 개발이 완료되었거나 진행 중이다.

3.2. 지오그리드

지오그리드는 주 용도가 보강용이기 때문에 '환경친화형'이 아닌 대표적인 '환경일체형'이나 '환경적합형' geosynthetics이다.

국내의 경우 현재는 주로 보강토 옹벽용으로 사용되는 일축연신 형 또는 일방향 보강형인 텍스타일 형 지오그리드가 대부분이지만, 향후 지반보강용 등으로의 용도확장이 기대된다. 이럴 경우 이축연신 형 또는 양방향 보강형 그리고 복합형 지오그리드 제품의 사용량이 크게 증가할 것으로 예상되며, 이들 제품 중 이미 개발 완료된 제품들도 있으며, 특히 복합형 지오그리드의 경우 신제품 제조와 더불어 새로운 시공기술이 병행되어 진행되고 있다. 그러나 보강토 옹벽의 경우 환경친화적인 요소와 미적 성상이 강조되고 있어 전면 블록 및 판넬의 차별화와 더불어 보강토 옹벽 시공 후의 식생(vegetation) 문제도 활발히 부각되고 있는 점을 고려한다면, 단순 보강기능을 가진 제품의 크리프 특성을 개선한 제품과 식생 시 강점을 지닌 제품개발도 중요한 사항이라고 볼 수 있다.

3.3. GCLs(geosynthetic clay liners)

GCLs 제품은 분말형 및 과립형 천연원료인 벤토나이트를 사용하기 때문에 경사면에 적용할 경우 벤토나이트의 유실에 의한 차수성능저하와 동결융해에 의한 성능저하가 환경친화적이지 못한 점으로 평가받는 경우가 문제점으로 지적되어 이를 개선하기 위한 modified composition type GCLs의 개발 등이 지속적으로 진행되고 있다.

Table 1. Geosynthetics 침식방지 시스템[2]

Temporary Erosion Control Geosynthetics	Permanent Erosion Control Geosynthetics	
	Biotechnical related	Hard Armor-Related
Straw, hay and hydraulic mulches	UV stabilized fiber roving systems	Geocell system - concrete filled
Tackifiers and soil stabilizers	Erosion Control revegetation Mats	Fabric form
Hydraulic mulch geofibers	Turf Reinforcements Mats	Vegetated concrete block system
Erosion Control Meshes and Nets	Discrete-length Geofibers	Concrete block system
Erosion Control Blankets	Geocell system - vegetated	Stone Riprap
Fiber Roving Systems		Gabions

3.4. 필터 및 배수용 geosynthetics

필터 및 배수용 geosynthetics은 clogging에 의한 수리적 특성 저하를 방지하고, 유로확보, 구속하중에 의한 관입현상 발생을 최소화 할 수 있는 제품개발과 더불어 분해성 필터제품에 관한 연구들이 진행되고 있다.

한 예로 국내 사용량이 비교적 많은 연약지반 개량용 연직 배수재인 PBD(prefabricated board drain)의 경우 사용 후 그대로 흙 구조물에 혼합되므로 어떤 면에서는 분해되어 토양과 일체화가 될 필요가 있는 제품이라고 볼 수 있다. 따라서 배수성능을 충분히 확보할 수 있으며, 사용 후 분해될 수 있다면, 가장 대표적인 환경친화형 geosynthetics이라 할 수 있다.

국내외의 경우 이에 대한 기술특허들은 출원이나 등록되어 있지만, 실제 제품개발은 경제성이나 기술적인 문제 등으로 아직 구체적인 제품은 소개되고 있지 않고 있는 실정이다. 그리고 수평배수재의 경우에도 기존의 [지오텍스타일/지오네트]형의 지오킴포지트 제품의 구속압에 대한 관입현상 발생을 최소화하기 위한 대체 제품으로 국내에서 개발된 혼성타입의 배수재도 한 예로 들 수 있다.

3.5. 기타

대부분 호안 및 해안보강, 준설 및 연약지반 개량용, 침식방지 용으로 적용되는 지오투브, 지오킴테이너, 지오펙 등이 근래에 국내에 소개된 사례들이 있지만, 활성화 되지는 않고 있는 실정이다.

4. 침식방지매트 geosynthetics의 이해

4.1. 침식방지매트 geosynthetics의 정의와 종류

다양한 수리 환경에 의해 발생하는 침식억제나 방지를 위해 사용되는 공법을 침식방지공법이라고 하며 여기에 이용되는 대표적인 geosynthetics 제품은 Table 1과 같다. geosynthetics를 이용한 제품 중에서 침식방지매트가 ‘Green structure’를 적용할 수 있는 제품이다. 침식방지매트는 erosion control meshes,

erosion control blankets, 그리고 erosion control mats를 대표적으로 지칭한다. 침식방지매트는 Figure 1과 같이 천연소재를 적용한 임시구조물이나 단기사용기간을 대상으로 하는 제품군과 반영구적인 사용을 대상으로 하는 제품으로 나뉜다 [1,2].

임시 침식방지공 분야에는 전통적으로 사용되던 천연소재에 기반한 제품들이 사용되고 있으며 반영구적인 침식방지공을 위해서는 합성수지에 기반한 다양한 형태의 제품들이 적용되고 있다. 제시된 제품군에서 합성수지를 이용한 3차원 불규칙 망상의 geosynthetics를 제조하여 침식방지공에 적용한 역사는 그리 오래되지 않았다. Enkamat[®]라는 상표로 시장에 나온 제품이 침식방지공의 geosynthetics로서 그 역사가 채 30년이 되지 않는다. 천연소재의 내구성 문제를 해소하기 위해 합성수지-나일론, 폴리프로필렌 등을 이용한 제품이 개발된 것이다.

최근의 토목 환경분야의 추세는 친환경 공법이 대세를 이루며 합성수지에 기반한 geosynthetics 제품들도 친환경적인

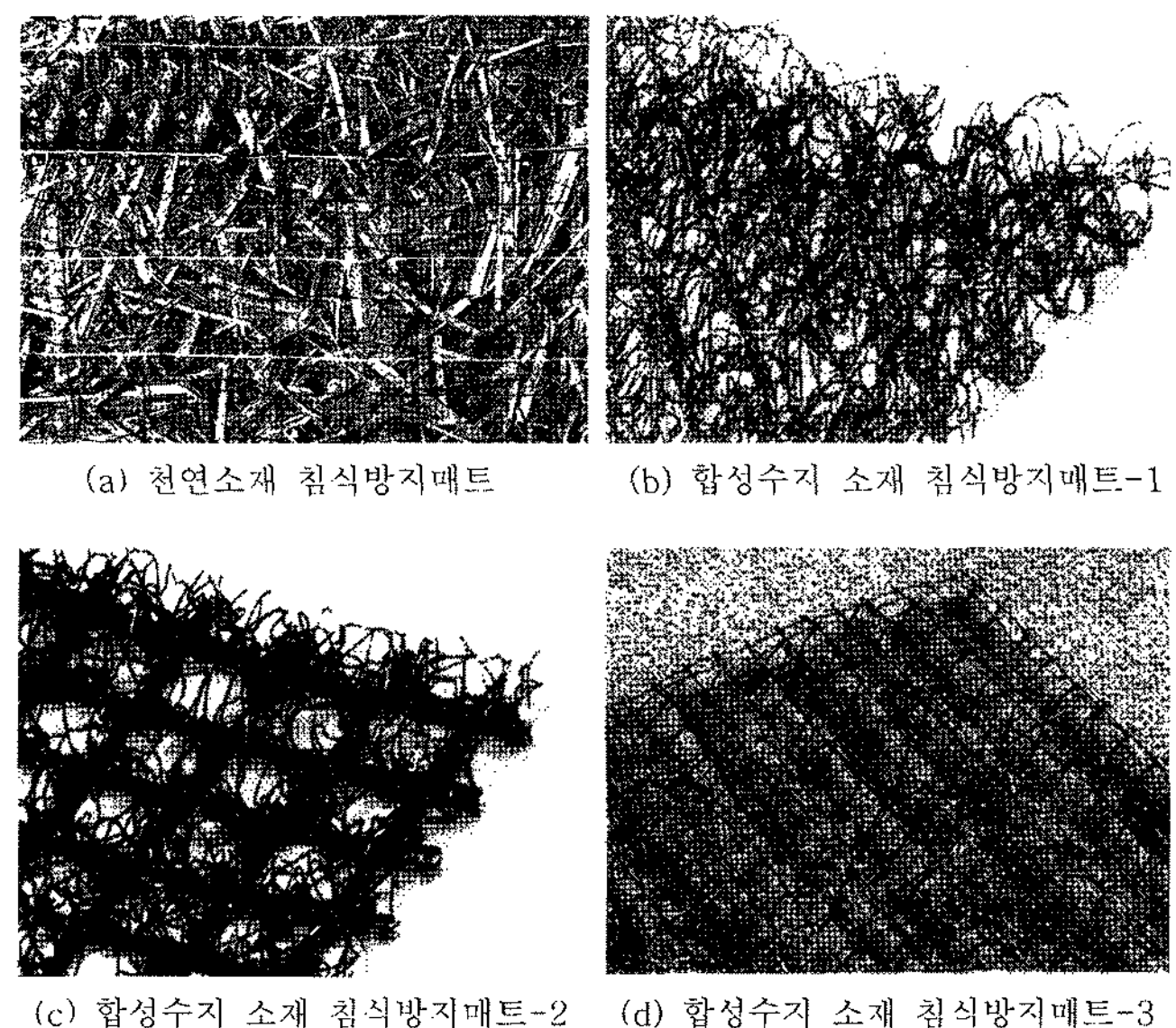
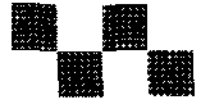


Figure 1. 대표적인 침식방지매트.



소재의 발굴과 공법의 개발이라는 현실적 과제에 직면해 있으며, 최근의 제품개발 경향도 이와 같은 궤적을 따라 진행되고 있음을 알 수 있다.

4.2. 침식방지매트의 형태

기본적으로 침식방지매트는 벌키한 웨빙 형태인 매트리스와 필요에 따라 매트리스를 보강하는 네트 조직으로 구성되어 있다. 그 재료적인 관점에 따라 2가지 구조로 대별되는데, Figure 1의 (a)와 같이 천연소재를 이용할 경우 주재료인 매트리스는 천연소재로 웹 형태의 벌키한 매트리스를 구성하고 이 매트리스의 형태안정성을 확보하기 위해 상하면에 네트(net)로 얹힌 구조가 있고, (b)에 제시된 바와 같이 합성수지의 경우는 별도의 네트가 필요치 않고 매트리스를 형성하는 벌키한 웹 매트리스로 형태를 구성한 구조가 있다. 상기 구조를 기본으로 현장 요구에 따라 직물이 부직포 지오텍스타일과 함께 복합화하여 적용되는 제품도 선보이고 있다.

침식방지매트는 표층의 덮개층으로 설치되어 강우나 파도에 의해 유발되는 침식을 방지하게 되며, 반영구적인 제품의 경우는 침식방지매트 상부에 채움작업을 실시하여 식생 유도과 더불어 안정성을 확보하는 방식으로 설치된다. 최종적으로 식생이 완료되어 안정화된 침식방지매트의 단면은 Figure 2와 같다.

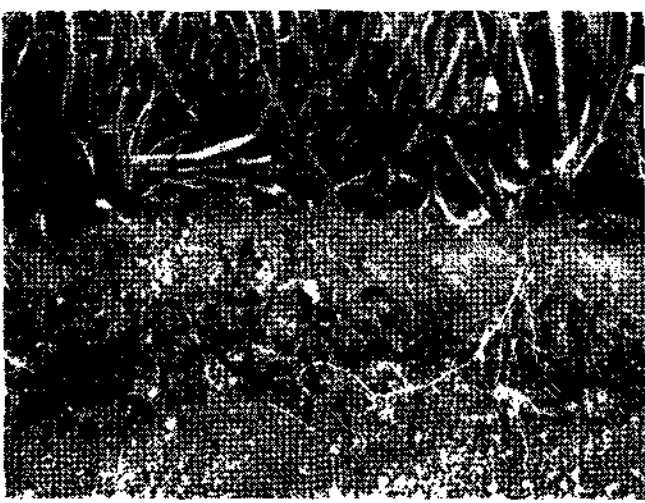


Figure 2. 식생이 완료된 침식방지매트 층의 단면 사진.

4.3. 적용분야

침식은 강우에 의해 나타나는 경우와 해안, 하천과 같이 수리영역에서 바람에 의해 유발되는 수리하중에 의해 나타나는 경우 두 가지로 대별할 수 있다. 두 경우 모두 보호층(cover layer) 형태의 침식방지매트가 적용되는데 임시적으로 적용되는가 영구적인가에 따라 침식방지매트를 결정하게 되며, Figure 3에 나타낸 바와 같은 기본적인 과정을 거쳐 침식방지매트를 결정한다. 대표적인 침식방지매트의 적용분야는 Figure 3에 제시된바와 같이 성토체제의 표토보호, 해안, 호안 표토 보호, 절토사면의 표토보호 등에 주로 적용된다. 최근 들어 제품의 적용분야가 확대되어 식생 기반층으로 널리 이용되고 있다. 녹지공간이 강조되는 사회 분위기 속에서 침식방지매트의 식생 기반부로서의 적용이 지속적으로 확대되고 있다. 잔디 식생부재로서 적용되어 이식이 용이하게 하는 방식, 골프장 및 근린

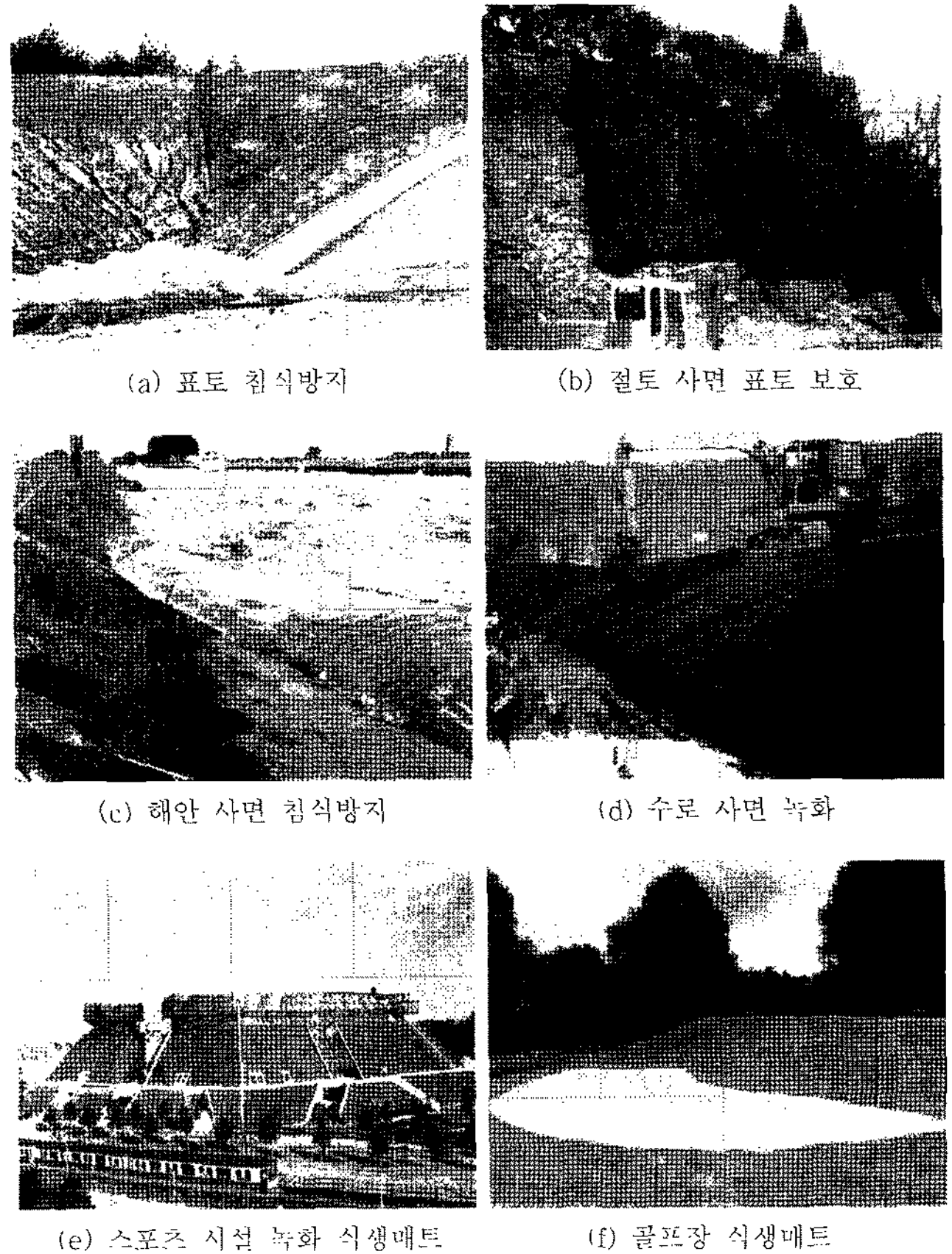


Figure 3. 침식방지매트의 주요 적용분야[5].

녹지공간의 식생기반재로서의 적용이 주 확대적용분야이다.

5. 기술동향

5.1. 국내 기술동향

국내에 적용되고 있는 천연섬유소재의 침식방지 geosynthetics는 벚짚, 갈대 등의 소재를 매트릭스로 제조한 제품이 주를 이루고 있다. 천연섬유소재 매트의 형태안정성을 위해 합성수지

강우에 의한 사면 및 성토체제의 침식방지	침식방지를 위한 식생 도입 여부	식생도입에 충분한 시간이 있는가 여부	하중 조건
절토사면 및 보강사면의 식생	침식방지매트의 보강 필요성 여부	식생 도입에 충분한 시간이 있는가 여부	
호안 수리하중에 의한 침식방지	설치 위치와 수위 관계 (1) 수위 보다 형상 위배 위치하는 경우, (2) 수위에 항상 위치하는 경우 (3) 강우에 따라 수위와 교차하는 경우	수리하중의 조건	식생 도입에 충분한 시간이 있는가 여부
수로사면의 침식방지	상시 배수 또는 강우시 배수 인가	식생 도입에 충분한 시간이 있는가 여부	하중 조건

Figure 4. 침식방지매트의 적용분야와 기본적인 고려 항[5].

특 집

● 심진섭, 심완섭, 임대영, 유중조, 김초롱

Table 2. 국내 침식방지 geosynthetics 관련업체

업체	제품		
	상표명	용도	특징
(주) 한국론타이	론타이 넷 론타이 백 론타이 화이버	산림 녹화용	
(주) 지오그린	침식방지 브랑켓	사면녹화	합성수지 넷 + 코코아
(주) 다인에비텍	SP 벚짚 SP 백	제방사면 암절개지	벚짚 + 생분해 넷 벚짚 백
(주) 다원녹화건설	그린넷 코메트 장섬유	절, 성토 사면 녹화 비탈면 녹화	
(주) 한림에코텍	에코매트 갈대매트 식생롤 식생콘테이너		
자연녹화산업(주)	녹생 넷 녹생 백	급경사지 녹과 절개지	

넷이 적용되고 있다. 각 관련 회사에서는 고유의 기술을 특허로 진행하여 사업화하고 있다. 대부분 임시용 생분해성 제품으로 널리 적용되고 있으며 대부분 성토 제방사면의 녹화를 위해 적용되는데 국내 토목공사가 절개지와 성토체를 이루는 도로공사를 중심으로 이루어지는 경우가 많아 대부분 도로공사와 관련된 절개사면, 성토사면의 녹화에 적용되고 있다.

한편, 반영구적인 적용을 요하는 부분에는 수입자재인 비분해성 합성수지 소재의 매트가 적용되고 있다. Figure 2와 같이 최종적인 식생이 완료된 형태로 적용되며 이때의 문제는 침식방지매트가 최종 분해되지 않아 환경오염의 문제를 유발하는 것이다.

최근의 침식방지매트에서는 현장 식생보다는 안정적인 식물 개체의 확보를 위해 미리 침식방지매트에 식생을 유도하여 제품을 현장에 포설함과 동시에 식생층을 확보할 수 있는 제품이 개발되었다(Figure 2). 침식방지매트가 포설된 이후 충분한 시간적인 여유가 없어 식생을 유도하여 안정성을 증대하거나 식생 유도를 위한 환경조건이 타당하지 않은 경우 주로 적용되고 있다. 안정적인 식생이 확보된 침식방지매트를 현장에 포설함과 동시에 식생 침식방지층을 확보할 수 있다는 장점을 보이고 있다. 이러한 제품은 도심내 주거 및 사무공간의 녹화를 위한 공법 등에 식생 기반재로서 적용될 수 있다. 더불어 잔디 식생기반재로서 적용되는데 앞서 언급한 부분처럼 최종 식생 개체가 정착된 후에는 분해되지 못하는 문제가 있다.

5.2. 해외 기술동향

해외에서도 각 나라별 특성된 천연섬유소재가 임시 침식방

지매트를 구성하는 주원료로 이용되고 있으면 반영구적인 제품에는 비분해성 합성수지 소재인 침식방지매트가 주로 사용되고 있다. 최근에는 Figure 5와 같은 식생을 미리 침식방지매트에 도입한 공법이 주로 이용되고 있다. 더불어 주거, 사무공간에 녹지공간을 확보하는 최신공법의 식생기반재로 적용되는 사례가 점차 늘고 있다.

5.3. 연구 방향

최근의 경향과 부합하여 반영구적인 침식방지매트에서 요구되는 특성은 분해성이다. 단순히 흙 속에서 분해되는 특성이 아닌 충분히 제어된 분해능이 요구된다. 제어된 분해특성이란 적용된 침식방지매트의 설계 사용연한 동안에 충분한

역학적 특성을 유지하도록 제어된 분해거동을 의미하며 최종 식생이 안정화된 시점 이후에는 환경오염을 방지하기 위해 식물개체의 활성화된 뿌리조직에 의해 침식에 대한 안정성이 확보된 이후 침식방지매트는 분해되는 것이 가장 합리적이다.

기존의 천연재료를 이용한 침식방지매트는 제어되지 않은 분해성으로 그 적용에 한계를 보이며 내구성 문제에 의해 다

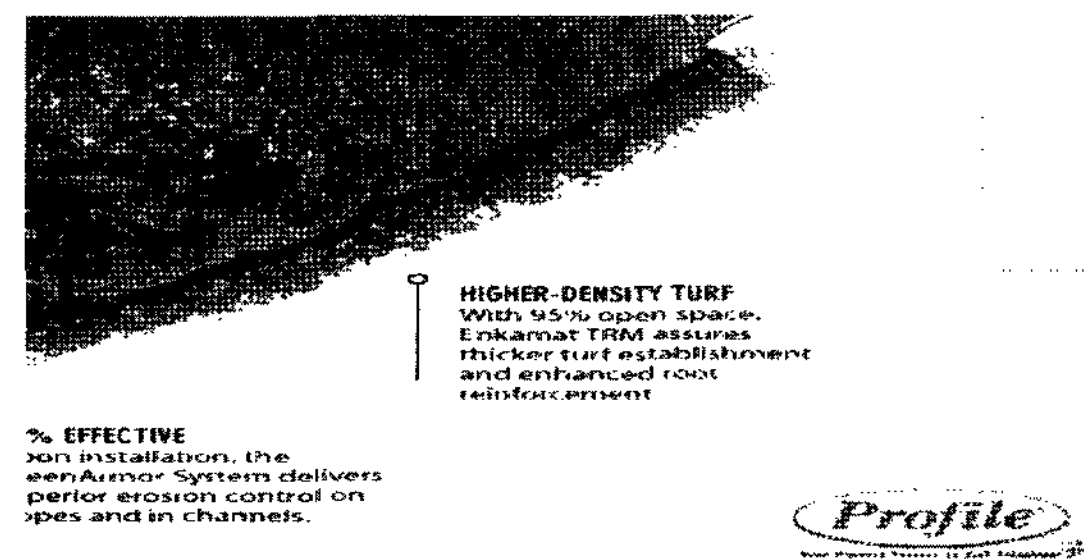


Figure 5. 식생이 유도된 침식방지매트의 예.

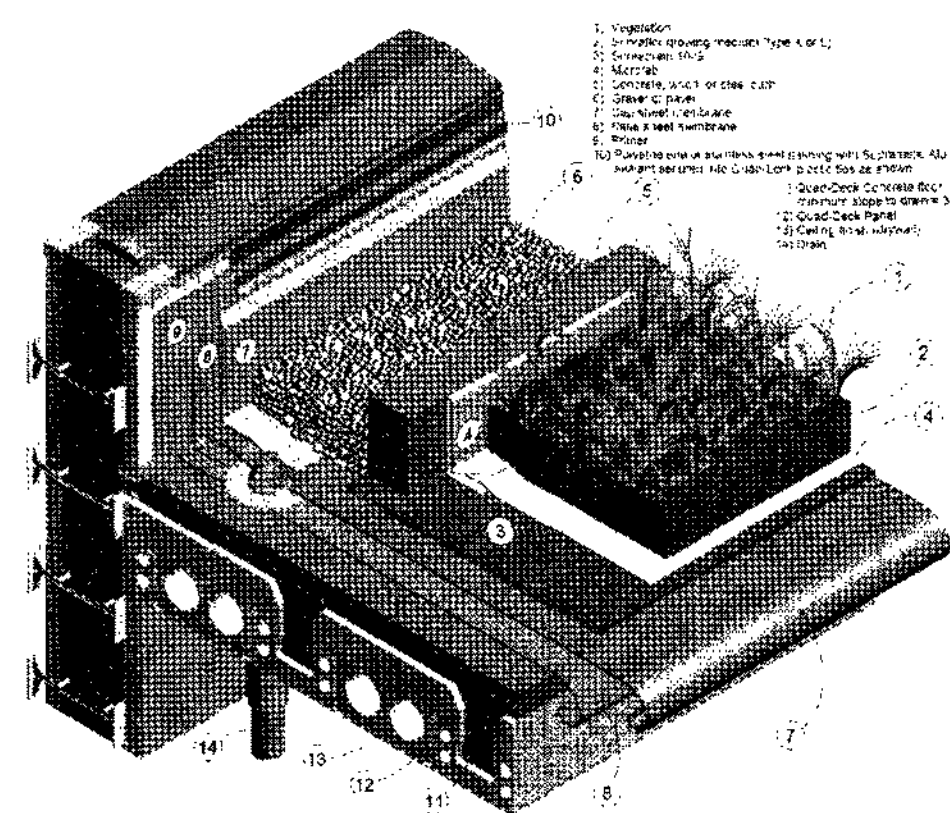


Figure 6. 식생 기반재로서 침식방지 적용 가상도.



Table 3. 대표적인 해외 침식방지매트와 기본적인 특성

Product Name	Composition			Index Property			Manufacturer
	No. of nets	Net type	Matrix	Thickness ¹ mm	Tensile strength ² kN/m	UV Stability ³ % ⁴	
Recyclex TRM	2	synthetic	100% recycled PET	13.0	5.7×5.0	80	Americal Excelsior Co.
Enkamat 7018	NA	NA	Nylon	16.7	2.19	80	Colbond Geosynthetics
TRM C-45	2	synthetic	PP-green	12.7	2.4×1.8	80	Contech Construction Products
Macmat N20	NP	synthetic	Nylon	17.8	3.5×2.1	stabilized	Maccaferri Inc.
P550 Vma×3	3-center corrugated	UV stabilized synthetic	PP	19.3	20.15×22.2.	100*	North American Green
Landlok TRM 450	2	synthetic	PP	10.2	5.8×4.3	80	Propex Inc.
Multimat E020	NA	NA	PP	19	3.5×2.1	80	Tenax Corp.
TerraGuard 45P	2	synthetic	PP	12.69	4.2	80	Webtec Inc.

¹ASTM D 6525, ²ASTM D 5035, ³ASTM D 4355, ⁴% retention, *1,000 hrs exposure

양한 수리환경조건에서 적용에는 한계를 보이고 있다. 따라서 친환경적인 green structure를 적용한 침식방지매트의 제조기술과 분해거동에 대한 제어기술을 확보하는 것이 침식방지매트 분야에서 요구되는 연구 방향이라 하겠다.

이상과 같이 침식방지매트에서 green structure를 적용하기 위해서 생분해 소재의 도입과 그 분해거동을 충분히 제어할 수 있는 기술의 개발이 요구된다. 생분해 소재는 고분자분야에 한 축으로 활발한 연구가 진행되고 있으며 의학, 의류, 생활소재와 더불어 토목환경분야에서도 충분히 장점을 발휘할 수 있는 소재이다. 생분해성 고분자의 현황에 대해 간략히 살펴보고 침식방지 geosynthetics을 위한 green structure 소재로서 가능성을 확인하고자 한다.

5.4. 생분해성 고분자의 현황과 가능성

2000년대 들어서면서 생분해성 고분자는 급속히 그 시장을 확대해 나가고 있다. 일본의 한 조사에서는 2010년에 약 6,000억불의 규모 세계시장이 성장할 것이라고 예측하였다. 이는 지구온난화 대책 추진법(1999) 등에 의해 탈석유, 자원의 재이용적인 측면에서 생분해성 소재의 이용이 필연적으로 증가할 수밖에 없는 상황과 일맥상통한다 하겠다. 더불어 기술의 표준화와 대량 생산시스템의 구축으로 가격 경쟁력을 확보하여 점진적으로 비분해성 고분자시장을 대체할 것으로 기대하고 있다.

토목환경분야에 적극적 활용이 가능하며 특히 침식방지매트의 대체 소재로서 가능성이 매우 큰 생분해 고분자인 폴리유산(poly-lactic acid, 이하 PLA)을 중심으로 확인해보고자 한다.

5.4.1. 생분해 수지의 종류와 특성

석유가 아닌 천연 원료에서 얻어지는 생분해 합성수지는 Table 2에 제시된 바와 같이 전분, 키토산으로부터 최근에 각광을 받는 PLA 수지 등이 있다. 초기 생분해 수지는 생체 적합성의 우수와 높은 단가에 의해 의료용 봉합사 등 고가 시장에서 주로 사용되어 왔으나 대량화, 표준화의 과정을 거쳐 비분해성 합성수지와 유사한 가격대로 가격 경쟁력을 갖출 것을 예측하고 있다. 특히 PLA는 재료가 갖는 역학적 특성이 geosynthetics로서 충분하여 대량소비를 이끌 수 있는 green structure 소재로서 매력적인 소재이다. 기본적으로 토목용 소재로서 갖추어야 할 역학적 특성 및 분해성의 제어, 성형성 그리고 가격 경쟁력이 확보된다면 생분해성 고분자는 친환경 소재로서 이상적인 대체재가 될 수 있다.

5.4.2. 생분해성 수지의 역학적 특성 비교

PLA와 폴리에스터, 나일론의 기본적인 역학적 특성을 Table 3에 나타내었다. 통상의 geosynthetics 제품군에 적용되

Table 4. 생분해 수지의 종류와 일반적 특성[3]

종류	특징
키토산	성형성이 낮음
리그닌	자원이 풍부, 성형성이 낮음
전분	자원이 풍부, 물성 취약
알긴산	자원이 풍부
폴리아민산	고가
폴리카프로락톤	성형성 우수 생체적합성, 성형성 우수
폴리유산	물성이 우수 성형성이 우수

Table 5. PLA, 폴리에스터, 나일론의 물성비교[3]

특성	PLA	폴리에스터	나일론
용점(°C)	175	260	215
강도(tenacity)	4.5-5.5	4.5-5.5	4.5-6.0
신도(%)	30	15-30	40
영 모듈러스(kg/mm)	400-600	1,200	300

는 폴리에스터 섬유나 나일론과 비교하였을 때 유사한 역학적 특성을 보이고 있다. 또한, PLA는 형태 안정성과 성형성이 우수하고 특히 자외선에 대한 안정성을 일반 폴리에스터보다 우수하여 태양광 노출조건에서도 충분한 내구성 확보가 가능하다.

정성적인 관점에서 그 타당성은 확인되었으나 정량적 관점에서 수치화되어 요구 물성들이 제어되어야 하며 이를 통해 green structure를 적용한 침식매트로서의 전개가 가능할 것으로 판단된다.

5.4.3. 분해거동

대표적인 생분해성 수지인 폴리유산수지의 거동을 중심으로 살펴보면 토양, 해수, 하천중에서 중량변화는 1-2년내에 크지 않으나 강도는 분해거동의 진행에 따라 점차 감소하는 것으로 밝혀 졌다. Figure 7에 나타난 바와 같이 노출환경에 따라 나타나는 분해거동의 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 다양한 적용환경에서 나타는 분해거동이 상이함을 의미하며 이러한 분해거동이 제어되지 않는다면 설계시 목적하는 바를 달성할 수 없는 경우가 발생하게 된다. 따라서 green structure를 적용한 geosynthetics의 개발과 기술 확보를 통해 제어된 분해거동을 유도하여야 한다. 이와 관련된 정량적인 기술 데이터의 확보가 필수적이다.

5.4.4. PLA 수지의 green structure 소재로서의 가능성

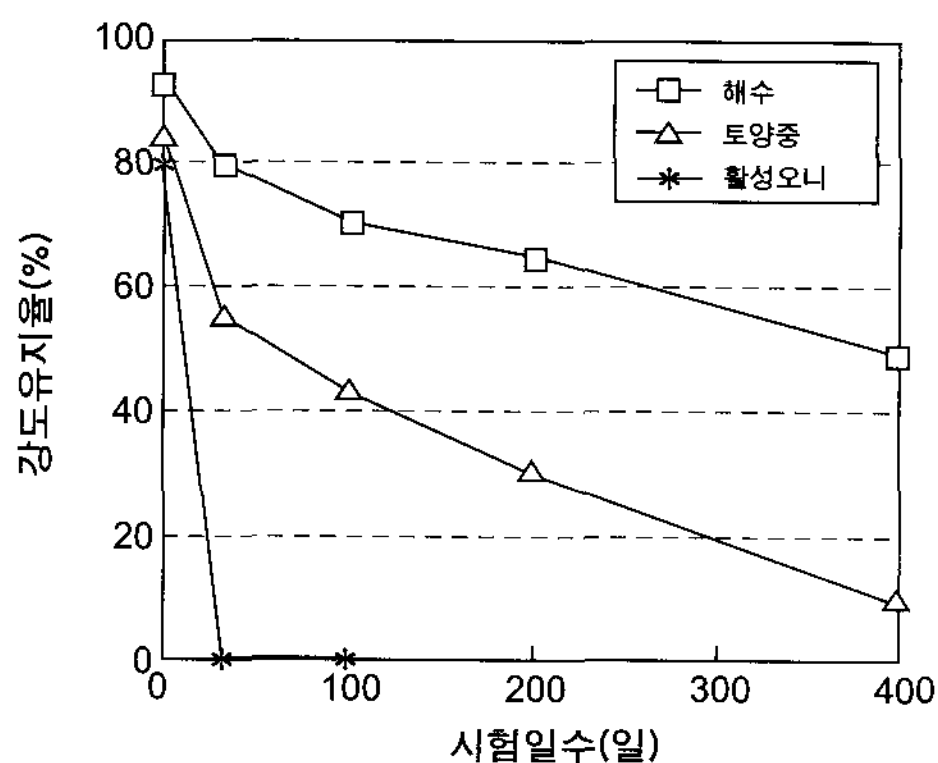


Figure 7. 폴리유산 섬유의 분해거동 결과[3].

생분해성 합성수지 geosynthetics의 세계시장은 연평균 2.5%의 평균 증가율로 2015년에는 8천6백만불 수준으로 성장할 것으로 내다보고 있다. 이에 범용 합성수지인 폴리에스터나 폴리프로필렌에 근접한 역학적 특성과 우수한 성형성과 광안정성을 보이는 PLA는 침식방지매트 geosynthetics 소재로서 충분한 가능성을 보이고 있다.

기본적인 PLA의 분해거동은 가수분해이며 주로 비결정 영역에서 우선적으로 나타나는 것으로 확인되었다. 이 분해거동은 양모나 면 등에 비교해보면 높은 결정성, 유리전이 온도가 상온보다 상당히 높기 때문에 분해성이 상대적으로 낮다고 밝혀졌다. 그리고 노출조건에 따라 나타나는 거동도 상이하여 미세구조의 제어와 적용환경조건에 대한 인자를 고려한다면 충분히 제어된 분해특성과 역학적 특성을 보이는 green structure 적용 geosynthetics 소재로서 매우 큰 가능성을 갖고 있다.

6. 결 언

green structure를 적용한 침식방지매트의 개발과 친환경적 공법의 확대적용을 위해서는 생분해성 소재의 도입이 합리적인 방안이며 그 가능성을 확인할 수 있었다. 또한, 해외 연구기관에서 예측, 제시한 바와 같이 2010년을 전후로 가격 경쟁력을 확보할 수 있어 토목환경분야에서 분해거동 및 물성의 제어가 불가능한 천연소재의 대체 소재나 비분해성 합성수지의 대체재로서 생분해성 수지는 필연적인 선택이다. 이러한 생분해성 수지의 분해거동을 제어하기 위한 연구와 이와 관련된 적용성, 제품의 구조적 특성 등에 대한 기술축적이 요구되고 있다. 앞서도 언급한 바와 같이 '환경친화형' geosynthetics이라는 용어가 아직까지는 친밀하지는 않지만, 반드시 필요한 경우에는 적용되어야 한다는 사회적 정서가 먼저 해결되어야 만이 연구개발 및 적용범위가 확장될 것으로 생각된다. 이를 위해서는 비록 현재 실용성이 없다 할 지라도 지속적인 기술축적이 반드시 필요하며, 새로운 환경친화적인 geosynthetics을 적용, 시공할 수 있는 진취적인 배경이 조성되어야만 할 것이다.

참고문헌

1. 전한용, 김홍택, 유한규, 유중조, 토목합성보강재, 전남대학교 출판부, 2000.
2. R. Koerner, Designing with geosynthetics, 2006.
3. 박중휘, 남영식, 섬유기술과 산업, 6(1/2), pp.124-135, 2002.
4. IFAI, geosynthetics-Specifier's Guide 2007.
5. Enkamat Technical Guide.



● 심진섭

1975. 단국대학교 토목공학전공 졸업
1978. 대우중공업
2006-현재. 한국 부직포공업협동조합 이사
2007. 자랑스런 중소기업인상 수상(중기청)
2002-현재. (주)지오콘 대표이사
1987-현재. (주)골든포우 대표이사

● 심완섭

1998. 광운대학교 화학과 졸업
1998-현재. (주)워솔케이제이티 연구소 책임연구원
2005-현재. (주)골든포우 기술부 과장

● 임대영

1990. 한양대학교 섬유공학과 졸업
1992. 한양대학교 섬유공학과(석사)
1995. 한양대학교 섬유공학과(박사)
1995-2000. 삼양제넥스 선임연구원
2002-현재. 한국생산기술연구원 융합섬유팀 수석연구원

● 유중조

1996. 전남대학교 섬유공학과 졸업
1998. 전남대학교 섬유공학과(석사)
2004. 전남대학교 섬유공학과(박사)
2006-2007. 미국 The University of Kansas, Post Doc.
1998-2005. 보강기술(주) 기술연구소
2007-현재. (주)한국토목섬유연구소 수석연구원

● 김초롱

2008. 인하대학교 섬유공학과 졸업
2008-현재. 인하대학교 대학원 섬유공학과(석사1기)