

거대억새(*Miscanthus sinensis* var. *purpurascens*)를 이용하여 제조된 식생기반재의 특성*¹

권 구 중*² · 김 은 지*² · 박 희 준*³ · 김 대 영*^{2†}

Characteristics of the Vegetation Mat Prepared from *Miscanthus Sinensis* var. *Purpurascens**¹

Gu-Joong Kwon*² · Eun-Ji Kim*² · Hee-Jun Park*³ · Dae-Young Kim*^{2†}

요 약

거대억새에 폐목재 칩과 펄프슬러리를 첨가하여 제작한 식생기반재의 특성에 대해서 검토하였다. 공극률은 펄프슬러리의 첨가량 증가와 함께 증가하였지만, 목재칩과 펄라이트 첨가량 증가와 함께 다소 감소하였다. 투수계수는 각 다른 원료를 이용하여 혼합한 조건에서 거대억새 첨가량이 적을수록 낮게 나타났다. 토양경도는 거대억새 첨가비율이 낮을수록, 펄프슬러리, 목재 칩, 펄라이트의 첨가비율이 높아질수록 높게 나타났다. 박리강도는 모든 조건에서 거대억새 첨가량의 적을수록 낮았다. 수소이온농도(pH)는 전반적으로 약알칼리성으로 나타났다. 휨파괴계수는 전체적으로 각 조건별로 거대억새의 첨가율이 적을수록 높게 나타났다.

ABSTRACT

The characteristic of vegetation mat prepared from *miscanthus*, waste wood chip, perlite and pulp slurry was investigated. The pore rate was increased with amount of pulp slurry. The hydraulic conductivity decreased with the amount of *miscanthus* in the condition mixed with each other raw materials. With the *miscanthus* amount, the soil hardness was increased. The peel strength decreased with the mount of *miscanthus* amount in all case. Hydrogen ion concentration (pH) was the overall alkaline. The MOR of *miscanthus* based vegetation mat was decreased with the amount *miscanthus*.

Keywords : vegetation mat, *miscanthus purpurascens* porosity, hydraulic conductivity, hardness

*1 접수 2012년 9월 13일, 채택 2013년 12월 24일

*2 동국대학교 바이오시스템 대학. College of Life Science & Biotechnology, Dongguk University, Seoul, 100-715, Korea

*3 전북대학교 생활과학대학. College of Humen Ecology, Chonbuk National University, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 561-756, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 김대영(e-mail: sbpkim@dongguk.edu)

1. 서 론

탄산가스의 증가에 의한 지구온난화 등 지구규모의 환경문제는 심각하다. 특히 산업과 인공 구조물이 집중된 도시부에서는 그 배출열과 태양의 방사열의 축적에 의해 열섬현상이 일어나고 있다. 열섬현상의 완화에는 녹화가 유효하지만, 공유지의 녹화만으로는 불충분하고 새로운 대규모 녹지공원을 설치하는 것은 대도시에서는 곤란하다. 그래서 주목되어지고 있는 것이 옥상과 벽면 녹화이다. 대도시에는 녹화에 적합한 옥상과 벽면이 충분하게 있다.

최근 대도시에서는 녹지 확보를 위한 방안으로 건물의 옥상 및 벽면에 식생을 적용하고 있는 사례가 증가하고 있다. 특히 친환경적인 건물을 만들려는 시도가 많아지면서 건물의 옥상과 같이 식생의 생육에 부적합한 환경에서도 적응성이 높은 식물식재에 대한 요구가 높아지고 있는 실정이다(남 등, 2012). 건물의 옥상과 벽면을 이용한 녹화는 경관의 향상, 대기오염물질의 흡수·흡착을 기본으로 하는 다양한 효과가 기대되어지고 있다. 이것은 인공적인 도시경관에 시각적인 편안감을 줄 뿐만 아니라 도시인에게 정신적인 편안함과 안락함을 촉진하며, 도시 기후 조절, 대기 정화, 소생물권 형성의 조건제공 등 삶의 터전으로서 갖추어야 할 중요한 환경 제공 기능을 담당하고 있다(박 등, 1996). 또한 옥상과 벽면의 녹화에는 단열효과가 있어 냉난방 비용삭감에 따른 에너지 절감효과도 기대되고 있다. 그러나 토양을 매개체로 생활하는 식물의 경우에 빌딩이 견딜 수 있는 하중이 무한대가 아니므로 조성하기에 어려움이 있기 때문에 경량의 소재이면서 녹화공법을 간소화하는 인공토양의 개발이 시급한 실정이다.

국내에서 식생매트와 관련한 연구는 Sedum매트의 생육특성(이 등, 2007)과 생태복원용 식물매트 개발(이 등, 2003), 옥상녹화용 식생매트(이 등, 2005), 수 입녹화소재를 대체한 친환경 식생기반재(김과 김, 2010) 등에 대한 보고가 있지만, 경량소재를 적용하여 제조된 식생매트에 대한 연구는 미비한 실정이다.

농촌진흥청에서는 일반 역사에 비해 생산량이 탁월한 바이오에너지 생산용 거대역새 1호를 개발해

특허출원을 하였다(농촌진흥청, 2010). 거대역새는 리그노셀룰로오스계 재료로 높은 다공성으로 저비중이며 목재와 같이 재생가능 자원으로 자원의 이용과 순환측면에서 21세기 저탄소 녹색성장을 실현하는 매우 가치 있는 자원으로 활용이 가능할 것으로 기대하고 있다(오 등, 2012).

본 연구는 기존 인공녹화 소재의 단점을 보완하고 새로운 경량 식생기반재를 제조하여 옥상녹화 활용 가능성에 대해 검토하고자 거대역새를 기본재료로 폐목재 칩과 이면지를 활용한 펄프슬러리, 펄라이트를 혼합하여 제작한 식생기반재의 특성을 비교 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

본 연구에서는 거대역새, 폐목재 칩, 이면지 펄프슬러리, 펄라이트를 재료로 이용하였다. 거대역새(*Miscanthus sinensis* var. *purpurascens*)는 농촌진흥청 국립식량과학원에서 분양 받은 것으로 함수율이 3%였으며 건조 후 분쇄하였다. 폐목재 칩은 인천소재 동화기업에서 분양받은 것으로 함수율은 11.3%인 것을 사용하였다. 펄프슬러리는 폐백상지를 세절기로 분쇄한 후 100 g 당 물 2 l의 비율로 해리기를 이용하여 제조하였다. 혼합재료로 이용한 펄라이트(품명 뉴스, (주) 성현펄라이트)는 함수율은 4.5%였다. 또한 제조된 식생기반재의 결합을 증진시켜서 습윤 시 강도를 향상시키기 위해 습윤증강제(Woojin Co., Epomine-WS)를 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 식생기반재 제조

본 연구에서 혼합비율에 따라 제조된 식생기반재의 종류는 Table 1에 나타났다. 식생기반재는 각기 다른 원료를 여러 비율로 혼합하여 제조하였다. Table 1에서 거대역새와 펄프슬러리만 혼합하여 제조한 식생기반재(EU), 거대역새, 펄프슬러리 및 폐목

Table 1. The composition of vegetation mat

Type	compound rate				Type	compound rate					
	eulalia (%)	paper (%)	waste wood (%)	perlite (%)		eulalia (%)	paper (%)	waste wood (%)	perlite (%)		
EU	1	70	30	-	-	1	60	20	-	20	
	2	60	40	-	-						
WC	1	60	20	20	-	PL	2	50	30	-	20
	2	50	30	20	-		3	40	30	-	30
	3	40	30	30	-						

* EU : The vegetation mat made with eulalia and waste-paper slurry,
 WC : The vegetation mat made with eulalia, waste-paper slurry and waste wood,
 PL : The vegetation mat made with eulalia, waste-paper slurry and perlite

재 칩을 혼합해서 제조한 식생기반재(WC), 거대억새, 펄프슬러리 및 펄라이트를 혼합해서 제조한 식생기반재(PL)로 구분하였다. 시료는 건조중량 350 g, 크기는 200 (L) × 200 (W) × 40 (T) mm의 크기로 제작하였다. 습윤저력증강제는 식생기반재 무게(350 g)의 10% (35 g)를 첨가하였다. 식생기반재는 20 × 20 × 8 cm 크기의 목재틀에 혼합된 원료들을 넣고 종이제조실험시 수분제거를 위해 사용되는 Sheet machine press를 이용하여 3 kgf/cm² 압력으로 5분 정도 가하여 제조하였다. 그 후 실온에서 2일, 105°C의 고온건조오븐에서 1일 건조하였다.

2.2.2. 식생기반재의 특성 평가

2.2.2.1. 공극률 측정

시료를 50 (L) × 50 (W) × 40 (T) mm 크기로 제작하여 비커에 넣고 증류수로 완전 침수시켜 24시간 후 남은 물의 양을 측정하였다. 이때 비커의 입구를 호일로 막아 자연 수분증발을 방지하였다. 공극률을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{공극률(\%)} = \frac{V - V_s}{V} \times 100$$

V = 공극을 포함한 전체 부피(cm³)

V_s = 시편의 고체 부피(cm³)

2.2.2.2. 투수계수 측정

시료를 50 (L) × 50 (W) × 40 (T) mm 크기로 제작하여 55 × 55 × 202 (mm) 코팅 용지에 넣은 후 실리콘글루건을 이용하여 용기와 시편 사이의 틈으로 물이 흐르는 것을 차단하였다. 시편을 24시간 동안 침수시켜 공극을 채운 후, 단위 시간당 유출되는 수량을 측정하였다. 투수계수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{(Darcy식)} \quad k = \frac{(Q \cdot \rho \cdot \ell)}{(P \cdot A \cdot t)}$$

k : 투수계수(cm/s)

Q : 시간 t 사이에 유출된 수량(cm³)

ρ : 물의 밀도(kg/cm³)

ℓ : 시료의 두께(mm)

P : 수압(kgf/cm²) = 수두(물의 높이)

A : 시료의 단면적(cm²)

t : 측정시간(sec)

2.2.2.3. 박리강도

시료의 박리강도는 한국산업규격 KS F 3104의 규정에 의해 측정하였다.

2.2.2.4. 수소이온농도(pH) 측정

시료 1 g을 잘게 잘라 100 ml 삼각플라스크에 취

하고, 증류수 70 mL를 가하고 교반하였다. 시계접시를 씌워 1시간 방치 한 후, 추출액을 교반하면서 실온에서 pH를 측정하였다.

2.2.2.5. 힘강도 측정

시료의 힘강도는 한국산업규격 KS F 3104 규정에 따라 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 공극률

Fig. 1은 각각의 조건에서 제조한 각 식생 기반재의 공극률을 나타낸 것이다. 공극률은 식생기반재가 식물생육에 적합한 공기와 물을 보유하고 식물 생육에 필요한 유효토심의 확보를 나타내는 기준으로 첨가된 원료의 양에 따라 차이를 보여주었다. 즉 펄프슬러리의 첨가량 증가와 함께 공극률이 증가하였지만, 폐목재 칩과 펄라이트 첨가량 증가와 함께 다소 감소하였다. 펄프슬러리의 첨가량 증가와 함께 공극률이 증가하는 것은 폐지를 슬러리로 제조하기 위한 해리과정에서 사무실용지 제조과정에 사용된 섬유와 섬유사이에 충전되어 있던 각종 충전물이 빠져 나와 공극이 많이 발생되는 것으로 사료된다.

거대역새(60%), 펄프슬러리(20%) 및 폐목재칩(20%)으로 혼합하여 제조한 식생기반재(Fig. 1. WC1)의 공극률은 28%로 다른 시료에 비해서 상대적으로 가장 낮은 공극률을 보여주었다. 이것은 다른 시료에 비해 거대역새와 폐목재 칩과 펄프슬러리의 조합이 가장 잘 이루어져 수분이 많이 함유되어 있는 펄프슬러리의 섬유들이 건조 시 다른 원료들을 잘 밀착시켜 주고 있기 때문에 식생기반재 내에 공극이 가장 적게 나타난 것으로 생각된다. 공극률은 각 조건에서 거대역새(50%), 펄프슬러리(30%) 및 펄라이트(20%)로 혼합하여 제조한 식생기반재(Fig. 1. PL2)가 57%로 가장 높은 공극률을 보여주었다.

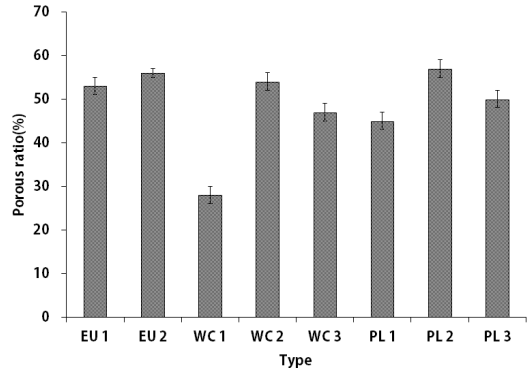


Fig. 1. The porosity of the vegetation mat.

3.2. 투수계수

식생기반재에서 식물이 잘 자라기 위해서는 적정량의 수분이 공급되어야 한다. 식물의 뿌리가 식생기반재를 통과하여 원지반과 고착한 후 지반으로부터 계속적으로 수분을 공급받아야 성장하는데, 이를 위해 우수 등에 의해 물이 기반재의 공극을 통과하여 지반에 전달되어야 하며, 항상 토양의 수분을 보유하고 있어야 한다. 투수계수는 식생기반재의 투수성을 의미하는 것으로 식생기반재 내에 이동하는 물의 속도를 나타내는 것이다. 투수성은 공극조성과 관계가 있으며, 통기성과도 연동한다. 투수성이 불량인 경우는 습해가 되며, 너무 좋은 경우는 건조해를 받기 쉽다(신, 2002).

Fig. 2는 각 조건별로 제조된 식생기반재의 투수계수 측정결과를 나타낸 것으로서 거대역새와 펄프슬러리만을 사용하여 제조한 식생기반재는 0.8~0.9 cm/s, 폐목재칩을 첨가하여 제조한 식생기반재는 0.7~0.9 cm/s, 펄라이트를 첨가하여 제조한 식생기반재는 0.5 cm/s로서 거대역새를 첨가량이 낮아질수록 투수계수가 다소 낮아지는 경향을 보여주었다. 본 연구결과와는 인공지반협회에서는 옥상녹화토양의 기준 10^{-3} cm/s 이상으로 제시하고 있어 각 조건에서 제조한 식생기반재는 이 기준에 다소 충족시키지는 못하였다.

거대억새(*Miscanthus sinensis* var. *purpurascens*)를 이용하여 제조된 식생기반재의 특성

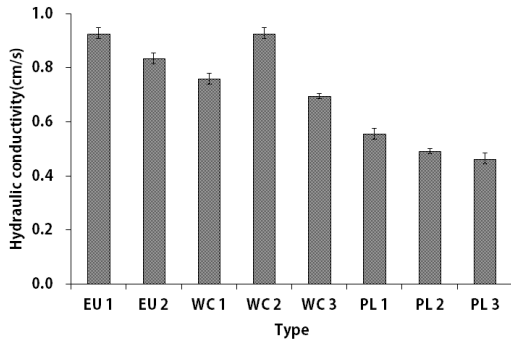


Fig. 2. The numerical value of the hydraulic conductivity according to the addition component.

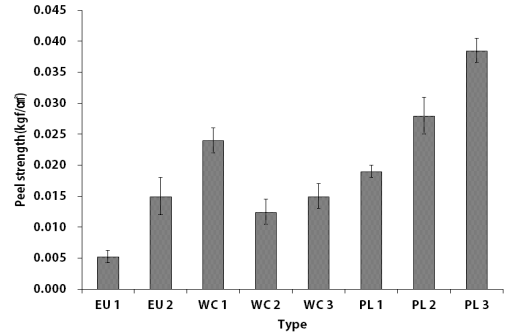


Fig. 3. Peel strength of the vegetation mats mixed waste paper.

3.3. 박리강도

박리강도는 식생기반재를 두께 방향으로 잡아당길 때 견디는 강도를 의미하는 것으로 각각의 원료를 다른 비율로 혼합하여 제조한 식생기반재의 결합정도를 나타낸다. Fig. 3는 거대억새, 펄프슬러리, 폐목재 칩 및 펄라이트를 이용하여 제조한 식생기반재의 박리강도에 대한 측정결과를 나타낸 것이다. 거대억새와 펄프슬러리만 혼합하여 제조한 식생기반재는 0.005~0.12 kgf/cm², 거대억새, 펄프슬러리 및 폐목재 칩을 혼합하여 제조한 식생기반재는 0.013~0.12 kgf/cm², 거대억새, 펄프슬러리 및 펄라이트를 혼합하여 제조한 식생기반재는 0.03~0.04 kgf/cm²였다. 모든 조건에서 거대억새 첨가량의 감소와 함께 박리강도는 낮은 경향을 보여주었다. 이것은 거대억새의 첨가가 식생기반재의 결합력을 감소시키는 것으로 생각된다.

이와 손(1995)은 코팅지와 신문폐지를 활용한 목질복합재 제조에 관한 연구에서 코팅지를 혼합한 목질복합재의 박리강도는 0.4~5.5 kgf/cm², 폐신문지를 혼합한 목질복합재의 박리강도는 0.4~17.1 kgf/cm²의 범위였고, 박리강도는 첨가된 접착제의 종류에 따라 차이가 나타나는 것으로 보고하였다. 이들의 결과와 비교해 볼 때 본 연구에서 제작한 식생기반재의 박리강도가 상당히 낮은 것은 접착제 대응으로 펄프슬러리만을 사용하였기 때문인 것으로 생각된다.

3.4. 수소이온농도(pH)

수소이온농도(pH)는 토양 중의 수소이온 H⁺의 농도를 나타내는 지표이며, 토양의 산성 혹은 알칼리성의 정도를 나타내는 것이다. pH의 높고 낮음에 의해 직접적인 생육저해 뿐만 아니라 각 양분의 흡수력 변화에 의한 결핍증, 과잉증 그리고 산성쪽에서는 식물에 유해한 알루미늄 이온의 용출이 일어난다. 일반적으로 토양의 pH는 5~7의 범위가 양호하다고 되어 있으며 인공토양도 마찬가지이다. 그러나, 펄라이트계 토양 등은 7.0을 약간 초과하는 것이 많으나, 현재 생육장해가 일어나지 않으므로 7.5까지로 한다(신, 2002). 이 등(2009)은 재활용 폐지 3종(white duplex, KOCC, Kraft sack paper)에 대한 pH분석 결과 pH 7~8정도로서 중성 및 약알칼리성을 나타내고 있다고 보고하였다. Fig. 4는 각 조건의 식생기반재에 대한 pH를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 전체적으로 식생기반재의 pH가 7.3~7.8 사이에 분포하여 약알칼리성으로 나타났다. 그러나 식생기반재 조건에 따른 차이가 크지 않았고, 첨가된 펄프슬러리와 재료의 양에 따라 다소 차이가 있는 것으로 생각된다.

3.5. 휨강도

Fig. 5는 각각의 다른 조건으로 제조한 식생기반재에 대한 습윤 및 건조에 따른 휨파괴계수를 나타낸

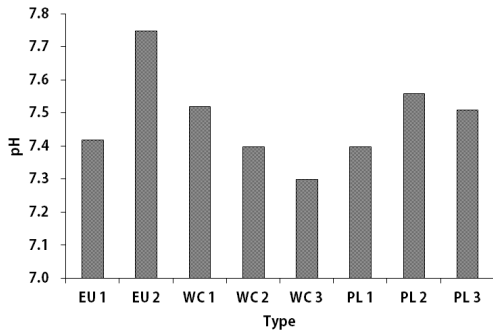


Fig. 4. The comparison of pH of the vegetation according to the addition component.

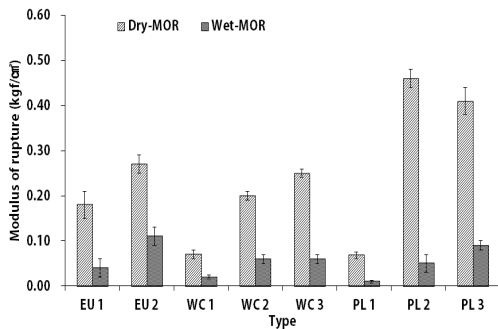


Fig. 5. The comparison of modulus of rupture of the wet and dry vegetation mats according to the addition component.

것이다. 전체적으로 각 조건별로 거대역새의 첨가율이 적을수록 휨파괴계수는 높게 나타났다. 그러나 펄라이트를 첨가한 식생기반재(Fig. 5. PL1, PL2, PL3)에 있어서는 PL3의 조건이 PL2의 조건에 비해 다소 낮은 휨파괴계수를 보여주고 있어 거대역새와 펄라이트의 첨가율이 식생기반재의 휨파괴계수에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

4. 결 론

거대역새를 기본으로 폐목재 칩과 펄프슬러리, 펄라이트를 혼합하여 제작한 식생기반재의 특성을 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 공극률은 펄프슬러리의 첨가량 증가와 함께 증

가하였지만, 폐목재 칩과 펄라이트 첨가량 증가와 함께 다소 감소하였고, 거대역새(60%), 펄프슬러리(20%) 및 폐목재 칩(20%)으로 혼합하여 제조한 식생기반재가 28%로 다른 시료에 비해서 상대적으로 가장 낮았다. 거대역새(50%), 펄프슬러리(30%) 및 펄라이트(20%)로 혼합하여 제조한 식생기반재가 57%로 가장 높았다.

2) 투수계수는 거대역새만 사용하여 제조한 식생기반재는 0.8~0.9 cm/s, 폐목재 칩을 첨가하여 제조한 식생기반재는 0.7~0.9 cm/s, 펄라이트를 첨가하여 제조한 식생기반재는 0.5 cm/s로서 다른 원료를 이용한 혼합조건에서 거대역새 첨가량이 적을수록 다소 낮았다.

3) 토양경도는 거대역새 첨가비율이 낮을수록, 펄프슬러리, 폐목재 칩, 펄라이트의 첨가비율이 높아질수록 높게 나타났다.

4) 바리강도는 거대역새와 펄프슬러리만 혼합하여 제조한 식생기반재는 0.005~0.12 kgf/cm², 거대역새, 펄프슬러리 및 폐목재 칩을 혼합하여 제조한 식생기반재는 0.013~0.12 kgf/cm², 거대역새, 펄프슬러리 및 펄라이트를 혼합하여 제조한 식생기반재는 0.03~0.04 kgf/cm²였고, 모든 조건에서 거대역새 첨가량이 적을수록 낮았다.

5) 각 식생기반재의 수소이온농도(pH)는 전체적으로 약알칼리성으로 나타났다.

6) 휨강도는 전체적으로 각 조건별로 거대역새의 첨가율이 적을수록 휨파괴계수는 높게 나타났다.

이상의 결과에서 환경친화적 소재로 제작된 거대역새 식생기반재는 장기적으로 작물에 적합한 생육 환경을 제공하고 있어 수입녹화소재를 대체할 자원으로 가능성이 있는 것으로 사료되며 옥상녹화, 사면 및 수직 지반의 인공지반 녹화 등 다양한 분야에 이용이 기대되어진다.

사 사

이 논문은 2011년도 농촌진흥청 농업과학기술개발 공동연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임

(PJ007964).

참 고 문 헌

1. 김대영, 김미미. 2010. 폐목질자원을 이용한 인공지반 녹화용 식생기반재의 제조조건에 관한 연구. 목재공학 38(3): 165~169.
2. 김철현, 김강재, 엄태진. 2008. 폐지복합재료의 물성. 펄프, 종이기술 40(3): 48~52.
3. 남유경, 이진희, 박용석. 2012. 식생매트 조건이 상록성 *Sedum* 6품종의 생장 특성에 미치는 영향. 농업생명과학 연구 46(2): 35~42.
4. 농촌진흥청. 2010. 식량작물과학 연구사업연보. 국립식량과학원.
5. 신문식. 2002. 환경공생시대의 도시녹화기술-옥상·벽면녹화기술가이드. 건축시대.
6. 박철수, 이재준, 황경희. 1996. 아파트단지내 녹화공간 확대를 위한 한국과 일본의 인공지반 사례조사 비교연구. 대한국토도시계획학회지 31(1): 1149~1163.
7. 이동근, 이준우, 심상렬. 2003. 생태복원용 식물 매트 개발에 관한 기초연구. 한국환경복원기술학회 6(2): 78~88.
8. 이은희, 강규이, 신상희, 남미아, 이광우. 2005. 옥상녹화용 식생매트에 적합한 토양과 토심선정. 한국환경복원기술학회 8(4): 12~22.
9. 이종석, 김지연, 윤소정. 2007. 삼목을 이용한 녹화용 *sedum* 매트의 관수 간격에 따른 생육특성. 한국환경복원기술학회 10(2): 54~60.
10. 이필우, 손정일. 1995. 코팅지와 신문폐지를 활용한 목질복합재 제조에 관한 연구. 한국가구학회 6(2): 11~19.
11. 이태주, 고승태, 강광호, 김형진. 2009. 산업용지 제조용 압축폐지 베일의 분석 및 섬유특성 평가. 펄프제지기술 41(4): 82~90.
12. 오승원, 박희준, 황정우. 2012. 거대억새 파티클로 제조된 보드의 물성. 농업생명과학연구 46(2): 43~48.
13. 平野英樹. 1991. 最新斜面・土留め技術便, 産業技術サービスセンター.