

우드칩과 피트모스를 원료로 하는 식생기반재의 물리·화학적 특성 및 생육 특성¹

김 지 수² · 정 지 영² · 하 시 영² · 양 재 경^{2,†}

Physicochemical Properties and Growth Characteristics of Wood Chip and Peat Moss Based Vegetation Media¹

Ji-Su Kim² · Ji Young Jung² · Si Young Ha² · Jae-Kyung Yang^{2,†}

요 약

본 연구는 식생기반재인 피트모스를 대체하기 위하여 우드칩에 폭쇄처리를 적용해 보았으며, 물리·화학적 분석을 통해 피트모스와 특성을 비교하였다. 또한 피트모스와 전처리 우드칩을 각각 90 : 10, 70 : 30 및 50 : 50 (w/w) 비율로 혼합하여 식생기반재를 제조한 다음 물리·화학적 특성 및 생육 특성을 비교하였다. 전처리 우드칩의 부피밀도, 공극률 및 pH는 각각 0.26 g/cm³, 93.3% 및 5.7로 나타났으며, 이는 식생기반재로서 적합한 물리·화학적 범위에 포함되는 것으로 확인되었다. 특히, 피트모스와 전처리 우드칩을 70 : 30 (w/w) 혼합하여 제조된 식생기반재는 배추, 잔디 및 싸리에 있어서 피트모스보다 높은 발아율, 초장생장 및 잎 생장을 나타냈으며 또한, 식물생장에 적합한 부피밀도, 공극률, 수분보유력, pH 및 C/N비를 나타냈다(각각 0.20 g/cm³, 91.8%, 76.1%, pH 5.2 및 51.0).

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the physicochemical properties of steam exploded wood chips for peat moss substitute in vegetation media. Also, the mixtures at the different ratios of peat moss and pretreated wood chips (90 : 10, 70 : 30 and 50 : 50 (w/w), respectively) were evaluated by physicochemical and plant growth characteristics. The pretreated wood chips was showed that bulk density, porosity and pH were 0.26 g/cm³, 93.3% and 5.7, respectively. This result indicates that physicochemical properties was improved when wood chips was apply to steam explosion in the range of optimum physicochemical condition for vegetation media. In particular, the mixture ratio of peat moss and pretreated wood chips to 70 : 30 (w/w) showed higher seed germination, plant height and leaf growth than peat moss. Also, the bulk density, porosity, water holding capacity, pH and C/N ratio were 0.20 g/cm³, 91.8%, 76.1%, 5.2 and 51.0 in the range of optimum physicochemical condition for vegetation media.

Keywords : wood chip, steam explosion, vegetation media, peat moss, substitute

¹ Date Received February 2, 2016, Date Accepted March 12, 2016

² 경상대학교 환경산림과학부 농업생명과학연구원. Division of Environmental Forest Science and Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 양재경(e-mail: jkyang@gnu.ac.kr)

1. 서 론

식생기반재는 온실재배, 관상용 식물생장, 도시농업 또는 그린하우스 지붕등 다양한 곳에서 식물을 성장하는데 사용할 수 있는 모든 물질을 포함하며 (Cao *et al.*, 2014), 식물생장의 저해요인을 가진 불량한 토양을 개량하거나 식물의 영양 공급과 식물생장에 효과를 주는 것을 목적으로 사용한다(Ministry of Environment, 2003). 이 중 대표적인 식생기반재인 피트모스는 식물이 수백년 동안 땅속에서 산소가 충분히 공급되지 않은 상태로 분해된 유기원료로 (Biernbaum, 1992; Nelson, 1991) 습지로부터 채취되며, 양이온 교환능력이 크고 높은 보수력과 보비력을 보유하며, 우수한 통기력 및 분해가 잘 되지 않아 안정된 물리·화학적 특징을 나타내기 때문에 널리 사용되어져 왔다(Hernandez-Apaolaza *et al.*, 2005).

한편, 국내에서 사용되는 피트모스는 외국으로부터 전량 수입되고 있어 막대한 외환 지출과 원료 단가를 높이는 요인이 되고 있기 때문에(Kim and Kim, 2011) 피트모스를 대체하기 위한 기술 개발에 대하여 관심이 증가하고 있다(Abad *et al.*, 2001; Blok and Verhagen, 2009; Jayasinghe *et al.*, 2010; Vaughn *et al.*, 2011).

식생기반재인 피트모스를 대체하기 위하여 코이어(Noguera *et al.*, 2003), 케나프 줄기(Webber *et al.*, 1999), 쌀겨(Evans and Gachukia, 2007), 목화섬유 부산물(Papafotiou *et al.*, 2007), 잔디(Altland and Krause, 2009) 등 다양한 원료를 활용한 연구가 이루어지고 있으며, 마쇄목재(Jackson and Wright, 2009), 칩엽수 수피(Hicklenton *et al.*, 2001), 간벌재(Shin and Kim, 2006), 참나무 톱밥(Jung *et al.*, 2015) 등 목재를 이용한 연구가 보고되고 있다. 이 중 목재는 매년 산지전용 또는 숲 가꾸기 등으로 인하여 꾸준히 발생되고 있으며, 국내외적으로 목질계 신·재생에너지 사용 확대에 따른 관련 산업 및 임목부산물의 자원화 산업은 성장력이 큰 분야로서 공감대를 얻고 있다(Bae and Cho, 2013).

현재 목재를 식생기반재로 사용하기 위하여 파쇄 후 퇴비화(Robert *et al.*, 1996; Ahmed, 2014) 또는

목탄화(Kim and Gong, 1999; Shin and Kim, 2006) 처리가 활용되고 있는데 완숙된 목재 퇴비를 만드는 데 최소 3개월 이상의 기간이 요구되고(Hur *et al.*, 2009) 탄화를 위해서는 400℃ 이상의 온도와 약 4시간 이상의 반응시간을 유지하기 위한 큰 에너지가 소모되는 단점이 있으며(Lee and Kim, 2001), 목재를 파쇄한 다음 우드칩 상태로 토양에 적용하기도 하는데(Shin and Kim, 2006) 우드칩 상태의 목재는 토양 내에서 발효되면서 질소 기아 현상을 일으키게 되어 식물 뿌리에 열상을 입힐 가능성이 있어 질소 시비가 요구된다(Koh *et al.*, 2010). 이러한 이유로 우드칩을 활용하는데 있어서 그 이용 범위가 제한되어 있기 때문에 식물이 필요로 하는 영양소의 공급 원으로서 활용하기 위해 우드칩의 다양한 처리 및 시도가 필요하다.

폭쇄처리는 환경적인 처리법으로서(Li *et al.*, 2007; Valery *et al.*, 2011) 고압의 수증기에 의해 우드칩이 열 연화 및 용해하여 유적상으로 되고, 헤미셀룰로오스는 산가수분해를 받아 단당류화하여 수가 용으로 세포 외로 배출되는 과정에서 섬유간 결합을 분리시켜 일반적인 우드칩보다 개방적인 구조를 나타내게 되며(Ruiz *et al.*, 2008; Jurado *et al.*, 2009; Ballesteros *et al.*, 2006), Choi *et al.* (1998)은 고온·고압 처리로 인해 우드칩의 공극률 및 유효 표면적이 증가하여 수분 침투가 용이해진다고 보고하였는데 이러한 특성은 식생기반재로서 식물 생육에 중요한 역할을 할 수 있다(Boodley, 1998; Verdonck *et al.*, 1983).

본 연구에서는 식생기반재인 피트모스를 대체하기 위하여 우드칩에 폭쇄처리를 적용하였으며, 폭쇄처리 후 획득된 우드칩은 물리·화학적 분석을 통해 피트모스와 특성을 비교하였다. 또한 피스모스와 폭쇄처리 적용된 우드칩을 혼합하여 식생기반재를 제조하였으며, 피트모스와 제조된 식생기반의 물리·화학적 특성 및 식물생장 특성 비교를 통해 피트모스 대체원료로서 우드칩의 활용 가능성 및 우드칩을 포함하는 식생기반재 제조를 위한 기초데이터를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에 사용된 피트모스는 라트비아산 LAFLORE peat moss (Imported from Latvia, Satis International Co. Ltd.)를 60℃의 항온건조기에서 48시간 건조한 다음 20 mesh pass/80 mesh on 부분을 시료로 사용하였고 우드칩은 경상대학교 연습림(경남 산청군)에서 2014년 9월에 벌채한 신갈나무 (*Quercus mongolica*) 칩을 생재 상태로 전처리에 사용하였다. 식생기반재의 식물 생육 특성을 평가하기 위하여 배추(*Brassica campestris*)종자와 국내 비탈면 녹화용으로 널리 사용되고 있는 재래 초·목본류 중 시중에서 비교적 쉽게 구할 수 있는 잔디(*Festuca arundinacea*), 참싸리(*Lespedeza cyrtobotrya*) 종자를 선정하여 발아율, 초장 성장 및 잎 성장 실험에 사용하였다.

2.2. 우드칩 전처리

우드칩은 폭쇄처리장치(대구시, Y사)를 이용하여 25 kg·f/cm² 압력조건으로 5분간 처리한 다음 3시간 열수추출(1:20, w/v) 후 감압여과 하여 여액을 제거하였으며, 여액이 제거된 폭쇄재는 60℃ 항온건조기에서 48시간 건조한 다음 20 mesh pass/80 mesh on 부분을 시료로 사용하였으며, 전처리 우드칩은 피트모스와 함께 물리·화학적 특성분석 및 식생기반재 제조에 사용하였다.

2.3. 식생기반재 제조

피트모스와 전처리 우드칩을 각각 90:10, 70:30 및 50:50 (w/w)으로 혼합하여 식생기반재를 제조하였으며, 전처리 우드칩을 기준으로 질산암모늄(NH₄NO₃)을 1% (w/w) 첨가하였다(Table 1). 조제된 식생기반재는 물리·화학적 특성 및 생육 특성 분석을 위한 시료로 사용하였다.

Table 1. Composition and formulation of vegetation media

Media	Composition	Formulation (w/w)
PM	Peat moss	100
W	Pretreated wood ^a	100
PW10	Peat moss/Pretreated wood ^b	90/10
PW30	Peat moss/Pretreated wood ^b	70/30
PW50	Peat moss/Pretreated wood ^b	50/50

^a Steam exploded wood was steam exploded at 25 kgf/cm³ for 5 min.

^b 1% N nutrient released

2.4. 물리·화학적 특성

2.4.1. 부피밀도 측정

부피밀도(bulk density)는 100 cm³ 코어 속에 시료를 채우고, 500 g 추를 이용하여 3분간 압력을 가해 다진 다음 코어의 상단을 용기면에 수직으로 잘라낸 후 시료의 무게를 측정하였으며(CEN, 1999; Byun *et al.*, 2012), 부피밀도(g/cm³)는 식 1에 의하여 계산하였다.

$$\text{Bulk density (g/cm}^3\text{)} = M_{dr} / V_{cor} \dots\dots\dots \text{식 (1)}$$

M_{dr} : 시료의 무게(g)

V_{cor} : 코어의 부피(cm³)

2.4.2. 공극률 측정

공극률(porosity)은 100 cm³ 코어 속에 시료를 채우고, 500 g 추를 이용하여 3분간 압력을 가해 다진 다음 코어의 상단을 용기면에 수직으로 잘라낸 후 시료의 무게를 측정하고, 진비중 값을 이용하여 계산하였다. 공극률(%)은 식 2에 의하여 계산하였다(Inbar *et al.*, 1993).

$$\text{Porosity (\%)} = 100 - (100 \times M_{dr}) / 2.65 \times V_{cor} \dots \text{식 (2)}$$

M_{dr} : 시료의 무게(g)

2.65: 진비중(g/cm³)

V_{cor} : 코어의 부피(cm³)

2.4.3. 수분 보유력 측정

수분보유력(water holding capacity)은 시료를 buchner funnel (100 cm³) 위에 올려놓고 물로 포화시킨 후 24시간 동안 중력수가 제거되게 한 다음 수분이 함유된 시료 무게를 측정하고, 다시 105℃ 항온건조기에서 24시간 건조시킨 후 건조된 시료 무게를 측정하였다. 수분 보유력(%)은 식 3에 의하여 계산하였다(Yi *et al.*, 2012).

$$\text{Water holding capacity (\%)} = (M_{tot} - M_{dr} / M_{tot}) \times 100$$

..... 식 (3)

M_{tot} : 습시료의 무게(g)

M_{dr} : 건시료의 무게(g)

2.4.4. 수소이온 농도 측정

수소이온 농도(pH)는 시료 5 g에 증류수 25 ml (1 : 5, w/w)를 가한 다음 shaking incubator를 이용하여 1시간 동안 진탕 및 Whatman No. 2 여과지로 중력 여과 후 pH meter (HI-8418, HANNA Instrument, USA)를 사용하여 측정하였다(Warncke, 1986).

2.4.5. 유기물 함량 측정

유기물 함량(organic matter) 측정을 위하여 시료 2 g을 도가니에 넣고, 600 ± 25 °C의 전기로에서 6시간 동안 완전히 탄화시킨 후 무게를 측정하였다. 유기물 함량(%)은 식 4에 의하여 계산하였다(Kim *et al.*, 2005).

$$\text{Organic compound (\%)} = (M_{dr} - M_{ash}) / M_{dr} \times 100$$

..... 식 (4)

M_{ash} : 탄화 후 시료의 무게(g)

M_{dr} : 시료의 무게(g)

2.4.6. C/N비 측정

C/N비(C/N ratio)는 시료에 포함되어 있는 C 및 N 함량을 원소분석기(Flash 2000 Series, Thermo Fisher Scientific Inc, USA)를 이용하여 분석하였으며, 총 탄소 함량에 대한 총 질소 함량의 비율로 계산하였다(Lee *et al.*, 2010).

2.4.7. 무기영양분 함량 측정

무기영양분(mineral nutrient) 함량은 시료 1 g을 습식분해액(HNO₃ : H₂SO₄ : HClO₄ = 10 : 1 : 4) 25 ml로 분해시킨 후 Whatman No. 2 여과지를 이용하여 잔사가 분리되고 남은 여액에 증류수를 넣어 최종 부피를 100 ml로 한 다음 ICP spectrometer (OPTIMA 4300 DV/5300 DV, Perkin Elmer, USA)로 정량하였다.

2.5. 식물 생육 특성

2.5.1. 발아율 측정

발아율(seed germination) 측정은 φ 9 cm의 패트리디쉬에 시료를 10 g 넣고 그 위에 종자를 임의 배치한 후 증류수 10 ml 넣은 다음 25℃에서 광 12시간 조건으로 7일간 성장시켰으며, 증류수는 발아기간 동안 지속적으로 보충하였다. 발아는 유근이 길이 1 mm 이상 자란 것으로 판정하였다(Kim and Lee, 2013). 발아율(%)은 식 5에 의하여 계산하였다.

$$\text{Seed germination (\%)} = (N / S) \times 100$$

..... 식 (5)

N: 발아한 종자 수

S: 파종한 종자 수

2.5.2. 초장 성장 측정

초장 성장(plant height)은 발아율 측정이 끝난 후 측정하였으며, 기반으로부터 식물의 가장 끝이 되는 지점을 기준으로 캘리퍼스(Digital calipers, Blue Bird, China)를 이용하여 측정한 다음 평균값을 계산하였다(Lee *et al.*, 2013).

2.5.3. 잎 성장 측정

잎 성장(leaf growth)은 발아율 측정이 끝난 후 green leaf area meter (GA-5, OSK Company, Japan)를 사용하여 잎 크기를 측정하였다(Kim *et al.*, 2005).

Table 2. Physicochemical properties of raw materials

Samples	Bulk density (g/cm ³)	Porosity (%)	Water holding capacity (%)	pH	Organic matter (%)	C/N ratio
Peat moss	0.20 ± 0.5b ^b	89.4 ± 1.5b	87.1 ± 1.0a	3.8 ± 0.1b	93.9 ± 0.6b	57.2 ± 2.5b
Pretreated wood ^a	0.26 ± 0.4a	93.3 ± 1.3a	58.5 ± 2.5b	5.7 ± 0.2a	98.8 ± 0.7a	130.2 ± 3.7a

^a Steam exploded wood was steam exploded at 25 kgf/cm³ for 5 min.

^b Different letters within same column indicate the significant difference at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

2.6. 통계처리

데이터 통계처리는 SAS Package (Statistical Analysis System, ver. 8.1, SAS Institute Inc.) 프로그램을 이용하였으며, 처리구 평균간 유의성 검정은 DMRT (Duncan's Multiple Range Test) 5% 수준에서 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 피트모스와 전처리 우드칩의 물리·화학적 특성 비교

피트모스와 전처리 우드칩의 물리·화학적 특성을 Table 2에 나타냈다. 식생기반재에 있어서 물리적 특성은 식물의 생육에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있기 때문에(Boodley, 1998; Verdonck *et al.*, 1983) 피트모스와 우드칩의 물리적 특성 비교는 중요하다. 피트모스 및 전처리 우드칩의 부피밀도는 각각 0.20 g/cm³ 및 0.26 g/cm³이며, 피트모스와 전처리 우드칩 모두 Abad *et al.* (2001)이 보고한 식생기반재로서 적합한 0.4 g/cm³ 이하의 부피밀도를 나타내었다.

피트모스 및 전처리 우드칩의 공극률은 각각 89.4% 및 93.3%으로 나타났으며, 전처리 우드칩은 피트모스보다 높은 공극률을 나타냈다. 이러한 이유는 폭쇄처리로 인하여 우드칩의 섬유간 결합이 분리됨으로서 개방된 구조를 나타낸 결과에 의한 것으로 사료된다(Ruiz *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 1995). De Boodt and Verdonck (1972) 및 Gruda and Schnitzler (2004)은 식생기반재의 공극률이 85% 이상일 때 식

물 생육에 적합하다고 보고하였는데 피트모스와 전처리 우드칩 모두 식물 생육에 적합한 공극률을 보유한 것으로 나타났다. 피트모스는 87.1%의 수분보유력을 나타낸 반면에 전처리 우드칩은 58.5%의 수분보유력을 나타내어 Yeager *et al.* (1997)이 보고한 식생기반재로서 요구되는 수분보유력인 60-100%보다 낮은 수치를 나타냈다. 이러한 결과는 폭쇄 처리 시 고온·고압 수증기로 인하여 리그닌이 분해되는 과정에서 목재섬유의 피복, 고온에 의한 목재성분의 부분적인 변질과 결정화도 증가로 인한 영향으로 사료된다(Lee *et al.*, 1989; Byun *et al.*, 2000).

Gabriels *et al.* (1986)은 pH 및 무기영양분 등이 식물 생육에 적합한 근권 환경의 양분을 결정하는 중요한 요인이기 때문에 식생기반재의 화학적 특성은 식물생장에 있어서 중요한 인자라고 보고하였다. 본 연구에서 사용된 피트모스와 전처리 우드칩의 pH는 3.8 및 5.7로 나타나 피트모스는 약산성, 전처리 우드칩은 중성에 근접한 pH를 나타냈으며, 전처리 우드칩의 pH는 식물생장에 적합하다고 알려져 있는 pH 5.0-6.5 범위에 있었다(Abad *et al.*, 2005). 피트모스와 전처리 우드칩의 유기물 함량은 각각 93.9% 및 98.8%로 나타났고 C/N비는 각각 57.2 및 130.2로 나타났다. 식생기반재의 C/N비는 50-70 범위가 적절하다는 Han *et al.* (2008)의 보고로 미루어 보았을 때 식생기반재로서 전처리 우드칩 사용을 위해서는 C/N비 조절이 필요할 것으로 사료된다.

피트모스와 전처리 우드칩의 무기영양분 함량을 Table 3에 나타냈다. 질소 함량은 피트모스와 전처리 우드칩 모두 1.2%로 나타났고 인(P)은 검출되지 않았다. 식물의 생장 촉진을 위해서는 P, Mg 및 Ca 등의 무기영양분이 요구되는데(Roosta and Afsharipoor,

Table 3. Mineral nutrition contents (mg/kg dry weight) of raw materials

Samples	P	K	Ca	Mg	Na
Peat moss	- ^b	0.3 ± 0.1b ^c	6.5 ± 0.4b	1.1 ± 0.2b	6.5 ± 0.8a
Pretreated wood ^a	-	6.0 ± 1.3a	501.9 ± 8.0a	2.5 ± 0.1a	0.4 ± 0.2b

^a Steam exploded wood was steam exploded at 25 kgf/cm³ for 5 min.

^b Trace, below 0.1%.

^c Different letters within same column indicate the significant difference at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 4. Physicochemical properties of vegetation media

Vegetation media ^a	Bulk density (g/cm ³)	Porosity (%)	Water holding capacity (%)	pH	C/N ratio
Peat moss	0.20 ± 0.5a ^b	89.4 ± 1.5b	87.1 ± 1.5a	3.8 ± 0.1c ^b	57.2 ± 2.5b
PW10	0.18 ± 0.1a	93.5 ± 1.6a	78.2 ± 0.2b	5.0 ± 0.1b	92.7 ± 1.3a
PW30	0.20 ± 0.1a	91.8 ± 1.2a	76.1 ± 1.7bc	5.2 ± 0.2a	51.0 ± 2.4c
PW50	0.22 ± 0.2a	91.5 ± 0.7a	77.5 ± 1.5b	5.4 ± 0.4a	20.2 ± 1.7d

^a PW10: peat moss/pretreated wood, 90 : 10 (w/w); PW30: peat moss/pretreated wood, 70 : 30 (w/w); PW50: peat moss/pretreated wood, 50 : 50 (w/w)

^b Different letters within same column indicate the significant difference at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

2012; Tagliavini *et al.*, 2005) 전처리 우드칩의 K, Mg 및 Ca 함량은 피트모스보다 높게 나타났다. 피트모스와 전처리 우드칩의 화학적 특성을 비교해 보았을 때 전처리 우드칩은 피트모스보다 pH 및 무기 영양분을 다량 포함하고 있어 식물 생육에 좋은 영향을 미칠 것으로 사료된다.

3.2. 전처리 우드칩 혼합 비율에 따라 제조된 식생기반재의 물리·화학적 특성 비교

식생기반재의 주원료인 피트모스와 전처리 우드칩의 혼합 비율을 달리하여 제조된 식생기반재의 물리·화학적 특성을 Table 4에 나타냈다. 식물 생육기간 동안 식생기반재 내에서는 보수력, 통기성 등이 적절히 균형을 이루어져야 하는데 이는 부피밀도와 밀접한 관련이 있으며(Fernandes and Cora, 2004), 부피밀도가 낮아질수록 공극률이 커지게 되고 여러 유기물 및 공기의 침투 공간이 늘어나게 된다(Shin and Kim, 2006).

전처리 우드칩의 혼합 비율이 증가할수록 부피밀도는 0.18 g/cm³에서 0.22 g/cm³로 증가하였으나 유

의성을 나타내지 않았고 전처리 우드칩의 혼합 비율이 증가할수록 공극률은 93.5%에서 91.5%로, 수분보유력은 78.2%에서 77.5%로 감소하는 경향을 나타냈지만 전처리 우드칩을 50%까지 혼합하더라도 식생기반재에 적합한 85% 이상의 공극률 및 60-100% 범위의 수분보유력을 유지하는 것으로 나타났다(Yeager *et al.*, 1997; Gruda and Schnitzler, 2004).

신 등(2012)은 국내에서 유통되는 6종의 피트모스의 pH는 평균 3.82로 보고하였으며, 다른 재료와 혼합하여 식생기반재로 제조된 후에도 강산성을 띄어 많은 문제를 발생시키게 되고(Carpenter, 1994; Nelson, 2003) 식생기반재의 pH가 적절한 범위를 벗어나 산성으로 변할 경우 파종된 종자의 발아율이 떨어지거나 발아 후 Ca, Mg, 또는 P 결핍 등 각종 생리적인 장애를 발생시킬 수 있는데(Styer and Koranski, 1997) 전처리 우드칩을 혼합하여 제조된 식생기반재의 pH는 5.0-5.4로 나타났고 전처리 우드칩의 혼합량이 증가함에 따라 식물 생장에 유리한 pH (5.0-6.5)를 나타내는 것으로 나타났다.

C/N비는 전처리 우드칩의 혼합 비율이 증가함에 따라 92.7에서 20.2로 급격하게 감소하였다. 이는 식생기반재를 제조하기 전 전처리 우드칩의 C/N비

(130.2) 조절을 위해 질산암모늄(NH_4NO_3)을 혼합하였는데, 식생기반재 제조에 사용되는 전처리 우드칩의 함량이 증가함에 따라 질산암모늄 역시 증가하게 되어 나타난 현상으로 사료된다.

3.3. 전처리 우드칩 혼합 비율에 따라 제조된 식생기반재의 식물 생육 특성 비교

종자 발아율은 식물 안정성 평가의 지표로 알려져 있으며(Harada, 1995), 식생기반재의 주원료인 피트모스와 전처리 우드칩의 혼합 비율에 따라 제조된 식생기반재의 배추, 잔디, 싸리 종자 발아율을 Fig. 1에 나타냈다.

배추 종자는 원료 독성물질에 민감하고 취급이 간편하여 원료 독성에 대한 종자 발아 검정에 널리 사용되는데(U.S. EPA, 1996), Zucconi *et al.* (1985)과 Emino and Warman (2004)에 따르면 대조구인 기존 원료 대비 50% 미만의 발아율은 높은 식물 독성을, 50-80%는 보편적 식물 독성을, 80% 이상은 독성을 나타내지 않는다고 보고하였다. 피트모스 및 전처리 우드칩의 배추 종자 발아율은 각각 53.0% 및 40.0%로 나타나 전처리 우드칩은 피트모스 발아율 대비 75.5% 수준의 배추 종자 발아율을 나타내어 보편적 원료 독성을 나타내는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 전처리 우드칩에 존재하는 리그닌이 고압의 수증기 처리에 의해 열연화 및 용해가 일어나게 되는 데(Lee *et al.*, 1990) 이로부터 발생하는 페놀성 화합물이 배추종자 발아에 영향을 미친 것으로 사료된다(Yoo and Kim, 1998).

배추 종자와는 다르게 잔디 종자 발아율에서는 대조구인 피트모스가 전처리 우드칩보다 낮은 발아율을 나타냈다. 이는 pH 3.6의 피트모스보다 pH 5.7의 전처리 우드칩이 잔디 생육에 적합한 pH 6-7에 근접했기 때문에 나타난 결과로 사료된다(Tae *et al.*, 2002). 싸리 종자 발아율은 피트모스 및 전처리 우드칩에서 각각 10.0% 및 7.4%로 나타나 배추 종자 발아율처럼 전처리 우드칩이 피트모스보다 낮은 발아율을 나타냈으며, 전처리 우드칩의 혼합 비율에 따른 유의성은 나타나지 않았다.

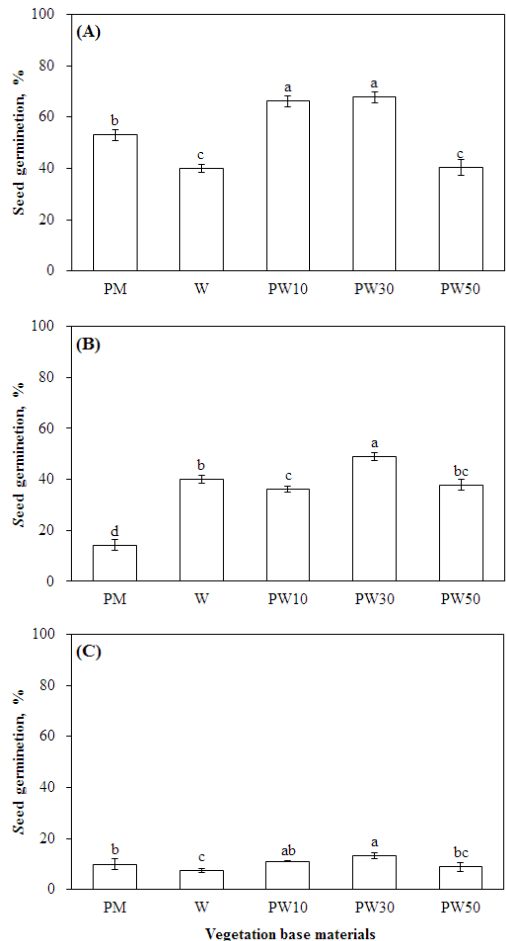


Fig. 1. Seed germination of *B. campestris* (A), *F. arundinacea* (B) and *L. bicolor* (C) with different pretreated wood content of vegetation media. Error bars indicate standard errors. The values indicated with different letters are significantly different with other values (PM: peat moss; W: pretreated wood; PW10: peat moss/pretreated wood, 90 : 10; PW30: peat moss/pretreated wood, 70 : 30; PW50: peat moss/pretreated wood, 50 : 50 (w/w)).

Kim *et al.* (2014)은 식생기반재대체 원료로서 참나무 톱밥을 주원료로 하는 버섯폐배지를 30% 혼합하여 사용하였을 때 배추 종자 발아율이 60% 이하로 급격하게 저하된다고 보고하였는데 본 연구에서는 전처리 우드칩을 30%를 혼합하더라도 67.7%의

발아율을 나타내 기존 연구결과보다 향상된 결과를 나타냈으며, 배추, 잔디 및 싸리 종자에 대하여 전처리 우드칩을 각각 10-30%, 30% 및 10-50% 혼합된 식생기반재를 적용하였을 때 다른 처리구에 비해 높은 발아율을 나타냈다.

식생기반재의 원료 구성비 및 기타 성분의 배합은 초기 종자 발아 및 일정기간 성장시까지 각 수종이 요구하는 다양한 양분 요구도에 따라 식물에 대한 생리적 활성 및 성장에 영향을 미칠 수 있으므로 (Lee, 1997), 제조된 식생기반재에 대한 종자 발아율과 함께 초장 성장 및 잎 성장과 같은 식물초기생장에 대한 비교가 필요하다.

Fig. 2에 피트모스와 전처리 우드칩의 혼합 비율에 따라 제조된 식생기반재의 배추, 잔디, 싸리 초장 성장을 나타냈으며, 피트모스와 전처리 우드칩의 배추, 잔디 및 싸리 초장 성장을 비교하였을 때 피트모스는 각각 2.4 cm, 4.0 cm 및 1.1 cm의 초장 성장을 나타내었으나 전처리 우드칩은 각각 2.1 cm, 3.4 cm 및 0.8 cm로 피트모스보다 낮은 초장 성장을 나타냈다. 이는 수분보유력이 87.1%인 피트모스와 비교하였을 때 상대적으로 58.5%의 낮은 수분보유력을 나타낸 전처리 우드칩이 초장 성장에 영향을 미친 것으로 사료되며(Table 2), Powel (1982)은 식생기반재가 수분을 충분히 보유하지 못하게 되면 식물의 초기 생육이 느리거나 생장이 균일하지 못하게 된다고 보고하였다.

Fig. 3에 기존 식생기반재 주원료인 피트모스와 전처리 우드칩 혼합 비율에 따라 제조된 식생기반재에 대한 배추, 잔디, 싸리 잎 성장을 나타냈으며, 전처리 우드칩을 단독으로 사용하게 되면 피트모스보다 낮은 잎 성장을 나타냈다. Lee *et al.* (2003)은 C/N비가 높으면 지상부인 식물의 줄기와 잎 생장이 저조하게 된다고 보고하였는데 피트모스보다 높은 전처리 우드칩의 C/N비로 인해 잎 생장이 낮게 나타난 것으로 사료된다.

배추는 전처리 우드칩이 50% 혼합된 식생기반재에서 1.1 cm²의 높은 잎 성장을 나타냈으나 전처리 우드칩이 30% 혼합된 식생기반재(0.8 cm²)와 유의성을 나타내지는 않았고 잔디 및 싸리에서는 전처리

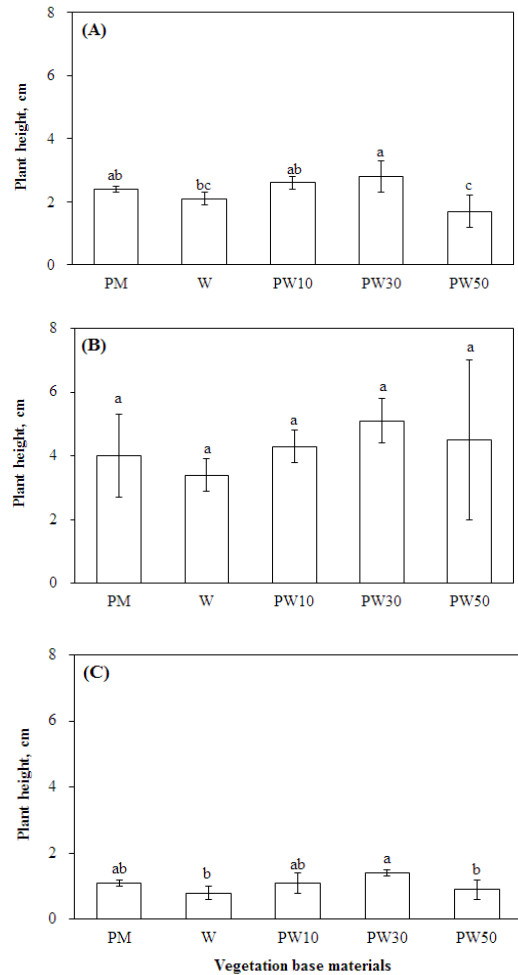


Fig. 2. Plant height of *B. campestris* (A), *F. arundinacea* (B) and *L. bicolor* (C) with different pre-treated wood content of vegetation media. Error bars indicate standard errors. The values indicated with different letters are significantly different with other values (PM: peat moss; W: pretreated wood; PW10: peat moss/pretreated wood, 90 : 10; PW30: peat moss/pretreated wood, 70 : 30; PW50: peat moss/pretreated wood, 50 : 50 (w/w)).

우드칩을 30% 혼합한 식생기반재에서 각각 0.9 cm² 및 1.1 cm²의 잎 성장을 나타냈으나 잔디와 싸리 모두 전처리 우드칩을 10% 혼합한 식생기반재와 유의성을 나타내지는 않았다.

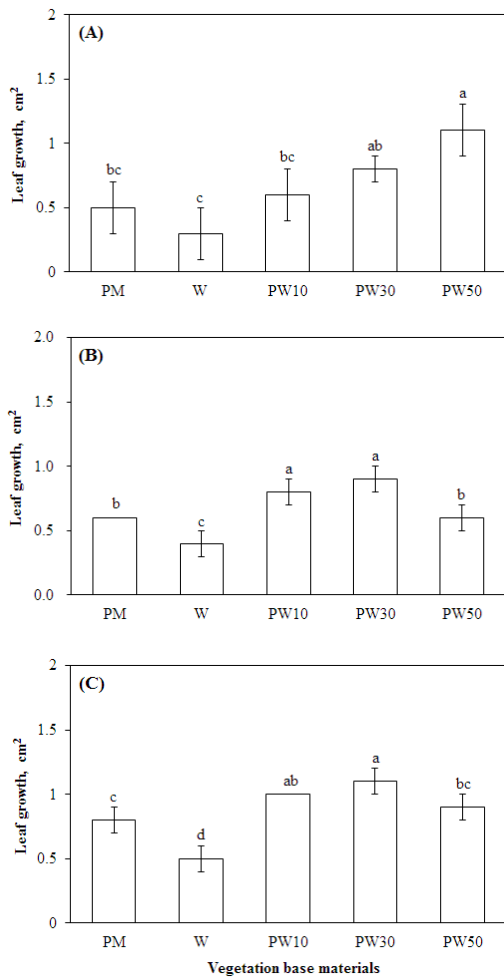


Fig. 3. Leaf growth of *B. campestris* (A), *F. arundinacea* (B) and *L. bicolor* (C) with different pre-treated wood content of vegetation media. Error bars indicate standard errors. The values indicated with different letters are significantly different with other values (PM: peat moss; W: pretreated wood; PW10: peat moss/pretreated wood, 90 : 10; PW30: peat moss/pretreated wood, 70 : 30; PW50: peat moss/pretreated wood, 50 : 50 (w/w)).

배추, 싸리, 잔디 종자에 대한 식물 생육 특성을 비교하였을 때, 배추 잎 생장을 제외하였을 때 전처리 우드칩이 50% 혼합된 식생기반재는 전처리 우드칩 자체의 유기물, 무기영양분 및 질소 영양분을 가

장 많이 함유하고 있었음에도 불구하고 전처리 우드칩이 30% 혼합된 식생기반재와 비교하였을 때 유사하거나 낮은 식물생장을 나타내었다.

Choi *et al.* (2010)은 25 이하의 C/N비에서는 미생물이 이용할 수 있는 에너지원(C)과 영양원(N)을 동시에 얻을 수 있기 때문에 미생물의 증식이 빨라지게 된다고 보고하였는데 전처리 우드칩이 50% 혼합되어 있는 식생기반재는 20.2의 낮은 C/N비를 나타내었는데(Table 4) 식생기반재의 영양분이 식물로 흡수되어 식물 생장에 관여한 것이 아니라 미생물에 의해 소모되었기 때문에 전처리 우드칩을 10% 또는 30% 혼합하여 제조된 식생기반재보다 상대적으로 낮은 식물 생장을 나타낸 것으로 사료된다(Kuisma *et al.*, 2014).

4. 결론

기존 식생기반재의 주원료인 피트모스와 폭쇄 전처리 우드칩의 물리적 특성을 비교하였을 때 전처리 우드칩은 식생기반재로서 적합한 부피밀도 및 공극률을 나타냈고, 화학적 특성을 비교하였을 때 식물 생육에 적합한 pH를 나타냈다. 또한 피트모스에 전처리 우드칩을 10-50%까지 혼합하여 식생기반재를 제조하더라도 식생기반재로서 사용가능한 물리·화학적 특성을 유지하는 것으로 나타났다. 특히, 피트모스와 전처리 우드칩을 혼합하여 조제된 식생기반재에서는 피트모스를 단독으로 사용하는 것보다 식물 생육이 향상되는 결과를 나타냈고 전처리 우드칩은 식생기반재를 제조하는데 있어서 피트모스를 30%까지 대체 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호: S211215L020430)’의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Abad, A., Noguera, P., Bures, S. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77: 197-200.
- Abad, M., Fornes, F., Carrion, C., Noguera, P., Maguieira, A., Puchades, R. 2005. Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *Hortscience* 40: 2138-2144.
- Mahmoud, A.M.A., Afifi, M.M.I., Mostafa, A. El-Helaly. 2014. Production of Organic Tomato Transplants by Using Compost as Alternative Substrate for Peat-Moss. *American-Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Science* 14(10): 1095-1104.
- Altland, J.E., Krause, C. 2009. Use of switchgrass as a nursery container substrate. *Hort Science* 44: 1861-1865.
- Bae, M.K., Cho, T.H. 2013. The Capability Strengthen Strategies and Energy Substitution Effect of Forestry Sectors as Climate Change Response Mechanism: Focused on Woody Biomass. *The Journal of Korean Institute of Forest Recreation*. 17(1): 87-96.
- Ballesteros, I., Negro, M.J., Oliva, J.M., Caban, as A., Manzanares, P., Ballesteros, M. 2006. Ethanol production from steam-explosion pretreated wheat straw. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 130(1): 496-508.
- Biernbaum, J.A. 1992. Root zone management of greenhouse container corps to control water and fertilizer use. *HortTechnology* 2: 127-132.
- Blok, C., Verhagen, J.B.G.M. 2009. Trends in rooting media in Dutch horticulture during the period 2001-2005: the new growing media project. *Acta Horticulturae* 819: 47-58.
- Boodley, J.W. 1998. The commercial greenhouse (2nd edition), Delmar Publishers, New York, 140-142.
- Byun, H.J., Kim, Y.S., Kang, H.M., Kim, I.S. 2012. Physico-chemical Characteristics of used Plug Media and its Effect on Growth Response of Tomato and Cucumber Seedlings. *Journal of Bio-environment Control*. 21(3): 207-212.
- Byun, J.H., Lim, B.K., Yang, J.K., Chang, J.P., Lee, J.Y. 2000. Manufactures of functional materials by using xylan from agricultural & forest residues (I) - The isolation and purification of xylan -. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 28(3): 25-33.
- Carpenter TD. 1994. Growing media and nutrient delivery systems for greenhouse vegetable and other crops. In *Greenhouse Systems, Automation, Culture and Environment* edited by North Regional Agricultural Engineering Service. New Brunswick, NJ. pp. 120-131.
- CEN (European committee for standardization). 1999a. Soil improvers and growing media-Sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density. CEN. prEN 13040.
- CEN (European committee for standardization). 1999b. Soil improvers and Growing media-Determination of physical properties-Dry bulk density, air volume, water volume, shrinkage value and total pore space. CEN. prEN 13041.
- Choi, B.S., Jung, J.A., Oh, M.K., Jeon, S.H., Coh, H.G., Ok, Y.S., Sung, J.K. 2010. Effects of Green Manure Crops on Improvement of Chemical and Biological Properties in Soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 43(5): 650-658.
- Choi, J., Heo, S.W., Lee, D.H., Choi, C.L. 1998. The effects of steam explosion treatment on

- compositing process with rice and barley straw. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 17(4): 324-328.
- Choi, J.M., Chung, H.J., Choi, J.S. 2000. Physico-chemical properties of organic and inorganic materials used as container media. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 18: 529-535.
- Choi, J.M., Chung, H.J., Seo, B.G., Song, C.Y. 1999b. Improved physical properties in rice-hull, saw dust and wood chip by milling and blending of recycled rockwool. *Journal of The Korean Society for Horticultural Science* 40: 755-760.
- Choi, J.M., Chung, J.H., Choi, J.S. 1999a. Physical properties of pine bark affected by peeling method and improving moisture retention capacity. *Journal of The Korean Society for Horticultural Science* 40: 363-367.
- Cao, C.T.N., Farrell, C., Kristiansen, P.E., Rayner, J.P., 2014. Biochar makes green roof substrates lighter and improves water supply to plants. *Ecological Engineering* 7: 2018-2027.
- De Boodt, M., Verdonck, O. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* 26: 37-44.
- Emino, E., Warman, P., 2004. Biological assay for compost quality. *Compost Science and Utilization* 12: 342-348.
- Evans, M.R., Gachukia, M.M., 2007. Physical properties of sphagnum peat-based rootsubstrates amended with perlite or parboiled fresh rice hulls. *Hort Technology* 17: 312-315.
- Farrell, M., Jones, D.L., 2010. Food waste composting: its use as a peat replacement. *Waste Manage* 30: 1495-1501.
- Fernandes, C., Corá, J.E. 2004. Bulk density and relationship air/water of horticultural substrate. *Science Agriculture* 61(4): 446-450.
- Gabriels, R., Verdonck, O., Mekers, O., 1986. Substrate requirement for pot plants in recirculating water culture, *Acta Horticulturae* 178: 93-99.
- Gruda, N., Schnitzler, W.H. 2004. Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants, I. Physical properties of wood fiber substrates. *Scientia Horticulturae* 100: 309-322.
- Han, S.I., Cho, M.H., Hwang, K.S. 2008. Comparison of phylogenetic characteristics of bacterial populations in a Quercus and pine humus forest soil. *The Korean Journal of Microbiology* 44: 237-243.
- Harada. 1995. Practical aspects of animal waste composting international training course on microbial fertilizer composting. RDA. 1-23.
- Hicklenton, P.R., Rodd, V., Warman, P.R., 2001. The effectiveness and consistency of source-separated municipal solid waste and bark composts as components of container growing media. *Scientia Horticulturae* 91: 365-378.
- Hur, Y.J., Koh, J.H., Joo, P.I., Ahn, T.Y. 2009. The Composting Techniques for On-site Recycling of Wood Waste. *Journal of The Korean Society of Environmental Restoration Technology* 12(4): 72-80.
- Inbar, Y., Hadar, Y., Chen, Y. 1993. Recycling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity. *J. of Environmental Quality* 22: 857-863.
- Jayasinghe, G.Y., Tokashiki, Y., Liyana Arachchi, I.D., Arakaki, M. 2010. Sewage sludge sugarcane trash based compost and synthetic aggregates as peat substitutes in containerized media for crop production. *Journal of Hazardous Materials* 174: 700-706.
- Jayasinghe, G.Y., Tokashiki, Y., Liyana Arachchi, I.D., Arakaki, M., 2010. Sewage sludgesugarcane trash based compost and synthetic aggregates as peat substitutes incontainerized media for crop production. *Journal of Hazardous Materials* 174:

- 700-706.
- Jung, J.Y., Lim, K.B., Kim, J.S., Park, H.M., Yang, J.K. 2015. Utilization of Wood by-product and Development of Horticultural Growing Media. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 33(3): 435-442.
- Jurado, M., Prieto, A., Martinez-Alcala, A., Martinez, A.T., Martinez, M.J. 2009. Laccase detoxification of steam-exploded wheat straw for second generation ethanol. Bioresource Technology 100(24): 6378-6384.
- Kim, B.R., Kong, S.W. 1999. Development of Carbonization Technology and Application of Unhulized Wood Wastes (I) - Carbonization and It's Properties of Thinned Trees -. Journal of The Korean Wood Science and Technology 27(2): 70-77.
- Kim, C.H., Oh, T.S., Shin, D.G., Cho, Y.K., Kim, Y.W., Ann, S.W. 2014. Study on the Development of Horticultural Media using Recycled Used-mushroom-media. Journal of Environmental Science International. 23(2): 303-312.
- Kim, H.S., Kim, K.H. 2011. Physical Properties of the Horticultural Substrate According to Mixing Ratio of Peatmoss, Perlite and Vermiculite. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer 44(3): 321-330.
- Kim, I.S., Kim, S.J., Lee, J.Y., Lee, J.S. 2005. The Effect of Vermicast on the Growth of Vegetable Plants - Estimation of Optimum Mixture Ratios of Vermicast -. Korean Journal of Organic Agriculture. 13(4): 413-422.
- Kim, Y.H., Lee, I.J. 2013. Influence of Plant Growth Regulator Application on Seed Germination of Dandelion (*Taraxacum officinale*). Weed & Turfgrass Science 2(2): 152-158.
- Koh, J.H., Hur, Y.J., Lee, Y.K., Kim, N.C. 2010. A Study on the Use of Wood Waste for Slope Revegetation Techniques. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 13(1): 47-56.
- Kuismaa, E., Palonen, P., Yli-Halla, M. 2014. Reed canary grass straw as a substrate in soilless cultivation of straw berry. Scientia Horticulturae 178: 217-223.
- Lazcano, C., Arnold, J., Tato, A., Zaller, J.G., Dominguez, J. 2009. Compost and ver-micompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. Spanish Journal of Agricultural Research 7: 944-951.
- Lee, D.W., Kim, B.R. 2001. Effect of Carbonized Wastewoods on Soil Improvement. Journal of Korea Forestry Energy 20(1): 1-5.
- Lee, G.S., Lee, S.S., Chung, J.D. 2003. Effect of Several Kinds of Composts on Growth Status of Aerial Parts in Ginseng Seedlings. Journal of Ginseng Research 27(1): 24-31.
- Lee, J.Y., Chang J.P., Han S.Y. 1990. Development of an innovative pretreatment-saccharification process of cellulosic biomass by steam explosion (II) -Delignification of Oak (*Quercus mongolica*) and Poplar (*Populus euramericana*) exploded woods with acid and alkali-. Journal of Korea TAPPI. 22(4): 26-34.
- Lee, J.Y., Park, S.J., Lee, S.G., Cho, N.S., Chang, J.P., Ann, B.J. 1989. Utilization of Ligno - cellulosic Biomass (I) - Manufacture of Explosion Apparatus and Composition of Explode Wood -. Journal of The Korean Wood Science and Technology 17(2): 2065-2073.
- Lee, K. J. 1997. Tree physiology. Seoul National University Press. p. 30-80.
- Lee, S.Y., Kim, W.T., Ju, J.H., Yoon, Y.H. 2013. Effect of Calcium Chloride Concentration on Roadside Ground Cover Plant Growth. Journal of Korean Institute of Landscape Architecture. 41(4): 17-23.

- Lee, Y.J., Lee, J.S., Yang, J.E. 2010. The Comparison of Electrical Conductivity for Soil Solutions Extracted in Field Capacity and Saturation-Paste. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 43(6): 776-781.
- Li J, Henriksson G, Gellerstedt G. 2007. Lignin depolymerization/repolymerization and its critical role for delignification of aspen wood by steam explosion. *Bioresour Technol*. 98(16): 3061-3068.
- Ministry of Environment. 2003. Development of Reinforced Vegetation Media Technology for Ecological Restoration. pp. 42-46.
- Nelson, P.V. 1991. Greenhouse operation and management. 4th ed. Prentice Hall, Englewood Cliff, NJ. pp. 180.
- Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Nogueira, P., Abad, M., Puchades, R., Maquieira, A., Nogueira, V., 2003. Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as a containermedium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34: 593-605.
- Papafotiou, M., Avajianneli, B., Michos, C., Chatzipavlidis, I., 2007. Coloration, antho-cyanin concentration, and growth of croton (*Codiaeum variegatum L.*) as affected by cotton gin trash compost use in the potting medium. *Hort Science*. 42: 83-87.
- Powel, C.C. 1982. Use of soil wetting agents for pot plants, Cooperative Extension Service, The Ohio State University 11(6).
- Robert R. Tripepi, Mary W. George, Alton G. Campbell, and Bahman Shafli. 1996. Evaluating Pulp and Paper Sludge as a Substitute For Peat Moss in Container Media. *Journal of Environmental Horticulture* 14(2): 91-96.
- Roosta, H., Afsharipoor, R.S., 2012. Effects of different cultivation media on vegetative growth ecophysiological traits and nutrients concentration in strawberry under hydroponic and aquaponic cultivation systems. The Free Library, *Advances Environmental Biology* Published.
- Ruiz, E., Cara, C., Manzanares, P., Ballesteros, M., Castro, E. 2008. Evaluation of steam explosion pre-treatment for enzymatic hydrolysis of sunflower stalks. *Enzyme and Microbial Technology* 42(2): 160-166.
- Shin, C.S., Kim, B.R. 2006. Effect of carbonized wastewoods on soil improvement (2). *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 34(6): 21-28.
- Srámek, F., Dubský, M., 2009. Peat substrates amended with composted bark or with compost. *Acta Horticulturae* 819: 387-394.
- Styer RC, Koranski DS. 1997. Plug & Transplant Production: A Grower's Guide. Ball Publishing, Batavia, IL.
- Tae, H.S., Koh, S.K., Kim, Y.S. 2002. Effect of serpentine as soil conditioner on growth of turfgrass. *Korean Institute of Landscape Architecture* 30(3): 86-93.
- Tagliavini, M., Baldi, E., Lucchi, P., Antonelli, M., Sorrenti, G., Baruzzi, G., Faedi, W. 2005. Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (*Fragaria × ananassa* Dutch.) grown in soil and soilless culture. *European Journal of Agronomy* 23: 15-25.
- US. EPA., 1996. "Ecological Effects Test Guidelines - Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test" 712-C-96-154.
- Valery, B., Agbor, Cicek, N., Sparling, R., Berlin, A., Levin, D.B. 2011. Biomass pretreatment: Fundamentals toward application. *Biotechnology Advances* 29: 675-685.
- Vaughn, S.F., Deppe, N.A., Palmquist, D.E., Berhow, M.A. 2011. Extracted sweet corn tassels as a re-

- newable alternative to peat in greenhouse substrates. *Ind. Crop Prod.* 33: 514-517.
- Verdonck, O., Penninck, R., DeBoodt, M., 1983, The physical properties of different horticultural substrates, *Acta Horticulturae* 150: 155-159.
- Warncke, D.D. 1986. Analysing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *Hort-Science* 211: 223-225.
- Webber III, C.L., Whitworth, J., Dole, J., 1999. Kenaf (*Hibiscus cannabinum L.*) core as a containerized growth medium component. *Industrial Crops and Products* 10: 97-105.
- Yang, J.K., Kim, H.J., Lee, W.H. 1995. Changes of specific surface area of the steam exploded wood. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 23(1): 54-60.
- Yeager, T., Gilliam, C., Bilderback, T.E., Fare, D., Niemiera, A., Tilt, K., 1997. Best Management Practices, Guide for producing container-grown plants. Southern Nursery Association, Atlanta.
- Yi, Yong min., Oh, C.T., Kim, G.J., Lee, C.H., Sung, K.J. 2012. Changes in the Physicochemical Properties of Soil According to Soil Remediation Methods. *Journal of Soil and Groundwater Environment* 17(4): 36-43.
- Yoo, Y.K., Kim, K.S. 1998. Effects of some pretreatments on seed germination of white forsythia (*Abeliophyllum distichum*). *Journal of The Korean Society for Horticultural Science* 39: 86-91.
- Zucconi, F., Monaco, A., Forte, M., De Bertoldi, M., 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter, in: Gasser, J.K.R. (Ed.), *Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier, London.