

닥나무 목질부로 제조된 파티클보드의 원적외선, 폼알데하이드, 휘발성유기화합물 방출 및 탈취율¹

오 승 원^{2,†}

Emission Characteristics of Far-infrared Ray, Formaldehyde, Volatile Organic Compounds, and Deodorization Rate of Particleboard Prepared from Xylem Part of *Broussonetia Kazinoki* Sieb¹

Seung-Won Oh^{2,†}

요 약

본 연구는 한지 제조과정에서 특별한 용도가 없어서 버려지는 닥나무 목질부로 밀도 및 수지첨가량별로 파티클보드를 제조하고, 이를 건축마감재로 활용 가능성을 알아보고자 탈취효과, 원적외선 방사 및 실내 공기오염물질 방사특성에 대하여 검토하였다. 측정 결과 보드의 밀도 및 수지첨가량이 증가할수록 탈취율은 증가하였다. 탈취율은 80~90%, 원적외선 방사율은 0.892~0.899로 비교적 높았다. 총휘발성유기화합물은 수지첨가율 13%, 밀도 0.6 g/cm³인 보드가 0.074 mg/m²·h로 가장 적게 방출되었고, 폼알데하이드는 보드 제조 조건별로 0.004~0.006 mg/m²·h로 미세한 방출 특성을 보였다. 이와 같이 보드 제조 조건을 다양하게 하여 용도에 맞는 보드제조가 가능하다면, 닥나무 목질부로 제조된 보드는 건축마감재 이용가능성이 있을 것으로 생각된다.

ABSTRACT

This study examined emission characteristics of far-infrared ray, formaldehyde, volatile organic compounds and deodorization rate of particleboard prepared at different target board densities and resin content levels, using the xylem part of *Broussonetia Kazinoki* Sieb. The deodorization rate increased, as the target density of board and resin content increased. Emission rates of the far-infrared ray and total volatile organic compounds (TVOCs) were 0.892~0.899, and 0.074 mg/m²·h for particleboard prepared with the resin content of 13% and target density of 0.6 g/cm³ while the deodorization rate was 80~90% for the same particleboard. The formaldehyde emission factor ranged from 0.004 mg/m²·h to 0.006 mg/m²·h for all particleboard fabricated at different resin content and target densities. These results indicate that particleboard prepared from the xylem part of *Broussonetia Kazinoki* Sieb have a potential as a building construction material.

Keywords : *Broussonetia Kazinoki* Sieb, particleboard, deodorization, far-infrared ray

¹ Date Received January 8, 2014, Date Accepted February 5, 2014

² 전북대학교 농업생명과학대학, 농업과학기술연구소, College of Agriculture and Life Science, Institute of Agriculture Science & Technology, Chonbuk National University, Chonju, 561-756, Korea.

[†] 교신저자(corresponding author) : 오승원(e-mail: ohsw@jbnu.ac.kr)

1. 서 론

현대인들은 하루 중 80% 이상을 실내에서 생활하고 있기 때문에 쾌적하고 건강한 실내 공기질 (Indoor Air Quality)은 인간 생활에서 매우 중요한 환경 요소이다.

그러나 그동안 에너지 절약, 건축물의 기밀 성능 향상 및 시공에 따른 단열 강화로 인한 환기 부족 등의 원인으로 각종 건축 내장용 자재에서 발생하는 다양한 공기 오염 물질이 인체에 많은 영향을 미치고 있으며 실내 오염물질에 의한 피해 정도는 실외의 10배 이상으로 간주 되고 있다(Lee 2005; Lee *et al.* 2007; Lee and Han 2003).

이와 같은 실내오염물질의 발생원인은 페널이나 보드, 벽지, 카펫, 바닥재 등의 건축내장용 마감재와 페인트, 접착제 등으로 알려져 있다. 특히 공동 주택의 주거용 건물에서는 건축용 마감재가 실내공기 오염의 주원인으로 예상되어 건축용 내장재의 종류나 특성이 오염물질의 판단기준이 될 것이다. 한편 최근에는 신축 공동 주택에서 사용되는 건축자재, 가구 등에서 방산되는 폼알데하이드(HCHO) 및 휘발성 유기 화합물(VOC : Volatile Organic Compounds) 등에 의해 실내 공기질이 악화되어 건물 증후군(Sick Building Syndrome) 및 새집증후군(Sick House Syndrome)이라는 병명으로 국민 건강을 위협하여 심각한 사회문제로 대두되고 있다(Hwang *et al.* 2008; Ingrosso 2002).

이에 환경부에서는 건축물의 실내 공기질 향상을 위해 기존의 “지하생활공간 공기질 관리법”의 대상과 기준을 강화하여 “다중 이용 시설 등의 실내 공기질 관리법”으로 개정하여 2004년 5월부터 시행하고 있다(Kim *et al.* 2006; Cho *et al.* 2006).

폼알데하이드는 분자량이 적은 알데하이드(CH_2O , 분자량 = 30)로 끓는점이 -19°C 이며 자극성의 냄새(냄새역치: 0.8 ppm)를 지닌 무색의 기체로 공기층에 존재한다. 또한 물에 쉽게 용해되며, 흔히 포르말린이라 불리는 37% 수용액은 전통적으로 상업적인 유통과정과 제조공정에서 다양하게 사용

해 온 재료이다. 이러한 폼알데하이드 성분은 건축자재에 광범위하게 쓰이는 페놀, 아세테이트계 단열재, 합판, 섬유, 가구 등의 접착제에 주로 사용되고 있으며, 폼알데하이드 기체를 실내로 방출한다. 또한, 방출량은 시간에 비례하여 감소하고, 특히 습도가 높을 때 실내농도가 증가하게 된다. 폼알데하이드의 방출정도는 방출원이 내포하고 있는 폼알데하이드의 양과 온도, 습도 및 환기율과 밀접한 관련을 맺고 있으며, 방출수준이 반으로 감소하는 데에 소요되는 시간인 반감기(半減期)가 2년-4.4년 정도로 길다(Lee and Han 2003).

휘발성 유기화합물(VOCs)은 수많은 유기화합물의 총칭으로 발생원이 매우 다양하며 각 나라마다 VOCs에 대해 조금씩 다르게 정의하고 있다. VOCs는 상온, 상압에서 액체상이나 고체상으로 존재할 수 있지만 대기 중에서는 가스상으로 존재하는 모든 유기화합물질로 정의할 수 있으며, 20°C 에서 760 torr (101.3 Kpa) 보다 작은 1 torr (0.13 Kpa) 보다 큰 증기압을 가지는 모든 유기화합물질이라고 할 수 있다. 또한, 탄화 수소류 중 레이드 증기압(Reid Vapor Pressure : RVP)이 10.3 Kpa (1.5 psia) 이상인 석유화학제품, 유기용제 또는 기타 물질로 정의되고 있다(Lee *et al.* 2003).

이와 같이 실내 공기질오염의 주원인인 폼알데하이드와 휘발성 유기화합물에 대한 관심이 많이 있음에 비추어 볼 때 앞으로 건축자재의 오염물질 방출 특성에 관한 체계적인 연구가 매우 중요하다. 이를 위해서는 무공해, 친환경 건축자재의 활용이 더욱더 확대되어야 하고, 건축 시공 과정에서 유해 물질 방산량을 줄이는 것이 실내 공기질 오염원을 제어하는데 가장 직접적이고 효과적인 방법으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 그동안 한지제조과정에서 거의 폐기되고 있는 닥나무 목질부를 이용하여 다양한 조건으로 보드를 제조한 후 성능을 평가하여 실내 내장용으로 활용할 수 있는 가능성을 모색하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

닥나무(*Broussonetia Kazinoki* Sieb.)에서 인피섬유를 제거한 목질부를 한지공장에서 분양받아 제분소에서 제조하여 사용하였으며, 보드제조 시 시료의 균일함을 위하여 입자크기를 18 mesh로 선별하고 함수율을 8% 이하로 조절하였다.

2.2. 파티클보드제조

파티클보드를 제조하기 위하여 균일하게 선별된 닥나무 톱밥과 분말상 폐놀수지를 충분히 혼합하여 열압기의 열판 위에 있는 정방형 스테인레스 몰드 속에 넣고 시료의 상부높이를 일정하게 조절된 후 열압 성형하여 $26 \times 26 \times 1.1$ cm의 파티클보드를 제조하였다. 보드의 제조조건은 수지첨가량을 5%로 하여 밀도를 0.5 g/cm^3 , 0.6 g/cm^3 , 0.7 g/cm^3 , 0.8 g/cm^3 , 밀도 0.6 g/cm^3 일 때 수지첨가량을 5%, 7%, 10%, 13%로 각 조건별로 5장씩 제조하였다. 이때 열압온도는 190°C , 가압압력은 $50 \text{ kgf/cm}^2 \rightarrow 30 \text{ kgf/cm}^2 \rightarrow 20 \text{ kgf/cm}^2$ (3단 가압), 가압시간 6분 \rightarrow 5분 \rightarrow 4분(3단 가압시간)으로 하였다. 보드의 두께는 thickness bar를 사용하였으며 thickness bar까지 도달시간을 5초로 하였다. 보드제조 시 사용한 분말 폐놀수지(코로롱유화(주) KNB-100PL)의 용점은 88°C , 경화시간은 89초, 수지고형분은 98%이다.

2.3 실험방법

2.3.1. 탈취효과

제조된 파티클보드의 폼알데하이드 탈취효과를 측정하기 위하여 수지첨가량 5%일 때 밀도를 $0.5 \text{ g/cm}^3 \sim 0.8 \text{ g/cm}^3$ 로, 밀도를 0.6 g/cm^3 일 때 수지 첨가량 5%~13%로 하여 제조된 보드를 한국 건설생활환경시험연구원의 표준시험방법(KICM-FIR-1085)에 의거하여 측정하였다.

2.3.2. 원적외선 방출량

원적외선 방출 시험은 수지첨가량 5%일 때 밀도별로, 밀도 0.6 g/cm^3 일 때 수지 함침율별로 제조된 보드를 FT-IR spectrometer를 사용하여 40°C 에서 $5 \sim 20 \mu\text{m}$ 범위를 건자재시험연구원의 표준방법(KICM-FIR-1005)에 의거하여 측정하였다.

2.3.3 알데히드류, 휘발성 유기화합물

알데히드류와 휘발성 유기화합물은 수지첨가량 5%일 때 밀도를 0.5 g/cm^3 와 0.8 g/cm^3 로, 밀도 0.7 g/cm^3 일 때 수지첨가량을 5%와 13%로 제조된 보드를 서울대학교 NICEM에서 20ℓ 소형 챔버(모델 ADTECH, Japan)를 이용하여 KSM ISO 16000-3-(2003)과 KSM ISO 16000-6(2004)에 의거하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 탈취율

수지첨가율 5%일 때 밀도별로 제조된 보드와 밀도 0.6 g/cm^3 일 때 수지첨가율별로 제조된 보드의 폼알데하이드 탈취율을 측정된 결과는 Tables 1, 2와 같다. 전체적으로 경과시간이 증가함에 따라 탈취율이 증가하는 것을 알 수 있었다.

보드의 밀도 및 수지첨가량이 증가할수록 폼알데하이드 탈취율이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 밀도의 증가로 인하여 닥나무보드에 존재하는 표면적이 증가하여 폼알데하이드 흡착능이 증가하였기 때문이며, 수지첨가량이 증가할수록 폼알데하이드 흡착율이 증가하는 것은 수지에 존재하는 폼알데하이드 방산량이 증가하여 이에 따른 흡착율이 증가하였기 때문으로 생각된다. Kim *et al.*(2008)은 polypropylene(pp)에 천연분말인 왕겨분말과 목분 및 다공성 무기질의 일종인 제올라이트를 첨가하여 휘발성 유기화합물의 방산량을 측정된 결과, 다공성 무기물을 첨가한 것이 휘발성 유기화합물의 방산이 크게 감소하였다. 이는 다공성 구조를 가진 물질이 다양한 휘발성물질을 흡수하

Table 1. Deodorization rate of particleboard prepared at different target densities using 5% resin content

Density of board (g/cm ³)	Running time (min)	Intensity of blank (ppm)	Intensity of sample (ppm)	Deodorization rate (%)
0.5	0	82	82	
	30	79	36	54.5
	60	76	25	67.1
	90	74	19	74.3
	120	72	14	80.6
0.6	0	82	82	
	30	79	35	55.7
	60	76	23	69.7
	90	74	18	75.7
	120	72	13	81.9
0.7	0	82	82	
	30	72	34	56.9
	60	76	23	69.7
	90	74	14	81.1
	120	72	10	86.1
0.8	0	82	82	
	30	72	33	58.2
	60	76	19	75.0
	90	74	11	85.1
	120	72	7	90.3

는데 있어 매우 효과적으로 작용한다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 재료의 탈취율이 60% 이상 일 때 탈취효과가 있음을 인정하고 있는 것을 볼 때 다펴나무보드의 탈취율은 전반적으로 매우 높은 편이었다.

특히 수지첨가율 5%일 때 전 밀도 조건에서 탈취율이 80~90%로 측정되어 다펴나무보드를 탈취효과를 목적으로 사용하는 것도 가능할 것으로 판단된다.

3.2 원적외선 방사 특성

수지첨가율과 밀도별로 제조된 다펴나무보드의 원적외선 방사 특성은 Figs. 1~4와 같다. 5~20 μm 파장영역에서 이상 흑체 대비 전방사율은 수지첨가율 5%일 때 보드의 밀도가 0.5 g/cm³인 경우 0.896, 0.7 g/cm³인 경우 0.898, 0.8 g/cm³인 경우 0.899로 밀도가 증가함에 따라 약간 증가하였으나, 밀도 0.6 g/cm³일 때 수지첨가율 5%인 보드는 0.896, 10%와 13%인 보드는 0.892로 수지첨가율이 증가할수록 약간 감소하였다. 또한 방사에너지도 방사율과 같은 경

닥나무 목질부로 제조된 파티클보드의 원적외선, 폼알데하이드, 휘발성유기화합물 방출 및 탈취율

Table 2. Deodorization rate of particleboard prepared at different resin contents at the target density of 0.6 g/cm³

Resin content (%)	Running time (min)	Intensity of blank (ppm)	Intensity of sample (ppm)	Deodorization rate (%)
5	0	82	82	
	30	79	35	55.7
	60	76	23	69.7
	90	74	18	75.7
	120	72	13	81.9
7	0	82	82	
	30	79	33	58.2
	60	76	22	71.0
	90	74	17	77.0
	120	72	11	84.7
10	0	82	82	
	30	79	31	60.8
	60	76	18	76.3
	90	74	10	86.5
	120	72	7	90.3
13	0	82	82	
	30	79	31	60.8
	60	76	16	78.9
	90	74	11	85.1
	120	72	7	90.3

향이였다. 이러한 원적외선 방사율은 규사 (0.60~0.80), SiO₂ (0.83)보다 높고 그래파이트(0.93), 세라믹코팅판(0.924)등 보다 낮았다. 한편 Lee(2005)가 조사한 한국산 5개 수종의 원적외선 방사율 0.90~0.91보다 약간 낮게 나타났는데, 이러한 결과는 비슷한 재료에서의 방사율 측정값의 차이는 시료의 표면 상태에 따라 다르기 때문으로 생각된다. 본 연구에서 제조된 닥나무보드의 방사율은 0.892~0.899로 비교적 높은 방사율을 보여 건축용 내장재료의 이용 가능성이 확인되었다.

3.3 알데히드류, 휘발성 유기 화합물의 방산 특성

밀도가 0.6 g/cm³일 때 수지첨가율 5%와 13%로 제조된 보드와 수지첨가율이 5%일 때 밀도 0.5 g/cm³와 0.8 g/cm³로 제조된 보드의 알데히드류와 휘발성 유기화합물의 방산 특성을 Tables 3과 4에 나타내었다.

총 휘발성 유기화합물(TVOC)은 수지첨가율 13%, 밀도 0.6 g/cm³인 보드가 0.074 mg/m²·h로 가장 적었고, 나머지 보드는 0.254~0.285 mg/m²·h가 방출

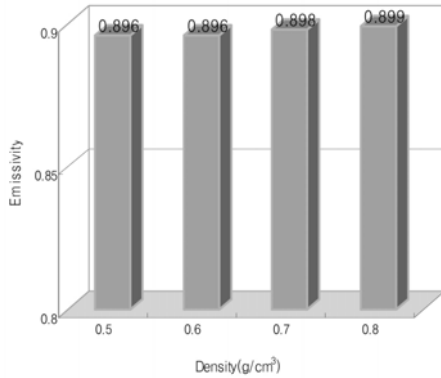


Fig. 1. Relationship between density of board and emissivity.

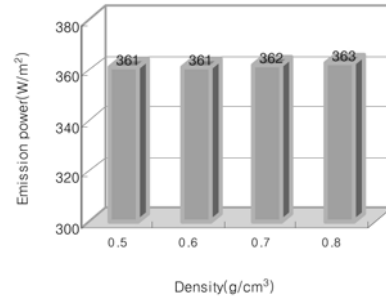


Fig. 2. Relationship between density of board and emission power.

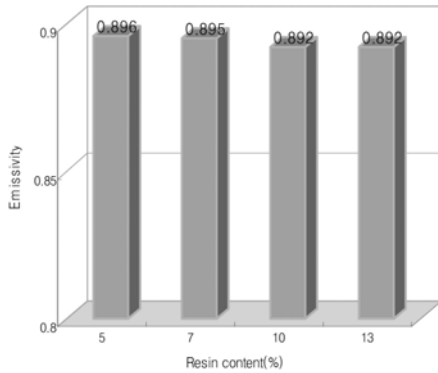


Fig. 3. Relationship between resin content and emissivity.

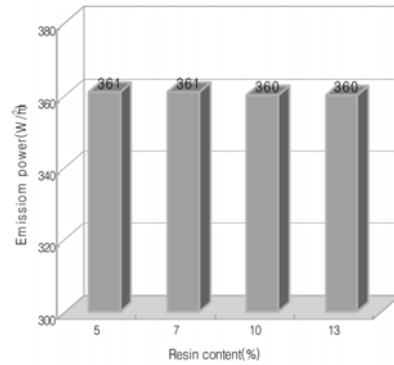


Fig. 4. Relationship between resin content and emission power.

되었다. 신축 공동주택의 실내 공기질 물질로 최근에 관심이 증대 되고 있는 5VOC는 전 조건에서 0.001~0.007 mg/m²·h로 미세한 방출 특성을 보였다.

한국 공기청정 협회에서는 건축자재를 대상으로 화학물질 방출강도를 평가하여 인증함으로써 건축자재 오염물질 방출에 대한 자율적인 품질관리를 행할 수 있도록 권장하며, 제품의 품질 향상을 기여할 목적으로 건축자재의 품질인증등급을 제시하고 있다. 이 등급을 기준으로 할 때 닳나무 목질부로 제조된 보드는 TVOC와 관련하여 밀도 0.6 g/cm³, 수지첨가율 13%로 제조된 보드는 최우수 등급이었으며 나머지 등급도 양호한 것으로 나타났다. 특히 5VOC는 전 조건의 보드에서 최우수 등급으로 오염물질에 안

전한 것으로 나타났다.

폼알데하이드 방출은 보드 제조조건별로 0.004~0.006 mg/m²·h로 보드의 제조조건별 차이는 없었으며, 한국 공기청정 협회 건축자재 인증 등급기준 최우수 등급이었다. Yu et al.(2005)은 공동주택에 주로 사용되는 건축자재를 가구용 목재, 마루용 목재, 벽지, 페인트 등으로 분류하여 오염물질을 측정할 결과 가구용 목재와 마루용목재의 경우 폼알데하이드와 TVOC 등급 모두 대체로 모두 낮게 평가되었다고 보고한 바 있다. 이러한 공기오염물질 방출특성으로 볼 때 닳나무 목질부로 제조된 보드는 제조조건을 다양하게 하여 기준에 충족된 조건을 찾는다면 앞으로 내장용 건축자재로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 3. VOCS emission factors of particleboard prepared at different conditions

Sample label	TVOCS Emission factor (mg/m ² · h)	Emission factors of five VOCs (mg/m ² · h)					
		Benzene	Toluene	Ethyl benzene	Xylene	Styrene	Total
1	0.255	0.000	0.002	0.000	0.001	0.004	0.007
2	0.074	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
3	0.254	0.000	0.002	0.000	0.001	0.004	0.007
4	0.285	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002

* Sample 1 : 5% resin content, and 0.6 g/cm³ target density
 2 : 13% resin content, and 0.6 g/cm³ target density
 3 : 5% resin content, and 0.5 g/cm³ target density
 4 : 5% resin content, and 0.8 g/cm³ target density

Table 4. Aldehydes emission factors of particleboard prepared at different conditions

Sample label	Aldehyde emission factor (mg/m ² · h)						
	Formaldehyde	Acetaldehyde	Acrolein	Acetone	Propionaldehyde	Butyraldehyde	Benzaldehyde
1	0.005	0	0	0.011	0	0	0
2	0.004	0	0	0.009	0	0	0
3	0.006	0	0.010	0.001	0	0	0
4	0.005	0	0.011	0.002	0	0	0

* Samples labels are the same as Table 3

4. 결 론

건축물의 실내 공기질에 대한 관심이 증대되고 있는 실정에서 그동안 한지 제조과정에서 수피를 이용하고 남은 닥나무 목질부를 재료로 밀도 및 수지첨가량별로 보드를 제조하였다. 제조된 보드를 실내 건축내장재료의 활용가능성을 검토하기 위하여 원적외선 방사 및 실내 공기질 오염물질인 폼알데하이드와 휘발성 유기화합물의 방사 특성에 대하여 알아보았다.

1) 보드의 밀도 및 수지첨가량이 증가할수록 탈취율이 증가하였으며, 각 보드의 제조조건에서 전체적으로 80% 이상의 탈취율을 보였다.

2) 원적외선 방사율 및 에너지는 보드의 밀도가 증가함에 따라 약간 증가하였으나, 수지첨가율이 증가함에 따라 약간 감소하였다. 닥나무보드의 원적외선

방사율은 0.892-0.899로 비교적 높은 특성을 보였다.

3) 총 휘발성 유기화합물(TVOC)은 수지첨가량 13%, 밀도 0.6 g/cm³일 때 0.074 mg/m² · h로 가장 적었고, 5VOC는 전 보드 제조 조건에서 0.001~0.007 mg/m² · h, 폼 알데하이드는 0.004~0.006 mg/m² · h로 미세한 방출특성을 보였다.

REFERENCES

- Kim, D.Y., Kim, E.J., Park, H.J. 2012. Characteristics of the vegetation mat Prepared from renewable resources. 2012 Proceedings Of the Korean society of wood science and technology annual meeting : 234~235
- Newswire. 2012. Large-scale cultivation of Miscanthus for bioethanol production.

- Oh, S.W., Byeon, H.S. 2002. Properties of wood-ceramics made from MDF. Mokchae Konghak 30(2): 115~120.
- Oh, S.W., Park, H.J., Hwang, J.W. 2012. Characteristics of board made from Miscanthus sinensis var. purpurascens particles. Journal of Agriculture & Life Science 46(2): 43~48.
- Oh, S.W., Hirose, T. Okabe, T. 2000a. Manufacturing characteristics of woodceramics from thinned small logs(I)- Resin impregnation rate and bending strength- Mokchae Konghak 28(4): 51~55.
- Oh, S.W., Hirose, T. Okabe, T. 2000b. Manufacturing characteristics of woodceramics from thinned small logs(II). -Dimensional change, weight change and compressive strength - Mokchae Konghak 28(4): 56~60.
- Oh, S.W., Piao, J.-J. 2004. Properties of wood-ceramics made from thinned logs(I)-Effect of resin impregnation rate and burning temperature-. Mokchae Konghak 32(1): 72~79.
- Oh, S.W., Piao, J.-J., Jeong, I.S. 2005. Properties of ceramics from a board mixed with sawdust and rice husk-Effect of percentage of resin impregnation and carbonization temperature-. Mokchae Konghak 33(3): 30~37.
- Okabe, T. 1996. Wood-based porous carbon materials Woodceramics. Uchida Rokakuho Publishing Co., LTD. JAPAN.
- Okabe, T., Saito, K. 1995a. Development of woodceramics. Transactions of the Material Research Society of Japan 18: 681~684.
- Okabe, T., Saito, K. 1995b. The examination of the manufacturing method of woodceramics (I)-Structural changes affected by burning temperature-. International Ecomaterial Conference. Xian. China. P. 1~4.
- Park, H.J., Oh, S.W., Kim, D.Y., Kang C.W., Wen, M.Y. 2012. Properties of Miscanthus-wood particle composite boards. 2012 proceedings of the korean society of wood science and technology annual meeting: 252~253.
- The Farmers Newspaper. 2012. 4. 4 Biofuels made from miscanthus.