

폐 MDF 퇴비화 사용을 위한 생분해 환경 특성에 관한 연구 (I)

최철 · 류지창 · 양승민 · 이창구 · 이석연¹ · 강석구[†]

접수일(2016년 2월 03일), 수정일(2016년 2월 12일), 채택일(2016년 2월 17일)

Characteristics of Biodegradation under Composting and Vermiculite Condition

Chul Choi, Ji-Chang Yoo, Seong-min Yang, Chang-goo Lee, Seok-eon Lee¹ and Seog-goo Kang[†]

Received February 3, 2016; Received in revised form February 12, 2016; Accepted February 17, 2016

ABSTRACT

This study is performed that furniture and interior materials of MDF's (Medium Density Fiberboard) biodegradation properties, and the goal of this study is investigation of possibility of waste-MDF's composting after landfilling. To investigate biodegradation, this study was performed according to KS M ISO 14855-1, and there were two different soil conditions including a compost condition and an activated vermiculite condition as artificial soil. This experiment was tested for 40 days. The measurement of carbon-dioxide generation was processed every 24 hour in 1-2 week, and every 48 hour after 3 week. In the same days, MDF showed 24.4% of biodegradation in compost condition, and 6.2% in activated vermiculite. Also, the reference material of TLC (thin-layer chromatography) grade cellulose showed 26.4%, 11.4% in compost and activated vermiculite respectively. The dilution plate method was performed for biological analysis in the study. This experiment was used for investigation of inoculum's (*Bacillus licheniformis*) activity. As the result of bioassay, compost has more other germs include inoculum than activated vermiculite in the first week. Especially in the 2nd week, the reference material under the compost condition showed the most germ's activity, and also the biodegradation was the highest. Consequentially, compost condition was able to reduce a performing period of biodegradation testing than activated vermiculite. However, activated vermiculite could be stabilizing errors between repetition.

Keywords: *Biodegradation, MDF, activated vermiculite, compost, ultimate biodegradation*

• 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과(Dept. of Biobased Materials, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon, Korea)

1 FITI 시험연구원 환경바이오평가팀(Enviroment & Bio assesment team, FITI Testing & Research Institute, Ochang, Cheonwon-gun, Chungbuk, 363-883, Korea)

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: lachesis@cnu.ac.kr

1. 서론

생활여건의 향상에 따라 목재 사용에 대한 국민들의 관심이 증가됨에 따라, 목재를 이용한 제품에 대한 수요가 증가하고 있다. 수요의 증가에 따라 국내 목재 제품의 생산량은 2014년 기준으로 목재 제품 총 생산량은 약 330만^m이며, 그 중 200만 ^m이 가구에 사용되는 섬유판인 것으로 조사 되었으며, 합판 및 파티클보드도 그 뒤를 따르고 있다.¹⁾ 건축, 주방용 가구, 사무용 가구, 바닥재 및 건축 내장재 등에 다양하게 사용되는 목재 제품은 생산 과정에서 발생하는 부산물과 용도 폐기이후 발생하는 폐잔재의 뒤처리 문제가 남겨져 있다. 조사에 의하면, 현재 국내에서 생활폐기물로 발생하는 폐목재는 매일 5천여 톤이 발생되고 있는 것으로 조사되고 있으며, 절반은 재활용이 되고 있으나 대부분 소각, 매립 등의 폐기처리를 하고 있다.²⁾ 현재 목재 제품 생산 부산물 및 용도 폐기 된 폐목재는 주로 소각을 통해 처리되고 있다. MDF 소각 처리 과정에서 여러 가지 유해 가스가 발생하는데, 그 중에는 다이옥신류(polychlorinated dibenzo - p - dioxins and furans: PCDD/Fs)는 폐파렛트 연소 시 발생하는 다이옥신의 양보다 높은 것으로 나타났으며, 이는 환경 기준치에 근접한 양으로 나타나는 것으로 밝혔다. 발생하는 PCDD/Fs는 시안화칼륨(KCN)에 비해 10,000배나 독성이 강한 물질로써 클로로페놀, 도시쓰레기 소각, 자동차차 배출가스 등에서 주로 발생하는 화학 물질로, 세계 각 나라 및 WHO(World Health Organization)에서는 1일 허용 섭취 기준량을 제한하고 있는 위해 물질이다.³⁾

소각처리 이외에 폐 MDF는 폭쇄 또는 해리와 고해처리를 통해서 고밀도 섬유판으로 제조 되어 재활용 하는 방법이 있으나 폐재를 다시 치핑, 증기처리, 해섬 공정을 거쳐 질이 떨어지고 섬유가 짧아져 강도저하를 나타내는 것으로 알려져 있다.⁴⁻⁵⁾ 또한, 폐 가구재 재활용을 위하여 저온탄화처리를 하여 재생 MDF와 PB는 섬유장 및 파티클의 크기 감소로 인하여 마찬가지로 강도저하를 나타냈으며, 강도가 요구 되지 않는 건축 내장재로 사용이 가능 할 것으로 밝혔다.⁶⁾

본 연구에서는 폐 MDF의 소각 이외의 재활용 방법에 대한 연구가 진행이 되고 있는 만큼 섬유질로 이루어진 MDF를 퇴비화 특성을 연구하여 소각을 통해 발생하는 유해가스를 절감 및 화학 비료 사용 절감을 위한 폐

MDF의 퇴비화 가능성을 규명하는데 목적을 두었다.

폐 MDF의 최적 생분해환경에 관한 조건규명 방법으로 KS M ISO 14855-1 규격에 준용하여 실험을 통해 일정기간동안 호기성 퇴비화 조건과 활성질석 조건에서의 생분해도 측정 방법을 이용하여 이산화탄소 발생량 적정을 통한 생분해도 측정을 실시하였다. 본 실험에서는 기존의 호기성 퇴비화 조건에서의 생분해 과정과 동일 규격에서 제시하고 있는 활성질석 조건에서의 생분해도를 각각 측정하여 비교를 실시함으로써, 토양 조건에 따른 MDF의 생분해 특성을 측정하였다. 실험은 30일간 실시되었으며, 동일 기간 동안 표준시험물질은 TLC(thin-layer chromatography)급 cellulose도 같이 실험을 실시하였다.

따라서, 가구 및 건축내장재 등에 사용되는 MDF의 용도폐기 이후의 소각처리로 인해 발생하는 인체유해 물질 및 대기오염 물질 발생을 줄이고, 퇴비화 가능성 확인을 통하여 생분해 이후 폐목재의 새로운 용도로써의 가능성을 확인을 위한 호기성 퇴비화 조건과 질석 조건하에서의 생분해 특성의 차이를 분석 하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에 사용된 공시재료로서 사용된 폐MDF는 D社로부터 분양받은 중밀도섬유판(MDF: Medium Density Fiberboard)을 사용하였다. 제품의 사양은 요소멜라민수지를 사용한 함수율 5%, 비중 0.47 g/cm³, 포름알데히드 방출량 1.42 mg/L의 E1 9 mm이다.

2.2 실험방법

폐 MDF의 최적 퇴비화 조건을 규명하기 위한 실험으로서 KS M ISO 14855-1에 준한 호기성 퇴비화 실험을 실시하였다. 본 시험 방법은 가상의 호기성 퇴비화 과정에서 시험 물질의 생분해도 및 붕괴도를 측정하는 방법이다. 시험 물질을 접종원과 섞어 고정화한 후 퇴비화 용기를 넣고 6개월 이하의 시험 기간 동안 함수율, 온도, 산소가 조절되는 조건하에서 퇴비화가 일어나도록 한다. 시험 물질로부터 발생하는 이산화탄소, 물, 무기 염류, 새로운 미생물 세포 물질(바이오매스) 등은 최종 생분해 산물이라 말할 수 있으며 이때 이산화탄소 발생량을 연속

적으로 또는 주기적으로 측정하였다. 생분해도는 시험 물질의 이론적 이산화탄소 발생량과 실제 시험 물질로부터 발생하는 이산화탄소량의 비율로 결정하며, 이산화탄소의 최대 이론적 발생량은 물질의 총 유기 탄소의 함유량으로부터 계산하였다.

시험편의 준비를 위해 폐MDF를 시험 규격에 의거 표면적이 20 mm × 20 mm이하의 시험편을 사용한다. 실험에 사용되는 접종원으로써는 *Bacillus licheniformis*를 사용하였으며, 액체 배지를 제조하여 퇴비 및 활성질석 제조에 사용 하였다.

준비 된 시험물질은 퇴비실험에서는 건조 중량 대비 6 : 1(퇴비 : 시험물질)로 하고, 활성질석에서는 4 : 1(활성질석 : 시험물질)로 실험을 실시한다.

2.2.1 퇴비 및 활성질석 제조

퇴비화 과정 검증을 위한 퇴비는 다음 Table 1과 같은 조건을 만족시키도록 제조한다.

활성질석 조건을 만들기 위하여 Table 2-4를 순차적으로 접종원을 제조하며, 완성된 접종원을 이용하여 질석에 대해 1:3으로 혼합한다. 실험에 사용된 질석은 밀도 80±16 kg/m³, 입자 크기 80%가 4-12 mm체를 통과하는 concrete type의 시중 질석 제품을 사용하였다.

Table 1. Requirements of compost

Classification	pH	Toral Dry solid (%)	Volatile Solid (%)		C/N Ratio
			wet	dry	
Requirement	7.0-9.0	50-55	>15	>30	10-40

Table 2. Compositing of 1 liter of inoculum soluton

Constituent	Mineral solution (see Table 3)	Suitable nutrient broth	Urea	Corn starch	cellulose	Compost extract
Amount	500 cm ³	13 g	5.8 g	20 g	20 g	500cm ³

Table 3. Composting of 1 liter of mineral solution

Chemical	<i>KH₂PO₄</i>	<i>MgSO₄</i>	<i>CaCl₂</i> (10% solution)	<i>NaCl</i> (10% solution)	Trace-element solution (see Table 4)
Amount	1 g	0.5 g	1 cm ³	1 cm ³	1 cm ³

Table 4. Composting of 1 liter of trace-element solution

Chemical	<i>H₃BO₃</i>	<i>KI</i>	<i>FeCl₃</i>	<i>MnSO₄</i>	<i>(NH₄)₆Mo₇O₂₄</i>	<i>FeSO₄</i>
Amount	500 mg	100 mg	200 mg	400 mg	200 mg	400 mg

2.2.2 TOC (Total Organic Carbon)함량 측정

먼저, 생분해도 측정을 위하여 표준시험물질은 TLC급 cellulose와 MDF의 TOC 측정을 실시하였으며, 이는 고체 시료이기 때문에 원소분석기를 이용하여 TC (Total Carbon) 측정을 실시이후, TIC (Total Inorganic Carbon)으 측정하여, TOC 값을 Eq. 1과 같은 방법으로 계산하였다.

$$TOC(g/kg) = TC(g/kg) - TIC(g/kg) \dots\dots\dots \text{Eq. 1}$$

2.2.3 생분해도 측정

폐 MDF의 퇴비화 과정에 따른 특성을 분석하고자 생분해도 측정 실험은 KS M ISO 14855-1에 의거 호기성 퇴비화 조건에서 실시하였다. 30일간 실험을 실시하였으며, 최초 14일간은 24시간마다 측정을 실시하였으며, 14일 이후부터는 48시간마다 이산화탄소 발생량을 측정하였다. 생분해도 계산은 Eq. 2와 같은 방법으로 계산하였다.

$$\frac{(CO_2)_T - (CO_2)_B}{ThCO_2} \times 100 \dots\dots\dots \text{Eq. 2}$$

$(CO_2)_r$: 시험 물질이 담긴 퇴비화 용기로부터 발생한 이산화탄소의 누적량(g)

$(CO_2)_B$: 접종원 용기로부터 발생하는 이산화탄소

$ThCO_2$: 용기 속 시험 물질에 의해 발생하는 이론적 이산화탄소의 양(g)

2.2.4 생물학적 분석

퇴비와 활성질석 간의 생분해도 차이를 분석하기 위하여 생물학적 분석을 실시하였으며, 분석 방법으로 희석 평판법을 실시하였다. 최초 0.85% NaCl 생리 식염수 제조하였고, 증류수 99 cm³와 시료 1 g을 섞어 1% 시료용액과 평판배지로는 NB 배지를 사용하여 준비하였다. 준비된 시료용액을 10 cm³ 생리식염수에 0.1 cm³ 씩 첨가하여 용액 배지를 제조하였다. 희석된 용액배지를 준비된 평판 NB배지위에 소독한 유리막대로 0.1 cm³ 씩 스프레이 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 생분해 특성

퇴비 조건과 활성 질석에서의 MDF 생분해 특성을 확인 해 보고자 KS M ISO 14855-1에 의거하여 실험을 실시하였으며, 생분해도 측정에 앞서 생분해 실험 대상 물질들의 기본 물성 인TOC를 원소분석기(Flash EA 1112, Thermo Fisher Scientific Inc.)를 이용하여 측정하였으며, 그 결과 값을 근거로 이론적 이산화탄소 발생량 (theoretical amount of evolved carbon dioxide; $ThCO_2$)을 계산하였으며, 그 결과는 다음 Table 5-6과 같다. 실험은 총 40일 동안 실시되었으며, 퇴비 조건에서 실시한 실험에서는 Fig. 1에서 나타난바와 같이 표준 시험물질 cellulose가 52.9%, MDF는 24.4% 수준의 생

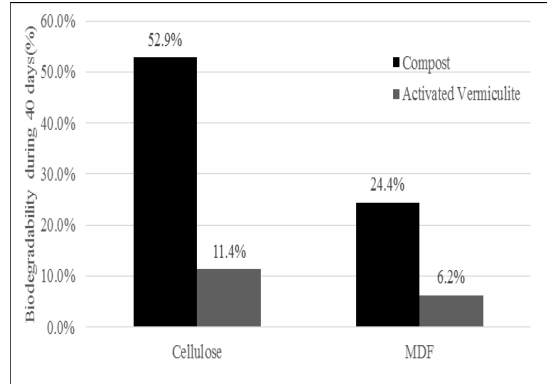


Fig. 1. Biodegradability differences between compost and activated vermiculate conditin during 40 days.

분해도를 나타내었으며, 활성 질석 조건에서의 실험의 경우 이보다 현저히 낮은 생분해도인 cellulose 11.4%, MDF 6.2% 수준의 생분해도를 나타내었다. Fig. 2와 같이 퇴비 조건에서의 cellulose가 초기에 상당히 빠른 생분해도를 나타내고 있으며, 같은 퇴비조건에서의 MDF는 초기에는 생분해도가 미비했으나 시간이 지남에 따라 향상되고 있다. 이는 MDF 접착에 사용된 접착제 성분이 시간이 지남에 따라 퇴비의 수분에 의하여 해리되어 MDF가 섬유화됨으로써 표면적이 넓어져 생분해도가 향상 되는 것으로 사료 된다. 활성질석의 경우, 초기에는 시험물질인 MDF에서 높은 생분해도를 나타내고 있으나 중반부터는 표준물질인 cellulose가 더 높은 생분해도를 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

Table 5. Result of Total Oragnic Carbon (TOC) of cellulose and MDF

	TC (g/kg)	TIC (g/kg)	TOC (g/kg)
cellulose	357.50	17.99	339.51
MDF	410.00	26.18	383.82

Table 6. Theoretical amount of evolved carbon dioxide ($ThCO_2$) of cellulose and MDF

	Moisture content (%)	Weight of specimen (g)	M_{TOT} (g)	C_{TOT} (g)	$ThCO_2$ (g)
cellulose	5	17	16,150	0,357	21,163
MDF	7	22	20,460	0,413	30,961

M_{TOT} : Amount of the total solids of content of the added test substnace to the test at the beginning (g)

C_{TOT} : Ratio of the organic carbon contained in the total solids content of the test substance (g/g)

생분해측정 기간 40일 동안, MDF가 compost 조건에서 기준 물질인 cellulose 대비 약 46%의 생분해도를 나타내고 있으며, 이는 생분해 플라스틱 시험 및 인증 기준인 6개월간 기준물질 대비 90%이상 분해⁷⁾라는 점을 감안 하였을 때, 중·장기적인 기간을 통하여 충분한 생분해를 통하여 퇴비화가 가능 할 것으로 사료 된다.

3.2 생물학적 특성 분석

퇴비와 활성질석 조건간의 생분해도 특성을 분석하기 위하여 실시한 희석평판법의 결과는 다음 Fig. 3-4와 같이 나타났다. Fig. 3은 퇴비의 blank, cellulose 첨가분, MDF가 첨가 된 vessel 각각의 3주간 매주 평균수 측정을 실시하였다. 측정 결과 생분해 시험이 1주간 실행된 퇴비조건에서는 접종원인 *Bacillus licheniformis* 외에 퇴비 자체에 포함된 다른 균들이 많이 나타나는 것을 알 수 있다. 특히, 퇴비만 들어 있는 Blank vessel에서 많이 나타났으며, cellulose와 MDF가 첨가 된 vessel의 퇴비에서는 미약하게 접종원만 나타나는 것을 확인하였다. 하지만, 시간이 지남에 따라 *Bacillus licheniformis* colony가 많이 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 2에서 나타나는 바와 같이 초기 1주일 후에서 표준 시험물질 cellulose가 높은 생분해도를 나타내는 것과 상관관계가 있는 것으로 사료 된다. 하지만, 활성질석에서는 초기에 적은 수의 균이 나타나는 것을 확인하였으나, MDF에서만 많은 수의 균이 나타나기 때문에 초기

에 활성질석 조건의 MDF가 동일 조건에서의 표준물질 cellulose보다 높은 생분해도를 나타내는 것으로 사료된다. 또한, 활성질석 조건의 경우 초기에는 낮은 생분해도를 나타내고 있으나, 시간이 지남에 따라 균주의 수가 늘어나고 있는 것이 확인이 되었으며 이를 미루어 생분해가 퇴비조건보다 느리게 나타나는 것으로 사료된다. 결과적으로 퇴비와 활성질석 간에 생분해도의 차이가 나타나는 것은 퇴비의 경우 접종원 이외에 기준에 포함되어 있는 다른 균들이 많이 있으며, 양분 및 토양의 조건이 균에 적합하다고 판단된다. 하지만, 활성질석의 경우 인위적으로 제조된 일종의 인공 토양으로 그 조건이 초기에는 접종원인 *Bacillus licheniformis*에 적합하지 않았던 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서 실시한 MDF의 생분해도 측정 실험을 통하여 가구재, 인테리어재 등으로 흔히 사용되는 목질 판상 재료인 MDF의 용도폐기 이후 매립처리 이후 퇴비로써의 사용가능성을 검토하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. MDF의 생분해도 측정을 위하여 인용된 KS M ISO 14855-1에 의거 호기성 퇴비화 조건과 동일 규격에서 제시하고 있는 활성질석 토양 조건을 각각 실시하였다.

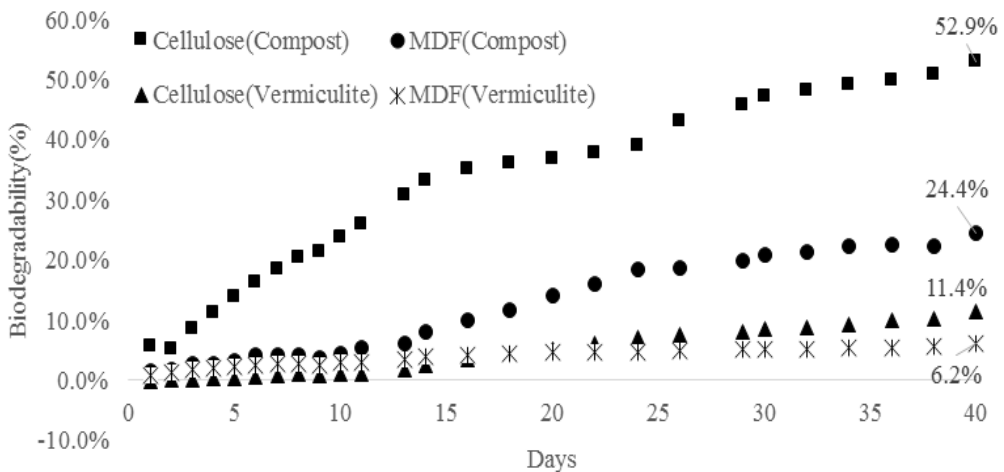


Fig. 2. Curve graph of biodegradation during 40 days.

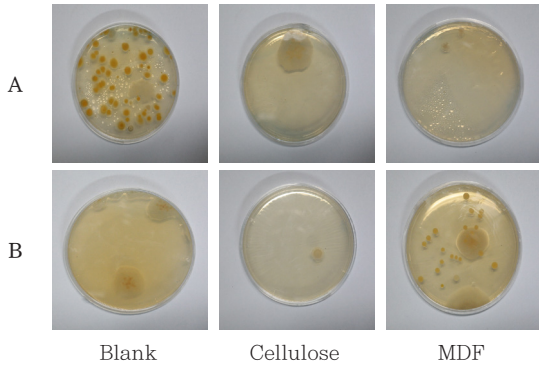


Fig. 3. Result of germ growth difference between each conditions of the 1st week (A: Compost, B: Vermiculite).

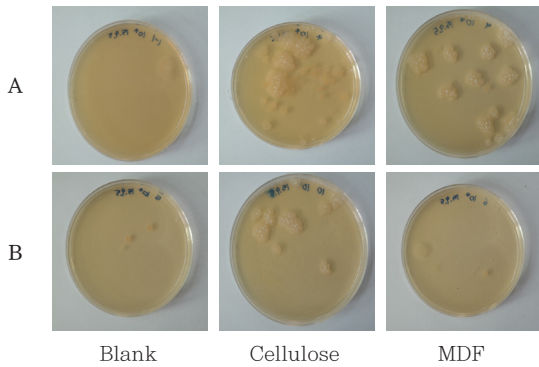


Fig. 4. Result of germ growth difference between each conditions of the 2nd week (A: Compost, B: Vermiculite).

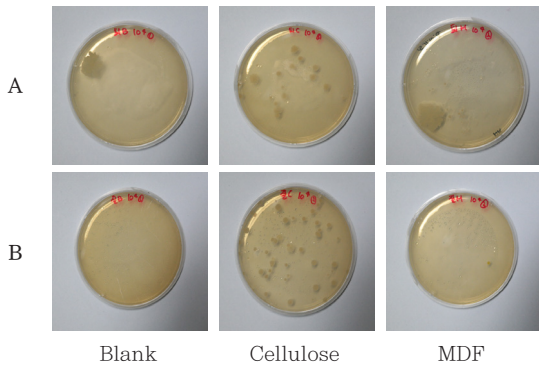


Fig. 5. Result of germ growth difference between each conditions of the 3rd week (A: Compost, B: Vermiculite).

그 결과, 퇴비 조건에서는 표준시험물질인 cellulose 대비 약 47% 수준의 생분해도를 나타내었으며, 활성질석 토양조건에서는 약 54% 수준의 생분해도를 나타냈다. 활성질석 토양 조건에서 더 높은 생분해도가 나타났으나, 앞선 Fig. 1, 2에서와 같이 현저히 낮은 수치의 생분해 진행을 나타내는 것을 알 수 있다.

2. 퇴비와 활성질석 조건간의 생분해도 차이 규명을 위하여 실시한 생물학적 분석의 일환인 종균수 측정을 위해 평판배지법을 실시하였다. 실험결과에 의거, 최초 1주차에서의 퇴비는 점종원인 *Bacillus licheniformis* 외에도 다른 균들이 상당수가 나타났으며, 상당히 높은 생분해도를 나타내는 2주차에서는 다량의 점종원 균이 나타나는 것을 알 수 있다. 또한, 활성질석 조건에서는 초기에 MDF 시료가 담긴 vessel에서 많은 수의 균이 나타났으나, 시간이 지남에 따라 표준시험물질 cellulose 가 담긴 vessel에서 많은 수의 균이 나타났다.

3. 두 결과를 미루어, 활성질석 조건을 통하여 생분해도 특성 측정은 가능 한 것으로 보이나, 균주 성장까지의 시간이 기존의 퇴비방법보다 더디기 때문에 실험 적용성이 힘든 것으로 나타났다. 또한, MDF의 생분해도가 퇴비에서 약 47% 수준으로 나타나는 것을 미루어 퇴비화의 가능성이 있으며, 이를 확인하기 위하여 추가적인 생물학적 분석과 식물 독성 실험이 추가적으로 필요한 것으로 사료된다.

Literature Cited

1. Korea Forest Service, The Statistical Yearbook of Forestry 2015: 330-331 (2015).
2. Ministry of Environment, 2007 Environment waste (waste wood) statistics (2007).
3. Kim, N. C. and Lee, J. I., Emission characteristics of PCDDs/DFs and gaseous matter from waste wood incinerators, Journal of the Korean Society for Environmental Analysis 14(4):213-220 (2011).
4. Lee, H. H., Seo, I. S., Cho, Y. M. and Park, H. S., Manufacture of medium density fiberboard from exploded MDF waste, Journal of the Korea Furniture Society 16(1):9-16 (2005).

5. Lee, H. H., Seo, I. S., Cho, Y. M. and Park, H. S., Manufacture of high density fiber-board from disintergrated and beaten MDF waste, *Journal of the Korea Furniture Society* 17(1):64-71 (2006).
6. Seo, I. S., Lee, M. K., Lee, H. H. and Kang, H. Y., Properties of recycled board made of disused wooden furniture carbonized at low temperature, *Journal of Agriculture Science Chungnam National University* 36(1):19-25 (2009).
7. You, Y. S., Kim, U. S. and Choi S. W., National certification marks and standardization trends for biodegradable oxo-biodegradable and bio based plastics, *Clean technology*, 21(1):1-11 (2015).
8. KS M ISO 14855-1, Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions-Method by analysis of evolved carbon dioxide-Part 1: General method, *Korea Standard* (2013).