

건축재료의 폼알데하이드 방출 특성 및 탄화보드에 의한 저감 효과¹

장 재 혁² · 이 민^{2,†} · 이 상 민² · 박 상 범²

Formaldehyde Emission of Building Materials and Effect of Carbonized Board on Their Reduction¹

Jae-Hyuk Jang² · Min Lee^{2,†} · Sang-Min Lee² · Sang-Bum Park²

요 약

본 연구에서는 각종 건축재료의 폼알데하이드 방출 특성 및 탄화보드에 의한 이들의 저감 효과를 알아보기 위하여 챔버법으로 성능을 분석하였다. 그 결과, 약 12일간 소형 챔버 내에서의 폼알데하이드 저감 성능은 탄화보드(90%), 죽탄보드(84%), 구조토판넬(82%), 알로펜타일(78%), 소나무판재(58%), MDF(54%), 석고보드(46%)의 순으로 나타났다. 또한 파티클보드(PB)로 채워진 1.9 m³ 크기의 챔버 내 폼알데하이드 방출량을 68일간 조사한 결과, 탄화보드 투입량이 증가함에 따라 폼알데하이드 방출량은 크게 감소하는 것으로 나타났다. 특히 챔버의 크기 및 PB 면적 대비 탄화보드를 각각 약 10% 및 30% 투입하면 폼알데하이드를 약 40% 및 75% 이상 저감시킬 수 있는 것으로 조사되었다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the formaldehyde emission of building materials and effect of carbonized-board (c-board) on formaldehyde reduction using a chamber method. As a result, reduction performance of formaldehyde was in the order of c-board (90%), c-bamboo board (84%), diatomite-based panel (82%), allophane-based tile (78%), *Pinus densiflora* timber (58%), MDF (54%) and gypsum-based board (46%) for approximately 12 days. In 1.9 m³ chamber filled with particleboard (PB), the formaldehyde reduction performance of c-board was significantly increased with increasing input amount of c-board for 68 days. In particular, the formaldehyde emissions can be reduced above 40% and 75% by input rate of 10% and 30% c-board, respectively, in given ratio of chamber volume and PB area.

Keywords : carbonized-board, carbonized-MDF, carbonization, building materials, formaldehyde

¹ Date Received March 6, 2017, Date Accepted April 30, 2017

² 국립산림과학원 임산공학부. Department of Forest Products, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 이민(e-mail: mlee81@korea.kr)

1. 서 론

많은 과학기술의 발전으로 이미 편리한 생활을 영위하고 있는 오늘날, 인간은 이제 편리함보다는 쾌적성과 안전성 그리고 건강성을 우선시 하고 있다. 특히, 하루 중 80% 이상을 실내에서 생활하는 현대인들은 실내오염물질에 항상 노출되어 있으며 새집증후군 및 빌딩증후군 등의 문제로 건강을 위협당하고 있다(Ingrosso, 2002; Lee *et al.*, 2007). 각종 건축자재 및 가구에서 발생하는 대표적인 실내오염물질로는 휘발성유기화합물, 석면 및 라돈 그리고 폼알데하이드를 들 수 있는데, 그중에서도 폼알데하이드는 그 노출 정도에 따라서 눈, 코, 목의 자극을 야기할 뿐만 아니라 심한 경우에는 폐에 직접적인 영향을 주어 사망에 이르게까지 하는 치명적인 인체 유해성을 갖고 있다(Arts *et al.*, 2006; Casset *et al.*, 2006). 환경부에서 고시한 실내공기질 관리법에서도 폼알데하이드를 주요 오염물질 중 하나로 규정하고 있으며, 이들의 실내공기질 유지 기준이 최초 시행 당시인 2004년에는 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하였던 것이 최근에는 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 상향 조정되는 등 규제가 강화되기도 하였다(Korea Ministry of Environment, 2004; 2017).

한편, 현재 널리 사용되고 있는 대부분의 목질계 건축재료(건축용 혹은 가구용 목질판상제품 등)들은 주로 요소나 멜라민을 포르말린과 반응시켜 제조하는 아미노계 접착제를 가장 많이 사용하고 있기 때문에 폼알데하이드 방출로부터 결코 자유롭지 못하다. 따라서 실내공기 오염의 주된 물질로써 목질판상제품이 항상 거론되어져 왔으며, 이를 극복하기 위해 최근에는 폼알데하이드를 전혀 방출하지 않거나 그 방출 정도를 어느 정도 저감시킬 수 있는 친환경 접착제의 개발에 관한 연구가 다각적으로 매우 활발하게 수행되고 있다(Lee *et al.*, 2016; Ferdosian *et al.*, 2017). 현재 국내에서도 Super E0급($0.3 \text{ mg}/\ell$ 이하) 목질판상제품이 개발되어 실생활에 일부 적용되고 있으나 이들은 제조 단가가 비싸고, 이미 사용되고 있는 막대한 양의 기존 자재들을 대체하기에는 한계가 있다.

이러한 관점에서 목질계 판상제품의 탄화는 실내공기질의 쾌적성 향상에 도움을 줄 수 있는 효율적인

기술이라 생각된다. 예를 들어 Park (2007)과 Park *et al.* (2009)은 중밀도섬유판, 합판, 파티클보드, 배향성 스트랜드보드 등 목질판상제품을 $400\sim 1000^\circ\text{C}$ 의 온도 범위에서 압체 탄화법으로 탄화하여 갈라짐과 뒤틀림이 전혀 없는 탄화보드를 개발한 바 있으며, 폼알데하이드 및 암모니아 제거율이 약 95% 이상임을 보고하고 있다. 이와 같이 탄화보드는 유해 화학물질에 대한 흡착력이 우수할 뿐만 아니라 조습, 흡음, 난연성 등도 우수한 것으로 알려져 있어 새로운 기능성 내장재료의 응용이 가능하기 때문에 향후 실용적인 가치가 매우 높을 것으로 기대되는 소재이다(Oh *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2014a; 2014b; Park *et al.*, 2014).

실내공기질의 개선을 위해서는 유해물질 방출이 적은 자재를 활용하는 것이 가장 효과적일 수 있으나, 본 연구에서는 기존 재료로 이미 조성된 실내 공간에서의 폼알데하이드 방출량을 저감시킬 수 있는 현실적인 방법의 하나로 탄화보드의 적용 가능성을 검토하였다. 이를 위해 기존에 널리 이용되고 있는 각종 건축자재들에 대한 폼알데하이드 방출 특성을 선행 조사하고, 탄화보드의 적용 면적에 따른 폼알데하이드의 저감 성능에 대한 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

현재 시판되고 있는 6종의 각종 건축재료(소나무 판재, MDF, 죽탄보드, 구조토판넬, 석고보드, 알로펜타일)와 탄화보드 1종 등, 총 7종을 공시재료로 이용하여 폼알데하이드 단기 흡착성능을 비교하였다. 탄화보드는 침엽수 목섬유 및 요소-폼알데하이드 접착제로 제조된 밀도 $0.72 \text{ g}/\text{cm}^3$, 두께 12 mm의 MDF(선창산업, 한국)를 전기 탄화로에서 800°C 로 탄화하여 제조하였다. 승온온도는 시간당 100°C 로 하였으며, 목표온도 도달 후 2시간 동안 유지시킨 후 자연 냉각하였다. 이때 탄화에 의한 시험편의 뒤틀림을 방지하기 위해 시험편의 상하부에 그라파이트판을 압제하여 탄화하였다(Park *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2014b). 폼알데하이드 단기 흡착성능을 비교하기 위

Table 1. Sample information

Materials	Features	Sample codes
Wood timber	oven-dried <i>Pinus densiflora</i> timber	Wood
MDF	commercial MDF (E0 grade) made by UF resin	MDF
c-board	carbonized at 800℃ using commercial MDF	c-board
c-bamboo board	carbonized bamboo with volcanic stone and binder	c-bamboo
Reference board	diatomite with slaked lime and natural pulp	Ref. 1
	gypsum with cement	Ref. 2
	mainly volcanic ash soil (allophane)	Ref. 3

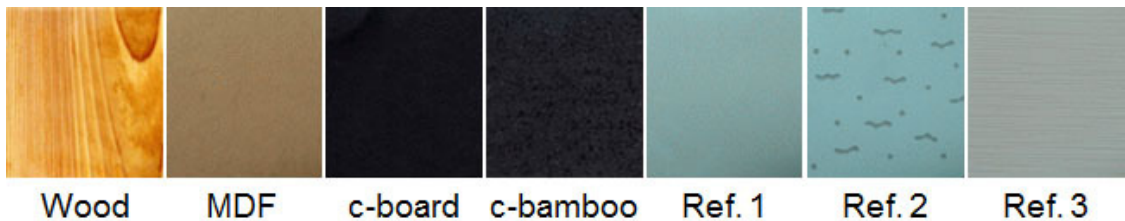


Fig. 1. Surface appearances of each sample.

한 각 공시재료의 주요 제원 및 외형은 각각 Fig. 1 과 Table 1에 나타났다. 한편 폼알데하이드 장기 흡착성능을 평가하기 위해서는 전술한 방법으로 제조한 탄화보드 및 요소-폼알데하이드 접착제로 제조된 폼알데하이드 방출량 E2급(5.0 mg/l 이하)의 파티클 보드(PB)를 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 단기 폼알데하이드 저감 성능 분석

폼알데하이드 단기 흡착성능은 KS F 2612 및 JIS A 1901에 의거하여 소형 챔버를 이용하였으며, 이 방법은 챔버 내에 일정 농도의 폼알데하이드를 지속적으로 공급하고 흡착성을 가진 특정 건축재료에 의해 폼알데하이드가 흡착 또는 분해됨에 따라 그 농도가 저감되는 수치를 측정하는 것이다. 각 공시재료를 165 mm × 165 mm의 크기로 재단하고, 대상 시험편의 노출 면적이 140 mm × 140 mm가 되도록 알루미늄 테이프를 이용하여 테두리와 뒷면을 마감하였다. 마감처리한 시험편을 향온기 일체형 건축재료의 흡착성능평가 챔버장치(ADPAC-A4-AH-MIX,

Adtec Co., Japan)에 설치하고, 동적상태의 폼알데하이드 흡착성능을 비교하였다. 챔버장치의 내부 주요 형상은 Fig. 2와 같다.

시험 전에 물질 전달을 제어형 소형 챔버를 해제하여 나사 등 부속품을 세정하고 260℃의 대형 오븐에서 Bake out을 실시하였다. 건조를 마친 부속품을 냉각시킨 뒤 다시 조립하여 약 1시간 동안 시운전하고 온도(28 ± 1℃) 및 습도(50 ± 5%)가 정상에 달한 것을 확인한 후, 챔버 내부에 시험편을 설치하였다. 이 후 챔버 내부를 충분히 환기시킨 뒤 폼알데하이드를 포함한 공기를 0.50 ppm으로 조절하여 강제로 흘러보내 챔버 내부의 농도를 유지시켰으며, 30분 간격으로 환기를 시켜주었다. 폼알데하이드 샘플링은 DNPH 카트리지에 0.5 l/min으로 10 l를 포집하였다. DNPH 카트리지에 포집된 폼알데하이드는 acetonitrile로 용해하여 탈리시킨 후 그 용출액을 Nova-Pac® C18 60 Å 4 μm (Waters Corporation, USA) 컬럼을 이용하여 HPLC (LC-20 Series, Shimadzu, Japan)로 정량 분석하였다. 이때 이동상 물질은 물과 acetonitrile (40 : 60)이었으며, 오븐온도는 40℃, 주입량은 10 μl, 검출파장은 360 nm였다.

Table 2. Experimental information for long-term formaldehyde adsorption test

Chamber	PBs in chamber		c-boards in chamber		c-boards input rate (%)	
	Number (ea)	Area (m ²)	Number (ea)	Area (m ²)	Against to chamber volume	Against to PBs area
1	16	2.56	-	-	-	-
2	"	"	1	0.05	2.9	2.2
3	"	"	3	0.16	8.7	6.5
4	"	"	5	0.27	14.5	10.8
5	"	"	10	0.55	29.1	21.6

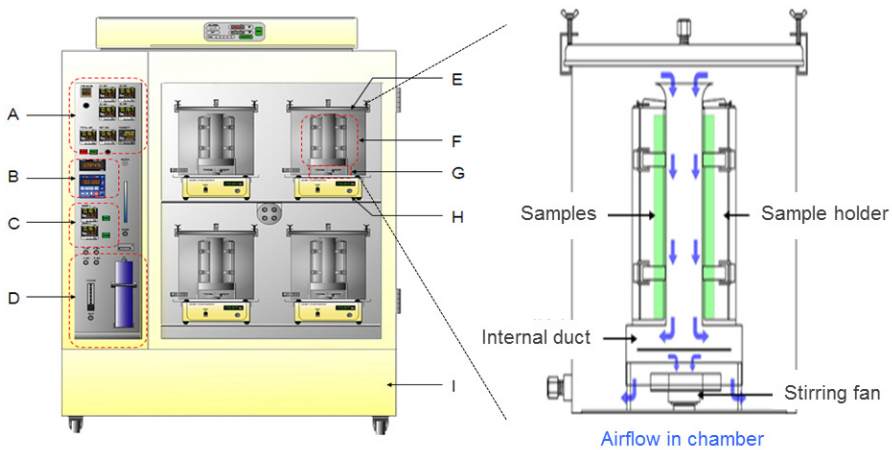


Fig. 2. Schematic diagram of apparatus for short-term formaldehyde adsorption test. A. air control unit; B. std. gas mixing unit; C. sampling pump; D. clean air generator; E. 20 ℓ chamber; F. laminar flow unit; G. fan; H. magnetic stirrer I. thermostatic incubator.

2.2.2. 장기 폼알데하이드 저감 성능 분석

공시재료 중 탄화보드의 폼알데하이드 장기 흡착 효과를 분석하기 위하여 Fig. 3과 같이 스테인리스 스틸로 내부를 처리한 1.9 m³ 크기의 챔버를 5개 제작하였다. 챔버 1에는 폼알데하이드 방출량 E2급의 PB를 40 cm × 40 cm (T: 15 mm)의 크기로 재단하고, 이들 총 16장(= 2.56 m²)을 벽면에 거치하여 Blank로 하였다. 챔버 2, 3, 4, 5에는 챔버 1의 내부와 동일한 조건으로 PB를 부착하고, 탄화보드(23.5 cm × 23.5 cm, T: 10 mm)를 챔버별로 각각 1매, 3매, 5매, 10매씩 투입하였다. 이때 챔버의 입구 가장자리는 외부공기의 차단을 위해 알루미늄 테이프로 밀봉하였다. 폼알데하이드 농도를 측정하기 위하여 챔버의

측면에 작은 구멍을 뚫고 잠금 코크가 달린 테프론 튜브관을 설치하고, 휴대용 폼알데하이드 농도측정기 (Formaldehyde meter htV-M, PPM Technology Ltd, UK)로 챔버 내부의 농도를 측정하였다. Table 2에 폼알데하이드 장기 흡착성능 분석을 위한 PB 및 탄화보드의 투입 제원을 나타냈다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 건축재료의 단기 폼알데하이드 저감 성능

Fig. 4는 흡착성능평가 챔버 장치로 들어가는 혼합 가스의 초기 폼알데하이드 농도를 0.50 ppm으로 조

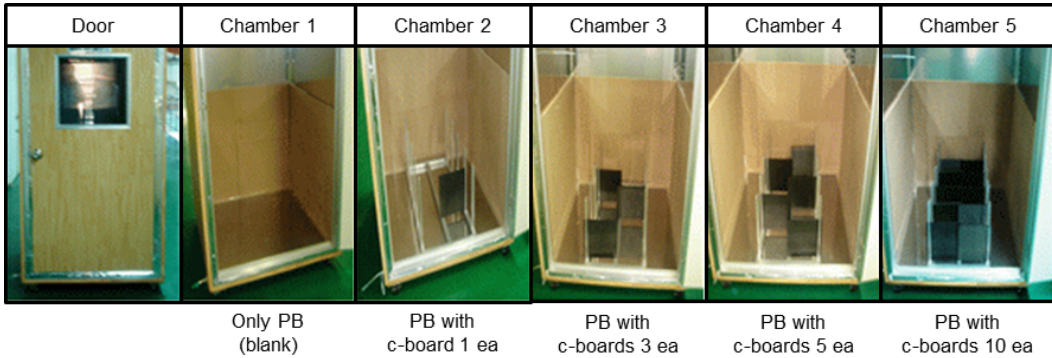


Fig. 3. Appearances of each chamber for long-term formaldehyde adsorption test.

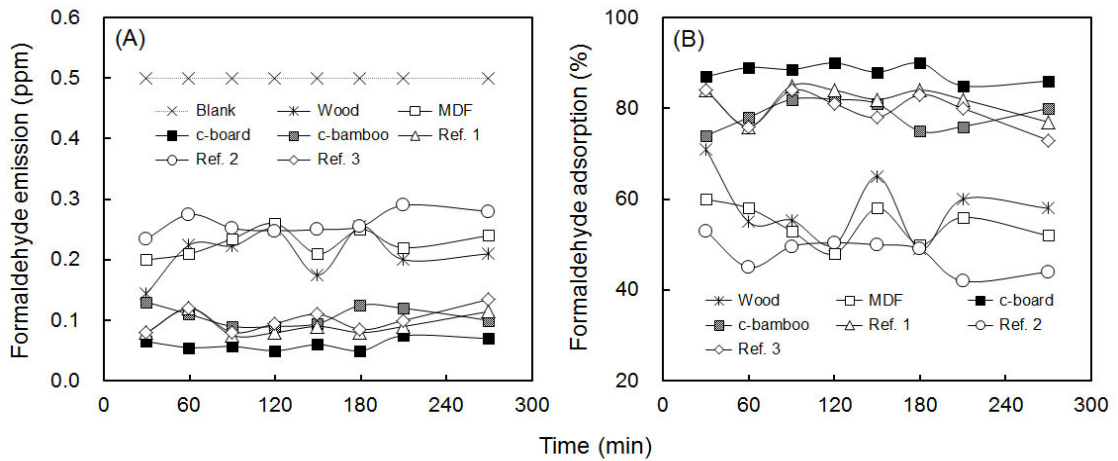


Fig. 4. Short-term formaldehyde emission (A) and adsorption (B) of each wooden building material.

절하여 강제로 흘려보낸 후 각종 건축재료의 폼알데하이드 방출량(A) 및 그 흡착률(B)을 270시간 동안 단기적으로 조사한 결과이다. 그 결과, 실험이 종료된 270시간 경과 시점에서 각 건축재료의 폼알데하이드 방출량은 석고보드(0.27 ppm), MDF (0.23 ppm), 소나무판재(0.21 ppm), 알로펜타일(0.11 ppm), 규조토판넬(0.09 ppm), 죽탄보드(0.08 ppm), 탄화보드(0.05 ppm) 순으로 나타났다. 이를 초기 폼알데하이드 농도에 대입하여 그 흡착률로 산출한 결과, 탄화보드(90%), 죽탄보드(84%), 규조토판넬(82%), 알로펜타일(78%), 소나무판재(58%), MDF (54%), 석고보드(46%)의 순서를 보였다. 석고보드는 주로 천장

마감재의 형태로 관공서, 학교, 사무실 등 다양한 건축물에 널리 이용되고 있는 건축재료로, Kim *et al.* (2008)에 의하면 별도의 환기 시설이 없는 실험실에 석고보드를 시공한 경우, 약 28일 경과 후에 실험실 내부의 폼알데하이드 농도는 약 37~52%까지 감소하는 것으로 보고하고 있어 본 연구결과와 유사한 범위를 나타냈다. 또한 최근 내장용 건축재료로 널리 활용되고 있는 규조토의 폼알데하이드 흡착성능을 분석한 Im *et al.* (2009)의 결과를 살펴보면 24시간 경과 후, 약 87%의 폼알데하이드를 흡착하는 것으로 보고하고 있다. 화산재의 일종으로 다공질 미세 입자인 알로펜을 주성분으로 하는 알로펜타일은 7일 경

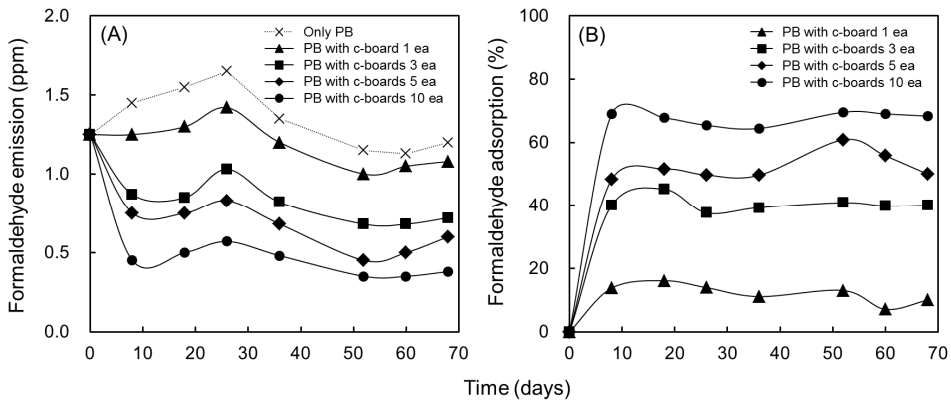


Fig. 5. Long-term formaldehyde emission (A) and adsorption (B) of particleboards filled chamber and its effect of c-boards input amount.

과 후 약 80%의 폼알데하이드 흡착 성능을 갖는 것으로 알려져 있어 본 결과와 유사한 수치를 나타냈다(Watanabe *et al.*, 2005). 한편 일반 MDF는 54% 수준의 폼알데하이드 흡착율을 나타냈으나 이를 탄화할 경우 흡착 성능은 약 90%까지 크게 향상되었는데, 이는 탄화에 의해 MDF가 다공질 탄소 구조를 가지게 됨으로써(Lee *et al.*, 2016) 이들 내부에 존재하는 미세기공의 물리 및 화학적 흡착 성능이 증대되었기 때문으로 설명할 수 있다. Lee *et al.* (2007)은 목탄 및 목탄 바이오 모르타르 등 목탄계 건축자재의 폼알데하이드 흡착성을 평가한 결과, 폼알데하이드 제거량은 약 80~90% 이상으로 목탄을 함유하지 않은 경우에 비해 3배 이상 높은 것으로 보고하고 있다. 또한 목질재료의 탄화기술을 이용한 다른 연구에서는 MDF 제조시, 접착제 중량 대비 6%의 적은 비율로 활성탄을 첨가하면 폼알데하이드 농도를 약 33%까지 감소시킬 수 있는 것으로 보고하고 있다(Darmawan *et al.*, 2010).

3.2. 탄화보드의 장기 폼알데하이드 저감 성능

Fig. 5는 PB로 채워진 1.9 m³ 크기의 챔버 내부에 탄화보드를 각각 0, 1, 3, 5, 10매 투입하여 폼알데하이드 방출량(A) 및 그 흡착률(B)을 68일간 장기적으로 조사한 결과이다. PB로만 채워진 챔버 내부는 26

일 경과 후, 폼알데하이드 농도가 1.61 ppm까지 올라갔으나 실험 종료 시점인 68일 경과 후에는 1.20 ppm으로 감소하였다. 그러나 탄화보드를 단 1매만 투입하더라도 폼알데하이드 방출량은 투입하지 않은 경우에 비해 평균 약 10% 감소하여 68일 경과 후에는 폼알데하이드 농도가 1.08 ppm의 수치를 나타냈다. 또한 탄화보드의 투입량이 증가함에 따라 폼알데하이드 농도는 크게 감소하여 10매 투입의 경우 평균 약 68%의 폼알데하이드를 흡착할 수 있는 것으로 나타났다. Park *et al.* (2016)은 PB 및 MDF의 폼알데하이드 방출량을 동일 조건에서 비교한 결과, PB는 약 5.03 mg/l(≒ 0.70 ppm)의 폼알데하이드를 방출한 반면, MDF는 약 1.15 mg/l(≒ 0.16 ppm)를 방출한 것으로 보고하고 있다. Brown (1999) 또한 동일 조건에서 PB는 MDF 보다 약 1.3배 이상의 폼알데하이드를 방출하는 것으로 보고하고 있다. 한편 Lee *et al.* (2016)은 PB와 MDF를 600℃에서 탄화하여 이들의 흡·방습성을 비교한 결과, 탄화 MDF가 탄화 PB 보다 약 1.7배 이상의 높은 성능을 나타내는 것으로 보고하고 있다. 이와 같이 목질판상제품간에 발생하는 유해물질의 방출 및 수분의 흡·방습 특성 차이를 이해하고 이를 상쇄시키기 위한 기초 자료를 얻기 위하여, 챔버의 크기 및 PB 면적 대비 탄화보드 투입량과 폼알데하이드 저감률 간의 상관성을 조사한 결과를 Fig. 6에 나타냈다. 탄화보드 투

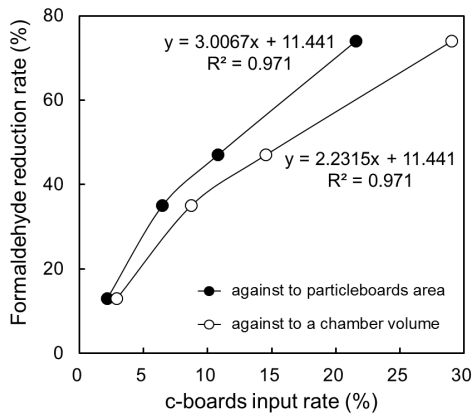


Fig. 6. Correlation between c-boards input rate and formaldehyde reduction rate.

입량이 증가함에 따라 폼알데하이드 저감률은 직선적인 증가 경향을 나타냈으며, 각 추세선의 R² 값은 모두 0.971로 높은 유의성을 나타냈다. 또한 탄화 MDF의 투입매수, PB 대비 탄화 MDF의 투입비율, 챔버 대비 탄화 MDF의 투입비율간의 p-value는 약 0.015로 매우 낮은 수치를 나타내어 탄화 MDF의 투입 정도와 폼알데하이드 저감 성능은 유의미한 상관관계를 나타내는 것으로 조사되었다. 따라서 본 결과를 통해 챔버의 크기 및 PB 면적 대비 탄화보드를 약 10% 투입할 경우 폼알데하이드는 약 38% 저감될 수 있으며, 탄화보드를 약 30% 투입한다면 약 75% 이상의 높은 비율로 폼알데하이드를 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 각종 건축재료의 폼알데하이드 방출 및 흡착 성능을 평가하고, 탄화보드의 투입이 이들에 미치는 영향을 조사하였다. 그 결과, 탄화보드는 소형 챔버 내에서 단기적으로 약 90%의 폼알데하이드 흡착 성능을 나타내었으며, 중형의 챔버 내에서는 장기적으로 75% 이상의 폼알데하이드를 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다. 특히 본 연구를 통해 특정 공간의 크기 및 기타 목질판상제품이 차지하는

면적 대비 탄화보드의 투입 비율에 따라 예상되는 폼알데하이드 저감 효과에 대한 데이터베이스가 구축되었다고 판단된다. 따라서 실내공기질의 쾌적성을 증대시키기 위한 일환으로 목질계 건축재료의 탄화 기술은 매우 중요한 의미를 가지며, 여기에는 모든 건축용 내장재료의 활용을 위한 응용 연구가 수반되어야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국립산림과학원 석·박사연구원십의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

REFERENCES

- Arts, J.H.E., Rennen, M.A.J., Heer, C. 2006. Inhaled formaldehyde: Evaluation of sensory irritation in relation to carcinogenicity. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 44: 144-160.
- Brown, S.K. 1999. Chamber assessment of formaldehyde and VOC emissions from wood-based panels. *Indoor Air* 9: 209-215.
- Casset, A., Marchand, C., Purohit, A., Calve, S., Uring-Lambert, B., Donnay, C., Meyer, P., Blay, F. 2006. Inhaled formaldehyde exposure: Effect on bronchial response to mite allergen in sensitized asthma patients. *Allergy* 61: 1344-1350.
- Darmawan, S., Sofyan, K., Pari, G., Sugiyanto, K. 2010. Effect of activated charcoal addition on formaldehyde emission of medium density fiberboard. *Journal of Forestry Research* 7(2): 100-111.
- Ferdosian, F., Pan, Z., Gao, G., Zhao, B. 2017. Bio-based adhesives and evaluation for wood composite application. *Polymers* 9(2): 70.
- Im, D.-H., Chu, Y.-S., Song, H., Lee, J.-K. 2009. Formaldehyde adsorption and physical characteristics of hydrothermal reacted panels using porous materials. *Journal of the Korean Ceramic Society* 46(6): 627-632.

- Ingresso, G. 2002. Free radical chemistry and its concern with indoor air quality: an open problem. *Microchemical Journal* 73: 221-236.
- JIS A 1901. 2015. Determination of the emission of volatile organic compounds and aldehydes by building products- Small chamber method. Japanese Industrial Standard (JIS), Japanese Standards Association, Tokyo.
- Kim, H.-J., Song, K.-D., Lee, Y.-G. 2008. A study of mock up test for reduction of HCHO using the functional gypsum board. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* 20(12): 814-819.
- Korea Ministry of Environment. 2004; 2017. Indoor air quality control in public use facilities, etc. act.
- KS F 2612. 2011. Performance test for evaluating the reduction of formaldehyde concentrations by sorptive building materials. Korea Standards Association, Seoul, Republic of Korea.
- Lee, H.-Y., Park, S.-B., Park, J.-Y., Lee S.-M. 2007. Emission characteristics of volatile organic compounds by finishing in a newly constructed wooden house. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 35(6): 83-90.
- Lee, M., Kang, E.-C., Lee, S.-M. 2016. Evaluation of anti-sapstain activity of rice powder adhesives modified with wood preservatives. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 44(6): 872-879.
- Lee, M., Park, S.-B., Byeon, H.-S., 2014a. Sound absorption and physical properties of carbonized fiberboards with three different densities. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 42(5): 555-562.
- Lee, M., Park, S.-B., Byeon, H.-S., Kim, J.-I. 2014b. Developing of sound absorption composite boards using carbonized medium density fiberboard. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 42(6): 714-722.
- Lee, M., Park, S.-B., Lee, S.-M. 2016. Comparison of moisture absorption/desorption properties of carbonized boards made from wood-based panels. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 44(3): 424-429.
- Lee, O.-K., Choi, J.-W., Jo, T.-S., Paik, K.-H. 2007. Adsorption of formaldehyde by wood charcoal-based building materials. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 35(3): 61-69.
- Oh, S.-W., Park, S.-B., Kim, J.-I., Hwang, J.-W. 2013. Effect of carbonization temperature on the thermal conductivity and electric properties of carbonized boards. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 41(1): 58-63.
- Park, B.-D., Kang, E.-C., Lee, S.-M., Park, J.-Y. 2016. Formaldehyde emission of wood-based composite panels with different surface lamination materials using desiccator method. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 44(4): 600-606.
- Park, S.-B. 2007. Charcoal board absorbing harmful VOC using wood-based panel and manufacturing method thereof. Korea Patent. No. 10-07765450000.
- Park, S.-B., Lee, M., Son, D.-W., Lee, S.-M., Kim, J.-I. 2014. Fire performance of carbonized medium density fiberboard manufactured at different temperatures. *Journal of Wood Science* 60: 74-79.
- Park, S.-B., Lee, S.-M., Park, J.-Y., Lee, S.-H. 2009. Manufacture of crack-free carbonized board from fiberboard. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 37(4): 293-299.
- Watanabe, O., Fukumizu, H., Ishida, H. 2005. Effect on reduction of harmful substances by using porous material with meso-pores. Tokyo, Japan, Proc. of 4th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, pp. 143-144.