

## 표면마감처리에 따른 목질보드의 포름알데히드 방산특성에 관한 연구\*<sup>1</sup>

소원택\*<sup>2†</sup> · 임진아\*<sup>3</sup>

### Study on the Characteristics of Formaldehyde Emission from Wood-Based Panels Treated with Several Surface Finishing Materials\*<sup>1</sup>

Won-Tek So\*<sup>2†</sup> · Jin-Ah Lim\*<sup>3</sup>

#### 요약

본 연구는 각종 실내디자인에 이용되는 목질보드의 포름알데히드(HCHO) 방산 특성과 몇 가지 VOC 저감 방법에 대한 포름알데히드의 방산량 변화를 측정하였다. 포름알데히드 방산량은 온도가 증가함에 따라 뚜렷이 증가하는 경향을 보였고, 측정 전 처리조건에 따라 포름알데히드 방산량의 현저한 변화가 나타났다. bake-out 처리 후의 목질보드의 포름알데히드 방산량은 대조구와 비교하여 감소함을 나타냈다. 시편에 urethane, cashew, water stain, oil stain coating을 했을 때 각 마감재료에 따라 포름알데히드 방산량의 차이가 확인되었으며, edge sealing 처리 후 두드러진 감소경향이 나타났다. TiO<sub>2</sub> coating은 일반광보다는 자외선 램프의 포름알데히드 저감효율이 좋았고, 자외선 램프의 조사시간이 길어지면 포름알데히드의 감소량도 증가하였다.

#### ABSTRACT

The present study examined the formaldehyde (HCHO) emission characteristic of various wood-based panel used in interior design, and measured changes in formaldehyde emission when a number of VOC reduction methods were applied. Formaldehyde emission showed a clear tendency of increase with the rise of temperature, and the concentration of formaldehyde emitted changed according to the preprocessing condition before measuring.

\*<sup>1</sup> 접수 2006년 2월 24일, 채택 2006년 5월 1일

\*<sup>2</sup> 전남대학교 농업생명과학대학 농업과학기술연구소: Inst of Agric. Sci. and Tech., Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea.

\*<sup>3</sup> 전남대학교 산림자원조경학부 임산공학전공 College of Agriculture & Life Science, Chonnam National University Wood Science & Engineering

† 주저자(corresponding author) : 소원택(e-mail: wtso@chonnam.ac.kr)

Formaldehyde emission from wood board after bake out treatment was lower than that of the control group. When specimens were coated with urethane, cashew, water, oil stain, they generally showed the decrease of formaldehyde emission, although varying according to finishing material, and when edge sealing was applied the decrease became significant.  $\text{TiO}_2$  coating was more effective in decreasing formaldehyde under ultraviolet lamps than under ordinary lamps. When the irradiation of ultraviolet lamps gets longer, formaldehyde emission decreased.

**Keywords:** MDF, PB, formaldehyde, bake-out, surface coating,  $\text{TiO}_2$  coating

## 1. 서 론

최근 각종 건물의 골격을 이루는 콘크리트 외에 실내장식이 이용되는 목질보드와 벽지 및 도료들의 대부분이 합성수지로 제조되기 때문에, 사용 후에 많은 휘발성유기화합물이 방산되어 실내 공기질을 악화시키고 있다. 실내오염의 실례로 빌딩증후군 또는 신축 빌딩 증후군(Sick Building Syndrome : SBS)의 원인은 주택의 에너지 절약 대책을 위해서 기밀화, 단열화가 진행된 결과 실내 환기의 저하를 불러 실내공간에서 발생하는 화학물질 농도의 증가에 따른 건물내 거주자들이 일시적 또는 만성적인 건강과 관련된 다양한 증상을 말한다(이 외, 2003). 특히 요소수지나 페놀수지와 같은 합성수지 접착제를 사용하여 만들어진 파티클보드(PB), 합판(plywood), 중밀도섬유판(MDF)과 같은 목질보드들로 제조된 실내마루판(flooring), 도어(door), 캐비닛(cabinet), 판넬(panels), 가구(furniture) 등과 각종 벽지부착에 사용된 접착제나 마감 도료에 사용된 용매로부터 포름알데히드(HCOH)와 기타 휘발성 유기화합물(VOC)이 발생하여 실내 공기질을 악화시키고 있다.

목질제품으로부터 방산되는 포름알데히드 방산문제는 80년대 당시 목제품산업의 주요 관심사였고 이는 현재도 마찬가지이다. 파티클보드, 합판과 중밀도섬유판과 같은 재료들의 포름알데히드 방산량을 감소시키는 연구가 시도되었다(Myers, 1983). UF나 MUF와 같은 아미노계 수지는 포름알데히드 방산의 중요한 부분을 차지하고 있으며, 많은 연구자들에 의해 연구가 수행되고 있다(Meyer, 1984).

1985년 전까지는 많은 양의 유리포름알데히드를 함유한 요소수지접착제가 목질보드제조에 사용되었

다(Marutzky, 1989). 더욱 요소수지로 제조된 파티클보드는 가구재와 같은 내장용으로 사용되므로 실내공기에 결정적인 영향을 주고 있다.

여러 경로를 통해 방산된 포름알데히드는 여러 가지 증상을 야기시킨다. 포름알데히드 방산을 감소시키기 위해, 요소나 페놀접착제를 대신할 가능성을 가진 물질을 개발하는 연구(Pizzi, 1994)와 이러한 접착제를 사용한 포름알데히드 저 방산 목제품을 만들기 위한 연구가 오랫동안 진행되고 있다(Trosa and Pizzi, 2001).

본 연구에서는 포름알데히드를 함유하고 있어 실내 공기질에 영향을 줄 수 있는 대표적인 목질보드의 포름알데히드 방산특성을 측정하고, 최근 실내 공기오염물질 저감 방안으로 연구되고 있는 bake-out, 마감처리, 광촉매코팅을 선정하여 오염물질 저감 효과를 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

본 실험에서는 실내건축자재 및 가구재로 주로 사용하는 두께 12 mm의 중밀도 섬유판과 파티클보드를 선정하였다. 사용된 도료는 A사에서 분양받은 우레탄 상도도료, 워터스테인계 도료, 오일스테인계 도료와 캐슈 도료를 사용하였다. 광촉매 코팅에 사용된 촉매는 이산화티타늄 분말(Degussa, anatase, 26  $\mu\text{m}$ )을 사용하였고, 광원으로는 20 W 형광등(번개표 FL20DS, 자외선 파장 185~245 nm)과 20 W BLB lamp (20 W F20T10, 자외선파장 315~400 nm)를 사용하였다.

## 2.2. 실험방법

본 연구에서는 목질보드에서 발생하는 포름알데히드의 특성을 알아보기 위하여 한국산업규격(KS F 3104, 3200)의 데시케이터법을 사용하여 일정한 온·습도( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $65 \pm 5\%$ )가 유지되는 항온항습실에서 시행하였다.

### 2.2.1. 목질보드의 포름알데히드 방산량 측정

온·습도( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $65 \pm 5\%$ )도 일정하게 유지되는 항온항습실에 보관된 동일한 시편을 90일 동안 8회 측정하여 시간의 경과에 따른 중밀도 섬유판과 파티클보드내의 포름알데히드 변화를 측정하였다.

온도에 따른 포름알데히드 방출량을 측정하기 위해 데시케이터를 온도가 20, 25, 35,  $45^\circ\text{C}$  (60%)로 설정된 항온항습기(VISION, VS-8111H-350)에 넣어서 포집기간중 시험편의 온도저하를 가능한 억제하도록 하여, 각각의 온도에서 24시간동안 포름알데히드를 포집하였다(이 외, 2004).

전처리 조건이 포름알데히드 방산에 미치는 영향을 조사하기 위해 목질보드 시험편을 서로 다른 조건에서 처리 후 곧바로 실험을 실행하였다. 각 시험편의 전처리 조건은 다음과 같다(KS F 3104, 3200).

- 건건조건(oven-dried condition)  
:  $105^\circ\text{C}$ 에서 항량에 도달할 때 까지 건조
- 기건조건(air-dried condition)  
:  $25^\circ\text{C}$ , 60%(RH)에서 7일간 처리
- 흡습조건(moisture-absorbed condition)  
:  $25^\circ\text{C}$ , 85%(RH)에서 7일간 처리
- 흡수조건(water-absorbed condition)  
: 실온의 수중에서 24시간 처리
- $4^\circ\text{C}$ , 30%(RH)에서 7일간 처리

### 2.2.2. 포름알데히드 저감처리

$25$ ,  $35$ ,  $50^\circ\text{C}$ 로 설정한 항온항습기내에 목질보드 시험편을 각각의 온도에서 0(무처리 시험편), 6, 24, 72, 120시간 동안 bake-out 처리한 즉시 포름알데히

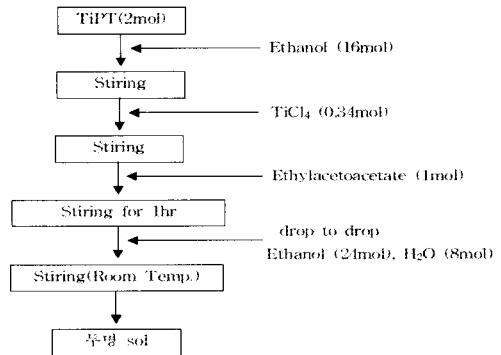
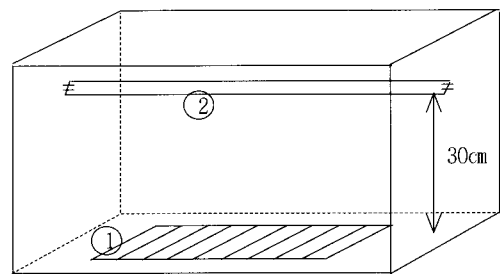


Fig. 1. Formation of  $\text{TiO}_2$  sol.



1.  $\text{TiO}_2$  coated samples 2. Light source  
Fig. 2. Schematics of the experimental system.

드 방산량을 조사하였으며 각 온도별로 3개씩 3반복하여 측정하였다. bake-out 처리 온도는 한국의 계절 변화에 따른 실내바닥온도를 기준으로 설정한 것이다 (Park *et al.*, 2003).

12 mm 중밀도 섬유판과 파티클보드는 연마지(#280)를 이용하여 표면을 연마한 후 바코터(bar coater,  $32 \mu\text{m}$ )를 사용하여 도료제조회사의 표준도포량에 따라 각 도료를 균일하게 2회 도포한 후 상온경화시켰다. 표면 처리 방법으로 양면 도포한 시편의 모서리는 edge sealing이 포름알데히드방산의 영향을 조사하기 위해 aluminum double tape으로 처리를 하였다(박 외, 2004).

Fig. 1과 같이 제조된  $\text{TiO}_2$  용액의 도포후 상온 건조한 목질보드 시험편의 포름알데히드 방산량의 변화를 조사하기 위해 적용하였다. 타 광원의 영향을 피하기 위해 Fig. 2에서와 같은 상자내부에 형광등과 자외선 램프를 조사거리 30 cm로 설치·사용하여 광원의

종류에 따른 포름알데히드 분해 정도를 알아보는 실험을 했하였다. 또한 자외선 램프의 조사시간을 달리 하여 포름알데히드 분해효율을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 포름알데히드 방산특성

##### 3.1.1. 경시변화

시간경과에 따른 목질보드의 평균농도의 변화는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에서 중밀도섬유판의 초기 포름알데히드 방산량은 7.3 mg/l 이고 3일이 경과한 후 7.9 mg/l 으로 최대 포름알데히드 방산량을 보였다. 파티클보드의 초기 방산량은 6.3 mg/l 이고 최대포름알데히드 방산량은 7.6 mg/l 으로 3일이 경과한 후 중밀도 섬유판과 마찬가지로 최대 포름알데히드 방산량을 나타내었으며, 일반적으로 시간이 지남에 따라서 초기에는 그 방출량이 높데 나타내면서 점차로 감소하는 특성을 보였다(S.K.Brown, 1999).

최대 포름알데히드 방산량을 보인 3일이 경과한 후 포름알데히드 방산량은 점차적으로 감소하여 90일째에 중밀도 섬유판은 2.8 mg/l, 파티클보드는 2.7 mg/l 으로 시험편의 노출시간이 길어지면 포름알데히드 방산량이 현저히 감소함을 보여준다.

##### 3.1.2. 온도의 영향

Fig. 4는 온도의 변화에 따른 중밀도 섬유판과 파티클보드의 포름알데히드의 방출량을 보여준다. 중밀도 섬유판은 20°C에서는 8.3 mg/l, 25°C에서 8.8 mg/l, 35°C에서 13.8 mg/l, 45°C에서 15.9 mg/l 으로 온도가 상승함에 따라 포름알데히드 방출량이 증가함을 보였다. 파티클보드 역시 8.8, 9.2, 13.7, 16.4 mg/l 으로 온도 상승에 따라 방출량이 증가하였다. 중밀도 섬유판과 파티클보드에서 방출되는 포름알데히드 방산량은 온도가 증가됨에 따라 현저히 증가함을 나타냈다. 이는 포름알데히드 방산에 미치는 주요한 요인 중 하나가 온도라는 것을 확인할 수 있었다(Myers,

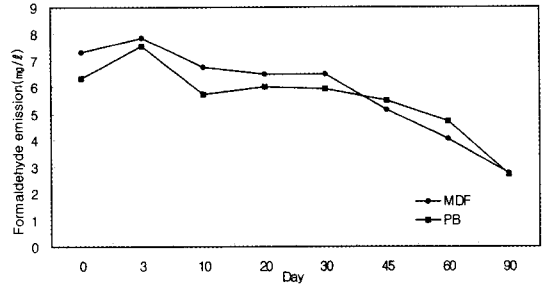
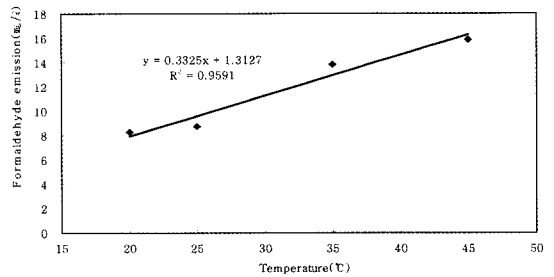
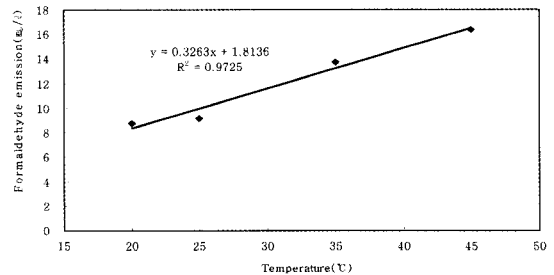


Fig. 3. Formaldehyde emission by time from MDF and PB.



(a) MDF



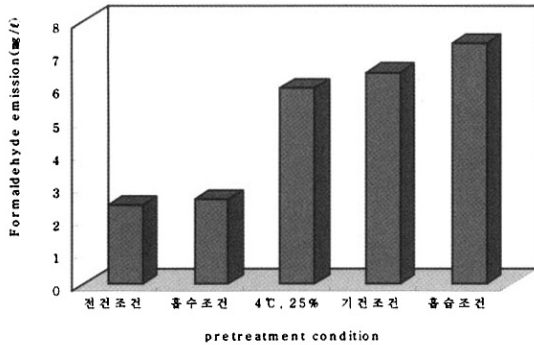
(b) PB

Fig. 4. The effect of temperature on formaldehyde emission from MDF and PB.

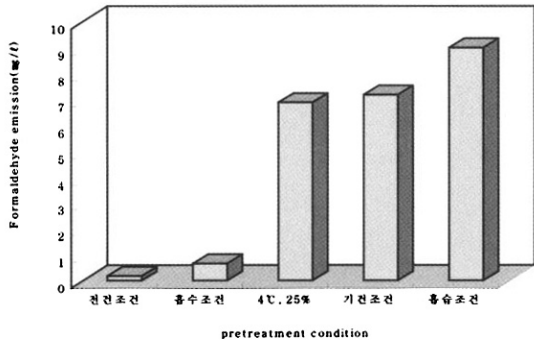
1985; Renata Wiglusz *et al.*, 2002).

##### 3.1.3. 전처리조건의 영향

Fig.5(a)는 중밀도 섬유판의 전처리조건에 따른 포름알데히드 방산량을 보여주고 있다. 중밀도 섬유판은 흡습조건일 때 7.3 mg/l 으로 가장 높은 방산량을 나타내고 있으며, 흡수조건에서 2.4 mg/l 으로 낮은 포름알데히드 방산량을 나타내었다. Fig.5(b)에서



(a) MDF



(b) PB

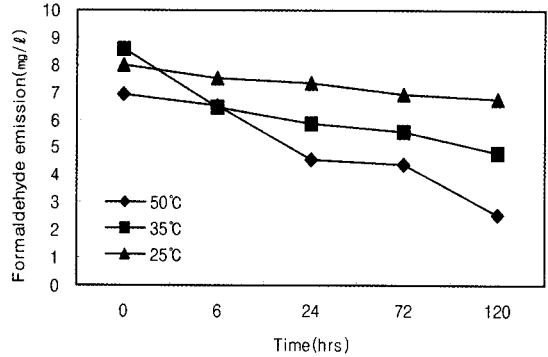
Fig. 5. The effect of pretreatment condition on formaldehyde emission from MDF and PB.

파티클보드 역시 흡습조건에서 9.0 mg/l로 중밀도 섬유판과 마찬가지로 높은 방산량을 나타내고 있다. 그러나 파티클보드의 최저 포름알데히드 방산량은 전건조건에서 0.2 mg/l으로 나타났다. 흡습에 의한 포름알데히드 방산량 증가는 박 등(Park *et al.*, 2003)의 연구결과와 동일하며 이런 결과는 중밀도 섬유판과 파티클보드의 각 전처리 조건에 따라 포름알데히드 방산량이 다르게 나타남을 알 수 있다.

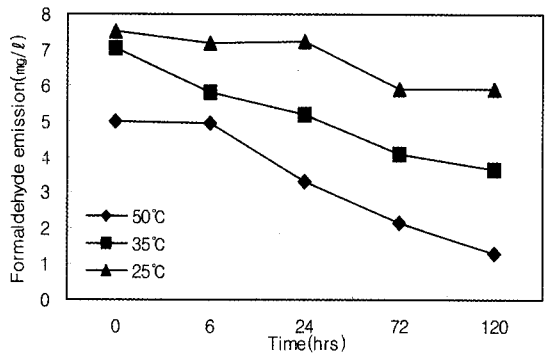
### 3.2. 포름알데히드 방산저감 처리

#### 3.2.1. 베이킹 아웃(bake-out)

중밀도 섬유판의 bake-out을 실행한 결과는 Fig. 6(a)와 같다. 처리 온도는 25, 35, 50°C에서, 각각 8.0, 8.6, 6.6 mg/l으로 높은 초기 포름알데히드 방산량



(a) MDF



(b) PB

Fig. 6. Formaldehyde emission after bake out the MDF and PB.

이 나타났지만 bake-out을 시행함에 따라 급격하게 감소하였다. Fig. 6(b)에서 파티클보드 역시 높은 초기 포름알데히드 방산량이 나타나다가 bake-out이 진행됨에 따라 방산량의 감소가 눈에 띄게 나타났다.

본 실험 결과는 bake-out이 시행되는 온도와 시간이 포름알데히드 방산량에 많은 영향을 준다는 것을 보여준다. 중밀도 섬유판과 파티클보드는 bake-out 온도 50°C, 시행 120시간 이후의 포름알데히드 방산량의 감소 결과는 KS에서 제시하고 있는 E<sub>2</sub>형 기준을 만족시키고 있었다.

#### 3.2.2. 코팅법(Surface Coating)

Fig. 7(a)에서 양면 코팅한 중밀도 섬유판은 cashew, urethane, water, oil 도료 순으로, 8.5, 8.2, 5.4, 5.3 mg/l의 포름알데히드 방산량을 나타냈다(윤 등,

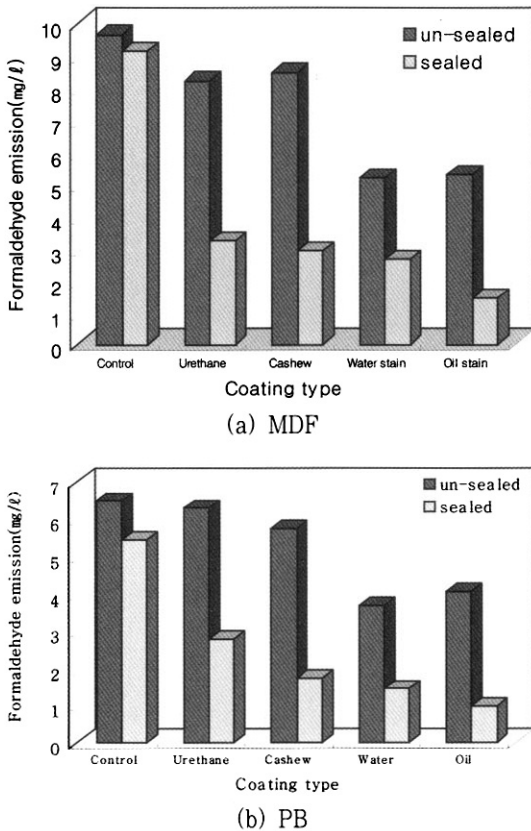


Fig. 7. Formaldehyde emission of MDF and PB, depending on finishing types (Both-sided) and edge sealing.

2004). Fig. 7(b)의 파티클보드는 urethane, cashew, oil, water 도료를 코팅했을 때 6.2, 5.8, 4.1, 3.7 mg/l의 포름알데히드 방산량을 보였다. 또한 각각의 보드에 edge sealing을 했을 때 포름알데히드 방산량의 현저한 감소가 나타났다.

이 결과, 포름알데히드 방산량에 있어서 도료에 따른 차이가 나타났지만 edge sealing의 시행여부에 따라 KS 규격의 E<sub>1</sub>형까지 충족시켜 줄 수 있었다. 따라서 시편의 목질보드의 포름알데히드 방산량은 표면 마감처리상태에 따라 달라진다.

### 3.2.3. TiO<sub>2</sub> Coating

TiO<sub>2</sub> 광촉매에 자외선을 조사시키면 superoxide

radical(O<sub>2</sub><sup>-</sup>·), hydroperoxy radical(HO<sub>2</sub><sup>-</sup>·), OH radical(OH·)을 생성하게되면 이들은 실내공기 오염물질인 포름알데히드와 광촉매 산화반응을 일으켜서 포름알데히드 방산량을 저감시키는 작용을 하게 된다(이 등, 2002). 따라서 본 실험에서는 목질보드류의 TiO<sub>2</sub>의 포름알데히드 저감효과를 규명하기 위해서 실시했다.

#### 3.2.3.1. 광원의 영향

Fig. 8(a)는 중밀도 섬유판과 파티클보드의 표면을 Binder법으로 코팅한 후, 광촉매 반응에 있어 요구되는 광원의 영향을 실험적으로 규명하기 위해 20 W 형광등과 자외선 램프를 이용하여 1시간 조사하였을 때 포름알데히드 분해 효율을 나타낸 것이다. Fig. 8(a)에서 보듯이 형광등만을 사용했을 때에는 중밀도 섬유판과 파티클보드는 5.7 mg/l, 6.0 mg/l, 반면에 자외선 램프를 조사하였을 경우에 각각 4.7, 5.2 mg/l로 나타났다.

Sol-gel법에 의해 제조된 sol을 목질보드에 코팅하여 상온에서 건조시킨 샘플을 사용하여 조사시간에 따른 포름알데히드 분해에 미치는 영향을 조사한 결과는 Fig. 8(b)와 같이 나타났다.

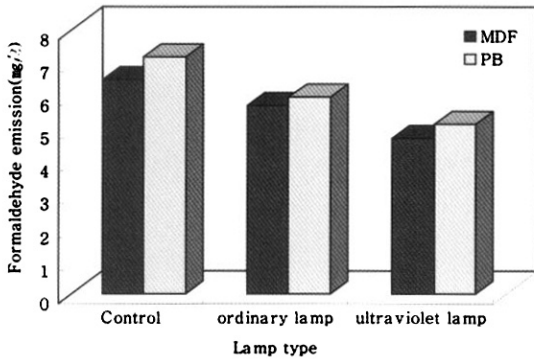
형광등만을 사용했을 때, 중밀도 섬유판과 파티클보드는 6.5, 7.2 mg/l로 무처리 시편과 비교하여 제거율의 차이가 나타나지 않았지만 자외선 램프를 조사하였을 경우에 중밀도 섬유판과 파티클보드는 4.5, 4.9 mg/l로 포름알데히드 방산량이 낮아졌음을 확인할 수 있었다.

본 실험결과는 촉매반응에 영향을 미치는 자외선과 장을 내는 자외선 램프가 형광등에 비해 포름알데히드 분해 효율이 높은 것을 볼 수 있다.

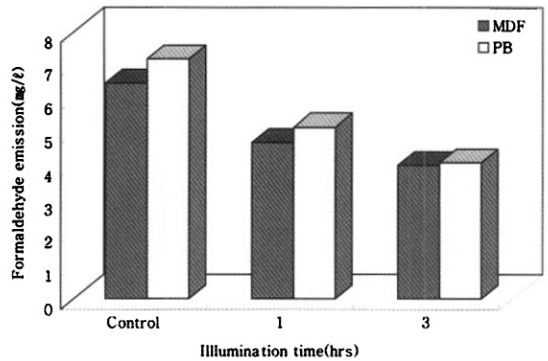
#### 3.2.3.2. 조사시간

포름알데히드의 분해에 있어 광원의 조사시간이 미치는 영향을 알아보기 위해 자외선 램프의 조사시간을 달리하여 실험하였다.

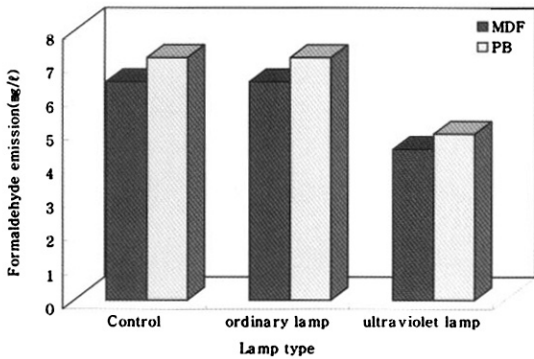
Fig. 9(a)는 목질보드의 표면에 Binder법으로 광촉매 코팅하였을 때 자외선 램프의 조사시간에 따른 포름알데히드 방산량을 나타내고 있다. 1시간에서 3시간으로 자외선 램프의 조사시간을 늘렸을 경우에 중



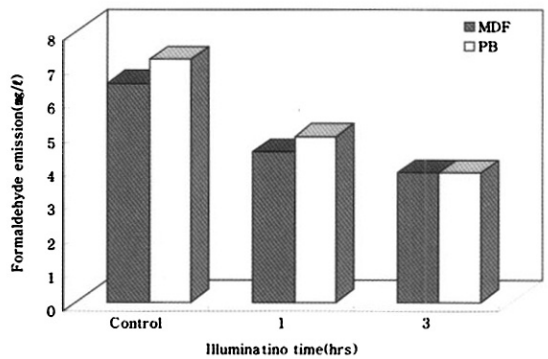
(a) Binder method



(a) Binder method



(b) Sol-gel method



(b) Sol-gel method

Fig. 8. Formaldehyde emission from MDF and PB, depending lamp type.

Fig. 9. Formaldehyde emission from MDF and PB, depending irradiation time of ultraviolet Lamp.

밀도 섬유판은 3.8 mg/l, 파티클보드는 3.8 mg/l로 1 시간 조사하였을 경우보다 방출량의 감소가 나타났다.

Sol을 코팅한 샘플은 Fig. 9(b)에서 조사시간에 따른 영향을 보면, 자외선 램프를 3시간 조사하였을 때 높은 제거효율을 나타나 광촉매 코팅시 자외선 램프로 3시간 이상 조사하였을 때 KS 규격의 E<sub>2</sub>형을 만족시키고 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 목질보드를 대상으로 포름알데히드의 방출특성을 조사하고 목질보드에 bake-out, 표면 마감처리, 광촉매 코팅의 시행과 같은 후처리 방법을 통한 포름알데히드 저감정도를 측정하였다.

1) 시간경과에 따른 포름알데히드의 방출농도특성을 살펴본 결과 모두 실험초기에 포름알데히드가 고농도로 방출되며, 시간의 경과에 따라 급격하게 감소하였다.

2) 목질보드는 처리 온도가 증가할수록 포름알데히드 방출량이 증가하였으며, 전처리 조건에 따라 방출량의 차이가 나타났다.

3) 중밀도 섬유판과 파티클보드 모두 bake-out 온도와 시간이 증가할수록 포름알데히드 방출량은 현저하게 감소하였다.

4) 중밀도 섬유판과 파티클보드에 urethane, cashew, water, oil 도료를 각각 양면 코팅하였을 때 도료의 종류별 포름알데히드 방출량의 차이는 인정되지만 도료의 코팅보다 edge sealing의 유무가 포름알

데히드 방출에 보다 큰 영향을 보여주었다.

5) TiO<sub>2</sub> coating은 일반광보다는 자외선 램프의 포름알데히드 저감효율이 좋았고, 자외선 램프의 조사시간이 길어지면 포름알데히드의 감소량도 증가하였다.

본 연구에서 구멍된 목질보드의 포름알데히드 방출특성과 저감방안은 건강한 실내 공기질의 유지를 위한 적절한 재료 선정과 방출기준의 설정 및 실내 공기질 관리방안을 규정하는데 있어서 기초 자료로 사용될 수 있기를 희망한다.

## 사 사

이 논문은 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업(바이오하우징연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

1. Korean (Industrial) Standard. 2002. KS standard specification for particle boards. KS F 3104.
2. Korean (Industrial) Standard. 2002. KS standard specification for fiberboard. KS F 3200.
3. 윤동원. 2004. 건축자재에서 발생하는 오염물질과 특성. 설비/공조·냉동·위생. 1: 69~79.
4. 이영규, 김현중. 2004. 온도변화에 따른 MDF의 Formaldehyde와 VOC 방산량. 2004춘계학술발표논문집. 한국 목재공학회 57~60.
5. 이영규, 양한승, 김현중. 2003. 목질복합재료와 실내공기질. 목재공학 31(5): 1~14.
6. 이윤정, 임남용, 임한진, 선주남, 김태년. TiO<sub>2</sub>로 코팅된 벽지와 한지를 이용한 포름알데히드 분해. 2002 대한환경공학회지 24(6): 967~976.
7. Brown, S. K. 1999. Chamber assessment of formaldehyde

- and VOC Emissions from wood-based panels. *Indoor Air*. 9: 209~215.
8. Park B. D., E. C. Kang, and J. Y. Park. 2004. Formaldehyde emissions of wood panel products with different surface finishing materials. *KFRI J. FOR. Sci.* 67. pp. 112~116.
9. Park J. Y., E. C. Kang, B. D. Park, and I. A. Kang. 2003. Evaluation of free-formaldehyde emission from wood-based floorings using model of the Korean floor heating system(ONDOL). *IAWP2003(2)*. pp. 813~820.
10. Marutzky, R. 1989. Release of formaldehyde by wood products. In: *Wood Adhesives: Chemistry and Technology*. Vol. 2. Pizzi, A. Ed, Marcel Dekker Inc, New York. pp. 307~387.
11. Meyers, B. and K. Hermanns. 1985. Formaldehyde release from pressed wood products. In: *Formaldehyde: Analytical Chemistry and Toxicology*. V. Turoski. Ed, Advances in Chemistry Series 210. American Chemical Society, Washington, D.C., pp. 101~116.
12. Myers, G. E. 1984. How mole ratio of UF resin affects formaldehyde emission and other properties: A literature critique. *Forest Prod. J.* 34(5): 35~41.
13. Myers, G. E. 1985. The effects of temperature and humidity on formaldehyde emission from UF-bonded boards: a literature critique. *Forest Prod. J.* 35(9): 20~31.
14. Pizzi, A. 1994. Phenolic resin adhesives. *Handbook of adhesive Technology*. 329~346.
15. Trosa A. and A. Pizzi. 2001. A no-aldehyde emission hardener for tannin-based wood adhesives for exterior panels. *Holz Roh-werkst.* 59(4): 266~271.
16. Wiglusz, R., E. Sitko, G. Nikel, I. Jarnuszkiewicz, and Igielska, B. 2002. The effect of temperature on the emission of formaldehyde and volatile organic compounds(VOCs) from laminate flooring - case study. *Building and Environment*. 37: 41~44.