

목질제품의 포름알데히드방출량 측정방법과 개선방안

Measuring Methods and Their Improvement of Formaldehyde Emission from Wood-Based Panels

박병대 · 박종영

목질제품의 포름알데히드방출량 측정방법과 개선방안

박병대*, 박종영**

Measuring Methods and Their Improvement of Formaldehyde Emission from Wood-Based Panels

Byung-Dae Park*, Jong Young Park**

목 차	
1. 서론	4.3. 외국의 포름알데히드방출량 기준
2. 포름알데히드 특성 및 방출문제의 배경	4.3.1. 일본
3. 포름알데히드방출량 측정방법	4.3.2. 미국
3.1 데시케이터법	4.3.3. 유럽
3.2 퍼포레이터법	4.4. 우리나라와 일본의 포름알데히드방출 건축자재 사용규제 기준 대비
3.3 챔버법	5. 포름알데히드측정방법의 비교검토
3.3.1 20ℓ 소형챔버법	6. 포름알데히드방출량 측정방법의 개선방안
3.3.2 1m ³ 소형챔버법	6.1. 데시케이터법의 개선안
3.3.3 대형챔버법	6.2. 목질제품의 포름알데히드방출량 측정 방법 개선안
4. 국내외 포름알데히드방출량 기준 현황	7. 인용문헌
4.1. 각국의 실내 포름알데히드농도 기준	
4.2. 우리나라의 포름알데히드방출량 기준	

ABSTRACT

This paper attempted to review measuring methods of formaldehyde emission from wood-based panel products. Methods included for the discussion were desiccator methods, extraction method, and various chamber methods. First, the procedures and testing conditions of 24-hour desiccator method was critically reviewed, and an improvement of this method was proposed to meet international standards. Two different small chamber methods (20ℓ and 1m³ chamber methods) were also compared in terms of their advantages and disadvantages. In addition, the regulation levels of formaldehyde emission of wood-based composite panels were compared for different countries. The selection of a reference method of measuring formaldehyde emission of wood panel products should consider the ease of conducting test and cost required. Results should be exchangeable for different methods.

*,** 국립산림과학원 목재가공과, Department of Forest Products, Korea Forest Research Institute (KFRI),
207 Cheongyangni- 2 Dong, Seoul, 130-712, Republic of Korea.

1. 서 론

우리나라는 급속한 산업화 과정에서 관련 산업기술의 발전이 이루어져 왔으며, 목재산업의 경우도 예외는 아니다. 특히 목질보드공업은 1990년대 이후 비약적으로 발전하여 세계적인 목질보드 생산, 소비국이 되었으며 기술수준도 크게 향상되었다. 이와 같은 목질보드공업의 성장 배경에는 세계적인 목재자원정세의 변화에서 열대재 또는 대경재의 공급이 감소함에 따라 소경재 및 폐목재를 이용할 수 있는 파티클보드(PB: particleboard), 중밀도섬유판(MDF: medium density fiberboard) 및 OSB(oriented strandboard) 등의 목질패널제품의 수요가 지속적으로 증가해 왔다. 이들 목질제품들은 파티클 또는 섬유상 원료로 구성되기 때문에 어떠한 형태의 목재도 사용할 수 있는 장점이 있다.

그러나 파티클이나 목섬유로 목질보드를 제조하기 위해서는 필수적으로 접착제가 사용된다. 현재 쓰여지는 목재접착제는 대부분 포름알데히드를 사용하는 열경화성 고분자 물질이다. 목질보드 사용의 증가는 접착제에서 발생하는 포름알데히드 방출문제를 야기한다. 실내에 방출되는 포름알데히드는 인체에 대량 흡입 시 발암물질로 알려져 주택이나 다중이용시설에서 실내 환경문제의 초점이 되고 있다. 아울러 포름알데히드와 함께 문제가 되는 것은 인체에 유해한 각종의 휘발성유기화합물(VOC : volatile organic compound)이다. 이들 물질에 의한 실내공기오염문제가 크게 대두되는 것은 건축물의 단열성을 높이고 에너지 손실을 줄이기 위해 기밀성(氣密性)을 증가시켰기 때문이다. 특히 많은 사람들이 동시에 같은 장소를 이용하는 다중이용시설에서 실내공기질의 관리는 국민의 건강과 직접 관련된다.

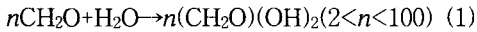
이에 2004년 5월부터 시행된 「다중이용시

설 등의 실내 공기질관리법」은 시의적절하다고 할 수 있다. 개정법령에서는 ①적용대상 다중이용시설을 확대하고 신축공동주택을 포함시켰으며, ②다중이용시설의 오염물질 유지기준 및 권고기준을 정하고 공기질 측정과 환기설비를 의무화하였으며, ③포름알데히드 및 VOC(휘발성유기화합물)을 다량 방출하는 건축자재의 사용을 제한하고, ④신축공동주택은 포름알데히드와 6종의 VOC 방출량을 측정, 공고토록 규정하였다. 또한 환경부에서는 동법 제4조에 의거하여 실내공기질 및 오염물질 방출 건축자재의 평가를 위한 「공정시험방법」을 제정, 고시하였다. 그러나 실내공기질 관련법령에 정하고 있는 오염물질(포름알데히드, VOC) 방출 건축자재의 기준 및 시험방법, 그리고 관리체계의 현실성 및 실효성에 대해서는 많은 논란이 제기되어 왔다.

목질보드를 비롯한 접착제품의 포름알데히드방출량 측정방법에 대하여는 세계적으로 다양한 방법이 있으며, 각각 장단점과 특성을 지니고 있다. 우리나라에서는 일본과 마찬가지로 오랫동안 방출 포름알데히드의 포집, 분석이 용이한 '데시케이터법'을 사용해 왔다. 이 방법을 이용한 많은 데이터와 연구결과가 축적되어 있으며, 현장에서의 품질관리가 이루어져 왔다. 한편 「실내공기질관리법」에 의거한 오염물질방출 건축자재의 시험방법으로서 2003년 1월에 제정, 고시한 일본공업규격(JIS A1901)의 방법과 유사한 '20ℓ 소형챔버법'을 주시험방법으로 정하고 있다. 이와 함께 국제표준화기구 목질패널위원회(ISO TC89)에서는 '1m' 소형챔버법'을 2002년 11월에 최종 확정하였다. 이에 본고에서는 각국의 목질제품의 포름알데히드방출량 기준 및 측정방법을 비교, 검토하고 문제점을 분석하여 포름알데히드방출량 측정에 보다 합리적인 개선안을 제시코자 하였다.

2. 포름알데히드 특성 및 방출문제의 배경

포름알데히드(formaldehyde)는 무색의 자극적인 가스로 화학구조는 CH_2O 로 되어 있으며 카르보닐그룹($\text{C}=\text{O}$)의 존재로 인하여 화학적 반응성이 매우 크다. 그 물리적 특성은 <표 1>에 나타낸 바와 같다. 대기 중에 포름알데히드는 농도는 약 0.03ppm 이하이다. 포름알데히드 농도 37% 전후의 수용액을 포르말린(formalin)이라 하며, 용액은 아래 반응식(1)과 같이 주로 폴리메틸렌글리콜(polymethylene glycol) 상태로 존재한다. 포름알데히드는 반응성이 높아서 다양한 용도로 사용되고 있으며, 대부분의 목재접착제뿐만 아니라 도료의 제조에도 사용되고 있다.



파티클보드에서 포름알데히드가 방출된다는 사실은 1943년에 Fahrmi(1943)에 의해 처음 알려졌으며, 이에 대한 관련업계의 회의가 1966년에 독일에서 개최되었다. 또한 일반인으로써 최초로 포름알데히드방출 문제를 제기한 사람은 1973년에 독일 Karlsruhe에 있는 학교의 교사이며, 그는 자극적인 냄새 때문에 교실에서 근무할 수 없다는 문제를 제기하였

다(Deimel, 1978). 이러한 현상은 세 가지 요인, 즉 교실내의 충분치 못한 환기시스템, 과도한 파티클보드의 사용, 파티클보드로부터의 과도한 포름알데히드 방출 등이 함께 작용한 것으로 알려져 있다(Meyer & Hermanns, 1985). 그리고 1970년대 후반에 오일쇼크로 인하여 가정에서 실내의 열기를 유지하기 위한 건축구조로 인하여 氣密性이 증가하여, 점차적으로 포름알데히드 방출문제가 심각화 되었다. 독일은 1980년에 세계 최초로 포름알데히드 방출에 관한 지침을 채택하였다(Marutzky & Margosian, 1995).

포름알데히드 방출에 영향을 미치는 요인에는 여러 가지가 있다. 가장 우선적으로 목재 자체가 포름알데히드를 방출할 수 있는 물질을 포함하고 있다는 점이다(Marutzky, 1989). 그러나 Schafer와 Raffael(1999)은 목재 파티클과 목섬유를 고온에서 3시간 열처리한 다음에 목재 구성성분의 포름알데히드 방출 잠재성을 검토한 결과 리그닌이 셀룰로오스나 헤미셀룰로오스보다 잠재성이 더 큰 것으로 보고하였다. 아울러 일부 추출물들은 포름알데히드와 결합하여 포름알데히드 포집제의 역할을 하는 반면 일부 추출물들은 포름알데히드를 방출한다고 하였다.

<표 1> 포름알데히드가스의 물성

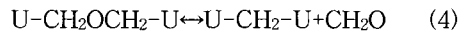
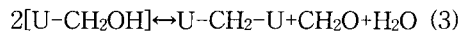
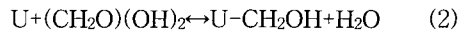
구 분	물 성
분자량	30.03
비중 (37.5% 농도)	1.1158(18℃)
비 점	-21℃
용 점	-92℃
인화점(flash point)	85℃
공기중 폭발농도한계	7~72% (부피기준)
분해상수	1.4×10^{-14} (물 기준)

목재접착제는 합판, 파티클보드, MDF 등 목질보드류의 제조에 일정량 사용되어 보드의 구성 원료를 결합하여 일정한 물성을 갖게 한다. 포름알데히드방출 문제가 되는 접착제는 요소-포름알데히드수지와 요소·멜라민-포름알데히드수지 등 아미노계 수지이다. 따라서 포름알데히드 방출문제는 아미노계 수지접착제를 사용하는 거의 모든 목질보드제품들에서 제기되어 왔으며, 오랫동안 많은 사람들이 이에 대한 연구를 하였다(Meyer & Hermanns, 1986). 이들 결과들을 종합하면 요소수지로부터의 포름알데히드 방출에는 몇 가지 원인이 있다.

첫째는 제조된 요소수지 내에 잔류하는 미반응 유리포름알데히드(free form- aldehyde)이며, 둘째는 요소수지 제조과정에서 포름알데히드가 알칼리상태 하에서 요소와 반응하여 메칠올요소(methylolurea)로 변하는데, 이 반응이 가역반응이기 때문이다(반응식 2). 셋째는 알칼리 하에서 생성된 메칠올요소가 산성 하에서 축합반응(condensation)을 통해 아미노메칠렌(aminomethylene) 결합을 형성하는데, 이 결합 역시 요소와 메칠올요소로 분해되는 가역반응을 일으키기 때문이다(반응식 3). 아울러 요소수지의 경화시에 수지 내에 존재하는 dimethylene ether 결합의 분해로 포름알데히

드를 방출하면서 경화한다(반응식 4).

이중 두 번째와 세 번째 원인은 고온의 산성 하에서 수분과의 접촉에 의한 요소수지의 가수분해(hydrolysis) 현상과 밀접히 관련된다(Marutzky, 1989; Thomura 등 2000). 이러한 가수분해작용으로 오랜 시간에 걸쳐 포름알데히드가 공기 중으로 방출되는 것이다. 이 밖에도 요소수지를 이용한 보드제품 내에서 포름알데히드는 메칠렌글리콜(methylene glycol) 단량체 또는 저중합체(oligomer), 파라포름알데히드(paraformaldehyde) 등 다양한 상태로 존재하는데 이들 또한 포름알데히드 방출의 잠재성을 가지고 있다.



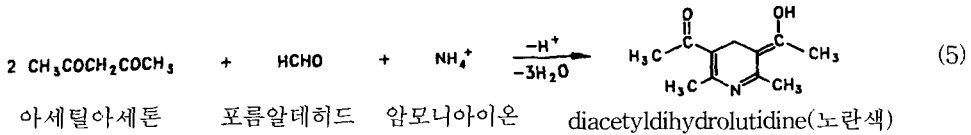
그러나 구조용 합판이나 배향성삭편판(OSB)의 제조에 사용되는 페놀-포름알데히드수지 역시 포름알데히드를 사용하는 목재접착제이지만, 포름알데히드방출량이 요소수지보다 적으므로 포름알데히드 방출문제는 주로 아미노계 수지접착제에 국한된다. 페놀수지를 사용한 목질제품은 포름알데히드 방출량이 극히 적은 것으로 보고되어 왔다(Emery, 1986).

3. 포름알데히드방출량 측정방법

3.1 데시케이터법

포름알데히드방출량 측정방법은 여러 가지가 있으나 크게 데시케이터법, 챔버법, 퍼포레이터법, 가스분석법 등으로 구분된다. 데시케이터법에는 2시간측정법과 24시간 측정법이 있다. 2시간법은 시료를 2시간 동안 데시케이터에 노출시켜 데시케이터 내의 증류수에 포집된 포름알데히드방출량을 크로모트로프산(chromotropic acid)을 이용하여 정량하는 방법으로, 미국과 캐나다에서 파티클보드 및 합판의 포름알데히드방출량 측정에 사용한다. 이 방법은 미국의 표준시험방법인 ASTM D5582에 규정되어 있다.

한편 우리나라에서 사용하는 24시간 데시케이터법은 2시간법과 유사하나 이 방법은 70년대 중반 일본에서 개발된 방법으로 일본에서 광범위하게 사용하고 있는 방법이다. 실온(20℃)에서 시편을 데시케이터 내에 24시간 동안 방치하여 증류수에 흡수된 포름알데히드를 아세틸아세톤과의 반응(반응식 5)을 이용하여 적외선 분광기로 측정하여 정량하는 것이다.



이 방법은 우리나라의 KS와 일본의 JIS 및 JAS에 규정되어 있는 방법이다. 2시간 데시케이터법과의 다른 점은 포집시간을 24시간으로 하여 아세틸아세톤 방법으로 정량하는 것이다.

3.2 퍼포레이터법

주로 유럽에서 사용하는 퍼포레이터(perforator)법은 일종의 추출방법으로 유럽규격(EN 120)에 규정되어 있다. 이 방법은 시료 100g를 유기용매 즉 톨루엔으로 추출하여 포름알데히드 방출량을 요오드법으로 정량하는 것이다. 따라서 포름알데히드방출량은 시료 100g에 대한 mg 단위로 표시한다.

이 방법은 데시케이터법과 달리 분쇄 시료에 함유된 포름알데히드량을 측정하는 것이다. 즉 데시케이터법은 재료의 표면에서 가스로 휘산(揮散)되는 포름알데히드방출량을 측정하는 반면, 퍼포레이터법은 시료 내부에 존재하는 모든 포름알데히드방출량을 측정하는 것이다. 이와 함께 유럽에서 사용하는 방법으로서 가스분석법이 있으며, 이는 독일규격(DIN 52368) 및 유럽규격(EN 717-2)으로 표준화되어 있다. 이는 공기를 순환시켜 공기 중에 포함된 포름알데히드를 물에 포집하여 아세틸아세톤법으로 분석하는 것이다.

3.3 챔버법(chamber method)

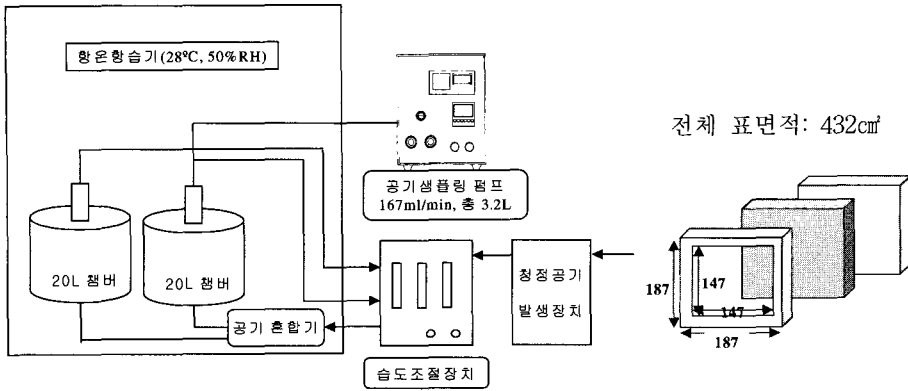
챔버법은 소형챔버법(small chamber)과 대형챔버법(large chamber)으로 구분된다. 소형챔버법은 일부 유럽국가에서 사용하여 왔으며, 유럽규격(EN 717-1)에 규정되어 있으며, 소형챔버의 부피는 0.225m³, 1m³, 혹은 12m³ 등이 있다.

한편 대형챔버법은 북미에서 사용하는 방법으로서 ASTM E1333에 규정되어 있다. 이들 챔버법의 공통적인 특징은 포름알데히드방출량을 정상상태(steady state)에서 측정한다는 것이다. 즉 데시케이터법은 공기순환이 없는 정적(static) 방법인 반면에, 챔버법은 챔버내 공기를 순환시키는 동적(dynamic) 방법인 것이다.

3.3.1 20ℓ 소형챔버법(JIS A1901, 2003)

최근 일본에서도 기존의 데시케이터법 이외에 새로운 소형챔버법을 개발하여, 2003년 1월에 규격(JIS A1901)을 제정하였다. 이 방법에서는 20ℓ~1m³ 용량의 챔버를 사용하도록 정하였으나, 주로 20ℓ 챔버에 의해 포름알데히드방출량을 측정하고 있다.

<그림 1>은 이 방법의 전체적인 흐름을 도식적으로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 공기청정장치에서 발생된 청정공기는 온·습도조절기를 통하여 온도 28℃, 상대습도 50% 조건에서 조습되어 20ℓ 소형챔버를 통과하여 다시 습도조절장치로 연결되어 배출된다. 이때 시험편은 측면과 뒷면을 피복(sealing)된 상태로 20ℓ 챔버에 넣고 일정시간 경과 후에 정상상태에서 포집관을 이용하여 공기를 1분당 167ml 포집한 다음, HPLC를 이용하여 포름알데히드방출량을 정량한다. 따라서 이 방법으로 측정된 포름알데히드방출량의 단위는 mg/m³·h로 나타나며, 이는 단위보드표면적 및 시간당 포름알데히드의 방출량을 표시한다.

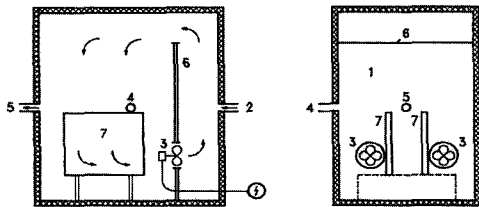


<그림 1> 20ℓ 소형챔버법의 흐름도와 시험면 치수

3.3.2 1m³ 소형챔버법(ISO/CD 12460, 2003)

2002년 11월에 캐나다 오타와에서 개최된 ISO/TC89 WG5(작업그룹 5) 회의에서 1m³ 소형챔버법을 목질패널제품의 포름알데히드방출량 측정방법으로 채택하여, 각 국별로 이 방법에 의한 시험을 실시 중이며, 현재 위원회안(ISO CD 12460)으로 상정되어 있다.

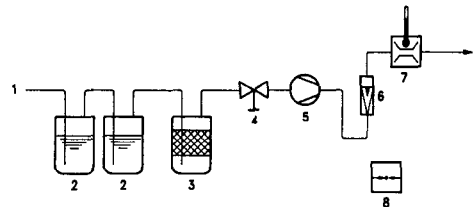
현재 국립산림과학원에서는 목질제품의 포름알데히드방출량을 저감시키기 위한 연구와 함께, 이 1m³ 소형챔버법과 24시간 데시케이터법에 의한 포름알데히드방출량을 측정하여



<그림 2> 1m³ 소형챔버의 구조의 한 예.

- ① 챔버, ② 공기입구, ③ 통풍용 전기팬, ④ 측정센서 삽입구, ⑤ 공기출구, ⑥ 분할판, ⑦ 시험면

두 방법간의 상호관련성을 분석하는 실험을 수행 중이다. ISO 1m³ 소형챔버법의 장치구성 등을 살펴보면 다음과 같다.



<그림 3> 1m³ 소형챔버를 이용한 포름알데히드방출량 측정용 공기시료 샘플링 장치(예)

- ① 챔버, ② 가스세척병, ③ 흡수실리카, ④ 유량조절기, ⑤ 샘플링 펌프, ⑥ 공기유량계, ⑦ 온도계 및 유량적산계, ⑧ 공기압력계

<그림 2>에서 보는 바와 같이, 50cm×50cm 크기의 시험면을 1m³ 챔버 내에 안치시키고, 공기가 입구로 들어와 순환하여 출구로 나가기도록 되어 있다. 그리고 온·습도센서를 시험면 또는 공기 출구 가까이 설치할 수 있다. 공기 공급장치에서는 가스펌프에 의해 외부공기를 필터로 통과시킨 다음, 두개의 공급호스로 분기(分岐)시켜 각각의 공기유량이 45%와 55%가 되도록 유량계로 조절한다. 공기유량이 45%인 것은 공기 중 수분을 제거하기 위해 실리카겔을 통과하게 하고, 공기유량이 55%인 것은 세척병의 증류수를 통과하여, 습하게

만든 다음 이것이 혼합되어 소형챔버 내로 공급되게 하는 것이다. 이 때 증류수는 최소 1ℓ 이상이 되도록 하여 유량조절기로 유량을 조절한다.

또한 <그림 3>은 시편을 챔버 내에 안치시킨 후 시편에서 발생하는 포름알데히드를 측정하기 위해 공기를 포집하는 장치의 예이다. 앞서 언급한 바와 같이 ISO 방법은 데시케이터법과 마찬가지로 공기 중의 포름알데히드 농도를 물에 놓여 포집하여 아세틸아세톤법으로 정량한다.

3.3.3 대형챔버법(Large chamber method)

미국과 유럽에서 포름알데히드방출량 측정방법으로 표준화된 대형챔버법(large chamber method)은 독일의 WKI(Wilhelm Klaudivts Institute)(EN 717-1)식과 북미식(ASTM E 1330-90)의 두 가지가 있다. 대형챔버의 크기가 독일방법은 40m³이고, 북미식은 평균 30m³로서 차이가 있으나, 시험방법은 유사하다(Marutzky, 1989). 이들 대형챔버법은 데시케이터법에 비해 실제 상황에 가깝다는 장점이 있으나, 대형챔버를 설치하는데 많은 비용이 들고 시간이 오래 걸리는 단점이 있다.

<표 2> 세계 각국의 목질건축자재 포름알데히드방출량 측정규격 현황

시험방법	국가	규격	대상품목	대상물질	비고
데시케이터법	한국	KS F3101(2002)	합판	HCHO	24시간방법
		KS F3104(1997)	파티클보드	"	"
		KS F3200(1997)	섬유판	"	"
	일본	JIS A1460(2001)	건축용보드	"	"
		JAS 2000-920(2000)	보통합판	"	"
		JIS A5905(1994)	섬유판	"	"
		JIS A5908(1994)	파티클보드	"	"
	-	일본, 호주, 뉴질랜드 통합규격 (JANS 16)	목질보드	"	"
미국	ASTM D5582	목질재료	"	2시간방법	
소형챔버법	일본	JIS A1901(2003)	건축재료	"	20ℓ 챔버
	미국	ASTM D6007-96(1996)	목질보드	"	0.02~1m ³ 챔버
		ASTM D5116-90(1990)	내장재/제품	VOC	0.053m ³ 챔버
	유럽	EN 717-1(1998)	"	HCHO	0.225, 1, 12m ³ 챔버
대형챔버법	미국	ASTM E1333-90(1990)	"	"	22.6m ³ 챔버
	독일	WKI 대형챔버	"	"	40m ³ 챔버
ISO방법	-	ISO 16000-3	실내공기농도	HCHO, 기타 카보닐화합물	샘플링 및 정량방법
	-	ISO 16000-6	"	VOC	샘플링 및 정량방법
	-	ISO TC89/WD12460	섬유판, 합판, 파티클보드	HCHO	1m ³ 챔버

이와 같은 여러 가지 방법들의 측정치간에 상호 관련성이 있을 것으로 생각되지만, 아직까지 전체적인 대비 결과는 보고되지 않고 있다. 그러나 유럽식 대형챔버법과 Perforator 추출법으로 측정된 포름알데히드방출량 간에는 고도의 관련성이 있는 것으로 보고되었다(Marutzky, 1989). 앞으로 챔버법은 국제적으로 통일되어 갈 것으로 보여지며, 국제표준화기구(ISO)를 중심으로 이와 같은 작업이 이루어지고 있다.

<표 2>는 세계 각국의 목질제품에 대한 포름알데히드방출량 시험방법을 종합정리한 것이다

4. 국내의 포름알데히드방출량 기준 현황

4.1 각국의 실내 포름알데히드농도 기준

실내오염물질 중에서 포름알데히드에 대한 각국의 기중농도지침치는<표 3>과 같다. 세계보건기구(WHO)는 평균시간 30분을 기준으로 포름알데히드농도를 0.08ppm(또는 0.7mg/m³)을 지침치로 정하였으며, 일본의 후생노동성도 0.08ppm을 지침치로 정했다. 대체로 세계 각국의 포름알데히드 기중농도는 0.08~0.1ppm의 범위임을 알 수 있다. 한편 우리나라의 경우에는 「실내공기질관리법시행규칙」 제3조(실내공기질 유지기준)에 다중이용시설의 포름알데히드 유지기준을 120µg/m³(또는 0.1ppm)으로 정하고 있다.

여기에서 지침치(가이드라인)란 ‘현시점에서 입수가 가능한 독성과 관련된 과학적 견지에서, 사람이 일평생 들어 마셔도 인체에 유해한 영향을 받지 않을 것이라고 판단되는 값을 산출한 것으로, 예방적 차원에서 이 지침치 이하가 되어야 바람직하다’는 의미를 갖는다.

<표 3> 주요국가의 포름알데히드 실내기중농도 기준

국가별	포름알데히드기중농도(ppm)	국가별	포름알데히드기중농도(ppm)
WHO	<0.08	미 국	0.1(EPA), 0.4(연방정부)
노르웨이	<0.05	이탈리아	0.1
일 본	0.08	스웨덴	0.11
오스트리아	0.08	덴마크	0.13
캐나다	0.1	핀란드	0.13(1981년 이후 건물)
호 주	0.1	스위스	0.2
독 일	0.1	스페인	0.4

* 자료 : 환경부(2003. 1.)

4.2 우리나라의 포름알데히드방출량 기준

현행 KS에 규정되어 있는 목질제품의 포름알데히드방출량 기준은 <표 4~5>와 같으며, 24시간 데시케이터법으로 측정하고 있다. KS F 3101에 규정되어 있는 보통합판의 포름알데히드방출량은 완전무취(F1), 무취(F2), 준무취(F3)로 표시하며 평균값과 최대값을 동시에 표기하도록 되어 있다<표 4>. 이 기준은 마루판용 합판과 무늬목치장합판 플로팅보드의 규정(KS F3111)에도 동일하게 적용된다.

<표 4> 보통합판의 포름알데히드방출량 등급표시 및 기준(KS F3101, 1997)

구 분	평균값	최대값	측정방법
F1: 완전 무취	0.5mg/ℓ 이하	0.7 mg/ℓ 이하	24시간 데시케이터법
F2: 무취	1.5 mg/ℓ 이하	2.1 mg/ℓ 이하	"
F3: 준무취	5.0 mg/ℓ 이하	7.0 mg/ℓ 이하	"

*마루판용 합판과 무늬목치장합판 플로팅보드(KS F3111)의 기준도 동일함.

한편 파티클보드와 MDF의 포름알데히드방출량 기준은 KS F3104 및 F3200에 규정되어 있으며, 등급과 기준은 E0(0.5 mg/ℓ 이하), E1(1.5 mg/ℓ 이하), E2(5.0 mg/ℓ 이하)로 되어 있다<표 5>.

<표 5> 파티클보드 및 MDF의 포름알데히드방출량 등급표시 및 기준(KS F 3104, F 3200, 1997)

구 분	포름알데히드 방출량	측정방법
E ₀ 형	0.5 mg/ℓ 이하	24시간 대시케이터법
E ₁ 형	1.5 mg/ℓ 이하	"
E ₂ 형	5.0 mg/ℓ 이하	"

4.3 외국의 포름알데히드방출량 기준

4.3.1 일본

일본에서는 1990년대에 들어서 실내공기오염문제(Sick house)가 사회적으로 대두됨에 따라, 1996년부터 국토교통성, 후생노동성, 경제산업성, 농림수산성 임야청 등의 정부기관

과 학계, 단체가 본격적으로 공동 조사, 연구, 협의를 하였으며, 1997년 6월에 후생노동성에서 포름알데히드의 실내농도지침치를 설정하였다. 2000년 6월에 정부기관, 학계, 단체가 참여한 「실내공기대책연구회」를 구성하여 전국 4,600호의 주택에 대한 실태조사 실시를 실시하였고, Sick house 예방을 위해 건축기준법을 개정하여 2003년 7월 1일부터 전면 시행되었다. 아울러 2003년 2월과 3월에는 목질제품의 포름알데히드방출량 기준을 강화한 JAS 및 JIS 규격을 개정, 고시하였으며, 2003년 1월에 건축재료의 포름알데히드/VOC 등의 측정방법(소형챔버법)에 대한 JIS규격(JIS A 1901)을 제정, 고시하였다. 이와 같이 개정된 JIS 및 JAS에서의 포름알데히드방출량 기준과 건축기준법에서의 포름알데히드방출 건축자재의 사용제한 기준을 종합정리하면 <표 6>과 같다.

<표 6> 일본의 목질제품 포름알데히드방출량 등급 및 기준

구 분			포름알데히드방출 등급 및 기준			
데시케이터법(JIS A 1460)	기준 (mg/ℓ)		(평균) 0.3 이하 (최대) 0.4 이하	0.5 이하 0.7 이하	1.5 이하 2.1 이하	5.0 이하 7.0 이하
	표시	JAS	F☆☆☆☆	F☆☆☆	F☆☆	F☆
		JIS	F☆☆☆☆	F☆☆☆	F☆☆	없음
소형챔버법(JIS A 1901)	기준 (mg/m ³ h)		0.005 이하	0.005~0.02	0.02~0.12	0.12 초과
	구분	건축기준법	규제대상 외	제3종	제2종	제1종
건축기준법상 사용제한			사용제한 없음	사용면적 제한		사용 금지

일본의 개정 건축기준법에서는 포름알데히드 방출 건축자재를 JIS 및 JAS 인증제품, 또는 국토교통대신 인정제품에 대하여, 제1종(F☆), 제2종(F☆☆), 제3종(F☆☆☆) 및 규제대상 외(F☆☆☆☆)로 구분하여 포름알데히드 방출량의 등급에 따라 제한적으로 사용토록 하고 있다. 즉 제1종(개정전 E2 급) 포름알데히드 방출 건축자재는 실내사용을 금지토록 하였으며, 제2종 및 제3종 자재(개정전 E1 급 또는 E0 급)는 실내 사용면적으로 제한하였고, F☆☆☆☆ 급은 사용제한을 하지 않는다.

4.3.2 미국

미국의 경우에는 미국표준협회(ANSI) 및 주택도시개발부(Housing and Urban Development)의 규격에 포름알데히드 방출량 기준을 정하고 있으며, 건축용 목질제품의 포름알데히드 방출량 기준은 0.2~0.3ppm 수준이다. 이 기준은 대형챔버법에 의한 것으로 미국과 캐나다에서 통용하고 있다<표 7>.

4.3.3 유럽

독일은 포름알데히드 방출량 기준이 가장 엄격한 것으로 알려져 있다. 독일에서는 E2등급의 자재는 사용을 금지하고 있고, E1 등급의 자재에 대한 사용기준을 정하고 있다.

<표 7> 미국의 목질보드 포름알데히드 방출량 기준

구분	종류	기준	부하율 (ft ² /ft ³)
ANSI (미국표준협회)	산업용 파티클보드 (ANSI A 208.1)	0.3ppm	0.13
	바닥용 파티클보드 (ANSI A 208.1)	0.2ppm	0.13
	MDF (ANSI A 208.2)	0.3ppm	0.08
HUD (주택도시개발부)	벽판용 합판	0.2ppm	0.29
	산업용 합판, 파티클보드	0.3ppm	0.13

<표 8> 독일의 포름알데히드 방출량 기준

종 류	등급	시험방법별 포름알데히드 방출량 기준					
		챔버법 (EN 717-1) (ppm)	Perforator 법 (EN 120) (mg/100g)		가스분석법 (EN 717-2) (mg/h · m ²)		
			생산평균	단일치	생산평균	단일치	
미도장	파티클보드	E ₁	≤0.1	≤6.5	≤8.0		
	섬유판	E ₁	≤0.1	≤7.0	≤8.0		
	합판	E ₁				≤5.0	≤6.0
도 장	파티클보드, 섬유판				≤10.0		
	합판				≤6.0		≤3.5
	파티클보드, 섬유판	E _{1b}	(≤0.1)		≤10.0		

*E₂ 등급은 사용금지. E_{1b} 등급은 보드에 "적절한 도장 후 사용 가능"(Can only be used in coated status with an accepted coating)이라고 표시토록 함.

또한 E1과 E2의 중간 등급인 E1b급의 기준은 E2급의 최소 기준과 같으며, 이를 사용할 때는 “적절한 도장 후 사용 가능”이라는 표시를 하도록 되어 있다<표 8>.

한편 프랑스의 경우에는 합판, 파티클보드, MDF 모두 퍼포레이터법으로 측정된 포름알데히드방출량을 E0, E1, E2 및 E3등급으로 구분하고 있다<표 9>.

<표 9> 프랑스의 포름알데히드방출량 기준

종류	등급	기준치	측정방법
합판 파티클보드 MDF	E ₀	≤2.0mg/100g	Perforator 법
	E ₁	≤6.5mg/100g	
	E ₂	≤20mg/100g	
	E ₃	≤30mg/100g	

4.4 우리나라와 일본의 포름알데히드방출

건축자재 사용규제 기준대비

앞서 설명한대로, 일본의 개정 건축기준법에서는 포름알데히드방출 건축자재의 기준을 4등급으로 설정하고, 20ℓ 소형챔버법(JIS A 1901)에 의한 포름알데히드 방출속도가 0.12 mg/m³h 이상인 제1종 자재는 실내사용을 금지하고 있다.

5. 포름알데히드측정방법의 비교검토

앞서 언급한 바와 같이, 각 나라마다 포름알데히드 측정방법이 다르며 이에 따라 이에 비하여 우리나라 환경부에서는 실내공기질관리법 제4조에 의거한 「公定시험방법」에서는 20ℓ 소형챔버법을 주시험방법으로 하고 있으며, 법 제11조 및 시행규칙 제10조에서는 포름알데히드방출속도가 1.25mg/m³h 이상인 일반건축자재를 오염물질방출자재로 정하고, 다중이용시설 등에 사용하지 않도록 규정하고 있다<표 10>.

이와 같이 우리나라의 기준은 일본 기준보다 약 10배의 허용범위를 가지고 있다. 따라서 향후 우수제품과 저급제품의 차별성, 건강안전성에 대한 검증 및 법적 규제의 실효성을 고려한 평가기준의 재검토가 필요하다. 한편 한국공기청정협회에서는 자체적으로 5등급의 포름알데히드 방출기준을 설정하고, 이에 의해 ‘친환경건축자재’의 단체인증제를 시행하고 있다. 기준농도에도 차이가 있다. 이에 우리나라에서 현재 표준화되어 있거나, 국내에 적용중인 24시간 데시케이터법(KS), 20ℓ 소형챔버법(JIS) 및 1m³ 소형챔버법(ISO) 등 세가지 방법의 핵심사항을 비교하면 <표 11>과 같다.

<표 10> 한국·일본의 포름알데히드방출 건축자재 기준 대비

국명	시행기관	포름알데히드방출속도 기준 (mg/m ³ h)			
일본	국토교통성	0.005 이하	0.005~0.02	0.02~0.12	0.12 이상
		규제대상 외	제3종	제2종	제1종
		사용제한 없음	사용면적 제한	사용면적 제한	사용금지
한국	환경부	-	-	-	1.25 이상
		-	-	-	사용금지
	한국공기청정협회(단체인증)	-	-	0.03 미만 [최우수] 0.03~0.05 [우수] 0.05~0.12 [양호]	0.12~0.60[일반] 0.60~1.25[일반]

앞서 언급한 바와 같이, 각 나라마다 포름알데히드 측정방법이 다르며 이에 따라 기준 농도에도 차이가 있다. 이에 우리나라에서 현재 표준화되어 있거나, 국내에 적용중인 24시간 데시케이터법(KS), 20ℓ 소형챔버법(JIS) 및 1m³ 소형챔버법(ISO) 등 세가지 방법의 핵심사항을 비교하면 <표 11>과 같다. 여기에서 국내에서 오랫동안 사용해 온 데시케이터법은 포름알데히드를 분석하는 데 있어서 가장 간편, 신속하고 비용이 적게 들며, 현장의 품질관리에 용이한 방법이다.

반면에 이 방법은 실내환경조건과 같이 공기순환이 이루어지지 못하는 정적(靜的)방법이다. 20ℓ 소형챔버법은 포름알데히드뿐만 아니라 VOC의 분석이 가능하며 공기순환이 이루어지는 동적(動的) 방법이지만, 포집 및 분석 장비가 고가이며, 시간이 많이 걸린다는 단점이 있다. ISO의 1m³ 소형챔버법은 데시케이터법과 마찬가지로 물로 포집하고 아세틸아세톤 방법으로 정량하는 면에서는 비교적 용이하지만, 동시에 다량의 시험편을 측정하기 어렵고 장시간이 소요되는 단점이 있다.

<표 11> 주요 포름알데히드 측정방법의 특성 비교

방 법		데시케이터법 (KS)	20ℓ 소형챔버법 (JIS A1901)	1m³ 소형챔버법 (ISO TC89)
포집기구		유리 데시케이터	20ℓ 원통챔버	1m³ 챔버
분석물질		포름알데히드	- 포름알데히드, 아세트알데히드 - 및 기타 카르보닐 화합물 - 톨루엔 등 VOCs	포름알데히드
포집매체		증류수	- 알데히드류 : DPNH 카트리지 - VOCs : Tenax-TA 카본튜브	증류수
측정 조건	온도	20℃	28℃	23℃
	습도	60%	50%	50%
	환기 회수	-	0.5회/h	1~2회/h
	부하율	10개, 1800cm³	2.2m³/m³	1m³/m³
	시간	24시간	1일, 3일, 1주, 2주, 4주	정상상태
분석방법		아세틸아세톤 → UV 분석	- 포름알데히드 → HPLC 분석 - VOCs → GC/MS 분석	아세틸아세톤 → UV 분석
장단점		저가, 간편, 신속	고가, 장시간소요, 분석장비 및 분석기법 필요	간편, 장시간 소요

6. 포름알데히드방출량 측정방법의 개선방안

6.1 데시케이터법의 개선안

24시간 데시케이터법은 가장 일반적인 목질제품의 포름알데히드 측정방법으로 사용되어 왔으며, 많은 자료를 축적하고 있다. 그러나 데시케이터법을 예의 검토해 보면 몇 가지 측정방법상의 문제점이 파악된다. 데시케이터법의 문제점과 개선방안은 다음과 같다.

첫째, 포름알데히드방출량을 측정할 시험편의 채취시기가 명시되어 있지 않다는 점이다. 제품의 생산, 유통, 가공과정이 다양하므로 일률적으로 채취시기를 명시하는데 어려움이 있지만, 접착제의 경화 및 제품 생산 이후에 포름알데히드방출량은 점차적으로 감소하는 경향이 있으므로, 정확한 평가가 필요한 경우에는 채취시기를 명시하는 것이 바람직하며 채취시기에 대한 논의가 필요하다.

둘째, 포름알데히드방출량 측정용 시험편의 조습처리시간의 재검토이다.

데시케이터의 용량이 9~11ℓ로 되어 있어, 시험기관이 보유하고 있는 데시케이터의 용량에 따라 측정치의 오차가 발생하며, 포름알데히드방출량이 낮은 등급에서는 오차가 더욱 커진다. 따라서 데시케이터의 용량을 일정하게 통일할 필요가 있으며, 11±0.5ℓ를 기준으로 제안하고자 한다.

넷째, 아세틸아세톤법을 이용하여 포름알데히드 농도를 정량할 때 UV의 파장을 통일할 필요가 있다. 현재 국내 규격에서는 UV 파장이 415nm 부근의 최대점으로 되어 있으며, 이는 일본의 보드규격과 동일하다. 그러나 일본·호주·뉴질랜드의 통합규격인 JANS에서는 파장범위를 410~415nm로, 물에 대한 최대흡광도 파장을 412nm로 정하고 있다.

또한 최근 제정된 ISO의 1m³ 소형챔버법(ISO/WD 12460, 2002)에서는 아세틸아세톤법을 이용하여 412nm의 파장에서 흡광도를 측정하도록 하고 있다. 따라서 이 문제도 향후 규격 제·개정시에 검토되어야 할 사항이다.

<표 12> 24시간 데시케이터 방법의 문제점 및 개선안

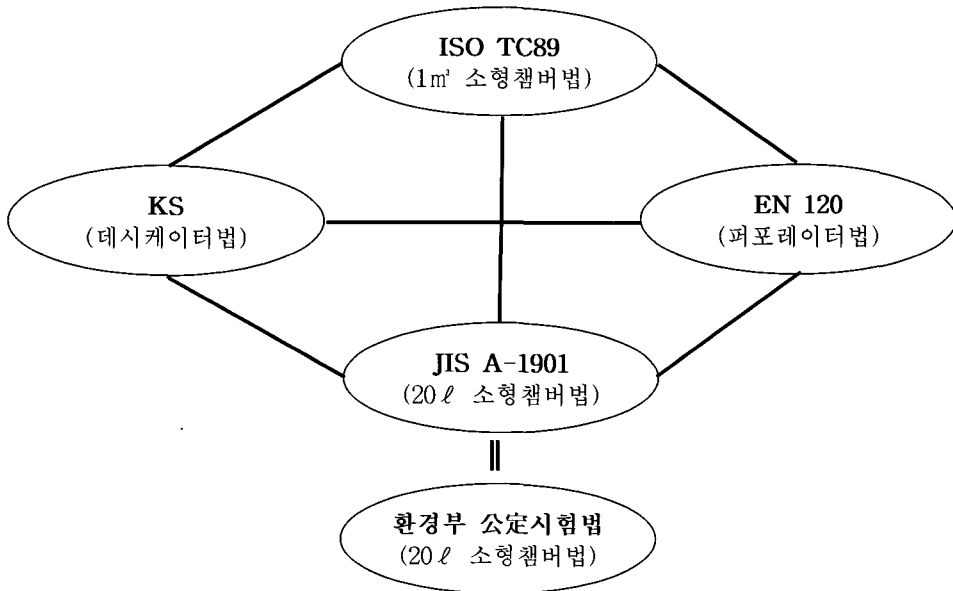
문 제 점	현 행	개정안	비 고
시험편 채취시기	없음	채취시기 명시	
데시케이터 용량	9~11ℓ (JIS와 동일)	11±0.5ℓ	- 데시케이터 제조사양 필요 - JANS : 11±1ℓ
UV 파장	415nm 부근 최대 파장	412nm	- JANS : 410~415nm - JIS : 410~415nm - JAS : 415 nm 부근

파티클보드나 섬유판에 대한 KS 규격(KS F 3104, KS F 3200)에는 시험편을 20±2℃, 65±5%에서 7일 동안 조습시킨 다음에 물성시험을 하도록 되어 있으나, 다른 포름알데히드 측정방법과 대비한 최적 조습조건을 명확히 할 필요가 있다.

셋째, 포름알데히드방출량 측정용 데시케이터 내부용량의 정밀 표시 또는 통일이 요구된다. 우리나라 및 일본의 목질제품 규격에는

6.2 목질제품의 포름알데히드방출량의 측정방법 개선안

이상에서 검토한 바와 같이 포름알데히드 측정방법으로서 데시케이터법과 소형챔버법은 각각 장단점을 지니고 있어 어떤 방법이 이상적이라고 하기는 어렵다. 그러나 최근에 새집 증후군 대책에서 실내공기질 측정에 근접하는 방법으로서 소형챔버법의 신규 표준화가 국내외적으로 진행되어 왔다.



<그림 4> 목질제품의 포름알데히드방출량 측정방법간 상관성 분석 체계

즉 ISO TC89에서 제정한 1m³ 소형챔버법과 일본의 JIS 및 우리나라 환경부에서 채택한 20ℓ 소형챔버법이다. 아울러 ISO에서는 데시케이터법을 인용규격으로 인정하고 있으며, 일본에서는 여전히 데시케이터법에 의한 인증 및 규제를 실시하고 있다. 한편 국내에서는 기존 규격과의 연계성, 현장관리의 용이성, 실내공기환경대책의 실효성 확보 등을 위하여 데시케이터법을 병용토록 국립산림과학원에서 요청하였으며, 환경부의 「公定시험방법」에 반영되어 있다.

앞으로의 과제로서는 우선 국내에서 사용되는 건축자재에 대한 실태 파악과 시험방법간 측정치의 상관성 구명을 위한 자료축적 및 체계화가 필요하다. <그림 4>는 현재 저자 등이 수행 중인 목질제품의 포름알데히드방출량 측정방법간의 상관성 분석 체계이다.

또한 국내 현실에 가장 적합한 시험방법 및 기준의 표준화가 요구되고 있으며, 이를 위하여 20ℓ 소형챔버법(JIS), 1m³ 소형챔버법(ISO) 및 조합형 방법에 대한 검토가 필요할 것이다. 이에 <표 13>은 이와 같은 JIS 방법과 ISO 방법의 장점을 상호보완적으로 절충한 포름알데히드방출량 측정방법을 제시해 본 것이다.

첫째, 소형챔버법에 의해서 다양한 크기와 형태를 갖는 목질재료나 가공제품의 포름알데히드방출량을 포집하기 위해서는 챔버의 용량 둘째, 20ℓ 챔버법(JIS)은 포름알데히드 이외에 VOC도 분석이 가능하지만, 포집시료를 분석하기 위해서는 고성능액체크로마토그래피(HPLC : high performance liquid chromatography)와 GC/MS(gas chromatography/mass spectroscopy)와 같은 고가의 분석장비와 고도로 숙련된 전문인력이 필요하다. 이에 비하

<표 13> 목질제품의 포름알데히드방출량 측정방법 제시안

구 분		소형챔버법 (제시안)	관련규격
포집기구		40~1000ℓ 소형챔버	JIS
분석물질		포름알데히드	ISO
포집매체		증류수	ISO
측정조건	온도	25℃	실온조건
	습도	50%	JIS
	환기회수	0.5회/h	JIS, ASTM
	시간	1주, 3주, 4주, 혹은 정상상태	JIS, ISO
분석방법		아세틸아세톤 → UV	KS, JAS, ISO
장단점		분석용이, 저가, 장시간 소요	

여 기존의 데시케이터법이나 1m³ 챔버법(ISO)에서는 비교적 분석이 용이한 자외선분광기(UV : ultraviolet spectrophotometer)를 사용한다. 따라서 이를 절충한 방법으로써 물을 포집용매로 하여 소형챔버법으로 시료를 포집하고, UV로 분석하는 방법을 검토할 필요가 있다. 단 이 경우에는 목질제품에서 발생하는 알데히드류 이외의 VOC는 측정에서 제외할 수밖에 없다. 목질보드류에서 발생하는 VOC 중에서 hexanal, pentanal, heptanal 및 octanal 등의 알데히드류가 가장 많은 것으로 보고되어 있다(Baumann 등, 2000).

셋째, 데시케이터법, 20ℓ 챔버법(JIS), 1m³ 챔버법(ISO)은 각각 측정하는 온습도조건이 상이하다. 따라서 우리나라의 실내환경조건 등을 고려하여 측정조건을 통일할 필요가 있으며, 온도 25℃, 습도 50%가 적절할 것으로 생각된다.

7. 참고문헌

1. 한국산업규격 KS F3101(보통합판). 2002.
2. 한국산업규격 KS F3104(파티클보드). 1997.
3. 한국산업규격 KS F3200(섬유판). 1997.
4. 일본공업규격 JIS A 5905(섬유판). 2003.
5. 일본공업규격 JIS A 5908(파티클보드). 2003.
6. 박병대. 2003. 목질접착제품의 포름알데히드 문제 및 개선방안. 제3회 한국 합판·MDF·파티클보드 심포지엄. 임업연구원·한국합판보드협회. pp: 155-187
7. 박종영 외. 2001. 임업연구사업보고서 5-II. 임업연구원. pp: 136-176
8. 박종영 외. 2002. 임업연구사업보고서 5-2. 임업연구원. pp: 34-79.
9. 박종영. 2004. 실내공기환경대책의 문제점과 목재분야의 대응방안. 2004 심포지엄 '실내공기질관리법과 목질제품, 무엇이 문제인가?'. 서울대학교·한국목재공학회. pp: 87-111

10. Baumann, M.G.D., L.L. Lorenz, S. A. Batterman, G.-Z. Zhang. 2000. Aldehyde emissions from particleboard and medium density fiberboard products. *For. Prod. J.* 50(9):75-82.
11. Diemel, M. *In: Organische Verunreinigungen in der Umwelt.* Aurand, K., Ed., E. Schmidt. Hamburg, 1978. pp: 416-427.
12. Emery, J. A. 1986. Formaldehyde release from wood panel products bonded with phenol formaldehyde adhesives. *In: Formaldehyde Release from Wood Products.* Meyer, B., B. A. Kotttes Andrews, R. M. Reinhardt, Ed., ACS Symposium Series 316, American Chemical Society, Washington, D.C., pp: 26-39.
13. Marutzky, R., R. Margosian. 1995. Measuring formaldehyde emissions from pressed wood products: an international perspectives. *In: Measuring and Controlling Volatile Organic Compound and Particulate Emissions from Wood Processing Operations and Wood-Based Products.* The Forest Products Society, Madison, WI, pp: 62-73.
14. Marutzky, R. 1989. Release of formaldehyde by wood products. *In: Wood Adhesives: Chemistry and Technology, Vol. 2,* A. Pizzi, Ed., Marcel Dekker Inc., New York, pp: 307-387.
15. Meyer, B., 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.
16. Myers, G. E. How mole ratio of UF resin affects formaldehyde emission and other properties: A literature critique. 1984. *Forest Prod. J.* 34(5): 35-41.
17. Park, Jong Young. 2003. Evaluation of free-formaldehyde emission from wood-based floorings using model of the Korean floor heating system (Ondol). *Proceed. of the IAWPS 2003, Daejeon, Korea. Vol. 2. pp: 813-820.*
18. Schafer, M., E. Roffael. 2000. On the formaldehyde release of wood. *In: Proceedings of 3rd European Panel Products Symposium. pp: 136.*