

실내공기질 공정시험방법과 기준의 동시 개정에 따른 접착제 제품의 TVOC 관리수준 평가

유지호 · 박준만 · 김만구★

강원대학교 환경학과

(2010. 2. 26. 접수, 2010. 5. 25. 승인)

The TVOC management level evaluation of adhesive product following to simultaneous revision of indoor air quality testing methods and standards

Ji-Ho Yoo, Joon-Man Park and Man-Goo Kim★

Department of Environmental Science, Kangwon National University, 193-1, Hyoja-dong,
Chunchon-shi, Kangwon-do 200-701, Korea

(Received February 26, 2010; Accepted May 25, 2010)

요 약: 환경부에서는 오염물질 다량 방출 건축자재의 효율적인 관리를 위해 「다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법」 중 접착제의 시험방법과 방출관리기준을 동시에 개정하였다. 따라서 기존 관리수준과 개정 관리수준의 직접적인 비교가 불가능하다. 이 연구에서는 접착제의 개정된 시험방법의 각 요소들이 오염물질 방출강도에 미치는 영향들을 기존 시험방법과 비교하여 검토하였다. 이를 통하여 개정된 오염물질 방출관리기준을 평가하였다. 그 결과 접착제는 시험기간의 변경으로 인해 방출강도가 약 2.5배 약화되었고 건조시간의 변경에 따른 방출강도의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 시험방법의 변경된 내용을 적용한 TVOC 방출 관리기준은 기존 방출 관리기준에 비해 약 2.1배 강화된 것으로 나타났다.

Abstract: The Ministry of Environment simultaneously revised testing methods and emission standards of adhesives product on the 「Law of indoor air quality management」 for the effective management of the building materials releasing pollutants in great quantities. Accordingly, it is impossible to compare original standards with revised standards directly. The influences of each factor of the revised testing methods of adhesive product on the emission rate of pollutants are reviewed through comparing with the original testing method. Through this study, revised pollutant emission control standards were assessed. With the result that it is found that emission rate of adhesives product is weakened two and half times by changing test period and the emission rate resulting from changing drying time has little difference. As a result of comparing TVOC emission standards with the original testing method considering the modification of testing methods, it is found that the emission standard through this revision is strengthened about 2.1 times more than that of present testing method.

Key words: adhesives, small chamber, TVOC, building materials

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)33-250-8576 Fax : +82-(0)33-251-3991

E-mail : mgkim@kangwon.ac.kr

1. 서 론

일반적으로 대기오염이라 하면 실외 오염만을 인식하고 우려하며 실질적으로 대부분의 연구가 이들에 집중되어있다. 하지만 현대인들은 대부분의 시간을 실내공간에서 생활하고 있고 보다 쾌적한 환경에 대한 요구가 높아지면서 전 세계적으로 실내공기환경(Indoor Air Quality, IAQ)이 중요한 사회문제로 부각되고 있다. 실외오염은 자연적인 희석율이 크고 대기오염에 대한 사회적 인식과 각종 규제로 인하여 제어되고 있으나, 실내오염은 한정된 공간에서 오염된 공기가 지속적으로 순환하면서 그 농도가 증가한다는 점에서 사람들에게 보다 직접적인 영향을 주기 때문에 환경과 인체 건강에 더욱 악영향을 준다.

실내 공간에 필수적으로 위치하고 있는 건축자재와 가구, 전자제품 및 각종 생활용품에서는 휘발성 유기화합물과 폼알데하이드 등이 방출되어 실내오염물질 방출원으로 주목받고 있다. 이러한 실내 오염물질들은 국내·외에서 여러 인증제도들을 통해서 자발적으로 관리되고 있다. 특히 국내에서는 2003년 5월 30일부터 「다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법」이 시행되어 다중이용시설과 신축공동주택의 실내공기질 및 실내공간에 사용되는 건축자재의 환경적인 측면에서 갖추어야 할 최저수준의 기준을 마련하고 있다.¹

여러 종류의 건축자재들 중 접착제는 접착현상을 유발하는 모든 물질로 실내 공간에서는 각종 가구와 합판, 온돌마루, 내장 타일, 벽지의 마감 이외에 여러 가지 다른 형태로 나뉘어져 있는 자재들을 접착하여 고정할 때 사용되고 있다.² 또한 액상자재로서 실내 인테리어에 다방면으로 다량 사용되고 있으며 오염물질 역시 다량 방출하는 것으로 알려져 있기 때문에 지속적인 관리와 연구가 필요하다.

환경부에서는 2008년 실내공기질의 효율적인 관리를 위해 실내에 사용되는 건축자재의 오염물질 방출 관리기준들이 조정되고 시험방법들이 동시에 변경된

다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법 시행규칙을 일부 개정하여 발표하였다.³ 개정의 배경은 건축자재 간의 기준 초과비율이 불균형한 것을 정정하는 것과 시험방법을 국제표준화기구인 ISO의 방법과 같은 골격을 유지하는 것을 목적으로 하고 있다.⁴

2008년도에 개정된 접착제의 시험방법은 시료의 건조시간 및 시험기간의 2가지 시험 요소 및 방출관리 기준까지 동시에 개정되었기 때문에 시험방법 개정 전후의 결과를 직접 비교할 수 없다. 개정되기 전 기존시험방법을 이용한 액상자재의 오염물질 방출 평가에 대한 연구⁵와 시험방법의 개선 필요성에 대한 연구,⁶ 그리고 개정 시험방법이 적용된 연구가 진행되고 있지만 개정 전후의 시험방법간의 비교나 개정된 방출관리기준값들을 기존 시험방법의 변화된 접착제의 오염물질 방출강도에 미치는 영향을 평가한 연구는 아직 없다. 그러므로 이 연구에서는 같은 접착제를 개정된 시험방법과 기존 시험방법을 동시에 적용하여 개정된 각 요소들이 방출시험결과에 어떠한 영향을 미치고, 이로 인해 개정된 기준이 어떻게 변화된 것인지를 평가하였다.

2. 연구방법

2.1. 시료의 준비

실험에 이용한 시료는 시중에서 쉽게 구할 수 있는 건축용 접착제를 구매하여 이용하였고 시중에서 구입하기 어려운 시료는 공기청정회피를 통해 입수하여 사용했다. 주로 목재용, 타일용, 석재용, 벽지용 제품이고 계열은 초산비닐, 에폭시, 아크릴 계열을 모두 다양하게 이용했다. 실내 공간에서 넓은 용도로 다량 시공되는 제품들이다.

2.2. 개정시험방법

실내공기질 공정시험방법의 기존법과 2008년에 개정된 방법 중 접착제에 관한 내용을 비교하여 Table 1

Table 1. Revision of test method

	Original test method	Revised test method (2008)
Test method	- Application quantity: 300 g/m ² - Drying time: 60 min	- Application quantity: 300 g/m ² - Drying time: according to Specifications - Temp: 25±1 °C - Relative humidity: 50±5%
Test period	3 days	7 days
Standard	10 mg/m ² h	2 mg/m ² h

에 나타내었다. 그 내용을 살펴보면 접착제의 개정 시험방법은 시험편 제작방법과 도포량의 기준 변화는 없으나 건조시간이 기존의 60분에서 제품의 사용설명서에 명시되어 있는 권장시간을 따르는 것으로 변경되었다. 또한 시험기간이 3일에서 7일로 증가하였다. 이 연구의 대상 물질인 TVOC(Total Volatile Organic Compounds)의 방출관리기준은 10 mg/m³h에서 2 mg/m³h로 변경되었다. 종합해보면 건조시간과 시험기간, TVOC 방출관리기준이 동시에 변경되어 강화된 방출관리기준이 실질적으로 어떤 변화가 일어난 것인지 판단할 수 없다.

2.3. 20 L 소형시험챔버 시스템

이 연구에는 ISO형의 20 L 시험챔버시스템(CT-10, Top trading, Korea)이 사용되었다. 이 시스템은 챔버 내부로 유입되는 공기를 챔버의 inlet 쪽에 위치한 질량유량조절기(Mass Flow controller, MFC)로 유량을 조절해 공급하여 챔버 내부가 대기압을 유지하기 때문에 실제 실내의 조건과 같은 상태에서 방출시험이 가능하다. Oilless형의 공기공급장치(SAC-300, Top trading, Korea)를 사용하고, 실리카겔과 molecular sieve 및 charcoal로 충전된 다단계필터를 이용하여 공급공기 중 수분, 유기물 및 기타 화학물질을 제거하여 낮은 배경농도의 공기를 공급할 수 있도록 하였다. 20 L 시험챔버 안으로 공급되는 공기는 25 °C로 유지되는 항온오븐에 위치한 수분공급조를 통과한 습윤공기와 건조공기를 혼합탱크 안에서 상대습도 50%로 조절하여 공급하였다. 질량유량조절기를 이용하여 일정한 환기횟수를 유지할 수 있도록 공급 공기 유량을 조절하였으며, 온도와 습도의 모니터링은 MFC를 지나 20 L 챔버에 유입되기 전 대기압으로 유지되는 지점에서 모니터링하여 조절하였다. 방출 시험기간 동안 20 L 시험챔버의 출구는 항상 개방하여 챔버의 압력이 대기압과 동일하게 유지시켜 챔버 내 압력이 방출특성에 영향이 미치지 않도록 하였다.

2.4. 시료채취

20 L 시험챔버에 장착된 시료에서 방출되는 TVOC는 외경 6 mm, 내경 5 mm, 길이 90 mm의 스테인레스강 재질의 튜브에 100 mg의 Tenax-TA가 충전된 흡착관(Supelco, USA)을 이용하여 채취하였다. Tenax-TA 흡착관은 시료를 채취하기 전에 Tube cleaner(ATC-06 Tube cleaner, KnR, Korea)를 이용하여 고순

Table 2. Analysis conditions of TD-GC/FID

TD&Cryofocusing		KNR TD system
TD (purge)	280 °C, (He, 40 mL/min, 10 min)	
Coolant	Liquid N ₂	
Concentration loop	Silicosteel tubing	
Thermal desorption		
Temp	100 °C, boiling water	
GC		HP5890seriesII
Column	UA-1 (30 m×0.25 mm I.D×1.0 μm film)	
Carrier gas	He, 1.0 mL/min	
Oven temp.	40 °C (0 min)→10 °C/min→250 °C (5 min)	
Detector		
FID	Temp.	250 °C
	H ₂	30 mL/min
	Air	300 mL/min
	Make-up gas (N ₂)	19.2 mL/min

도 질소를 40 mL/min의 유속으로 흘려주며 300 °C로 3시간 이상 가열하여 세척하였다. 시료 채취유량은 ISO 16000-9에서 규정하고 있는 공급유량(167 mL/min)의 80%이하 조건인 134 mL/min으로 15분간 총 2 L의 시료를 채취하였다. 시료공기채취는 챔버에 시험편을 장착한 후 7일차 까지 채취하여 분석 하였다.⁷

2.5. TD-GC/FID 분석

열탈착기(Thermal Desorber, KnR, Korea)를 이용하여 탈착된 VOCs를 액체질소를 이용하여 1/8 inch의 silicosteel tubing loop에 1차 농축 후 탈착하여 분석컬럼 선단에 직접 2차 농축하였다.⁸ 분석컬럼은 비극성의 stainless capillary column(UA-1 30 m×0.25 mm I.D×1.0 μm, Frontier Lab Ltd, Japan)을 사용하였다. TVOC는 응답안정성이 높은 FID로 검출하였으며, 자세한 분석 조건은 Table 2에 나타냈다.

3. 결과 및 고찰

접착제의 시험방법은 시험기간과 건조시간이 변경되었을 뿐만 아니라 오염물질 방출관리기준이 동시에 개정되었다. 그러므로 시험방법 개정으로 인한 영향을 동일한 시료를 개정 전후의 시험방법으로 방출 시험하여 단순히 비교할 수 없다. 그래서 변경된 시험기간, 건조시간 각각의 영향을 검토하여 이들의 결과를 종합하여 개정된 방출강도를 서로 비교하였다.

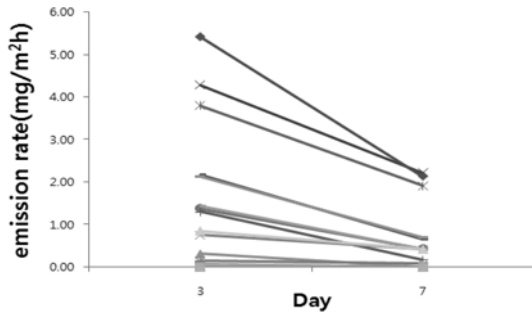


Fig. 1. Comparison of emission rate by test period.

3.1. 방출 시험기간에 따른 방출강도 변화

개정을 통해 시험기간이 늘어난 접착제의 시험기간 변화에 따른 영향을 알아보기 위해 방출시험기간 3일과 7일의 방출강도 변화를 비교하였다. 환경부에서 시험한 결과를 이용하여 확인한 3일과 7일의 시험기간에 따른 방출강도의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 방출강도 변화 경향을 검토한 결과 시험기간이 증가함에 따라 방출강도는 줄어드는 것을 확인할 수 있었으며 방출강도가 높은 제품이 일반적으로 큰 감소 경향을 보였고 방출강도가 낮은 제품은 7일간의 시험기간에 큰 차이가 나타나지 않는 경향을 나타냈다. 방출강도 감소율이 가장 큰 제품은 3일차 방출강도에 비해 7일차 방출강도가 0.4% 수준으로 크게 감소하였고, 가장 작은 감소율을 나타낸 제품은 60.4% 수준으로 나타났다. 대부분의 접착제 제품들이 방출강도가 높을수록 꾸준히 감소하였고 낮을수록 감소율이 낮게 나타났다. 3일차 방출강도는 최소 0.0017 mg/m²h에서 최대 5.4236 mg/m²h으로 그 평균값은 약 1.0996 mg/m²h으로 나타났다. 7일차 방출강도의 경우 최소 0.0001 mg/m²h에서 최대 2.2238 mg/m²h으로 평균값이 약 0.4389 mg/m²h로 기존 시험기간인 3일의 방출강도에 비하여 약 2.5

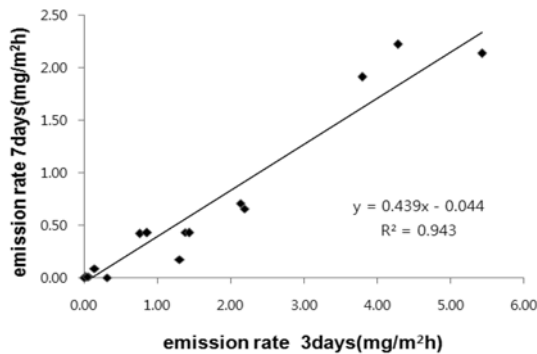


Fig. 2. The interrelation of test period.

배 낮게 나타났다. 이것을 통해 시험기간의 개정이 방출강도를 감소시켜주는 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 따라서 명확한 개정 내용을 파악하기 위해서는 시험기간의 변경을 고려해야한다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 2에 검토한 접착제 제품들의 3일의 시험기간과

Table 3. Suggested drying time of various commercial products

Manufacturer	Products	Dry time(min)
A	A-1	100
	A-2	100
	A-3	90
	A-4	90
	A-5	90
	A-6	100
	A-7	100
	A-8	115
	A-9	115
B	B-1	90
	B-2	90
	B-3	100
	B-4	100
C	C-1	90
	C-2	90
	C-3	90
	C-4	90
	C-5	90
	C-6	100
D	D-1	100
	D-2	100
	D-3	100
E	E-1	115
F	F-1	100
	F-2	100
	F-3	100
	F-4	100
	F-5	100
	F-6	100
	F-7	100
G	G-1	90
H	H-1	115
I	I-1	90
J	J-1	90
	J-2	90
K	K-1	100
L	L-1	90
M	M-1	100
	M-2	90
N	N-1	100
	N-2	115

7일의 시험기간의 TVOC 방출강도 상관관계를 나타내었다. 두 방법 간의 상관관계 결정계수 R^2 는 0.943으로 나타났다. 이 관계식을 바탕으로 집착제 제품들의 개정 전과 후 방출강도 평균을 구해 확인한 결과 시험기간이 7일로 늘어남에 따라 TVOC 방출강도의 평균이 약 40% 수준으로 감소한 것을 알 수 있다.

3.2. 건조시간에 따른 방출강도 변화

Table 3에는 시중에서 판매되는 일반적인 제품들의 사용설명서에 명시되어있는 건조시간을 나타내었다. 건축자재 쇼핑몰과 제조업체 홈페이지에 기재되어 있는 내용에 따르면 이 실험의 시료로 선정된 집착제들의 사용설명서에 따른 건조시간은 최소 90분에서 최대 115분으로 평균 98분의 건조시간을 필요로 하고있다. 따라서 건조시간은 기존 시험방법의 1시간 보다 최대 2배 정도 증가하게 되었다. 두 방출강도 간의 차이는 1시간으로 건조한 후 실험한 방출강도에서 3시간으로 건조한 후 실험한 방출강도를 나누어 Fig. 3에 나타내었다. 그래프를 통해 얻은 건조시간에 의한 방출강도 비율의 평균값은 약 1.1로서 건조시간 차이에 따른 방출강도의 변화는 약 10% 수준인 것으로 나타났다. 이것은 개정으로 인한 건조시간의 변화가 방출강도에 큰 영향을 미치지 않았음을 의미한다.

3.3. 집착제의 다량오염물질방출제품 방출관리기준 변화

개정 전 기존의 시험방법을 적용하던 다량오염물질 방출 집착제의 방출관리기준은 10 mg/m²h였다. 그러나 집착제의 시험방법이 개정되었으며 방출관리기준

도 2 mg/m²h로 변경되었다. 수치상으로만 비교한다면 5배 강화된 기준이지만 실질적인 두 방출강도의 차이는 시험방법이 변경되어 직접적인 비교가 불가능하다. 따라서 기존 시험방법과 비교가 가능하도록 환산을 해보았다. 개정된 집착제의 시험방법은 도말방법이 변경되지 않았고 기존의 60분에서 제품의 사용설명서에 명시된 내용을 따르는 것으로 변경된 건조시간 또한 약 2배 증가하였지만 방출강도에는 큰 영향을 주지 않는다. 따라서 3일에서 7일로 늘어난 시험기간의 변경만 고려하면 두 시험방법간의 방출강도를 비교할 수 있다. 개정된 관리기준인 2 mg/m²h는 Fig. 2의 관계식 $y=0.439x-0.044$ 를 통해서 4.66 mg/m²h로 환산되었다. 이 값은 기존 기준 10 mg/m²h에 비하여 약 2.1배 강화된 값이다.

4. 결 론

집착제의 개정 시험방법은 방출관리기준과 건조시간, 시험기간이 동시에 개정되었기 때문에 다량오염물질 방출관리기준을 수치만으로 단순히 비교할 수 없었다. 따라서 건조시간 변경과 시험기간 변경이 방출강도에 미치는 영향을 각각 평가한 후 종합하여 비교할 수 있었다. 건조시간의 변화는 방출관리기준에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 대부분의 집착제 제품이 시료를 도말하는 과정에서 시료가 서서히 굳어질 만큼 빠르게 건조되는 경향을 가지고 있었다. 따라서 7일간 진행되는 실험에서 2시간의 건조시간 차이의 영향을 미비한 것으로 생각된다. 반면, 시험기간 변경은 방출강도에 영향을 주는 것으로 나타났다. 기존 3일의 시험기간에 비해 7일로 두 배 이상 시험기간이 길어졌기 때문에 방출강도 역시 약 2.5 배가 낮아졌다.

집착제의 방출 관리기준은 수치상으로 5배 강화된 것 같이 보이지만 시험방법의 변경을 고려하면 TVOC 관리기준은 실질적으로 2.1배 강화된 것으로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 한국공기청정협회의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 환경부, “실내공기질공정시험방법” (2004).

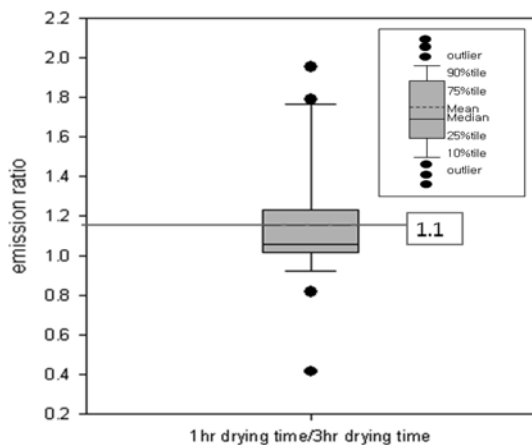


Fig. 3. Effect of drying time for emission ratio.

2. 일본건축학회 저, 김현중 역, “새 집증후군 대책의 바 이블”, 1판, p.95-97, 선진문화사 2004.
3. 환경부, “실내공기질공정시험기준” (2008).
4. 장성기, “오염물질 방출 시험방법 개선 방향 및 관리 방안”, 친환경 건축자재 및 제품의 평가기술 발전 방향 기술 세미나 자료 (2008).
5. 장성기, 서수연, 박현주, 임정연, 임준호, 이우석, 한국실내환경학회지, 액상 건축자재의 기간별 TVOC 방출량 특성에 관한 고찰, **4**(2), 140-153(2007).
6. 강윤경, 김현진, 이윤규, 한국실내환경학회지, 소형 챔 버를 이용한 건축자재의 휘발성유기화합물과 폼알데 하이드 방출량 평가, **5**(3), 185-195(2008).
7. ISO 16000-9. Determination of the emission of volatile organic compound from building products and furnishing-emission chamber method (2006).
8. 신우진, 이철원, 김만구, 한국분석과학회지, 건축자재 에서 방출되는 오염물질 평가 시 사용되는 20 L 시험챔버 시편홀더의 기밀성 개선, **20**(4), 261-267(2007).