

시험편 제작방법 변경에 따른 페인트, 퍼티의 TVOCs의 방출 특성 비교

박준만 · 유지호 · 김만구★

강원대학교 환경학과

(2010. 2. 4. 접수, 2010. 3. 10. 승인)

Comparison of TVOCs emission characterization of paint and putty according to the amendment of test specimen preparation method

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

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

(Received February 4, 2010; Accepted March 10, 2010)

요약: 이 연구에서는 2008년에 개정된 「다중이용시설 등의 실내 공기 질 관리법」의 시행규칙 중에서 페인트와 퍼티의 시험방법과 개정된 시험방법을 비교하고 변경된 관리기준의 변화 방향에 대해서 알아보았다. 페인트의 경우 개정된 시험방법은 시험기간의 변경으로 인하여 원래 시험방법에 의한 방출강도보다 약 45% 감소하였으며, 건조시간의 변화에 따른 방출강도의 영향은 없었다. 또한 도포량의 변화에 따른 방출강도의 변화는 5 mg/m²h 이상의 높은 방출 강도를 가지는 제품은 방출강도의 변화가 크나 그 이외의 제품들에서는 방출강도의 변화가 없었다. 퍼티의 경우 개정된 시험방법은 시험기간의 변경으로 원래 시험방법에 의한 방출강도보다 평균 61% 감소하였고, 건조시간의 변화에 따른 방출강도의 영향은 없었다. 그러나 퍼티의 도포량의 변화로 인하여 원 시험방법에 의한 방출강도보다 약 164% 증가하였다. 개정된 시험방법에 따른 변경된 TVOCs의 관리기준은 페인트와 퍼티 모두 원래 시험방법에 의한 과거의 관리기준보다 각각 1.8배 및 5.8배 완화된 것으로 나타났다.

Abstract: Amended at the Law of indoor air quality management open a court according to the test method and excess standard of the fluid building material were changed. It used the paint and the putty in the fluid building material from this research and comparison of amended and original method it led and in about change direction of amended standard with change of the emission rate who is caused by in the amended test method and excess standard it examined. The reduction emission rate about 45% decreases in the change of test period of the paint, there was not an effect of the emission rate whom it follows in change of dry time. Also change of the emission rate whom it follows in change of application quantity the product which above 5 mg/m²h has the high emission rate the change of the emission rate is big but there was not change of the emission rate from the products of that others. The putty the emission rate about 61% decreases in case in the change

★ Corresponding author

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

E-mail : mgkim@kangwon.ac.kr

of test period, there was not an effect of the emission rate whom it follows at dry time. The emission rate about 164% increased with increase of application quantity. It tried to compare two test methods, it compared in the paint and putty all current test method it was relaxed the possibility of knowing the thing there was a standard.

Key words: Paint, Putty VOC, pollutant emission

1. 서 론

실내공기오염의 주요 배출원으로 가구, 바닥재 벽지 등 실내 내장과 마감재 등이 주목받아 관리되고 있으며, 이들 표면처리와 벽면등의 마감재로서 사용되고 있는 페인트와 퍼티도 주요 실내오염물질 배출 건축자재로 분류되어 관리되고 있다. 페인트는 안료를 결합제와 혼합하여 만든 유색도료의 총칭으로 유성페인트·에나멜페인트·수성페인트 등이 있으며, 인테리어 용 도장의 85%이상 사용된다. 그리고 퍼티는 페이스트상의 접합제로서 페인트를 칠하기 전에 목질부의 결막이나 바탕면을 평편하게 하기 위해 사용되고, 창유리의 장착, 이음매 고정 등에 사용된다. 이러한 건축자재들은 많은 VOCs를 함유하고 있으며, 실제 인테리어에 사용되면 건조되는 과정에서 많은 VOCs를 방출하게 된다. 따라서 건축자재에서 발생하는 오염물질들을 제조단계나 제조업체들의 단체 혹은 친환경건축자재, EMICODE, GREENGUARD, AGBB, GUT 등 자발적인 표준 규격을 통해 관리하여 오염물질의 방출이 적은 친환경 건축자재의 사용을 유도하고 있다. 우리나라에서는 2004년부터 다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법이 시행되어 국가적인 차원에서 건축자재의 오염물질방출에 관한 시험방법과 방출 기준을 정하여 초과되는 건축자재는 다중이용시설에 사용을 제한하고 있다.

그러나 실내건축자재 중 액상 건축자재는 용도에 따라 매우 다양한 제품들이 생산되고 있기 때문에 일률적인 시험방법을 마련하기가 매우 어렵다. 그리고 일률적인 제품군의 분류와 시험방법에 따른 시험결과는 실제 실내에서 사용되었을 때 나타나는 건축자재의 오염물질 방출 수준이나 형태와 매우 상이할 수 있다. 그래서 액상건축자재의 실내 공기질 관련 시험 방법들은 시험목적에 따라 함량시험방법¹⁻³과 방출량 시험방법⁴⁻⁶이 사용되며, 시험편 제작방법과 시험기간도 다양하다. 국제표준화기구인 ISO의 시험방법에 의하면 페인트와 퍼티가 구분되어 다른 시험방법이 사

용되고 있다. 페인트의 경우 제조사의 권장 건조 도막 두께에 따라 시료를 분류하여 지정된 건조두께⁷에서 배출 시험을 실시하도록 되어 있다. 퍼티는 2 mm 두께의 균일한 층으로 시험하도록 규정하고 있다. 그러나 국내의 실내 공기질 공정시험방법⁸과 관리기준은 페인트와 퍼티를 구분하지 않고 페인트로 적용되어 왔다. 그러나 실제 페인트와 퍼티는 시공 방법과 용도가 매우 달라서 같은 시험방법으로는 실제와 매우 상이한 결과를 가지게 된다. 2004년도부터 2007년도 사이에 환경부에서 오염물질 다량방출 건축자재로 170개 제품을 고시 하였다. 제품군별로 오염물질 다량방출건축자재로 고시된 제품의 초과비율을 살펴보면 벽지는 2.9%, 바닥재가 5.7%, 접착제가 3.1% 그리고 페인트가 14.8%로 페인트가 다른 제품군들에 비하여 약 2.5배에서 6배 까지 높은 초과 비율을 나타냈다. 따라서 페인트 제조업체들은 이러한 환경부의 관리기준을 초과한 제품군 간의 초과비율 불균형에 대해 민원을 제기하여 왔으며, 오염물질의 방출 기준과 시험방법의 지속적인 개선을 요구해 왔다.

이에 따라서 환경부는 2008년 6월에 이러한 건축자재 제품군간의 기준 초과비율의 불균형을 조정하는 것과 시험방법을 국제표준화기구인 ISO의 방법과 같은 골격을 유지하는 것을 목적으로 하여 이 시행 규칙의 일부를 개정하였다. 개정안에서는 액상 건축자재 중 기존의 페인트로 분류되던 제품들이 페인트와 퍼티로 세분화하여 분류되었고, 제품들의 오염물질 시험 방법도 변경되었으며, 오염물질 다량방출 건축자재의 관리기준도 변경 되었다. 그러나 시험방법과 관리기준이 동시에 변경되어 개정된 관리기준이 원래 기준에 비하여 얼마만큼 강화되었는지 혹은 약화되었는지 개정된 관리기준 값만의 단순한 비교로는 알 수가 없다.

이 연구에서는 페인트와 퍼티의 원래 시험 방법과 개정된 시험 방법에서 변경된 시험요소들이 각각 오염물질 방출시험결과에 미치는 영향을 알아보고, 이들 방출시험요소들의 영향을 고려하면 변경된 페인트와 퍼티의 오염물질 다량방출 건축자재의 휘발성유기화

합물(TVOCs) 방출 관리기준이 상당히 완화된 것을 확인하여 보고한다.

2. 연구방법

2.1. 시료 및 방출시험

연구에 사용된 시료는 시중에서 판매되는 것들을 구입하여 시험하였다. 페인트는 11개사 40종의 제품 퍼티는 10개사 16종의 제품을 대상으로 하였다. 페인트와 퍼티의 시험은 공기청정협회의 10개 시험기관에서 시험한 결과⁹와, 환경부의 발표자료¹⁰ 및 이 연구에서 시험한 결과들을 종합하여 검토하였다.

2.2. 개정 시험방법

2008년에 실내 공기질 공정시험기준의 개정¹¹에 따라서 액상건축자재의 시험방법 및 초과기준이 변경되었다. 이번 개정에서 가장 큰 변화는 기존의 페인트에 포함되어 있던 퍼티가 페인트와 퍼티로 세부 분류되어 관리되는 것이다. 그리고 기존의 시험방법은 6.4 cm×6.4 cm의 일정한 면적에 300 g/m²의 무게가 되도록 시료를 제품의 특성과 관계없이 일률적인 시험편을 제작하여 유성페인트는 24시간 수성페인트는 48시간 건조 후 방출강도를 측정하였으나 이번 개정은 제품이 실제 사용되는 사용설명서에 따르도록 한 것이 큰 특징이다.

개정된 공정시험방법에서는 페인트는 기존과 같은 6.4 cm×6.4 cm의 넓이에 제조사의 권장 건조막 두께에 따른 등급별 계산에 따라 산출된 양의 페인트를 도포하도록 도포량이 변경 되었다. 그리고 건조시간도 제품의 사용설명서에 따르도록 변경 되었다. 퍼티의 경우에는 원래의 시험방법은 페인트와 같은 넓이에 일정무게의 퍼티를 도포하도록 되어 있었으나 면적에 도포되는 퍼티의 양을 시험편 면적에 2 mm 두께로 일정하게 도포하도록 시험편의 제작방법이 변경 되었다. 그리고 건조시간도 페인트와 같이 제품의 사용설명서에 따르도록 변경 되었다.

그리고 페인트와 퍼티모두 시험편의 방출시험기간이 3일에서 7일로 변경 되었다.

2.3. 개정된 퍼티의 시험편 제작방법

액상건축자재의 시험방법개정에 따라서 퍼티의 시험편을 제작하는 방법이 변경되었다. 이 방법은 폭이 100 mm 두께가 10 μm로 조절되는 스테인리스 스틸 재질의 Applicator(SI 1117-100, Sheen Instruments LTD,

UK)를 사용하여 시료를 도말하는 방법으로써 시료를 6.4 cm×6.4 cm의 일정한 면적에 2 mm의 일정한 두께로 도말하는 것이다. 실험을 위하여 우선 시료의 도말 면적을 지표해줄 중앙에 6.4 cm×6.4 cm의 구멍이 뚫린 16 cm×16 cm 크기의 스테인리스 판과 도말할 유리판을 준비한다. 유리판의 크기는 가로 세로 16 cm의 크기에 3 mm의 두께인 것으로 사용하였다. 준비한 스테인리스 판 위에 유리판을 놓고 테이프(810, 3M Corporate, Korea)로 시료가 유리판의 정해진 면적 이외의 곳에 묻는 것을 방지하기 위하여 스테인리스 판에 뚫어진 구멍의 간격에 맞게 붙인다. 마지막으로 applicator를 이용하여 시료를 유리판 중앙에 도말한 후 사용설명서에 따라 건조시킨 뒤 테이프를 제거하여 시험편을 제작하였다. 혼합하여 사용하는 시료의 경우 사용설명서의 혼합비율에 따라서 혼합하여 도말하였으며, 단일 액상시료의 경우 직접 도말하였다. 각각의 시료는 시험방법 개정 전·후 방법으로 시험편을 제작하고 방출시험을 실시하였으며, 시료는 0.001 g 단위까지 측정 가능한 전자저울(TE313S, Sartorius AG, Germany)을 사용하여 무게를 측정하였다.

2.4. 시료의 채취 및 분석 조건

2.4.1. 20L Chamber system

이 연구에서는 ISO 형의 표면이 전해연마 처리된 스테인리스강으로 제작된 20 L 시험 챔버 시스템(CT-10, Top Trading, Korea)을 사용하였다. Oilless 형의 공기공급장치(Compressor) (SAC-300, Top Trading, Korea)에서 압축된 공기는 silica-gel과 molecular sieve 및 charcoal로 충전된 다단계필터를 통과시켜 수분, 유기물, 화학물질을 제거하였다. 정제된 공기의 일부는 25 °C로 유지되는 항온오븐에 위치한 Bubble Tank를 통하여 가습되고, 혼합조에서 건조된 공기와 섞여서 상대습도 50%로 조절하였다. 온습도가 조절된 공기는 MFC Controller System (MCS-108S, Top Trading, Korea)을 이용하여 일정한 유속으로 방출 시험 챔버에 공급하였다.

2.4.2. TVOC의 채취 및 분석

건축자재에서 방출되는 TVOC의 채취를 위하여 길이 90 mm, 외경 6 mm, 내경 5 mm로 된 스테인리스 스틸 재질 tube에 60/80 mesh (0.18 mm~0.25 mm)의 Tenax-TA (2,6-diphenylene oxide) (Supelco, USA)가 200 mg 충전된 흡착관(Perkinelmer, USA)을 사용하였다. Tenax-TA 흡착관은 시료채취이전 Tube cleaner (ATC-06, KNR, Korea)를 이용하여 고순도 질소를 50 mL/

Table 1. Analytical condition of TD-GC/FID

TD&Cryfocusing	
TD	280 °C, (He, 40 mL/min, 10 min)
Coolant	Liquid N ₂
Concentration loop	Silicosteel tubing
Thermal desorption	
Temp	100 °C, boiling water
Gas Chromatograph	
GC	HP5890series II
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 (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

min의 유량으로 흘려주면서 300 °C의 온도에서 3시간 이상 열 세척을 실시하였다. 열세척이 완료된 흡착관은 열 탈착 바탕값을 확인 한 이후 시료를 2 L 채취 하였으며, 실험은 개정 전·후 실험방법의 변경에 따른 영향을 알아보기 위하여 8일간 분석 하였다. 시료 채취 시 공급유량의 80% 이하 유량으로 시료를 채취 하며, 나머지 공기는 vent시켜 챔버 내의 압력을 대기 압으로 유지했다.

채취한 Tenax-TA 흡착관 상의 TVOC의 측정을 위하여 열탈착 장치(Thermal Desorber, KnR, Korea)가 장착된 GC/FID(HP5890 seriesII, Hewlett Packard, USA)를 사용하였으며, column은 UA-1 (dimethylpolysiloxane) (30 m×0.25 mm I.D.×1.0 μm film, Frontier Lab Ltd, Japan)를 사용하여 분석하였다. 흡착관을 열탈착 장치에 장착 후 280 °C에서 40 mL/min의 유량으로 열 탈착시켜 dimethylsiloxane으로 처리된 Stainless-steel Capillary Deactivated Tube(UADTM, Frontier Lab Ltd, Japan)에 10분간 농축 시킨 후 분석 컬럼의 선단에서 10분간 재 농축 하여 FID로 26분간 TVOC를 분석 하였다.^{12,13} Table 1은 사용한 TD-GC/FID의 분석 조건이다.

3. 결 과

3.1. 페인트

3.1.1. 방출시험 기간과 건조시간에 따른 변화
방출시험기간이 3일에서 시험방법의 개정으로 인하

여 7일로 변경 되었다. 동일한 시료를 대상으로 총 7개의 시험기관에서 방출강도의 변화를 측정한 결과 3일에 비하여 7일에 방출강도가 55%의 감소하였다. 또한 총 9가지 페인트 시료를 대상으로 한 개의 실험기관에서 방출강도의 변화를 측정한 결과 방출강도가 3일에 비하여 7일에 38% 감소하였다. 따라서 시험기간에 따른 방출강도의 감소는 여러 기관들의 결과와 하나의 기관의 결과 평균값인 45% 나는 것을 알 수 있다. 페인트는 많은 VOCs를 함유하고 있으며 건조되는 과정에서 많은 VOCs를 방출한다. 개정 시험기간인 7일은 챔버 내부에 주입된 시료가 완전히 건조되어 방출되는 오염물질의 평형이 일어난 상태에서 방출강도를 측정 한다. 원래 시험기간인 3일은 시료가 챔버에 주입된 상태에서 완전히 건조되기 이전에 방출되는 오염물질을 측정 한다. 따라서 시료에서 VOCs가 방출하여 원래 시험방법에 비하여 높은 방출강도를 가진다.

원래 시험방법에서는 건조시간을 유성 페인트와 수성 페인트로 구분하여 사용하였으며, 각각 24시간과 48시간의 건조시간을 가졌다. 개정된 시험방법은 유성 페인트와 수성페인트를 구분하지 않고 지속건조시간에 따라 건조하게 되어 있다. 따라서 페인트의 개정 시험방법은 90분에서 180분 사이로 최대 3시간 이내의 건조시간을 가진다. 두 시험방법 사이에는 약 1일의 건조시간 차이가 존재한다.

총 35개의 페인트 시료를 대상으로 원래 시험방법과 개정시험방법의 건조시간 변화에 따른 방출강도의 영향을 알아보았다. 각각의 제품을 대상으로 측정한 원래 시험방법과 개정 시험방법의 방출강도의 변화비(개정 시험방법 방출강도(mg/m²h)/원래 시험방법 방출강도(mg/m²h))는 평균 1.1이다. 따라서 원래 시험방법에 비하여 개정 시험방법의 방출강도가 약 9% 증가하였다. 건조시간이 감소 하지만 방출시험기간이 7일로 증가하였다. 7일의 시험기간에서는 시료에서 방출되는 오염물질이 평형을 이루어 낮고 고른 방출특성을 가진다. 따라서 7일의 방출시험 기간에서 건조시간의 차이에 의한 방출강도의 차이는 없는 것으로 판단 된다.

3.1.2. 도포량의 변화에 따른 방출강도의 변화

원래 시험방법에서는 비활성기질의 바탕판(유리 또는 스테인리스강)에 300±50 gm⁻²의 균일한량을 도말하였다. 개정 시험방법에서는 각 제품의 제조사가 권장하는 건조 도막 두께에 따라서 등급별로 분류하여

Table 2. Comparison of application quantity by preparation of test specimen

Classification	Original test method		Amended test method	
	Application quantity	Standard	Application quantity	Standard for application quantity
Water base(n=18)			0.535±0.028 g/(40.96 cm ²)	131±7 g/m ²
Oil base(n=17)	1.23 ± 0.21g/	300 ± 50 g/m ²	0.484±0.027 g/(40.96 cm ²)	118±7 g/m ²
Total(n=35) (water base + oil base)	(40.96 cm ²)		0.509±0.028 g/(40.96 cm ²)	124±5 g/m ²

각 시료의 도포량을 계산한다. 따라서 원래 시험방법은 모든 제품이 일정한량으로 도포되지만 개정된 시험방법의 경우 각각의 제품마다 도포량이 다르게 된다. Table 2에 개정된 시험 방법에 따른 도포량의 변화에 대하여 나타냈다.

수성페인트는 18개의 제품을 대상으로 실험한 결과 평균 도포량이 130.5±6.91 g/m² 이다. 유성페인트 17개 제품을 대상으로 실험한 결과에서는 평균 도포량이 118.2±6.65 g/m²이다. 수성 페인트가 유성 페인트에 비하여 평균 도포량이 12.3 g/m² 더 많았다. 이것은 수성페인트가 유성 페인트 보다 더욱 두껍게 도포되는 페인트의 일반 성질을 잘 반영 하고 있다. 개정 시험방법에서 페인트를 수성과 유성으로 따로 구분하지 때문에 전체 페인트의 평균 도포량과 원래 시험방법의 도포량을 비교하였다. 개정 시험방법의 평균 도포량은 1.24±4.84 g/m²으로 원래 시험방법의 도포량 300±50 g/m²에 비하여 2.4배 감소한다. 그러므로 원래 시험방법에서는 페인트가 실제 사용량 보다 훨씬 많이 도포된 조건에서 방출시험을 시행해 왔다는 것을 알 수 있다.

이번 페인트의 시험방법 개정에서 건조시간과 방출 시험기간 및 도포량이 변경되었다. 건조시간의 변경에 따른 방출강도의 변화가 없으므로 시험기간을 동일하게 하면 도포량의 변화에 따른 방출강도의 영향을 알 수 있다. 그래서 같은 방출시험기간의 방출강도를 비교하여 도포량에 따른 방출강도 변화에 대하여 Table 3에 나타냈다.

페인트의 경우 방출강도가 낮은 제품과 높은 제품의 사이에는 매우 큰 차이를 나타내고 있었기 때문에 평균값이 아닌 중앙값(median)으로 비교하였다. 원래 시험방법의 방출강도 중앙값은 1.85 mg/m²h이며, 개정 시험방법의 경우 1.39 mg/m²로 시험방법 간에 중앙값은 0.46 mg/m²h의 큰 차이를 나타냈다. 이는 기존 시험방법이 실제로 사용되는 도포량보다 두껍게 도포된 시료들의 제품들 간 건조 상태가 많은 차이를

Table 3. Variation of application amount by preparation of test specimen

Classification	Paint	
	Test period	3day
Original test method	Average (mg/m ² h)	1.85
	Maximum (mg/m ² h)	18.8
	Minimum (mg/m ² h)	0.188
	SD*	4.93
Amended test method	Average (mg/m ² h)	1.39
	Maximum (mg/m ² h)	16.8
	Minimum (mg/m ² h)	0.0107
	SD*	2.99
Decrement of emission rate(%)**	product (total)	42
	product (less than 5 mg/m ² h)	7

* : Standard deviation ** the change of emission rate which it follows in test method

나타내기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 방출강도가 높고 제품들 사이의 VOCs 방출강도 차이가 매우 크다. 이는 방출량이 높은 제품들은 기존 시험방법에서는 도포량이 많아서 건피막이 형성된 후 방출시험기간 동안에 완전히 건조되지 않아 높은 방출강도를 나타내고 건조가 빨리되는 제품은 시험기간 동안에 완전히 건조된 상태에서 나타내는 VOCs 방출강도이기 때문으로 생각된다. 그러나 개정 시험방법에 의한 실제 도포량으로 시험하면 시험기간 동안 완전히 건조되어 불완전한 건조로 인한 제품들 간의 방출강도 차이가 해소되어 제품들간 VOCs의 방출강도의 편차가 기존 시험방법에 비하여 크지 않은 것으로 생각된다.

그래서 기존 시험방법으로 방출강도가 높았던 완전 건조되지 않은 상태의 방출강도를 나타내는 제품들을 제외하고 완전히 건조된 상태에서 시험된 결과들만을 서로 비교하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 시험한 제품들 전체를 대상으로 한 기존 시험방법과 개정 시험방법의 도포량 차이에 의한 방출강도의 변화를 보면 개정시험방법이 기존 시험방법에 비해 평균 48%

방출강도가 감소하였다. 그러나 불완전 건조 상태의 방출강도를 나타내는 것으로 판단되는 5 mg/m²h 이상의 방출강도를 나타내는 10 개의 제품들을 제외한 나머지 제품들의 시험방법의 변화에 따른 방출강도의 변화는 평균 7%로 건조방법에 따른 방출강도의 변화는 거의 없는 것으로 판단되었다.

3.1.3. 페인트 오염물질 다량방출 제품의 관리기준 개정방향

환경부의 실내공기질공정시험기준개정에 따라서 페인트의 시험방법과 관리기준이 동시에 변경되었다. 이에 따른 환경부의 기준 개정의 방향을 알아보기 위하여 원래 시험방법과 개정 시험방법의 방출강도를 직접 비교하여 상관관계를 Fig. 1에 나타냈다.

원래 시험방법은 방출시험기간이 짧고 도포량이 많아 시료가 완전히 건조되기 이전에 방출강도를 측정하게 되는 제품들이 많았을 것으로 생각된다. 그러나 개정 시험방법은 시험기간이 길고 시험편 도포량을 사용설명서상의 도포량으로 줄여서 도포한 시험편을 이용하여 시험하기 때문에 시험편이 완전히 건조된 상태에서 방출강도를 측정하게 되었다. 그래서 전체 제품을 대상으로 시험방법간의 상관관계를 보면 선형수식은 $y=0.135x+0.252$ 였고 이때 R²값은 0.372로서 두 시험방법사이에 방출강도가 낮은 상관관계를 나타냈다. 그러나 불완전 건조 상태의 방출강도를 나타낸 것으로 판단되는 방출강도가 5.0 mg/m²h 이상의 제품들을 제외한 제품들을 대상으로 한 두 시험방법의 상관관계는 선형수식은 $y=0.373x-0.033$ 이고, 이때의 R²값은 0.703으로 기존시험방법과 개정시험방법의 방출강도 크게 산포 되어있지 않고 높은 상관관계를 나타내고 있는 것을 확인하였다.

그러므로 5.0 mg/m²h 이하의 방출강도를 나타내는 제품들을 대상으로 한 두 시험방법의 방출강도 상관관계식에 개정된 페인트의 오염물질 다량방출 제품의 관리기준인 2.5 mg/m²h 를 대입하여 기존 시험방법에 상응하는 값으로 환산하면 6.8 mg/m²h 에 상당한다. 그러므로 기존 오염물질 다량방출 제품의 관리기준인 4 mg/m²h 에 비하여 1.7배 높은 값이다.

그러므로 기존 페인트의 오염물질 다량방출 제품의 관리기준과 개정된 오염물질 다량방출 제품의 관리기준 값을 단순히 비교한다면, 개정된 페인트의 오염물질 다량방출 제품의 관리기준이 1.5 mg/m²h 낮아져 페인트의 오염물질 다량방출 제품의 관리기준이 기존에 비해 37.5% 강화된 것으로 보인다. 그러나 오염물질 방출기준 뿐만 아니라 시험방법이 동시에 개정되어 오염물질 방출기준은 실제로는 기존의 오염물질 다량방출 제품의 관리기준인 4 mg/m²h 에 비해 78% 정도 완화된 것으로 나타났다. 비록 페인트의 오염물질 다량방출 제품의 관리기준은 완화되었지만 개정된 관리기준과 시험방법은 실제 사용방법과 건축자재 제품군 간의 형평성을 반영한 것으로 생각된다.

3.2. 퍼티

3.2.1. 방출 시험 기간과 건조시간에 따른 방출 강도 변화

퍼티의 시험방법 개정으로 인하여 방출시험기간이 기존 3일에서 7일로 개정 되었다. 방출 시험기간의 개정에 따른 방출강도의 변화를 Table 4에 나타냈다. 액상건축자재는 건조되는 과정에서 많은 VOCs 가 방출하게 된다. 원래 방출시험 기간인 3일의 경우 제품이 완전히 건조되기 이전에 방출되는 오염물질을 측정하였다. 개정 방출시험기간인 7일의 경우는 제품이 건

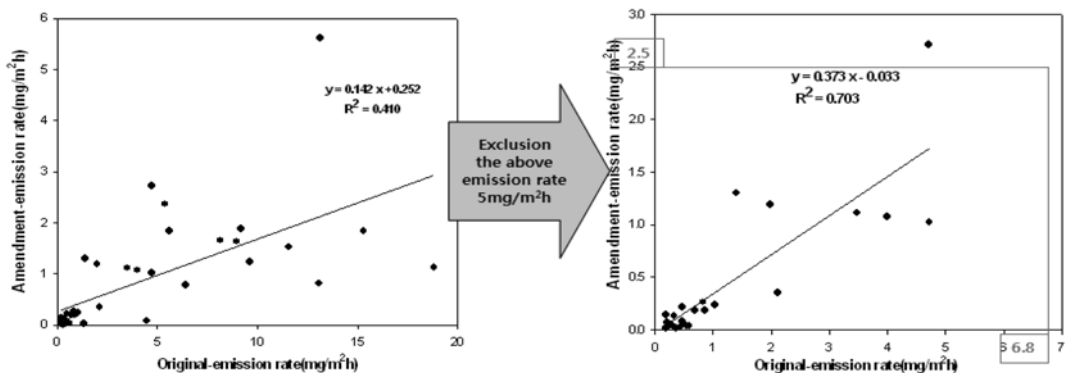


Fig. 1. Comparison of emission rate according to test method.

Table 4. The effect of test period (putty)

Classification	Sample(=n)	Putty	
		Product (total)	Product (emission rate high product exclusion)
		16	13
3day emission rate	Average (mg/m ² h)	31.6 ± 13.5	7.11 ± 2.77
	Maximum (mg/m ² h)	161	28.1
	SD* (mg/m ² h)	54.1	10.0
	RSD(%)**	171	140
7day emission rate	Average (mg/m ² h)	6.40 ± 2.17	2.75 ± 1.11
	Maximum (mg/m ² h)	24.3	10.7
	SD* (mg/m ² h)	8.66	4.00
	RSD(%)**	135	145
Decrement of emission rate (%)***		80	69

*: Standard deviation, **: Relation Standard deviation, ***: the change of emission rate which it follows in test method

조된 상태에서 방출되는 오염물질을 측정하기 때문에 원래 시험방법에 비하여 방출강도가 감소한다. 16개 제품을 대상으로 3일과 7일의 방출강도 변화를 보면 3일 평균 방출강도는 31.56±13.53 mg/m²h 이고 7일 평균 방출강도는 6.4±2.17 mg/m²h 이다. 현행 시험방법과 개정 시험방법의 평균 방출강도 차이는 25.16 mg/m²h 으로 방출시험기간의 증가로 방출강도가 약 80% 감소하였다. 그러나 이렇게 방출강도가 크게 감소하는 것은 방출강도가 100 mg/m²h 이상으로 매우 높아서 방출시험기간에 따른 방출강도의 변화가 큰 이상치를 나타낸 제품에 의한 것이다. 이러한 이상치를 포함한 데이터의 경우 이상치가 결과에 영향을 끼쳐 결과가 왜곡되어 이상치를 포함하지 않은 데이터들과 많은 차이를 나타낸다. 전체 16개 제품 중 이러한 이상치를 보이는 제품은 3개로 소수이다. 이상치를 나타내는 3개 제품의 평균 방출강도는 137.54±14.61 이고 7일의 평균 방출강도는 22.22±1.25 mg/m²h으로 전체 제품의 평균 방출강도에 비하여 3일은 약 4.4배 7일은 약 3.4배 높은 값으로 방출강도가 커서 이상치를 나타내는 제품이 전체 제품에 영향을 끼쳐 전체 제품의 방출강도 변화가 크게 왜곡되어 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 방출강도가 커서 이상치를 나타내는 3개의 제품을 제외한 나머지 13개 제품을 이용하여 시험기간의 변화에 따른 방출강도의 영향을 구하여야 한다. 이상치를 나타내는 3개 제품을 제외한 나머지 13개 제품을 이용하여 3일과 7일의 방출강도를 비교하면 3일의 평균 방출강도는 7.10±2.77 mg/m²h 이고 7일의 평균 방출강도는 2.75±1.11 mg/m²h

이다. 원래 시험방법과 개정시험방법의 방출강도 차이는 4.35 mg/m²h로 방출시험기간의 증가로 방출강도가 61% 감소한다. 따라서 시험기간의 증가로 방출강도가 크게 감소하였다.

원래 시험방법에서 퍼티의 건조시간은 24시간으로 일정하였다. 그러나 개정 시험방법에서는 각제품의 사용설명서에 명시된 지축건조시간동안 건조시키도록 개정되었다. 환경부 자료¹⁰에 따르면 퍼티의 제품사용설명서에 따르는 지축건조시간은 대부분 90분에서 100분 사이로 최대 2시간 이내의 건조시간을 가진다. 따라서 원래 시험방법과 개정시험방법의 건조시간 사이에 22시간 이상 약 1일의 차이가 있다.

총 10개의 시료를 이용하여 시험방법에 따른 건조시간의 차이에 의한 방출강도의 변화를 구하였다. 각각 제품들의 원래 시험방법과 개정 시험방법의 방출강도 변화비(개정 시험방법 방출강도(mg/m²h)/원래 시험방법 방출강도(mg/m²h))는 평균 1.28 이다. 따라서 건조시간의 차이에 의하여 원래 시험방법에 비해 개정시험방법의 방출강도가 약 20% 증가한다. 개정 시험방법의 경우 건조시간이 기존 시험방법에 비하여 짧아서 퍼티가 기존 시험방법에 비하여 건조가 되지 않은 상태에서 방출강도를 측정하게 된다. 따라서 원래 시험방법에 비하여 개정 시험방법의 방출강도가 증가할 것으로 판단된다.

3.2.2. 도포량의 변화에 따른 방출강도의 변화

원래 시험방법에서 퍼티의 시료 도말은 페인트와 같이 비활성기질의 바탕판(유리 또는 스테인리스강)에

일정량의 무게를 도달하던 것이 시험방법의 개정으로 2 mm의 일정 두께로 도달 하도록 변경 되었다. 원래 시험방법에서는 퍼티의 도포량이 $300 \pm 50 \text{ g/m}^2$ 으로 모든 제품을 동일한 량으로 도달 하였다. 그러나 개정 시험방법에서는 2 mm의 일정 두께로 퍼티를 도달하기 때문에 각각 제품의 함량, 구성 등에 의하여 도포량이 모두 다르다. 16개의 퍼티 제품을 대상으로 2 mm 두께로 퍼티를 도포하여 무게를 측정 한 결과 평균 최대 최소 도포량이 $2398 \pm 61 \text{ g/m}^2$ 이었다. 원래 시험방법에 비하여 개정 시험방법인 applicator를 이용한 방법의 도포량이 약 8배 많았다. 원래 시험방법에서는 정해진 도포량으로 도달하는 경우 도포량이 적어 정해진 면적을 고르게 도달하기 어려웠다. 그러나 개정 시험방법의 경우 2 mm의 일정한 두께로 도달하기 때문에 도포량은 증가하지만 시료의 표면을 균일하게 도달 할 수 있다. 따라서 원래 시험방법의 경우 동일한 시료를 사용하더라도 시험편의 제작에 따라서 시료의 표면적이 다르게 된다. 그러나 개정 시험방법의 경우 표면적이 일정하여 동일한 시료를 사용하더라도 그 편차가 일정하다. Fig. 2에 시험방법에 따른 퍼티의 도달한 모습을 비교하여 나타내었다.

16개의 퍼티 제품을 이용하여 도포량 차이에 따른 방출강도의 변화를 구하면 원래 시험방법과 개정 시험방법의 도포량에 따른 평균 방출강도 변화비(개정 시험방법 방출강도($\text{mg/m}^2\text{h}$)/원래 시험방법 방출강도($\text{mg/m}^2\text{h}$))는 1.56 이다. 시험방법의 개정으로 인한 도포량의 증가로 방출강도가 64% 증가하였다. 퍼티의 경우 일반적으로 목질부의 결막이나 바탕면을 평평하게 하기 위하여 일정 두께로 도포되어 사용된다. 그러나 원래 시험방법의 경우 이러한 퍼티의 일반적인 도포방법으로 도포하기에는 도포량이 매우 적어 실질적인 사용방법과 거리가 있었다. 그러나 개정 시험방법은 도포량의 증가로 인하여 퍼티에서의 방출강도는 증가하였지만 일반적인 사용방법에 맞는 도포량으로

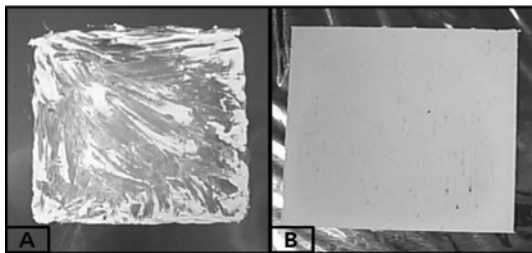


Fig. 2. Application of Putty. A) Original test method, B) Amended test method

도포되어 실질적인 실험방법으로 개정된 것으로 생각 된다.

3.2.3. 퍼티 오염물질 방출 기준의 개정방향

퍼티는 기존에 페인트와 같은 시험방법과 오염물질 방출기준을 가지고 있었다. 그러나 「환경부의 실내공기질공정시험기준」 개정에 의하여 시험방법과 오염물질 다량방출 제품의 관리기준이 동시에 변경되었다. 시험방법과 오염물질 방출기준의 개정방향을 알아보기 위하여 기존 시험방법과 개정 시험방법의 상관관계를 다음의 Fig. 3에 나타냈다.

원래 시험방법에서는 방출시험시간이 짧아서 제품 건조되지 않은 상태에서 방출강도를 측정하였고, 도포량 또한 매우 적어 실질적인 사용방법과 차이가 있었을 것으로 생각된다. 그러나 개정된 시험방법의 경우 방출시험시간이 길고 제품이 건조된 상태에서 방출강도를 측정하게 되고, 도포량 또한 증가하여 실제 사용방법에 맞게 도포하도록 되었다. 그래서 이 두 시험방법간의 상관관계를 보면 선형수식이 $Y=0.849X-0.003$ 이고, R^2 값은 0.909로 현행 시험 방법과 개정된 시험방법의 방출강도가 크게 산포되어 있지 않고 일정한 상관관계를 나타내는 것을 확인 하였다.

두 시험방법의 방출강도 상관관계 관계식에 개정된 퍼티의 오염물질 다량방출 제품의 관리기준인 $20 \text{ mg/m}^2\text{h}$ 을 대입하여 원래 시험방법에 상응하는 값으로 환산하면 $23.5 \text{ mg/m}^2\text{h}$ 상당한다. 이 값은 기존의 오염물질 다량방출 제품의 관리기준인 $4 \text{ mg/m}^2\text{h}$ 에 비하여 약 5.9배 높은 값이다.

퍼티의 원래 오염물질 다량방출 제품의 관리기준과 개정 오염물질 다량방출 제품의 관리기준의 기준값만

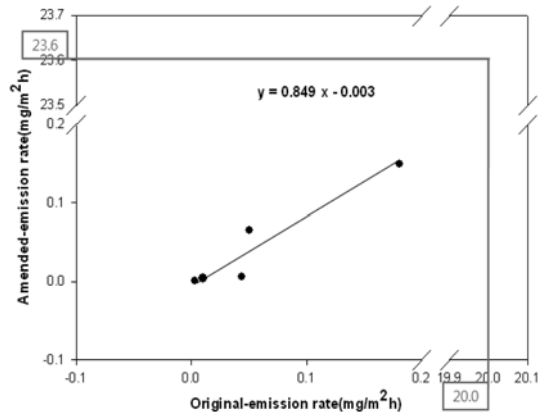


Fig. 3. The interrelation of test method.

을 단순히 비교한다면, 개정 오염물질 다량방출 제품의 관리기준이 16 mg/m²h 높아져 퍼티의 오염물질 다량방출 제품의 관리기준이 400% 완화 된 것으로 보인다. 오염물질 방출기준과 실험방법의 동시 개정으로 오염물질 방출기준은 실제로도 462% 완화 되어 나타났다. 퍼티의 시험방법 개정으로 도포량의 증가와 건조시간의 감소로 방출강도가 증가한다. 그러나 방출 시험기간의 증가가 방출강도의 감소를 가져온다. 따라서 시험방법 개정에 의한 방출강도의 변화는 거의 없지만 오염물질 방출기준이 증가하여 결과적으로 퍼티의 오염물질 다량방출 제품의 관리기준이 완화된 것으로 판단된다.

4. 결 론

환경부에서 개정한 시험방법과 기존시험방법의 가장 큰 차이점은 시료의 도포량 변화와 시험기간의 증가, 건조시간의 변화 그리고 오염물질 다량방출 제품의 관리기준의 변경 이었다. 이에 따라 페인트와 퍼티의 시험방법 개정에 의하여 변경된 시험기간과 건조시간, 도포량에 따른 방출강도의 영향을 알아보았다. 또한 개정된 초과 기준의 변화 방향에 대하여 알아보았다.

페인트와 퍼티 모두 시험기간이 기존의 3일에서 7일로 증가 하였다. 시험기간의 증가로 인하여 방출강도는 기존시험방법에 비하여 페인트가 45% 이고, 퍼티가 61%로 페인트와 퍼티 모두 시험기간은 증가함에 따라 방출강도가 감소하는 것을 알 수 있다. 3일의 경우 시험 기간 동안 시료가 완전히 건조되지 않아 높은 방출강도를 나타낸다. 개정된 7일의 경우 시료가 완전히 건조되어 TVOC 방출이 안정화된 상태에서 방출강도를 측정하게 되어 방출강도가 감소한다. 건조시간의 변화에 따른 방출강도를 비교하여 보면 건조시간의 변화에 의한 방출강도의 차이는 페인트와 퍼티 모두 20% 이하의 방출강도 감소를 가진다. 그러나 개정된 시험기간인 7일 이상의 방출시험 기간의 경우 시료에서 방출되는 TVOC가 안정화되어 낮고 일정한 방출을 나타내기 때문에 방출강도의 차이가 크지 않다. 따라서 개정된 시험기간인 7일에서 건조시간의 변화는 방출강도에 크게 영향을 주지 않는다. 도포량의 변화에 따른 방출강도의 영향은 페인트의 경우에는 제품의 건조 상태에 따라서 제품들 간의 방출강도 차이가 크다. 건조가 빨리되지 않은 제품의 경우 건조되는 과정에서 많은 VOCs를 방출하여 높은 방출강도를

나타낸다. 그러나 건조가 빨리되는 제품의 경우 완전히 건조된 상태에서 방출강도를 측정하기 때문에 낮은 방출강도를 나타낸다. 건조가 되지 않아 높은 방출강도를 가지는 제품들은 도포량의 변화에 따른 방출강도의 영향을 크게 받는 것을 알 수 있었다. 하지만 일반적으로 사용되는 방출강도가 낮은 5 mg/m²h 이하의 제품들에서는 도포량의 변화가 방출강도의 변화에 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다. 퍼티의 경우에는 시험편 제작방법의 변경으로 인하여 도포량이 약 6배로 크게 증가 하였다. 방출강도 또한 평균 64% 증가하여 도포량의 변화가 방출강도를 크게 증가시킨 것을 알 수 있었다.

페인트와 퍼티 모두 원래 시험방법과 개정 시험방법의 비교를 통하여 개정된 오염물질 다량방출 제품의 관리기준을 원래 오염물질 다량방출 제품의 관리기준에 맞게 환산 하여 보면 페인트가 6.8 mg/m²h 로 기존의 오염물질 다량방출 제품의 관리기준인 4 mg/m²h 에 비하여 1.8배 높았다. 그리고 퍼티의 경우 환산값이 23.5 mg/m²h 로 오염물질 다량방출 제품의 관리기준 4 mg/m²h 에 비하여 5.8배 높았다. 시험방법과 관리 기준의 동시개정으로 페인트와 퍼티 모두 현행 시험방법에 비하여 오염물질 다량방출 제품의 관리기준이 완화 되었지만 개정 시험방법은 페인트와 퍼티 모두 실질적인 사용방법으로 건축자재의 일반적인 특징에 맞는 시험방법으로 개정된 것으로 생각된다.

감사의 글

이 연구는 한국공기청정협회와 일부 BK21의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. ISO 3251, Paints, varnishes and plastics - Determination of non volatile matter content (2003).
2. ISO 760, Determination of water - Karl Fischer method (General method) (2001).
3. ISO 11890, Paints and varnishes - Determination of volatile organic compound (VOC) content - Part 2: Gas-chromatographic method (2006).
4. ISO 16000-9, Determination of the emission of volatile organic compound from building products and furnishing-emission chamber method (2006).
5. JIS A 1901, シックハウス対策に役立つ 小形チャン

- 法 (2003).
6. ASTM D5116-06, Standard for Small-Scale Environmental Chamber Determination of Organic Emissions From Indoor Materials/Products (2004).
 7. ISO 16000-11, Determination of the emission of volatile organic compounds Sampling, storage of samples and preparation of test specimens (2004).
 8. 환경부, “실내공기질공정시험방법” (2004).
 9. 강원대학교, 친환경 건축자재 시험방법 표준화 연구 (2008).
 10. 장성기, “오염물질 방출 시험방법 개선 방향 및 관리 방안”, 친환경 건축자재 및 제품의 평가기술 발전 방향 기술 세미나 자료 (2008).
 11. 환경부, “실내공기질 공정시험기준 개정” (2008).
 12. TO-17, Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes (1999).
 13. ISO 16000-6, Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on TENAX TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID (2004).