

실내 공기질 공정시험방법과 기준의 동시 개정에 따른 실란트 제품의 TVOC 관리수준 평가

유지호 · 박준만 · 김만구★

강원대학교 환경학과

(2010. 1. 10. 접수, 2010. 3. 29. 승인)

Evaluation of TVOC regulation level of sealant products in accordance with simultaneous revision of testing method and regulation value in the law of indoor air quality management

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 January 10, 2010; Accepted March 29, 2010)

요 약: 환경부에서는 오염물질 다량 방출 건축자재의 효율적인 관리를 위해 다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법의 시행 규칙 일부를 개정하였다. 특히 액상건축 자재인 실란트의 경우 시험방법과 초과기준이 함께 개정되어 기존 관리 수준과 개정 관리 수준의 직접적인 비교가 불가능하다. 따라서 이 연구에서는 실란트의 개정 시험방법의 각 요소들이 오염물질 방출강도에 미치는 영향과 타당성을 기존 시험방법에 대비하여 검토하였다. 이를 통하여 개정된 오염물질 방출 관리기준을 평가하였다. 특히 실란트는 제품마다 완전경화에 소요되는 시간의 편차가 커서 시험기간 내에 완전히 경화되지 않는 제품들도 다수 있는 것으로 나타났다. 그래서 경화시간이 빠른 제품들만 대상으로 개정된 시험방법을 적용하여 실험하였다. 그 결과 개정된 실란트의 관리기준은 기존의 관리기준에 비해 2.5 배 이상 약화된 것으로 나타났다. 개정된 실란트의 시험방법을 모든 실란트 제품에 적용하기 위해서는 시험기간을 연장하거나 실란트 시험편을 빨리 경화시킬 수 있는 시험방법으로 개선이 필요하다.

Abstract: The Korean Ministry of the Environment revised a few sections of the regulations in the Law of indoor air quality management for the reinforcement or adjustment of the regulation criteria standard for releasing pollutants from building materials. Especially, in case of sealant, the contents covering liquid building materials, excess standards and testing methods have been added simultaneously in this revision. As a result it is impossible to compare original standards with revised standards directly. For this reason, this study reviewed revised test method of sealant pollutant emission rates in terms of impact and validity in comparison with the original test method. Through this study, the basic properties of revised pollutant emission control standards was assessed. Especially in sealant, since each product has a wide deviation of time required for complete drying, it is proved

★ Corresponding author

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

E-mail : mgkim@kangwon.ac.kr

that there are a large number of products that are not hardened completely in test time. The result of our experiments on the revised test methods showed that this revised test methods yield emission rates that are two and half times less than those of the original testing method. To apply the revised test method of sealant to all the sealant products, It is necessary to extend the test period or improve specimen to fit the test method for quickly drying sealant products.

Key words: Sealant, Small chamber, TVOC, Building materials

1. 서 론

삶의 질이 향상되고 환경에 대한 관심이 증가하면서 현대인들이 하루의 90% 이상을 생활하고 있는 실내 공간의 실내공기질(Indoor Air Quality, IAQ)이 중요한 사회문제로 부각되고 있다. 따라서 건축자재와 가구 및 각종 생활용품에서 방출되는 실내 오염물질들 중 휘발성 유기화합물과 폼알데하이드 등이 주목을 받게 되었고 국내·외에서 여러 인증제도들을 통해서 자발적으로 관리되고 있다. 특히 국내에서는 2003년 5월 30일부터 『다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법』을 시행하여 다중이용시설과 건축공동주택의 실내공기질 및 실내공간에 사용하는 건축자재의 환경적인 품질 기준을 확보하고 있다.¹

실란트는 건축물의 각종 부재간의 접합부나 갈라진 이음매에 대한 수밀, 기밀을 유지하기 위하여 충진하는 물질로 어느 정도의 강도 및 탄성을 가지고 부재를 고정시켜 건축물의 내구성을 증진시키는 용도로 사용한다.² 실내 공간에서는 창틀과 욕조, 싱크대의 이음매를 메우는데 주로 사용한다. 실란트는 다양한 종류로 구분할 수 있는데, 종류에 따라 용도, 강도, 접착, 냄새와 같은 특성에 차이를 보인다. 일반적으로 건축내장재들 중에서 오염물질을 많이 방출하는 제품으로 알려져 있다. 또한 건조시간도 제품들 간에 큰 차이가 있기 때문에 오염물질의 방출시험방법에는 이러한 제품들의 특성들이 잘 반영되어 일반적으로 시중에서 유통되는 제품들이 유사한 조건에서 비교 평가될 수 있도록 해야한다.

환경부에서는 2008년 실내공기질의 효율적인 관리를 위해 실내에 사용하는 건축자재의 오염물질 방출 기준들을 조정하고 시험방법들을 동시에 변경한 다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법 시행규칙을 일부 개정하여 발표하였다.³ 개정의 배경은 건축자재간의 기준 초과비율이 불균형한 것을 정정하는 것과 시험방법을 국제표준화기구인 ISO의 방법과 같은 골격

을 유지하는 것을 목적으로 하고 있다.⁴ 이번 개정에서는 액상 건축자재로 분류되어 접착제와 같은 기준으로 관리하던 실란트를 사용할때 발생하는 휘발성 유기화합물들의 방출 특성을 고려하여 접착제와 다른 제품 관리군으로 분리하여 관리하게 되었다.

개정 전 기존시험방법을 이용한 액상자재의 오염물질 방출 평가에 대한 연구⁵는 꾸준히 수행되어 왔고, 시험방법 개선의 필요성에 대한 연구⁶도 진행되어 왔다. 그리고 개정된 시험방법에 대한 연구가 진행되고 있지만 개정 전후의 시험방법간의 비교나 개정된 관리 기준값들을 기존 시험방법의 변화된 실란트의 오염물질 방출강도에 미치는 영향을 평가한 연구는 아직 없다. 이번에 개정된 실란트의 시험방법은 시료의 도포량과 도포형태, 건조시간 및 시험기간의 4가지 시험 요소가 동시에 개정되었다. 특히 개정 시험방법의 실란트 방출시험 결과는 기존의 mg/m²h에서 mg/mh로 단위도 달라져, 시험방법 개정 전후의 결과를 직접 비교할 수 없다. 그러므로 이 연구에서는 같은 실란트를 개정 시험방법과 기존 시험방법을 동시에 적용하여 시험방법의 개정 요소들이 방출시험결과에 어떠한 영향을 미치고, 이로 인해 개정 기준이 어떻게 변화할 것인지를 평가하였다.

시중에서 일반적으로 유통 중인 건축용 실란트에 대하여 공정시험방법 개정 전후의 방출 시험값을 적용한 결과 각 기존의 관리 기준보다 개정기준이 다소 약화된 것으로 나타났다. 일반적인 실란트의 건조시간을 적용한 개정 시험편 제작방법은 시험기간을 7일로 하기에는 짧은 것으로 나타나 추가적인 시험방법의 검토가 필요할 것으로 판단된다.

2. 연구방법

2.1. 시료의 준비

시험은 시중에서 쉽게 구할 수 있는 건축용 실란트를 구매하여 이용하였다. 시중에서 구입하기 어려운

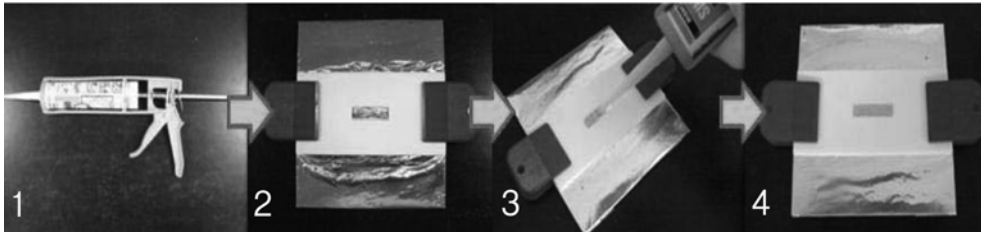


Fig. 1. Revised test method of sealant.

시료는 공기청정협회를 통해 입수하여 사용했다. 조사 대상 실란트 제품들은 주로 내장 벽면, 유리, 문틀이나 창틀에 줄눈 시공하는 제품으로 실내 공간에 넓은 용도로 다량 사용되는 제품들이다.

2.2. 실란트 시험편 제작

2.2.1. 기존 시험방법 시험편 제작방법

Fig. 2의 A는 기존 시험방법에 따라 실란트를 도말한 모습이다. 20 L 소형챔버의 시험편에 맞게 제작한 유리판(Depth 3 mm, Width 16 cm, Length 16 cm)을 3차 증류수로 세척한 뒤 열처리하여 6.4 cm×6.4 cm의 넓이로 300 g/m²로 도말하였다. 시료의 도말은 증류수로 세척한 후 충분히 건조한 흡손이나 플라스틱 수저를 사용하였다. 도말량과 면적을 맞추기 위해 유리판 밑에 6.4 cm×6.4 cm의 넓이로 구멍이 뚫린 테플론 틀을 겹쳐주었다. 그리고 이를 전자저울(TE133S, Sartorius AG, Germany)에 올려 오차를 최소화 했으며 도말은 5분 이내에 끝내도록 했다.

2.2.2. 개정 시험편 제작방법

Fig. 1에는 시험편의 제작방법을 변경한 실란트를 변경 방법에 따라 도말하는 과정을 순차적으로 나타냈다. 시료의 준비는 1번과 같이 시중에서 구입한 코킹 건에 시료로 선정한 실란트를 장착하였다. 시험편의 준비과정은 2번과 같이 기존 시험방법에서 사용

하는 유리판에 알루미늄 호일을 씌운다. 그리고 개정 기준 규격에 맞추어 자체 제작한 테플론 형틀(Depth 3 mm, Width 10 mm, Length 40 mm)을 올리고 클립(Peace Korea, KOREA)으로 고정시킨다. 테플론 형틀 안에 1번에서 준비된 실란트 시료를 지그재그 형태로 형틀의 옆 부분도 잘 채워지도록 도말한 뒤 얇은 테플론 판으로 표면을 밀어 3번과 같이 매끄럽게 만든다. 형틀 주변에 묻은 실란트는 종이 와이퍼(Kimwipes, Kimtech, KOREA)로 제거하였다. Fig. 1의 4번은 도말이 완료된 단계의 모습으로 이 상태에서 실란트의 사용설명서에 따라 일정시간 건조시킨 후 시험편으로 사용하였다.

2.3. 개정 시험방법

Table 1은 실내공기질 공정시험방법의 기존 방법과 개정 방법 중 실란트에 관한 내용을 나타낸 것이다. 개정 공정시험방법의 가장 큰 특징은 접착제로 포함해서 분류하던 실란트를 별도로 구분하여 독립시켜 준 것이다. 기존 시험방법에서는 접착제로 분류되어 접착제와 같은 시험방법이었지만 개정을 통해 실란트로 세분화되면서 실란트의 특성을 살린 시험편의 제작방법, 건조시간 및 시험기간이 모두 개정되었다. 시험편 제작방법의 변경으로 인한 도말면적의 차이를 Fig. 2에 나타냈다. 개정 시험방법의 실란트 시료 도말량은 무게로 규정하지 않고 실란트를 도말하는 면적으

Table 1. Comparison of original vs. revised test method

	Original test method	Revised test method
Partition	adhesives	sealant
Test method	<ul style="list-style-type: none"> - Application quantity: 300 g/m² - drying time: 60 min 	<ul style="list-style-type: none"> - Application quantity: Depth 3 mm, Width 10 mm, Length 40 mm - drying time: according to Specifications. - Temp: 25±1 °C - Relative humidity: 50±5% - Unit : mg/m²·h
Test period	3days	7days

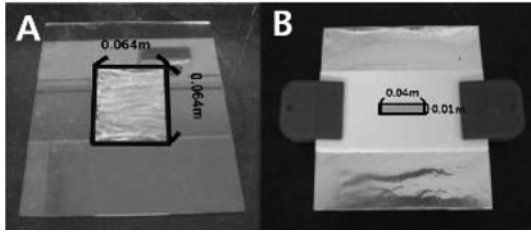


Fig. 2. Photographs of sealant test specimen. A) Original test method, B) Revised test method

로 변경하였다. 이에 따라 방출강도의 단위도 일정시간 동안 단위 면적에서 방출하는 오염물질의 양에서 일정 시간동안 단위 길이에서 방출되는 오염물질을 나타내는 방출강도의 표현방법으로 개정되었다.

기존 시험방법에서는 4096 mm²의 면적에 일정량을 도달하던 것이 개정을 통해 400 mm²에 도달하도록 하였다. 그러나 시료를 도달하는 두께가 증가하였기 때문에 시료의 내부까지 완전히 경화되는 시간은 크게 상승하였을 것으로 생각된다. 실란트의 도달면적이 크게 변경된 기존방법과 개정방법의 도달량을 비교해보면 1.2 g이었던 기존 시험방법의 실란트 도달량이 개정된 방법에서는 약 2.3 g으로 변화되어 약 1.9배정도 증가하였다. 건조시간은 제품의 사용설명서에 명시되어 있는 권장시간에 따라 건조하는 것으로 변경되었고 기존방법에서 3일이었던 시험기간은 7일로 개정되었다.

그리고 오염물질 다량방출 실란트의 TVOC의 방출 관리기준이 10 mg/m²h에서 1.5 mg/mh 로 단위가 개정되어 관리기준의 단순비교가 어렵게 되었다.

2.4. 20 L 소형시험챔버 시스템

이 연구에는 Fig. 3에 나타낸 ISO형의 20 L 시험

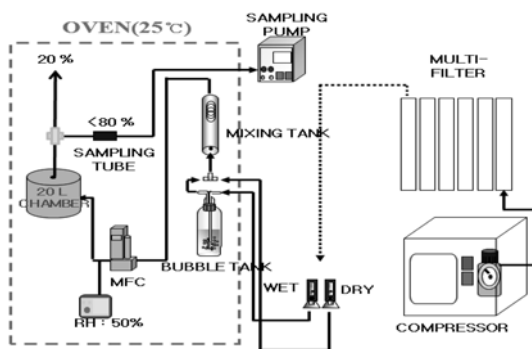


Fig. 3. 20 L Chamber system.

챔버시스템(SAC-300, Top trading, Korea)을 사용하였다. 이 시스템은 챔버 내부로 유입되는 공기를 챔버의 inlet 쪽에 위치한 질량유량조정기(Mass Flow controller, MFC)로 유량을 조절하면서 공급한다. 챔버 내부가 대기압을 유지하기 때문에 실제 실내의 조건과 같은 상태에서 방출시험이 가능하다. Oilless형의 공기공급장치를 사용하고, 실리카겔과 molecular sieve 및 charcoal로 충전한 다단계필터를 이용하여 공급공기 중 수분, 유기물 및 기타 화학물질을 제거하여 낮은 배경농도의 공기를 공급할 수 있도록 하였다. 20 L 시험챔버 안으로 공급하는 공기는 25 °C로 유지되는 항온오븐에 위치한 수분공급조를 통과한 습윤공기와 건조공기를 혼합탱크 안에서 상대습도 50%로 조절하여 공급하였다. 질량유량조정기를 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.

2.5. 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 고순도 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 분석하였다.⁷

2.6. 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 분석 컬럼 선단에 직접 2차 농축하였다.⁸ 분석컬럼은 비극성의 stainless capillary column (UA-1 30m×0.25 mm I.D×1.0 μm, Frontier Lab Ltd, Japan)을 사용하였다. TVOC는 응답안정성이 높은 FID로 검출하였으며, 자

Table 2. Analytical condition 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 mmI.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

제한 분석조건은 Table 2에 나타났다. 분석기기의 정도관리는 실내공기질 공정시험방법에 따라 수행하였으며 시료의 분석 전 배경실험을 실시하여 기기의 상태를 점검하였다.

3. 결과 및 고찰

실란트의 개정된 시험방법은 시험기간과 건조시간이 변경되었을 뿐만 아니라 시험편 제작 방법이 변경되었다. 특히 시험결과를 나타내는 방출강도의 단위가 면적당 방출강도에서 시료의 단위 길이 당 방출강도로 바뀌게 되었다. 그러므로 개정된 시험방법의 영향을 동일한 시료를 개정 전후의 시험방법으로 방출 시험하여 단순히 결과를 비교할 수 없다. 그래서 변경된 시험기간, 건조시간 및 도포량의 각각의 영향을 검토하였다. 그리고 이들 결과를 종합하여 변경된 방출강도 단위를 서로 비교하였다.

3.1. 방출 시험기간에 따른 방출강도 변화

시험기간의 변화에 따른 영향만을 알아보기 위하여 시험편 제작방법의 변화를 고려하지 않고 기존 시험방법을 이용하여 방출시험 기간 3일과 7일의 방출강도 변화를 비교하였다.

방출기간 3일과 7일의 시험결과는 공기청정협회의 시험기관들에서 시험한 결과를 이용하였으며 방출강도의 변화 경향을 검토하였다.

방출시험기간에 따른 방출강도의 변화를 보면 시

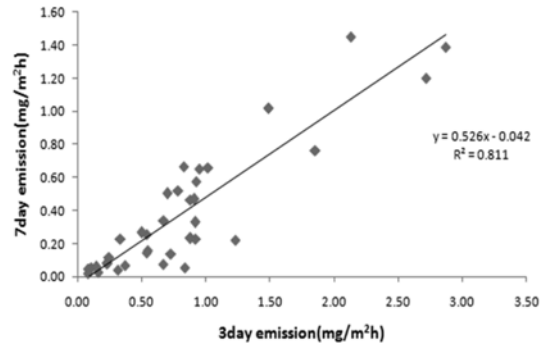


Fig. 4. Correlation of TVOC emission intensities between 3days emission and 7days emission the test period.

험기간이 길수록 방출강도가 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 방출강도가 높은 제품이 많이 감소하고 방출강도가 낮은 제품은 방출기간 3일과 7일 간에 큰 차이를 나타내지 않는 일반적인 경향을 나타냈다. 가장 큰 변화를 나타낸 제품은 7일차 방출강도가 3일차에 비해 15.8%의 수준으로 크게 줄어들었고 가장 작은 변화를 나타낸 제품은 7일차 방출강도가 3일차 방출강도의 88.8% 수준으로 나타났다. 많은 실란트 제품들이 방출강도가 높을수록 시험기간 3일 이전에 방출 강도가 안정화 되지 않고 꾸준히 감소하는 것을 알 수 있었다. 반면에 방출강도가 낮고 건조가 빠른 실란트 제품들은 시험기간 중에 건조되며 표면으로 방출되는 VOC가 감소되는 효과가 적은 것으로 생각된다. 시험한 전체 제품들의 3일 방출강도는 평균 약 0.814 mg/m²h이고, 7일의 방출강도 평균은 약 0.385 mg/m²h로 나타났다. 방출강도의 평균값으로는 실란트의 3일의 시험기간에서 7일 시험기간으로 개정되어 시험기간의 변화 요인만으로 실란트의 TVOC 방출강도에 미치는 영향은 평균 2.1배 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 Fig. 4에 검토한 실란트들의 3일과 7일의 TVOC 방출강도 상관관계를 나타냈다. 3일과 7일 방출강도 간에는 직선 회귀식 $y=0.526x-0.042$ 의 관계를 나타냈다. 이 회귀식을 바탕으로 하면 실란트 방출시험기간을 3일에서 7일로 늘어나 TVOC 방출강도가 약 60% 수준으로 감소한 것을 알 수 있다.

3.2. 시험편제작방법과 시험기간에 따른 방출강도 감소비율

기존 방법의 경우 실란트 시료를 20 L 소형챔버에 시료주입 후 1일차부터 7일차까지의 데이터를 통해

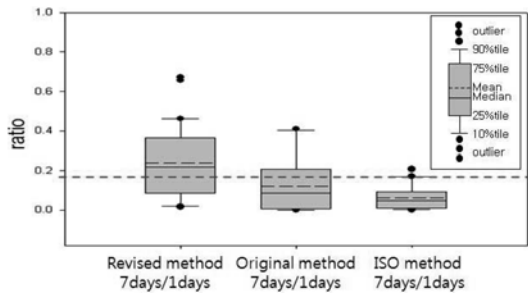


Fig. 5. Comparison of emission intensity according to test method and periods.

시험기간에 따른 방출강도의 감소를 확인하였다. 개정 시험방법의 경우에는 환경부에서 측정 한 30개 시료의 1일차부터 28일차까지의 데이터를 이용해서 방출강도의 감소를 확인하였다.

Fig. 5에 동일한 실란트 시료군을 이용하여 각 시험방법의 시험편 제작방법과 시험기간 차이에 따른 실란트 시험군의 방출강도 변화를 나타냈다. 나타난 각 시험방법의 방출강도변화는 1일차 방출강도에 대하여 각 시험방법에 따른 시험일의 방출강도 변화를 나타냈다. 개정시험방법과 기존 시험방법은 각각의 실란트 시험편의 제작방법에 따른 7일차 방출강도와 ISO의 시험방법은 28일차 방출강도를 각 시험방법의 경화되지 않은 실란트의 1일차 TVOC 방출강도에 대한 시험결과와 방출강도 감소비율의 분포를 나타냈다. 표준 시험방법으로 생각할 수 있는 ISO 시험방법은 28일차의 방출강도가 1일차 TVOC 방출강도에 비해 0.2~21.3%의 범위의 감소율을 나타냈으며, 90%의 제품이 감소율 19% 이하로 나타났다. 이는 ISO 시험방법의 시험기간이 28일이기 때문에 실란트가 시공되어 경화된 실제 방출강도를 잘 나타내는 것으로 판단된다. 기존 시험방법에 따른 실란트 시험편 제작법은 1일차의 방출강도에 대해 1.3~40.9%의 감소비율을 나타냈다. 그러나 개정 시험방법은 1일차 방출강도에 비하여 7일차 시험결과 방출강도가 1.4~67.2%의 감소비율을 보였다. 특히 ISO 시험방법에서 90%의 제품이 나타낸 감소율 19.0% 수준에 도달하는 감소율은 기존방법이 73%의 제품에서 만족했고, 개정된 시험방법은 47% 정도의 제품만이 ISO 시험방법과 비교할 수 있는 감소비율을 나타냈다. 기존의 방법은 방출시험기간은 짧지만 실란트를 넓고 얇게 발라서 제작하였다. 따라서 기존의 시험방법이 두꺼운 실란트 시험편으로 시험하는 개정 시험방법보다 상대적으로 경화된 ISO의 시험방법과 유사한

Table 3. Products by drying time

Products	Surface drying time	Complete drying time	Maximum
sealant 1	20~30 min	3~5 days	5 days
sealant 2	20~30 min	3~5 days	5 days
sealant 3	within 15 min	3~5 days	5 days
sealant 4	within 20 min	3~5 days	5 days
sealant 5	within 15 min	3~5 days	5 days
sealant 6	within 30 min	3~5 days	5 days
sealant 7	within 30 min	5 days	5 days
sealant 8	10~20 min	3~6 days	6 days
sealant 9	20~50 min	5~7 days	7 days
sealant 10	10~20 min	5~7 days	7 days
sealant 11	10~20 min	5~7 days	7 days
sealant 12	within 20 min	5~7 days	7 days
sealant 13	within 20 min	5~7 days	7 days
sealant 14	within 20 min	5~7 days	7 days
sealant 15	10~20 min	5~7 days	7 days
sealant 16	10~20 min	5~7 days	7 days
sealant 17	10~20 min	5~7 days	7 days
sealant 18	within 20 min	5~7 days	7 days
sealant 19	within 20 min	5~7 days	7 days
sealant 20	10~25 min	5~7 days	7 days
sealant 21	10~25 min	5~7 days	7 days
sealant 22	10~25 min	5~7 days	7 days
sealant 23	within 30 min	5~8 days	8 days
sealant 24	within 30 min	5~8 days	8 days
sealant 25	15~30 min	7~10 days	10 days
sealant 26	15~30 min	7~10 days	10 days
sealant 27	15~30 min	7~10 days	10 days
sealant 28	10~30 min	7~10 days	10 days
sealant 29	15~30 min	7~10 days	10 days
sealant 30	15~30 min	7~10 days	10 days
sealant 31	2~3 hour	10~14 days	14 days
sealant 32	within 3 hour	10~14 days	14 days
sealant 33	20 min	14 days	14 days
sealant 34	within 200 min	7~14 days	14 days
sealant 35	within 25 min	7~14 days	14 days
sealant 36	1~2 hour	7~14 days	14 days
sealant 37	28~48 hour	7~14 days	14 days
sealant 38	200 min	7~14 days	14 days
sealant 39	1~2 hour	7~14 days	14 days
sealant 40	1~2 hour	7~14 days	14 days
sealant 41	1~2 hour	7~14 days	14 days
sealant 42	20~30 min	7~14 days	14 days
sealant 43	within 1 hour	7~14 days	14 days
sealant 44	within 1 hour	7~14 days	14 days
sealant 45	within 1 hour	7~14 days	14 days
sealant 46	3 hour	10~15 days	15 days
sealant 47	within 30 min	15 days	15 days

Table 3. Continued

Products	Surface drying time	Complete drying time	Maximum
sealant 48	30~40 min	6~15 days	15 days
sealant 49	1 hour	14~21 days	21 days
sealant 50	within 2 hour	14~21 days	21 days
sealant 51	within 20 min	14~28 days	28 days

시험편의 시험조건 측정 결과와 유사한 것으로 판단된다. 이는 개정 시험방법을 사용하면 경화되지 않은 상태에서 방출하는 TVOC 결과를 얻게 될 가능성을 시사하는 것이기도 하다.

3.3. 시판되는 실란트 제품들의 경화시간

시험기간 내에 경화가 완료되지 않는 제품들의 경화시간을 정확히 파악하기 위해 일반적으로 시중에서 판매되는 실란트에 대해 제조업체 홈페이지와 건축자재 쇼핑몰들에 첨부되어 있는 제품설명을 참고하여 제품별 건조시간에 대해 조사하였다. 대상으로 한 제품은 주로 실내 공간 인테리어에 사용되는 51개의 실란트로 명시된 경화시간을 조사하였다. Table 3에는 제품별로 사용설명서에 명시된 표면 및 완전경화시간을 완전경화시간의 최대시간을 기준으로 정렬하여 나타냈다.

완전경화시간이 최대 5일인 것이 13.7%, 최대 6일이 2.0%, 최대 7일 27.5%, 최대 8일 3.9%, 최대 10일 11.8%, 최대 14일 29.4%, 최대 15일 5.9%, 최대 21일 3.9%, 최대 28일이 2.0%로 나타났다. 제시된 표면경화시간의 평균은 최대값 기준으로 109.4분, 완전경화시간은 10.6일이었다. 사용설명서에 따라 시공된 실란트의 표면과 내부가 모두 완전 경화되려면 가장 빨리 경화되는 제품이라도 최소한 3일 이상의 기간이 필요한 것으로 조사되었다.

표면건조시간은 일반적으로 20분에서 180분으로 조사되었으며 평균 약 110분의 표면 건조시간이 필요하였다. 짧게 도달하여 빠르게 경화가 되었던 기존 시험방법과는 달리 시험편의 두께가 3 mm로 두꺼워진 개정 시험방법의 경우 표면만 경화시킨 후 시험을 진행하게 되면 실란트가 완전히 경화되지 않은 상태에서 제품을 시험하게 되는 경우가 발생할 수 있다. 일반적으로 표면경화시간은 실란트의 겉표면을 만졌을 때 손에 안 묻는 정도로 경화된 것을 말하는 것이고 완전경화시간은 내부까지 완전하게 경화되는 것으로 시공 장소의 조건에 따라 차이가 있지만 두꺼워

질수록 경화시간이 길어지며 완전경화가 된 상태를 실란트의 시공이 완료된 것으로 간주한다. 그러므로 완전경화시간은 최대 7일 정도 필요하고 개정된 실란트 시험방법의 시험기간인 7일내에 제품이 완전 경화되는 제품들은 조사된 51개의 제품 중에서 43.2%를 점유하고 있었다. 이는 Fig. 5에 나타난 초기 방출강도 감소비율이 개정된 시험방법은 47% 정도의 제품만이 ISO 시험방법과 비교할 수 있는 감소비율을 나타냈던 것과 유사한 값이다. 그러므로 개정된 실란트 시험방법을 이용하면 시중에서 유통되는 제품의 50% 이상이 완전 경화되지 않은 상태에서 시험결과를 얻게 될 가능성을 지적하고 있는 것이기도 하다.

3.4. 기존 시험방법과 개정 시험방법의 TVOC 방출강도 경시변화 비교

시험편 제작방법의 변경이 TVOC 방출에 미치는 영향을 확인하기 위해 동일한 실란트를 기존 시험방법과 개정된 시험방법에 따라 시험한 7일간의 TVOC 방출패턴 경시변화 크로마토그램을 Fig. 6에 나타냈다. A그룹은 기존 시험방법의 1일, 3일, 5일, 7일의 TVOC 경시변화 크로마토그램들을 나타낸 것이고 B그룹은 개정된 시험방법의 TVOC 경시변화 크로마토그램들을 나타낸 것이다. 두 시험방법 모두 시험편의 실란트가 경화되지 않은 1일차의 크로마토그램을 보면 머무름 시간 5.2분부터 나타나는 봉우리와 머무름 시간 8.0분부터 15분 사이에 나타나는 봉우리들이 매우 유사한 VOCs 방출패턴을 나타내고 있다. 그러나 3일차 방출패턴 부터는 기존 시험방법은 실란트 시료가 넓고 얇게 도달되어 실란트가 거의 경화되어 TVOC의 방출강도가 급격하게 낮아진 반면, 개정된 시험방법에 의한 실란트 시험편의 방출강도는 7일차 크로마토그램에서도 높게 나타나고 있었다.

기존 방법에 의한 실란트의 1일차 TVOC 방출강도는 5.54 mg/m²h를 나타냈으며 3일차에서는 0.48 mg/m²h로 1일차에 비해 8.7% 수준으로 감소하였고, 7일차의 TVOC 방출강도는 0.07 mg/m²h로 1일차의 1.3%에 해당한다.

반면에 개정 시험방법에 의한 동일한 실란트의 방출강도는 1일차가 3.14 mg/mh로 나타났다. 3일차 방출강도는 2.72 mg/mh로 1일차의 86.6% 수준으로 조금 감소했고 7일차의 TVOC 방출강도도 1.20 mg/mh로 초기 방출강도의 38.2%까지 밖에 감소하지 않았다. 이것은 실란트 방출시험방법 중 시험편의 제작방

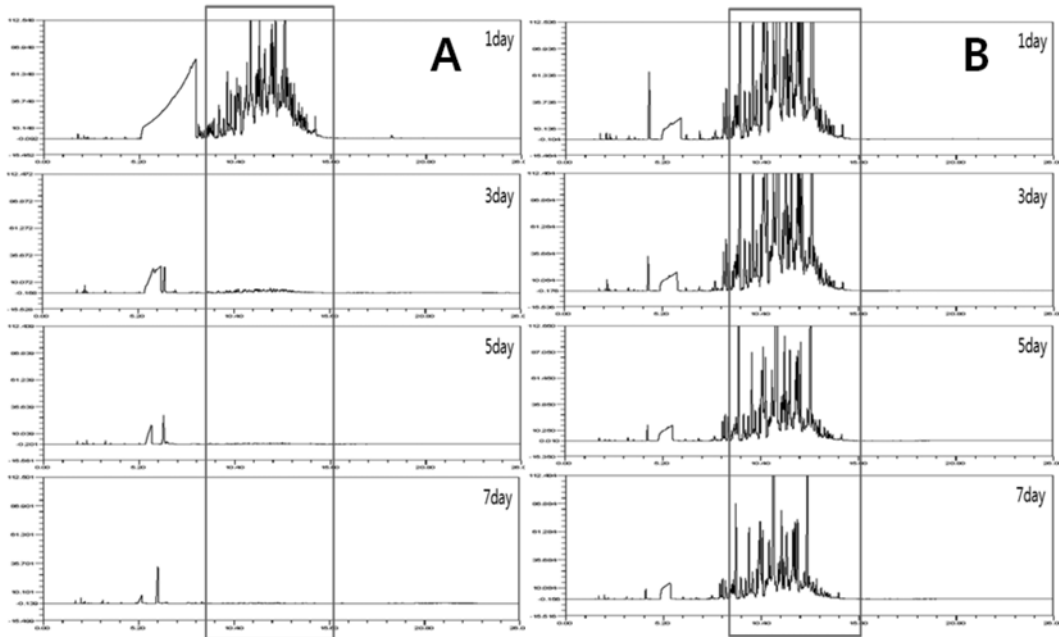


Fig. 6. Comparison of emission rate. A: Original test method, B: Revised test method

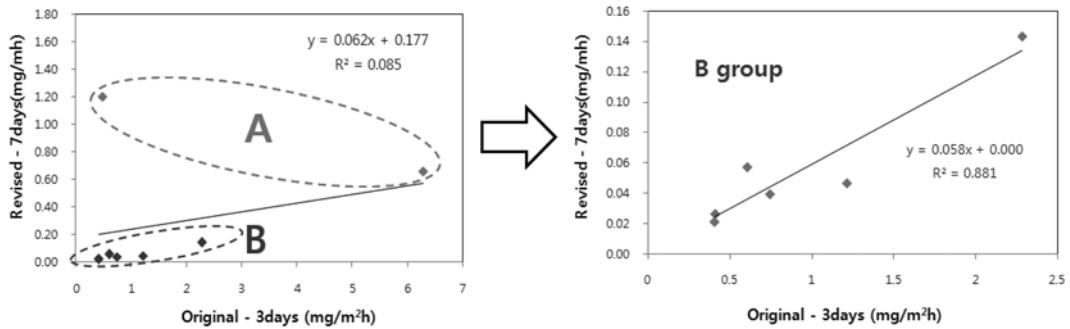


Fig. 7. The interrelation of test method.

법은 깊이 3 mm, 너비 10 mm의 비활성 재질로 된 프로필 안에 시료를 도말하도록 ISO 16000-11과 동일하게 개정하였으나 방출시험 시험기간은 ISO 16000-9의 28일과 동일하게 개정하지 않고 시험기간의 1/4에 해당하는 7일로 개정하여 Fig. 6에 나타낸 예와 같이 일부 실란트들은 시공되는 상태와는 다른 경화되지 않은 상태에서 TVOC 방출특성이 평가될 수 있다.⁹

3.5. 실란트의 다량오염물질방출제품 관리 기준 변화

실란트의 경우 시험방법과 초과기준이 함께 개정되어 오염물질 다량방출 건축자재의 휘발성유기화합

물(TVOCs) 방출 관리기준의 개정 전 관리 수준과 개정된 후 관리 수준의 수치를 단순히 비교하는 직접적인 비교가 불가능하다. 그래서 실란트 시료(n=8)들을 기존 시험방법과 개정 시험방법으로 시험한 각각의 방출강도를 이용하여 두 시험방법간의 상관관계를 Fig. 7에 나타냈다. 모든 방출강도들을 포함하는 두 방법 간의 상관관계 결정계수 R²는 0.085로 매우 낮았다. 그렇지만 방출강도를 시험편의 경화시간이 긴 A 그룹과 빠른 경화시간을 갖는 B 그룹으로 구분되었다. 그 결과가 상이하게 나타난 것은 B그룹이 다른 제품에 비해 경화시간이 빠르기 때문에 방출강도의 안정화가 빨리 이루어져 상관성이 좋게 나타났고, A그룹은 경화시간이 느리기 때문에 지속적인 방출을

일으켜 이러한 극한값이 나타낸 것으로 판단된다. 극한값을 제외하고 오른쪽 그래프에 개정 시험방법의 규제수준 변화를 확인하기 위해 B 그룹으로 표시된 부분만 나타냈다. B 그룹만을 대상으로 한 개정 시험방법과 기존 시험방법간의 결정계수는 0.881의 높은 상관관계가 나타났으며, 이 관계식을 적용하여 단위 길이 당 방출강도를 기존 시험방법의 기준을 적용한 단위면적 당 방출강도로 환산하였다. 개정된 실란트의 오염물질 다량방출 건축자재의 TVOC 관리 기준 값인 1.5 mg/mh를 기존 관리수준 단위인 면적당 방출강도로 나타내면 25.9 mg/m²h에 상당하는 값이다. 그러므로 수치상으로는 기존의 다량오염물질 방출 실란트의 관리 기준에 비하여 강화된 것 같이 보인다. 그렇지만 두 방법의 상관관계식으로부터 구한 개정된 TVOC의 관리 기준은 기존의 10 mg/m²h에 비해 2.5 배 이상 약화된 것으로 나타났다.

4. 결 론

실란트의 개정 시험방법은 시험편 제작방법과 시험기간이 동시에 개정되었기 때문에 다량오염물질 관리 기준을 수치만으로 단순히 비교할 수 없었다. 그리고 실란트는 제품에 따라 완전경화에 소요되는 시간의 편차가 커서 개정된 시험방법으로는 완전히 경화되지 않는 상태에서 TVOC 방출 특성이 평가되는 제품들도 다수 있을 것으로 나타났다.

경화시간이 빠른 실란트 제품들만을 대상으로 개정된 시험방법을 적용해 실험한 결과 개정된 실란트의 관리기준은 기존의 관리기준에 비해 2.5 배 이상 약화된 것으로 나타났다. 개정된 실란트의 시험방법을 모든 실란트 제품에 적용하기 위해서는 시험기간

을 연장하거나 실란트 시험편이 빨리 경화될 수 있는 시험방법으로 개선해야 할 필요가 있다.

감사의 글

이 연구는 BK21 웰빙환경 사업팀과 한국공기청정협회의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 환경부, “실내공기질공정시험방법” (2004).
2. 일본건축학회 저, 김현중 역, “새집증후군 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, **4**(2), 140-153(2007).
6. 강윤경, 김현진, 이윤규, 한국실내환경학회지, **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, 20 L 시험챔버 시편홀더의 기밀성 개선, **20**(4), 261-267 (2007).
9. ISO 16000-11 Determination of the emission of volatile organic compound-Sampling, storage of samples and preparation of test specimens (2006).