

백을 이용한 정적 방출시험 방법에서 수분공급을 통한 상대습도조절과 포름알데하이드의 방출강도에 미치는 영향

박철순 · 유지호 · 김만구★

강원대학교 자연과학대학 환경학과
(2011. 5. 12. 접수, 2011. 8. 11. 승인)

Control of relative humidity in the static bag emission test method by adding water and its effect on formaldehyde emission intensity

Cheol-Soon 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 May 12, 2011; Accepted August 11, 2011)

요 약: 자동차 내장재에서 방출되는 오염물질들을 평가하는 간편한 방법으로 백을 이용하는 방법이 ISO 12219-2의 방법으로 개발중에 있다. 백을 사용하는 정적 시험방법은 방출시험 시 습도를 조절하지 않기 때문에 습도조건에 민감한 포름알데하이드의 방출시험에는 적당하지 않다. 따라서 이 연구에서는 백을 사용하는 정적 시험방법에서 추가로 수분을 공급하여 시험백안의 상대습도를 조절할 수 있는 가능성 및 상대습도가 포름알데하이드 방출농도에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 시험 백 안의 상대습도는 주입한 수분의 양뿐만 아니라 시험백의 재질과 시험편의 종류에 큰 영향을 받았다. 그리고 시험 백 안의 상대습도가 증가할수록 포름알데하이드의 방출강도는 증가했지만 과다한 수분이 공급되면 백 내부 표면이나 시험편의 표면에 여분의 수분이 응축하여 여기에 방출된 포름알데하이드가 재흡수되어 측정된 포름알데하이드의 방출강도가 낮게 나타났다.

Abstract: Rapid screening method for the determination of the emissions of pollutants from vehicle interior parts and materials have been developed as ISO 12219-2 which is using bag and based on a static condition. The method was not controlled humidity in the test bag, so it is not suitable test method for formaldehyde emission test which is highly related to humidity condition. In this study, possibility of control humidity in the static test bag by adding extra water and the effect of humidity condition for formaldehyde emissions have been investigated. The relative humidity in the test bag was affected not only amount of water added also material of test bag and test specimen. The emission intensity of formaldehyde was increased according to increasing relative humidity in test bag. But excessively supplied water was condensed on the inner surface of test bag and surface of sample specimen that were sorption formaldehyde and were reduced its emission intensity.

Key words: Car, Automobile, cabin, VOCs, interior, bag method

★ Corresponding author

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

E-mail : mgkim@kangwon.ac.kr

1. 서 론

오늘날 사람들이 이용하고 있는 교통수단 중에서 가장 많이 이용되고 있는 교통수단중 하나가 바로 자동차이다. 과거 자동차가 보급화 될 때에는 자동차를 소유하고 있다는 것 자체가 큰 의미를 갖고 있었지만, 점차 보급화 되기 시작하면서 자동차의 성능 및 외형에 대한 관심이 급증하기 시작했다. 그리고 오늘날과 같이 빠른 보급화가 이루어진 시점에서는 소유의 개념을 넘어서 얼마나 편안하고 쾌적한 환경을 제공하느냐에 많은 관심이 집중되고 있으며, 그것이 곧 자동차의 우수성을 차별화하는 새로운 요소로 강조될 것이다.

자동차 실내공기질에 영향을 주는 요인들로는 신규 제작된 자동차의 내장재로부터 방출되는 각종 오염물질들에 의한 요인과 자동차 사용자에게 의한 각종 오염, 자동차 배기가스, 운행중인 도로 주변의 대기환경 및 교통상황 등 각종 외부적인 요인에 의한 것으로 나눌 수 있다.^{1,4} 특히 자동차 실내공기질에 주된 영향을 미치는 요인으로는 자동차의 내장재이다.^{5,7} 따라서 쾌적한 자동차 실내공기질을 위해서는 우선적으로 내장재에서 방출하는 오염물질들에 대한 관리가 필요할 것이다.

이러한 관심속에 현재 국제표준화기구 ISO에서 ISO 12219-1, 2, 3, 4, 5에 해당하는 자동차 실내공기질 평가를 포함한 내장재에서 방출하는 VOCs 및 카보닐화합물에 대한 시험방법을 개발중에 있다. 이중 ISO 12219-2에 해당하는 자동차 내장재에서 방출하는 VOCs에 대한 스크리닝 방법은 시험 백을 이용한 방법으로서 다른 시험방법에 비해 초기비용이 저렴하고 간편한 방법이다. 이 방법은 콕크가 달린 시험 백 내부에 일정크기의 시험편을 넣고 밀봉한 뒤 실온에서 일정량의 깨끗한 공기를 채워 일정온도(65 °C)에서 일정시간(2 시간) 가열한 뒤 시험편에서 방출된 오염물질을 포함한 백 안의 공기를 채취해 시험편의 오염물질 방출 정도를 스크리닝 하는 방법이다. 따라서 실온상태에서 백 내부로 주입된 공기는 시험온도 환경인 65 °C에서는 매우 건조한 환경으로 바뀌어 평가되고 있다.

선행 연구자료에 따르면 온·습도에 따라 VOCs 농도에 차이가 있으며^{8,9} 특히 수용성 물질인 폼알데하이드는 습도에 영향을 많이 받는다고 보고하고 있다.^{10,13} 또한 주변 환경의 습도가 증가 할수록 방출되는 폼알데하이드의 농도는 증가한다는 보고도 있다.^{14,15}

따라서 이 연구에서는 방출시험에 추가적인 오염을 일으키지 않으며 간단한 방법으로 일정량의 증류수를

시험 백 안에 직접 주입하여 시험 백 안의 습도를 조절할 수 있는 가능성을 검토하였으며, 주입한 증류수에 의해서 변하는 습도에 따라 폼알데하이드의 방출농도가 많은 영향을 받고 있는 것을 확인하였다.

2. 연구방법

2.1. 백 내부의 습도 조절방법

시험 백 내부의 습도를 조절하기 위해 증류수를 사용했다. 백 내부에 50 mL의 증류수를 담은 유리 재질의 페트리 디쉬(STERIPLAN, ø: 150 mm, h: 25 mm, Duran, Germany)를 넣고 온·습도 센서를 연결해서 테이프로 밀봉했다. 백 가열 온도 및 가열 시간 등에 대한 조건은 현재 DIS (draft international standard) 단계에 있는 ISO 12219-2 방법을 기준으로 실험을 진행했다. 2 시간 가열 후 페트리 디쉬에 남아있는 증류수 양으로 증발한 증류수 양을 확인하고 백 내부의 온·습도를 측정하였다. 그리고 식 (1)을 이용해서 습도조절을 위해 필요한 증류수 양을 계산하여 증류수 주입량을 결정하였다.

$$\text{상대습도}(\%, \text{RH}) = \frac{\text{현재수증기량}(\text{g}/\text{m}^3)}{\text{포화수증기량}(\text{g}/\text{m}^3)} \times 100 \quad (1)$$

백 내부에 증류수를 주입할 때 주입한 증류수가 샘플에 직접 흡수되는 것을 방지하기 위해서 백 안에 페트리 디쉬를 미리 넣어놓고 그 위에 증류수를 주입하였다. 그리고 페트리 디쉬의 사용 유·무 따른 습도 변화를 측정하여 비교하였다.

2.2. 백 재질에 대한 비교

ISO 12219-2는 백을 이용해서 자동차 내장재에서 방출되는 VOCs를 스크리닝하는 방법으로 시험에 사용되는 백 재질의 종류는 다양하다. 그리고 백내 습도 조절은 시험 백 재질에 따라 차이가 있을 것으로 생각되어 백 재질에 따른 습도변화를 비교해 보았다. 이 연구에서는 널리 사용되고 있는 PET 백 (10 L, Top trading eng. Korea)과 Tedlar 백 (10 L, Top trading eng. Korea)을 선정하였다. 각각의 백 내부에 온·습도 센서를 설치한 다음 65 °C의 오븐에 넣고 2시간 동안 온·습도 확인했다. 그리고 동일한 방법으로 증류수 주입량에 따른 습도변화를 비교해 보았다.

2.3. 샘플이 습도에 미치는 영향

백 내부의 습도에 영향을 주는 요인으로는 실험자가 직접 주입한 증류수량과 시험편 자체가 보유하고

있는 수분의 양이 있다. 따라서 시험편이 백 내부의 습도에 어떠한 영향을 주는지를 확인하기 위해 샘플 유·무에 따른 습도변화를 비교 했으며 실험 전·후의 시험편 무게변화를 확인했다.

또한 시험편의 성상에 따라 보유하고 있는 수분의 양이 다를 것이기 때문에 합성가죽(synthetic leather, 이하 s/leather)과 파티클 보드(이하 PB)의 2가지 시험편을 선택해서 습도변화를 비교했다.

2.4. 시료채취방법

포름알데하이드 시료채취는 ISO 16000-3에 따라 DNPH cartridge (Supelco, USA)를 사용해 300 mL/min 의 유량으로 10분간 총 3 L를 채취했다. 채취한 시료를 HPLC (I plus, Waters)로 분석했으며, Apollo C18 (250 mm × 4.6 mm, 5 um particles, Altech) 컬럼을 사용했다. 이동상은 ACN (acetonitrile)과 증류수 (60:40)를 사용하였으며 컬럼의 유속은 1 mL/min로 사용했다.

3. 실험결과

3.1. 이론적 주입량과 실제 필요량 비교

PET 백 안에 50 mL의 증류수로 채워진 유리 페트리디쉬를 넣고 테이프를 이용하여 밀봉하였으며 65 °C로 가열된 오븐(TVA 101, Top trading, Korea)에 넣어서 2시간 동안 가열했다. 2시간 동안 백 내부의 온·습도를 체크하고 2시간 후 백 내부의 유리 페트리디쉬를 꺼내어 남아있는 증류수 양을 확인한 결과 약 46 mL 였다. 따라서 2시간 동안 백 안에있는 페트리디쉬에서 증발되어 소비된 증류수의 양은 약 4 mL 였다. Fig. 1에 실온에서 증류수를 담은 유리 페트리디쉬를 백에 넣은 후 25 °C, 50% RH 공기 5 L를 채

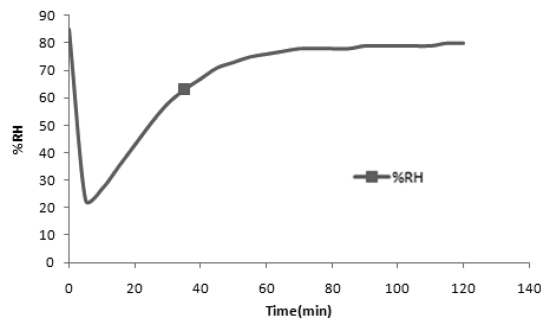


Fig. 1. Variation of relative humidity in PET bag inserted into the oven controlled at 65 °C.

우고 65 °C로 가열된 오븐에 넣어 백 내부 습도 변화를 나타냈다. 초기에는 백 내부 상대습도가 85% 정도를 유지하다 5분경과 후 백의 온도가 올라가며 상대습도가 23% 까지 급격하게 감소하였다. 그 후 상대습도가 서서히 증가하여 20분경과 후에는 43%, 40분경과 후에는 67%까지 상승하였고, 50분 이후 에서 2시간 까지는 73%~80% 정도로 습도가 비교적 일정하게 유지되고 있음을 확인할 수 있었다.

그래서 백 안에 주입하여 습도변화를 검토할 증류수 주입량은 4 mL 이하로 결정했다. 그리고 각 주입량에 따라 주입한 수분이 손실 없이 수증기로 존재할 경우 백 내부의 상대습도를 이론적으로 계산해 보았다. 먼저 백 내부에 주입하는 공기(25 °C, RH 50%) 5 L 내에 포함된 수분의 양을 계산하여 증류수 주입량에 더하여 계산했다. Table 1에서 증류수를 4 mL 주입했을 때 백 내부 공기가 가지고 있는 수증기량 0.0316 g을 더하여 약 4.032 g의 수분량이 있다고 가정했다. 이 양을 주입한 증류수가 모두 증발하여 공기 중에 존재한다고 가정 아래 백 내부 공기량(5 L)에 대한 양으로 계산하면 약 806.0 g/m³ 이다. 이러한 가정

Table 1. Comparison of theoretical and measured relative humidity

	Injection volume of distilled water (mL)			
	0.5	1	2	4
Water quantity in the bag (mg)	0.5316	1.032	2.032	4.032
Amount of water vapor inside bag* (g/m ³)	106.3	206.3	406.3	806.0
Inside temp. of a bag (°C)	65	65	65	65
Amount of saturated water vapor (g/m ³)	160.5	160.5	160.5	160.5
Theoretical relative humidity** (%RH)	66.25	128.6	253.2	502.4
Measured relative humidity (%RH)	22	42	62	64
Water requirement for measured relative humidity(g)	0.0562	0.1766	0.4966	0.5136

*Assume the water was completely converted into water vapour without any loss.

**The RH was calculated only theoretically that all of water was vaporized and supersaturated.

아래서 계산된 수증기량을 65 °C로 유지되고 있는 백 내부의 습도로 단순히 계산해 보면 약 502.4% RH로 과포화되어 있어야 한다. 하지만 실제로 증류수를 4 mL 주입하고 백 내부의 습도를 습도센서를 통해 측정 한 결과 2시간 후의 상대습도가 64% RH로 나타났다. 또한 측정된 상대습도 값을 이용하여 백 안의 공기(64% RH, 65 °C, 5 L)에 포함된 증류수 양은 약 0.5136 g으로 나타났다. 각각의 증류수 주입량에 대한 이론적인 상대습도 계산결과와 실제 상대습도 및 필요 증류수 양을 위와 동일한 방법으로 계산 및 측정하여 Table 1에 나타났다. 실험과정 중에서는 증류수를 4 mL 주입한 경우를 제외하고 2시간 뒤에 증류수가 모두 소비된 것을 확인했다.

위의 결과에서 알 수 있듯이 포화량의 약 8 배에 해당하는 수분이 공급되었음에도 불구하고 실제 상대습도는 매우 낮은 결과를 나타냈다. 또한 측정된 상대습도로 조절하기 위해 필요한 증류수의 계산 결과보다 실제로는 많은 양의 증류수가 소비되었다. 이러한 결과는 곧 백 내부에서 증발한 수증기가 온전히 백 안의 공기중에 수증기의 형태로 존재하지 않고 백 내부표면에 수분의 형태로 흡착 및 흡수 등으로 소비되었을 것으로 생각된다. 즉 ISO 12219-2 방법에서 사용하는 백과 시험조작에 간단히 증류수를 추가로 주입하여 백 안의 습도를 증가시키는 것은 어려움이 있었다.

3.2. 유리 페트리디쉬 사용 유무에 따른 비교

습도조절을 위해 주입한 증류수가 백 안에 있는 시험편에 직접 흡수되어 여분의 수분이 소비되는 것을 방지하기 위해 유리 페트리디쉬 위에 일정량의 증류수를 주입하여 시험편과 증류수가 접촉하지 않도록 백 내부에 넣어 사용했다. 백 안의 유리 페트리디쉬 위에 증류수를 주입한 것과 증류수를 유리 페트리디쉬가 없는 백 안에 직접 주입한 경우의 시간에 따른 백 내부 습도변화를 Fig. 2에 나타냈다. 각각의 경우 모두 백에 25 °C, RH 50%의 공기 5 L를 10L 백 안에 넣은 후 백을 65 °C로 가열된 오븐에 넣어 65 °C에서 상대습도가 안정화된 뒤 Fig. 2의 (a) 시점에서 증류수를 1 mL 씩 2시간 간격으로 총 3회 주입하면서 습도변화를 확인했다. Fig. 2에서 유리 페트리디쉬를 사용했을 때의 습도는 w_petri dish로 나타났으며 유리 페트리디쉬를 사용하지 않고 증류수를 직접 백 안으로 주입한 경우의 습도 변화를 w/o_petri dish로 나타냈다.

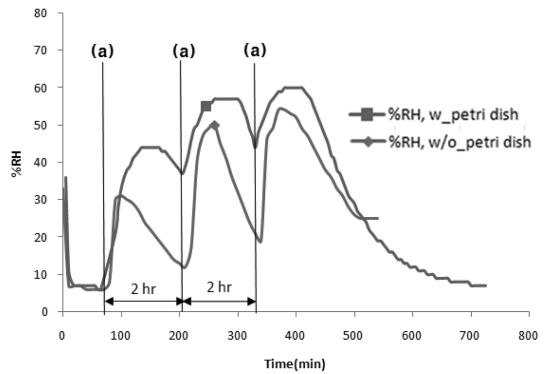


Fig. 2. Variation of relative humidity for following with and without glass petri-dish: (a) injection points of distilled water of 1 mL.

두 경우 모두 초기에는 35% 대의 상대습도를 나타냈으며, 오븐에 투입된후 10분 정도 경과 후 상대습도 10% 이하로 감소되었다. 그 상태에서 70분 경과후 각각 증류수 1 mL 씩 주입하였다. w/o_petri dish의 경우는 상대 습도 8%에서 증류수 1 mL주입 후 30분까지 상대 습도 30%까지 증가하였다가 시간후 12% RH로 감소하였다. 다시 1 mL의 증류수를 주입하자 상대습도가 주입 40분 후 50% RH까지 증가하다 2차 증류수 주입 2시간 경과 후 19% RH까지 감소하였다. 3차로 증류수 1 mL를 주입한 경우 40분 후 까지 증가하여 52% RH를 정점으로 다시 감소하기 2시간 후에는 33% RH까지 감소하였다.

반면에 증류수를 백 안의 유리 페트리디쉬 위에 주입한 w_petri dish의 경우에는 1차로 증류수 1 mL를 주입한 후 1시간동안 44% RH 까지 증가하였다가 2시간 후에는 38% RH로 감소하였으며, 2차 증류수 주입 후에는 95분 동안 57% RH 까지 증가한 후 2시간 후에는 44% RH까지 감소하였다. 그리고 3차로 증류수 1 mL를 주입한 후에는 80분동안 60% RH까지 증가하였다가 2시간 후에는 47% RH 까지 감소하였다. 이와 같이 유리 페트리디쉬를 백 안에 넣고 그 위에 증류수를 공급하는 경우가 백 안의 습도를 조절하는 데 보다 효과 적이었다. 이는 유리 페트리디쉬를 사용하지 않고 백안에 직접 증류수를 주입한 경우에는 유리 페트리디쉬 위에 주입한 경우보다 주입된 증류수가 백표면 전체에 흡수되거나 흡착 되어 증발한 수분이 다시 액상으로 변환되는 증류수가 많은 것으로 생각된다.

3.3. 백 재질에 따른 습도 변화 비교

백 내부의 습도를 조절하기 위해 외부에서 증류수를

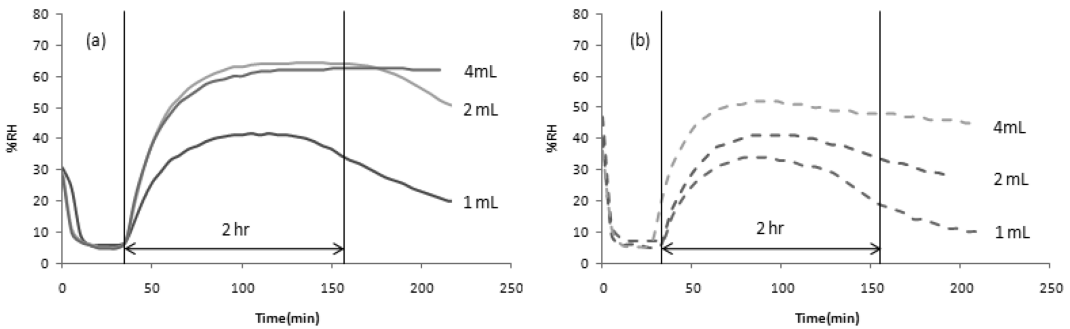


Fig. 3. Comparison of RH variation between PET and tedlar bag when each volumes of distilled water were injected into the bag. (a) PET bag, (b) Tedlar bag. (Distilled water was injected at 35 minute after bag was inserted in the 65 °C oven.).

주입하는 경우 백의 재질에 따른 차이를 확인하기 알아보기 위해 폴리에스터(poly ethylene terephthalate, PET)재질의 백과 테플러(poly vinyl fluolide) 백을 비교하였다. 외부에서 증류수를 주입하기 위해 10 L 용백을 잘라 유리 페트리디쉬를 넣고 밀봉한 후 백에 달린 테플론 콕크를 통해 깨끗한 공기 5 L 주입하였다. 백들은 65 °C로 조절된 오븐안에서 35분 경과 후 습도가 10% RH 이하로 Fig. 3에 나타난 것과 같이 안정화 되었으며 각 백에 증류수를 미리 백에 투입한 유리페트리디쉬 위에 1 mL, 2 mL, 4 mL 씩 각각 주입했다. Fig. 3(a)의 PET재질의 백을 사용한 경우를 보면 1 mL의 증류수를 주입했을 때는 주입후 70분이 지난 105분경 41.5% RH로 최대를 나타내고 2시간이 지난 155분의 시점에서는 34.5% RH로 감소하였다. 증류수를 2 mL와 4 mL 주입했을 때는 주입 후 2시간 까지는 거의 유사한 습도 변화 패턴으로, 주입후 1시간 경과한 105분 시점 이후로는 64% RH로 2시간 이후까지 동일하게 유지되었다. 그러나 tedlar 백의 경우에는 증류수를 각각 1 mL, 2 mL, 4 mL 주입했을 때 각각 최대 34% RH, 41% RH, 52% RH를 나타냈다. 그리고 3가지 경우 모두에서 최대습도를 나타낸 후 감소하여 주입 후 2시간까지 습도가 평형상태를 나타내지 못했다. 그러므로 백에 추가적으로 증류수를 주입하여 일정온도에서 습도를 조절할 경우에는 특히 ISO 12219-2의 방출시험조건인 2시간동안 65 °C에서 방출시험을 할 경우에는 PET 재질의 백이 PVF 재질의 tedlar 백보다 습도조절이 효과적일 수 있는 가능성을 나타냈다.

3.4. 샘플이 습도에 미치는 영향

서로 다른 종류의 재질인 합성피혁(s/leather)과 파티클 보드(PB) 시험편을 선택해 PET 백 내부에 넣어 밀

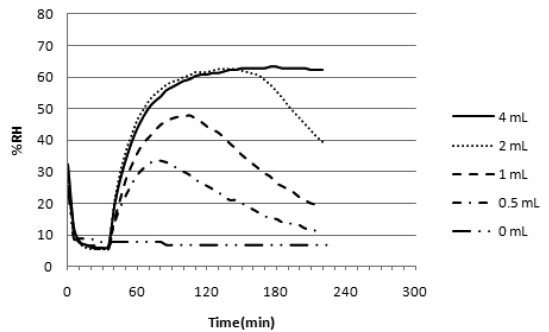


Fig. 4. Variation of relative humidity in the bag containing synthetic leather sample in the 65 °C oven when the additional distilled water was supplied.

봉하고 65 °C에서 시험편의 존재 유·무와 시험편의 성상에 따른 습도변화를 검토했다. 부피 10 L의 PET 백에 각 시험편을 10 cm × 10 cm 크기로 잘라 넣고 유리 페트리디쉬도 함께 넣은 후 테이프로 밀봉한 후, 실온에서 25 °C, 50% RH의 공기 5 L를 백에 달린 콕크를 통해 주입하였다. 시험편을 포함한 백을 오븐에 넣고 Fig. 3(a)에서와 같이 35분 경과 후 백 안의 습도가 안정된 후 각각의 백에 증류수를 0, 0.5, 1, 2, 4 mL 주입해서 습도변화를 비교했다. Fig. 4에 S/leather의 시험편을 시험 백 안에 넣고 각각의 증류수를 주입하여 각각의 백 안의 상대습도 변화를 나타냈다. 오븐에 넣은 후 35분의 시점에서 증류수를 넣지 않은 경우는 65 °C에서 백 안의 상대습도가 7%로 떨어져 지속되었다. 35분 시점에서 증류수를 0.5 mL 주입한 경우는 주입 40분 후 34% RH까지 상승하였다가 감소하였으며, 1 mL를 주입한 경우에는 주입 50분 후 49% RH까지 상승하였다가 감소하였다. 2 mL를 주입한 경우에는 주입 70분 후 62.5% RH까지 상승하여 2시간 정도까지 지속이 되었으며, 4 mL를 주

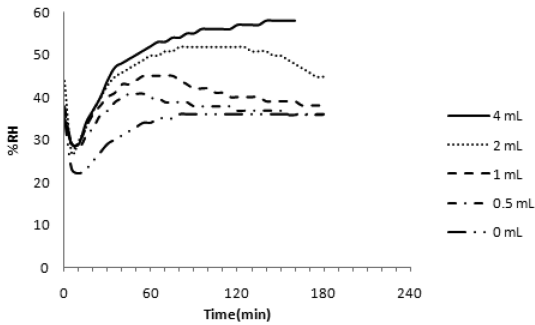


Fig. 5. Variation of relative humidity in the bag containing particle board sample in the 65 °C oven when the additional distilled water was supplied.

입한 경우는 2 mL 주입했을 때와 최고 상대습도 및 도달시간은 유사한 형태를 보였고 습도 지속시간만 더 길었다. S/leather의 경우는 시험편을 포함하지 않은 Fig. 3(a)에 나타난 증류수 주입에 따른 시험 백 안의 습도 변화와 큰 차이가 없었다.

그러나 시험편이 파티클보드인 경우는 백안의 습도 변화가 Fig. 5에 나타난 것과 같이 매우 다르게 나타났다.

PB의 경우 시험백 안에 시험편만 넣고 65 °C 오븐에 넣은(0 mL)의 경우 처음 10분간은 백안의 온도가 상승함에 따라 추가로 공급되는 수분이 없어 상대습도가 23% 까지 감소하였지만 시간이 경과함에 따라 다시 상대 습도가 상승하였다. 60분 이후에는 65 °C 에서 상대습도가 36%까지 상승하여 2시간 이상 지속되었다. 이것은 s/leather와는 매우 다른 습도 변화 형태로 목재 재질의 PB 시험편 자체에서 시험 백 안으로 수분을 공급하여 나타난 현상으로 생각된다. 이것은 증류수를 전혀 공급하지 않은 PB 시험편의 시험 전 후의 무게가 1.0 g 정도 감소한 것으로 나타나 PB 시험편에서 수분이 증발하여 시험 백 안으로 공급된 것을 뒷받침 하고 있다. 또한 PB 시험편을 포함한 PET시험백에 증류수를 0.5 mL, 1 mL, 2 mL 및 4 mL 주입한 경우에는 0.5 mL 주입 시 습도가 최대 40% RH 까지 상승하였다가 감소하여 36% RH로 지속되었고, 증류수 1 mL 주입 시에는 상대습도가 45%까지 상승하였다가 감소하였다. 증류수를 2 mL 주입하였을 때에는 상대습도가 52%까지 상승하였으며, 증류수를 4 mL 주입하였을 때는 상대습도가 58% 까지 상승하였다. 증류수를 4 mL 주입한 후 시험을 진행한 PB 시험편은 시험 전에 비해 시험 후 PB 시험편의 무게가 0.4 g 정도 증가하였다. 이는 시험 중에

주입한 증류수의 일부를 PB 시험편이 흡수하여 시험편 무게가 증가한 것으로 판단된다. 이와 같이 시험편 재질의 종류에 따라 시험편이 원래 포함하고 있는 수분이 시험 백 안의 습도에 많은 영향을 미치고 있는 것을 확인할 수 있었다.

3.5. 증류수를 주입하여 조성한 시험백 안의 습도의 변화에 따른 포름알데하이드 방출농도 비교

PET 시험백에 증류수를 주입하여 백 안의 상대습도를 상승시킨 각 조건들 하에서 합성가죽과 파티클보드 시험편에서 방출되는 포름알데하이드 농도를 비교하여 백안에 주입한 수분의 영향을 검토하였다. 수분을 주입하는 것을 제외한 모든 시험절차는 ISO 12219-2에 따라 수행하였다. Table 2에 각 시험편을 포함한 PET 시험백에 주어진 량의 증류수를 주입하고 65 °C 오븐에서 2시간동안 방치한 후 백 안의 포름알데하이드 농도를 측정하여 구한 각 습도 조건에서 나타난 합성가죽과 파티클보드의 방출강도를 나타냈다.

평균 상대습도는 증류수를 백에 주입한 시점부터 2시간동안 백 안의 상대습도를 5분 간격으로 모니터링하여 평균한 값이다. 방출강도는 각 조건에서 시험편의 무게에 대한 PET 시험백 으로 방출되어 시험 백 안 공기가 포함하고 있는 포름알데하이드 무게의 비율로 나타났다. 시험에 사용한 합성가죽시험편의 무게는 평균 9.5085 g이었으며 가장 무거웠던 시험편이 9.7665 g, 가장 가벼웠던 시험편이 9.0049 g으로 비교적 균질하였다. 파티클보드 시험편의 평균 무게는 239.41 g 이었으며 가장 무거웠던 시험편은 256.06 g 이었고, 가장 가벼웠던 시험편은 232.01 g 이었다.

Table 2. Formaldehyde emission intensities under various relative humidity conditions at 65 °C

Sample	Supplied water (mL)	Average RH during test (%)	Emission intensity (ng/g)
Synthetic leather*	0.0	7	6.49 ± 3.22
	0.5	25	6.62 ± 1.83
	1.0	38	6.98 ± 3.70
	2.0	52	8.41 ± 3.94
	4.0	51	6.15 ± 3.44
Particle board	0.0	32	0.36
	0.5	37	0.42
	1.0	40	0.38
	2.0	46	0.42
	4.0	51	0.49

*n=3

합성가죽 시험편의 경우 추가수분의 공급이 없었을 때 2시간동안의 평균 상대습도는 7% 였으며 포름알데하이드 방출강도는 6.49 ± 3.22 ng/g 이었다. 수분의 공급이 2 mL 까지는 수분의 공급이 증가함에 따라 백 안의 평균상대습도도 52%로 증가하였으며 포름알데하이드의 방출강도도 8.41 ± 3.94 ng/g으로 29.6% 증가하였다. 그러나 수분을 4 mL 공급하였을 때는 백 안의 평균상대습도는 2 mL 공급 했을 때와 차이가 없었으며 포름알데하이드 방출강도는 오히려 6.15 ± 3.44 ng/g 으로 2 mL 주입 시에 비해 36.7% 감소하였다.

파티클보드 시험편의 경우는 추가수분의 공급이 없을 때에도 2시간 평균 상대습도가 32%로 합성수지의 7%에 비해 매우 높은 상대 습도를 나타냈다. 이는 파티클보드 시험편 자체가 포함하고 있던 수분이 시험 백 안으로 방출되어 나타난 현상이라고 생각된다. 그리고 포름알데하이드의 방출강도는 0.36 ng/g을 나타냈다. PB 시험편을 포함한 시험 백 안의 평균상대습도도 합성수지 시험편의 경우와는 달리 0.5 mL 주입했을 때 37%, 1 mL 주입했을 때 40%, 2 mL 주입했을 때 46% 였으며 4 mL 주입했을 때 51%를 나타냈다. 포름알데하이드 방출강도도 증류수 공급이 없었을 때 0.36 ng/g 4 mL 공급하였을 때 0.49 ng/g으로 증류수를 4 mL 주입할 때 까지 시험백 안의 평균상대습도가 증가함에 따라 계속 증가하였다. 이러한 결과는 합성가죽 시험편은 수분을 포함하거나 방출할 수 있는 능력이 적어 추가로 증류수를 2 mL 이상 공급하면 수분이 시험백 내부 표면이나 시험편의 표면에 액상으로 존재하여 시험편에서 방출된 포름알데하이드를 일부 흡수하기 때문에 방출강도가 낮아진 것으로 생각된다. 반면에 파티클보드 시험편의 경우는 시험편이 목재이기 때문에 수분을 포함하고 있으며 여분의 수분이 공급되는 경우 시험편 자체가 수분을 흡수할 수 있는 완충능력이 있어 나타난 결과라고 생각된다.

4. 결 론

ISO 12219-2 방법으로 개발 중인 고분자 시험 백을 사용하여 자동차 내장부품의 오염물질 방출시험을 하는 시험방법에서 외부에서 추가로 수분을 공급하여 시험백 안의 습도의 변화와 포름알데하이드 방출강도에 미치는 영향을 검토하였다.

시험조건인 10 L 백안에 5 L의 공기를 넣고 65 °C로 가열하는 조건에서 시험백 안에 습도를 높이기 위

해 증류수를 추가로 공급하는 경우 백 안의 상대습도는 약 60% 정도까지 상승하였으며 필요한 수분량은 시험백 안의 공기가 포함할 수 있는 이론적인 수증기 양보다 최대 8배 정도 많은 수분을 공급해야 했다.

같은 양의 수분을 공급할 경우 시험 백 안에서 유지되는 상대습도는 시험백의 재질에 영향을 크게 받았으며 poly ethylene terephthalate 재질의 PET 시험백이 poly vinyl florid 재질의 테들라백 보다 높은 상대습도를 지속적으로 유지할 수 있었다. 그리고 시험 백 내의 상대습도는 시험편의 영향을 크게 받았는데 함수율이 크거나 파티클보드와 같이 목재성분으로 수분을 흡수할 수 있는 능력이 있는 시험편은 시험 백 내의 습도를 조절하는 완충제 역할을 하고 있었다.

그리고 시험 백 안의 상대습도가 증가할수록 시험편의 포름알데하이드의 방출강도는 증가했다. 그러나 과도한 수분이 공급되면 백 내부 표면이나 시험편의 표면에 여분의 수분이 응축하여 여기에 방출되었던 포름알데하이드가 다시 흡수되어 포름알데하이드 방출강도가 낮게 측정되었다.

그러므로 공급공기의 유입이 없는 ISO 12219-2와 같은 백을 사용하는 정적상태의 시험방법에서는 외부에서 일정량의 수분을 공급하여 시험편의 종류에 관계없이 일정한 상대습도의 조건의 환경을 조성하여 시험하는 것은 매우 어려웠다.

감사의 글

이 연구는 지식경제부의 표준기술력향상사업(B0011700) 및 BK21 웰빙환경 사업팀의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. W.-K. Jo and C.-H. Yu, *Environ. Res.*, **86**(1), 66-72 (2001).
2. W. L. Lau and L. Y. Chan, *Sci. Total Environ.*, **308**, 143-55 (2003).
3. L. Y. Chan and W. L. Lau, *Environ. Intern.*, **29**, 429-435 (2003).
4. M. Riediker, R. Williams, R. Devlin, T. Griggs and P. Bromberg, *Environ. Sci. Technol.*, **37**, 2084-93 (2003).
5. T. Yoshida and I. Matsunaga, *Indoor and Built Environment*, **15**(5), 425-444 (2006).
6. T. Yoshida and I. Matsunaga, *Environ. Intern.*, **32**, 58-

- 79 (2006).
7. T. Yoshida and I. Matsunaga, *Indoor Built Environ.*, **15**(5), 445-462 (2006).
 8. B. Ryang, S.-D. Kim and S.-K. Park, *Korean Soci. Environ. Health*, **32**(4), 292-303 (2006).
 9. H. Cho, J.-M. Choi and W.-J. Kim, *Korean Society of Environmental Health*, **13**(4), 283-289 (2006).
 10. C. Van Netten, C. Shirliffe and J. Svec, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **42**, 558-565 (1989).
 11. D. R. Spiner and R. K. Hoffman, *American Society for Microbiology*, **22**(6), 1138-1140 (1971).
 12. L. Jing and L. Zhong, *Chinese J. Chemi. Eng.*, **16**(6), 871-875 (2008).
 13. X. Liu, M. Masonm, Z. Guo, K. Krebs and N. Roache, *In Proceedings, 2009 Healthy Buildings International Conference*, ISIAQ, Syracuse, NY (2009).
 14. T. Godish and J. Rouch, *American Industrial Hygiene Association J.*, **47**(12), 792-797 (1986).
 15. W.-T. Kwon, *Korean J. Sanitation*, **9**(1), 67-75 (1994).
 16. A. Berge and B. Mellegaard, *Holz als Roh und Werkstoff*, **38**, 251-255 (1980).
 17. T. Godish and J. Rouch, *JAPCA*, **35**(11), 1186-1187 (1985).