

측정방법에 따른 유물전시관 기획전시실 내 알데하이드 농도 분포 특성 비교

Comparison of Aldehydes Concentrations Characteristics According to Measurement Methods in Temporary Exhibition Hall

국문초록

본 연구에서는 기획전시실을 대상으로 능동시료채취(Active type)와 확산형 시료채취(Passive type) 방법에 의한 전시실 내·외 알데하이드의 연중, 계절별 농도를 조사하고 측정방법에 따른 농도 비교를 통해 측정방법 간의 상관성을 비교하였다. 그 결과, Active type에 의한 전시실의 총알데하이드는 Passive type 보다 6.4배 높았다. 가장 높은 농도로 조사된 포알데하이드는 여름철 농도가 가장 높았고 환경부 전시시설 기준을 초과하였다. 포알데하이드의 연평균 I/O비는 5.4이었고 아세트알데하이드는 1.9로 알데하이드는 기획전시실 내부에서 다량 발생함을 확인할 수 있었다. 두 방법 간의 포알데하이드 상관계수와 t-검정 결과, 강한 양의 선형관계임을 확인할 수 있었다.

* 주제어 : 기획전시실, 알데하이드, 능동시료채취, 확산형시료채취, 상관성

Abstract

In this study, the annual and seasonal concentrations of aldehydes was measured using the active type and passive type method in the temporary exhibition hall and outdoor air. It was compared with the correlation between the methods according the comparison of methods to measured concentrations. As a results, the Σ aldehydes in exhibition hall by the active type was higher than 6.4 times by passive type. The formaldehyde was exceeded standards in exhibition facilities of the Ministry of Environment. It was the highest concentrations in summer. Annual I/O ratio of formaldehyde was 5.4 and acetaldehyde was 1.9, it was confirmed that a large amount occurs in the temporary exhibition hall. The results of the correlation coefficient and the t-test of formaldehyde were a strong positive linear relationship between the active type and the passive type.

* Keywords : Temporary exhibition hall, Aldehyde, Active type, Passive type, Correlation

임보아*, 이선명

국립문화재연구소 보존과학연구실

Bo-A Lim*, Sun-Myung Lee

Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage

* Corresponding Author

E-mail : freesia-a@hanmail.net

1. 서론

문화재 보존시설은 유물의 보존과 전시의 역할을 동시에 수행할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 환경의 관리가 중요하며, 특히 실내 공기오염 물질의 파악과 제어가 필수적이다. 실내 환경의 오염물질로는 휘발성 유기화합물(VOCs), 폼알데하이드(Formaldehyde), 아세트알데하이드(Acetaldehyde), 이산화황, 이산화질소, 중금속 등이 있으며(이선명과 임보아, 2014) 이 중 알데하이드는 휘발성유기화합물과 함께 대표적인 실내공기오염물질로 손꼽힌다.

알데하이드는 케톤류와 함께 카보닐화합물에 속하며 건축물의 내장재료, 마감재료, 접착제, 집기류 등 건축자재에 많이 포함되어있다. 카르보닐화합물은 대기 광화학반응물질로 작용하여 광화학반응을 촉진시키거나 1차 또는 2차 대기오염물질로 존재한다(Huixiong Lu et al., 2006; 구민호, 2005). 알데하이드의 대표적인 물질은 폼알데하이드와 아세트알데하이드이며 이외에도 악취물질로 지정된 프로피온알데하이드(Propionaldehyde), 부틸알데하이드(Butylaldehyde) 등이 있다. 대부분의 알데하이드 물질은 인체 자극성 물질이다. 폼알데하이드는 자극성 냄새를 갖는 기체로 노출 시 호흡기로 즉시 흡수된다. 눈, 코, 목 등의 자극, 정서적 불안정, 기억력 상실 등을 유발하고 반복 노출 시에는 호흡기도에 만성자극과 눈꺼풀에 염증을 유발시키는 등의 다양한 인체 위해성이 있는 것으로 알려져 있다(박진철, 2004; 송진용, 2007). 아세트알데하이드는 산화되어 아세트산이 되기 쉬운 환원성이 강한 물질로 인식되고 있으며 알레르기 반응이나 두통, 졸음 등을 일으킨다. 프로피온알데하이드는 호흡 곤란, 구토와 간이상을 일으키나 발암성은 없는 것으로 알려져 있으며 부틸알데하이드는 중추신경계통 억제 등을 유발하는 것으로 밝혀졌다(Nicolas L. Gilbert et al., 2005; 구민호, 2005).

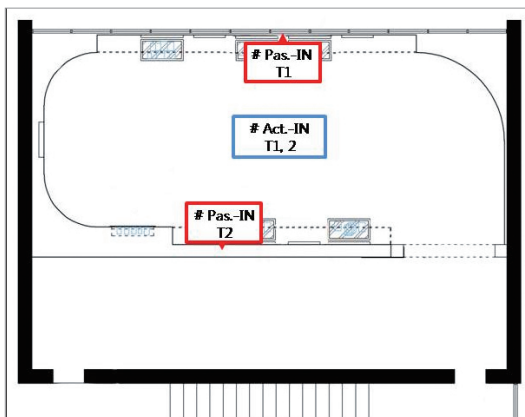
보존환경에서의 폼알데하이드와 아세트알데하이드는 포름산과 아세트산의 형태로 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 산형태의 알데하이드는 구리 합금, 카드뮴, 납, 마그네슘, 아연 등의 금속 부식과 광택도 변화를 일으키며 석회질의 풍해, 안료의 색 변화, 지류의 중합도 저하를 유발한다(Jean Te'treault, 2003; 국립문화재연구소, 2008). 관람자의 건강과 유물의 지속적인 보존을 위해서는 이러한 알데하이드의 피해를 최소화해야 한다. 이를 위해서는 물질의 농도 관리와 제어가 필수적이므로 제어를 위한 현황조사가 뒷받침되어야 하며 그 결과에 따른 대책이 수반되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 알데하이드의 현황 조사 및 대책 수립을 위한 연구의 일환으로 유물전시관 기획전시실의 알데하이드 농도 분포 조사 연구를 수행하였다. 능동시료채취(Active type)와 확산형시료채취(Passive type)의 두 가지 조사방법을 사용하여 문화재 보존시설인 기획전시실을 대상으로 연중, 계절별 농도 특성을 조사하고 비교하였다. 또한 이 결과를 바탕으로 두 측정방법의 비교를 통해 상관성을 조사하고 문화재 보존시설에 적합한 알데하이드 측정방법을 살펴보았다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

문화재 보존환경 내 알데하이드의 농도 분포 특성 조사를 위해 대상시설은 임보아와 이선명(2014)의 연구와 동일한 현충사 충무공이순신기념관으로 선정하였다. 문화재 보존시설의 전시환경 내 알데하이드 조사는 기획전시실을 대상으로 하였으며 알데하이드의 발생원을 알아보기 위해 기념관 외부 대기의 농도를 측정하여 비교하였다. 알데하이드 포집 방법은 Active type과 Passive type의 방법을 병행하였으며 외기 농도 조사 위치는 기연구와 동일하게 하였다. 기획전시실은 중앙에서 Active type의 시료를 포집하였으며 Passive type은 전시구조물 상부에 설치하여 포집하였다(Fig. 1).



(a) Sampling locations



(b) Indoor air sampling(Active type)



(c) Passive type sampler(T1)



(d) Passive sampling site(T2)

Fig. 1. Sampling site and sampling equipments of aldehydes using the active type and passive type in temporary exhibition hall.

2. 분석방법

유물전시관의 외기와 기획전시실 내부의 알데하이드 농도 조사는 임보아와 이선명(2014)의 연구와 동일하게 2012년 5월부터 2013년 4월까지 1년 동안 수행하였다. 시료채취는 매달 정기적으로 1회 실시하였고 Active type과 Passive type의 방법을 동시에 실시하였다. 각 측정지점의 시료는 중복 측정·분석을 통해 정확도를 확보하였다.

Active type은 환경부 실내공기질공정시험기준(2010)의 '실내 및 건축자재에서 방출되는 폼알데하이드 측정방법 - 2,4-DNPH 카트리지와 액체크로마토그래프법'에 준하여 수행하였다. Mini pump(Σ 100, Sibata, JP)에 Ozone scrubber(Supelco, USA)가 연결된 DNPH-Cartridge(Supelco, USA)를 설치하고 500 mL/min의 유속으로 총 부피가 15 L로 되게 공기를 포집하였다. DNPH-Cartridge에 포집된 알데하이드 유도체는 아세트나이트릴로 추출하고 HPLC(High Performance Liquid Chromatography, Waters 2695 separations module, 2487 Dual λ Absorbance, USA)를 사용하여 Table 1의 조건으로 분석하였다.

Table 1. Conditions of systems for the aldehydes analysis by active type(HPLC).

Solvent	Acetonitrile
Mobile phase	D.W, Acetonitrile
Flow	1.0 mL/min
UV Lamp wavelength	360 nm
Injection volume	5 μ L
Column	C18, Agilent Technologies
Dimensions	4.6 \times 250 mm
Particle size	5 μ m
Pore size	120 Å

Passive type은 (주)엔버스 제품인 저농도 알데하이드용 Passive sampler를 이용하였다. Passive sampler를 측정지점에 설치하고 노출 권장 기간인 일주일 동안 충분히 노출시킨 후 수거하여 (주)엔버스에 분석 의뢰하였다. Passive sampler도 Active sampling 방법과 마찬가지로 아세트나이트릴로 추출하여 Table 2 조건의 HPLC(DIONEX, USA)로 분석하였다.

Table 2. Conditions of systems for the aldehydes analysis by passive type(HPLC).

Solvent	Acetonitrile
Mobile phase	D.W, Acetonitrile
Flow	1.0 mL/min
UV Lamp wavelength	360 nm
Injection volume	5 μ L
Column	C18, Acclaim® 120, DIONEX
Dimensions	4.6 \times 250 mm
Particle size	5 μ m
Pore size	120 Å

기획전시실의 알데하이드 측정방법에 따른 농도 분포 조사를 위해 Active type과 Passive type에 의해 측정된 주요 알데하이드(폼알데하이드, 아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, 부틸알데하이드, 벤잘알데하이드)의 농도 총합을 총알데하이드(Σ aldehydes)로 가정하여 알데하이드의 연간 농도와 계절별 농도 변화 추이를 관찰하였다. 대표적인 알데하이드인 폼알데하이드와 아세트알데하이드를 대상으로 전시관 내부의 농도와 외기 농도를 비교(Indoor/Outdoor concentration ratio)하여 알데하이드의 발생원을 추정하였다. Active type을 이용하여 조사한 알데하이드 물질의 구성비를 통해 알데하이드 물질의 분포 현황을 조사하고 유물 전시관 내 주요 물질을 파악하였다. 또한 Active type과 Passive type의 농도 도출 결과를 통해 두 측정방법 간의 상관관계를 분석하였다.

III. 연구결과

1. 유물전시관의 알데하이드 농도 분포 현황

충무공이순신기념관을 대상으로 조사한 기획전시실 내 알데하이드 5종에 대한 연간 총알데하이드 농도 변화량은 Fig. 2와 같다. Active type에 의한 총알데하이드 평균 농도는 $780.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 Passive type에 의한 평균 농도는 $101.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 Active type이 Passive type에 비해 7.7배 큰 값으로 측정되었다. 두 측정방법에 의한 총알데하이드 농도는 6월에 각각 $1612.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $224.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 최댓값을 보였으며 점차 감소하다가 1월을 기점으로 다시 소폭 증가하는 경향을 보였다.

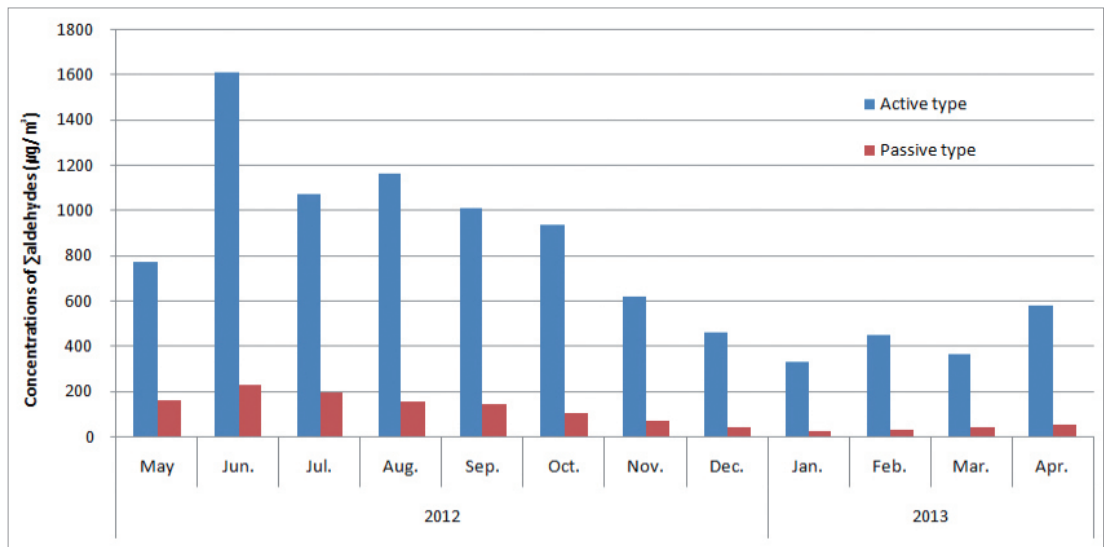
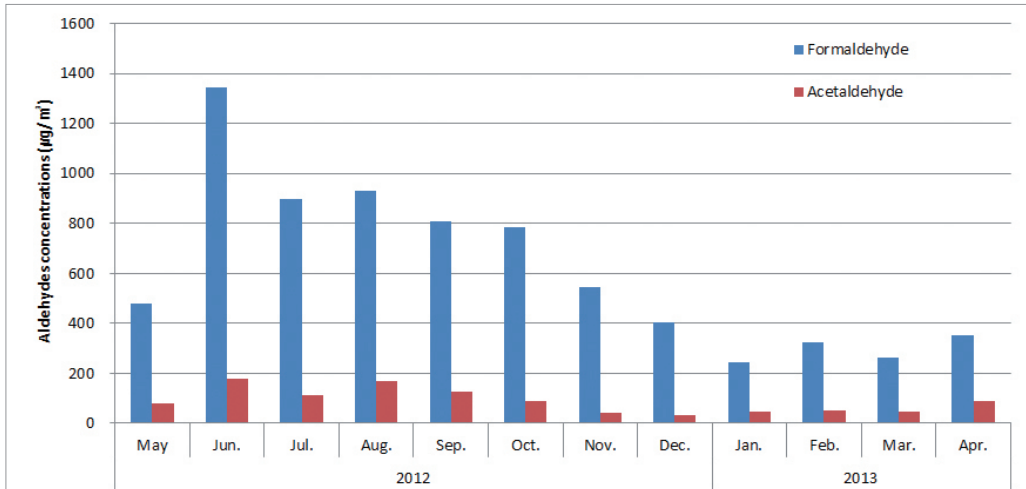


Fig. 2. An annual concentrations of Σ aldehydes in the temporary exhibition hall by active and passive type.

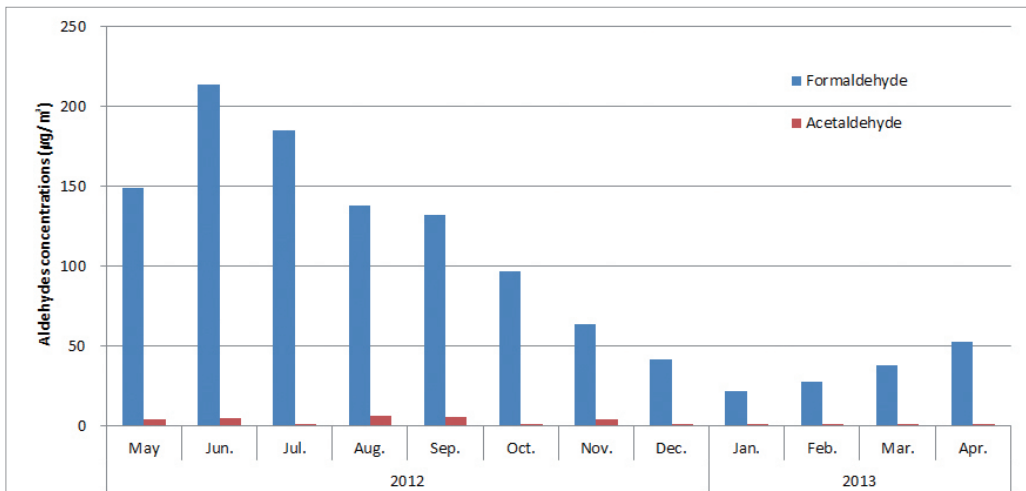
Passive type에 의한 조사 대상 카르보닐화합물 중 프로피온알데하이드와 부틸알데하이드는 모두 정량한계(Limit of Quantitation - 프로피온알데하이드 $4.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 부틸알데하이드 $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 이하였으며 벤잘알데하이드($3.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$)도 11월부터 정량한계 이하의 값으로 나타났다. 따라서 대부분 정량한계 이하로 조사된 물질을 제외한 주요 발생 물질인 폼알데하이드와 아세트알데하이드의 연간 농도 변화 추이를 살펴보았다.

Passive type에 의한 아세트알데하이드는 2012년 7월, 10월, 12월, 그리고 2013년의 결과 모두 정량한계($3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 이하의 농도였으므로 Richard W. Hornung et al.(1990)의 연구에 따라 1/2 LOD를 적용하여 그래프에 나타냈다(Fig. 3). 폼알데하이드와 아세트알데하이드 연간 농도의 변화 경향은 총알데하이드의 연간 분포와 유사하였다. Active type의 폼알데하이드 평균 농도는 $614.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 아세트알데하이드 농도는 $88.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 폼알데하이드는 아세트알데하이드에 비해 약 6.9배 큰 값을 보였다. 정량 한계를 적용한 Passive type의 평균 농도는 폼알데하이드가 $96.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 아세트알데하이드가 $3.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 폼알데하이드 농도는 아세트알데하이드 농도 값의 31배 이상이었다. Passive type에 의한 폼알데하이드 농도는 '다중이용시설 등의 실내공기질관리법(환경부)'의 전시시설 폼알데하이드 유지기준($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 이하의 범위를 보였으나 Active type에 의한 폼알데하이드의 연중 농도는 모두 기준을 초과하였다. 이로서 동일한 시설을 대상으로 조사를 진행하였음에도 불구하고 측정방법에 따라 검출되는 농도의 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

이선명과 임보아(2014)의 연구에 따르면 Passive type에 의한 현충사 충무공이순신기념관 상설전시실의 폼알데하이드 농도는 $18.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $42.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위라고 보고하였다. 본 연구의 기획전시실 내 폼알데하이드 연간 평균 농도는 $96.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 이선명과 임보아(2014)의 연구에서 보고된 상설 전시실 농도에 비해 2.3배 높은 값이었다. Mexico의 일부 박물관의 폼알데하이드 농도는 $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위로 조사되어(Armando Báez et al., 2003) 본 대상 시설은 타 연구에 비해 높은 농도를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. Cecily M. Grzywacz(2006)은 민감한 물질의 보존을 위해 보존시설에서 폼알데하이드는 0.1~5 ppb 이하, 아세트알데하이드는 1~20 ppb 이하, 일반적인 수집물 보존시설에서의 폼알데하이드는 10~20 ppb 이하로 제안하였다. 그러나 본 연구에서 Active type에 의한 아세트알데하이드는 12월을 제외한 모든 값이 이 기준을 초과하였고 폼알데하이드의 연평균 농도는 활동제한 고농도(120 ppb) 보다 4.3배 이상 높았다. 동경 국립박물관은 아세트알데하이드 기준 농도를 10 ppb 이하로 제안하였다. Active type에 의한 결과는 모두 이 기준을 초과하였지만 Passive type에 의한 결과는 모두 기준 이하를 유지하고 있는 것으로 조사되었다.



(a) Active type



(b) Passive type

Fig. 3. An annual concentrations of aldehydes by active and passive type.

Active type과 Passive type에 의한 기획전시실 내 총알데하이드의 농도를 계절별로 살펴 본 결과, 여름철 농도는 각각 $1282.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $195.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고 가을, 봄, 겨울의 순으로 높은 농도를 보였으며 계절별 총알데하이드는 두 조사방법 모두 유사한 경향이였다(Fig. 4). 농도 값이 가장 컸던 여름철과 가장 낮은 농도를 보인 겨울철의 Active type에 의한 총알데하이드 농도는 약 3.1배, Passive type에 의한 농도는 최대 5.2배의 차이를 보였다.

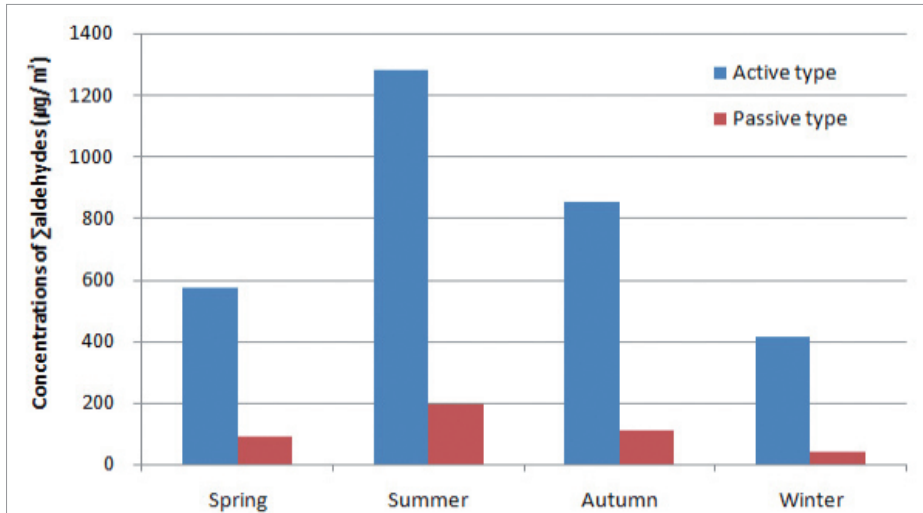


Fig. 4. Seasonal concentrations of Σ aldehydes in the temporary exhibition hall.

Active type으로 측정된 폼알데하이드, 아세트알데하이드와 부틸알데하이드는 여름철의 농도가 가장 높았으나 프로피온알데하이드와 벤잘알데하이드는 봄철이 가장 높았다(Table 3). 폼알데하이드와 아세트알데하이드는 여름, 가을, 봄, 겨울의 순으로 높은 농도를 보였다. 봄철(365.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)과 겨울철(324.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 폼알데하이드 평균 농도는 유사하였다. 그러나 아세트알데하이드의 겨울철 농도는 44.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 계절에 비해 낮았다. 벤잘알데하이드의 봄철 농도는 80.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 이외의 계절에는 30.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 33.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유사한 농도 분포를 보였다. 프로피온알데하이드와 부틸알데하이드는 Passive type으로 검출되지 않았으며 겨울철의 아세트알데하이드와 벤잘알데하이드도 검출되지 않았다. Passive type에 의해 분석된 폼알데하이드는 Active type과 동일한 계절별 특징을 보였으며 아세트알데하이드 역시 여름, 가을, 봄의 순서로 높은 농도를 보여 이 역시 Active type과 동일한 경향을 나타냄을 확인할 수 있었다.

Table 3. Concentrations of seasonal aldehydes by active and passive type($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

		Temporary exhibition hall				
		Formaldehyde	Acetaldehyde	Propionaldehyde	Butyraldehyde	Benzaldehyde
Active type	Spr.	365.0	71.0	32.6	21.7	80.3
	Sum.	1057.1	154.6	14.6	23.5	33.1
	Aut.	713.1	85.7	8.1	12.8	34.2
	Win.	324.3	44.0	4.7	9.0	30.7
Passive type	Spr.	80.0	2.5	L.O.Q	L.O.Q	3.0
	Sum.	179.0	4.5	L.O.Q	L.O.Q	5.7
	Aut.	97.6	3.8	L.O.Q	L.O.Q	4.2
	Win.	30.3	L.O.Q	L.O.Q	L.O.Q	L.O.Q

* L.O.Q: Limit of Quantitation (Passive type: Formaldehyde 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Acetaldehyde 3.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Propionaldehyde 4.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Butyraldehyde 2.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Benzaldehyde 3.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Active type에 의한 여름과 가을의 알데하이드 계절별 분포 비율은 비슷하였다(Fig. 5). 알데하이드의 계절별 분포를 살펴보면 총알데하이드 중 주요 알데하이드 물질은 폼알데하이드였고 64 %에서 84 %의 비율을 차지하였다. 아세트알데하이드는 10 %에서 12 %를 차지하였고 봄철과 여름철에 12 %로 동일한 비율을 보였다. 봄철 폼알데하이드의 비율은 64 %로 다른 계절에 비해 차이율이 낮았으나 벤잘알데하이드의 농도 비율은 14 %로 다른 계절에 비해 높았다. 프로피온알데하이드와 부틸알데하이드의 차지 비율도 다른 계절에 비해 봄철의 비율이 상대적으로 높았다.

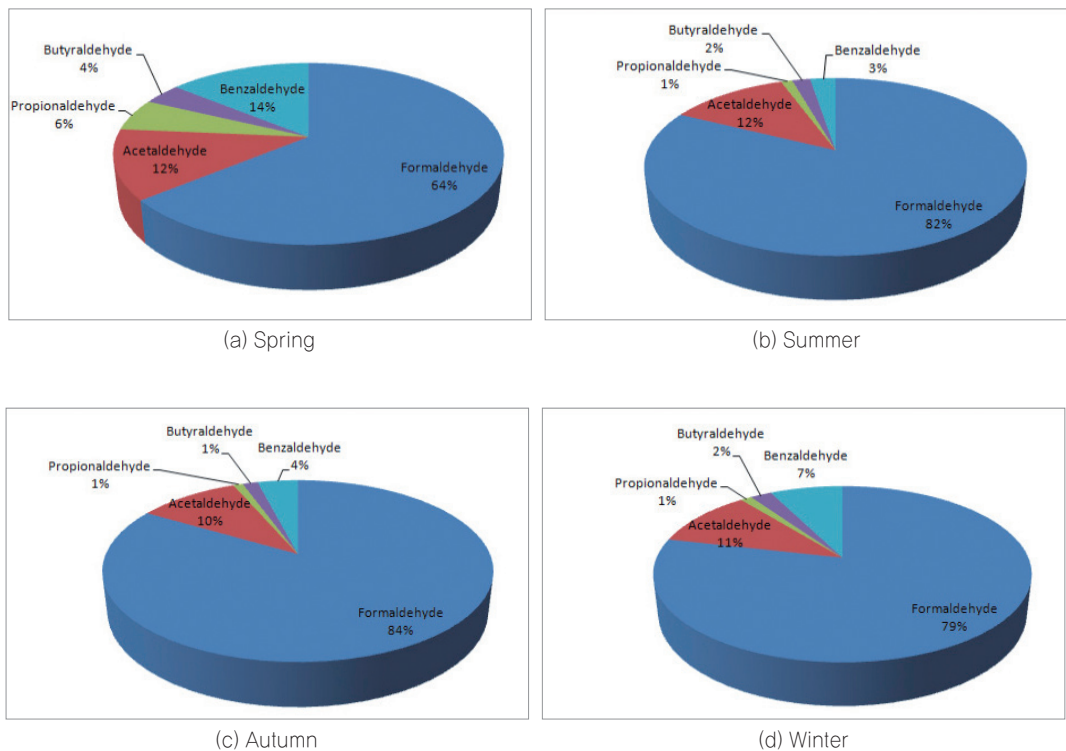


Fig. 5. Seasonal proportion of individual aldehydes by active type.

2. 유물전시관 알데하이드의 I/O비

기획전시실 내부 공기 농도와 외기의 농도 비율(I/O비)을 통해 충무공이순신기념관의 알데하이드 발생원을 확인하였다. 우천으로 인해 조사가 불가능하였던 9월과 11월의 Active type은 동일한 계절인 10월의 외기 농도를 적용하였다.

기획전시실 총알데하이드의 I/O비 평균은 3.3으로 최소 2.3에서 최대 5.0의 범위였으며 알데하이드의 발생은 기획전시실 내부에 있는 것으로 확인되었다(Fig. 6). 연간 I/O비는 시간의 경과에 따라 점차 증가하다가 8월에 최댓값을 보이고 점차 감소하다가 다시 증가하였다.

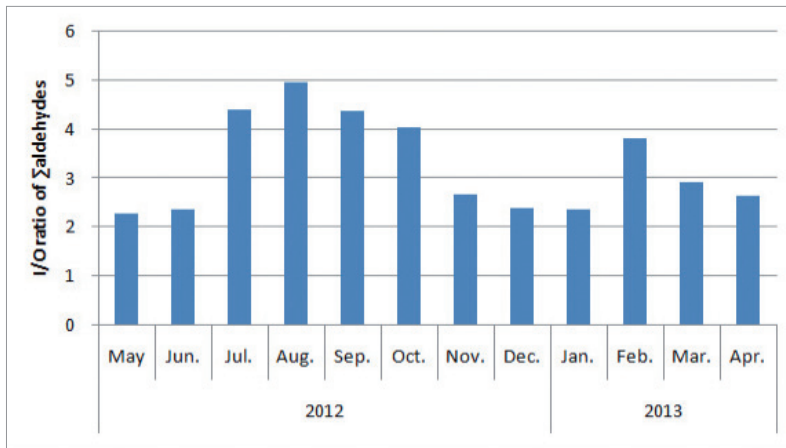


Fig. 6. An annual I/O ratio of Σ aldehydes.

Active type에 의해 측정된 기획전시실 폼알데하이드의 I/O비는 Table 4와 같으며 최소 2.6에서 최대 7.7의 비율을 보였다. 폼알데하이드의 연 평균값은 5.4로 연 평균값이 1.9인 아세트알데하이드 보다 2.8배 높았다. 일부 외기에서 부틸알데하이드가 검출되지 않았는데 이는 실외 농도를 1로 하여 실내/외의 농도 비율을 산정하였다. 이 값을 제외하면 폼알데하이드의 I/O비가 평균 5.4로 가장 높았고 그 다음은 4.7의 부틸알데하이드였다. 아세트알데하이드의 연평균 I/O비는 1.9였으며 프로피온알데하이드는 1.3, 벤잘알데하이드는 1.2로 Active type에 의한 알데하이드 모두 내부 발생 농도가 높았다.

Table 4. An annual I/O ratio of formaldehyde by active and passive type.

		Active type	Passive type
2012	May	7.6	24.6
	Jun.	2.6	52.1
	Jul.	7.4	16.1
	Aug.	7.7	34.5
	Sep.	5.1	15.6
	Oct.	5.0	25.0
	Nov.	3.5	15.7
	Dec.	2.7	6.8
2013	Jan.	3.2	5.8
	Feb.	5.1	10.7
	Mar.	7.2	8.4
	Apr.	7.4	10.3

Passive type에 의한 외기의 알데하이드 농도는 일부 아세트알데하이드와 벤잘알데하이드를 제외하고 대부분 정량한계 이하의 농도로 검출되었다. 검출한계 이상의 농도로 검출된 폼알데하이드의 연간 I/O 비 평균은 18.8이었다. 상대적으로 낮은 농도로 검출된 Passive type의 외기로 인해 Active type에 의한 I/O비 보다 3.5배 높은 비율을 보였다. 폼알데하이드를 제외하고 대부분이 검출한계 이하의 값을 보인 Passive type의 알데하이드 물질들 이외의 알데하이드 I/O비가 1.0 이상인 결과를 통해 폼알데하이드와 아세트알데하이드는 모두 기획전시실 내부에 발생원이 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

Armando Báez et al.(2003)의 연구에서는 유물전시관의 알데하이드와 휘발성유기화합물과 같은 실내공기오염물질 농도가 외기보다 높다고 보고하였다. 특히 Armando Báez et al.(2003)의 연구에서는 Mexico 박물관의 폼알데하이드 I/O비(2.7 이하)가 주택의 I/O비(4.3~4.4) 보다 낮았는데, 본 연구에서는 대부분 Mexico 박물관 보다 높고 주택의 I/O비 보다 작거나 그 이상의 비율을 갖는 넓은 범위의 내부 발생이 있는 것으로 관찰되었다.

계절별 Active type의 총알데하이드의 I/O비는 여름(3.9), 가을(3.7), 겨울(2.9), 봄(2.6)의 순이었으며 여름철에 전시실 내에서 알데하이드가 다량 발생함을 확인하였다. 또한 우천으로 인해 조사가 불가능하였던 달을 포함하고 있는 가을철의 부틸알데하이드를 제외하면 봄철 폼알데하이드의 I/O비가 7.4로 가장 높았고 그 다음은 가을, 여름, 겨울 순이었다(Table 5). 프로피온알데하이드는 여름철의 I/O비가 1.4로 가장 높았는데 아세트알데하이드와 벤잘알데하이드는 가을철이 조금 더 높은 수준이었다. Active type으로 측정된 알데하이드(가을철 부틸알데하이드 제외) I/O비의 계절별 평균은 폼알데하이드의 영향이 컸던 봄철이 2.6으로 가장 높았고 가을, 여름, 겨울 순이었으나 이 계절은 거의 유사하였다. Passive type에 의한 폼알데하이드의 I/O비는 여름철이 27.4로 가장 컸으며 그 다음은 가을, 봄, 겨울 순으로 조사되었다. 이로써 Active type과 Passive type으로 측정된 알데하이드는 계절별 경향이 다름을 확인할 수 있었다.

Table. 5. Seasonal I/O ratio of aldehydes by active type.

	Formaldehyde	Acetaldehyde	Propionaldehyde	Butyraldehyde	Benzaldehyde
Spr.	7.4	1.9	1.1	1.5	0.8
Sum.	4.2	1.7	1.4	2.5	1.3
Aut.	4.5	2.0	1.3	10.3	1.4
Win.	3.4	1.8	1.1	2.6	1.4

3. 측정방법에 따른 상관성 분석

이순신기념관 기획전시실의 알데하이드를 Active type과 Passive type의 방법으로 병행 조사한 결과를 바탕으로 두 분석 방법 간의 상관성을 비교하였다. 폼알데하이드는 Passive type으로 조사한 결과 값이 정량한계 이상인 유일한 물질이었다. 따라서 폼알데하이드를 대상으로 각 측정 월에 대한 농도 값을 방법 별 하나의 변수로 가정하고 변량 12의 수준으로 Active type과 Passive type의 상관관계를 조사하였다. 그 결과, 상관계수(r^2)는 0.792이었으며 이를 통해 두 분석 방법은 비교적 강한 상관관계임을 확인할 수 있었다. 상관관계식의 기울기 값이 0.172이며 기획전시실의 Active type과 Passive type의 농도는 약 0.2 배의 차이가 있으므로 상관관계식을 통해 두 측정 방법의 농도 예측이 가능할 것으로 보인다(Fig. 7). 이정하(2012)의 연구에서는 다중이용시설을 대상으로 한 폼알데하이드의 결정계수(r^2)가 0.454이었으나 본 연구의 결과에서는 두 방법 간에 더 큰 관계성이 있음을 확인할 수 있었다. Active type과 Passive type에서 검출된 5종의 알데하이드 물질을 각 변수로 가정하여 변량 60의 수준으로 t-검정(쌍체 비교)을 실행한 결과, 피어슨 상관계수는 0.95이었으며 이를 통해 두 방법은 강한 양의 선형관계를 갖는 것을 확인할 수 있었다.

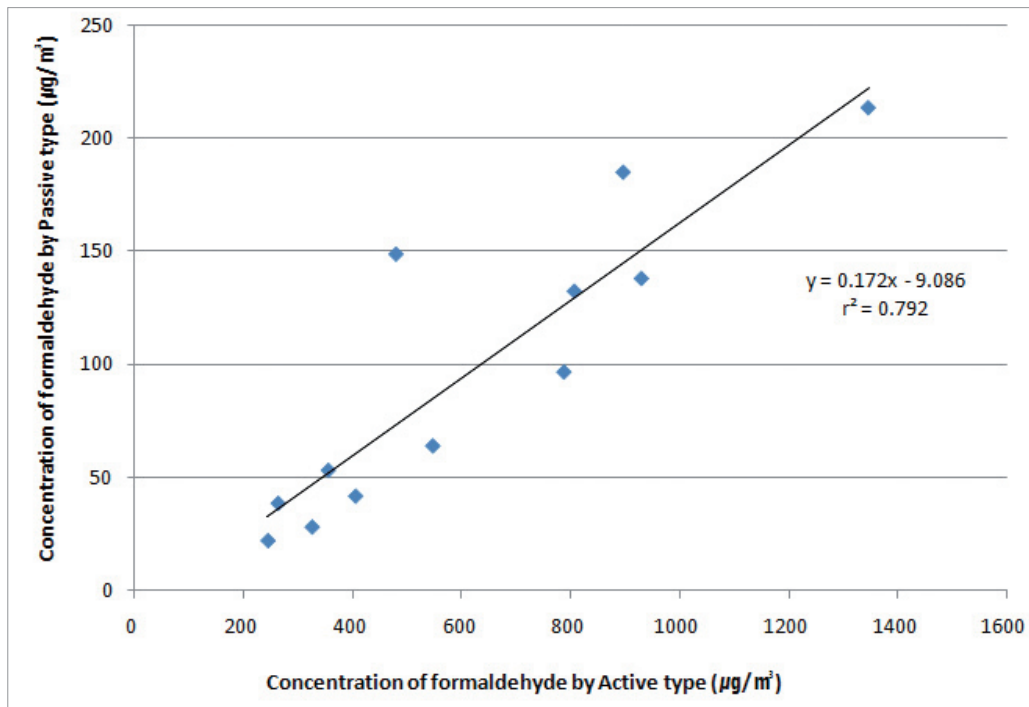


Fig. 7. Correlationship between active and passive type on concentrations of aldehydes.

IV. 고찰 및 결론

본 연구에서는 충무공이순신기념관의 기획전시실을 대상으로 Active type과 Passive type에 의한 조사 방법을 사용하여 알데하이드의 농도를 조사하고 비교하였다.

Active type과 Passive type에 의한 기획전시실 내 총알데하이드의 연간 평균 농도는 $780.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 Active type이 Passive type에 비해 큰 값으로 조사되었다. 주요 알데하이드 물질인 폼알데하이드는 환경부의 전시시설 기준을 초과하였고 연평균 Active type 농도는 Passive type에 비해 높았다. 최대 농도는 6월이었고 점차 감소하다가 1월을 기점으로 다시 소폭 증가하는 경향을 보였다. Passive type에 의한 프로피온알데하이드, 부틸알데하이드와 벤질알데하이드는 대부분 정량한계 이하의 값이었는데 이는 고분자성분의 회수율이 낮은 특성에 기인한 것으로 판단된다(이민희와 김기현, 2012). 폼알데하이드와 아세트알데하이드 연간 농도의 변화 경향은 총알데하이드의 변화 경향과 유사하였고 폼알데하이드는 높은 농도였으며 Cecily M. Grzywacz(2006)이 제안한 박물관의 활동제한 기준인 고농도 기준을 초과하였다.

총알데하이드의 계절별 농도는 여름철이 가장 높았고 가을, 봄, 겨울 순이었다. Active type으로 측정된 폼알데하이드, 아세트알데하이드와 부틸알데하이드는 여름철의 농도가 가장 높았다. 이선명과 임보아(2014)와 유복희(2010)의 연구에서 폼알데하이드 농도는 온도와 습도의 변화와 높은 상관성이 있으며 온도가 높을수록 자재로부터의 방출량이 많아지고 높은 온도의 환경에서 높은 방출량이 오랫동안 지속된다고 하였다. 이에 따라 본 연구 결과에서 여름철에 고농도 조건이 형성되는 것은 온열환경의 영향이라고 판단하였다. I/O비로 살펴 본 기획전시실의 알데하이드 발생원은 내부에 존재하는 것을 확인할 수 있었고 특히 여름철에는 높은 온도로 인해 내부 발생량이 많은 것을 추정할 수 있었다.

Active type과 Passive type에 의한 알데하이드 농도는 검출량의 차이를 보였고 물질별, 계절별 경향의 차이가 관찰되었다. 두 방법 간의 알데하이드 검출 여부와 농도 값의 각 차이는 물질의 특성, 포집방법의 특징, 전처리 방법 등에 의한 차이로 판단된다. 이러한 Active type과 Passive type에 의한 폼알데하이드는 비교적 강한 상관관계가 있으며 강한 양의 선형관계를 가지므로 두 방법은 상호 관련성이 큼을 확인하였다. 이를 통해 두 측정방법 간의 농도 예측이 가능하다고 판단되므로 전시시설의 공간적 특성, Active type과 Passive type의 방법적 특성에 따라 적합한 조사방법을 선택한 후 다른 방법에서의 농도 교차 예측이 가능할 것으로 보인다. 이러한 방법은 편리하고 경제적인 조사 방법을 선택하고 전시환경 관리를 위한 규정 방법에서의 농도 예측을 통해 기준에 부합하는 환경을 조성하는 데에 도움이 될 것이다.

이선명과 임보아(2014) 연구에서의 Passive type에 의한 상설전시실 폼알데하이드 농도와 본 연구의 기획전시실 농도를 비교하면 상설전시실 보다 기획전시실의 농도가 높았다. 이는 전시실 개관시기의 차이와 내부 인테리어 등의 다양한 원인에 의한 결과로 볼 수 있다. 시간의 경과에 따라 폼알데하이드가 점차 감소하는 특성(김진우 외, 2006)과 본 연구에서의 연간 알데하이드 농도의 변화 추이를 고려하면 개관 직후에는 고농도 상태가 조성되지만 시간의 경과에 따라 점차 감소할 것으로 보인다. 그러나 수시로 시설을 변경하

는 공간적 특성을 갖는 기획전시실에서는 상설전시실 보다 알데하이드 농도가 더 높게 유지될 수밖에 없는 환경이 조성될 수 있다. 따라서 기획전시실의 쾌적한 관람환경을 위해서는 상설전시실 보다 더 강화된 관리가 필요하다. 문화재 보존시설에서는 오염의 순환이 최소화 될 수 있도록 효율적인 공조시설을 구축해야 하며 개관 후에는 시설의 변경을 최소화하고 전시시설의 교체 시에는 방출량이 적은 자재를 사용할 수 있도록 알데하이드 저방출 친환경자재를 사용하거나 오랫동안 자연 방산 시간을 경과시킨 자재를 사용해야 한다. Mé lissa St-Jean et al. (2012) 등의 연구에서는 환기에 의해 알데하이드 농도 저감이 가능하다고 하였다. 따라서 개관 전에는 베이크 아웃을 실시하여 초기 방출을 촉진시키거나 환기를 통해 농도를 낮출 수 있다. 본 연구 결과에서 알데하이드의 발생원은 전시실 내부에 존재하고 다른 계절에 비해 여름철 알데하이드의 농도가 높았으므로 특히 여름철 기획전시실은 온도 제어와 함께 잦은 환기를 통해 쾌적한 관람 환경을 유지하는 것을 추천한다.

사사

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소의 지원을 받아 문화유산 융복합연구(R&D) 사업의 일환으로 이루어 졌으며 협조해주신 현충사 충무공이순신기념관 관계자 여러분께 감사드린다.

참고문헌

- 구민호, 2005, 구미산업단지 대기중 카르보닐화합물의 농도 특성, 금오공과대학교 대학원 석사학위논문, pp.1-9.
- 국립문화재연구소, 2008, 동산문화재 보존환경 분석기술 표준화, pp.428-436.
- 김건우, 최승혁, 이종식, 김남규, 박진철, 김신도, 2008, 신축공동주택의 실내공기환경(HCHO, VOCs 및 TVOC) 실태조사, 춘계 학술발표대회, 한국건축환경설비학회, pp.223-226.
- 박진철, 2004, 신축공동주택에서의 포름알데히드 및 휘발성 유기화합물 측정 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위논문, pp.6-32.
- 송진용, 2007, 교실의 포름알데히드와 휘발성유기화합물질의 방출 특성에 관한 연구, 경북대학교 대학원 석사학위논문, pp.4-11.
- 유복희, 2010, 신축 공동주택에서의 온도 및 습도 변화에 따른 VOC 및 포름알데히드 방산 관계성 규명, 대한건축학회지, 26(5), pp. 383-391.
- 이민희, 김기현, 2012, 악취성 Carbonyl 화합물의 카트리지 채취 분석 : 습도가 채취효율에 미치는 영향, 분석과학, 한국분석과학회, 25(1), pp.50-59.
- 이선명, 임보아, 2014, 문화재 보존시설 내 포름알데히드 농도 분포 특성 분석, 제39회 춘계학술대회 논문집, (사)한국문화재보존과학회, pp.29-32.
- 이정하, 2012, 다중이용시설의 실내 알데하이드류 농도 평가를 위한 농도시료채취기와 확산형시료채취기 비교, 카톨릭대학교 보건대학원 석사학위논문, pp.11-12.
- 임보아, 이선명, 2014, 휘발성유기화합물(VOCs)의 측정방법에 따른 유물 전시관 내 농도 분포 특성 비교, 보존과학연구 35, 국립문화재연구소, pp.25-44.
- 환경부, 2014, 다중이용시설등의 실내공기질 관리법.
- Armando Báez, Hugo Padilla, Rocío García, Ma.del Carmen Torres, Irma Rosas, Raúl Belmont, 2003, Carbonyl levels in indoor and outdoor air in Mexico City and Xalapa, Mexico, The Science of the Total Environment, 302, pp.211-226.
- Cecily M. Grzywacz, 2006, Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments, Getty Publications, 22, pp.95-110.
- Daniel Grosjean and Edwin L. Williams II, 1992, Photochemical Pollution at Two Southern California Smog Receptor Sites, Journal of the Air & Waste Management Association, 42(6), pp.805-809.
- Huixiong Lu, Sheng Wen, Yanli Feng, Xinming Wang, Xinhui Bi, Guoying Sheng, Jiamo Fu, 2006, Indoor and outdoor carbonyl compounds and BTEX in the hospitals of Guangzhou, China Science of the Total Environment, 368, pp.574-584.
- Jean Te'treault, 2003, Airborne Pollutants in Museums, Galleries and Archives : Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management, CCI, pp.8-32.
- Mé lissa St-Jean, Annie St-Amand, Nicolas L. Gilbert, Julio C. Soto, Mireille Guay, Karelyn Davis, Theresa W. Gyorkos, 2012, Indoor air quality in Montréal area day-care centres, Canada, Environmental Research, 118, pp.1-7.
- Nicolas L. Gilbert, Mireille Guay, J. David Miller, Stan Judek, Cecilia C. Chan, Robert E. Dales, 2005, Levels and determinants of formaldehyde, acetaldehyde, and acrolein in residential indoor air in Prince Edward Island, Canada, Environmental Research, 99, pp.11-17.
- Richard W. Hornung and Laurence D. Reed, 1990, Estimation of Average Concentration in the Presence of Nondetectable Values, Applied Occupational and Environmental Hygiene, 5(1), pp.46-51.