한국환경과학회 봄 학술발표회지 제10권(제1호), 68 - 72, 2001
Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference, May, 2001

대기-P4

기체크로마토그래피를 이용한 실내외 대기환경 중 포름알데하이드의 측정

박미진*, 이찬영, 김희갑

강원대학교 환경과학과

1. 서론

포름알데하이드는 주요 실내 오염 물질 중의 하나로서 식물자체에서 생성되기도 하고 인위적으로는 화석연료의 연소, 실내 가구용 도료, 합판의 접착제, 담배 연기, 수돗물 및 수영장 물의 오존 및 염소 소독으로부터 유래된다(Zhang et al., 1994). 실내 대기 중에서는 이중결합을 가진 휘발성 유기 화합물(VOCs)과 O_3의 산화 반응으로 생성되기도 한다(Zhang et al., 1994).

포름알데하이드는 주로 인체의 눈, 코, 기관지 등에 자극을 주며, 폐나 비인강 부분에 영향을 주고 암을 일으키는 물질로 추정되고 있다. 특히, 가정에서 많은 시간을 보내는 어린아이들의 천식 및 호흡기질환이 증가하는데 기여하는 것으로 보아(Garrett et al., 1999) 어린아이들을 포함한 대부분의 사람들이 많은 시간을 실내에서 보내기 때문에 인체 건강의 관점에서 실내 환경이 실외 환경보다 더욱 중요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 기체크로마토그래피를 이용하여 일부 실내외 대기 환경 중 포름알데하이드를 측정하고 각각의 환경들을 비교하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1. 시료채취

Tedlar bag®에 공기 시료를 채취한 후 지하수 15mL가 들어있는 두 개의 임핀저를 연결하고 200mL/min로 작동되는 펌프에 물이 들어가는 것을 방지하기 위해 펌프 앞에 트랩을 설치하였다. 그리고 실내에서는 포름알데하이드의 농도가 높은 것으로 보고되어(Zhang et al., 1994; Grosjean, 1991) 25분, 실외에서는 45분 동안 채취하였다.

2.2. 시료 채취 장소 및 시간

실내 환경에 대한 시료 채취는 강원대학교 주변의 PC방 및 음식점 세 곳씩, 춘천 시내의 중앙로 지하상가 세 곳과 아파트 다섯 곳에서 각각 한 번씩 측정하였다. 그리고 자동차 운전 중 운전자에 대한 노출을 알아보기 위하여 주행 전 1회, 주행 중 10분 간격으로 두 차례에 걸쳐 1.9L/min의 유속으로 약 5분 정도 Tedlar® bag에 채취하였다.

실외 환경에 대한 시료 채취는 강원대학교 주변 세 곳, 시내 중심가 세 곳 및 외곽지역 세 곳에서 각각 한 번씩 측정하였다. 실내 환경과 마찬가지로 1.9L/min의 유속으로 약 5분 정도 Tedlar® bag에 공기 시료를 채취하였다. 모든 시료의 채취는 9월 28일부터 10월 7일까지 오후 7~9시 사이에 이루어졌다.

2.3. 포름알데하이드의 분석 방법

채취한 물 시료 15mL에 pH를 4.6으로 맞추기 위해 sodium acetate 완충용액 0.5mL를 넣고, oxime 유도체를 만들기 위해 PFBOA(2mg/mL) 수용액 1mL를 주입하였다. 그리고 30℃의 수욕조에서 1시간 동안 방치한 후 상온으로 식을 때까지 기다렸다가 진한 황산 0.3mL를 첨가하여 반응을 종결시켰다. 약 5분 정도 기다린 후 내부표준물질(decafluorobiphenyl)이 함유된 헥산 3mL와 Na_2SO_4 1g을 넣은 후 손으로 충분히 흔들어 주었다. 두 층이 분리될 때까지 기다린 후 헥산 층 1μL를 GC/PDD(pulsed discharge detector)에 주입하여 분석하였다.

분석에 사용된 검출기는 전자포획검출기모드(ECD)로 이용되었고, 검출기 온도는 280℃, 주입구 온도는 200℃, 그리고 칼럼은 HP-5(30m×0.32mm×0.32μm)를 사용하였다. S/N비 3을 기준으로 포름알데하이드의 검출한계는 약 0.2μg/m^{3}으로 추정되었으며, 검량선은 20~550 n g의 범위에서 결정계수(R^2)가 0.9981로 좋은 직선의 상관관계를 나타냈다.

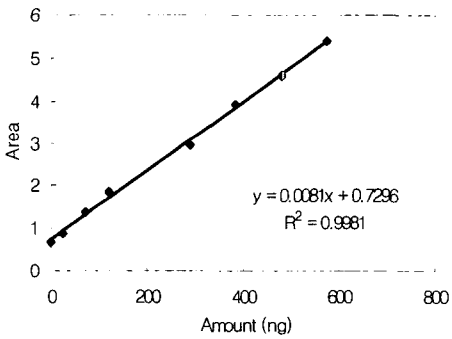

Fig. 1. Standard curve for formaldehyde.

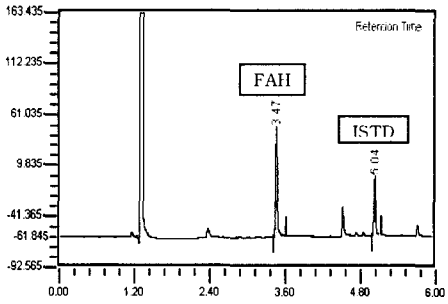

Fig. 2. A chromatogram for the analysis of internal standard and formaldehyde.

3. 결과 및 토의

실내 환경별 평균 농도를 비교해 보면 아파트> PC방> 자동차> 지하상가> 음식점의 순으로 높게 나타났다(Fig. 3). 좀더 구체적으로 살펴보면 PC방의 경우 site 1에서 80.6으로 매우 높았으며, 이는 환기 시설이 제대로 작동하지 않았고 흡연자의 수가 많았기 때문이라고 생각된다. 반면 음식점은 평균 23.0 정도로 환기 상태가 비교적 양호하였다. 지하상가의 경우 평균에 비해 지하상가 중앙지점에서 조금 낮은 값을 나타냈는데, 이는 부근에 환기구가 작동되고 있었기 때문으로 생각된다. 아파트의 경우 site 1(23평형)에서 87.2로 실내 환경 중에서 가장 높은 값을 나타냈는데, 이는 건축된 지 2년 이내인 건물일 뿐만 아니라 요리를 한 후에 환기를 시키지 않았기 때문이라고 추정된다(Table 1).

또한, 자동차 연료의 연소에 의한 농도 변화를 알아보기 위하여 자동차를 대상으로 실험한 결과, 주행 시간이 길수록 포름알데하이드의 농도가 점점 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 4).

Table 1. Formaldehyde concentrations and characteristic in indoor air environments

Site		Characteristics	Conc. ($\mu g/m^3$)
PC room	1	No windows, poorly ventilated	80.6
	2	Windows opened, a few smokers	24.1
	3	Underground, poorly ventilated	41.0
Restaurant	1	Windows and door opened	25.0
	2	Windows opened, No smokers	22.9
	3	Windows and door opened	24.1
Underground shopping center	1	Clothing store	42.7
	2	Shoe store	47.3
	3	Underground parking lot	31.1
Apt	1	2 years, cooking, poorly ventilated	87.2
	2	2 years, Ventilated	37.6
	3	10 years, windows opened	30.0
	4	15 years, poorly ventilated	51.7
	5	10 years, cooking, poorly ventilated	56.8
Car (Sephia 1996, KIA Motors)		Before driving	31.3
		10 minute driving	45.0
		20 minute driving	50.4

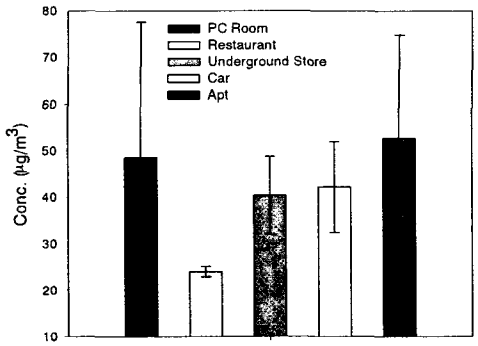

Fig. 3. Formaldehyde concentrations in five indoor air environments.

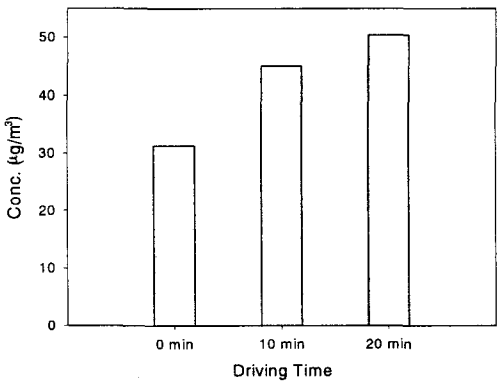

Fig. 4. Change of formaldehyde concentrations in the car with increasing driving time.

실외 환경별 농도를 비교해 보면 강원대학교 주변≃시내 중심지〉 외곽지역의 순으로 높게 나타났다(Fig. 5). 특히, 강원대학교 후문에서 실외 환경 중 가장 높은 농도인 23.4로 나타났는데, 주된 원인은 보행자의 흡연이 많고, 자동차에 의한 교통량 증가 및 음식점과 노점상이 밀집된 것에 의한 것이라 생각된다. 시내 중심가의 경우 각각의 site별 농도가 비슷하였고 외곽 지역에서는 신동 농협에서 21.4로 다른 두 곳에 비해 2배 이상 큰 수치를 나타냈는데, 이는 신동 농협이 다른 두 지역과는 달리 과수원과 산간 지방에서 발생된 자연적 원인에 기인된 것이라 생각된다(Table 2).

Table 2. Formaldehyde concentrations and characteristic in outdoor air environments

Site		Characteristics	Conc. ($\mu g/m^3$)
Suburban area	1	Natural Science Building	13.2
	2	Mirae Kwang Zang	14.1
	3	Front of university back gate	23.4
Urban area	1	Front of City Hall	16.4
	2	Myoung Dong	15.4
	3	A movie theater	16.8
Rural area	1	Shin Dong	21.4
	2	Man Cheon 3 Ri	8.1
	3	Ji Nae Ri	10.9

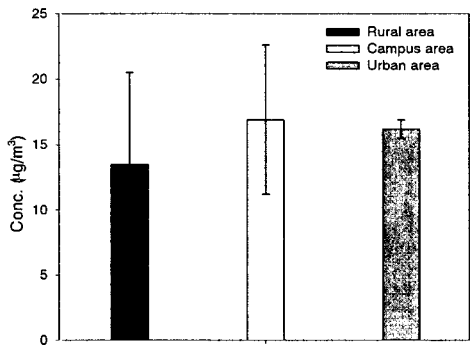

Fig 5. Formaldehyde concentrations in the three outdoor air environments.

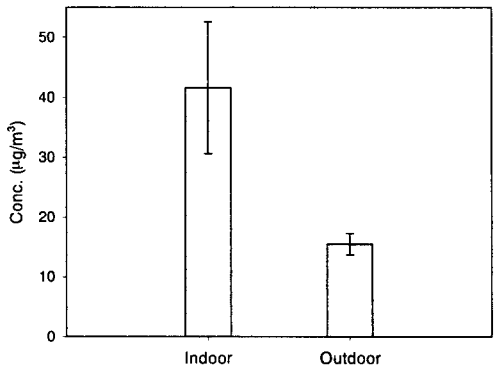

Fig 6. Formaldehyde concentrations between in indoor and outdoor air environments were significantly different with a p-value of 0.025.

따라서 실내 환경들과 실외 환경들을 종합적으로 비교해 본 결과, 실내가 실외보다 높게 나타났으며 p-value가 0.025로 유의적인 차이를 나타내었다(Fig. 6).

위의 결과들을 토대로 보았을 때 일반적으로 같은 실내 환경들 간에도 포름알데하이

드의 농도 차이를 나타내고 있는 것을 알 수 있었다. 그 이유는 실내 환경의 경우 건축자재와 같은 다양한 주된 배출원이 존재하고 여러 가지 실내 활동(수돗물의 사용, 요리, 샤워, 설거지 등), 환기 상태(창문의 개폐 유무) 및 흡연자의 수에 의한 영향 등에 의한 것이라 생각된다. 그리고 실외 환경의 경우는 교통량과 주위 환경(음식점, 노점상) 등에 의한 것이라 생각된다.

4. 결론

본 연구에서 포름알데하이드의 농도는 실외에 비해 실내가 높은 것으로 나타났다. 그리고 실내 및 실외 환경들 간에도, 주변 환경에 따라 포름알데하이드의 농도가 차이를 나타내었다. 일반적으로 대부분의 사람들이 많은 시간을 실내에서 보내기 때문에 휘발성 화합물에 대한 노출이 실외에 비해 높게 일어난다. 따라서, 포름알데하이드에 대한 노출을 줄이기 위한 구체적인 대책(예, 건축 자재의 대체, 환기시설 설치, 실내금연 등)이 필요하다.

5. 참고문헌

Zhang, J., Wilson, H.Q. and Lioy, P.J., 1994, Characteristics of Aldehyde: Concentrations, Sources, and Exposures for Indoor and Outdoor Residential Microenvironments., Environ. Sci. Technol., 28, 142~152

Zhang, J., Wilson, W.E. and Lioy, P.J., 1994, Indoor Air Chemistry: Formation of Organic Acids and Aldehydes., Environ. Sci. Thchnol., 28(11), 1975~1982

Garrett, M.H., Hooper, M.A., Hooper, B.M., Rayment, P.R. and Abramson, M.J., 1999, Increased risk of allergy in children due to Formaldehyde exposure in homes., Allergy., 54, 330~337

Grosjean, D., 1991, Ambient Levels of Formaldehyde, Acetaldehyde, and Formic Acid in Southern California: Results of a One-Year Base-Line Study., Environ. Sci. Technol., 25, 710~715