

## Analysis of didecylmethylammonium chloride (DDAC) aerosol in inhalation chamber

Jeong-Sun Yang<sup>★</sup>, Sung-Bong Choi, Sang-Yong Park and Sung-Bae Lee

Center for Chemicals Safety & Health, Occupational Safety & Health Research Institute, Daejeon 305-380, Korea

(Received June 25, 2012; Revised September 6, 2012; Accepted September 27, 2012)

### 흡입챔버 내 didecylmethylammonium chloride(DDAC) 에어로졸의 분석

양정선<sup>★</sup> · 최성봉 · 박상용 · 이성배

산업안전보건연구원 화학물질센터

(2012. 6. 25. 접수, 2012. 9. 6. 수정, 2012. 9. 27. 승인)

**Abstract:** To perform inhalation toxicity test by using experiment animals, we set up an analytical method to monitor didecylmethylammonium chloride (DDAC) in aerosol nebulized into inhalation chambers by ion chromatography. DDAC was adsorbed by XAD-2 resin and analyzed with conductivity detector. Recovery of DDAC desorbed by acetonitrile from XAD adsorbent was 87.8%. The method detection limit (MDL) and the limit of quantitation (LOQ) were  $2.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $8.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. Repeatability was calculated as RSD 7.8% in the range of 0~20  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . Time needed to analyze a sample was less than 5 minutes. Therefore, the analysis of DDAC by ion chromatography was practically useful in monitoring DDAC in inhalation chambers with rapidity and sensitivity manner to perform inhalation toxicity test using experimental animals.

**요 약:** 4급 암모늄 계열의 대표적인 살균제인 didecylmethylammonium chloride(DDAC)는 흡입 경로에 의해 폐 섬유화 등의 폐질환을 일으킬 가능성이 높은 물질로, 흡입독성시험을 위하여 전신 흡입노출 챔버 내에 에어로졸 형태로 분무된 DDAC의 포집 및 분석방법을 검토하였다. DDAC의 포집 회수율은 아세토니트릴을 사용하여 탈착한 XAD 흡착제의 회수율이 87.8%로 실리카겔의 경우보다 우수한 것으로 나타났다. 이온크로마토그래프-전기전도도 검출기로 분석한 DDAC의 검출한계(MDL, method detection limit)는  $0.18 \mu\text{g}/\text{mL}$ 이었으며, 정량한계(LOQ, limit of quantitation)는  $0.54 \mu\text{g}/\text{mL}$ 였다. 공기 포집량 240 L를 기준으로 챔버 내 공기 중 농도로 환산하면 MDL이  $2.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , LOQ가  $8.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 챔버 내 발생 농도인 70~900  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  농도 수준의 모니터링에 적절하였다. 분석의 재현성은 0~20  $\mu\text{g}/\text{mL}$  농도범위에서 상대오차 7.8% 내외였으며 시료 분석에 소요되는 시간은 5분 이내였다. 따라서 XAD를 사용한 DDAC의 포집 및 이온크로마토그래피를 이용한 분석방법은 실험동물을 사용한 전신 흡입노출 챔버 내 DDAC 농도의 신속하고 편리한 모니터링에 적절한 것으로 나타났다.

**Key words:** DDAC, biocide aerosol, ion chromatography, inhalation chamber

<sup>★</sup> Corresponding author

Phone : +82-(0)42-869-0341 Fax : +82-(0)42-863-9001

E-mail : yjs@kosha.net

## 1. 서 론

Didecyldimethylammonium chloride (DDAC)는 4급 암모늄 계열의 대표적인 살균제로 10~20% 용액으로 상품화되어 목재 가공시 곰팡이균의 억제 등을 위한 살균 소독제, 수영장이나 스파 등에서 소독용 첨가제, 가습기용 살균제의 성분 등으로 사용되어왔다.<sup>1</sup> 2006년 미국 환경청(EPA)의 보고서에 의하면 DDAC는 240~2,400 ppm의 농도 수준에서 에어로졸 스프레이 형태로 병원 및 일반가정 등 청소용역, 방역작업 등에서 사용되고 있으며, 0.5~2 ppm 수준에서 수영장 살균제로, 5~938 ppm의 농도로 분수대 등의 물에 첨가되고 있다. 산업계의 용도로써 32~1,800 ppm의 농도 수준에서 산업용 냉각수 첨가제로 사용되며, 고압분무 형태로 표면처리 등 목재가공, 농업 부문에서 26,320 ppm의 농도로 부화장 등에서 분무형태로 사용된다.<sup>2</sup> 2006년 환경부의 국내 화학물질 유통량 자료에 의하면 국내에서는 약 17개 사업장에서 연 20.73톤이 사용되는 것으로 보고되어 있다.<sup>3</sup>

DDAC는 토끼 및 기니피그를 사용한 독성시험에서 피부자극을 중점점으로 하는 무독성량(NOEL, no-observed-adverse effect level)이 2 mg/kg/day로 피부 및 눈자극성 구분 2에 해당하는 물질로 분류되었다.<sup>4</sup> 개를 사용한 아급성 경구독성에서의 무독성량은 10 mg/kg/day으로 보고되었다.<sup>5</sup> Ohnuma 등<sup>6</sup>은 DDAC를 1,500 µg/kg의 농도로 마우스에 일회 기관지 투여하였을 때, 기관지 염증 및 폐세포 섬유화가 관찰되었음을 보고하였다. 2006년 EPA의 보고서에 따르면 DDAC의 흡입독성 시험자료는 없으나 경구투여 시험으로부터 무독성량을 100 mg/kg/day로 추정하였다. 그러나 호흡기 표적장기독성을 일으킬 것으로 추정되는 경우 경구독성 자료로부터 흡입에 의한 무독성량의 외삽은 가능하지 않다. 이와 같이 에어로졸 스프레이 형태로 널리 사용되는 살균제는 폐가 일차적 표적장기로 폐 섬유화 등을 일으키며 흡입에 의한 건강장해의 잠재위험이 크지만, 현재까지 이들 4급 암모늄 계열의 살균제에 대한 흡입독성 연구는 거의 이루어지지 않았다.

2011년 2월에서 4월 중 서울 시내에 있는 대형병원에서 기존에 알려진 급성 간질성 폐렴과는 다른 중말세기관지 염증 병변을 나타내는 흡입성 폐질환이 임산부들에게 발생하여, 이러한 원인을 확인하기 위한 역학조사가 수행되었다. 환자들에 대해 심층 조사결과, 가습기 살균제 사용에 대한 대응 위험도가 통계적으로 유의하게 나타나, 원인 미상의 폐질환이 가습기 살

균제의 흡입에 의한 것임을 의심하게 되었다. 이후에 추가적으로 동물을 사용한 흡입독성 시험이 수행되었으며, 가습기 살균제 성분을 흡입한 쥐에서 중말 세기 관지 염증을 비롯한 폐질환이 관찰되었다.<sup>7</sup> 이에 따라, 식품의약품안전청에서는 해당 제품에 대한 수거명령을 내림으로써 가습기 사건에 대한 일련의 대응이 마무리되었다. 이 사례는 흡입에 의한 독성평가 없이 무독성, 무영향이 강조된 상태에서 본래의 사용법과는 다르게 살균제 성분이 가습기 액에 직접 혼합되고 이것이 공기 중에 분무되어 폐로 직접 들어가서 예상하지 못했던 유해성이 나타나게 된 경우이다. 살균제 성분이 스프레이 형태로 분무되어 직접 폐로 들어오게 되는 경우 흡입독성시험을 통하여 위험성을 재평가해야 한다. 이를 위해서는 실험동물을 사용한 흡입독성 시험에 사용할 수 있는 목적 성분의 채취 및 분석 방법이 제공되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 실험동물용 전신 흡입노출 챔버 내에 발생시킨 에어로졸 중 DDAC의 모니터링을 위하여 흡입챔버 내 DDAC 에어로졸의 포집 및 포집 시료 중 DDAC 분석 조건을 검토하였다.

## 2. 방 법

### 2.1. 기구 및 시약

이온크로마토그래피용 이동상 용매로 아세토니트릴(HPLC grade, J.T. Baker Inc., the Netherlands)과 황산(>95%, Aldrich, USA)을 사용하였다. 시료의 회석을 위하여 탈이온수 제조기(Millipore Co., USA)를 사용하여 18MΩ ultra pure de-ionized water를 제조하여 사용하였다. DDAC 표준품(99.3% Shin Won Chemtrade Co. LTD., China)은 시약용을 구매하여 사용하였다.

흡입챔버 내 DDAC 에어로졸의 포집 및 회수를 시험을 위하여 silica gel 흡착튜브(10×110 mm, 260/1040 mg SiOH, SKC, USA), XAD-2 resin 튜브(8×110 mm, 200/400 mg XAD-2, SKC, USA)를 사용하였다.

### 2.2. 전신 흡입노출 챔버

전신 흡입노출 챔버(Model No. SIS-20RG, SIBATA Co., LTD., Japan)는 OECD GLP 가이드라인에 의하여 내부용적 1.3 m<sup>3</sup>로 대조군, 저농도, 중농도, 고농도군의 4 챔버로 구성되었으며 각 챔버는 미스트 발생장치(Model No. VG-4R, SIBATA Co., LTD., Japan)와 연결되어 있다. 미스트 발생장치에서 발생된 DDAC 에어로졸과 청정공기를 일정비율로 조절하여 흡입 챔

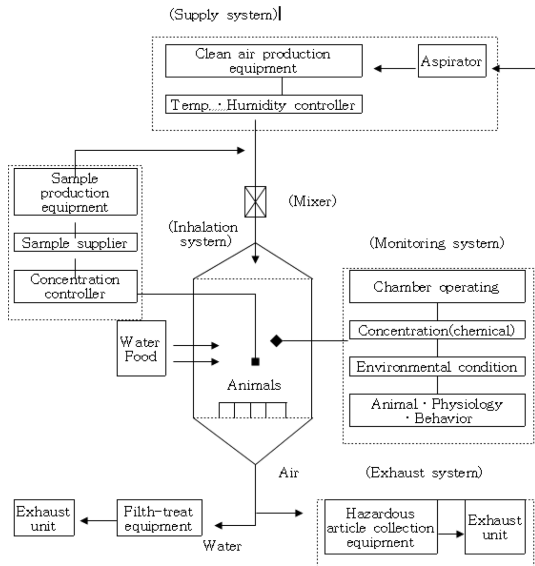


Fig. 1. Inhalation exposure system for animal experiment.

버 상부에 부착된 혼합장치를 이용하여 혼합하였다(Fig. 1). HEPA 필터 및 온습도 조절장치를 부착한 공조기에서 처리한 청정공기를 전신 흡입노출 챔버 내로 공급하였으며 온도는  $22 \pm 3^\circ\text{C}$ , 상대습도는  $50 \pm 20\%$ 로 유지하였다.

**2.3. DDAC 에어로졸의 발생**

실험동물을 사용한 흡입노출 시험을 위하여 DDAC의 독성자료를 참고하여 전신 흡입노출 챔버 내 DDAC 에어로졸의 농도를 저농도군 약  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 중농도군 약  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 고농도군 약  $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 목표농도로 설정하였다. DDAC를 증류수에 희석하여 0.5% 용액을 조제하고 미스트 발생장치를 통하여 유속 10~13 L/min로 내부용적 1.3 m<sup>3</sup>인 전신 흡입노출



Fig. 2. Whole body inhalation chamber and aerosol generator.

챔버 내에 고압분사하였다(Fig. 2).

**2.4. 에어로졸 입경 분포**

에어로졸의 입경 분포는 Anderson sampler용 필터(80 mm, Pallflex products, Japan)가 포함된 9단계의 Anderson sampler (Sibata, Impactor 200913, Japan)를 이용하여 측정하였다. 흡입 챔버내 공기를 실험동물의 호흡기 위치에서 28.3 L/min의 유속으로 10분간 포집하였다. 포집된 DDAC 에어로졸은 포집전후의 필터 중량을 측정하여(Kern 770, Gemany) 확인하였다.

**2.5. 시료 포집 및 탈착**

전신 흡입노출 챔버 내의 실험동물 호흡기 위치에 연결된 개인시료채취기(Model No. Airchek XR 5000, SKC Inc., USA)에 XAD-2 resin 흡착튜브(SK, 8×110 mm, 200/400 mg)를 부착하여 약 1 L/min의 유속으로 120~240분간 포집하였으며 포집 전후에 유량을 검량하였다. 포집한 시료는 4 °C에서 냉장보관 하였으며 24시간 이내에 분석하였다. 흡착제의 탈착효율 검정을 위하여 silica gel 흡착튜브(SK, 10×110 mm, 260/1040 mg) 및 XAD-2 resin 흡착튜브에 각각 9.6 mg/mL DDAC용액 2, 5, 10 μL를 마이크로시린지로 주입한 후 24시간 동안 데시케이터 안에 보관하였다. Silica gel 흡착제 및 XAD-2 resin 흡착제를 바이알에 옮긴 후 아세토니트릴 4 mL를 가하여 vortex mixer에서 진탕 후 초음파세척기에서 30분간 탈착하였다. 탈착한 용액 각 100 μL를 이온크로마토그래피에 주입하였다. 각 흡착제의 탈착효율은 주입한 양과 탈착 후 분석한 결과를 비교하여 구하였다.

**2.6. 기기 및 분석조건**

본 연구에서 사용된 이온크로마토그래프는 Dionex사의 AS50 모델로, AS50 Auto-sampler와 GP50 pump를 사용하였다. 컬럼은 IonPac CG12A (4×50 mm)을 사용하였으며, Suppressor는 Dionex CSRS 300(4 mm)를 사용하였다. 이동상은 30 mM sulfuric acid와 아세토니트릴을 3:7의 비율로 섞어서 사용하였으며 유속은 1.0 mL/min로 하였다. 시료는 아세토니트릴로 탈착하여 100 μL를 주입하였으며, Dionex ED50 전기전도도 검출기를 사용하여 검출하였다. 검량선 작성을 위해 챔버 내에 주입한 DDAC의 농도를 감안하여 0~20.0 μg/mL 농도범위로 DDAC의 아세토니트릴 용액을 제조하였다.

### 3. 결과 및 고찰

실험동물을 사용한 흡입노출 시험을 위하여 마우스의 기관지 투여 경로에 의한 독성시험 자료<sup>6</sup>로부터, 1500 µg/kg의 농도에서 폐부종이 관찰되었음을 확인하였다. 일회 기관지 투여량을 마우스 1일 호흡량과 체중 및 13주 반복노출시험에 대한 노출기간 보정계수로 보정하면, 독성 발현이 예측되는 흡입노출 농도는 약 0.36 mg/m<sup>3</sup>으로 환산된다.<sup>8</sup> 따라서, 실험동물에 대한 무영향농도 산정을 위한 흡입챔버내 DDAC의 농도는 약 0.36 mg/m<sup>3</sup>를 중농도로 설정하고, 저농도는 중농도의 약 1/3인 0.1 mg/m<sup>3</sup> 내외, 고농도는 중농도의 약 3 배인 1.0 mg/m<sup>3</sup> 내외로 설정하였다.

전신 흡입노출 챔버 내 에어로졸의 발생 목표농도 달성을 위하여 발생장치의 노즐의 개폐 정도를 조절하여 유량을 검량하고 청정공기 유입율을 조정하여 최종 농도를 중농도를 중심으로 약 300 µg/m<sup>3</sup> 되도록 조절하였다. 전신 흡입노출 챔버에 분사된 DDAC 에어로졸의 입경분포를 Anderson sampler를 사용하여 측정 한 결과, 입경의 기하평균은 1.23 µm 이었으며 0.43~4.70 µm인 호흡성 에어로졸이 94.7% 이었다(Fig. 3). 전신 흡입노출 챔버 내의 실험동물 호흡기 위치에 연결한 개인시료 채취기를 이용하여 XAD-2 resin 흡착튜브에 포집한 시료를 아세트니트릴로 탈착하여 이온크로마토그래프로 분석하였다.

DDAC는 디알킬 4급 암모늄으로 구조상 발색단을 포함하고 있지 않으므로(Fig. 4) HPLC 가시-자외부

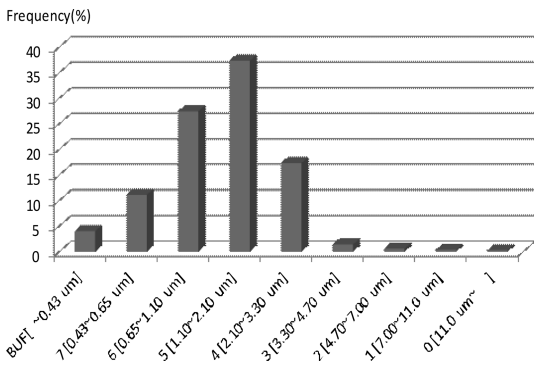


Fig. 3. Particle size distribution of DDAC aerosol in inhalation chamber.

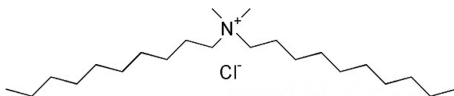


Fig. 4. Structure of DDAC.

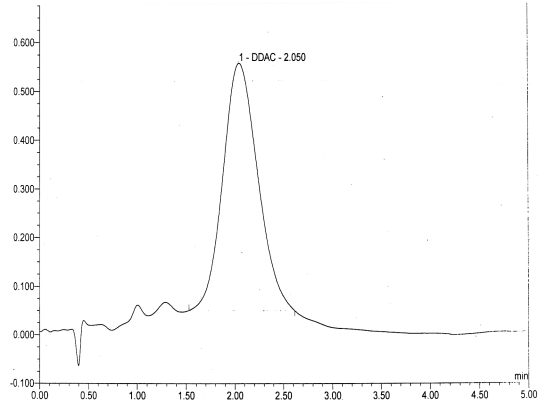


Fig. 5. Chromatogram of DDAC aerosol sample extracted by acetonitrile from XAD-2 resin (Dionex AS50 Ion Chromatograph, Column; IonPac CG12A 4×50 mm, Mobile phase; 30 mM sulfuric acid:acetonitrile=3:7, Flow rate; 1.0 mL/min, Injection volume; 100 µL, Dionex ED50 Conductivity Detector, Suppressor; Dionex CSRS 300, 4 mm).

검출기로 검출되지 않는다. 전신 흡입노출 챔버 내에 발생시킨 DDAC 에어로졸의 농도는 가능한 한 신속하게 분석하여 유량을 검량할 필요가 있으므로 본 연구에서는 전신 흡입노출 챔버에서 포집한 시료의 탈착액을 시험방법에서 제시한 조건에서 전도도 검출기가 부착된 이온크로마토그래피를 통하여 분석하였다. 컬럼은 IonPac CG12A(4×50 mm)를 사용하였으며 제시한 조건에서 DDAC 피크는 2.05~2.12분 사이에 용출되었다. 공존하는 방해피크의 영향은 없었다(Fig. 5).

0~20.0 µg/mL 농도범위에서 회귀분석 방법을 통하여 얻은 표준오차와 기울기를 활용하여 계산한 DDAC의 검출한계(MDL)는 Table 1에서 보는바와 같이 0.18 µg/mL이였으며, 정량한계(LOQ: limit of quantitation)는 0.54 µg/mL이었다. 이때의 상관계수(r<sup>2</sup>)는 0.996이었다. 이 농도를 공기 포집량 240 L를 기준으로 챔버 내 공기 중 농도로 환산하면 MDL이 2.97 µg/m<sup>3</sup>, LOQ가 8.92 µg/m<sup>3</sup>였다. 본 연구에서 실험동물을 사용한 챔버 내 발생 예측 농도는 70~900 µg/m<sup>3</sup> 범

Table 1. Linearity and detection limit of DDAC analysis by ion chromatography

Range (µg/mL)	r <sup>2</sup>	SE	Slope	MDL (µg/mL)	LOQ (µg/mL)
0~20	0.997	0.358	447.8	0.18	0.54

MDL: Method Detection Limit, LOQ: Limit of Quantitation, SE: Standard Error

Table 2. Desorption efficiency and repeatability of DDAC analysis

Loading amount ( $\mu\text{g}$ )	XAD-2 resin			Silica gel	
	Mean ( $\mu\text{g/mL}$ )	Recovery (%)	RSD (%)	Mean ( $\mu\text{g/mL}$ )	Recovery (%)
+19.2	3.6	74.4	9.6	0.47	9.8
+48	11.8	98.1	9.1	0.57	4.8
+96	21.8	90.8	5.7	1.03	4.3

Table 3. Mean concentration and reproducibility of DDAC generation in whole body inhalation chamber during 9 working days

	Concentration of DDAC ( $\text{mg/m}^3$ )		
	Low	Medium	High
Mean	71.5	225.5	906.3
SD	30.2	65.3	249.6
RSD	42%	29%	28%
Dilution factor	0.32	0.25	-

SD: Standard Deviation, RSD: Relative Standard Deviation

위로, 이 분석 방법은 최저 농도군 챔버의 예측 농도인  $70 \mu\text{g/m}^3$  농도 수준의 DDAC의 분석에 적절하였다.

챔버 내 기중에서 XAD-2 resin과 silica gel 두 종류의 흡착제를 사용하여 흡착시킨 DDAC의 탈착효율을 검증하였다. Table 2와 같이 아세트니트릴로 탈착한 탈착효율은 XAD-2 resin에서 74.4~98.1%, silica gel에서 4.3~9.8%로 XAD-resin의 탈착효율이 silica gel에 비하여 우수한 것으로 나타나 이 후의 실험에서는 흡착제로 XAD-2 resin을 사용하였다. DDAC의 일간분석 결과는 blank에서부터  $20 \mu\text{g/mL}$  까지의 농도 수준에서 데이터 값이 모두 재현성 있는 결과를 얻을 수 있었으며, RSD의 평균값은 7.8%였다.

전신 흡입노출 챔버 내에 발생시킨 DDAC 에어로졸을 9일 동안 XAD-2 resin에 흡착시켜 분석한 결과를 Table 3에 나타냈다. DDAC 에어로졸의 9일간 농도 변이는 저농도 챔버에서 42%, 중농도 챔버에서 29%, 고농도 챔버에서 28%로 측정되었다. 이는 분석방법에 대한 오차 뿐 아니라, 희석용 청정공기 혼합물, 미스트 발생장치의 유량, 거품의 발생 정도 등에 따른 에어로졸 발생의 일간 오차가 반영되어 있다. 실험동물물 사용된 흡입노출 시험에서 매일의 모니터링 결과로부터 구한 노출량을 총 누적노출량으로 환산하게 된다. 따라서 본 연구에서 제시한 포집 방법과 분석조건은 실험동물물 사용된 흡입독성 시험에 활용해서 DDAC 에어로졸의 농도 모니터링에 적용할 수 있을

것이다.

Nunez 등<sup>9</sup>은 LC-MS를 이용하여 4급 암모늄 계열의 물질들을 검출한계  $1.0\text{--}2.0 \mu\text{g/L}$  수준으로 분석하였다. 본 연구에는 전신 흡입노출 챔버라는 통제 환경 내에서 실험동물 폭로기간 동안 수시로 농도 모니터링이 필요하다는 점에서 검출감도는 LC-MS보다 떨어지더라도 노출 농도는 충분히 분석할 수 있으면서 LC-MS에 의한 방법보다 간편하고 시간과 노력이 덜 소모되는 방법의 개발이 필요하였다. 이온크로마토그래피의  $250\text{mm}$ 의 분석용 컬럼(IonPac CG12A  $4\times 250\text{mm}$ )을 사용했을 때 DDAC의 컬럼내 머무름 시간은 25분 이상으로 1회 분석에 소요되는 시간은 30분이었다. 그러나 가드컬럼(IonPac CG12A  $4\times 50\text{mm}$ )을 분석용 컬럼으로 사용하면 DDAC의 용출시간은 약 2.1분으로 짧은 컬럼을 사용하여 분석시간을 5분 이내로 줄일 수 있어서 당일 포집된 시료에 대해 신속한 모니터링이 가능하였다.

또한 분석법의 감도는 최저 농도 수준의 챔버 내 농도를 유의하게 검출할 수 있는 수준인지 검토하였다. 본 연구에서 개발한 분석법의 감도는 공기 포집량  $240\text{L}$ 를 기준으로 챔버 내 공기 중 농도로 환산하면 MDL이  $2.97 \mu\text{g/m}^3$ , LOQ가  $8.92 \mu\text{g/m}^3$ 로 전신 흡입노출 챔버 내 최저농도 수준인 약  $70 \mu\text{g/m}^3$ 을 분석하기에 충분하였다.

Garrod 등<sup>10</sup>은 고압 스프레이 작업에서 살균제의 직업적 노출을 모니터링하기 위하여 Tenax 흡착튜브를 사용하여 DDAC를 포함한 4급 암모늄 계열 화합물과 기타 혼합 살균제를 포집하였다. 분석을 위하여 탈이온수로 탈착한 후 4급 암모늄 계열 화합물 총량으로써 염소이온 농도로 정량하였다. 고압 스프레이 살균제 도포 작업에서의 4급 암모늄 계열의 노출량은 평균  $4.33\text{--}1320 \text{mg/m}^3$ 으로 보고하였다. 그러나 저자 등이 밝힌 것처럼 개별 물질 자체를 분석한 것이 아니라 염소이온 총량으로서 간접적으로 정량하였기 때문에 다른 소스에 의한 오염, 예를 들면 땀의 소금 등에 의해 염소이온 총량이 과대평가될 수 있음을 시사하였다.

Vincent 등<sup>11</sup>은 실내 공기 중 4급 암모늄 화합물의 포집과 분석을 위하여 간접 흡광 크로마토그래피법(Indirect Photometric Chromatography, IPC)을 적용하였다. 즉, 발색단이 없는 DDAC를 검출하기 위하여 발색단이 풍부한 방향족 4급 염을 HPLC 이동상에 첨가하여 높은 바탕선을 유지하고 DDAC가 용출되면서 나오는 마이너스 피크를 이용하여 정량하는 방법이다. 그러나 IPC법에 의한 LOD는  $100 \mu\text{g/mL}$ 로 너무 높아

시료의 분석에 적용하기에는 부적절하였다.

이상의 결과로 볼 때 본 연구에서 제시한 이온크로마토그래프를 사용한 DDAC 에어로졸의 분석법은 실험동물을 사용한 전신 흡입노출 챔버 내의 DDAC 모니터링에 적용이 가능할 것으로 판단되며, 향후 직업적 에어로졸 살균제 노출 근로자의 안전 관리를 위한 DDAC의 유해성 평가에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

전신 흡입노출 챔버 내에 분무시킨 DDAC 에어로졸 입자의 분석을 위하여 먼저 챔버 내 DDAC 에어로졸의 입자 분포를 분석하였으며 XAD-2 resin 흡착제를 이용하여 동물의 호흡기 위치에서 챔버 내 공기를 포집하였다. 포집한 시료는 아세토니트릴로 탈착하여 전도도 검출기를 연결한 이온크로마토그래프로 분석하였으며 분석에 소요되는 시간은 5분 이내였다. 제시한 분석법의 감도는 공기 포집량 240 L를 기준으로 챔버 내 공기 중 농도로 환산하면 MDL이  $2.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , LOQ가  $8.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 흡입노출 챔버 내 최저농도 수준인 약  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 분석하기에 충분하였다.

따라서, 본 연구에서 제시한 이온크로마토그래피를 사용한 DDAC 에어로졸의 분석법은 실험동물을 사용한 전신 흡입노출 챔버 내의 신속, 정확한 DDAC 모니터링에 적용이 가능하다고 판단된다.

## 참고문헌

1. Official Journal of the European Union, Commission Regulation(EC) No. 1451/2007, <http://eur-lex.europa.eu/JOIndex.do?ihmlang=en>, Assessed 11 December 2011.
2. United States Environmental Protection Agency, Decision for Aliphatic Alkyl Quaternaries, <http://www.regulations.gov/>, Assessed August 2011.
3. Ministry of Environment, 3rd Report on Circulating Chemical List, Seoul, Korea, 2007.
4. Korea Occupational Safety and Health Agency, Material Safety Data Sheet database, <http://www.kosha.or.kr/bridge?menuId=69>, Assessed Mar 2012.
5. California Environmental Protection Agency, Department of Pesticide Regulation, <http://www.cdpr.ca.gov/docs/risk/toxsums/toxsumlist.htm>, Assessed July 2011.
6. A. Ohnuma, T. Yoshida, H. Tajima, T. Fukuyama, K. Hayashi, S. Yamaguchi, R. Ohtsuka, J. Sasaki, J. Fukumori, M. Tomita, S. Kojima, N. Takahashi, Y. Takeuchi, M. Kuwahara, M. Taked, T. Kosaka, N. Nakashima and T. Harada, *Experimental and Toxicologic Pathology*, **62**, 643-651 (2010).
7. The Korean Society of Environmental Health and Toxicology, Environmental and Toxicology Forum Report on Humidifier Biocide, Seoul, Korea, 2011.
8. United States Environmental Protection Agency, Recommendations for and Documentation of Biological Values for Use in Risk Assessment, <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=34855>, Assessed May 2001.
9. O. Nunez, E. Moyano and M. T. Galceran, *J. Chromatography A*, **1058**, 89-95 (2004).
10. A. N. Garrod, D. A. Rimmer, L. Robertshaw and T. Jones, *Ann. Occup. Hyg.*, **42**(3), 159-165 (1998).
11. G. Vincent, M. C. Kopferschmitt-Kubler, P. Mirabel, G. Pauli and M. Millet, *Environ. Monit. Assess.*, **133**, 25-30 (2007).