

3단 및 변형 2단 카세트 샘플러의 공기중 수산화나트륨 포집효율의 실험적 연구

윤영식·김치년·김현수·노재훈[†]

연세대학교 의과대학 산업보건연구소

Comparison of sampling efficiencies for airborne sodium hydroxide by three-piece and modified two-piece cassette sampler

Young-Shik Yoon · Chi-Nyon Kim · Hyun-Soo Kim · Jaehoon Roh[†]

Institute for Occupational Health, College of Medicine, Yonsei University

Sodium hydroxide(NaOH) is one of the chemicals produced great quantity in Korea. It variously uses for acid neutralization, petroleum refining, electroplating, metal cleaning, laundering, bleaching, washing dish, manufacture of paper, etc. NaOH is used in various field of industry but information on the sampling efficiency for NaOH is seldom provided. The objective of this study was to compare the sampling efficiency of the three-piece cassette sampler with the modified two-piece cassette sampler.

The three-pieces cassette consisted of an inlet cover, a spacer, a mixed cellulose ester membrane(MCE) filter, a back-up pad and a bottom. The modified two-pieces cassette consisted of the same parts as a three-pieces cassette without a spacer. The whole inner surface of the 2-piece cassette was loaded with MCE filter to ensure that all of the aspirated NaOH. The air sampling of airborne NaOH was performed according to the Occupational Safety and Health Administration(OSHA) analytical method manual

ID-121 that is used for the method of occupational environment measurement and analysis. Air samplings were performed by simultaneous samplings using the three-piece and modified two-piece cassette sampler at the same time and same place in the chemical plants.

The significant difference between average adsorbed amounts on the MCE filters of the three-piece and modified two-piece cassette sampler was found. Sampling amounts of the modified two-piece cassette sampler was 1.84 times higher than that of the three-piece cassette sampler($p < 0.01$). An average 47% of NaOH was collected on the upper (inlet+middle-rim) side of the modified two-piece cassette. As the result of this study, it is verified that the modified two-piece cassette sampler is more effective than the three-piece cassette sampler for collection of airborne NaOH.

Key Words : Sodium hydroxide, OSHA method, Sampling efficiency.

I. 서론

수산화나트륨(sodium hydroxide, NaOH)은 흰색 고체형태로 냄새가 없고 비휘발

성의 염기성 물질이며, 부식성 물질로서 흡습성이 있다. NaOH는 국내에서 많이 생산되는 화학물질중의 하나이다. 우리나라의 경우 1998년 전국 화학물질사용량

상위 50위 물질 중 5번째로 많이 사용하며 1999년에 총 1,069,308톤이 생산되었고 그 중 1,045,292톤이 사용되었다(통계청, 2000). NaOH는 사업장에서 산 중화, 원유 정제, 전기도금, 금속세정, 그리고 섬유, 제지, 염료, 플라스틱, 폭발물, 페인트, 페인트 제거제, 비누, 세제, 표백제 등의 제조에 널리 이용되고 있다(Budavari 등, 1996; Cooper 등, 1979; Rubin 등, 1992).

* 본 연구는 2001년도 연세대학교 산업보건연구소의 연구비로 이루어졌음.

접수일 : 2002년 3월 20일, 채택일 : 2002년 4월 19일

[†] 교신저자 : 노재훈(서울 서대문구 신촌동 134번지 연세의대 산업보건연구소

Tel : 02-361-5354, Fax : 02-392-8622, E-mail : jhroh@yumc.yonsei.ac.kr)

NaOH에 노출 시 피부, 눈, 점막 자극과 용해괴사에 의한 심한 화상을 일으키며 (Budavari 등, 1996; Ellenhom과 Barceloux, 1988; NIOSH, 1990) 노출 후 피부에 현저한 수분 감소가 일어난다 (Wilhelm 등, 1990). 급성 노출 시 점막 자극과 함께 기침 및 호흡곤란을 일으키며 고농도 급성 노출 시 호흡기 부종과 쇼크를 일으킨다. 만성적인 고농도에 노출되면 비강에 궤양이 형성되고, 250mg/m³에 노출될 때는 사망에 이를 수도 있다 (Clayton 등, 1993). 자원을 대상으로 생체조직을 떼어내서 1N NaOH에 15분간 접촉시킨 결과 각질층 세포가 용해되기 시작했으며, 60분 경과 후에는 표피가 모두 파괴되었다 (Raffin 등, 1989). 호흡보호구 착용 없이 NaOH세척용액에 20년간 직업적으로 노출된 63세 근로자의 경우 흉부 X-선 검사, 폐 기능 검사 등에서 모두 중증의 호흡계 질환이 보고되었다 (Rubin 등, 1992).

노동부에서는 NaOH에 대한 노출기준을 천정값(ceiling)으로 2 mg/m³을 규정하고 있으며 (노동부, 1991), 일반적으로 NaOH에 대한 작업 환경 측정 시료의 포집과 분석은 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서 채택하고 있는 0.8 μ m mixed cellulose ester(MCE)필터를 사용해서 시료를 포집한 후 나트륨을 원자흡광광도법으로 분석하는 Method No ID-121(OSHA, 1990) 방법과 미국산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서 채택하고 있는 1 μ m polytetrafluoroethylene(PTFE) membrane필터를 사용해서 시료를 포집한 후 총 알칼리를 중

화적정법으로 분석하는 Method No 7401(NIOSH, 1994) 방법을 사용하도록 권고하고 있다.

NaOH는 포집, 분석 그리고 노출평가 시 이산화탄소, 수분 그리고 습도에 의한 영향이 크기 때문에 이러한 인자의 영향을 고려해야 한다 (Cooper 등, 1979). OSHA 121방법의 경우 나트륨(Sodium, Na)을 원자흡광광도법으로 정량하기 때문에 정량 감도가 높으며, 시료의 전처리가 간편하고, 또한 나트륨을 분석목적물질로 이용하므로 대기 중에서 이산화탄소나 물, 상대습도에 의한 영향이 상대적으로 적은 이점을 가지고 있다. NIOSH 7401 방법은 중화적정법을 사용하기 때문에 분진 및 해풍에 의해 증가될 수 있는 나트륨의 영향을 받지 않는 이점을 가지고 있다. 작업장에서 발생하는 유해물질에 대한 여과포집효율을 높이기 위한 많은 연구가 있었다 (Rando와 Hammad, 1985; Buchan 등, 1986; Puskar 등, 1991; Liden 등, 2000; Mao 등, 2000). Puskar 등(1991)은 styrene 재질의 37mm 3단 카세트홀더를 이용한 제약분진 포집 시 포집된 전체 분진 중 카세트홀더내의 위 부분과 필터를 제거한 아래 부분에서도 제약 분진이 포집됨을 보고한 바 있다. Beaulieu 등은 (1980) 페인트, 크롬산, 시멘트분진, 곡물 분진, 목 분진의 경우 개방형 카세트홀더가 밀폐형 카세트홀더보다 시료 포집량이 많음을 확인하였다. Toluenediisocyanate (TDI)의 경우 3단 카세트홀더 중 가운데 부분을 제거한 2단 카세트홀더의 내부에 모두 membrane을 부착하여 포집한 결과 개방형방법에 비해 포집효율이 증가하였다 (Mao 등,

2000). 그러나 우리나라에서는 지금까지 포집홀더의 모양에 따른 포집효율에 관한 연구는 보고된 바 없다.

따라서 본 연구의 목적은 나트륨의 포집효율을 높이기 위하여 카세트홀더의 가운데부분 (spacer)을 제거한 2단 카세트홀더 내부 전체에 포집매체를 부착한 변형 2단 카세트홀더를 제작하여 카세트홀더 내부의 나트륨분포를 평가하고 변형 2단 및 3단 카세트홀더의 NaOH 포집효율을 비교하고자 하였다.

II. 실험 방법

1. 실험 대상

실험에 사용된 카세트홀더는 OSHA방법에 따른 직경 37mm의 0.8 μ m MCE필터를 바닥에 넣은 3단 카세트홀더(3-piece cassette holder, SKC, USA)와 3단 카세트홀더의 중간부(spacer)를 제거하고 2단 카세트홀더를 만들었으며, 2단 카세트홀더 내부의 바닥부분은 3단 카세트홀더와 같은 방법으로 MCE필터를 넣고, 유입부와 바닥부 사이의 중간부에는 길이 100mm, 높이 7mm의 띠 모양으로 만든 MCE필터를 벽면 내부에 밀착시켰다. 유입부(윗면)는 공기가 유입되는 위치에 직경 5.5mm의 구멍을 뚫은 직경 32mm의 MCE필터를 내부에 밀착시켰다 (Figure 1). 변형 2단 및 3단 카세트홀더를 비교한 단면도는 다음과 같다 (Figure 2). 이하 본 논문에서 지칭하는 변형 2단 카세트홀더란 상기의 방법으로 만들어진 것을 뜻한다.

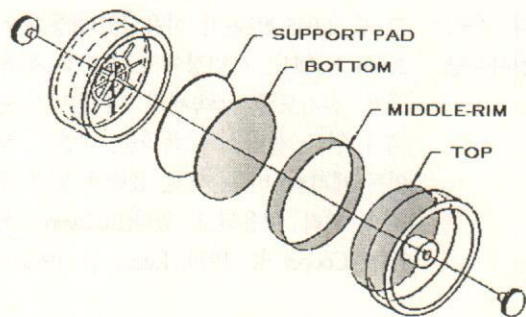


Figure 1. Description of a modified 2-piece cassette holder (gray, membrane)

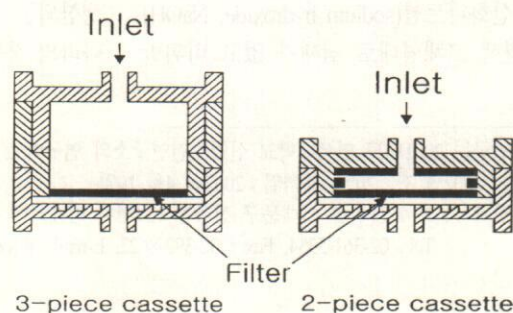


Figure 2. Cross-sections of the 3-piece and modified 2-piece cassette holder (black, membrane)

2. 실험 재료 및 기기

회수율 평가시료 및 시료채취에 사용한 여과지는 직경 37mm의 MCE필터(Gelman, USA)를 사용하였으며, 시료채취에는 1.5 L/min으로 보정한 개인시료포집기(Gilian, USA)를 사용했다.

회수율의 정확도 및 정밀도 평가를 위해 NaOH(97% Kanto, Japan)를 이용하여 6개 농도 군으로 나누어 6개씩 제조하였다. NaOH 표준원액의 표정에는 HCl을 이용하였다.

채취한 시료의 탈착 및 희석제로 사용된 탈이온수는 Milli Q plus (Model 67120, Millipore SA, France)로 제조하여 사용하였으며 탈착 및 희석한 시료는 0.45 μ m PTFE필터 (Gelman, USA)로 여과한 후 원자흡광광도계(atomic absorption spectrometer, Varian SpectrAA-300 AAS, Australia, AAS)를 사용하여 분석하였다.

3. 포집 및 분석 방법

가. 시료 채취 방법

OSHA 121 방법은 pore size 0.8 μ m, 직경 37mm의 MCE필터를 backup pad와 함께 스타이렌 재질의 3단 카세트홀더에 넣고 유량 2 L/min으로 포집공기량을 4시간에서 8시간까지 최소 480 l에서 최대 960 l까지 포집하였다. 시료포집이 끝나면 플라스틱마개로 시료의 앞과 뒤를 막고 분석실로 운반하였다(OSHA, 1990).

나. 분석 방법 및 검출 한계

필터를 비커에 옮긴 후 탈이온수 15ml를

가하여 5분간 탈착, 희석한 후 원자흡광광도계를 이용하여 분석하였다. 분석조건은 Table 1과 같으며, 검량선작성은 표준물질을 분석한 결과 높은 상관성($r^2=0.9999$)을 보였다. 검출한계(limit of detection, LOD)는 NIOSH(1995)에서 제시한 방법에 따라 산출하였다.

4. 실험 방법

가. NaOH 표정

250℃에서 4시간 동안 건조한 Na₂CO₃ 2.5g을 탈이온수 1L에 녹여 조제된 0.05N Na₂CO₃ 용액 5ml를 적정용기에 넣은 후, 0.01N HCl로 종말점까지 적정한다. 표정된 HCl의 농도(N HCl)는 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$N \text{ HCl} = \frac{(g \text{ Na}_2\text{CO}_3)(5 \text{ ml Na}_2\text{CO}_3 \text{ solution})}{(52.99)(\text{ml HCl})}$$

..... 식(1)

같은 방법으로 NaOH의 노르말 농도를 식(2)를 이용하여 구하였다.

$$N_{\text{NaOH}} = (N_{\text{HCl}})(\text{ml HCl}) / (\text{ml NaOH})$$

..... 식(2)

나. 회수율 평가

NaOH의 회수율 평가시료는 OSHA방법에 따라 MCE필터에 NaOH용액을 마이크로피펫으로 가하였다. 회수율 평가시료는 허용기준치인 2 mg/m³의 0.5배, 1배, 2배를 포함하는 6개의 농도군 (95.68, 474.42, 765.47, 956.83, 1435.25, 1913.66 μ g)으로 각각 6개씩을 준비하였으며, 시

료의 탈착과 희석에는 탈이온수를 사용하였고 탈착된 시료는 0.45 μ m PTFE필터로 여과한 후 원자흡광광도계로 분석하였다.

다. 현장시료의 채취

현장에서의 시료는 전라남도 지역에 있는 화학공단 내 7개 사업장 10곳에서 지역시료로 채취하였으며, 각각의 장소에서 3단 및 변형 2단 카세트홀더를 이용하여 같은 위치에서 동시에 채취하였다. 시료채취는 1.5 l/min 정도로 보정한 개인시료포집기(Gilian, USA)로 6시간 이상 포집했으며 현장 공시료는 6개를 준비했다. 시료포집시 온도는 6.67℃, 습도는 42.35% 였다.

5. 자료 분석

각 방법의 정확도는 회수율(% recovery) 및 |Bias|로 나타내었고 구하는 공식은 각각 다음 식(3) 및 식(4)과 같다(NIOSH, 1995; Taylor, 1987).

$$\text{회수율}(\%) = \frac{\text{분석량}}{\text{첨가량}} \times 100$$

..... 식(3)

$$| \text{Bias} | = | [(\text{분석량} - \text{첨가량}) / \text{첨가량}] \times 100 |$$

..... 식(4)

정밀도는 각 농도별 변이계수(coefficient of variation, CV)와 전체 시료에 대한 변이계수인 통합변이계수(overall CV, CV_{pooled})로 표현하였다. CV 및 CV_{pooled}를 구하는 공식은 각각 식(5) 및 식(6)과 같다(NIOSH, 1995; OSHA, 1990).

$$CV = \frac{\text{표준편차}(s)}{\text{평균}(x)}$$

..... 식(5)

$$CV_{\text{pooled}} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n f_i (CV)^2}{\sum_{i=1}^n f_i} \right]^{1/2}$$

..... 식(6)

i = n 가지에 대한 농도지표

CV_i = i 농도에 대한 변이계수

f_i = 자유도(분석수 - 1)

Table 1. Operating conditions of flame atomic absorption spectrophotometer

Descriptions	Condition
Lamp wavelength	589.6 nm
Spectral slit width	0.5 nm
Lamp current	5 mA
Fuel	acetylene
Support	air
Flame stoichiometry	reduction
Replicates of readings	3
Measurement time	2 sec
Delay time	1 sec
Background correction	off

3단과 변형 2단 카세트홀더간의 평균의 차이가 있는지 알아보기 위해 t-test를 실시하였다.

III. 결 과

1. 회수율 평가시료의 정밀성 및 검출한계

NaOH의 회수율을 구하기 위해 NaOH를 6개의 농도군(95.68, 474.42, 765.47, 956.83, 1435.25, 1913.66 μ g)으로 각각 6개씩 준비하였다. 시료의 탈착과 희석에는 탈이온수를 사용하였으며 0.45 μ m PTFE필터로 여과한 후 원자흡광광도계로 Na를 분석하였다. 회수율 평가의 정확도 및 정

밀도는 Table 2와 같다. 회수율 평가시료를 대상으로 정확성을 살펴본 결과 공시료에서 나트륨이 1.29 μ g 검출되었다. 평균 회수율이 105.51%(99.96~109.42%)였고 |Bias|는 평균 5.53%(0.04~9.42%)였다. 정밀도에 대한 결과로서 CV_{pooled}는 0.11%였다. 검출한계는 선형회귀식의 표준오차로 계산한 결과 0.0018 μ g/ml였다.

2. 현장 시료에 대한 비교

시료를 채취한 장소의 NaOH 사용용도 및 월 사용량은 Table 3과 같다. 현장에서 사용하는 NaOH는 모두 자체생산에 의한 제품으로 1번 시료의 경우 40%, 나머지는 모두 48%수용액이다.

채취한 시료는 Table 1의 조건으로 분석

하였고, 검량선의 작성은 표준물질을 이용하여 분석한 결과 용량과 반응의 높은 상관성($r^2=0.9999$)을 보였다.

가. 3단 및 변형 2단 카세트홀더 비교

현장시료에 대한 3단 및 변형 2단 카세트홀더의 분석값을 비교한 결과는 Table 4와 같다. 현장시료는 NaOH 저장탱크 주위에서 같은 위치에서 동시에 시료를 채취하였으며, 1번 시료의 경우 현장에서 40% NaOH를 이용한 세척작업이 행하여지는 지점의 같은 위치에서 동시에 지역 시료를 채취하였다.

변형 2단 카세트홀더의 경우 평균 35.54(61.82) μ g/m³이 검출되었으며 3단 카세트홀더의 경우 평균 19.35(33.66) μ g/m³이 검출되어 변형 2단 카세트홀더의 포집효율이 3단 카세트홀더에 비해 유의하게 높은 것으로 나타났다($p < 0.01$). 시료채취장소별 농도를 살펴보면 NaOH를 생산하는 공정에서 채취한 2번 시료에서 변형 2단 및 3단 카세트홀더에서 각각 59.06(102.75), 35.86(62.39) μ g/m³으로 가장 높은 농도를 보였다. 이온교환수지 재생 시 NaOH를 사용하는 공정에서 채취한 6번 시료의 경우 3단 카세트홀더에서 12.89(22.43) μ g/m³으로 가장 낮은 농도로 검출되었고, 변형 2단 카세트홀더의 경우 수처리 시 pH 조절용으로 NaOH를 사용하는 공정에서 채취한 3번 시료에서 23.39(40.69) μ g/m³으로 가장 낮은 농도로 검출되었다. 세척공정에서 채취한 8번 시료의 경우 3단 카세트홀더에 대한 변형 2단 카세트홀더의 포집비율이 2.53배로 가장 높았고, 1번 시료에서 1.40배로 가장 낮았다. 두 포집매체간의 포집효율을 도식화하여 비교하면 Figure 3과 같다.

나. 변형 2단 카세트홀더 내부 비교

현장시료에 대한 변형 2단 카세트홀더 내부의 나트륨 포집비율은 Table 5와 같다. 상부(유입부+벽면부)와 바닥부를 구분하여 포집효율을 확인하였으며 변형 2단 카세트홀더 내부에 포집된 전체 나트륨 중 상부에 포집된 나트륨의 비율은 평균 47.55%(29.51~61.12%)였다. 현장시료

Table 2. Recovery rate and analytical precision of sodium (sodium hydroxide)

Level	Spiked Na (NaOH) μ g	N	Detected Na (NaOH) μ g	Recovery rate (%)	Bias (%)	CV (%)	CV _{pooled} (%)
1	54.98 (95.65)	6	56.71 \pm 1.15* (98.66 \pm 2.01)	103.15 \pm 2.10	3.15	2.04	0.11
2	274.99 (478.42)	6	274.88 \pm 1.09 (478.24 \pm 1.89)	99.96 \pm 0.39	0.04	0.39	
3	439.98 (765.47)	6	457.20 \pm 5.32 (795.43 \pm 9.25)	103.91 \pm 1.21	3.91	1.16	
4	549.97 (956.83)	6	534.64 \pm 34.64 (1026.19 \pm 60.26)	107.25 \pm 6.30	7.25	5.89	
5	824.96 (1435.25)	6	902.42 \pm 47.04 (1570.00 \pm 81.83)	109.39 \pm 5.70	9.39	5.21	
6	1099.95 (1913.66)	6	1203.61 \pm 6.14 (2094.01 \pm 10.68)	109.42 \pm 0.56	9.42	0.51	
Total		36		105.51 \pm 2.71	5.53		

*, Mean \pm SD

Table 3. Description of sampling sites and consumption amount of sodium hydroxide per month in chemical plants

	Sampling sites	Consumption (ton/month)
1	Washing	1.59
2	Production	40,722.00*
3	Acid neutralization	129.99
4	Acid neutralization	151.80
5	Regeneration of ion exchange resin	14.65
6	Regeneration of ion exchange resin	12.99
7	Regeneration of ion exchange resin	15.69
8	Washing	144.00
9	Washing	5.00
10	Recovery	250.00

*, production amount

Table 4. Comparison of total airborne sodium (sodium hydroxide) concentrations using the 3-piece and modified 2-piece cassette holder in chemical plants

Sampling sites (paired)	Airborne Sodium Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Airborne concentration ratios (A/B)	P-value*
	(A) Modified 2-piece cassette	(B) 3-piece cassette		
1	40.09 (69.74)	28.72 (49.97)	1.40	p < 0.01
2	59.06 (102.75)	35.86 (62.39)	1.65	
3	23.39 (40.69)	16.95 (29.49)	1.38	
4	29.12 (50.66)	17.20 (29.92)	1.69	
5	32.89 (57.22)	16.66 (28.98)	1.97	
6	27.97 (48.66)	12.89 (22.43)	2.17	
7	30.85 (53.67)	12.31 (21.42)	2.51	
8	45.19 (78.62)	17.87 (31.09)	2.53	
9	37.68 (65.55)	17.79 (30.95)	2.12	
10	29.12 (50.66)	17.20 (29.92)	1.69	
Total	35.54 (61.82)	19.35** (33.66)	1.84 \pm 0.42***	

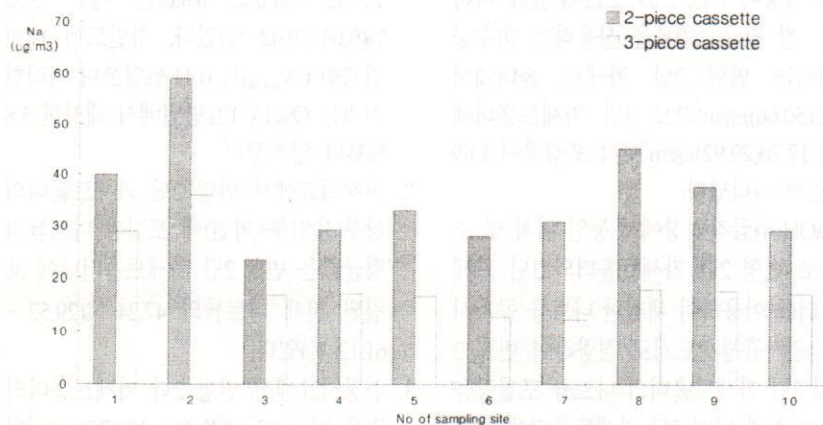
*, Pared t-test; **, Mean; ***, Mean \pm SD

Figure 3. Comparison of total airborne sodium concentrations using the 3-piece and modified 2-piece cassette holder in chemical plants

중 상부의 나트륨 검출량을 살펴보면 세척공정에서 채취한 8번 시료에서 27.62 (48.05) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 많이 검출되었으며, 수처리 시 pH 조절용으로 NaOH를 사용하는 공정에서 채취한 3번 시료에서 11.02 (19.17) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮은 농도로 검출되었다. 바닥에서는 NaOH생산공정에서 채취한 2번 시료에서 41.63 (72.42) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 많이 검출되었으며, 이온수지 재생 시 NaOH를 사용하는 공정에서 채취한 6번 시료에서 11.75 (20.44) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮은 농도로 검출되었다. 변형 2단 카세트홀더내부의 포집분포비율을 살펴보면 NaOH생산공정에서 채취한 2번

시료에서 전체 포집량 중 상부에서 차지하는 비율이 30%로 가장 낮았으며, 세척공정에서 채취한 8번 시료에서 61%로 가장 많은 분포를 볼 수 있었다. 변형 2단 카세트홀더내의 나트륨 분포를 도식화하면 Figure 4와 같다.

IV. 고 찰

본 연구에서는 3단 카세트홀더와 3단 카세트홀더의 중간부분(spacer)을 제거한 2단 카세트홀더를 만들어 OSHA방법으로 NaOH를 포집하고 분석하였다. 2단 카세트홀더의 바닥부분은 3단 카세트홀더와 같은 방법으로 MCE필터를 넣고, 유입부와 바닥부 사이의 중간부에는 길이 100mm, 높이 7mm의 띠 모양으로 만든 MCE필터를 내부에 밀착시켰다. 유입부는 공기가 유입되는 위치에 직경 5.5mm의 구멍을 뚫은 직경 32mm의 MCE필터를 벽면에 밀착시킨 변형 2단 카세트홀더를 사용하여 3단 카세트홀더와의 포집효율을 비교하고자 했다. 첨가시료는 6개의 농도군(95.68, 474.42, 765.47, 956.83, 1435.25, 1913.66 μg)을 각각 6개씩 MCE필터에 가하여 원자흡광광도계를 이용해서 회수율을 구하였다. 현장시료채취는 화학공단을 대상으로 포집유량을 1.5 mL/min 으로 하여 변형 2단 및 3단 카세트홀더를 같은 위치에서 동시에 채취하였다.

Table 5. Distribution of total airborne sodium (sodium hydroxide) concentrations using the modified 2-piece cassette holder in chemical plants

Sampling sites	Total ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Airborne Sodium Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Upper*/Total
		Upper*	Bottom	
1	40.09 (69.74)	16.86 (29.33)	23.23 (40.42)	0.42
2	59.06 (102.75)	17.43 (30.32)	41.63 (72.43)	0.30
3	23.39 (40.69)	11.02 (19.17)	12.37 (21.52)	0.47
4	29.12 (50.66)	13.29 (23.12)	15.84 (27.56)	0.46
5	32.89 (57.22)	13.40 (23.31)	19.49 (33.91)	0.41
6	27.97 (48.66)	16.21 (28.20)	11.75 (20.44)	0.58
7	30.85 (53.67)	14.72 (25.61)	16.13 (28.06)	0.48
8	45.19 (78.62)	27.62 (48.05)	17.57 (30.57)	0.61
9	37.68 (65.55)	21.87 (38.05)	15.81 (27.51)	0.58
10	29.12 (50.66)	13.29 (23.12)	15.84 (27.56)	0.42
Total	35.54 (61.82)	16.57 (28.83)	18.97 (33.00)	0.47 \pm 0.09**

*, Top+middle-rim; **, Mean \pm SD

Puskar 등(1991)은 styrene 재질의 37mm 3단 카세트홀더를 이용한 제약분진 포집 시 포집된 전체 분진 중 카세트홀더내의 위 부분에서 62%, 필터 제거 후 아랫부분에서 16%, 그리고 필터에서 22%가 포집됨을 보고한 바 있다. Beaulieu 등(1980)은 페인트, 크롬산 미스트, 시멘트 분진, 곡물 분진, 목 분진의 경우 개방형 카세트홀더에서 밀폐형 카세트홀더보다 시료 포집량이 많음을 확인하였다. 그 중 크롬산 미스트에서 다른 물질에 비해 높은 포집효율을 나타낸 것은 포집매체나 카세트홀더 내부에 크롬산 미스트가 부착되었기 때문으로 사료된다. TDI의 경우 2단 카세트홀더의 내부전체에 포집매체를 부착해서 포집한 결과 개방형방법에 비해 포집량이 21% 증가하였다(Mao 등, 2000).

본 연구의 실험결과 OSHA 방법에 따라 MCE필터에 NaOH를 가하여 회수율을 평가한 결과 평균 105.51%(99.96~109.42%)로 NIOSH의 인정(acceptable)기준인 75%와 권장(preferable)기준 90%이상(NIOSH, 1994c)을 모두 만족하였다. |Bias|는 평균 5.53%(0.04~9.42%)였으며 정밀도에 대한 결과로서 CV_{pooled}는 0.11%로 OSHA method ID-121에서 제시한 5.8%보다 양호했다.

1996년 환경부에서 실시한 여천지역의 공기 중 나트륨은 MCE필터를 이용해서 5 l/min으로 24시간 시료를 채취한 후 이온 크로마토그래프법으로 분석하였다. 이 연구에 의하면 여천지역의 대기 중 나트륨은 평균 0.36 ± 0.12 ($0.16 \sim 0.48$) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로서(환경부, 1997) 본 연구의 결과에 비하여 매우 적은 량이다. 전라남도 여천지역에 있는 화학공단에서 3단 및 변형 2단 카세트홀더를 같은 위치에서 동시에 채취한 현장시료의 경우 측정결과는 10곳 모두 NaOH에 대한 노동부의 허용기준 2 mg/m³보다 낮게 나타났다. 월 평균 70,722톤을 생산하는 공정에서의 나트륨 측정치는 변형 2단 카세트홀더의 경우 59.06 (102.75) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3단 카세트홀더의 경우 35.86(62.39) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 변형 2단 카세트홀더의 포집효율이 1.65배 높은 것으로 나타났다. 월 평균 122.99, 151.80톤을

사용하는 수처리 공정에서의 측정치는 변형 2단 카세트홀더의 경우 23.39(40.69), 29.12(50.66) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3단 카세트홀더의 경우 16.95(29.49), 17.20(29.92) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 변형 2단 카세트홀더에서 각각 1.38배와 1.69배 높게 나타났다. 월 14.65, 12.99, 15.69톤을 사용하는 이온교환수지재생공정에선 변형 2단 카세트홀더의 경우 32.89(57.22), 27.97(48.66), 30.85(53.67) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 3단 카세트홀더의 16.66(28.98), 12.89(22.43), 12.31(21.42) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 포집량이 각각 1.97, 2.17, 2.51배 높게 나타났다. 월 평균 1.59, 144, 5.00톤을 사용하는 세척공정은 변형 2단 카세트홀더에서의 40.09(69.74), 45.19(78.62), 37.68(65.55) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 3단 카세트홀더에서의 28.72(49.97), 17.87(31.09), 17.79(30.95) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 포집량이 1.40, 2.53, 2.12배 높게 나타났다. 월 평균 250톤을 사용하는 회수공정에서는 변형 2단 카세트 홀더에서 29.12(50.66) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 3단 카세트홀더에서의 17.20(29.92) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 포집량이 1.69배 높게 나타났다.

NaOH 취급작업장에서 동일 위치 및 조건으로 변형 2단 카세트홀더와 3단 카세트홀더를 이용하여 채취한 나트륨 공기시료를 원자흡광광도계로 정량하여 변형 2단 및 3단 카세트홀더의 나트륨 포집량을 비교한 결과 변형 2단 카세트홀더에서 평균 1.84배 높은 포집량을 확인하였으며, 변형 2단 카세트홀더 내부에서의 나트륨 분포는 상부(유입부+벽면부)에서 전체 포집량의 47.24%가 포집됨을 확인했다. 이러한 결과는 3단 카세트홀더를 사용해서 나트륨을 포집할 때 카세트홀더 내부의 위 부분과 벽면 부분에 시료 부착현상의 가능성을 간접적으로 보여주는 것이다. 분진의 경우 카세트홀더 내부에 부착되지 않거나 부착된 후 바닥부로 떨어질 수 있다. 이와 달리 카세트홀더 내부로 유입된 미스트 형태의 NaOH는 한번 내벽에 부착되면 분진과 달리 그대로 고정된다. 따라서 NaOH 포집시 NaOH가 부착될 수 있는 카세트홀더의 내부 표면적을 최소화하고 내부전체에 포집매체를 부착하는 변형 2단 카세트홀더를 이용하는 것이 포집효율

을 높일 수 있었다. 향후 NaOH에 대한 포집효율을 향상시킬 수 있는 방법에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 2단 카세트홀더 내부전체에 MCE필터를 부착한 변형 2단 카세트홀더와 3단 카세트홀더의 나트륨 포집효율을 알아보기 위해 우선 변형 2단 카세트홀더 내부의 포집분포를 평가하고 변형 2단 및 3단 카세트홀더의 포집효율을 비교하였다.

1. 첨가시료를 대상으로 정확성을 평가한 결과 평균 회수율은 105.51 %(99.96~109.42 %)였고 |Bias|는 평균 5.53 %(0.04~9.42 %)였다. 정밀도에 대한 결과인 CV_{pooled}는 0.11 %였으며 이러한 결과는 OSHA 121방법에서 제시한 5.8 %보다 양호했다.
2. 현장시료에서 변형 2단 카세트홀더의 상부(유입부+벽면)에 포집된 나트륨의 평균값은 변형 2단 카세트홀더내에 포집된 전체 나트륨의 47.24 %(29.52~61.12 %)였다.
3. 현장시료에서 변형 2단 카세트홀더의 경우 평균 63.17(40.69~102.75) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 검출되었으며, 3단 카세트홀더의 경우 평균 33.23(21.41~62.39) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 검출되어 변형 2단 카세트홀더의 포집효율이 3단 카세트홀더에 비해 1.84배 유의하게 높았다($p < 0.01$).

본 연구의 결과를 종합해 보면 변형 2단 및 3단 카세트홀더의 포집량에는 유의한 차이가 있었다. 따라서 여과포집을 이용한 NaOH 시료포집시 카세트홀더 내부에 부착되는 시료까지 분석하는 변형 2단 카세트홀더를 이용하는 방법이 포집효율을 높일 수 있었다.

REFERENCES

노동부, 유해물질의 허용농도, 노동부고

- 시 제91-21호, 1991
- 통계청. 산업생산연보, 2000
- 환경부. 대기오염물질의 위해성 평가 및 관리기술, 1997
- Beaulieu HJ, Fidino AV, Arlington LB, Buchan RM. A comparison of aerosol sampling techniques: "open" versus "closed-face" filter cassettes. *Am Ind Hyg Assoc J* 1980; 41: 758-765
- Buchan RM, Soderholm SC, Tillery MI. Aerosol sampling efficiency of 37mm filter cassettes. *Am Ind Hyg Assoc J* 1986; 47(2): 825-831
- Budavari S, O'Neil MJ, Smith A, Heckelman PE, Kinneary JF. The Merk index. Whitehouse station NJ, 1996. p.1363
- Cooper DW, Underhill DW, Ellenbecker MJ. A critique of the U.S. standard for industrial exposure to sodium hydroxide aerosols. *Am Ind Hyg Ass J* 1979; 40: 365-371
- Clayton GD, Clayton FE. *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*. New York : John Wiley & Sons, Inc, 1993. p.771-773
- Ellenhorn M, Barceloux DJ. Diagnosis and treatment of human poisoning. *Med Toxicol* 1988; 929-33.
- Mao IF, Chen ML, Lin YC. Sampling efficiency of a closed-face cassette sampler for airborne toluene diisocyanate determination. *Int Arch Occup Environ Health* 2000; 73: 570-574
- NIOSH. Pocket Guide to Chemical Hazards. Cincinnati, OH : DHHS(NIOSH) publication, 1994
- NIOSH. NIOSH manual of analytical methods 3rd ed, Method No 7401. Cincinnati, OH : DHHS(NIOSH) publication, 1994
- NIOSH. A NIOSH Technical Report : Guidelines for air sampling and analytical method development and evaluation. Cincinnati, OH : DHHS(NIOSH) Publication, 1995
- Liden G, Melin B, Lidblom A, Lindberg K, Noren JO. Personal sampling in parallel with open-face filter cassettes and IOM samplers for inhalable dust-implications for occupational exposure limits. *Appl Occup Environ Hyg* 2000; 15(3): 263-276
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Analytical methods manual; Method No. 121. 1990
- Puskar MA, Harkins JM, Moonmey JD, Hecker LH. Internal wall losses of pharmaceutical dusts during closed-face, 37-mm polystyrene cassette sampling. *Am Ind Hyg Assoc J* 1991; 52: 280-286
- Raffin E, Lynge E, Juel K, Korsgaard B. Incidence of cancer and mortality among employees in the asbestos cement industry in Denmark. *Brit J Ind Med* 1989; 46(2): 90-96
- Rando RJ, Hammad YY. Modified marcali method for the determination of total toluene diisocyanate in air. *Am Ind Hyg Assoc* 1985; 46(4): 206-210
- Rubin AE, Bentur L, Bentur Y. Obstructive airway disease associated with occupational sodium hydroxide inhalation. *Brit J Ind Med* 1992; 49(3):213-4
- Taylor JK. Quality assurance of chemical measurement. Chelsea, MI: Lewis publishers, Inc, 1987
- Wilhelm KP, Pasche F, Surber C, Maibach HI. Sodium hydroxide-induced sub-clinical irritation. *Acta Derm Venereol* 1990; 70: 463-467