

NO₂簡易捕集器 精度에 關한 研究

A Study on Accuracy a Passive NO₂ Sampler

천 만 영 · 강 공 언 · 김 희 강

(전국대학교 공과대학 환경공학과)

(원고접수 1992. 1. 30)

Man-Young Chun, Gong-Unn Kang and Hui-Kang Kim

Dept. of Environmental Eng., Kon-Kuk University

(Received 30 January 1992)

Abstract

Recently a passive NO₂ samplers have been frequently used for the measurement of NO₂ concentration in the atmosphere because of its simplicity and high accuracy. But these samplers have a defect that the amount of NO₂ adsorbed is increased by wind. In this study, the inlet of sampler was covered with a draft shield made by 325 mesh stainless sieve to eliminate the effect. But it was expected that NO₂ diffusion was interrupted by the draft shield. In order to conform this phenomenon, samplers with and without draft shield were exposed to a box filled with 1-1.1ppm NO₂. The result indicated that draft shield nearly did not disturb NO₂ diffusion. To protect samplers from dust, sunshine, precipitation and vertical wind effects, these samplers were placed into a shelter during the field test. The data obtained in this study was compared with the data from the ambient air monitoring network. The coefficient of correlation(*r*) between the two data was 0.9995 for the test period of up to 35days.

The results of this study indicate that the type of NO₂ samplers with draft shield in shelter used in this study can be used for measuring NO₂ concentrations in the ambient air relatively for a long period over 30 days.

1. 서 론

대기중에 미량 존재하는 NO₂의 측정법에는 Saltzman법(Saltzman, 1954), Jacobs-Hochheiser법(Jacobs and Hochheiser, 1958), Arsenite 變法(Christie et al., 1970) 그리고 화학발광법(前田泰昭等, 1987)등이 있다.

그러나 이러한 방법들은 많은 측정지점에서 장기간 측정해야 할 경우에는 상당한 비용과 인력 및 장비가 필요하기 때문에 어려움이 많다. 이러한 문제점 때문에 요즈음은 간편하고 비용도 적게드는 NO₂ 간이 포집기가 개발되어 널리 사용되고 있다.

NO₂ 간이 포집기는 NO₂ 흡착물질인 triethanolamine[(CH₂CH₂OH)₃N, M.W=149.19, 이하 TEA]을 이용한 흡착여지법(後藤降雄等, 1980), NO₂ plate법(佐藤靜雄等, 1977), 개인의 NO₂ 被曝량을 측정하는 tube type(Palmes et al., 1976)와 badge type(Yanagisawa and Nishimura, 1982)포집기가 개발되어 사용되고 있다. 그러나 이러한 간이 포집기는 조사기간 중 바람의 영향으로 포집기의 포집량이 대기중의 NO₂ 농도보다 더 많이 포집되게 되며 badge type 포집기는 바람의 영향은 받지 않으나 단기간의 개인 피폭량 측정에 알맞도록 개발되었으므로 대기중에서 장기간 폭로시에는 적합하지

않다(中山稔夫 等, 1982; Yanagisawa and Nishimura, 1982; Palmes et al., 1976).

본 연구는 이러한 간이 포집기의 단점을 보완하기 위하여 구조가 간단하여 휴대하기가 편할 뿐 아니라 바람의 영향이 거의 없고, 장기간 환경 대기중에서 사용할 수 있는 防風型 NO₂ 簡易 捕集器를 개발하여 그 정도 및 실용성을 검토하였다.

2. 포집이론

기체분자는 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하는데, 이동속도는 기체분자의 농도차에 比例한다(Fick의 확산 법칙), (이 봉모외, 1978).

원통형 용기의 한쪽 면은 밀폐되어 포집제가 발라져 있고 다른 쪽 면은 開口로써 공기가 확산할 수 있을 때 포집계면의 기체 농도를 “0”이라고 가정하면 분자확산법칙에 따라 외기 농도와 포집제의 포집량 사이에 식 (1)과 같은 관계가 성립한다.

$$A = DAt \frac{C}{L} \quad (1)$$

- 여기서 Q : 포집제의 포집량, g
- D : 분자 확산 계수, cm²/sec
70°F에서 대기중의 NO₂의 분자 확산 계수(D = 0.154cm²/sec)
- A : 확산 면적, cm²
- L : 확산 길이, cm
- C : 대기중의 기체 농도, g/cm³
- t : 폭로 시간, sec 이다.

이 원통의 開口에 防風網(draft shield)를 부착하면 방풍망이 바람의 영향을 감소시켜 원통형 포집기 내부는 亂流 擴散이 아니라 分子 擴散 상태가 된다. 그러나 방풍망의 방해 작용 때문에 외기의 유입 손실이 생겨 포집제의 포집량은 약간 감소할 우려가

있다. 이 때 방풍망의 격자가 일정하면 그 감소율은 일정하게 되며, 따라서 포집제의 포집량(μg)과 時間加重平均濃度(time-weighted average concentration, 외기 농도(ppm)×폭로 시간(H)=ppm·H)사이에는 일정한 비례 관계가 성립하게 된다.

3. 실험방법

3.1 시 약

시약은 특급을 사용하였다.

- * 포집제 : 20% TEA 용액(Yanagisawa et al., 1982). TEA 200g을 증류수 800g에 용해한다.
- * Diazo화 시약 : sulfanilamide(NH₂C₆H₄SO₂NH₂ = 172.21)1g을 10% HCl에 녹여 100ml로 만든다.
- * Coupling 시약 : N-1-naphthylethylene · 2HCl 1g을 증류수에 녹여 1,000ml로 만든다.
- * Traganth Gum 용액 : traganth gum 분말 5g을 C₂H₅OH 20ml에 완전히 녹이고 증류수를 가하여 400ml로 만든다.
- * NO₂⁻표준용액 : 105°C에서 2시간 건조한 NaNO₂ 0.154g을 증류수에 녹여 1,000ml로 만든 후 이 용액을 100배 희석하면 NO₂⁻μg/ml용액이 된다.
- * 증류수 : 1차 증류한 물을 이온교환수지로 처리후 사용하였다.
- * Glass beads : 250mesh 체를 통과한 유리가루를 증류수에 넣어 10분 이내에 침전되지 않고 부유하는 유리입자가 완전히 제거될 때까지 수회 증류수로 씻어 낸다. 그 후 0.1N NaOH 및 0.1N HCl 용액으로 씻어내고 다시 증류수로 5-6회 씻은 후 105°C에서 2시간 건조한다.

3.2 포집기의 구조

NO₂ 간이 포집기의 구조는 그림 1과 같다.

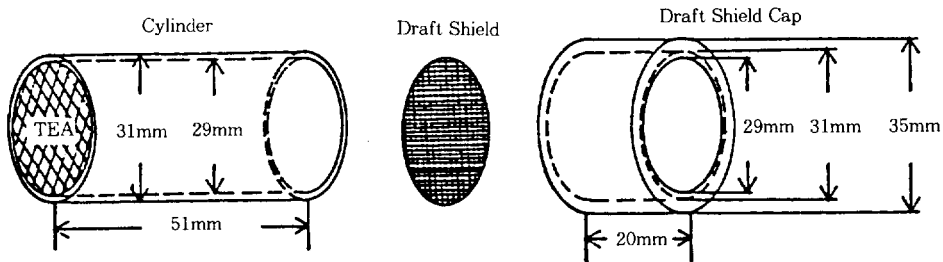


Fig. 1. Structure of NO₂ sampler.

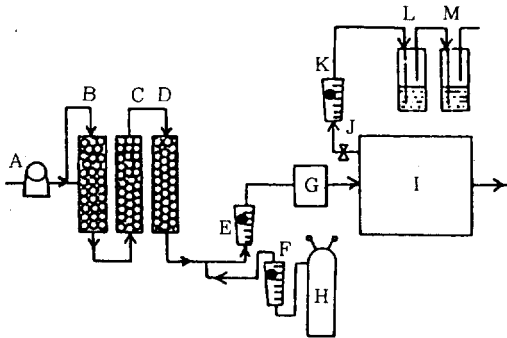
- * 포집기 : 길이 51mm, 외경 31mm, 내경 29mm 의 polypropylene제 원통을 사용하였다.
- * 방풍망(draft shield) : 325mesh stainless망을 사용하였다.
- * 방풍망 고정 cap : 내경 31mm, 외경 35mm, 길이 20mm의 cap으로 polyethylene으로 제작 하였다.

3.3 포집제 제작

glass beads, 20% TEA용액 및 traganth gum 용액을 중량비로 각각 7:3:9로 혼합하고 이것을 4ml 취하여 polyethylene 원통에 넣고 80-85℃에서 건조시킨 후 두경을 달아 보관한다.

3.4 실험 장치

I.D fan으로 흡입한 대기를 활성탄과 soda lime으로 정제한 후 고농도 NO₂ 표준가스(395ppm)와 혼합하여 NO₂ 농도를 1-1.1ppm으로 희석한 후 6L/min의 유량으로 폭로 box(길이 360mm, 직경 290mm polyethylene제 원통)에 공급하였다. 또 폭로 box내의 NO₂농도를 측정하기 위하여 sampling hole을 설치하고 수회 실험중 폭로 box내의 NO₂농도를 측정하였다. 실험장치는 그림 2와 같다.



A : I.D fan. B,C : activated carbarn. D : soda lime. E,F, K : flow meter. H : NO₂ bombe(NO₂ 395ppm, air base). G : gas mixer. I : exposure box(P.E). J : ball valve. L, M : midget impinger.

Fig. 2. Schematic diagram of the apparatus.

3.5 포집기의 NO₂포집 실험

폭로 box안에서 포집기에 의한 NO₂ 포집 실험은 무풍과 유풍상태의 두 조건에서 실험하였다. 무풍상태에서의 실험은 폭로 box안에 방풍망을 부착한 포집기와 부착하지 않은 포집기를 넣고 각각 12, 24 및 36시간 NO₂에 폭로 한 후 꺼내어 포집기에 의

한 NO₂ 포집량(μg)과 時間加重平均濃度(ppm·H)와의 관계 및 방풍망에 의한 포집량 감소량을 분석하였다. 또 폭로 box안에 fan을 설치하여 3.6m/sec의 바람을 발생시키고 방풍망을 부착한 포집기의 입구를 풍향에 수직 및 수평으로 두고 각각의 조건에서 바람에 의한 포집량의 증가 정도를 측정하였다. 폭로 box내의 NO₂농도는 Jacobs변법(박승조, 1989)으로 분석하였다.

3.6 정량 분석

포집제에 의한 NO₂의 포집량은 포집기를 수거한 후 즉시 다음 방법에 의하여 분석하였다. 포집기에 증류수 20ml를 가하고 15분간 혼든 후 20분간 방치한다. 이 용액의 상등액 5ml를 취하고 여기에 증류수 15ml를 가하여 20ml로 만든다. 여기에 diazo화 시약 및 coupling시약을 각각 1ml씩 가하고 10-30℃ 실내에 30분간 방치한 후 U.V. spectrometer(日本 Shimadzu社製, Model 240)로 540nm에서 비색 정량하였다. NO₂의 농도는 아래의 식 (2)로 구하였다.

$$NO_2(\mu g) = \frac{A-B}{A_0} \times 80 \quad (2)$$

- A : 시료 용액의 흡광도
- B : blank의 흡광도
- A₀ : NO₂ 1μg/ml 용액의 흡광도.
- 80 : 희석 배율수.

4. 결과 및 고찰

4.1 실내 실험 결과

무풍 실험

폭로 box안에 방풍망을 부착한 포집기와 부착하지 않은 포집기를 넣고 실험한 결과, 포집기의 NO₂ 포집량은 표 1 및 그림 3과 같다.

표 1에서 방풍망을 부착한 포집기의 NO₂ 포집량은 12, 24 및 36시간 폭로후 각각 평균 12.06μg, 24.00μg 그리고 39.80μg으로 방풍망을 부착하지 않은 포집기의 NO₂ 포집량 11.94μg, 24.22μg 및 39.82μg과 거의 차이가 없으므로 방풍망에 의한 포집량의 감소는 무시하여도 좋은 것으로 밝혀졌다. 또 NO₂의 時間加重平均濃度 X(ppm·H)와 포집기의 NO₂ 포집량 Y(μg)사이의 관계를 조사한 결과 방풍망을 부착한 포집기는 상관계수가 r=0.9981이며, 회귀직선은 Y=1.0060X-0.1389였고 방풍망을 부착하지 않은 포집기에는 r=0.9976, Y=1.0140X-0.2607로

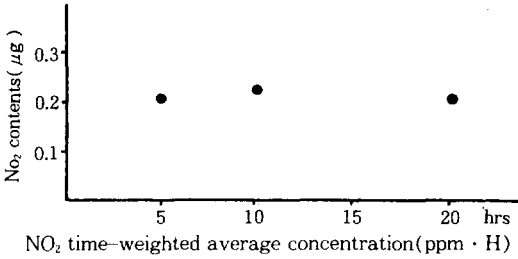


Fig. 3. Relation between NO₂ content(µg) of samplers and NO₂ time-weighted average concentration in exposure box.

Table 1. NO₂ content of samplers in exposure box. (unit : µg)

Exposure time	Sampler No	Sampler without D.S	Sampler with D.S	Remark
12 hrs	1	11.9	12.6	NO ₂ time-weighted average concentration was 12ppm · H
	2	12.3	11.6	
	3	12.0	12.0	
	4	11.2	11.7	
	5	12.3	12.4	
	Mean	11.94	12.06	
	S.D	0.403	0.388	
24 hrs	1	24.1	24.5	24.2ppm · H
	2	25.6	24.7	
	3	23.2	23.9	
	4	24.7	23.1	
	5	23.5	23.8	
	Mean	24.22	24.00	
	S.D	0.861	0.566	
36 hrs	1	40.9	41.1	39.6ppm · H
	2	40.5	40.6	
	3	39.5	38.8	
	4	38.2	39.7	
	5	40.5	38.8	
	Mean	39.92	39.80	
	S.D	0.977	0.932	
Variance	0.024	0.023		

D.S : draft shield
S.D : standard deviation.

X와 Y 사이에는 Y=N·X의 관계가 성립하였다.

유풍 실험

방풍망이 바람에 의한 포집량의 증가를 방지하여 주는지를 알아보기 위하여 폭로 box안에 fan을 설

치하여 3.6m/sec의 바람을 발생시킨 유풍상태에서 방풍망을 부착한 포집기 입구를 풍향에 각각 수직 수평으로 놓고 실험한 결과는 표 2와 같다.

표 2에서 포집기 입구가 풍향에 수직인 포집기는 포집량이 평균 23.72µg으로 무풍상태시의 포집량보다 18.6% 증가하였으며, 풍향에 수평인 포집기는 포집량이 21.30µg으로 6.5% 증가하였다.

이와 같은 결과에서 포집기 입구에 수평으로 부는 바람은 포집량에 큰 영향을 미치지 않으나 수직으로 불어 오는 바람의 영향은 큼을 알 수 있었다. 이러한 포집량 증가는 방풍망 부근에서 바람에 의하여 분자확산이 아니라 난류확산이 생기기 때문으로 생각된다.

Table 2. NO₂ content of samples by effect of wind. (unit : µg)

Sample No	Vertical direction	Horizontal direction	Remark
1	24.9	19.7	NO ₂ time-weighted average concentration was 20ppm · H
2	22.1	21.5	
3	23.5	20.9	
4	22.9	22.3	
5	25.4	21.4	
6	23.5	22.0	
Mean	23.72	21.30	
S.D	1.126	0.843	
Variance	0.047	0.039	

4.2 야외 실험 및 결과

포집기 입구에 수직방향으로 부는 바람은 NO₂의 포집량을 증가시키므로 이러한 오차를 없애기 위하여 포집기를 그림 4와 같은 shelter(polyethylene 제)안에 넣어 야외에서 실험하였다. shelter안에 포집기를 넣으면 바람에 의한 포집양 증가를 없앨 뿐만 아니라 비와 눈 그리고 먼지등에 의한 방풍망의 손상이나 막힘을 방지해 준다. 또 아질산 mist 또는 아질산 함유 먼지의 강하로 생기는 正의 오차와 포집체에 직사광선이 닿았을 때 일어나는 NO₂ 포집량의 증가도 방지하여 준다(大田幸雄 等, 1979).

그림 4와 같이 포집기를 shelter안에 넣어 경기도 안산시 고잔동에 소개하는 안산시청 옥상(지상 약 20m)에 환경청가 설치한 대기오염 자동측정기 부근에 놓고 1990年 6月 7일부터 7月 12일까지 35일간 야외 실험을 실시하여 포집량을 비교한 결과는 표 3 및 그림 5와 같다.

자동측정기로 분석한 대기중의 NO₂농도의 시간가중평균농도 X(ppm · H)와 간이포집기의 NO₂포집량 Y(µg)사이의 상관계수는 r=0.9980이며 회귀직

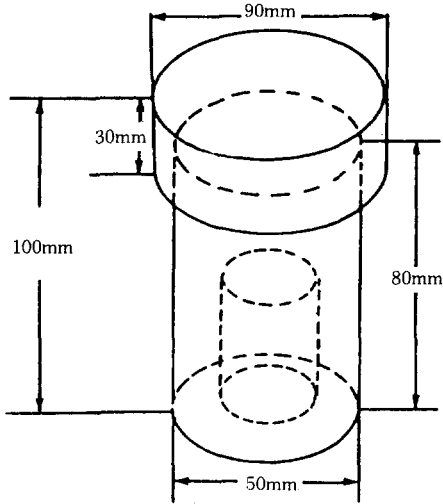


Fig. 4. Structure of shelter.

Table 3. Result of sampling by NO₂ samplers in the ambient air. (unit : μg)

Sampler No	Sampling Period				Remark
	6.7-19. (284.5hrs)	6.7-28 (500.5hrs)	6.7-7.6 (693hrs)	6.7-7.12 (836.5hrs)	
1	4.19	6.77	9.61	11.65	
2	3.79	6.83	9.73	11.28	
3	3.79	6.77	9.61	11.65	
4	4.19	6.47	9.78	11.57	
5	4.19	6.73	9.96	11.83	
Mean	4.030	6.714	9.738	11.596	
S.D	0.196	0.126	0.129	0.179	
Variance	0.049	0.019	0.013	0.015	

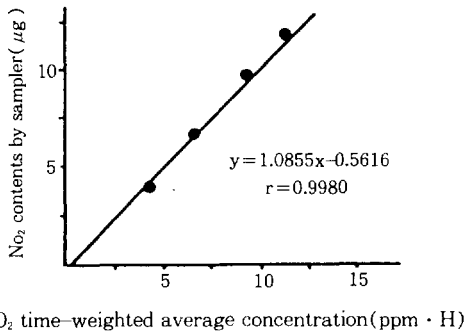


Fig. 5. The relation between NO₂ content by samplers and NO₂ time-weighted average concentration by the ambient air monitoring system.

선은 $Y = 1.0855X - 0.5616$ 로 $Y \approx X$ 이므로 shelter 안에 포집기를 넣으면 바람에 의한 포집량의 증가

가 거의 없음이 확인되었다.

$Y = X$ 의 관계를 이용하여 간이포집기의 NO₂ 포집량의 단위를 μg에서 ppb단위로 환산하여 자동측정기 자료와 비교한 결과, 12일, 21일, 29일 및 35일 동안 간이포집기로 정량한 대기중의 NO₂ 평균농도는 각각 14.2ppb, 13.4ppb, 14.1ppb 및 13.9ppb였으며, 자동측정기로 측정된 평균농도는 각각 15.0ppb, 13.4ppb 및 13.5ppb로 두 자료가 거의 일치하였다. 그리고 이 두 측정 자료간의 상관계수는 $r = 0.9995$ 로 아주 높았다.

또 포집기의 변이계수(variance)도 대기중에 폭로된 후 12일 후에는 0.049로 상당히 컸으나 21일 후에는 0.019, 29일 후에는 0.013, 35일 후에는 0.015로 21일 후부터는 상당히 적어지므로 이 포집기는 단기간보다는 장기간 포집에 더 적당하였다.

폭로시간이 길어질수록 변이계수가 작아지는 이유는 표 4에서 보는 바와 같이 blank sampler의 변이계수는 0.064로 비교적 크지만 포집기를 대기중에 장시간 폭로하여 NO₂ 포집량이 많아지게 되면 blank sampler에 포함되어 있는 NO₂ 양의 전체 NO₂ 양의 전체 NO₂ 양에 대한 비가 상대적으로 작아지기 때문으로 생각된다.

Table 4. Result of blank sampler test.

Elapsed time	Sample No	NO ₂ concentration(μg)
12days	1	2.66
	2	2.30
	3	2.48
	4	2.67
	5	2.54
21days	6	2.23
	7	2.51
	8	2.45
	9	2.39
	10	2.37
29 days	11	2.69
	12	2.70
	13	2.47
	14	2.85
	15	2.53
35 days	16	2.45
	17	2.83
	18	2.43
	19	2.66
	20	2.49
Mean		2.523
Max		2.85
Min		2.23
S.D		0.162
Variance		0.064

4.3 포집기의 가용기간

야외 측정시 포집기의 可用 기간은 표 3 및 그림 5에서 보듯이 각 포집기의 누적치와 연속포집량 사이에 $Y \approx X$ 의 관계가 성립하므로 실험기간인 35일까지는 사용이 가능하였다. 그러나 너무 장기간 사용시는 포집기를 shelter속에 넣었다 할지라도 먼지 등이 방풍망에 많이 부착되어 외기의 유입 손실이 커져 부의 오차를 수반하게 된다. 이 때문에 야외에서 사용시 가용 기간은 약 1개월 전후가 적당하다고 사료된다.

4.4 포집기의 검출 한계치

포집기의 NO_2 측정값을 C, blank sampler의 표준편차를 σ 라 하면 일반적으로 식(3)의 관계가 성립한다.

$$C \geq k\sqrt{2\sigma} \quad (3)$$

이 때 등호가 성립하면 C가 검출 한계치가 된다. 경험적으로 k는 보통 3을 사용하며, blank test 결과가 아래 표 4와 같으므로 이 방법에 의한 검출 한계치는 $0.687\mu g$ 으로 산출되었다. 이것은 이 포집기를 NO_2 농도가 0.013ppm인 대기에서는 약 3일 이상 폭로하여야 NO_2 검출이 가능하며, 0.03ppm인 대기중에서는 1일 이상 폭로하여야 NO_2 검출이 가능하다는 것을 의미한다. 또 표 4의 blank sampler의 분석 결과에서 포집기를 제작후 1개월 이상 장기간 보관하였다가 사용하여도 공기와외의 접촉만 없으면 NO_2 포집량의 증감은 없음이 확인되었다.

4.5 포집기 재질에 의한 NO_2 흡착량

포집기에 의한 NO_2 흡착량을 알아보기 위하여 폭로 box안에서 실험을 하여 표 5와 그림 6과 같은 결과를 얻었다.

표 5와 그림 6에서 보듯이 포집기의 NO_2 포집량

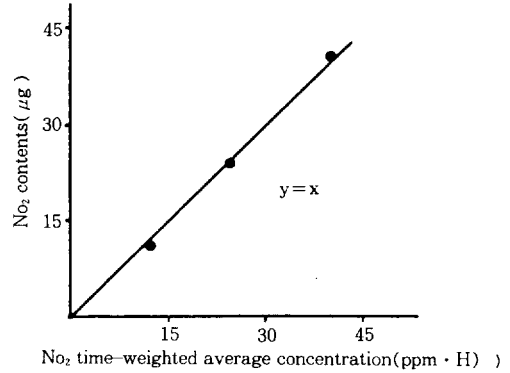


Fig. 6. NO_2 adsorption content of vessel.

은 檢出 限界值 $0.687\mu g$ 보다 훨씬 작으며, 시간에 따른 흡착량 증가도 없으므로 polypropylene으로 만든 통은 NO_2 포집용기로 사용이 가능하였다.

4.6 온도, 압력 및 습도 변화에 의한 포집량의 증감

대기의 온도, 압력 및 습도가 변화함에 따라 포집량에 변화가 생기는데 그것은 NO_2 의 확산계수가 변화하기 때문이다. NO_2 가스(기체 1)의 공기(기체 2)에 대한 확산계수는 식(4)와 같다(Reid and Sherwood, 1966).

$$D = \frac{0.001858 T^{3/2} [(M_1 + M_2) / M_1 M_2]^{1/2}}{P \sigma_{12}^2 \Omega_D} \quad (4)$$

여기서 M_1, M_2 = 각각 NO_2 , 공기의 분자량

P = 대기압(atm)

σ_{12} = NO_2 -공기 혼합에서 Lennard-Jones force constant, Å

Ω_D = collision integral, 무차원 수

또 이상기체 상태방정식 $PV = nRT$ 에서

$$P = CRT \quad (5)$$

가 된다.

식 (5)에서 알 수 있듯이 대기중의 NO_2 농도 C는 기압 P에 비례한다. 그러므로 식 (1), (4), (5)에서 확산계수 D는 압력에 반비례하고 NO_2 농도 C는 압력에 비례하므로 서로 상쇄되어 압력에 의한 포집량의 증감은 없게 된다. 식 (5)에서 NO_2 농도 C는 온도 T에 반비례하므로 식 (1), (4), (5)에서 포집량 Q는 $T^{1/2}$ 에 비례하게 된다. 온도 변화에 따른 포집량의 변화는 $70^\circ F(21.1^\circ C)$ 에서 $\pm 10^\circ F(5.6^\circ C)$ 변화시 약 1%의 포집량 증감이 생기므로 온도에 의한 포집량의 영향은 크지 않다고 생각된다

Table 5. NO_2 adsorption content of vessel.

(unit : μg)

Erapsed time No	5 hrs	10 hrs	20 hrs	Remark
1	0.362	0.081	0.380	
2	0.105	0.145	N.D	
3	0.302	0.309	0.215	
4	N.D	0.210	0.305	
5	0.244	0.321	0.123	
Mean	0.203	0.213	0.205	
S.D	0.132	0.093	0.134	
Variance	0.652	0.435	0.653	

N.D : non detected.

(Palmes et al., 1976). 습도가 증가하면 포집량도 약간 증가하나 이것 역시 포집량에 큰 영향은 미치지 않는 것으로 알려져 있다(Reid and Sherwood, 1966).

5. 결 론

TEA를 포집제로 사용한 NO₂ 간이포집기의 바람에 의한 포집량의 증가를 줄이기 위하여 325 mesh stainless망을 포집기 입구에 부착하고 이것을 다시 shelter안에 넣어 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 방풍망을 부착한 포집기와 부착하지 않은 포집기의 NO₂ 포집량을 비교한 결과 방풍망에 의한 유입 손실은 거의 없었으며, 대기중 NO₂의 농도(ppm)와 시간(H)의 곱인 시간가중평균농도 X(ppm·H)와 포집기의 NO₂ 포집량 Y(μ g) 사이에 $Y \approx X$ 의 관계가 성립하였다.

2) 방풍망을 부착하여도 바람이 포집기 입구와 수직으로 불 경우에는 상당한 포집량의 증가가 있었으므로 수직풍의 영향을 없애기 위하여 포집기를 shelter 안에 넣고 자동측정기와 동시에 대기중에서 NO₂ 농도를 측정하여 비교하였다. 그 결과 대기중에 폭로 후 12일, 21일, 29일 및 35일 후 포집기로 정량한 대기중의 NO₂ 평균 농도는 각각 14.2ppb, 13.4ppb, 14.1ppb 및 13.9ppb였고 자동측정기로 분석한 값은 각각 15.0ppb, 13.4ppb, 13.5ppb 및 13.5ppb로 그 값이 거의 일치 하였으며, 두 분석 자료간의 상관계수는 $r=0.9995$ 였다.

3) 야외 실험 결과 폭로 시간이 길어질수록 각 포집기별 포집량 사이의 변이계수가 작아지므로 이 포집기는 단기간보다는 장기간 사용에 더 적합하며, 약 35일간 사용이 가능하였다. 그러나 너무 장기간 사용할 때에는 shelter안에 넣었다 할지라도 먼지등에 의한 방풍망의 막힘으로 포집량의 감소가 예상된다.

참 고 문 헌

박승조(1989) 대기오염측정법, 동화기술, 91-101.
이봉모, 하백현(1978) 단위조작, 보성문화사, 154.

大田幸雄, 大喜多敏一(1979) トリエタノルーアツン濾紙による大氣中のNO₂捕集効率について, 第20會大氣汚染學會講演要旨集, (No.829) 479(S.54).

大塚幸雄, 村上武弘, 金子幹宏, 佐野貞雄, 和田裕(1978) トリエタノルーアツンろ濾紙を用いる大氣中二酸化窒素, 二酸化硫黄およびホルムアルデヒドの大氣汚染測定法, 大氣汚染學會誌, 13(6), 223-238.

佐藤靜雄, 井上勇, 石塚謙一, 市橋正之(1977) 大氣中のNO₂相對濃度測定法について, 公害と對策, 13(3), 292-297.

前田泰昭, 宗森信(1987) ルミノル化學發光法による大氣中の二酸化窒素とオゾンの同時定量, 大氣汚染學會誌, 22(3), 215-219. D

中山稔夫, 矢田部 照 夫(1982) NO₂簡易測定法の測定程度の検討, 大氣汚染學會誌, 17(1), 1-9.

後藤降雄(1980) トリエタノルーアツン吸着濾紙を用いた二酸化窒素測定の檢定 2,3の應用, 大氣汚染學會誌, 15(8), 334-341.

Christie A.A. et al.(1970) Field methods for determination of nitrogen dioxide in air, Analyst, 95(5), 519-524.

Jacobs M.B. and Hochheiser S.(1958) Continuous sampling and ultramicrodetermination of nitrogen dioxide in air, anal. Chem., 30(3), 426-428.

Palmes, E.D., Gunnison, A.F., Dimattion J. and Tomczyk C.(1976) Personal sampler for nitrogen dioxide, Am. Ind. Hyd. Assoc. J., 37, 570-577.

Reid, R. C. and Sherwood T.K.(1966) The properties of gaseous and liquids, 2nd Edition, McGraw Hill, New York 520-632.

Saltzman B.E.(1954) Colorimetric microdetermination of nitrogen dioxide in the atmosphere, Anal. Chem., 26(12), 1949-1955.

Yanagisawa Y. and Nishimura H.(1982) A badge-type personal sampler for measurement of personal exposure to NO₂ and in ambient air, Environment International, 8, 235-242.