

관상어용 기포발생기를 개조한 시료채취 장치와 기존의 시료채취기와의 성능 비교

장봉기[†] · 천재영 · 손부순 · 이종화 · 박종안

순천향대학교 환경보건학과

Comparative Study on the Efficiency Test Using Remodeled Bubble Generating Pump for Aquarium Fish and Established Air Sampling Pump

Bong-Ki Jang[†] · Jae-Young Chun · Bu-Soon Son · Jong-Wha Lee · Jong-An Park

Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University

This study is designed to compare the performance of established samplers (personal air sampler and MiniVOL portable air sampler) commonly used in the air environment or work environment with that of the sampler made by remodeling the air bubble generator for aquarium fishes. Sampling method used in this study is the filter collection method for PM10 and total suspended particles (TSP), the liquid collection method for sulfur dioxide (SO₂) and nitrogen dioxide (NO₂), and the solid collection method for toluene, respectively. There is not a significant difference in the average concentration of TSP between the Gilian personal air sampler (1st, 0.316 ± 0.095 ; 2nd, 0.191 ± 0.090 ; 3rd, 0.185 ± 0.073 mg/m³) and the remodeled sampler (1st, 0.317 ± 0.106 ; 2nd 0.201 ± 0.050 ; 3rd, 0.189 ± 0.081 mg/m³). There are also not significant differences in the average concentration of PM10 among the Gilian personal air sampler (0.058 ± 0.006 mg/m³), the remodeled sampler (0.052 ± 0.008 mg/m³) and the MiniVOL portable air sampler (0.054 ± 0.007 mg/m³). The average concentration of the SO₂ by the established sampler and the remodeled one is 3.79 ± 0.21 ppb and 3.45 ± 0.15 ppb, respectively. In addition, there are not significant differences in the average concentration of the NO₂ between the Gilian personal air sampler (1st, 0.325 ± 0.068 ; 2nd,

0.341 ± 0.206 ; 3rd, 2.971 ± 0.078 µg/m³) and the remodeled sampler (1st, 0.300 ± 0.062 ; 2nd, 0.332 ± 0.144 ; 3rd, 2.968 ± 0.085 µg/m³). There are not significant differences in the average concentration of toluene between the Gilian personal air sampler (1st, 0.499 ± 0.072 ; 2nd, 0.598 ± 0.112 ; 3rd, 2.284 ± 0.077 µg/m³) and the remodeled sampler (1st, 0.463 ± 0.133 ; 2nd, 0.603 ± 0.082 ; 3rd, 2.353 ± 0.115 µg/m³). From these results, we can conclude that the performance of the remodeled sampler is not different from that of established samplers. There is possibility that the remodeled sampler can be used as a alternative device for Gilian personal air sampler in area and personal air sampling.

Key Words : air sampling pump, efficiency test, remodeled bubble generating pump, personal and area sampling

I. 서론

공기시료 채취펌프는 공기에 함유된 오염물질을 채취하기 위해 특정한 시료 채취매체(sampling media)에 공기를 원하는 유량으로 강제적으로 통과시킬 수 있는 공기 흡입기구로, 특히 사람의 호흡위치에서 시료를 채취할 수 있도록 사람에게 부착시킬 수 있는 펌프를 개인시료 채취펌프(personal air sampling pump)라고 한다. 현재 모델과 같은 개인시료 채취펌프는 Sherwood와 Greenhalgh(1960)에 의해 처음으로 개발되었다. 이 펌프는 충전기가 장착되고 부피와 무게가 작아 근로자에게 착용시켜 호흡위치에서 시료를 채취할 수 있도록 고안되었다.

공기시료 채취펌프(air sampling pump)는 시료채취매체에 오염물질을 연속적으로 채취하는 연속시료 채취방법에 이용된다. 현재 생산되고 있는 대부분의 개인 공기시료 채취펌프 모델은 8시간 이상 가동할 수 있는 니켈-카드뮴 충전기가 장착되어 있다.

개인 공기시료 채취펌프는 유량에 따라 저유량펌프(low flow pump) 및 고유량펌프(high flow pump)로 나뉘어진다. 전형적인 저유량펌프는 0.001-0.2 l/min의 범위에서 작동되고 주로 흡착관을 이용한 증기나 가스 채취에 사용된다. 고유량펌프는 전형적으로 0.5 l/min에서 1 Lpm, 3, 4 또는 5 l/min까지의 범위에서 작동되며 주로 여과지를 이용한 입자상물질의 채취에 사용된다. 이러한 종류 외에도 유량 조절 모듈을 내장시키거나 또는 이를 부착시킴으로써 저유량 및 고유량 조건을 모두 충족시킬 수 있는 다유량

펌프(multiple flow pump)도 개발되어 있다. 이들 펌프들은 해당 범위 내에서 원하는 유량으로 조절할 수 있다.

최근에는 저항변화에 의해 초래되는 유량변동을 해결하기 위해 유량이 전자적으로 제어되어 일정한 유량이 유지되는 펌프가 도입되었다. 전자식 압력 또는 유량 센서(electronic flow or pressure sensor)가 내장되어 있어 충전기의 전압, 온도, 고도, 시료부하 등에 의한 변화에 대응하여 유량을 일정하게 제어한다. DuPont사, MSA사, SKC사 등에서 이러한 펌프 모델을 제조판매했다.

관상어용 공기 펌프는 수족관에 산소를 공급하여 용존산소 농도를 높이기 위한 목적으로 널리 사용되어 왔다. 이를 조금만 개조하면, 즉 공기 유입구 부분에 튜브를 연결하면 시료포집 장치로 이용할 수 있게 된다. 이렇게 만든 시료 포집장치는 가격이 저렴하여(4,000원에서 10,000원 이내) 작업환경시료 뿐만 아니라 대기환경시료 채취에 이용할 수 있어 그 동안 몇몇 연구에서 이를 시료 포집기로 사용해 온 바 있다(송경희 등, 1991).

그러나 기존의 검증받은 시료채취기와 비교하여 그 성능을 검증하여 환경시료를 포집하여야 함에도 불구하고 이와 관련된 논문은 아직 발표된 바 없다.

따라서 본 연구는 정확성과 정밀성이 입증된 상업용 공기 채취 펌프와 우리가 흔히 사용하는 관상어용 수족관 전기 기포발생기를 개조하여 만든 시료채취 펌프로 대기 중 입자상 물질과 기체상 물질을 두 기기별로 시료를 동일한 환경조건과 포집매체로 포집하여 분석한 결과를 비교 검토하여 환경시료의 지역시료 채취 시 적

용 가능성이 있는지를 평가해 보고자 한다.

II. 연구방법

1. 시료채취기와 시료채취방법

관상어용 수족관 전기 기포발생기(모델 DK-8000, 대광전자산업사)의 공기 흡입부분에 관을 연결하여 개조한 펌프(이하 개조한 시료채취기, Remodeled pump라 함)와 기존의 제품으로서 성능이 검증된 개인시료 채취기인 constant flow air sampling pump(Gillian사, GilAir-3, 미국)를 사용하여, 동일한 환경조건의 공기 오염물질의 농도를 여과포집법으로 총부유분진량(TSP)과 호흡성분진량(PM₁₀)을, 액체포집법으로 미젯임핀저를 사용하여 이산화황(SO₂)과 이산화질소(NO₂)를, 고체포집법으로 활성탄관을 사용하여 톨루엔 농도를 각각 3회씩의 서로 다른 환경 조건(다른 측정일자)에서 포집하고 매 포집시마다 각각 5개의 펌프로, 시료채취 부분이 반경 30 cm 이내에 각각 위치하도록 짝을 지어 동일한 환경조건(기온, 습도, 기류, 시료농도 등)의 시료를 포집하여 농도를 분석한 결과를 비교 평가하였다.

1) 펌프 유량 보정 방법

개조한 펌프와 기존의 펌프를 5분간 작동시키고, 측정방법에 따라 적절한 매체로서 여과지, 흡착제 튜브 또는 흡수액을 넣은 임핀저(impinger)를 펌프에 연결한 상태에서 전자식 거품미터(Gillian primary low calibrator, P-N 800266-1)를 이용하여 유량을 측정하였다. 일정 시간의 시료 포집 후에도 같은 방법으로 유량을 측정하여 평균유량을 산정하였다.

2) 개조한 시료채취기 (Remodeled pump)

* 이 논문은 2004학년도 순천향대학교 기초과학연구소 학술연구조성비 일반연구과제로 지원을 받아 수행하였음

접수일: 2004년 12월 30일, 채택일: 2005년 12월 7일

† 교신저자: 장봉기(충남 아산시 신창면 읍내리 646번지 순천향대학교 환경보건학과
Tel: 041-530-1268, Fax: 041-530-1272, E-mail: jangbk@sch.ac.kr)

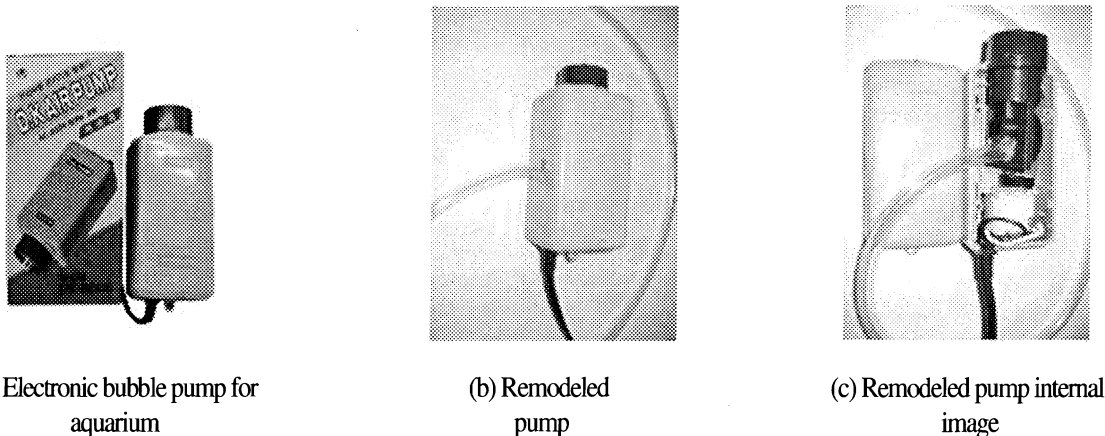


Fig. 1. Remodeled pump.

관상어용 기포발생기는 진동판(diaphragm) 펌프의 원리를 이용한 것인데, 펌프 내부의 진동판이 위로 올라가면 우측 밸브가 닫히고 좌측 밸브가 열리면서 공기가 유입되고 진동판이 아래로 내려오면 좌측의 밸브가 닫히고 우측의 밸브가 열리면서 시료공기를 포집하게 된다(Fig. 1).

3) 기존의 시료채취기 (Established pump)
개조한 시료채취기의 성능을 비교하기 위한 기존의 시료채취기로서는 현재 작업환경 시료 포집시 많이 사용되고 있는 개인시료 채취기인 Gillian사의 시료채취기 (GilAir-3)를 이용하였고, 장시간 미세먼지의 포집 성능을 알아보기 위해 portable air sampler (MiniVol, AIRmetrics사)(Fig. 2)를 사용하였다.

2. 오염물 측정 및 분석 방법

Table 1과 같은 조건에서 대기오염 공정시험법(환경부, 2003)에 따라 TSP와 PM₁₀은 중량분석법을 이용하였고, 질소산화물은 수동살츠만법, 황산화물은 파라로자닐린법으로 분석하였다. 톨루엔은 NIOSH(1994) 방법에 따라 활성탄관을 이용한 고체포집법으로 포집하여 가스크로마토그래피(Shimadzu, GC-17A)로 분석하였다.

1) TSP, PM₁₀ 측정방법

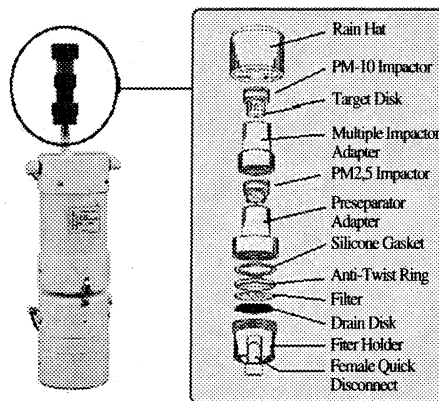


Fig. 2. Portable air sampler (MiniVol).

총부유분진(TSP)과 호흡성분진(PM₁₀)의 농도는 직경 37 mm, 공경 0.8 μ m의 cellulose ester membrane filter를 3-piece cassette에 장착하여 6시간동안 농도를 측정하였으며, PM₁₀ 측정시에는 10mm 나일론 사이클론을 cassette에 장착하였다. 시료채취유량은 TSP는 1 ℓ /min, PM₁₀은 1.7 ℓ /min으로 보정하여 포집하였고, 포집된 여과지는 데시케이터에서 24시간 건조 후 중량분석법으로 분석하였다. 24시간 PM₁₀의 포집을 위하여 유량이 5 ℓ /min인 portable air sampler (MiniVol, AIRmetrics사)를 이용하였고, 여과지는 pallflex membrane filter (47 mm, Gelman sciences사)를 이용하여 데시케이터 내에서

24시간 이상 건조하여 항량이 되게 한 후 포집에 사용하였다.

2) SO₂ 측정방법 (파라로자닐린법)

유리로 된 소형 임핀저(midget impinger)에 흡수액(potassium tetrachloromercurate, TCM) 10ml를 넣고, 직사광선을 받지 않도록 한 상태에서 0.5 ℓ /min에서 1 ℓ /min의 속도로 일정 유량의 공기를 통과시켜 공기중 SO₂를 흡수케 하여, 이 흡수액을 pararosaniline으로 발색을 시킨 다음 분광광도계를 이용하여 흡광도를 측정하여 SO₂를 정량하고 채취한 공기량으로 나누어 공기 중의 농도를 계산하였다.

3) NO₂ 측정방법 (수동 살츠만법)

소형 임핀저에 흡수 발색액 [n-(1-Naphthyl) Ethylene diamine 이염산염, sulfanilic acid 및 초산 혼합액] 10 ml를 정확히 취해서 흡수관에 넣고 약 0.4 ℓ /분의 유량으로 공기시료를 통과시켰다. NO₂량에 비례하여 등적색의 아조(azo) 염료가 생기게 하여 발색된 용액의 흡광도를 550 nm에서 측정하여 NO₂ 농도를 구하였다.

4) 톨루엔 측정방법 (활성탄관법)

NIOSH의 공정시험법 (Method No. 1500)에 의해 이루어졌으며(NIOSH, 1994), 활성탄관은 유리관으로 길이 7

Table 1. Analysis and measurement method

Measurement method	Agent of sampled	Analytical method	Flow (ℓ/min)	Sampling time (hrs.)	No. samples	
					Established sampler	Remodeled sampler
Filtration	TSP	Weighing	1	6	5	5
	PM ₁₀	Weighing	1.7	6	5	5
Liquid sampling	SO ₂	Pararosaniline	0.5~1	6	5	5
	NO ₂	Griess-Saltzman	0.4	6	5	5
Solid sampling	Toluene	Charcoal tube/GC-FID	0.2	1	4	4

cm, 외경 6 mm, 내경 4 mm의 것으로, 약 1시간 포집하고, 톨루엔과 흡착제와의 반응시간을 충분히 주기 위하여 약 0.2 ℓ/min의 저유량으로 시료를 채취하였다.

포집한 후 테프론 마개가 달린 유리용기에 옮긴 후 이황화탄소(CS₂) 1 ml를 넣어 용출시킨 후 가스크로마토그래피(Shimadzu GC-17A)로 내부 표준물질로서 벤젠을 사용하여 분석하고, 탈착효율로 농도를 보정하였다(백남원, 2002).

3. 자료의 처리

자료의 분석은 SPSS 12.0을 이용하여 개조한 시료 포집기와 기존의 시료 포집기의 각 물질 분석 결과의 평균 차이 검정을 비모수 통계검정법인 Wilcoxon signed rank test(한성현과 장봉기, 2004)로 행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 기존의 시료채취기와 개조한 시료 채취기의 측정 전, 후 유량변화를 비교

기존의 시료채취기와 개조한 시료 채취기의 측정 전과 후의 유량 변화는 Table 2와 Table 3과 같다.

Table 2. Rate of flow change of established pump

Sampling material	No.	Flow (ℓ/min)		Rate of change (%)
		Before (B)	After (A)	
PM ₁₀	30	1.680 ± 0.343	1.670 ± 0.345	0.60
TSP	30	0.920 ± 0.133	0.908 ± 0.151	1.30
NO ₂	30	1.007 ± 0.019	1.002 ± 0.054	0.50
SO ₂	30	0.819 ± 0.294	0.804 ± 0.300	1.83
Toluene	26	0.207 ± 0.013	0.200 ± 0.006	3.38

$$* : \text{Rate of change (\%)} = \frac{|B - A|}{B} \times 100$$

Table 3. Rate of flow change of remodeled pump

Sampling material	No.	Flow (ℓ/min)		Rate of change (%)
		Before	After	
PM ₁₀	30	1.699 ± 0.368	1.653 ± 0.389	2.70
TSP	30	0.903 ± 0.174	0.902 ± 0.169	0.11
NO ₂	30	1.010 ± 0.017	1.001 ± 0.017	0.89
SO ₂	30	0.838 ± 0.252	0.834 ± 0.264	0.48
Toluene	26	0.230 ± 0.050	0.220 ± 0.044	4.35

기존의 시료채취기 유량변화를 (Table 2)은 0.50~3.38%로 미국산업안전보건청(OSHA, 1998) 분석 방법에서 제시한 권고 유량 변화율인 ±5% 이하 이내이었다.

개조한 시료채취기에서도 측정 전, 후 유량변화율(Table 3)은 0.11~4.35%

의 범위로 ±5%내의 오차범위에 모두 포함되었다.

시료채취과정에서 발생하는 가장 큰 오차는 채취유량으로, 시료채취기를 통과한 공기용량의 과대 또는 과소평가하는데서 기인한다. 공기 중 농도를 결정하기 위해서는 공기 부피

당 해당 오염물질의 정확히 결정되어야 하므로 실제 농도의 가장 좋은 추정치를 얻기 위해서는 유량을 보정하여 정확한 공기부피를 결정해야 한다(백남원 등, 2002).

여과지를 사용하는 경우 유량이 일정하게 제어되지 않으면 먼지가 여과지에 축적됨에 따라 공기흐름 저항이 증가하여 실제 유량이 감소될 수 있다.

본 연구에서 기존의 시료채취기와 개조한 시료채취기 모두 시료채취 전후의 유량변화율이 OSHA(1998)에서 권고하는 $\pm 5\%$ 이내로 나타나 시료채취기로서의 성능에는 문제가 없는

2. 기존 시료채취기와 개조한 시료채취기의 성능비교

것으로 여겨진다.

환경 농도가 다를 것이라 여겨지는 3회의 조건에서 각 회차별로 기존 시료채취기와 개조한 시료채취기를 각각 5대씩으로 짝을 지어 같은 환경조건에서 포집하여 분석 물질별로 농도를 비교하였다.

1) TSP 농도 비교

여과지포집법을 이용하여 TSP를 측정한 결과 1회차의 평균농도는 기존 시료채취기가 0.316 mg/m^3 , 개조한 시료채취기가 0.317 mg/m^3 로 거의 유사하였으며, 2회차(0.191 mg/m^3 vs. 0.201 mg/m^3), 3회차(0.185 mg/m^3 vs. 0.189 mg/m^3) 모두 개조한 시료채취기에서 약간 높았으나 통계학적인 유의한 차이는 없었다(Table 4).

2) PM₁₀ 농도 비교

6시간을 포집하여 측정한 PM₁₀의 평균농도는 기존 시료채취기가 0.180 mg/m^3 로 개조한 시료채취기의 0.204 mg/m^3 보다 약간 낮았으나 유의한 차이는 없었다.

24시간 측정농도를 비교하기 위해 미니볼(MiniVOL)을 이용하여 1일 간격으로 기존의 시료채취기와 개조한 시료채취기의 PM₁₀ 평균농도를 3회씩 측정한 결과 기존 시료채취기의 평균농도는 0.052 mg/m^3 이고, 개조한 시료채취기가 0.054 mg/m^3 , MiniVOL 채

취기는 0.058 mg/m^3 으로 서로 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다(Table 5).

부유분진 중 호흡성 분진은 사람의 폐포 조직에 도달할 수 있는 입경의 분진으로 입경이 $10 \mu\text{m}$ 이하인 분진을 말하며 ACGIH에서는 폐포에 50% 침착되는 평균입경이 $4.0 \mu\text{m}$ 인 분진을 호흡성 분진이라고 정의하고 있다(ACGIH, 1993). 호흡성 분진 측정 시 ACGIH 및 OSHA에서는 10mm 나일론 사이클론을 사용할 때는 유량을 1.7 l/min 로 하여야 한다고 했다. 이것은 ACGIH 호흡성 분진 중량기준의 모의실험에 따른 것이다(Lippmann, 1989).

본 연구에서 사용된 portable MiniVOL을 이용한 PM₁₀과 PM_{2.5}의 채취 성능은 Baldauf 등(2001)에 의하여 검증된 바 있다.

Cherrie(2003), 안규동 등(2004)의 연구에 의하면 지역시료와 개인시료는 작업의 상황이나 강도에 따라서 차이가 발생할 것은 분명한 사실이며, 근로자 개인의 작업습관에 따라서도 달

Table 4. Comparison of TSP concentrations with established pump and remodeled pump

(unit : mg/m^3)

Repeat	First		Second		Third	
	Established sampler	Remodeled sampler	Established sampler	Remodeled sampler	Established sampler	Remodeled sampler
1	0.239	0.168	0.116	0.128	0.078	0.069
2	0.253	0.301	0.138	0.188	0.171	0.169
3	0.274	0.306	0.233	0.200	0.182	0.208
4	0.343	0.351	0.235	0.225	0.216	0.208
5	0.470	0.461	0.235	0.265	0.279	0.292
Mean	0.316	0.317	0.191	0.201	0.185	0.189
\pm S.D	± 0.095	± 0.106	± 0.090	± 0.050	± 0.073	± 0.081
Significance	N.S		N.S		N.S	

N.S : Not significance between established sampler and remodeled sampler by Wilcoxon signed rank test

Table 5. Comparisons of PM₁₀ concentrations with established pump, remodeled pump and MiniVOL sampler(unit : mg/m³)

Repeat	6 hours		24 hours		Minivol sampler
	Established sampler	Remodeled sampler	Established sampler	Remodeled sampler	
1	0.140	0.167	0.045	0.049	0.055
2	0.153	0.169	0.051	0.050	0.053
3	0.152	0.170	0.061	0.061	0.065
4	0.192	0.194	-	-	-
5	0.265	0.320	-	-	-
Mean	0.180	0.204	0.052	0.054	0.058
±S.D	±0.062	±0.066	±0.008	±0.007	±0.006
Significance	N.S		N.S		

N.S : Not significance between established sampler and remodeled sampler by Wilcoxon signed rank test.

라질 수 있으며, 지역시료가 개인시 사용하였으며 기존의 시료채취기와 료의 결과에 비하여 낮게 나타난다고 개조한 시료채취기 및 MiniVOL로 측 하였다. 그러나 본 연구에서는 각 시 정한 PM₁₀의 평균 농도는 거의 유사 료채취기 모두 지역시료 채취방법을 하여 개조한 시료채취기의 성능이 기

존 시료채취의 성능과 유의한 차이가 없는 것으로 평가되었다.

3) SO₂ 농도 비교

액체포집법을 이용하여 측정한 SO₂의 평균농도는 1회차에서 기존 시료채취기가 3.79 ppb, 개조한 시료채취기는 3.45 ppb로 유의한 차이가 없었다. 2회차 (2.83 ppb vs. 2.99 ppb), 3회차 (2.56 ppb vs. 2.55 ppb) 모두 유의한 차이는 없었다(Table 6).

이동인(1993)은 장기 노출 SO₂ 간 이 샘플러 개발 연구에서 시료포집 펌프를 사용하지 않고 확산형 이산화황 포집장치를 만들어 온산공단의 SO₂ 농도를 측정한 바 있으나, 기존의 시료채취기와 성능을 비교한 성적은 없었다.

4) NO₂ 농도 비교

액체포집법을 이용하여 측정한 NO₂의 평균농도는 1회차에서 기존 시료채취기가 0.325 µg/m³, 개조한 시료채취기는 0.300 µg/m³으로 나타났으며, 2회차 (0.341 µg/m³ vs. 0.332 µg/m³),

Table 6. Comparison of SO₂ concentrations with established pump and remodeled pump

(unit : ppb)

	First		Second		Third	
	Established sampler	Remodeled sampler	Established sampler	Remodeled sampler	Established sampler	Remodeled sampler
1	3.52	3.30	2.55	2.89	2.47	2.48
2	3.67	3.32	2.82	2.94	2.53	2.50
3	3.76	3.47	2.87	3.00	2.53	2.54
4	3.97	3.52	2.96	3.05	2.57	2.58
5	4.04	3.66	2.97	3.09	2.69	2.67
Mean	3.79	3.45	2.83	2.99	2.56	2.55
±S.D	±0.21	±0.15	±0.17	±0.08	±0.08	±0.08
Significance	N.S		N.S		N.S	

N.S : Not significance between established sampler and remodeled sampler by Wilcoxon signed rank test

Table 7. Comparison of NO₂ concentrations with established pump and remodeled pump(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Repeat	First		Second		Third	
	Established sampler	Remodeled sampler	Established sampler	Remodeled sampler	Established sampler	Remodeled sampler
1	0.290	0.239	0.145	0.151	2.866	2.833
2	0.301	0.289	0.283	0.261	2.959	2.960
3	0.306	0.293	0.375	0.317	2.962	2.968
4	0.357	0.298	0.400	0.393	2.983	3.023
5	0.373	0.383	0.503	0.536	3.084	3.057
Mean ±S.D	0.325 ±0.068	0.300 ±0.062	0.341 ±0.206	0.332 ±0.144	2.971 ±0.078	2.968 ±0.085
Significance	N.S		N.S		N.S	

N.S : Not significance between established sampler and remodeled sampler by Wilcoxon signed rank test

3회차 ($2.971 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. $2.968 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 모 두 평균농도는 유의한 차이가 없었 다(Table 7).

3회차에서 10배정도 높게 나타난 것은 측정 장소가 1, 2회차와는 다른 곳으로, 차량이 다니는 곳이어서 높 게 나타난 것으로 생각된다.

5) Toluene 농도 비교
고 체포 집법으로 포 집하여 분석한

Table 8. Comparison of toluene concentrations with established pump and remodeled pump

(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Repeat	First		Second		Third	
	Established sampler	Remodeled sampler	Established sampler	Remodeled sampler	Established sampler	Remodeled sampler
1	0.356	0.241	0.510	0.510	2.176	2.284
2	0.431	0.439	0.535	0.544	2.293	2.295
3	0.492	0.527	0.589	0.609	2.309	2.309
4	0.517	0.547	0.759	0.633	2.359	2.524
5	-	0.563	-	0.721	-	-
Mean ±S.D	0.449 ±0.072	0.463 ±0.133	0.598 ±0.112	0.603 ±0.082	2.284 ±0.077	2.353 ±0.115
Significance	N.S		N.S		N.S	

N.S : Not significance between established sampler and remodeled sampler by Wilcoxon signed rank test

toluene 의 평균 농도는 기존 시료채취기와 개조한 시료채취기 각각 1회차에서 $0.449 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. $0.463 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2회차에서 $0.598 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. $0.603 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 3회차에서 $2.284 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. $2.353 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 모두 유의한 차이가 없었다(표 8).

3회차의 측정시에는 톨루엔을 일부 다루는 작업이 행해진 이후에 시료를 포집함으로 해서 농도가 높게 나타난 것으로 여겨진다.

공기 중 유기용제를 포집하는 방법으로서 가장 널리 이용되는 방법은 NIOSH(1994)에서 제안한 활성탄관법이다. 이 방법은 정확도와 정밀도에 있어서 우수하지만, 파과 용량(breakthrough)이 시료를 채취하는 양, 습도, 온도 등에 따라서 변동될 수 있어 사용에 주의하여야 한다(안규동 등, 1994; 백남원과 윤충식, 1998).

최근 시료채취용 펌프가 필요 없는 방법으로 수동식 시료채취기(또는 확산 시료채취기, passive sampler)가 개발되어 새로운 공기중 유기용제 측정 기기로서 주목 받고 있어 이에 대한 포집 성능 연구들(Harper와 Purnell, 1987; 안규동 등, 1994; 백남원 등, 1996a; 1996b; 조숙자와 백남원, 1997; 백남원과 윤충식, 1998; 장경순 등, 2002; 이광용 등, 2004)이 많이 발표되고 있다. 이것은 단지 고가의 시료채취 펌프가 없어도 유기용제들을 포집할 수 있다는 장점이 있으나 시료당 채취비용이 너무 비싸다는 측면에서 볼 때 본 연구에서 시료채취 펌프로서의 적용 가능성이 평가된 개조한 관상어용 기포발생기를 사용한다면 저렴한 비용으로 여러 개의 시료채취 펌프를 만들 수 있으므로 이의 대체품으로 사용 가능할 것이다. 그러나 교류전원이 필요하므로 지역시료 채취방식을 취할 수밖에 없다는 점에서 그 용도에 맞게 선택되어야 하는 단점이 있으며, 본 연구에서 포집시료의 농도가 대체로 저농도의 환경조건에서 이루어졌으므로 고농도에서의 성능

검증이 필요할 것으로 여겨진다.

IV. 결 론

관상어용 수족관 기포발생기를 개조하여 만든 시료채취기의 성능을 기존의 대기 또는 작업환경 시료를 포집하기 위해 사용하는 상업용 제품의 개인시료 포집기와 동일 포집매체와 환경조건에서 비교하였다. 여과지 포집법으로 총부유분진(TSP)과 미세먼지(PM₁₀), 액체포집법으로 이산화황(SO₂)과 이산화질소(NO₂)를, 고체포집법으로 톨루엔을, 농도가 다를 것으로 여겨지는 각각 3가지 환경(다른 측정일자)에서, 매 측정시마다 각각 5대의 펌프로 총 15회씩, 시료채취 부분이 반경 30 cm 이내에 각각 위치하도록 짝을 지어 동일한 환경조건(기온, 습도, 기류, 시료농도 등)의 시료를 포집하여 포집기기 간의 차이를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 시료 측정 전, 후의 포집 유량 변화는 기존의 시료채취기가 0.50~3.38% 범위였으며, 관상어용 기포발생기를 개조한 시료채취기는 0.11~4.35%의 범위로 모두 5%이내로 차이가 없었다.

2. TSP의 평균 농도는 기존의 시료채취기와 개조한 시료채취기 각각 1회차 ($0.316 \pm 0.095 \text{ mg}/\text{m}^3$ vs. $0.317 \pm 0.106 \text{ mg}/\text{m}^3$), 2회차 $0.191 \pm 0.090 \text{ mg}/\text{m}^3$ vs. $0.201 \pm 0.050 \text{ mg}/\text{m}^3$, 3회차 ($0.185 \pm 0.073 \text{ mg}/\text{m}^3$ vs. $0.189 \pm 0.081 \text{ mg}/\text{m}^3$) 모두 유사하였다.

3. PM₁₀의 6시간 포집시의 평균 농도는 기존의 시료채취기와 개조한 시료채취기 각각 $0.180 \pm 0.062 \text{ mg}/\text{m}^3$, $0.204 \pm 0.066 \text{ mg}/\text{m}^3$ 로 개조한 시료채취기에서 약간 높은 농도를 나타내었으나 통계학적인 유의한 차이는 없었으며, 24시간 포집시의 평균 농도를 비교하기 위해 지역시료 채취기인 MiniVOL portable air sampler, 기존의

시료채취기 및 개조한 시료채취기의 PM₁₀ 평균 농도를 비교한 결과 각각 $0.058 \pm 0.006 \text{ mg}/\text{m}^3$, $0.052 \pm 0.008 \text{ mg}/\text{m}^3$, $0.054 \pm 0.007 \text{ mg}/\text{m}^3$ 으로 유사한 측정값을 나타내었다.

4. 액체포집법을 이용하여 기존 시료채취기와 개조한 시료채취기로 포집한 SO₂의 평균 농도는 1회차 ($3.79 \pm 0.21 \text{ ppb}$ vs. $3.45 \pm 0.15 \text{ ppb}$), 2회차 ($2.83 \pm 0.17 \text{ ppb}$ vs. $2.99 \pm 0.08 \text{ ppb}$), 3회차 ($2.56 \pm 0.08 \text{ ppb}$ vs. $2.55 \pm 0.08 \text{ ppb}$) 모두 유의한 차이가 나타나지 않았으며, NO₂의 평균 농도는 1회차 ($0.325 \pm 0.068 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. $0.300 \pm 0.062 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 2회차 ($0.341 \pm 0.206 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. $0.332 \pm 0.144 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 3회차 ($2.971 \pm 0.078 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. $2.968 \pm 0.085 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 모두 거의 유사하게 측정되었다.

5. 톨루엔의 평균 농도는 기존 시료채취기와 개조한 시료채취기 각각 1회차에서 $0.499 \pm 0.072 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. $0.463 \pm 0.133 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2회차 $0.598 \pm 0.112 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. $0.603 \pm 0.082 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 3회차 $2.284 \pm 0.077 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. $2.353 \pm 0.115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 거의 유사한 측정값을 나타내었다.

이상의 결과에서 볼 때, 관상어용 수족관 전기 기포 발생기를 개조하여 만든 시료채취기와 기존의 성능이 입증된 상업용 시료채취기의 시료포집 성능에서 통계학적인 유의한 차이가 없는 것으로 나타나 기존의 시료포집장치를 대신하여 개조한 시료포집 장치의 활용 가능성이 있다고 여겨진다. 그러나 본 연구에서는 주로 저농도의 환경에서 비교되었으므로, 고농도 환경에서의 비교 연구가 있어야 할 것이다.

참고문헌

백남원, 공상희, 박정임, 이영환. 공기중 유기용제 농도 측정에 있어

- 서 수동식 시료채취기의 성능평가 및 한국산 수동식 시료채취기의 개발에 관한 연구 -제 1부 외국산 수동식 시료채취기의 성능평가. 한국산업위생학회지 1996a; 6(1): 109-124
- 백남원, 공상휘, 박정임, 이영환. 공기중 유기용제 농도 측정에 있어서 수동식 시료채취기의 성능평가 및 한국산 수동식 시료채취기의 개발에 관한 연구 -제 2부 한국산 수동식 시료채취기의 개발. 한국산업위생학회지 1996b; 6(1): 97-108
- 백남원, 박동욱, 윤충식, 신용철. 작업환경 측정 및 평가. 신광출판사, 2002
- 백남원, 윤충식. 유기용제 측정을 위한 국산 수동식 시료채취기의 현장 평가. 한국산업위생학회지 1998; 8(1): 124-132
- 신용철, 이광용, 박두용, 정지연. 확산식 시료채취기에서 기류제어막 공극 크기에 따른 시료채취율의 변화특성에 관한 연구. 한국산업위생학회지 2004; 14(2): 125-133
- 송경희, 김두희, 이종영. 치과 진료실 내 수은오염도 및 치과 의사의 두발증 수은함량. 대한산업의학회지 1991; 3: 21-31
- 안규동, 김남수, 김진호, 이익진, 조광성, 이성수, 이병국. 휴대용 X-ray fluorescence와 high volume air sampler를 이용한 작업장 공기 중 납 농도 비교 연구. 한국산업위생학회지 2004; 14(1): 71-76
- 안규동, 연유용, 이병국. 확산형 포집기와 활성탄관을 이용한 공기중 혼합 유기용제 측정에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1994; 4(2): 127-136
- 이동인. 장기 노출 SO₂ 간이 샘플러 개발에 관한 연구. 부산수산대학교 대기과학과 1993; 2(3): 207-216
- 장경순, 노영만, 고상백. 확산형 포집기와 활성탄관을 이용한 조선업도장공정에서 공기중 혼합 유기용제의 포집비교. 한국산업위생학회지 2002; 12(3): 211-220
- 조광성, 안규동, 이병국. 축전지 제조업에서 공기중 납 노출기준 초과에 영향을 주는 요인에 관한 조사. 순천향산업의학 1999; 5(2): 27-37
- 조숙자, 백남원. 공기중 유기용제 농도 측정에 있어서 국산 확산포집기와 활성탄관의 비교 연구. 한국산업위생학회지 1997; 7(1): 30-45
- 한성현, 장봉기. 보건통계의 이론과 실제. 보문각, 2004
- 환경부. 대기오염공정시험법. 환경부고시 제172호, 2003
- Baldauf RW, Lane DD, Marotz GA, Wiener RW. Performance evaluation of the portable MiniVOL particulate matter sampler. Atmospheric Environment 2001; 6087-6091
- Cherrie JW. The beginning of the science underpinning occupational hygiene. Ann Occup Hyg 2003; 47(3): 179-185
- Harper M, Purnell CJ. Diffusive sampling; A review. Am Ind Hyg Assoc J 1987; 48(3): 214-218
- Lippmann M. Sampling aerosols by filtration, in air sampling instruments, 7th, ed, Hering SV, Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 1989, pp. 305-336
- NIOSH. Manual of Analytical Methods. 3rd ed, Cincinnati: NIOSH; 1994
- OSHA. Sampling and Analytical Method Manual. OSHA; 1998
- Sherwood RJ, Greenhalgh DMS. A personal air sampler. Ann Occup Hyg 1960; 2: 127-132