

* * * †

Effect of sampling volume on the breakthrough of charcoal tube during vinyl chloride monomer sampling

Jon Jung Yoon · Nam Gu Lim · Chi Nyun Kim · Jaehoon Roh[†]

Institute for Occupational Health, College of Medicine, Yonsei University

The main factors of breakthrough are known to sampling time, flow rate, concentration of the sample, temperature, humidity, and the physical characteristics of the solid sorbent tube. However, no study has been reported the effect of temperature and sampling volume on the breakthrough of a charcoal tube during vinyl chloride monomer (VCM) sampling. The objective of this study is to suggest the optimal sampling condition during VCM sampling based on National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) method.

To evaluate adequate sampling volume for VCM without breakthrough, volume of 1, 2, 3, 4, and 5 L each from VCM of 1, 5, 10, 15, and 20ppm at flow rate of 0.05 L/min were sampled in 22 and 40 . At 22 , in the case of 1, 5, 10, and 15ppm, VCM was adsorbed completely in first section of charcoal tube regardless of sampling volume. But in 20ppm, detection rates are 99.56% in first section and 0.44% in second section. At 40 of 1ppm, VCM was adsorbed completely in first section. In 10, 15, and 20ppm, detection

rates of second, third, and forth sections were decreased significantly by reduction of sampling volume. In determination of breakthrough based on NIOSH method, no breakthrough was occurred in 20ppm at 22 . At 40 , breakthrough was occurred in 10, 15, and 20ppm when sampling volume was 5L. Although no breakthrough was occurred when sampling volume was 3L.

Finally, in environment of temperature around 22 , breakthrough may not occurred up to 20ppm during sampling for VCM. During sampling for VCM in environment of temperature around 40 , no breakthrough occurred in 1-5ppm and 10-20ppm when sampling volume is 5L and 3L respectively. This result suggests that the sampling volume should be considered when VCM sampling under hot conditions (>22) by the NIOSH method No. 1007.

Key Words : Vinyl chloride monomer, Air sampling, Temperature, Sampling volume, Breakthrough

I. Polyvinyl chloride(PVC) VCM VCM
(vinyl chloride monomer, PVC (angio-
VCM), 1980 1 6
(Allsopp Vianello, 1992), 1998 sarcoma of liver),
2 7 / (Kielhorn , 1999) (scleroderma),
가

* 2001
: 2001 9 20 , : 2001 12 22

† : (134
Tel : 02-392-8622, Fax : 02-392-8622, E-mail : jhroh@yumc.yonsei.ac.kr)

(Doll, 1988). PVC

(Doll, 1988; Falk ,

1974; Veltman, 1975). 1977 PVC가 VCM (boiling 5L
PVC point)가 -13.37 20
VCM 1971 2,580mmHg VCM
500ppm
가 VCM 가 20% NIOSH
(acroosteolysis) 가 VCM
50ppm (Susanne, 1987), VCM
(Baker Reiter
, 1977; Gottesman, 1988). 1974 가 가
가 VCM (Melcher, 1975). NIOSH
1974 10%가
VCM 1ppm
(Baker, 1977; Gottesman, 1988;
OSHA, 1990). (American Conference of Governmental Industrial
Hygienist, ACGIH, 2001)
가 1ppm
(1998) Skoky(1975), Cuddeback (1975)
VCM (A1) VCM 가 VCM 가 (Fluka,
1ppm PVC 가 Buchs, Switzerland)
PVC PVC 가 NIOSH
PVC 6mm, 4mm, 70mm,
0.3 ~ 26mg/m³ VCM 가 20/40mesh 100/50mg (226-01,
(Viinanen, 1993)가 Du, 4 가 SKC Inc., Eighty Four, PA)
(1996) PVC VCM, -20
~ 3,680mg/m³ (Cuddeback, 1975; Hill, 1976;
PVC 가 OSHA, 1984). Roh (2000) NIOSH
1007 가 시료포집 방법
VCM 가 (Gil-air sampler 17GB,
가 (1993; 40 4, 8, 16, Gilian, Clearwater, Fla) 1, 5,
1994; 2000) 32ppm VCM, 4ppm 10, 15, 20ppm VCM 0.05 /min
VCM 20, 40, 60, 80, 100
OSHA 75 1, 2, 3, 4, 5 가
carbon molecular sieve tube 1ppm
가 (1998) ACGIH(2001)
No. 1007(NIOSH, Roh (2000) (1ppm)
1994) (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) 5 10ppm
Method No. 75(OSHA, 1984) carbon mole- (Control of Substance Hazardous to Health
cular sieve tube Regulation; COSHH, 1996)
VCM (sorbent Hill (1976) VCM 7ppm
sample tube) NIOSH 1007 0.05lpm 206 ppm 5L
coconut shell charcoal tube 가 Severs
OSHA 75 carbon molecular Skoky(1975) 0.2lpm 5ppm VCM
sieve 0.05lpm 200ppm VCM 20ppm PVC

제조 공장 근로자가 최대 27.6ppm에 노출된다는 박동욱 등(1994)의 연구 보고를 근거로 설정하였다.

공기 포집량은 NIOSH 공정시험법 No. 1007에서 사용하는 공기 포집량 5 l (0.05 l/min으로 100분간 포집)를 최고치로 설정하고 그 이하로 공기 포집량을 줄여서 포집하였다. 시료포집매체는 NIOSH에서 권고한 활성탄관 2개를 직렬로 연결하여 포집하였다(그림1). First section과 second section은 앞 활성탄관이고 Third section과 forth section은 뒤 활성탄관이며 온도와 공기 포집량에 따라 각각 5회 시료를 채취하였다.

나. 시료 포집시 온도, 습도, 기압

시료포집시 온도는 우리나라의 봄, 가을의 일반적 온도인 22℃와 여름철의 최고 옥외 온도인 40℃를 설정하였다. 40℃에 대한 실험은 항온 챔버안에 활성탄관과 테들러 공기주머니를 넣고 실시하였으며 22℃는 상온의 실내 온도를 조절하여 실험하였다. 아스만 통풍건습계 (No. 740 0 · 7440, Sato Keiryoki Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 공기 시료 제조시 습도를 측정한 결과, 습도는 41~44%이었고 기압은 1009.3 hpa이었다. 포집된 시료는 냉동고에 즉시 보관하였으며 모든 시료는 24시간 이내에 분석하였다.

다. 시료 분석

시료 분석은 NIOSH 공정시험법 No. 1007(NIOSH, 1994)에 따라 실시하였다. 활성탄관의 앞, 뒤층을 분리하여 각각 vial에 담고 이황화탄소(carbon disulfide, CS₂) 1ml를 넣은 후 빨리 밀봉한 후 탈착시켰다. 탈착은 3분간 가끔 흔들어주며 방치한 후 30분 이내에 가스 크로마토그래프-

불꽃 이온화 검출기(GC 5890 Series II, Hewlett Packard, Wilmington, Del)에 분리관 (Ultra-2 capillary column)을 사용하여 분석하였다. 표준용액은 분석 당일마다 표준원액을 이황화탄소 용액으로 일정 농도 희석하여 사용하였다. 또한 VCM을 확인하기 위해 가스 크로마토그래프-질량분석검출기(5972, Hewlett Packard, Wilmington, Del)를 사용하였다.

3. 평가 방법

VCM의 공기 포집량에 따른 첫 번째, 두 번째, 세 번째, 네 번째 층에서의 검출률 차이를 검정하기 위해 Duncan 분산 분석을 실시하였다. 또한 세 번째와 네 번째 층(뒤 활성탄관)에서의 검출률의 경향을 알아보기 위해 파파 곡선을 작성하였다. 파파는 NIOSH의 방법에 따라 앞 활성탄관(firth, second section)의 10%가 두 번째의 활성탄관(third, forth section)에 나타날 때로 정의하였다. VCM 농도, 온도(22℃, 40℃), 그리고 공기 포집량이 파파 여부에 미치는 영향을 보기 위해 로지스틱 분석을 실시하였다. 모든 자료 분석은 SAS ver 6.12를 이용하였다.

III. 결 과

1. 공기 포집량과 온도에 따른 VCM의 검출 경향

가. 1ppm에서의 공기 포집량에 따른 VCM의 검출 경향

22와 40℃에서 1 l를 포집한 VCM 양은 각각 평균 2.58μg, 2.41μg이고 2 l는 5.16μg, 4.64μg, 3 l는 7.74μg, 7.22μg, 4 l

는 9.92μg, 9.34μg 그리고 5 l는 각각 평균 12.91μg, 12.98μg으로 모든 시료는 첫 번째 층에서 100% 검출되었다(표 1).

나. 5ppm에서의 공기 포집량에 따른 VCM의 검출 경향

22℃에서 공기포집량 1 l, 2 l, 3 l, 4 l, 5 l인 경우 VCM 포집량은 각각 평균 12.65μg, 24.98μg, 38.05 μg, 50.73μg, 63.62 μg으로 모두 첫 번째 층에서 100% 검출되었다.

40℃의 결과를 보면 첫 번째 층의 검출률은 공기 포집량 5 l에서는 평균98.95%, 4 l에서는 평균 100%로 공기 포집량이 감소할수록 통계학적으로 유의하게 증가하였고(p<0.05), 1, 2, 3, 4 l에서는 첫 번째층에서 100% 검출되었다. 두 번째 층에서의 검출률을 보면, 5 l에서는 평균 1.05%(평균 0.64μg)로 다른 공기 포집량과 통계학적으로 유의한 차이가 있었다 (p<0.05)(표 2).

다. 10ppm에서의 공기 포집량에 따른 VCM의 검출 경향

22℃에서 공기포집량 1 l인 경우 VCM 포집량은 평균 25.82μg이고 5 l는 129.20 μg이었으며 모든 공기 포집량에서 첫 번째 층에서 100% 검출되었다.

40℃에서는 첫 번째 층의 검출률을 보면 2 l는 평균 99.66%, 1 l는 평균 100%로 통계학적으로 유의하지는 않았지만 5 l는 평균 65.19%, 4 l는 78.64%, 3 l는 88.41%, 2 l는 0.00%로 공기 포집량이 감소할수록 통계학적으로 유의하게 검출률이 증가하였다(p<0.05). 두 번째 층에서의 검출률을 보면, 첫 번째 층과 마찬가지로 2 l(평균 0.34%)와 1 l(평균 0.00%)는 유의성이 없었으나 5 l는 평균 22.69%, 4 l는 15.91%, 3 l는 9.52%, 2 l는 0.34%로 공기 포집량이 감소할수록 통계학적으로 유의하게 검출률이 감소하였고(p<0.05), 1 l에서는 VCM이 검출되지 않았다. 세 번째 층에서의 검출률을 보면 5 l는 평균 12.12%, 4 l는 5.45%, 3 l는 2.08%, 2 l는 0.00%로 공기 포집량의 감소함에 따라 검출률이 통계학적으로 유의하게 감소하였

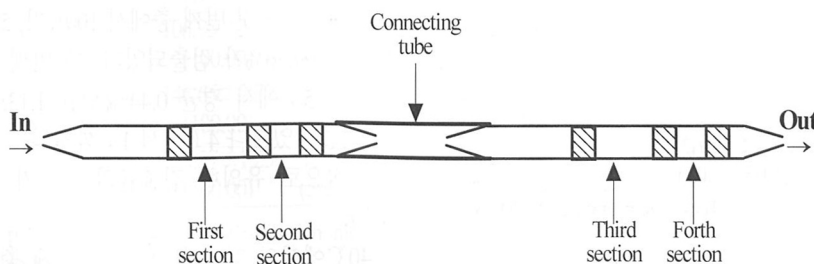


Figure 1 Two tandem charcoal tubes for vinyl chloride monomer sampling

Table 1. Adsorbed amounts of vinyl chloride monomer by sampling volume and temperature in 1ppm

Temp.	Total volume (ℓ)	Total amounts (μg)	Amounts of VCM (μg)			
			First section	Second section	Third section	Fourth section
22°C	1	2.58±0.05 [‡] (100.00) [‡]	2.58±0.05 (100.00)	-	-	-
	2	5.16±0.14 (100.00)	5.16±0.14 (100.00)	-	-	-
	3	7.74±0.10 (100.00)	7.74±0.10 (100.00)	-	-	-
	4	9.92±0.86 (100.00)	9.92±0.86 (100.00)	-	-	-
	5	12.91±0.48 (100.00)	12.91±0.48 (100.00)	-	-	-
40°C	1	2.41±0.07 (100.00)	2.41±0.07 (100.00)	-	-	-
	2	4.64±0.25 (100.00)	4.64±0.25 (100.00)	-	-	-
	3	7.22±0.47 (100.00)	7.22±0.47 (100.00)	-	-	-
	4	9.34±0.73 (100.00)	9.34±0.73 (100.00)	-	-	-
	5	12.98±0.61 (100.00)	12.98±0.61 (100.00)	-	-	-

*, p<0.05 by ANOVA; ‡, Distribution rates(%); ¶, Mean±S.D.; Temp., temperature; VCM, Vinyl chloride monomer

Table 2. Adsorbed amounts of vinyl chloride monomer by sampling volume and 6 temperature in 5ppm

Temp.	Total volume (ℓ)	Total amounts (μg)	Amounts of VCM (μg)			
			First section	Second section	Third section	Fourth section
22°C	1	12.65±0.47 [¶] (100.00) [‡]	12.65±0.47 (100.00)	-	-	-
	2	24.98±0.71 (100.00)	24.98±0.71 (100.00)	-	-	-
	3	38.05±0.56 (100.00)	38.05±0.56 (100.00)	-	-	-
	4	50.73±0.83 (100.00)	50.73±0.83 (100.00)	-	-	-
	5	63.62±1.90 (100.00)	63.62±1.90 (100.00)	-	-	-
40°C	1	12.46±1.08 (100.00)	12.46±1.08 (100.00)	-	-	-
	2	25.61±0.88 (100.00)	25.61±0.88 (100.00)	-	-	-
	3	33.82±0.68 (100.00)	33.82±0.68 (100.00)	-	-	-
	4	48.69±1.14 (100.00)	48.69±1.14 (100.00)	-	-	-
	5	60.80±1.58 (100.00)	60.16±1.7740°C (98.95±1.03)*	0.64±0.62 (1.05±1.03)*	-	-

*, p<0.05 by ANOVA; ‡, Distribution rates(%); ¶, Mean±S.D.; Temp., temperature; VCM, Vinyl chloride monomer

고(p<0.05), 1 ℓ 와 2 ℓ 에서는 검출되지 않았다. 네 번째층에서는 모든 공기 포집량에서 VCM이 검출되지 않았다(표 3).

라. 15ppm에서의 공기 포집량에 따른 VCM의 검출 경향

22°C의 결과를 보면, 첫 번째 층에서 공기 포집량 1 ℓ 의 경우 첫 번째 층에서 100%(평균 38.66μg)이 검출되었으며 2 ℓ (평균 76.383μg), 3 ℓ (평균 116.18 μg), 4 ℓ (평균 153.00μg), 5 ℓ (평균 192.90μg)의 경우도 첫 번째 층에서 100%가 검출되었다.

40°C의 결과를 보면, 첫 번째 층에서의 검출률은 5 ℓ 와 4 ℓ 에서 통계학적으로 유의한 차이는 없었지만 4 ℓ 는 평균 63.02%, 3 ℓ 는 평균 80.27%, 2 ℓ 는 평균 94.00%, 1 ℓ 는 100%로 공기 포집량이 감소할수록 통계학적으로 유의하게 검출률이 증가하였다(p<0.05). 두 번째 층에서의 검출률은 5 ℓ 와 4 ℓ 에서 통계학적으로 유의한 차이는 없었지만 5 ℓ 는 19.27%, 3 ℓ 는 15.71%, 2 ℓ 는 6.00%로 공기 포집량이 감소할수록 통계학적으로 유의하게 검출률이 감소하였고(p<0.05) 1 ℓ 에서는 VCM이 검출되지 않았다. 세 번째 층에서의 검출률은 5 ℓ 와 4 ℓ 에서 통계학적으로 유의한 차이는 없었지만 4 ℓ 는 19.65%, 3 ℓ 는 4.02%로 공기 포집량이 감소할수록 통계학적으로 유의하게 검출률이 감소하였고(p<0.05), 1 ℓ, 2 ℓ 에서는 검출되지 않았다. 네 번째층에서의 검출률을 보면 5 ℓ 는 1.51%, 4 ℓ 는 0.74%로 공기 포집량이 감소할 수록 통계학적으로 유의하게 검출률이 감소하였으며(p<0.05) 1, 2, 3 ℓ 에서는 VCM이 검출되지 않았다(표 4).

마. 20ppm에서의 공기 포집량에 따른 VCM의 검출 경향

22°C의 결과를 보면, 공기 포집량 1, 2, 3, 4 ℓ 에서는 첫 번째 층에서 100%가, 5 ℓ 에서는 99.56%가 검출되었다. 두 번째 층에서는 5 ℓ 에서 평균 0.44%(평균 1.13μg)가 검출되었으나 4 ℓ 에서 1 ℓ 까지와는 통계학적으로 유의한 검출률의 차이가 없었다.

40°C에서의 결과를 보면, 첫 번째 층에

Table 3. Adsorbed amounts of vinyl chloride monomer by sampling volume and temperature in 10ppm

Temp.	Total volume ()	Total amounts (μg)	Amounts of VCM (μg)			
			First section	Second section	Third section	Forth section
22	1	25.82±1.73 [‡] (100.00)	25.82±1.73 (100.00)	-	-	-
	2	51.31±2.78 (100.00)	51.31±2.78 (100.00)	-	-	-
	3	77.66±2.64 (100.00)	77.66±2.64 (100.00)	-	-	-
	4	102.98±3.43 (100.00)	102.98±3.43 (100.00)	-	-	-
	5	129.20±3.24 (100.00)	129.20±3.24 (100.00)	-	-	-
40	1	25.50±0.96 (100.00)	25.50±0.96 (100.00)	-	-	-
	2	47.76±1.98 (100.00)	47.59±1.73 (99.66±0.75)	0.17±0.38 (0.34±0.75)	-	-
	3	76.77±4.53 (100.00)	67.76±3.39 (88.41±4.78)*	7.40±3.53 (9.52±4.21)*	1.60±0.50 (2.08±0.58)*	-
	4	96.68±4.08 (100.00)	76.03±5.63 (78.64±4.71)*	15.38±2.80 (15.91±2.79)*	5.26±1.85 (5.45±1.95)*	-
	5	120.81±2.29 (100.00)	78.78±6.71 (65.19±5.08)*	27.40±3.04 (22.69±2.56)*	14.63±3.10 (12.12±2.63)*	-

*, p<0.05 by ANOVA; ‡, Distribution rates(%); ¶, Mean±S.D.; Temp., temperature; VCM, Vinyl chloride monomer

Table 4. Adsorbed amounts of vinyl chloride monomer by sampling volume and temperature in 15ppm

Temp.	Total volume ()	Total amounts (μg)	Amounts of VCM (μg)			
			First section	Second section	Third section	Forth section
22	1	38.66±3.01 [¶] (100.00) [‡]	38.66±3.01 (100.00)	-	-	-
	2	76.38±1.51 (100.00)	76.38±1.51 (100.00)	-	-	-
	3	116.18±1.59 (100.00)	116.18±1.59 (100.00)	-	-	-
	4	153.00±2.15 (100.00)	153.00±2.15 (100.00)	-	-	-
	5	192.90±2.85 (100.00)	192.90±2.85 (100.00)	-	-	-
40	1	36.24±0.95 (100.00)	36.24±0.95 (100.00)*	-	-	-
	2	74.87±1.69 (100.00)	70.36±1.50 (94.00±2.33)*	4.51±1.82 (6.00±2.33)*	-	-
	3	106.95±2.76 (100.00)	85.92±6.36 (80.27±4.09)*	16.73±3.89 (15.71±3.95)*	4.30±0.18 (4.02±0.25)*	-
	4	146.65±2.77 (100.00)	92.40±5.01 (63.02±3.55)*	24.37±4.25 (16.59±2.71)	28.80±3.12 (19.65±2.24)*	1.08±1.51 (0.74±1.02)
	5	180.57±1.25 (100.00)	107.51±3.78 (59.53±1.72)	34.79±0.90 (19.27±0.54)*	35.55±1.10 (19.69±0.73)	2.72±1.35 (1.51±0.76)*

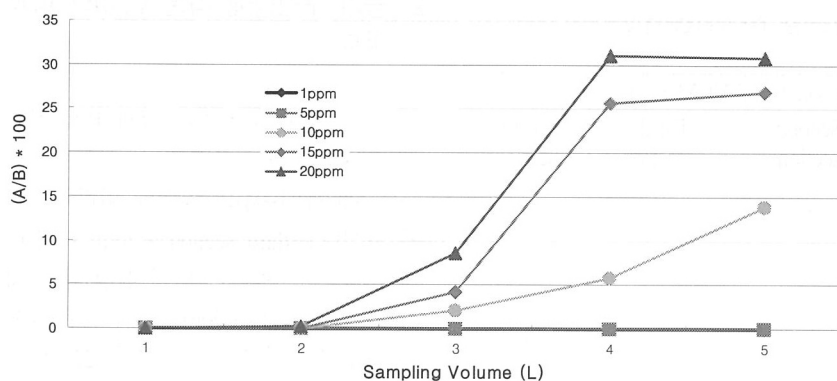
*, p<0.05 by ANOVA; ‡, Distribution rates(%); ¶, Mean±S.D.; Temp., temperature; VCM, Vinyl chloride monomer

5 4
4 59.80%, 3
76.42%, 2 91.82%, 1 100%
가 (p<0.05).
5 3
가 3
15.66%, 2 7.89%, 1 0.00%
가 (p<0.05),
1 VCM
5 4
4
22.35%, 3 7.92%, 2 0.28%, 1
0.00%
(p<0.05), 1
5 1.94%,
4 1.34%, 3 0.00%
(p<0.05), 1, 2, 3
VCM (5).
2. VCM
10%
NIOSH(1994)
(third section forth section)
(first
section second section)
22
가 40
1ppm 5ppm
가 15ppm
20ppm 3 4
가가 4
가
3 (1, 5,
10, 15, 20ppm) 가
(2).

Table 5. Adsorbed amounts of vinyl chloride monomer by sampling volume and temperature in 20ppm

Temp.	Total volume (ℓ)	Total amounts (μg)	Amounts of VCM (μg)			
			First section	Second section	Third section	Fourth section
22℃	1	50.18±0.94 (100.00)	50.18±0.94 (100.00)	-	-	-
	2	102.28±1.28 (100.00)	102.28±1.28 (100.00)	-	-	-
	3	154.85±2.73 (100.00)	154.85±2.73 (100.00)	-	-	-
	4	204.43±1.74 (100.00)	204.43±1.74 (100.00)	-	-	-
	5	255.69±2.82 (100.00)	254.56±3.46 (99.56±0.45)	1.13±1.12 (0.44±0.44)	-	-
40℃	1	48.25±1.66 (100.00)	48.25±1.66 (100.00)	-	-	-
	2	97.10±2.08 (100.00)	89.16±3.24* (91.82±2.08)*	7.66±2.20* (7.89±2.27)*	0.27±0.61* (0.28±0.64)*	-
	3	144.47±2.07 (100.00)	110.49±9.07* (76.42±5.31)*	22.58±4.34* (15.66±3.23)*	11.41±2.98* (7.92±2.17)*	-
	4	202.79±4.33 (100.00)	121.28±3.54* (59.80±0.82)*	33.47±2.02 (16.50±0.90)	45.32±1.19* (22.35±0.61)*	2.71±1.45* (1.34±0.71)*
	5	242.18±2.30 (100.00)	142.85±4.81 (58.98±1.50)	42.29±2.05 (17.46±0.90)	49.76±2.98 (21.62±1.55)	4.70±0.74* (1.94±0.31)*

*, p<0.05 by ANOVA; †, Distribution rates % (Mean±S.D.); Temp. : temperature; VCM, Vinyl chloride monomer



A, Adsorbed amounts of third and forth section; B, Adsorbed amounts of first and second section

Figure 2. Determination of breakthrough (based on NIOSH manual) in charcoal tube during vinyl chloride monomer sampling by sampling volume and concentration at 40℃

3. 농도와 공기 포집량이 VCM 파과 여부에 미치는 요인

VCM 농도와 공기 포집량이 NIOSH (1994)에서 정의한 파과에 미치는 영향을 보기 위해 로지스틱 분석을 한 결과, 공기 포집량이 1ℓ 증가하면 파과가 발생할 비

차비는 4.73이었으며 비차비의 95% 신뢰 구간은 2.4591~9.0811 이었다. 또한 VCM 농도(ppm)가 1ppm 증가하면 파과가 발생할 비차비는 1.27이었으며 비차비의 95% 신뢰구간은 1.1432~ 1.4117으로 통계학 적인 유의성이 있었다(표 6). 22℃에서는 모든 공기 포집량에서 파과가 발생하지 않았고, 40℃에서는 일부 파과가 발생하였기 때문에 로지스틱 모델에 포함시키지 않았다.

IV. 고 찰

VCM포집시 나타나는 가장 일반적인 문제점은 파과 현상이다. Saalwaechter 등 (1977)은 시료 채취 시간, 유속, 시료의 농도, 온도, 습도 및 활성탄의 특성 등이 파과현상에 영향을 주는 주된 요인이라고 보고하였다. 연구 결과, 22℃와 40℃에서 1ppm의 VCM을 포집할 때는 공기 포집량 5ℓ 이하에서는 모두 첫 번째 층에서 100% 검출되었으며 온도 및 공기 포집량에 따른 검출률의 차이는 없었다. 5ppm에서도 40℃에서 5ℓ로 포집한 결과를 제외하고는 1ppm과 마찬가지로 첫 번째 층에서 모두 검출되었다. 이러한 결과는 4ppm의 VCM을 5ℓ 포집시 첫 번째 층에서 100% 검출된 Roh 등(2000)의 연구 결과와 유사하였다. 5ppm의 VCM을 40℃에서 5ℓ로 포집한 결과 두 번째 층에서 평균 1.05%(0.64 μg)가 검출되었지만 온도와 포집량에 따른 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 따라서 40℃이하에서는 1~5ppm 정도의 VCM을 공기 포집량 5ℓ 이하로 시료를 채취하는 경우는 파과없이 시료를 포집할 수 있을 것으로 생각된다.

10ppm의 경우, 22℃에서는 모든 공기

Table 6. Effect of vinyl chloride monomer concentration and sampling volume on breakthrough

Variables	Parameter estimates	Standard deviation	Odds ratio	95% Confidence intervals
Concentration (ppm)	0.2393	0.0538	1.2703*	1.1432 - 1.4117
Sampling volume (ℓ)	1.5530	0.3333	4.7256*	2.4591 - 9.0811

*, p<0.001

, VCM 5
 . 40 1 4ppm Roh (2000) 0 ~ 20ppm 3 VCM 1
 5 2 100% 22 20ppm 5 . VCM 가
 가 , 40 , 3
 . 15ppm , 22 .
 . 40 1 2 100% 가
 5 4 VCM Cuddeback (1975), OSHA(1984)
 , 0) VCM NIOSH
 . VCM
 . 5 22 40 40 VCM
 21.20% Roh (2000) 16ppm Roh (2000) VCM
 VCM 5 64.5%, 15.1%, 20.5% 2
 . 20ppm 22 5 , 1. 1ppm , 22 40
 0.44%(1.13 μ g)가 22 15ppm 100%
 4 1 VCM
 . 16ppm 가 . 2. 5ppm , 22
 VCM 5 10%가 . 40 5
 1.6 \pm 2.1% Roh NIOSH 1.05%(0.64 μ g)가
 (2000) (1994) 가
 5 20ppm 22 20ppm VCM
 VCM 가 . 40 3. 10ppm , 22
 . 40 1 5ppm 5 40 , 1 100%
 100% 10, 15, 20ppm 3 40 , 1 2
 5 2 가 . 가 1ppm 가
 , VCM 1.27 가
 VCM 가 가
 Yoon Nelson(1990)
 . 1 가 4. 15ppm 22
 n-heptane 가 가 4.73 100%
 가 가 가 가 . 40
 Yoon Nelson(1990) vinylidene Cuddeback
 chloride 가 (1975), Severs Skoky(1975) Yoon
 (breakthrough volume)가 가 Nelson(1990)
 Foerst(1979) . 40 .
 10ppm VCM 22 20ppm VCM 5
 5 NIOSH No. 1007 4 0.44%(1.13 μ g)가
 5ppm 5 가 . 40 1
 0.00% ~ 2.33% 8ppm 5 . 40 5ppm 100% 5

2

6.

10%가

NIOSH

(1994)

, 22

20ppm

VCM

가

. 40

1

5ppm

1

5

가

10, 15, 20ppm

3

가

22

20ppm

VCM

NIOSH

No. 1007

5

가

40

5ppm

VCM

5

가

10 ~ 20ppm

VCM

3

REFERENCES

- limit values and biological exposure indices. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 2001
- Baker GL, Reiter RE. Automatic systems for monitoring vinyl chloride in working atmospheres. *Am Ind Hyg Assoc J* 1977; 38: 24-34
- Control of Substances Hazardous to Health Regulations(COSHH). Health and Safety, HSE Books. United Kingdom, 1997; 7
- Cuddeback JE, Burg WR, Birch SR. Performance of charcoal tubes in determination of vinyl chloride. *Environ Sci Tech* 1975; 9: 1168-1172
- Doll R. Effect of exposure to vinyl chloride: An assessment of the evidence. *Scand J Work Environ Health* 1988; 14: 61-78
- Du CL, Chan CC, Wang JD. Comparison of personal and area sampling strategies in assessment worker's exposure to vinyl chloride monomer. *Bull Environ Contam Toxicol* 1996; 56: 534-542
- Kielhorn J, Melber C, Wahnschaffe U, Aitio A, Mangelsdorf I. Vinyl chloride: Still a cause for concern. *Environ Health Perspect* 2000; 108(7): 579-588
- Falk H, Creech L, Health CW. Hepatic disease among workers at a vinyl chloride polymerization plant. *JAMA* 1974; 230: 59-63
- Gottesman RT. Environmental and regulatory impacts on future poly vinyl chloride growth presentation for the vinyl chloride safety association meeting. Vinyl institute, Sanfrancisco, California, 1988
- Hill RH Jr, McCammon CS, Saalwaechter AT, Teass AW, Woodfin WJ. Gas-chromatographic determination of vinyl chloride in air samples collected on charcoal. *Anal Chem* 1976; 41: 1395-1398
- Melcher RG, Langner RR, Kagel RO. Criteria for the evaluation of methods for collection of organic pollutants in air using solid sorbents. *Am Ind Hyg Assoc J* 1975; 39(5): 349-361
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). NIOSH manual of analytical methods, 4th ed., Method No 1007, DHHS(NIOSLH) publication, Cincinnati, Ohio, 1994
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Analytical method manual, 2nd ed., Method No. 75. OSHA Analytical Laboratory, Salt Lake City, UT, 1984
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Code of federal regulations, 1990; part 1910, 1017.
- Roh J, Park YJ, Kim CN, Lim NG, Lee SH, Song JS, Won JU, Talaska G. Effect of temperature on the breakthrough of a charcoal tube during vinyl chloride monomer sampling. *Am Ind Hyg Assoc J* 2000; 61: 405-409
- Saalwaechter AT, McCammon CS, Roper CP, Carlberg KS. Performance testing of the NIOSH charcoal tube technique for the determination of air concentrations of organic vapors. *Am Ind Hyg Assoc J* 1977; 38: 476-486
- Severs LW, Skory LK. Monitoring personnel exposure to vinyl chloride, vinylidene chloride and methyl chloride in an industrial work environment. *Am Ind Hyg Assoc J* 1975; 36:669
- Susanne VH. Air sampling instruments, 7th edition. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 1987; 421-434
- Veltman G, Lange CE, Juhe S. Clinical manifestation and course of vinyl chloride disease. *Ann NY Acad Sci* 1975; 246: 6-17
- Viinanen R. Monitoring results of VC in a PVC plant in 1981-1993. Neste Reserch report 93025T. Porvoo, Finland, 1993; 1-13
- Yoon YH, Nelson JH. Contaminant Breakthrough: A theoretical study of charcoal sampling tubes. *Am Ind Hyg Assoc J* 1990; 51: 319-325
- Allsopp MW, Vianello G. Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry: Plastics, properties and testing to poly-vinyl compounds, 5th ed, Weinheim, Germany, 1992; 717-742
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Threshold
- 97-65, 1998
- PVC
- 1993; 3(1): 91-98
- PVC 가
- 가
- 1994; 4(1): 33-42
- 가
- 2000; 10(3): 247-254