

일부 PVC 수지 제조 및 가공 근로자의 염화비닐 폭로 평가와 대책에 관한 조사 연구

한국산업안전공단 산업보건연구원

박동욱 · 신용철 · 이나루 · 이광용 · 오세민 · 정호근

— Abstract —

A Study on the Control and Exposure Assessment to Vinyl Chloride in the Factory Processing and Producing PVC Resin

Park, D.W., Y.C. Shin, N.R. Lee, K.Y. Lee, S.M. Oh, and H.K.Chung

Industrial Health Research Institute, Korean Industrial Safety Corporation

This study was carried out to assess worker exposure to vinyl chloride monomer (VCM) and to present control measures in the factories processing and producing polyvinyl chloride (PVC) resin. The conclusion remarks are as follows. Only two personal samples in the factory ("E") processing polyvinyl chloride resin were analysed to be 27.6 ppm and 12.6 ppm, respectively. But, these concentration exceed 1 ppm, Permissible Exposure Limits (PEL) of OSHA. So, worker's exposure to VCM at "E" factory should be reevaluated. In "A", "B" and "C" factory producing polyvinyl chloride resin, the average worker's exposures to VCM were 0.12 ppm, 0.86 ppm and 1.23 ppm, respectively. Worker exposure to VCM at distillation and dry process was higher than other processes at "A" factory. The average exposure concentration of worker at polymerization process of "B" and "C" factory was 1.23 ppm, and 1.46 ppm respectively. These concentration exceed 1 ppm, Permissible Exposure Limits of OSHA. Control room of "B" and "C" factory had 0.91 ppm and 0.65 ppm of worker's exposure concentration respectively. "A" factory was evaluated to be "acceptable", but "B" and "C" factories were evaluated to be "not acceptable". by the workplace exposure assessment program of AIHA. Process other than bagging and control room of "A" factory was evaluated to "not acceptable". Immediate correction measures for preventing workers from exposure to VCM should be performed in the factories or process that were evaluated to be "not acceptable". After these control measures are taken, worker exposure to VCM must be reevaluated through personal air monitoring. Control measures presented by this study are complete sealing of connecting pipe lines, flanging, packing, bolting and nutting. Periodic leak test for leak

parts is also required. And positive pressure facility should be constructed at control room of "B" and "C" factory. Fresh air through cleaner such as HEPA filter should be supplied to control room. In addition to these control measures, periodic personal monitoring for evaluating worker exposure to VCM should be performed.

Key Words : VCM, Exposure Assessment

I. 서 론

선진 외국에서는 1980년대 이전에 염화비닐에 직업적 폭로가 간혈관육종을 야기하는 원인인자라는 사실이 염화비닐 중합 공정을 대상으로 수행한 여러 역학 연구에서 이미 밝혀졌다(Greech et al, 1974; Simonato et al, 1991; Tabershaw, 1974; Wong et al, 1991). 또한, 염화비닐이 다른 여러 조직(피부, 폐, 췌장, 결장, 갑상선 등)에도 암을 유발한다는 역학연구 가설이 빈번히 제시되고 있다(Wagner, 1983; Heldaas et al, 1984; Heldaas et al, 1986; Smulevich et al, 1988). 최근에 염화비닐에 대한 암발생에 관한 역학연구들을 종합해 보면 암발생 부위가 서로 다른 결과들을 보여주고 있다. 1990년에 Hagmar 등은 PVC 수지제조공장의 2,031명의 남자근로자를 대상으로 역학조사를 한결과 암발생 사망율은 유의하게 (SMR=128.95%) 높은 것으로 보고하고 있다. 또한, 여기서는 호흡기계암만 유의한 차이를 보였고, 간과 뇌, 위 관계부위는 유의한 차이를 볼 수 없었다고 하였다(Hagmar et al, 1990). 1991년에 4개국(이탈리아, 영국, 스웨덴, 노르웨이)의 14,351명의 염화비닐 취급근로자를 대상으로 실시한 협력연구를 보면 간암은 거의 3배의 높은 발생과 폭로기간(고용기간)과 통계적으로 유의한 연관성을 보이는 것으로 나타났다. 그리고 다른 조직 부위인 폐와 뇌 등에서는 다소 높은 암발생을 보였으나 유의하지는 않은 것으로 보고하였다(Simonato, 1991). 1991년 Otto는 1942년부터 1982년까지 염화비닐에 폭로된 1,536명의 근로자를 대상으로 실시한 역학연구에서 간혈관육종과 간암(SMR=641) 그리고 뇌암과 중추신경계암(SMR=180)이 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있는 것으로 보고하고 있다. 미국산업위생가

협의회(American Conference Governmental Industrial hygiene: ACGIH)에서는 염화비닐을 간혈관육종을 일으키는 확인(A1)된 발암물질로 제시하고 있다(ACGIH, 1993). 염화비닐과 관련된 여러 연구들을 종합해 볼때 염화비닐은 간을 비롯한 다른 조직에도 암을 유발할 가능성이 있는 것으로 판단된다.

우리나라에서 PVC 수지의 생산은 2개사 5개 공장에서 담당하고 있으며 4개소는 1960-1970년대에 설립된 오래된 공장으로서 부분적인 개선은 있으나 여전히 재래식 기법에 의해 가동되고 있다. 또한 PVC 수지를 원료로 각종 플라스틱 제품을 가공하는 업체는 대부분 규모가 적은 영세사업장으로서 압출공정에서 발생하는 단량체를 포함한 유해인자의 발생특성을 알고 있지 못해 작업환경 관리에 문제점을 내포하고 있는 것으로 보고되고 있다(박동욱, 1993). 또한 압출공정에 국소배기 시설을 설치했다 해도 공정특성 및 작업방법 등의 산업위생학적인 설계인자를 무시한 설계의 전문성 결여로 그 효율성은 매우 미흡한 것으로 보고하고 있다(박동욱, 1993). 이러한 상황에도 불구하고 지금까지 우리나라에서 PVC 수지 제조 및 가공공정을 대상으로 수행된 연구들은 매우 적고 단편적인 것으로 판단된다. 김 등이 PVC 수지 제조 및 가공공정의 근로자를 대상으로 염화비닐 폭로수준 추정방법 및 건강진단 시행방법에 대해 연구한 바 있다(김승택, 1992). 박이 PVC 수지 가공 사업장을 대상으로 염화비닐의 발생특성 및 제거에 대한 국소배기장치의 효율성을 평가하였다(박동욱, 1993). 염화비닐의 독성에도 불구하고 취급하는 근로자를 대상으로 산업위생학적인 측면의 PVC수지제조 공정의 작업방법 및 공정특성에 따른 정량적인 평가가 한번도 이루어지지 않은 것이다.

선진 외국의 연구자료 및 배경들을 상기한 우

리나라 상황 및 실태와 비교검토해 볼때 PVC 수지 제조 및 가공공정에서 근무하는 근로자들에 대한 염화비닐의 폭로정도는 전면적으로 평가되어야 하는 시점이라고 여겨진다. 특히, 공장의 건립년도가 오래되고 운전기법이 재래식화 되어 있으며 그동안 관련된 염화비닐의 폭로정도가 정확하게 평가된 적이 거의 없었고 또한 염화비닐의 측정 및 분석의 어려움 등으로 작업환경측정이 전혀 이루어지지 않고 있는 점 등을 생각할때 관련된 연구는 매우 시급한 실정이라고 여겨진다.

PVC 수지 제조과정 및 가공공정에서 발생하는 염화비닐에 대한 근로자 폭로 평가와 그 대책을 수립하기 위한 본 연구의 구체적 목적을 열거하면 다음과 같다.

첫째, PVC 수지제조 및 가공공정의 염화비닐에 대한 정확한 작업환경측정과 문제점을 조사한다.

둘째, 일부 PVC수지제조 및 가공 근로자의 염화비닐에 대한 폭로정도의 타당성을 평가한다.

셋째, 염화비닐에 대한 근로자 폭로 평가를 통하여 공정별 문제를 도출하고 이를 해결하기 위한 작업환경 개선방법을 제시한다.

본 연구결과는 염화비닐을 대상으로 연구한 근로자 폭로 평가 기법의 소개로 우리나라의 산업위생분야의 전문성에 기여할 수 있다. 또한, PVC수지를 제조하고 가공하는 공정의 역학조사의 필요성을 강조하는데도 큰 의의가 있다고 판단된다.

II. 연구대상 및 방법

1. 대상 및 기간

PVC 수지제조업체 3개소와 PVC 수지 가공업체 5개소를 대상으로 하였다. 1993년 6월부터 10월까지 PVC 수지 제조업체는 1개소당 1일 그리고 PVC 수지 가공업체는 1개소당 2일을 조사했다.

2. 작업환경측정 및 분석

염화비닐에 대한 시료채취와 분석방법은 국립사

업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health; NIOSH)의 방법을 이용하였다(NIOSH, 1984). 근로자 및 지역을 대상으로 개인시료채취기(Model: PRO-Lite 479680, MSA)에 활성탄관(cocount charcoal tube)을 연결하여 염화비닐 가스를 흡착 채취하였다. 채취유속은 0.05Lpm이하로 하였으며 총 채취량은 5L가 넘지 않게 하고 연속적으로 활성탄관을 교체하면서 6시간 이상으로 채취하였다.

표준용액은 Tdeler 백에서 치환한 염화비닐 가스(99.9999% : 한양화학 제조) 1ml를 이황화탄소 10ml에 용해시켜 0.26mg/ml을 만들었다. 이것을 단계별 희석으로 예상 채취농도를 포함하게 제조하고 탈착효율 검증에도 이용하였다. 분석은 Gas Chromatography(Model: Hewlett Packard 1890A)를 이용하였다.

작업환경측정자료의 분석은 SAS(Version: 6.02)와 Sigma Plot(Version: 5.0)을 이용하여 정규분포검정 및 자료의 누적분포를 하였다. LOG-AN(Log Analysis, AIHA User's Manual) Program은 염화비닐의 근로자 폭로평가에 이용하였다.

3. 근로자 폭로 평가방법(AIHA, 1991)

이 방법은 미국산업위생학회 및 산업안전보건연구원에서 유해인자에 대한 근로자 폭로평가지 활용하는 방법이다. 먼저, 작업환경측정자료의 신뢰구간을 추정한다. 즉, ULC(Upper Confidence Limit: UCL)과 LCL(Lower Confidence Limit: LCL)은 신뢰구간의 상한치와 하한치를 나타낸다. 측정치간의 95% 신뢰구간은

$$\ln(\text{GUCL}) = \ln(M) + (t_{0.975, n}) \ln(\text{GS}) / \sqrt{n} \dots \textcircled{1}$$

$$\ln(\text{GUCL}) = \ln(M) - (t_{0.975, n}) \ln(\text{GS}) / \sqrt{n} \dots \textcircled{2}$$

로 구한다.

$$\ln(M) = \ln(\text{GM}) + 0.5(\ln(\text{GS}))^2 \text{이다.} \dots \textcircled{3}$$

여기서, GUCL(Upper Confidence Limit on True Geometri Mean)과 GLCL(Lower Confidence Limit on True Geometric Mean)은 기하평균 신뢰구간의 상한치와 하한치를 말한다. 다음은 근로자의 염화비닐에 대한 폭로한계치(Tolerance Limit) 추정이다. 폭로한계치는 95%의 신뢰도를 가지고 보통 폭로그룹의 90%가 그 폭로농도(a s-

pecified exposure level) 이하에 폭로된다는 수치이다. 구하는 식은 ④와 같다.

$$\ln(GUTL) = \ln(GM) + (k, r, p, n) \ln(GS) \text{이다.} \dots\dots\dots ④$$

여기서 GM은 기하평균이고 K는 신뢰수준(r), 유의수준(p), 시료수(n)에 의해 결정되는 인자이며 GS는 측정치의 기하표준편차이다. GUTL(The Upper Tolerance Limit)는 기하 정규분포의 폭로한계치이다.

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

1. PVC 수지제조 및 가공 공정의 염화비닐 측정 결과

PVC수지제조 및 가공 공정의 염화비닐 측정 결과는 표1과 같다. PVC수지가공업체 5개소에서 근로자 채취시료 36개중 “E”사업장에서 2개 시료만이 검출되었다. 폭로 농도는 각각 27.6ppm과 12.6ppm으로 우리나라의 허용기준 1ppm을 훨씬 초과하고 있다. 본 연구의 측정결과는 김(1992)이 파이프, 벽지, 원단, 카렌다, 비닐장판, 창틀제조의 PVC가공 공정을 대상으로 조사한 염화비닐의 농도 0.076-0.243ppm 보다는 낮은 것으로 나타났다(김승택, 1992). 이러한 PVC가공공정의 염화비닐농도 차이는 PVC수지내의 잔류농도 및

가공제품의 종류나 형태 등에 따른 요인 때문인 것으로 판단된다.

3개소의 PVC수지 제조업체의 염화비닐에 대한 근로자 평균 폭로농도는 “A” 사업장이 0.12ppm, “B”는 0.86ppm 그리고 “C”는 1.23ppm으로 나타났다. 사업장 및 공정별로 근로자 폭로농도측정 결과를 대수전환(log transformation)하여 분포를 분석한 결과 그림 1, 2와 같이 대수정규분포를 하는 것으로 나타났다($p < 0.001$). 본 연구결과에 대한 분포의 특성은 다른 연구결과와 일치한다(Rappaport, 1993). 지역시료의 평균은 “A”가 0.13ppm, “B”가 0.56ppm “C”는 1.02ppm으로 근로자 폭로보다 낮게 나타났다($P < 0.001$). 이것은 공정별로 근로자가 중합기나 건조기 청소 및 각종 염화비닐파이프누출 부위 점검 등 순간 과폭로의 우려가 있는 작업특성 때문인 것으로 판단된다. 한편, 이러한 염화비닐 농도는 김(1992)이 PVC중합 공정을 대상으로 조사한 염화비닐농도 0.268ppm보다 대부분 높은 것으로 나타났다. 이러한 차이는 김이 단지 9개의 적은 시료와 옥외의 라인 점검 및 공정라인(중합기, 교반기, 건조기 등)의 청소로 인한 폭로정도가 평가되지 않았던 요인 때문으로 여겨진다. 한편, PVC수지 제조 업체별로 염화비닐농도를 비교해 보면 1960년대에 건립된 “C”사업장이 가장 높은 염화비닐농도를 보이고 있다. 그리고 가장 최근에 건립(1990

Table 1. Airborne Vinyl Chloride Concentration in PVC Resin Manufacturing and Processing Factory.

Factory	Personal sample					Area sample			
	n	Range (ppm)	GM (PPM)@	GSD #	n	Range (ppm)	GM (ppm)	GSD	
PVC Resin Processing*	A	10	N.D	-	-	24	N.D.	-	-
	B	3	N.D.	-	-	35	N.D.	-	-
	C	9	N.D.	-	-	12	N.D.	-	-
	D	2	N.D.	-	-	15	N.D.-4.58	-	-
	E	12	N.D.-27.6	-	-	24	N.D.-9.01	-	-
PVC Resin Manufacturing**	A	20	N.D.-4.04	0.12	4.45	42	N.D.-18.4	0.13	10.29
	B	26	N.D.-2.46	0.86	2.17	37	N.D.-2.67	0.56	3.15
	C	24	N.D.-5.18	1.23	2.13	18	N.D.-18.8	1.02	5.18

*A,B: Monoleum Manufacturing Factory

C,D: Pipe Manufacturing Factory

E : PVC Rubber Manufacturing Factory

@: Geomtric Mean

: Ge,etric Standard Deviation

N.D.: Not Detected

** : Normal Probability Plot Test($P < 0.001$)

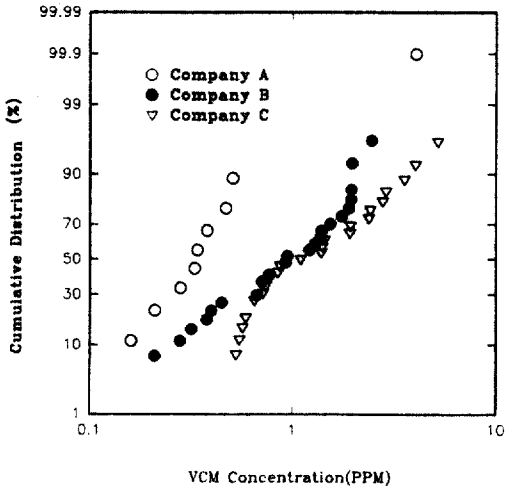


Fig. 1. Cumulative Distribution of VCM Concentration by Factory

년)된 “A” 사업장이 허용기준 1ppm이하이며 가장 낮게 조사되었다. 이처럼 PVC수지 제조업체의 건립 년도 별로 염화비닐 농도가 차이를 보이는 것은 공정의 운전기술 및 노후화에 의한 요인으로 판단된다.

2. PVC수지제조 공정별 염화비닐농도

PVC수지 제조 공정별로는 근로자의 염화비닐 평균폭로농도는 표2와 같다. PVC수지 제조 공정별 근로자 염화비닐 평균폭로농도를 비교해 보면 “A”사업장은 중합 공정 근로자가 0.24ppm, 증류와 건조 공정 근로자는 0.67ppm 그리고 포장과 조정실 근로자는 검지한게 이하였다. “B”사업장은 중합공정 근로자가 1.23ppm, 증류가 0.78ppm, 건조가 0.88ppm, 0.49ppm 그리고 조정실이 0.91ppm인 것으로 나타났다. “C”사업장은 중합공정의 근로자가 1.46ppm, 증류와 건조가 0.83ppm, 포장이 1.36ppm 그리고 조정실이 0.65ppm으로 분석되었다. 대부분 중합공정에서 가장 높은 염화비닐폭로 결과를 보였다. 이것은 공정 및 작업특성에 의한 차이이다. 중합공정은 중합조의 스케일 제거를 위해 근로자가 내부 청소 작업을 일정 주기로 하고 있다. 이 과정에서 적절한 중합기내부의 염화비닐농도 조사 및 보호구 착용 등의 적절한 조치가 이루어 지지 않으면 순

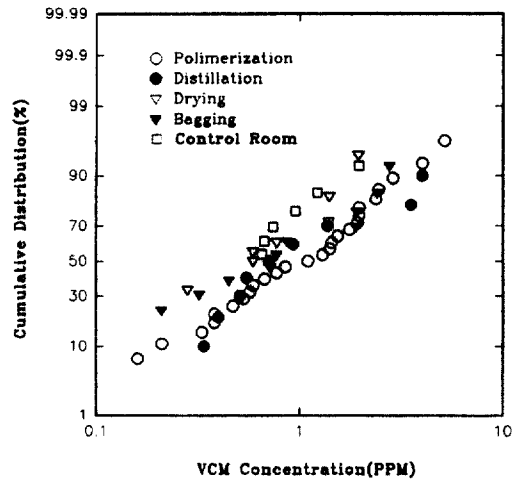


Fig. 2. Cumulative Distribution of VCM Concentration by Process

간 고농도의 폭로를 피할 수 없게 된다. 또한, 중합기 청소와 질소 치환 작업을 할때 맨홀(manhole)을 개방하는 과정에서 과폭로의 가능성이 있다. 즉, 중합기 내부를 음압으로 유지하는 배풍을 조치한 후 개방해야 하는데 순간적인 개방을 할 경우 순간적으로 과폭로가 된다. 따라서 근로자의 작업방법(work practice)이 염화비닐의 폭로를 줄이는데 매우 중요하다.

“B”와 “C”사업장은 조정실(control room)에서도 허용농도의 절반 이상이 검출되고 있다. 이처럼 조정실에서 염화비닐이 높게 검출된다는 양압 시설(positive pressure facility)이 설치되지 않은 때문이다. 조정실 근처에 위치한 각 공정의 오염된 공기가 조정실 내부로 유입되지 않도록 하기 위해서는 조정실 내부를 양압으로 유지하는 것이 중요하다. 이것은 안전적인 폭발한계의 관리에도 중요한 측면이다.

3. PVC수지제조 및 가공공정의 염화비닐 폭로 평가

PVC수지제조 공정의 염화비닐에 대한 근로자 폭로평가가 표2와 표3에 제시되어 있다. 식 ①, ②, ③, ④를 이용하여 평균 및 95%신뢰구간과 폭로한계(tolerance limits)를 추정하여 평가한 것이다. 미국산업위생학회(American Industrial Hy-

Table 2. Occupational Personal Exposure to VCM by Process Producing PVC Resin.

Factory or Process	VCM		
	n	GM (ppm)	GSD
A			
-Polymerization	7	0.24	1.81
-Distillation and Drying	4	0.67	3.50
-Bagging and Control Room	7	N.D.	N.D.
B			
-Polymerization	9	1.23	1.88
-Distillation	4	0.78	1.81
-Drying	4	0.88	2.58
-Bagging	4	0.49	2.81
-Control Room*	5	0.91	1.90
C			
-Polymerization	12	1.46	2.23
-Distillation and Drying	5	0.83	3.02
-Bagging	6	1.36	1.88
-Control Room**	4	0.74, 0.65	

* Include Supervisor

** Not Enough Data

N.D.: Not Detected

Table 3. Occupational Exposure Assessment to VCM by Process.

Factory and Process	n	VCM (ppm)			
		LCL	M	UCL	TL
A					
-Polymerization	7	0.16	0.29	0.49	1.23
-Distillation and Drying	4	0.25	1.46	8.29	121**
B					
-Polymerization	9	0.63	1.49	2.41	5.81
-Distillation	4	0.41	0.93	2.12	9.21
-Drying	4	0.37	1.38	5.16	45.60
-Bagging	4	0.20	0.83	3.49	35.52
-Control Room	5	0.53	1.12	2.34	8.08
C					
-Polymerization	12	1.22	2.01	3.33	8.57
-Distillation and Drying	5	0.42	1.52	3.06	36.23
-Control Room*	2				

** : Require More Samples

LCL: Lower Confidence Limit

UCL: Upper Confidence Limit

M: Mean

TL: Tolerance Limit

gience Association)에서 제공한 컴퓨터 폭로평가 시스템(LOGAN)도 활용하였다. 먼저, PVC수지 제조사업장별 공정별 염화비닐의 폭로정도를 평가해 보면 “A”사업장의 중합공정 근로자만 평균 0.29ppm이고 “B”와 “C”사업장의 모든 공정에서 action level(0.5ppm)이상으로 분석되었다. 특히,

“A” 사업장의 증류 및 건조 공정근로자(1.46ppm), “B”사업장의 중합(1.49ppm), 끈조(1.38ppm), 조정실(1.12ppm), “C”사업장의 중합(2.01ppm) 증류 및 건조(1.52ppm) 그리고 포장공정(1.67ppm)에서 염화비닐에 대한 근로자 폭로평가는 허용기준 1ppm을 훨씬 넘고 있다. 염화비닐에

대한 폭로 추정치의 95% 신뢰구간도 허용기준 1ppm을 포함하고 있다(표4, 그림 3참조). 따라서 PVC수지 제조 공정 근로자 모두는 염화비닐에 대한 폭로정도는 “바람직하지 않은(not acceptable)”것으로 평가 되었다. 즉각적인 염화비닐 관리 대책을 수립하고서 다시 작업환경측정을 통한 재평가를 요구하고 있다(표5 참조).

미국의 산업안전보건청 및 산업위생학회(AIHA)등 선진 외국에서의 유해인자에 대한 근로자 폭로평가는 매우 엄격하다(AIHA, 1991; Tuggle, 1981; Rappaport, 1984; Keith, 1992). 특별히 발암성 물질에 대해서는 더욱 그러하다. 이러한 폭로평가에는 측정자료의 수, 분산정도 등의 통계적인 근거가 바탕이 되어 분석된다. 여기에서 주장하는 근로자 폭로 평가 시스템의 가장 첫단계는 동일 폭로 근로자(homogeneous exposure group: HEG)를 구분하는 것이다(Corn, 1979; AIHA, 1991; Damino, 1986; Keith, 1992; Rappaport, 1993).

본 연구자료는 3개 사업장의 PVC수지제조 공정별 근로자 폭로의 염화비닐농도 기하표준편차의 정도는 “A”공정의 증류와 건조(GSD=3.50), 그리고 “C”사업장의 증류 및 건조(GSD=3.02)공정이 동일 폭로구rup이라고 할 수 있는 기하표준

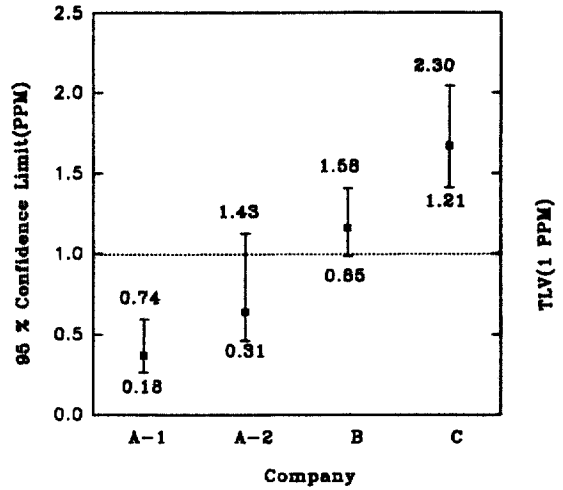


Fig. 3. Exposure Assessment to VCM by Factory

편차 GSD=3.0(Keith, 1992)보다 커 동일 폭로평가 분석에 다소 문제가 있을 수 있다. 단순히 측정된 평균농도를 허용농도에 비교하는 평가는 많은 오류를 범할 수 있다. 왜냐하면, 1년 중 단지, 일정 기간만을 측정된 근로자 폭로농도가 다른 측정하지 않은 많은 날의 농도를 대표하기 위해서는 동일 폭로구rup별, 측정일자별 분산의 정도 및 시료채취수, 폭로 근로자 수 등 가능한 많은

Table 4. Exposure Assessment to Vinyl Chloride by Factory.

Factory	VCM (ppm)			VCM (Confidence Limit)			Assessment	
	n	GM	GSD	LCL	M	UCL		TL
A-1	20	0.12	4.46	0.18	0.37	0.74	2.12	Acceptable
-2*	9	0.37	2.89	0.31	0.64	1.43	2.61	Not acceptable
B	26	0.86	2.17	0.85	1.16	1.58	3.54	Not acceptable
C	24	1.26	2.13	1.21	1.67	2.30	3.25	Not acceptable

*Analyzed only Polymerization and Distillation Process

GM: Geometric Mean

GSD: Geometric Standard Deviation

LCL: Lower Confidence Limit

UCL: Upper Confidence Limit

M: Mean

TL: Tolerance Limit

Table 5. Contents of Exposure Assessment to Vinyl Chloride by Factory.

Factory	Exposure Assessment	Decision
A-1	Acceptable	-4 Campaign every year is required
A-2	Not acceptable	
B	Not acceptable	-Immediate corrective action is necessary
C	Not acceptable	

변수가 고려되고 분석된 평가라야 한다. 평가의 기준농도는 동일 폭로 근로자에 대한 측정된 평균농도의 95% 신뢰구간중 상한계(Upper Confidence Limits)가 허용농도 이하라야 근로자 폭로는 바람직한 것이다. 이것은 다시 말하면 “평균 농도의 상한계가 허용농도를 초과하지 않을 경우 95% 신뢰성을 가지고 동일 폭로구름의 폭로농도가 허용농도의 절반이라고 말할 수 있다”라는 의미이다(AIHA, 1991).

본 연구결과 PVC수지제조 공정별 염화비닐폭로 농도가 허용기준 이하여도 폭로평가지 “바람직하지 않은(not acceptable)” 것으로 평가되는 것도 이 때문이다. 따라서, 우리나라 PVC 수지제조 공정의 염화비닐에 대한 근로자 및 공정 대책은 즉시 강구되어야 한다. 그리고 PVC 수지가공 공정은 대부분이 허용농도미만으로 조사되어 바람직한 것으로 평가되었다. 그러나 산업위생가는 허용농도초과여부나 그 수에 관계없이 과폭로의 원인을 찾아야 한다(Damino, 1989). 따라서 PVC수지를 이용하여 고무와 파이프를 생산하는 공정(“E”사업장)에 대한 염화비닐에 대한 근로자 폭로는 재평가되어야 한다.

4. PVC수지제조공정 근로자에 대한 대책

Keith(1992)와 미국산업위생학회에서는 유해인자에 대한 근로자폭로평가가 바람직하지 않은 것으로 판정되는 경우 농도저감을 위한 작업환경개선대책을 수립한 후 다시 평가하도록 하고 있다(Keith, 1992; AIHA, 1991). PVC수지제조 공정별 개선대책에 따른 작업환경개선이 무엇보다 즉각 강구되어야 한다. 주요 대책별로 언급하면 다음과 같다.

첫째, 조정실내에 양압설비의 설치이다. “B”와 “C” 사업장이 여기에 해당된다. PVC생산공정과 조정실이 바로 인접해 있어 염화비닐로 오염된 공기가 유입되고 있는 것으로 조사되었다. 조정실을 포함한 근로자 휴식공간에 양압설비를 우선적으로 설치해야 한다. 설치하는 과정에서 유입되는 공기는 오염된 공기가 아닌 신선한 공기여야 한다. 공정 특성 및 거리 등으로 인하여 오염되지 않은 신선한 공기의 공급이 비경제적인 경

우가 있을 수 있다. “B”와 “C”사업장의 경우 염화비닐로 오염되지 않은 공기의 공급은 어려울 것으로 판단된다. 따라서 공기의 유입구 편에 염화비닐을 제거할 수 있는 정화장치가 필요하다. 설치하고 난후에 주기적으로 정화장치의 정화용량 당 처리능력에 따라 주기적인 교체를 실시하는 관리가 뒤따라야 한다. PVC수지제조공장의 어느 공정에서라도 급기를 하는 경우는 마찬가지이다. “B”사업장의 경우 중합공정에 급기라인이 중합벡취당 치환할때 실시하는 진공배기라인 옆에 설치하고 있었다. 이것은 고농도의 염화비닐이 대기중으로 배출되고 오염된 공기를 다시 중합공정으로 공급하여 중합공정의 염화비닐 농도 증가요인으로 작용하게 하는 요인이다. 즉시 개선되어야 한다.

둘째, 화학설비와 배관 등의 관리이다. “A”, “B”, “C” 사업장 모두 해당된다. 화학설비나 배관 등의 덮개, 후렌지(flange), 밸브 및 코크의 접합부에 대하여 염화비닐이 새어 나오지 않도록 조치해야 한다. 염화비닐의 공급 및 회수라인의 밸브나 코크의 개폐빈도와 시설의 노후와 정도에 따라서 관리를 철저히 해야 한다. 안전한 폭발방지와는 별도로 보건학적인 측면의 저농도의 관리가 요구된다. 현장 공정의 주요한 누출 가능부위 마다 설치된 염화비닐 가스 검지기의 검지 농도는 고농도의 폭발한계에 기준되어 있어 1ppm이하의 저농도의 관리에는 소홀하기 쉽다. 그러나 1ppm이하의 염화비닐농도의 관리가 가능한 가스 검지기의 설치여부에 대해서도 검토가 필요할 것으로 보인다. 특별히, 공정시설이 노후화 된 경우 더욱 필요한 것으로 판단된다.

셋째, 보호구의 착용이다. 화학공장에서 유해인자에 대한 근로자폭로방지를 위해서는 가장 적극적이고 중요한 대책이다. 왜냐하면 공정특성이 옥외에서 이루어지고 반응기 청소 및 각종 라인 점검 및 보수 등이 주요업무이기 때문에 농도 변화가 크고 순간 고농도의 폭로 가능성이 높은 것으로 보고하고 있다. 우리나라에서는 종종 옥외 작업(outdoor)이라는 특성으로 작업환경측정이나 근로자폭로평가를 실시하지 않는 경우가 있다. 간혹 작업환경을 측정한다 해도 옥내만 하는

경우를 본다. 근로자가 작업하는 과정에서 폭로되는 유해인자에 대해서는 옥내이건 옥외이건 상관없이 폭로정도를 측정하고 평가하여 근로자 보호대책을 강구해야 한다. PVC수지 제조공정도 짧은 시간 동안의 고농도 폭로에 주의 해야 한다 (Kromhout, 1993). 즉 중합기나 건조기, 증류기 등 반응기의 청소 그리고 중합기의 맨홀 개폐와 배관라인 및 밸브 등의 교체나 수리와 관련된 작업 등이 여기에 해당된다. 이러한 작업을 할 경우 염화비닐에 대한 폭로를 최소화 하기 위해서 피부보호 조치와 함께 보호구 착용을 포함한 표준 작업방법의 제정이 필요하다. 근로자들은 이러한 작업방법에 따라 작업하도록 해야 한다.

넷째, 공정 배출라인에 대한 정화시설(cleaner)의 설치가 요구된다. "A" 사업장의 건조공정과 "B" 및 "C" 사업장의 전공정이 해당된다. PVC수지제조공정의 주요 배출라인 중합공정의 치환시 배기라인과 가능하다면 Housing된 건조공정의 배기라인 그리고 기타 공정의 배기라인 등을 연결하여 하나의 배기정화시스템을 구성하여 시설할 것을 권장한다. 이렇게 하여 가능한 한 염화비닐의 환경오염을 방지하는 것도 중요하다. 왜냐하면 선진 외국에서는 PVC공장 주변의 주민들을 대상으로 어머니의 거주 거리별로 기형(birth defect) 발생율을 보고하였다. 이 연구에서 발생율이 통계적으로 유의하지는 않지만 대조군보다 높은 발생율을 보이는 것으로 보고했다. 이러한 연구 결과를 참조할때 PVC수지 제조공장에서는 공정과정에서 발생하는 염화비닐에 대한 관리는 아무리 강조를 해도 지나치지 않는다고 판단된다. 더우기 "C"사업장의 경우 공장이 도시 한복판에 위치하고 있고 시설의 노후화 등으로 보다 주의 깊은 관리와 대책마련이 요구된다.

다섯째, 전면적인 근로자 재평가를 위한 작업환경측정이 요구된다. "A"사업장의 중합, 건조, 증류공정과 "B"와 "C"사업장의 전공정이 여기에 해당된다. 즉, AIHA와 Keith(1992)에 의한 근로자 폭로평가 시스템(The Workplace Exposure Assessment Expert System: WORKSPERT)에 의하면 유해인자에 대한 근로자 폭로평가가 "바람직하지 않은(not acceptable)"것으로 평가될 경우

폭로저감을 위한 대책을 수립한 후 재평가할 것을 강조하고 있다(AIHA, 1991; Keith, 1992). 따라서 즉시 상기한 4가지 공정의 개선대책을 수립한 다음 다시 염화비닐에 대한 근로자 폭로평가를 실시해야 한다. 염화비닐에 대한 적정한 근로자폭로평가를 위해서는 작업환경측정할때 공정(동일폭로구름)당 5개 이상의 시료수의 채취를 추천한다. 이것은 AIHA와 Joe(1989)의 시료채취 전략과 염화비닐의 독성 및 분산 정도에 근거하여 제시하는 것이다(Joe, 1989; AIHA, 1991). 특별히, "B"와 "C"사업장의 경우 염화비닐에 대한 작업환경측정이 한번도 실시되지 않고 있어 문제가 크다. 즉시 공정개선대책 마련과 주기적인 작업환경측정이 요구된다.

IV. 결론 및 요약

PVC수지 제조 및 가공공정의 일부를 대상으로 염화비닐에 대한 근로자 폭로평가와 그 대책에 관한 현장조사를 통한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

① PVC수지가공 공정 근로자의 염화비닐폭로는 36개의 시료중 1개소에서 2개만이 검출되었으나 폭로 농도는 각각 27.6 ppm과 12.6ppm으로 우리나라의 허용기준 1ppm을 훨씬 초과하고 있다. 1개소인 "E"사업장은 염화비닐에 대한 근로자 폭로 평가가 다시 실시되어야 한다고 판단된다.

② PVC수지제조 근로자의 염화비닐폭로는 "A"사업장이 평균 0.12ppm "B"가 0.86ppm 그리고 "C" 1.23ppm으로 분석되었다.

③ PVC수지제조 공정별 근로자의 염화비닐폭로농도가 가장 높은 공정은 "A"사업장의 증류 및 건조가 0.67ppm "B"사업장은 중합이 1.23ppm 그리고 "C"사업장도 중합이 1.46ppm으로서 허용기준 1ppm을 초과하고 있다. 한편 "B"사업장과 "C"사업장에서는 근로자가 가장 많은 시간을 상주하는 조정실에서도 0.91ppm, 0.65ppm이나 분석되었다.

④ AIHA의 염화비닐에 대한 근로자 폭로평가 결과 "A"사업장은 평균 0.37ppm으로써 폭로정도는 "바람직한(Acceptable)"것으로 나타났으나

“B”와 “C”사업장은 각각 평균 1.16ppm과 1.67ppm으로써 즉각적인 작업환경개선 대책을 요구하고 있다. 한편 “A”사업장도 중합과 증류 및 건조 공정의 열화비닐에 대한 근로자 폭로 평가는 “바람직하지 않은(not acceptable)”것으로 평가되어 즉각적인 작업환경개선 대책이 필요한 것으로 분석되었다.

⑤ PVC수지제조 공정의 열화비닐관리 대책은 공정라인의 어음(팩킹, 볼트, 너트, 플랜지 등)의 철저한 관리 및 테스트(leak test)와 조정실의 양압 시스템 설치 그리고 여과된 청정 공기의 급기 및 배기 등의 공학적인 대책이 요구된다. 그리고, 적절한 근로자폭로평가를 위한 주기적인 작업환경측정이 반드시 필요하다.

참고 문헌

김승택 : PVC제조공장 근로자의 VCM 폭로수준 추정 방법 및 건강진단 시행방법 개발에 관한 연구. 1992, 1992년도 직업병예방을 위한 연구용역 보고서.
 박동욱 : PVC 압출공정의 열화비닐 발생특성과 작업환경 개선에 관한 사례연구. 산업위생학회지, 1993, 제3권 제1호.
 ACGIH : *TLVs Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices for 1993-1994*. ACGIH, Cincinnati, OH, 1992.
 ACGIH : *Industrial Ventilation A Manual of Recommended Practice, 20th ed., 1988 : Chapter 1.5*, Cincinnati, Ohio 45211 USA.
 American Industrial Hygiene Association, *A Strategy for Occupational Exposure Assessment*, ISBN 0-932627-46-3(1991).
 Corn M and Esmen NA. *Workplace Exposure Zones for Classification of Employee Exposures to Physical and Chemical Agents*. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1979 : 40 : 47-57.
 Creech JL and Johnson MN. : *Angiosarcoma of Liver in the manufacture of Polyvinyl Chloride*, *J. of Occup. Med.*, 1974 : 16 : 150-152.
 Dupont Co. : *LOGAN Workplace Exposure Evaluation System-User's Manual*. Akron, Ohio : Ame. Ind. Hyg. Assoc. : 1991.
 Gottesman RT : *Environmental and Regulatory Impacts on Future Poly Vinyl Chloride Growth Presentation for The Vinyl Chloride Safety Association Meeting San Francisco, California, Vinyl Institute, 1998 : NJ*.
 Heldaas SS. Anderson AA, and Langard S. : *Incidence of Cancer among Vinyl Chloride and Polyvinyl Worker : Further evidence for an association with malignant*

melanoma. *Br.J.Ind.Med* 1986 : 278-280.
 Heldaas SS. : *Incidence of Cancer among Vinyl Chloride and Poly Vinyl Chloride Workers*. *Br. J.Ind.Med.* 1984.41 : 25-30.
 Joe Damino : *A Guidance for Managing the Industrial Hygiene Sampling Function*, *Ame. Ind. Hyg. Asso.*, 1989 : 50 : 355-371.
 Joe Damino : *A Guidance for Managing the Industrial Hygiene Sampling Function*, *Ame. Ind. Hyg. Asso.*, 1989 : 50 : 336-371.
 Keith M. *The Workplace Exposure Assessment Expert System (WORKSPERT)*. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 53 : 84-98.
 Krom hout H. Symanski E and Rappaport SM. *A Comprehensive Evaluation of Within-and Worker Components of Occupational Exposure to Chemical Agents*. *Ann. Occup. Hyg.* 1993 : 37 : 253-270.
 Lars Hagmar : *Mortality and Cancer Morbidity in Workers Exposed to Low Levels of Vinyl Chloride Monomer at a PVC Processing Plant* *Ame. J. of Ind. Med.*, 1990 : 17 : 553-565.
 NIOSH : *Manual of Analytical Methods 3rd ed.*, Wasington, D.C., DHHS (NIOSH) Publication., 1989, 84-100.
 OSHA : *Code of Federal Regulatios, 1991 : part 1910-1017*.
 Otto Wong : *An Industry-Wide Epidemiologic Study of Vinyl Chloride Workers, 1942-1982*, *Ame. J. of Ind. Med.*, 1991 : 20 : 317-334.
 Preat B. *Application of Geostatistical Methods for Estimation of the Dispersion Variance of Occupational Exposures*. *Am. Ind. Hyg. Assoc. H.* 1987 : 48 : 877-884.
 Roach SA. *A Most Rational Basis for Air Sampling Programmes*. *Ana. Occyp. Hyg.* 1977 : 20 : 65-84.
 Smulevich VB Fedotova IV and Filatova VS : *Increasing Evidence of the Rise of Cancer in Workers Exposed to Vinyl Chloride* *Br. J.Ind.Med.* 1988 : 45 : 93-97.
 Simonato L et al : *A Collaborative Study of Cancer Incidence and Mortality among Vinyl Chloride Workers*, 1991 : 17 : 159-169.
 Tuggle RM : *NIOSH Decision Scheme : A Guidance for Managing the Industrial Hygiene Sampling Function*, *Ame. Ind. Hyg. Asso.*, 1989 : 50 :
 Tuggle RM : *NIOSH Decision Scheme : A Guidance for Managing the Industrial Hygiene Sampling Function*, *Ame. Ind. Hyg. Asso.*, 1989 : 50 :
 Wagoner, JK : *Toxicity of Vinyl Chloride and Poly Vinyl Chloride : A Critical Review*. *Env.Hea.Per.* 1983 : 52 : 61-66.