

공기중 수은 농도의 측정방법에 대한 비교평가연구

고려대학교 환경학과 연구소 · 서울대학교 보건대학원 산업보건학교실*

박주영 · 김광종 · 백남원*

— Abstract —

A Comparative Evaluation of Sampling Methods for Airborne Mercury Concentration

Ju Young Park, Kwang Jong Kim, Nam Won Paik*

*Institute for Environmental Health, Korea University
School of Public Health, Seoul National University, Seoul Korea**

This study was performed to evaluate methods for determination of airborne mercury in industrial environments.

Three methods, such as Hopcalite method, passive monitoring method and Jerome method were evaluated at two (2) fluorescent lamp manufacturing Plants in Korea during a period from May 24 to May 31, 1994 and the result are as follows:

1. The average were concentrations of airborne mercury were $26\mu\text{g}/\text{m}^3$ by Hopcalite method, $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ by passive monitoring method, and $38\mu\text{g}/\text{m}^3$ by the Jerome method, respectively, which were below the permissible exposure limit of $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ established by both the Korean Ministry of Labor and ACGIH. However, 12 out of 49 cases(24.4%) in plant A and 2 out of 31 cases(6.5%) in plant B were in excess of the standard.

2. The relationship between the results by Hopcalite method and the passive monitoring method was significant($r=0.892$).

3. The variation among three results by each of three methods were different by process. The highest variation was determined at quality control process("process b") which involved in large variation of concentrations.

4. When short term high concentrations were produced, the Hopcalite method was more efficient than the passive method.

Key Words : Mercury, Hopcalite, Passive, Jerome

* 이 논문은 1994년도 산업보건연구소 연구비 지원에 의하여 이루어졌음.

서 론

금속수은은 상온에서 액체 상태로 존재하는 유일한 금속이며 다른 금속과 달리 실온에서 증발되는 특성때문에 취급 부주의로 인하여 근로자가 쉽게 수은 증기에 폭로될 기회를 증가시켜 수은 중독을 유발시킬 가능성이 높다. 공기중 수은의 포화도는 기온과 관계가 있어서 기온이 40℃일 때에는 20℃일 때보다 4배나 증가 한다고 한다(Zenz, 1988).

수은 화합물은 금속수은, 무기수은, 유기수은으로 구별할 수 있으며, 우리나라에서 직업적으로 수은에 폭로되어 문제가 되고 있는 주입용은 형광등 제조업체로서 이들 업종에서는 금속수은을 사용하고 있다. 형광등 제조과정은 형광등 초자관을 열처리한 후 수은을 주입하는 공정이므로 수은 주입시 부주의로 바닥에 흘리거나 수은이 주입된 형광등의 파손, 형광등 양단의 봉합작업, 형광등 내부 공기의 진공배기 과정등에서 발생된 수은 증기에 쉽게 근로자가 폭로된다.

수은증기에 의한 주요 중독증상은 일반적으로 병적홍분, 진전, 치은염등이 나타나며(Doull, 1980; Smith, 1983; U.S. EPA, 1984; WHO, 1986; Zenz, 1988), 경증의 수은중독시이나 직업적으로 수은증기 폭로에 의한 초기의 건강장애로는 불면증, 식욕부진, 체중감소, 수줍음등의 신경 정신학적 증상(Smith et al, 1970)과 사지 말단의 감각이상, 사지 쇠약감등의 다발성 신경염의 증상들이 제시되고 있다(Hunter, 1969).

수은을 취급하는 근로자의 건강보호를 위해서는 우선 작업장의 공기중 수은농도의 측정방법에 대한 타당성있고 신뢰성있는 평가가 이뤄져야 할 것이다. 수은증기를 측정하는 여러가지 방법중 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH, 1984)에서 제시한 방법은 수은과 친화력이 있는 고체의 흡착제인 Hopcalite를 개인시료 채취기에 연결하여 시료를 채취하고 있으며, 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA, 1990)은 고체의 흡착제가 부착된 자동수동식 확산포집기인 passive monitor를 이용하여 시료를 채취하는 방법을 공정 시험법으로 채택

하고 있다. 그러나 Hopcalite법은 정확도와 정밀도는 우수하나 무덤고 이동이 많은 수은사업장의 특성상 작업자가 작업시간 내내 개인시료채취기의 착용을 꺼려 시료측정시 어려움이 있고, 측정자가 측정전후에 시료포집의 유속을 보정하고 충전을 해주어야 하는 불편이 있다. passive monitor법은 개인시료 채취기를 사용하지 않으므로 작업자가 착용하기 편리하고 개인시료 채취기의 충전 및 보정이 필요없으나 수은의 단시간 폭로나 최고치를 구하기 어렵다. 이외의 방법으로는 금막 수은증기 분석법(Gold Film Mercury Vapor Analyzer, Arizona Instrument Corp., Jerome 431, AZ, 이하 Jerome), 임핀저(impinger)방법 등이 있다. 이중 Jerome법은 수은증기가 존재할 때 얇은 금막에 수은 질량에 비례하는 전기저항이 증가하여 작업장의 순간적인 농도를 직독식으로 측정할 수도 있고, 금막 코일측정기를 일정시간동안 개인포집기로 측정하여 측정된 수은증기를 증발시켜 감지하는 개인시료 포집기로도 사용할 수 있다. 임핀저법은 파망간산칼륨·황산 흡수액을 이용한 액체포집법으로 개인시료 포집용으로는 사용할 수 없고 고농도 폭로에 대한 장시간 측정이 어려우며, 개인시료채취기 고장의 원인이 된다.

우리나라에서 사용한 수은사업장의 공기중 수은농도의 측정방법은 90년초까지 임핀저 방법을 이용하여 작업장 공기중 수은농도를 평가하였으나, 현재는 Hopcalite법을 주로 이용하여 근로자 개인의 폭로를 평가하고 있다. 그러나 근로자가 시료채취기의 장시간 착용에 불편을 호소하고 있으며 비협조로 인하여 정확한 공기중 수은농도 측정방법이 이루어지지 않아 이에 대한 타당한 측정방법이 검토되어야 한다고 생각한다.

본 연구는 수은 사업장에서 공기중 수은농도 측정방법중 Hopcalite법과 아직 국내에 도입되지 않았으나 최근 관심이 높아진 passive monitor법, 그리고 조작성이 간단하고 측정이 빠른 Jerome법 등 세가지 방법에 의한 공기중 수은농도를 작업공정특성에 따라 적절하고 정확한 측정방법을 제시하는 기초자료를 제공하고자 한다.

본 연구의 구체적 목적은 다음과 같다.

(1) 금속수은을 취급하는 형광등 제조업체 2개소를 대상으로 세가지 측정방법을 동시에 사용하여 공

기준 수은증기를 포함하여 농도를 평가한다.

(2) 작업공정과 일간변화에 따른 새가지 측정방법에 의한 측정치를 평가하여 각 측정방법 선택시 고려할 요인을 파악한다.

(3) Hopcalite법을 이용하여 측정시 오전, 오후 간 일중 변화의 적비교와 상관관계를 실시하여 일중 농도변화를 평가한다.

연구대상 및 방법

1. 대상 및 기간

본 연구는 경기도에 소재한 형광등 제조업체 2개소에서 실시하였다. 우리나라 노동부 노출기준(노동부, 1995)인 $50\text{g}/\text{m}^3$ 을 기준으로 초과사업장인 1개소는 1994년 5월 24일부터 27일까지 4일간 16명의 근로자를 대상으로 작업환경을 측정하였으며, 미만사업장인 다른 1개소는 1994년 5월 30부터 31일까지 2일간 16명의 근로자를 대상으로 시료를 채취하였다.

2. 공기중 수은 농도 측정

공기중 수은농도의 측정방법은 NIOSH의 공정시험법(NIOSH Method, No. 6009)인 Hocalite법(NIOSH, 1984), OSHA의 공정시험법(OSHA ID 140)인 passive monitor법(OSHA Technical Center, 1989; OSHA, 1990)을 적용하여 근로자의 호흡기 위치(breathing zone)에 시료채취기를 동시에 착용시켰으며 시료를 측정하는 동안에 일정한 간격으로 Jerome을 사용하여 순간적인 공기중 수은 농도를 직접 읽었다.

1) Hopcalite법(NIOSH Method No. 6009)

개인시료 포집기의 holder에 Hopcalite를 연결하여 근로자의 호흡기 위치에서 유량을 0.05-0.20 LPM으로 오전, 오후시료로 나눠 8시간동안 채취하였다. 개인시료기의 유량의 보정은 비누거품법(soup bubble method)을 이용하여 측정전과 후에 실시하였다.

공기중 시료를 채취한 후 50ml volumetric flask에 Hopcalite 흡착제 및 알층 유리솜을 함께 집어 넣고 conc-HNO₃와 conc-HCl을 차례로 가했다. 흡착제가 완전히 용해될 때까지 1시간정도 방치

한 후 탈이온수를 이용하여 희석하였다. 상기 용액의 일정량을 100ml volumetric flask에 넣고 탈이온수로 희석한 후 원자흡광광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer, IL-551, England)의 냉각 증기 발생기(Cold Vapor Generator, IL-440, England)에서 10% 염화주석으로 수은을 환원시켜 253.7nm의 파장에서 측정하였다. 5개 농도의 수은 표준액을 만들어 분석하여 점량선을 작성하고 회수율과 공시료로 보정하여 정량하였다.

2) Passive monitor법(OSHA ID 140)

Passive monitor에 흡착캡슐(sorbent capsule)을 조립한 후 시료포집작업장의 온도와 압력을 기록하고 보호뚜껑(protection cap)을 제거한 후 근로자의 호흡기 위치에 부착하였다. 8시간동안 시료를 측정된 후 monitor로부터 흡착캡슐을 조심스럽게 꺼내 흡착주머니에 넣고 평평하게 눌러 밀봉하고, 시료포집 정지시간과 최종온도와 압력을 기록하였다. 총 시료포집시간과 평균 온도, 평균 압력을 계산하고 기록하여 농도계산시 보정하였다. 흡착캡슐의 시료분석은 Hopcalite법과 동일하나 희석과정에서 탈이온수 대신 10% HNO₃를 사용하였다.

3) Jerome법

Jerome를 이용하여 상기한 두가지 측정방법으로 측정하는 동안 동시에 병행하여 2시간 간격으로 근로자의 호흡기 위치에서 순간적인 농도를 2-3회씩 측정하여 기하평균치로 8시간동안의 측정치를 나타냈다. 0점 조절은 기기의 감지기 재생(sensor regeneration)과정을 통해 실시하였다(Arizona Ins. Co., 1988).

3. 수은노출 작업공정 분류

일반적인 형광등 제조과정의 공정을 보면 다음과 같다. 즉, 세척 건조된 유리관 내벽을 배합(mixing)한 형광물질로 도포시킨 후(coating) 프로판 가스의 열로 가열시키고 초차판 양단에 도포된 형광물질을 제거시킨다. 그리고 형광등 양단에 전극을 봉합하기 위하여 플레어(flare)를 제조하고 여기에 배기관과 도입선을 삽입하는 스템(stem)공정을 거쳐 도입선에 필라멘트를 연결하는 마운팅(mounting)을 거친다. 또 형광물질이 도포된 초차판 양단에 필라멘트를 봉합하는 실링(sealing)공정을 거친

후 배기(exhausting) 공정에서는 초자관을 열처리하여 진공 배기시킨 후 초자관내의 배기관을 통하여 급속수은이 주입되며 이 공정에서만 유일하게 수은을 사용한다. 수은이 주입된 형광등 양단에 배이스핀을 꽂은 후 납땜을 하는 베이싱(basing) 공정을 거쳐서 점등시험을 한 후 포장한다(차철환등, 1992). 또 이와 별도로 형광등의 품질관리(QC), 시설수리를 담당하는 공무, 그리고 기계배선상의 문제를 담당하는 전기과가 있다. A 사업장의 경우 코팅부터 포장까지의 7개의 공정라인이 있는데 하나의 개방된 공간에 직관라인이 6개중 5개, 다른 개방된 공간에 1개의 곡관라인이 가동되고 있다. 작업장의 밀폐된 공간에 있는 품질관리실은 출입시 신발과 의복에 의해 수은에 폭로되고 있으며 통풍이 잘 이루어지지 않는 전기과 역시 고장난 기계를 옮겨와 수리하므로 기계에 잔존하는 수은에 폭로된다. 공무과는 전기과보다 큰 기계를 수리하므로 기계에 잔존하는 수은에 의한 폭로는 크나 통풍이 잘 이루어지는 차이가 있다. 하지만 전기과와 공무과 모두 작업장에서 직접 수리 작업도 하므로 작업장 바닥에 잔존하는 수은에 폭로된다.

작업공정상의 특성에 따라 A 사업장의 공정을 다섯가지로 구분하였다. "a"는 수은을 직접 취급하는 배기공정이며, "b"는 작업장내의 밀폐된 공간에서 형광등 품질관리를 담당하는 품질관리공정이며, "c"는 시설수리를 담당하는 전기, 공무과이며, "d"는 배기대와 가장 가깝고 고온작업인 실링, 플레어공정이며 "e"는 배기대와 가장 멀리 떨어져 있으며 작업장 온도도 낮은 배합공정이다.

B 사업장은 하나의 개방된 공간에 2개의 직관라인에서 작업이 이루어지고 있으며 품질관리와 공무를 겸하는 공정과가 있으나 수리는 작업장에서만 이루어지고 있었다. 공정과 사무실은 작업장과 별도로 공장 2층에 있으며 자연배기가 잘 이루어지고 있었다. B 사업장도 작업공정에 따라 공정을 다섯가지로 구분하였다. "a"는 배기 공정, "b"는 스템, 마운트 공정, "c"는 베이싱 공정, "d"는 실링 공정, 그리고 "e"는 공정과이다.

4. 통계처리

통계적 분석은 SAS package program을 이용하여 세가지 측정방법에 따른 공기중 수은 농도의

평균과 표준편차를 구하였고, 각 변수간 상관분석과 회귀분석을 실시하였다.

세가지 측정방법간의 차이는 분산분석, 일중 차이는 paired t-test를, 작업공정별, 일간에 따른 차이는 다중비교 분산분석을 실시하였다.

조사결과 및 고찰

1. 측정방법별 공기중 수은 농도의 측정결과와 비교분석

일반적으로 작업환경중 유해물질의 농도 분포는 정규분포보다는 대수정규분포(lognormal distribution)를 하는 것으로 알려져 있다(ACGIH, 1989). Fig. 1은 연구대상 사업장 전체의 측정방법별 공기중 수은 농도를 대수 누적분포로 나타낸 것이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 수은의 농도분포가 근사적으로 대수정규분포를 하고 있음을 알 수 있다.

따라서 측정방법별 공기중 수은의 평균농도 및 표준편차를 기하평균과 기하표준편차로 표시하였으며, 각각의 수은 농도값은 작업시간동안의 시간가중평균치(Time-Weighted Average, TWA)로 나타냈었다.

연구의 대상인 형광등 제조업체 2개소에 대한 시료측정방법별 공기중 수은 농도의 측정결과를 Table 1과 Figure 2에서 보는 바와 같이 공기중

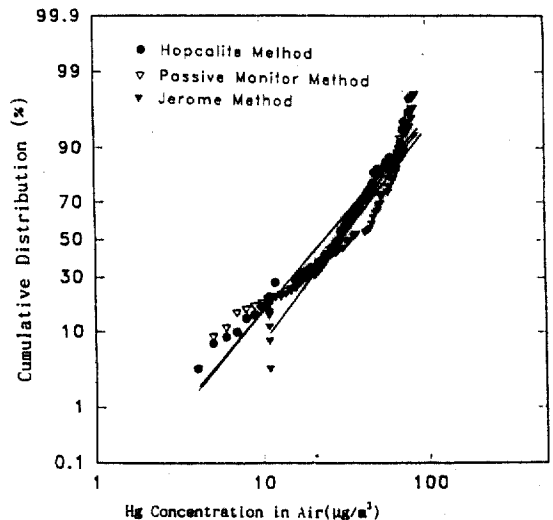


Fig. 1. Cumulative Distribution of Hg Concentrations in Air by Sampling Method.

Table 1. Mercury Concentrations in Air by Sampling Method

Plant		Sampling Method		
		Hopcalite	passive	Jerome
A	No. of samples	49	57	56
	GM, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35	35	50**
	GSD	1.77	1.84	1.73
	Range, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	9 - 117	5 - 94	8 - 128
B	No. of samples	31	32	32
	GM, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	16	13	24**
	GSD	2.16	2.46	1.86
	Range, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5 - 78	3 - 77	11 - 90
Total	No. of samples	80	89	88
	GM, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	26	25	38**
	GSD	2.14	2.40	1.95
	Range, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5 - 117	3 - 94	8 - 128

GM : Geometric Mean

GSD : Geometric Standard Deviation

** : $p < 0.05$

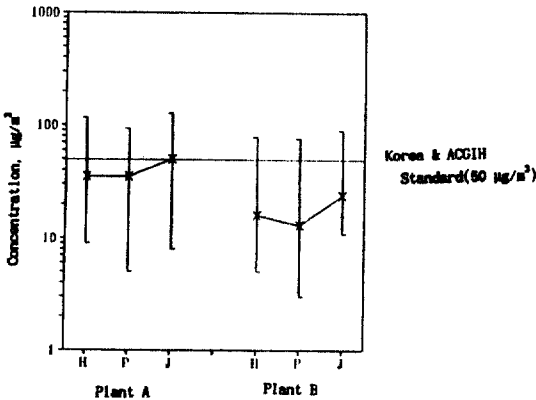


Fig. 2. Mercury Concentration by Sampling Methods.

수은의 기하평균 농도는 Hopcalite법이 $26\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5-117 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), passive monitor법이 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3-94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 그리고 Jerome법이 $38\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8-128 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 Jerome법에 의한 기하평균농도는 두 방법의 기하평균보다 높게 나타났다 ($p < 0.05$). 이러한 결과는 Jerome법의 경우 작업자의 휴식시간, 이동시간등 거의 폭로가 이루어지지않는 상황을 모두 반영하지 못하므로 작업시간동안의 시간가중평균치로는 과대평가되는 것으로 판단된다. A 사업장의 경우 Hopcalite법에 의한 공기중 수은의 기하평균농도는 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ (9-117 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), passive monitor법이 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5-

94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 그리고 Jerome법이 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (80-128 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 Jerome법이 두 방법보다 높게 나타났으며 ($p < 0.05$) B 사업장에서는 Hopcalite법이 $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5-78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), passive monitor법이 $13\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3-77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 그리고 Jerome법이 $24\mu\text{g}/\text{m}^3$ (11-90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 Jerome법이 passive monitor법보다 높은 결과를 나타냈다 ($p < 0.05$).

Hopcalite법으로 측정된 결과를 보면 두 사업장의 기하평균 농도는 $26\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5-117 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 우리나라 노동부 및 ACGIH에서 정한 노출기준(노동부, 1995; ACGIH, 1992)인 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만이었으나, 사업장별로 노출기준을 초과한 백분율을 보면 A 사업장은 49건 중 24.4% (12건)이고, B 사업장은 31건 중 8.5% (2건)이었다.

Table 2는 공기중 수은 농도의 세 측정방법간의 상관관계를 나타낸 것으로 Hopcalite법과 passive monitor법에 의한 상관계수는 $r=0.892$ 로 가장 높은 상관성 ($p < 0.001$)을 보였으나 다른 연구(Cee. et al, 1989)에서 보여준 0.985와는 차이를 보였다.

Table 2. Correlation Coefficient Between Mercury Concentrations in Air According to Sampling Methods

	logH	logP
logP	0.892**	
logJ	0.729**	0.699**

logH : Log Transformation of Mercury Concentrations by Hopcalite Method

logP : Log Transformation of Mercury Concentrations by passive monitor

logJ : Log Transformation of Mercury Concentrations by Jerome Method

** : $p < 0.001$

그리고 Hopcalite법과 Jerome법에 의한 수은농도 간 상관계수는 0.729 ($p < 0.001$), passive monitor법과 Jerome법에 의한 수은농도간의 상관관계는 0.699 ($p < 0.001$)로 비교적 낮은 상관성을 보였다.

Table 3은 Hopcalite법에 의한 공기중 수은농도를 종속변수로, passive monitor법과 Jerome법에 의한 수은농도를 독립변수로 하여 단순선형회귀식을 구한 것이다. 두 선형회귀식 모두 통계적 유의성이 있었으며 Hopcalite법과 Jerome법에 의한 공기중

Table 3. Simple Regression Analysis of Mercury Concentrations in Air Between Sampling Methods

Plant	Regression equation	F	p-value	r ²
A	logH = -0.952 + 0.708 logP	70.31	0.0001	0.60
	logH = -1.534 + 0.606 logJ	22.51	0.0001	0.33
B	logH = -0.784 + 0.779 logP	135.45	0.0001	0.82
	logH = -0.994 + 0.855 logJ	27.20	0.0008	0.48
Total	logH = -0.738 + 0.779 logP	292.67	0.0001	0.79
	logH = -0.931 + 0.835 logJ	87.33	0.0001	0.53

Table 4. Mercury Concentrations in Air Among Working Process by Collection Methods

		unit (Range,GM) : $\mu\text{g}/\text{m}^3$												ANOVA-test
Plant	Process	Hopcalite				passive				Jerome				
		N	Range	GM	GSD	N	Range	GM	GSD	N	Range	GM	GSD	
A	a	12	22-72	43	1.48	17	24-94	49	1.52	16	13-86	47	1.68	p<0.05
	b	6	16-79	43	1.76	6	16-45	25	1.50	6	63-128	86	1.37	
	c	8	33-117	59	1.57	9	34-84	53	1.39	9	20-85	59	1.60	
	d	19	12-70	28	1.52	21	11-89	32	1.71	20	13-96	49	1.57	
	e	4	9-32	15	1.79	4	5-33	12	2.19	4	8-34	20	1.89	
B	a'	6	18-78	33	1.62	6	25-77	34	1.51	6	18-85	45	1.88	p>0.05
	b'	6	12-39	21	1.54	6	9-33	20	1.63	6	17-44	27	1.38	
	c'	8	5-20	9	1.66	8	4-13	6	1.45	8	13-19	15	1.17	
	d'	6	5-50	21	2.41	6	5-38	21	2.27	6	17-90	39	1.88	
	e'	5	5-11	8	1.37	6	3-8	5	1.45	5	11-15	13	1.13	

a : Process of exhausting

b : Process of quality control

c : Process of electron, engineering

d : Process of sealing, flare

e : Process of coating

a' : Process of exhausting

b' : Process of stem, mount

c' : Process of basing

d' : Process of sealing

e' : Process of progress

수은농도간의 결정계수(r^2)는 0.53으로 Hopcalite 법과 passive monitor법의 0.79보다 작게 나타났다. 사업장별 Hopcalite법과 passive monitor법에 의한 수은농도는 선형회귀식의 결정계수가 A 사업장의 경우 0.60으로 B 사업장의 0.82보다 작게 나타났다.

2. 작업공정별 측정결과 및 평가

작업공정상의 특성에 따라 분류한 각 생산공정들에서 공기중 수은의 평균 농도는 Table 4와 Fig. 3, 4에서 보는 바와같다. A 사업장의 경우 "a"공정의 공기중 수은의 평균농도는 Hopcalite법에서 $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, passive monitor법에서 $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 Jerome법에서 $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 각각 조사되었고, "b"공

정의 평균농도는 Hopcalite법이 $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, passive monitor법이 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 Jerome법이 $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 각각 조사되었다. "c"공정의 평균농도는 Hopcalite법이 $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, passive monitor법이 $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 Jerome법이 $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 각각 조사되었고, "d"공정의 평균농도는 Hopcalite법이 $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, passive monitor법이 $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 Jerome법이 $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 각각 조사되었으며, "e"공정의 평균농도는 Hopcalite법이 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, passive monitor법이 $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 Jerome법이 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 각각 조사되었다.

A 사업장의 경우 Hopcalite법-passive monitor법과 passive monitor법-Jerome법간의 공기중 수은농도는 "b"공정이 "a"와 "c", "d", 그리고 "e"공

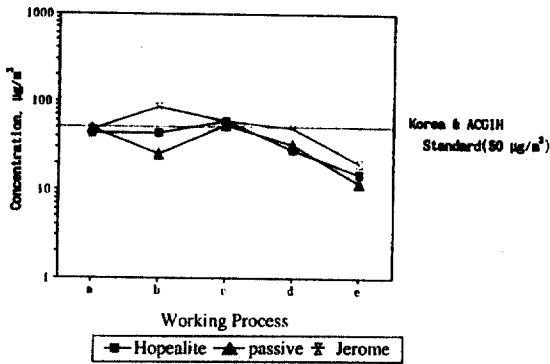


Fig. 3. Mercury Concentration by Working Process Among Collection Methods - Plant A.

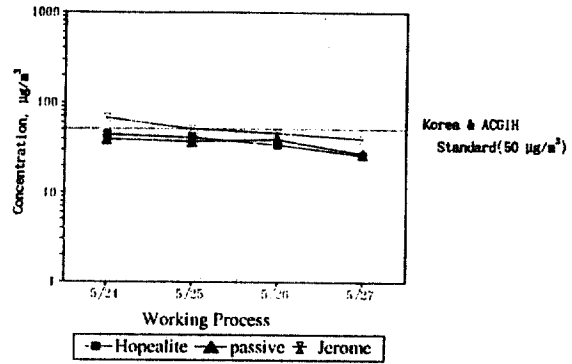


Fig. 5. Mercury Concentration in Air by Sampling Date - Plant A.

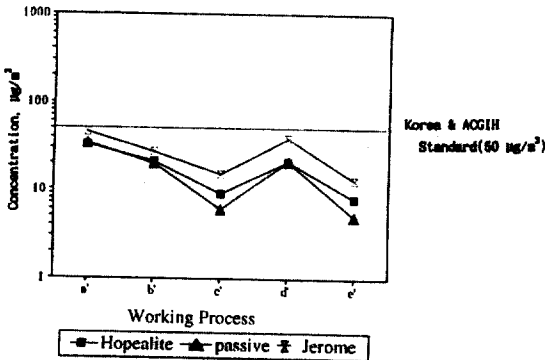


Fig. 4. Mercury Concentration by Working Process Among Collection Methods - Plant B.

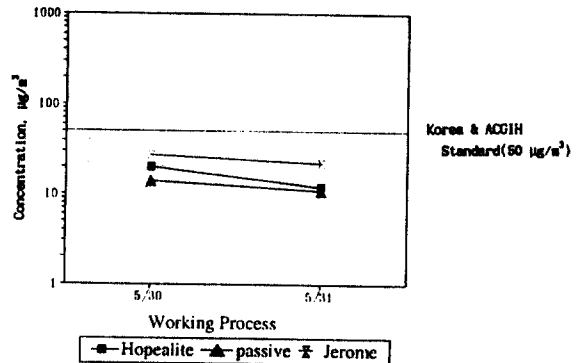


Fig. 6. Mercury Concentration in Air by Sampling Date - Plant B.

정보보다 유의하게 큰 차이를 보였다($p < 0.05$). 특히 "b"공정은 Jerome법, Hopcalite법, 그리고 passive monitor법순으로 높은 결과가 나타났다. 이러한 차이는 "b"공정의 작업자가 수행하는 세가지 형태의 작업때문으로 판단된다. 즉 고농도의 수은폭로 환경인 품질관리실작업, 수시로 완성된 형광등을 품질관리실로 옮기는 작업, 그리고 포장된 제품을 창고로 이동하는 작업으로 품질관리실의 농도를 자주 측정한 Jerome의 결과가 가장 높고, 기계적으로 공기중 수은을 흡입하는 Hopcalite법에 비해 장기간의 확산에 의존하는 passive monitor법의 농도가 낮아진다고 판단된다. Hopcalite법-Jerome법간 차이는 공정별로 유의하게 큰 차이를 보였는데 ($p < 0.01$) "b"공정이 가장 큰 차이를 보이고 항상 고농도에 폭로되는 "c"공정이 가장 작은 차이를 보였다.

이러한 "b"공정을 포함시켰을 때와 포함시키지 않았을 때 Hopcalite법-passive monitor법의 상관계

수는 0.78, 0.84이며 선형회기방정식의 결정계수는 0.60, 0.70으로 "b"공정의 작업환경측정시 포집방법은 passive monitor법보다 Hopcalite법이 적절하다고 판단된다.

B 사업장은 공정에 따른 수은 측정방법간의 평균 농도 차이는 통계적으로 유의하지 않았다.

3. 공기중 수은 농도의 일간 변화

수은취급 작업장의 공기중 수은의 일간 평균 농도는 Table 4와 Fig. 5,6에서 보는 바와 같이 A 사업장은 5월24일부터 27일까지 나흘간 연속적으로 측정하였는데 날짜 순서대로 농도차이를 보였다($p < 0.05$). 특히, 첫날인 24일의 기하평균농도는 Hopcalite법이 $44\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($17-79\mu\text{g}/\text{m}^3$), passive monitor법이 $39\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($5-94\mu\text{g}/\text{m}^3$), 그리고 Jerome법이 $67\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($26-128\mu\text{g}/\text{m}^3$)로 다른 날 보다 더 높게 나타났다. 이러한 결과는 24일은 불량율이 높아서 작업장

Table 5. Mercury Concentrations According to Sampling Dates

Plant	Date	unit (Range,GM) : $\mu\text{g}/\text{m}^3$												ANOVA-test
		Hopcalite				passive				Jerome				
		N	Range	GM	GSD	N	Range	GM	GSD	N	Range	GM	GSD	
A	5/24**	11	17- 79	44	1.64	14	5- 94	39	2.04	13	26-128	67	1.58	p<0.05
	5/25	12	9-117	41	1.85	14	10- 89	37	1.98	13	8- 96	51	1.91	
	5/26	14	16- 88	34	1.70	16	16- 84	39	1.59	16	23- 85	46	1.42	
	5/27**	12	10- 72	26	1.76	13	11- 75	27	1.72	13	13- 83	40	1.97	
B	5/30**	15	6- 78	20	2.02	16	4- 77	14	2.43	16	14- 85	27	1.87	p>0.05
	5/31	16	5- 36	12	2.18	16	3- 38	11	2.51	16	11- 90	22	1.87	

의 순간 고폭로가 많았기 때문에 판단된다. 27일의 기하평균농도는 Hopcalite법이 $26\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($10\text{-}117\mu\text{g}/\text{m}^3$), passive monitor법이 $27\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($11\text{-}75\mu\text{g}/\text{m}^3$), 그리고 Jerome법이 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($13\text{-}83\mu\text{g}/\text{m}^3$)로 가장 낮은 농도를 보이는 데 이는 다음날에 있을 사업장 행사로 작업이 일찍 종료됐기 때문이다. 측정방법간의 일간차이는 Hopcalite-passive법간의 일간차이는 통계적으로 유의한 차이를 보였으며 ($p<0.05$) 다른 방법간의 일간차이는 보이지 않았다. B 사업장은 30, 31일 연속 측정하였는데 30일의 평균농도가 31일보다 높게 나타났다 ($p<0.05$). 이는 30일은 일부 근로자들이 작업장의 덕트공사를 배기대 주변에서 수행하여 평소보다 높은 수은농도에 폭로됐기이다. 측정방법간의 일간 차이는 나타나지 않았다 ($p>0.05$).

4. 공기중 수은농도의 일중 변화

공기중 수은 농도는 Hopcalite법으로 하여 오전, 오후시료를 나눠서 채취하였으며 Table 6는 두 사업장의 오전, 오후의 공기중 수은의 평균농도를 나타낸 것이다. 오전과 오후의 두군간의 공기중 수은의 평균 농도차이는 통계적으로 유의하였으며 ($p<0.05$), 0.53의 상관관계를 보여 오전 농도만으로 오후농도를 예측할 수 없었으며 공정과 일간에 따른 수은농도의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다 ($p>0.05$). B사업장에서 두 시료간의 공기중 수은의 평균농도간에는 차이가 통계적으로 유의하지 않았다. 일간에 따른 시료간 차이도 유의하지 않았고 ($p>0.05$), 0.79의 상관관계를 보였으나, 공정에 따른 시료간 차이에서 "a"와 "b"공정간이 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($P<0.05$). 이러한 결과는 배

Table 6. Mercury Concentrations in Air by Hopcalite Methods in the morning and in the afternoon

Plant	Data	Mercury concentration in air	
		Morning	Afternoon
A	No.of samples	49	49
	GM, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	30	38**
	GSD	1.95	1.95
	Range, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5 - 148	5 - 105
B	No.of samples	31	30
	GM, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	16	15
	GSD	2.45	2.13
	Range, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3 - 120	4 - 140

** : $p<0.05$

기공정("a")과 스템, 마운트 공정("b")에서 작업하는 일부 근로자의 순환근무때문으로 판단된다. 이러한 결과로 보아 수은 사업장의 근로자는 일중 농도 변화가 있는 작업환경에 폭로되므로 Hopcalite법으로 수은 사업장의 수은 농도를 측정할 경우 오전, 오후시료를 모두 측정하여 평가하여야할 것이다.

결 론

본 연구는 1994년 5월 24일부터 5월 31일까지 경기도에 소재한 형광등 제조업체 2개소를 선정하여, 수은증기에 노출된 근로자를 대상으로 공기중 수은 농도의 측정방법인 Hopcalite법, passive monitor법 및 Jerome법을 적용하여 이들 결과를 비교 평가하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 측정방법별 공기중 수은의 기하평균농도는 Hopcalite법이 $26\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($5\text{-}117\mu\text{g}/\text{m}^3$), passive monitor법이 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($3\text{-}94\mu\text{g}/\text{m}^3$), 그리고 Jerome법

이 $38\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($8\text{-}128\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 Jerome법이 다른 두 방법보다 높게 나타났다($p<0.05$). Jerome법은 작업자의 휴식시간, 이동시간등 실작업시간동안의 노출상태를 모두 반영하지 못하므로 작업시간동안의 시간가중평균치로는 과대평가된다고 판단된다.

2. Hopcalite법과 passive monitor법간에 의한 공기중 수은농도간에는 높은 상관성($r=0.892$)을 보였으나 A 사업장의 경우 Hopcalite법-passive monitor법간 선형회귀식($\log H = -0.952 + 0.708 \log P$)의 결정계수(r^2)는 0.60으로 B 사업장의 선형회귀식($\log H = -0.784 + 0.779 \log P$)의 결정계수(r^2)인 0.82보다 작게 나타났다.

3. 작업공정에 따른 공기중 수은농도의 측정방법을 평가하면, A 사업장의 경우 작업내용에 따른 수은폭도변화가 큰 품질관리("b")공정이 다른공정에 비해 통계적으로 유의하게 큰 차이를 보였으며($p<0.05$) "b"공정을 포함시켰을 때와 포함시키지 않았을 때 Hopcalite법-passive monitor법간 상관관계는 0.78, 0.84이며, 선형회귀식의 결정계수는 0.60, 0.70으로 "b"공정의 작업환경측정시 측정방법은 passive monitor법보다 Hopcalite법이 적절하다고 판단된다. B 사업장의 경우 공정에 따른 수은 측정방법간 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p>0.05$).

4. 일간 변화에 따른 측정방법의 평가시 불량률이 높아 순간 고폭로가 많은 날은 Hopcalite법이 passive monitor법보다 높게 나타났다($p<0.05$). 이는 능동적으로 공기중 수은을 흡입하는 Hopcalite법에 비해 장시간의 확산에 의존하는 passive monitor법이 작업장의 순간 고폭로를 제대로 반영하지 못하는 것으로 판단된다.

5. Hopcalite법의 오전, 오후시료의 짝비교시 A 사업장의 차이는 통계적으로 유의하며($p<0.05$) 0.53의 상관관계를 보였으며, B 사업장의 차이는 통계적으로 유의하지 않았으며($p>0.05$) 0.79의 상관관계를 보였으나 공간간 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).

참 고 문 헌

Zenz C : *Occupational Medicine, Principles and Practical Application, 2nd ed., Chicago, Year Book*

Medical Publishing Inc., 1988

Doull J, Klassen C, Amdur M : *Toxicology, 2nd ed., New York, Macmillan Publishing Inc., 1980*

U.S.Environmental Protection Agency : *Mercury Effects Update, Health Issue Assessment, Office of Health and Environmental Assessment, Washington, 1984*

Smith PJ, Langolf GD, Goldberg J : *Effects of Occupational Exposure to Elemental Mercury on Short Term Mercury. Bri J Ind Med 1983;40:413-419*

World Health Organization : *Early Detection of Occupation Diseases, World Health Organization, Geneva, 1986*

Smith RG, Verwald AJ, Patilil LS, Mooney TF : *Effects of Exposure to Mercury in the Manufacture of Chlorine. Am Ind Hyg Assoc J 1970;31:687-700*

Hunter D : *The Disease of Occupation, 4th ed., Boston, MA. Little Brown & Co., 1969;232-288*

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). *Method No. 6009, Mercury, NIOSH Manual of Analytical Methods, 3rd ed., Ohio, DHHS(NIOSH) Publication, Cincinnati, 1989*

Occupational Safety and Health Administration(OSHA) *Technical Center, Mercury VAPOR IN WORKPLACE ATMOSPHERES, OSHA-SLTC Method No. ID-140, Salt Lake City, Utah, 2nd ed., Revised 1990*

OSHA Technical Center. *Evaluation of Mercury Solid Sorbent Passive Dosimeter by J. Ku. OSHA-SLTC Back-up Report for Method No. ID-140, Salt Lake City, Utha, Revised 1989*

Arizona Instrument Corp. *Jerome 431 Mercury Vapor Analyzer Operation Manual, 1988*

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH : *Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants, 7th ed., ACGIH Inc., 1989*

ACGIH : *TLVs Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices for 1993-1994. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 1992*

Cee R, Ku J, Zimowski E, Edwards S, Septon J. "An Evaluation of Mercury Vapor Sampling Devices." *Paper Presented and Published in Proceedings of the Mercury in Mining Conference, USDOL/MSHA, Nevada State Division of Mine Inspection, and the Nevada Mining Association, Winnemucca, Nevada, 1989*

노동부: 유해물질 허용농도, 서울, 노동부고시 제 95-21호, 노동부, 1995

차철환, 김광중, 염용태: 우리나라 수은 취급업체의 작업공정 및 수은 중독 위험도에 관한 조사연구. *대한산업의학회지* 1992;4(1):92-104