

일부 영세 도금사업장의 국소배기성능과 공기중 총크롬, 6가 크롬 및 니켈농도와의 관계분석

한국산업안전공단 산업보건연구원

박동욱 · 박두용 · 신용철 · 오세민 · 정규철

— Abstract —

Evaluation on the Efficiencies of Local Exhaust Systems and Airborne Concentrations of Total Chromium, Hexa-valent Chromium and Nickel in Some Electroplating Plants

D.U. Park, D.Y. Park, Y.C. Shin, S.M. Oh, and K.C. Chung

Industrial Health Research Institute Korea Industrial Safety Corporation

To evaluate efficiencies of the local exhaust systems installed in chromium and nickel electroplating tanks, specifications of each tank and general performances of the local exhaust systems were measured in 16 electroplating plants from July 3 to November 24, 1992. Airborne concentrations of total chromium, hexa-chromium and nickel were also measured. Most of the local exhaust systems installed in electroplating plants were inadequately designed. Average capture velocities of local exhaust systems in chromium and nickel tanks were 0.45 m/sec and 0.29 m/sec. Average slot velocities in chromium and nickel tanks were 7.30 m/sec and 2.87 m/sec respectively. Both average capture and slot velocities were in noncompliance with the standards recommended by American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) and National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Exhausted air volume was insufficient in all local exhaust systems surveyed.

Worker exposure levels to total chromium, hexa-chromium and nickel were $43.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, which were below the Korean Standard and U.S. Occupational Health and Safety Administration (OHSA) Permissible Exposure Limit (PEL). However, Worker exposure level to hexa-chromium exceeded the NIOSH Recommended Exposure Limit (REL) of $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

As the result of Scheffee's multiple comparisons, worker exposure levels to all metals were significantly different between two groups by the management state of existing local exhaust systems ($p < 0.05$). However, Difference between a group with local exhaust sys-

tems which were poorly managed and another group without local exhaust system was statistically non-significant.

I. 서 론

유해물질을 취급하는 발생원에서 유해요인을 직접 제거하는 국소배기장치는 중요한 작업환경 개선방법이다. 그러나 대부분의 영세규모 사업장에 설치된 국소배기장치는 설계 및 시공의 전문성 결여, 국소배기시설의 감리제도 불합리, 유지관리 기술미흡, 그리고 전문가관의 국소배기시설 성능 평가 기법 미흡 등으로 인해 유해요인에 대한 효율적인 제어기능을 담당하고 있지 못한 경우가 많다.

조립금속제품 제조업중 도금공정(electroplating)에서는 취급 유해화학물질의 종류도 많고 근로자에 대한 유해위험도(hazard potential class)도 큰 것으로 보고되고 있다(ACGIH, 1989). 미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists: ACGIH)와 우리나라 노동부에서는 공기 중 크롬에 대한 허용농도로서 6가 크롬에 대하여 0.05 mg/m^3 ($50 \mu\text{g/m}^3$)으로 정하였고, 특히 불용성 6가 크롬에 대하여는 “인체에 암을 일으키는 것으로 확인된 물질”인 “A1”으로 분류하고 있다(노동부, 1992: ACGIH, 1992). 한편, 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH)에서는 발암성물질인 6가 크롬에 대하여 0.001 mg/m^3 ($1 \mu\text{g/m}^3$)을 허용기준으로 정하였다. 따라서 6가 크롬을 포함한 도금공정을 각종 유해인자에 대한 관리 및 공학적인 대책은 매우 절실하다.

크롬도금공정에서 크롬의 비산을 방지하기 위해 국소배기설비는 반드시 필요하고 부유플라스틱볼(floating plastic beads)도 충분치 않지만 크롬비산 방지에 효과적이며 장식용 도금공정에서는 미스트발생 억제제(chemical mist suppressants)의 사용이 적절한 크롬발생의 방지가 효과가 있어 0.025 mg/m^3 의 농도관리에는 가능하나 NIOSH의 6가 크롬 권장허용농도인 0.001 mg/m^3 의

달성에는 어려운 것으로 보고된 바 있다(Shеды, 1984). ACGIH는 Open Surface Tank의 공정형태, 유해물질의 종류에 따른 유해위험도를 정하고 여기에 적합한 설계인자를 제시하였고 W/L 비가 2.0 이상인 경우(W가 1.2 M 이상) Push-Pull 국소배기장치의 설치를 권하고 그에 적합한 설계기준을 제시한 바 있다(David, 1985; ACGIH, 1988; John, 1988). NIOSH의 Huebener와 Hughes는 실험실에 도금공정과 같은 Open Surface Tank(L, 1.2m×W, 1.2—1.8m)를 설치하여 Push와 Pull양의 변화에 따른 시설의 효율을 평가하고 가장 적합한 풍량을 보고함으로써 경제적인 국소배기 설계를 위한 기준으로 이용될 수 있도록 하였다(Hubeners 등, 1985). Walters와 Siemens는 유해인자의 최소 발산을 위한 Push와 Pull 소요풍량의 관계를 제시하고 여기에서 달성된 에너지 절감효과를 수식으로 나타내었다(Walters 등, 1981). Klein(1988)은 NIOSH에서 제시한 Push Pull Ventilation Criteria(Lab Findings)를 실제로 도금공정에 적용하여 기준을 검정한 바 있다. 즉, Push와 Pull양의 변화에 따라 발생하는 크롬 농도를 다중비교(multiple comparison)함으로써 가장 경제적이고 최적인 푸쉬-풀의 소요풍량을 선정하였다(Klean, 1986). 이밖에도 도금조 탱크(open surface tank)의 사양에 적합한 국소배기장치 개발, 유해물질의 유해성 및 공정 특성에 따른 설계인자의 제시, 중앙 푸쉬-풀 국소배기장치의 최적풍량 설정(Klean, 1986), 그리고 생산공정 활동(source activity)과 관련된 발산에 관련된 요인(Emission Factor)의 특성 규명(Richard 등, 1989) 등 도금공정에 관련된 국소배기장치의 연구는 대단히 많다.

도금공정에서는 국소배기장치 설계시 고려해야 할 인자는 조(tank)의 폭과 길이, 작업조건, 화학물질의 특성, 외부기류(cross draft), 각종 공정활동(source activity), 조온도 등 산업위생학적 측면의 전문성이 요구되나 우리나라의 경우 간과되는 것이 대부분이고 관련된 연구도 거의 없는 실

정이다. 최근에 우리나라 일부 중소기업의 도금 공정을 대상으로 6가 크롬과 TCE 등의 폭로농도를 측정하는 한편 국소배기시설의 실태조사와 함께 적정 후드설계의 예를 보고한 바 있다(서울대학교, 1992).

대부분의 영세규모 도금 사업장은 국소배기장치 성능평가 및 유지관리 기법도 미흡하고 작업 환경 및 생산활동의 특성에 적합한 국소배기장치가 가동되고 있지 않은 경우가 많아 유해인자에 대한 근로자 폭로 가능성은 높아 관련된 공학적인, 관리적인 대책이 절실이 요구된다.

본 연구는 일부 영세규모의 도금사업장을 대상으로 크롬 및 니켈의 정확한 작업 환경측정과 국소배기장치의 설치실태를 조사하여 문제점을 도출한다. 이를 바탕으로 국소배기장치의 성능과 공기중 총크롬, 6가 크롬, 그리고 니켈농도와의 통계적인 관계분석을 통하여 경제적이고 현실적인 국소배기장치의 개선방안을 제시하고자 한다. 본 연구의 결과는 도금공정의 관리대책 및 역학연구의 기초자료 이용, 국소배기장치의 성능평가 기법마련과 우리나라 영세 규모 도금사업장의 근로자 보건관리 및 작업환경관리대책 마련에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

II. 조사대상 및 방법

1. 대상 및 일정

50인 이하의 영세규모 도금사업장 16개소를 조사대상으로 하였다. 작업환경측정은 크롬 및 니켈도금공정에 한하였으나 국소배기시설실태 및 공정관리조사는 전공정을 대상으로 하였다. 조사일정은 7월부터 11월 사이에 1일 1개소씩 조사하였다.

2. 방 법

(1) 작업환경측정

작업환경측정항목은 총크롬, 6가크롬, 니켈이다. 시료채취 및 분석은 NIOSH 방법을 이용하였다(NIOSH, 1984). 개인시료채취는 도금근로자 작업주위를 대상으로 실시하였다. 지역시료는 도금 및 니켈 탱크주변의 일정 지점에서 MSA사의 개

인시료채취기(Flow-Lite 484108)로 1.5-2.5 Lpm 범위내의 유속으로 채취하였다. 채취시간은 6시간 이상 2회에 걸쳐 실시하였으며, 분석기기의 검지한계를 고려하여 1회 연속 채취한 경우도 있었다. 채취공기량은 시료채취 전과 후의 유속 보정으로 정확하게 산출하였다. 총크롬과 6가 크롬의 시료채취는 각각 막여과지(pore size: 0.8 μ m, 직경: 37 mm)와 PVC여과지(pore Size: 5 μ m, 직경: 37 mm)를 사용하여 동일 근로자 및 동일 지점에서 동시에 채취하였다. 니켈은 막여과지(pore size: 0.8 μ m, 직경: 37 mm)로 채취하였다. 총크롬과 니켈은 원자흡광기기(Instec사, Model GBC-902)로 그리고 6가 크롬은 흡광분광광도계(Varian사 Model DMS-200 UV-visible Spectrophotometer)에 의해 분석하였으며 그 조건 및 방법은 NIOSH 방법을 이용하였다(NIOSH, 1984).

(2) 국소배기실태조사

후드의 제어속도 및 슬로트속도는 Velometer(ALNOR사 Series 6000P)로 측정하였다. 제어속도 측정지점은 후드로 부터 가장 먼 탱크의 가장 자리였으며, 측정수는 1개 후드당 10개 이상의 간격으로 하고 평균을 대표적인 제어속도로 하였다. 양면 슬로트후드(two-sides)인 경우 탱크의 중앙을 제어속도 측정지점으로 하였다. 슬로트속도는 후드의 면에서 측정하였으며 측정지점 및 간격은 NIOSH에서 실시한 방법을 이용하였다. 즉 30cm 간격마다 슬로트 중앙의 위(the top half of the slot)와 아래의 위(bottom half) 두 지점에서 간격마다 측정한 속도를 평균하여 대표 슬로트 속도로 하였다(Sheedy 등, 1984). 후드 소요 풍량은 닥트에 측정구가 마련되어 있지 않아 닥트 단면의 유속측정이 불가능하여 후드에서 평균 슬로트 속도와 후드의 면적을 곱하여 구하였다(Sheedy, 1984). 측정이 불가능한 경우 회사의 "환경처 기술감리 서류"를 인용하였고, 인용이 불가능한 경우는 자료분석에서 제외하였다.

(3) 다중비교, 분산분석

국소배기성능별 공기중 총크롬, 6가 크롬, 니켈 농도와의 다중비교분산분석은 Scheffe 방법을 이용하였고 SAS(Statistical Analysis System: Version 6.02)로 분석하였다. 국소배기성능평가는

그 효율성을 가장 명확하게 판단할 수 있는 제어 속도와 슬로트 속도, 탱크의 관리상태, 그리고 소요품량 등을 조사하여 변수로 이용하였다.

Ⅲ. 조사 결과

1. 총 괄

(1) 작업환경 측정결과

도금공정의 시료채취방법의 총크롬, 6가 크롬 그리고 니켈의 작업환경측정결과는 표 1에 요약되어 있다. 표 1에서 보는 바와 같이 도금근로자에 대한 개인시료의 평균 폭로농도는 총크롬이 $43.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 6가 크롬이 $1.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 니

켈이 $9.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. 도금탱크 주변에 대한 지역시료의 평균농도는 총크롬이 $68.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 6가 크롬이 $5.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 니켈은 $7.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. 이러한 결과는 산업안전보건법 및 ACGIH에서 정한 허용농도 미만이었다. 사업장별, 장소별로 허용농도를 초과한 경우도 있다. 즉 총크롬은 93건 모두가 허용농도인 $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ 에 미만이였다. 6가 크롬은 93건 중 3건(3.2%)이 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였으며 니켈은 모든 사업장에서 허용농도($1 \text{ mg}/\text{m}^3$) 미만인 것으로 조사되었다.

2. 탱크별 총크롬, 6가 크롬, 니켈농도

Table 1. Analytical Results of Total Chromium, Hexa-valent Chromium and Nickel in the Electroplating

	N	Total Chromium($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		N	Hexavalent Chromium ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		N	Nickel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		Range	Mean \pm SD		Range	Mean \pm SD		Range	Mean \pm SD
Personal Sample	30	ND—166.67	43.0 ± 48.83	30	ND—16.20	1.70 ± 3.79	14	1.81—30.18	9.29 ± 13.09
Area Sample	63	ND—792.0	68.98 ± 118.43	63	ND—81.40	5.26 ± 15.53	26	ND—52.73	7.99 ± 17.10
Total	93	ND—792.0	60.61 ± 101.74	93	ND—81.40	4.11 ± 13.04	40	ND—52.73	8.64 ± 15.10

ND : below Limit of detection

Table 2. Concentration of Worker Exposure and Area by each Electroplating Tank

Plant	Total Cr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Hexavalent Cr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Nickel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	N	Range	Mean	N	Range	Mean	N	Range	Mean
a									
PS	13	0—164.8	23.17	13	0—16.20	1.99	5	1.28—1.55	1.41
AS	26	0—38.8	10.20	26	0—4.97	0.38	10	0—2.27	0.85
b									
PS	10	30.9—166.7	74.03	10	0.16—1.12	0.51	4	2.32—2.57	2.42
AS	27	3.9—289.5	101.03	27	0.05—81.40	8.38	12	2.86—10.20	6.84
c									
PS	7	50.12—171.8	110.50	7	0.25—20.98	8.13	2	0—1.81	0.98
AS	10	0.69—792.0	116.48	10	0.31—64.83	11.80	7	0.76—10.60	6.20
Total	93	0—792.0	60.61	93	0—81.40	4.11	40	0—10.60	8.64

a=Tank with ventilation not appropriate for criteria of NIOSH

but good management

b=Tank with ventilation not appropriate for criteria of NIOSH

and poor management

c=Tank without ventilation

PS; Personal Sample

AS; Area Sample

(1) 탱크 분류기준

국소배기시설의 제어속도, 슬로트 속도, 소요 풍량 그리고 탱크의 관리상태에 따라 탱크를 구분하였다. 탱크 크기 및 유해물질별로 ACGIH와 NIOSH에서 제시한 국소배기설계조건에 만족한 사업장은 없었다(ACGIH, 1988; NIOSH, 1984).

“a”탱크로 분류되는 기준은 ACGIH와 NIOSH에서 제시한 설계조건에 만족치는 못하나 덮개 철저, 미스트 방지제 사용, 플라스틱볼 사용, 그리고 작업방법의 적합 등의 도금공정의 탱크 관리가 비교적 양호한 경우를 포함시켰다. “b”탱크로 분류되는 기준은 ACGIH와 NIOSH에서 제시한 설계조건에도 만족치 못하고 탱크의 관리 및 작업방법 그리고 후드 및 닥트 등 국소배기장치 관리가 불량한 사업장을 포함시켰다. “c”로 분류된 탱크는 도금공정에 국소배기시설이 설치되지 않은 경우이다. 국소배기시설이 가동되지 않는 탱크도 여기에 포함시켰다.

(2) 탱크별 총크롬, 6가 크롬, 니켈농도

국소배기성능 및 탱크 관리 정도에 따라 분류한 탱크별로 총크롬, 6가 크롬, 니켈농도에 대한 조사결과가 표 2에 나타나 있다. 총크롬의 근로자 평균 폭로농도는 “a”탱크가 $23.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, “b”는 $74.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 그리고 “c”는 $110.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 각각 조사되었다. 6가 크롬의 근로자 평균 폭로농도는 “a”탱크가 $1.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$, “b”는 $0.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$, “c”가 $8.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 보이고 있다. 니켈은 “a”가 $1.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, “b”는 $2.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, “c”는 $0.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 탱크주변의 총크롬에 대한 지역시료의 평균 농도를 보면 “a”가 $10.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, “b”는 $101.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 “c”는 $166.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

6가 크롬의 지역시료의 평균농도는 “a”가 $0.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, “b”는 $8.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 “c”는 $11.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 니켈의 지역시료 평균농도는 “a”가 $0.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$, “b”는 $6.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 “c”는 $6.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타내고 있다.

3. 국소배기시설 성능평가

(1) 후드의 형태 및 탱크크기의 적정성 평가

탱크크기의 조사결과를 보면 표 3과 같다. ACGIH와 NIOSH에서 제시한 도금탱크의 적정 폭은 1면 슬로트 후드인 경우 0.51 m(20inch)로써 이를 초과하는 경우(0.51m-0.91m) 양면 슬로트 후드를 설치하고 폭이 1.21 m를 초과하는 경우 밀폐(enclosure)가 반드시 필요하다고 되어 있다. 본 연구 조사결과를 살펴보면 크롬탱크의 폭은 상기 기준에 적합한 경우가 30개 중 4개소로 13.3%에 불과하며 대부분 0.6 m를 초과하고 있다. 니켈탱크를 보면 0.51 m 이하가 14개 중 3개소로 21.4 %를 차지하고 있다. 탱크 폭과 길이의 비는 모두 1이하인 것으로 조사되었다. ACGIH에서는 탱크 폭이 1.21 m 이상이고 탱크 폭과 길이의 비가 1.0 이상인 경우 탱크의 긴 단면(long dimension)을 통해 유해인자를 제어하는 것은 바람직하지 않다고 하고 있다(ACGIH, 1988). ACGIH에서는 탱크 폭이 크거나 탱크 폭과 길이의 비가 큰 경우 푸쉬-풀 국소배기장치의 설치가 바람직하며 탱크 폭(1.2-1.8 m), 방해기류(cross-draft), 작업조건 등의 변화에 따른 최적 푸쉬-풀 소요풍량을 보고한 바 있다(Klein, 1987). 도금하고자 하는 제품의 특성(크기 등)과 도금형태 그리고 작업방법에 따라 도금탱크의 폭은 차이가 있을 수 있으나 가능한 한 0.51 m 이하로 하는 것이 바람직하

Table 3. Classification of Plating Tank by Tank Width and width/length Ratio

	Total	Tank width (m)				Width/Length Ratio		
		<0.6	0.6-1.0	1.0-1.2	1.2<	0.1-0.24	0.25-0.49	0.5-0.99
Chromium Tank	30	4	10	14	2	2	17	1
Nickel Tank	14	3*	9	—	2	—	3	8

* : circular type

고 도금공정의 특성에 부적합 할 경우 그 폭은 증가될 수 있다. 이러한 경우 양면슬로트 혹은 푸쉬-풀 국소배기장치를 설치하는 것이 유해요인의 효과적인 제어를 위해 바람직하다.

현재 설치된 도금탱크의 폭이 큰 경우(0.6 m 이상) 도금작업에 지장을 초래하지 않는 범위 내에서 밀폐를 하는 것이 타당하다. 즉 탱크의 가장 자리를 밀폐하거나 슬로트 후드의 위나 양측면에 외부 기류를 차단하는 플랜지(flange)를 설치하는 것이다.

(2) 제어속도 및 슬로트속도별 적정성 평가

크롬탱크와 니켈탱크의 제어속도 및 슬로트속도의 측정결과를 표 4에 제시되어 있다.

제어속도를 살펴보면 크롬탱크의 경우 크롬 유해성에 따른("A1") 적정 제어속도인 0.76 m/sce를 만족한 것은 27개소 중 2개소로 7.4 %에 불과하다. 더욱이 0.25 m/sce 이하인 경우가 11개소로 40.7 %를 차지하고 있어 발생하는 크롬미스트의 효율적인 제어가 어려울 것으로 보인다. 니켈탱크는 적정 제어속도인 0.51 m/sce를("B2") 달성한 경우는 없다. 0.25 m/sce 이하가 12개소 중 5개소이고 0.25~0.5 m/sce가 7개소로 조사되었다. 슬로트 속도를 보면 크롬탱크의 경우 적정속도인 10.2 m/sec(2000 fpm) 이상은 30개소 중 8개소(26.7%)이고, 대부분 5 m/sce 이하인 것으로 측정되었다. 사업장별 탱크별 소요풍량은 각 사업장 별로 후드의 설치특성, 제어속도 그리고 탱크 폭과 길이의 비에 따른 적정 소요풍량과 비교하여 볼때 탱크 크기 및 취급 유해물질(크롬산과 니켈염)별 제어속도에 적합한 소요풍량이 달성되는 사업장이 없었다. 이처럼 제어속도와 슬로트 속도 및 후드의 소요풍량이 적정기준에 미달되는

원인은 국소배기기설의 설계 전문성 결여와 관리 미흡 때문으로 판단된다. 즉 설계를 시작할 때 공정특성에 따른 산업위생학적 측면의 인자를 무시하여 유해물질별 적정속도 및 함유관간의 정압비가 대부분 고려되지 않거나 압력손실이 큰 90° 곡관이 많은 것 등이 설계 전문성 결여의 좋은 예이다. 이러한 요인과 더불어 국소배기장치의 유지관리 소홀은 압력손실의 증가와 함께 곡관부위나 덕트내에 유해물질이 쌓이게 되고 제어속도 및 슬로트속도가 계속 떨어지는 원인으로 작용하게 된다. 국소배기기설을 하고서도 유해인자 제거를 위한 효율성을 달성할 수 없고 악순환이 되풀이되는 경제적인 문제점인 것이다.

IV. 고 찰

1. 국소배기성능과 총크롬, 6가 크롬, 니켈농도의 관계분석

국소배기성능과 관리상태에 따른 탱크별 총크롬, 6가 크롬, 니켈의 다중 비교분석(multiple comparison) 결과는 표 5에 나타나 있다.

"a"와 "b"탱크 간의 발생하는 총크롬은 137.52 μg 과 39.14 μg 로 유의한 농도 차이가 있는 것으로 나타났다. "a"와 "c"탱크 간은 유의한 농도차이(217.71 μg 에서 61.87 μg)가 있는 것으로 나타났으나 "b"와 "c"탱크간에는 서로 유의한 농도차이를 볼 수 없었다.

6가 크롬의 경우 농도차이는 "a"와 "b"탱크 간에는 평균 9.24 μg 이었고 "a"와 "c"탱크 간에는 평균 34.15 μg 으로 통계적인 유의한 결과를 보이고 있다.

Table 4. Classification of Plating Tank by Control and Slot Velocity

	Total	Control Velocity (m/sec)				Slot Velocity (m/sec)		
		<0.25	0.25-0.50	0.5-0.75	0.76<	<5.0	5.0-10.0	10.0<
Chromium Tank	30*	11	10	4	2	17	5	8
Nickel* Tank	14**	5	7	—	—	14	—	—

* : control velocity of 3 tank could not be measured

** : control velocity of 2 tank could not be measured

Table 5. Scheffe's Multiple Comparison of Total Chromium by Tank

Comparison By Tank	Confidence Limit, μg (Lower-Upper)						Difference Between Concentration Means (μg)		
	Total	Chromium	hexa-Chromium		Nickel		Total Chromium	hexa-Chromium	Nickel
c-b	0.91	-133.82	-4.24	25.72	-2.94	5.32	51.46	10.74	1.19
c-a	61.87	-217.71**	5.81	34.15*	2.01	9.77**	139.79**	19.98**	5.89**
				*					
b-c	-133.82	-30.91	-25.72	4.24	-5.32	2.94	-51.46	-10.74	-1.19
b-a	39.14	-137.52**	0.30	18.19*	1.15	8.25**	88.33**	9.24**	4.70**
				*					
a-c	-217.71	-61.87**	-34.15	-5.81*	-9.77	-2.01	-139.79**	-19.98**	-5.89**
				*		**			
a-b	-137.52	-39.14**	-18.19	-0.30*	-8.25	-1.15	-88.33**	-9.24**	-4.70**
				*		**			

a=Tank with Ventilation not Appropriate for Criteria of NIOSH and ACGIH
but Good Management

b=Tank with Ventilation not Appropriate for criteria of NIOSH and ACGIH
and Poor Management

c=Tank without Ventilation

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***

니켈의 농도는 “a”와 “b” 그리고 “a”와 “c”탱크 간의 발생하는 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 평균 니켈농도의 차이는 “a”와 “b”가 $4.70\mu\text{g}$ “a”와 “c”는 $5.89\mu\text{g}$ 이다. 그러나 “b”와 “c”탱크 간에는 유의하지 않는 것으로 나타났다. 발생하는 니켈의 농도는 국소배기장치의 설치 유무에 관계없이 모두 허용농도 $1000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하고 있다. 이것은 니켈 전기도금에 약 95% 이상의 전해효율(cathode efficiency)을 갖고 있어 도금액으로 부터의 가스발생이 매우 적고, 따라서 니켈미스트의 발생은 적은 것으로 보고된 바 있다(Robert, 1989). NIOSH가 니켈도금 탱크를 대상으로 조사한 40개의 지역시료 중 국소배기시설의 유무에 상관없이 니켈농도는 모두 허용농도 미만인 것으로 보고한 바 있어 본 연구결과와 일치한다(Sheedy et al, 1984). 그러나 근로자 건강보호를 위한 산업위생학적 관점에서 보면 니켈은 발암성물질이고, 비록 허용농도에는 만족할지라도 국소배기시설의 유무 및 관리상태에 따라 발생하는 니켈의 농도는 차이가 있는 것으로 분석되었으므로 보다 적절한 국소배기시설 및 탱크관리를 통하여 니켈폭로를 최소화시키는 조치가 필요하리라 판단된다.

총크롬, 6가 크롬 그리고 니켈의 농도가 “a”와

“b” 그리고 “a”와 “c”탱크 간에는 서로 유의한 농도차이를 보이고 있으나 “b”와 “c”탱크 간에는 통계적으로 유의한 농도차이를 보이고 있지 않았다. 설치된 국소배기장치의 성능이 ACGIH나 NIOSH에서 제시한 기준에 비록 만족하지 않은 탱크라 해도 도금공정의 관리가 양호한 경우(“a”) 국소배기시설이 있으나 관리가 불량한 사업장(“b”), 그리고 없는 경우(“c”)와 비교할 때 발생하는 유해인자의 억제에 효과가 있다는 것을 의미한다. 즉 국소배기장치의 성능 및 사양이 NIOSH와 ACGIH의 기준에는 부적합하여도 총크롬, 6가 크롬 그리고 니켈의 발생을 억제하기 위한 탱크의 관리가 양호한 경우 근로자 폭로농도는 줄일 수 있는 것으로 해석될 수 있다. 즉, 탱크덮개 철저, 미스트 억제제 사용, 작업방법의 개선 등 효율적인 탱크관리를 하는 경우 불량한 도금공정의 관리 사업장보다 발생하는 유해인자의 농도는 저감시킬 수 있다. 반면에 국소배기시설이 있다해도 도금공정의 관리 및 국소배기시설의 성능이 매우 불량한 탱크(“b”)는 시설이 없는 경우(“c”)와 유의한 농도차이를 보이고 있지 않았다. 이것은 경제적으로 국소배기시설을 설치하고 가동해도 산업위생학적 측면의 인자를 무시하여 설계하거나 도금 탱크관리 등이 불량하면 발생되

는 유해인자의 제거에 효율적이지 못하게 된다.

2. 제어속도 및 슬로트속도별 총크롬, 6가 크롬, 니켈농도와의 관계분석

도금탱크 제어속도별 총크롬, 6가 크롬, 니켈의 발생농도와 다중비교 분석을 한 결과가 표 6에 제시되어 있다. 크롬 및 니켈탱크의 제어속도가 ACGIH와 NIOSH에서 제시한 적정기준에는 모두 미흡하나 각각 구분하여 분석하였다.

총크롬, 6가 크롬, 니켈농도는 국소배기시설이 없거나("x"), 제어속도가 0.25 m/sec 이하인 탱크("y") 그리고 0.25 m/sec-0.51 m/sec 탱크("z") 간의 서로 유의한 농도 차이를 볼 수 없었다. 이것은 ACGIH와 NIOSH에서 제시한 유해물질별 적정 제어속도가 달성되지 않은 경우, 그 이하의 속도에서는 총크롬, 6가 크롬 그리고 니켈의 농도 저감에 유의한 차이가 없는 것으로 분석되

었다.

도금탱크별 슬로트속도와 발생하는 총크롬, 6가 크롬, 니켈농도 간의 다중 비교 분석한 결과는 표 7에 요약되어 있다.

총크롬과 6가 크롬은 ACGIH와 NIOSH에서 제시한 적정 슬로트속도인 10.2 m/sec 이상인 탱크("z")와 5 m/sec 이하인 탱크("x") 간에 유의한 농도 차이가 있는 것을 나타냈다. 즉 농도차이의 양은 총크롬이 평균 99.61 μg ($p < 0.0015$)였고, 6가 크롬은 평균 7.759 μg ($p < 0.0466$)인 것으로 분석되었다. 니켈탱크는 슬로트 속도가 10 m/sec 이상인 탱크("z")그룹)는 없었다. 5 m/sec 이하인 탱크("x")와 5 m/sec-9 m/sec인 탱크("y") 간은 유의한 농도차이가 없는 것으로 분석되었다.

현재 설치된 도금탱크의 폭이 큰 경우(0.6 m 이상) 도금작업에 지장을 초래하지 않는 범위 내에서 밀폐를 하는 것이 타당하다. 즉 탱크의 가장

Table 6. Scheffe's Multiple Comparision of Total Chromium and hexa-valent Chromium by Control Velocity

CV Comparison	Confidence Limit of Total Chromium (μg)			Confidence Limit of hexa-valent Chromium (μg)			Confidence Limit of Nickel (μg)		
	Lower	Upper	Means	Lower	Upper	Means	Lower	Upper	Means
x-y	-0.96	98.04	45.54	-4.488	9.847	2.680	-2.933	7.287	2.177
x-z	-21.87	154.87	66.50	-6.052	18.078	6.013	-1.532	7.261	2.864
y-x	-98.04	6.96	-45.54	-9.847	4.488	-2.680	-7.287	2.933	-2.177
y-z	-64.00	105.92	20.96	-8.266	14.934	3.334	-4.115	5.489	0.687
z-x	-154.87	21.87	-66.50	-18.078	6.052	-6.013	-7.261	1.532	-2.864
z-y	-105.92	64.00	-20.96	-14.934	8.266	-3.334	-5.489	4.115	-0.687

CV=Control Velocity (m/sec)

x=no Ventilation, y=below 0.25 (m/sec), z=0.25-0.51m/sec

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by '***'

Table 7. Scheffe's Multiple Comparision of Total Chromium and hexa-valent Chromium by Slot Velocity

SV Comparison	Confidence Limit of Total Chromium (μg)			Confidence Limit of hexa-valent Chromium (μg)		
	Lower	Upper	Means	Lower	Upper	Means
x-y	-16.15	107.41	45.63	-2.410	14.460	6.025
x-z	43.07	156.16	99.61**	0.038	15.479	7.759**
y-x	-107.41	16.15	-45.63	-14.460	2.410	-6.025
y-z	-10.69	118.65	53.98	-7.096	10.563	1.733
z-x	-156.16	-43.07	-99.61**	-15.479	-0.038	-7.759**
z-y	-118.65	10.69	-53.98	-10.563	7.096	-1.733

SV=Slot Velocity (m/sec)

x=below 5 m/sec, y=5-10 m/sec, z=over 10 m/sec

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by '***'

자리를 밀폐하거나 슬로트 후드의 위나 양측면에 외부 기류를 차단하는 플랜지(flange)를 설치하는 것이다. 이러한 관리를 하는 경우 후드의 제어거리는 짧아지고 따라서 제어속도 및 슬로트속도는 증가되어 유해인자의 발산(emission) 및 근로자 폭로를 줄일 수 있는 효율적인 대책이 되는 것이다. 이미 설치된 도금공정의 국소배기시설에 대한 전면적인 개선이나 재설치는 거의 불가능하다. 또한 도금공정의 각종 유해인자의 발생에는 많은 요인들이 영향을 미쳐 완벽한 근로자 및 작업환경관리는 매우 어렵다. 본 연구결과 도금공정의 각종 유해인자로 부터 근로자 폭로방지를 저감시키기 위해서는 철저한 도금공정(탱크) 및 국소배기장치관리가 요구된다. 국소배기성능의 효율성을 극대화 시키기 위한 보다 근원적인 대책은 산업위생학적 측면의 인자를 고려한 설계 및 시공과 전문성 있는 장치의 관리가 우선적으로 필요하다. 여기에 도금 탱크의 관리 및 작업의 적정성 등이 유해인자에 대한 근로자 폭로방지를 위한 중요한 대책이다.

V. 결 론

우리나라 영세규모의 도금 사업장 일부를 대상으로 국소배기시설조사 및 작업환경측정과 함께 국소배기성능과 유해인자농도(총크롬, 6가 크롬, 니켈)간의 다중비교분석을 한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 도금공정의 근로자 평균 폭로농도는 총크롬이 $43.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 6가 크롬이 $1.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 니켈이 $9.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 지역시료는 총크롬이 $68.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 6가 크롬이 $5.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 니켈이 $7.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 이 결과는 산업안전보건법 및 OSHA의 허용농도에 모두 적합하였다. 허용농도 초과건수는 6가 크롬이 93건 중 3건(3.2%)이었고 총 크롬과 니켈은 모두 허용농도 미만인 것으로 조사되었다.

2. 크롬탱크의 평균 제어속도는 0.45 m/sec 이었고, 니켈탱크는 0.29 m/sec 로써 ACGIH와 NIOSH의 권고 기준에 부적합하였다. 슬로트 평균속도는 크롬탱크가 7.30 m/sec 니켈탱크가 $2.$

87 m/sec 로써 역시 권고 기준(10.2 m/sec)에 미치지 못하였다.

후드의 필요 소요풍량은 모든 사업장이 기준이 하인 것으로 조사되었다.

3. 국소배기성능과 관리상태에 따른 탱크별 공기중 총크롬, 6가 크롬 그리고 니켈 농도와의 관계를 다중비교분석(Multiple Scheffee Comparison)한 결과, NIOSH와 ACGIH의 설계기준에는 미흡하나 도금공정관리가 양호한 탱크("a")가 설계기준에도 미흡하고 관리가 불량한 탱크("b")와 국소배기시설이 없는 탱크("c")보다 총크롬과 6가 크롬, 니켈의 농도가 유의하게 낮았다. 그러나 "설계기준에도 미흡하고 관리가 불량한 탱크("b")와 국소배기시설이 없는 탱크("c")간에는 유의한 농도차이가 없는 것으로 분석되었다.

따라서 도금공정은 미스트 발생 억제제(chemical mist suppressants)나 플라스틱볼(floating plastic beads) 사용과 덮개철거 등의 공정관리가 총크롬, 6가 크롬 그리고 니켈 농도저감에 효과가 있어 이의 사용이 요구된다.

4. 제어속도와 슬로트 속도별 공기중 총크롬, 6가 크롬 그리고 니켈농도와의 관계를 다중 비교 분석한 결과 제어속도별 총크롬, 6가 크롬 그리고 니켈의 농도와는 유의한 차이가 없었다. 슬로트 속도는 10 m/sec 이상인 탱크("z")그룹과 5 m/sec 이하 탱크("x")그룹 간에 총크롬과 6가 크롬농도가 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

- 서울대학교 보건대학원 : 우리나라 중소기업 도금공정 근로자의 크롬 및 세척제 폭로에 관한 연구. 1992
- 노동부 : 유해물질의 허용농도. 노동부고시 제 91-21 호. 1991.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices for 1992-1993*. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 1992.
- Klein, M.K. : *A Demonstration of NIOSH Push-Pull Ventilation Criteria*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1987 ; 48 (3) : 238-246.

- Klein, M.K. : *An Introductory Study of Center Push-Pull Ventilation*. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1986 ; 47 (6) : 369-373.
- Fleeger, A.K. and J.F., Dong. : *A Case Study of Chromium VI-Induced Skin Ulceration During a Porcelain Enamel Curing Operation*. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 1990 ; 5 (6) : 378-382.
- Neter, J., Wasserman, W., Kutner, M.H. : *Applied Linear Statistical Models*, 3rd Edition. IRWIN, Boston, 1990, 581-587.
- Walters F.M. and Siemens J.A. : *Combination Push-Pull Exhaust Ventilation Systems*. *Plant Engineering* 1981 ; File #2530, 47-51.
- Sheedy J.W., V.D. Mortimer J.H. Jones Spottsword S.E. : *Control Technology Assessment ; Metal Plating and Cleaning Operations*, NIOSH Technical Report. DHHS (NIOSH) Publication No. 85-102, Cincinnati, Ohio, 1984, 60-70.
- Huebener, D.J., R.T., Hughes. : *Development of Push-Pull Ventilation*. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1985, 46 (5) : 262-267.
- Flanigan L.J., S.G., Talbert, Semones D.E., Kim B.C. : *Development of Design Criteria for Exhaust Systems for Open Surface Tanks*, NIOSH Technical Report DH-EW (NIOSH) Publication No. 75-108, Cincinnati, Ohio, 1984, 1-16.
- Richard A.W., Peter P.A., Jone E.F. : *Emission factors for Trichloroethylene Vapor Degreasers*, 1989, Vol. 50 : 496-500.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : *Industrial Ventilation-A Manual of Recommended Practice*, 20th Edition. ACGIH, Cincinnati, Ohio 1988, 10-46 : 10-77.
- Burton J. : *Industrial Ventilation Work Book*, DJBA. 1989, 14-1 : 15-4.
- Robert D.S. : *In-Plant Practices for Job Related Health Hazards Control ; Electroplating*, 1989 ; Vol (2) : 293-319.
- National Institute for Occupational Safety and Health : *NIOSH Manual of Analytical Methods, Third Edition*, DHHS (NIOSH) Publication No. 84-100, NIOSH, Cincinnati, Ohio 1984.
- National Institute for Occupational Safety and Health : *NIOSH Manual of Analytical Methods, Second Edition*. DHEW (NIOSH) Publication No. 77-157-A, NIOSH, Cincinnati, Ohio 1977.