

특집 · 공해대책
< 技術資料 >

회 수 재 생 비 용

Recovery Pay!

呂 運 寬* 訳

本稿는 原調査報文 Plating and Surface Finishing; Recovery Pay! Vol 66, No 2. (1979) 45~48 P을 번역한 것으로 도금폐수의 회수재생에 드는 비용과 장치비 그리고 미국에 있어서의 도금공장의 폐수 회수처리 현황을 알아보는데 참고가 되리라 믿는다. (역자주) Plating and Surface Finishing지의 조사결과는 폐액회수장치를 설치한 도금공장회수자들이 화공약품 절감할 수 있었고, 공장폐수 내에 중금속 함유량의 한계치를 넘지 않도록 하는데 화학처리 비용을 들이지 않거나 최소한 줄일 수 있었다는 사실을 나타내 주고 있다.

최근에 실시된 P & S. F 지의 조사에 의하면 많은 도금공장이 값비싼 화공약품들을 회수하는 장치들을 효과적으로 이용하고 있다.

조사된 35개 공장 중 22개 공장이 회수장치 설비 비용을 5년내에 회수하고 있다는 사실이 나타났고 3개 공장은 회수재생장치 설비비, 회수기간이 5년보다 장기간이 소요되었다는 자료를 제출했다.

회수장치는 크롬, 금, 납주석 합금, 니켈 도금 조업에 사용된 화공약품들을 회수 재생하는데 이용되고 있다. 몇몇공장들은 자료의 부족을 이유로 들어 조업비용과 화공약품절감양을 밝히지 아니 하였다.

증 발 장 치

증발장치를 사용한 비용절감이 고안되어 있고 이미 크롬, 니켈, 납주석합금 도금 화공약품들을 회수 재생하는데 실효를 거두고 있다.

그러나 시안화 아연 도금액을 회수재생 하는데는 아직 실효를 못 거두고 있다. 2개 공장의 설문 응답 자료에는 아연도금 약품의 절감액이 회수재생장치 설치 비용에 못 미치고 있다는 사실이 나타났으나 그러나 회수재생은 그것이 비용이 많이 드는 시안화물 분해와 아연침전 및 교체분

리를 생략할 수 있기 때문에 충분히 정당화될 수 있다고 말하고 있다. 그렇게 되면 아연도금시에 파생되는 교체폐기물을 처분하는 일도 자연히 덜어진다.

표 1의 수치는 공장폐기물 한도를 지키기 위한 화학처리 비용을 절감하는 어떤 보증치를 표시한 것도 아니고 교체폐기물 처리를 필요없게 하는 어떤 보증을 제시한 것도 아니다.

그러나 이미 보고된 자료를 갖고 볼때 크롬 도금 용액이 묻어 나온것을 회수재생하는 회수 장치 투자비가 화공약품들을 도금작업에 재 사용하여서 생기는 순 절감액만으로 2년내지 5,6년만에 회수되었고 또한 앞으로 그렇게 되리라는 것이 확실하다.

증발장치 구입비는 비교적 저렴해서 도금 설비 구입비의 2.5%~15% 밖에 들지 않는다. 평균 8% 정도이다.

크롬용액을 재생하기 위해 증발장치를 사용하는 대부분의 공장들이 3가크롬과 음극효율 또는 도금영역(전류밀도)를 축소하는 다른 금속불순물의 농축도를 조정하는 양이온 교환기를 설치하고 있다. 그러나 양이온 교환기를 설치하지 않은 한 공장의 보고에 의할것 같으면 증발회수법을 사용한 3, 5년 동안에 과도한 불순물의 축적이 없었고 현재 금속불순물의 총 농축도는 7.5 g/l 에 지나지 않는다고 한다.

* 弘益工大 金屬科 教授

표 1
증발 회수 방법

공장	도금종류	회수장치비\$	장치의형식 ^a	가동비용\$/월	약품절감\$/월	장치비회수기간,년	장치비율 ^b
A	크롬도금	20,000	대기	300	600	5.6	0.025
B	크롬도금	48,000	진공	350	1,400	3.8	0.05
C	크롬도금 및 에칭	225,000	대기1 진공3	4,500	6,600	8.9	0.05
D	크롬도금	72,000	진공	900	응답무	-	0.025
E	크롬, 니켈, 도금 및 에칭	260,000	진공3	1,500	6,000	4.8	0.09
F	크롬 및 니켈도금	128,000	진공2	3,000	5,250	4.8	0.09
G	크롬도금	58,000	진공	1,400	3,900	2.0	0.10
H	크롬도금	100,000	진공	100	4,000	2.2	0.15
I	크롬도금	175,000	진공2	1,200	6,000	3.0	<0.15
J	크롬도금	70,000	진공 ^b	160	2,300	2.1	-
K	납-주석도금	45,000	진공 ^d	800	16,000	0.25	0.08
L	납-주석도금	85,000	진공 ^b	600	33,000	0.2	0.05
M	니켈도금	25,000	진공 ^b	300	1,500	1.7	<0.02
N	니켈도금	4,000	진공 ^b	응답무	2,100	-	-
O	시안화아연도금	55,000	진공 ^d	4,000	2,000	안됨	0.04
P	시안화아연도금	55,000	진공 ^b	915	450	안됨	-

^a s 와 d는 각각 1단과 2단 장치를 나타내는 것임.

^b 회수 장치 비율은 도금 설비비로 나눈 값임.

재생된 크롬도금 용액은 다른 공장에서 플라스틱 에칭용 크롬-황산계 용액으로 재순환 사용되는데 거기에는 3가크롬을 6가크롬으로 산화시키는 전해장치를 설치해 놓고 있다. 회수장치(2)를 6개월동안 가동해 온 한 공장은 물에서 생기는 불순물의 축적을 없애기 위해 도금하기 전에 이온교환수지로 정수한 물을 사용하여 수세를 했다. 또 다른 공장은 증발장치에 공급하는 수세수의 속도조절을 하기 위해 특수한 물유입 받브를 장치했다. 증발장치를 사용하는 모든 공장들은 도금후에 적어도 3개의 역류수세(counter current)탱크를 설치하여 수세수를 농축시켜서 증발 장치에 공급하고 있다. 4~5개의 역류수세(counter flow) 탱크를 설치하고 있는 공장들도 더러웠다.

전부는 아니더라도 대부분의 공장이 증발기로부터 다시 수세탱크로 물을 재 순환시키고 있다.

두 공장이 5680 l/hr의 물 사용량을 절약할 수 있었다고 했는데 총 공장용수량이 한 공장은 28,400 l/hr 이고 또 다른 공장은 55,250 l/hr 이라는 것을 놓고 볼때 상당한 절약이다. 다른 공장에서는 재순환된 물의 양이 총 공장 용수량의 0.6%로부터 6.0%까지 다양했는데 평균을 잡아보니 2%가 되었다. 공장폐수 중 크롬 농축도는 한 공장에서만 2mg/l 까지 때에 따라 검출되었을뿐 0.7에서 1.1mg/l 에 지나지 않았다. 이처럼 낮은 농축도는 크롬산화수가 효과적이었던 것을 보여 주는 것이다.

납, 주석의 불활용액의 회수가 증발기를 사용한 두 공장에서 특히 효과가 있었다. 한 공장에서는 2단(double effect) 증발기를 사용했는데 \$6000/월 상당의 화공약품들을 회수하였다. 이 2단 증발기는 1957년에 설치됐다. 다른 한 공장에서는 \$85,000을 들여 1단(single effect) 증발기를 1973년에 구입 설치했는데 \$33,000/월에 달하는 화공약품들을 회수하였다. 두 공장은 장치구입비를 수개월내에 모두 회수하였다.

공장폐수내에 납, 주석 농축도가 각각 0.1 mg/l 과 0.2~0.5mg/l 에 지나지 않았다. 이들 공장에서는 비교적 값싼 용액을 가지고 배아림에 약 90% 납을 함유한 합금의 도금층을 석출시키는 것이었다. 그렇지만 물어 나오는 양은 비교적 많은 편이었다. 설문응답자료에는 진공증발장치로 니켈을 회수하는데 1.7년내에 장치구입비를 회수했다고 되어 있다. 장치는 본조사 수개월전에 설치되었고 공장내에 도금과 연마설비(버핑연마 포함)비

용의 2% 미만의 투자를 해서 설치한 것이다. 또 증발장치를 \$4,000를 들여 1953에 들여 놓은 한 공장은 니켈염을 회수재생하는데 아직도 이 증발장치를 사용하고 있으며 매달 \$2,100에 상당하는 니켈염을 회수하고 있다. 정확한 기록을 이제는 하고 있지 않지만 조업비용이 매달 \$2,100 미만인 것으로 되어 있다. 이 증발장치를 사용해서 구입량의 약 75%의 니켈염이 회수재생되어 다시 순환되고 있다. 또 한 공장은 니켈 회수를 위해 1단 증발장치를 사용하는 것을 그만 두었는데 그 한 이유는 작업비용이 재생된 니켈의 가치보다 더 컸기 때문이고 또 다른 이유는 칼슘이온과 기타 불순물의 축적이 양극주머니를 막히게 하는 결과를 가져왔기 때문이었다. 이 공장은 지금은 3개의 역류수세(counter flow) 탱크를 사용해서 수세 폐기수로부터 니켈염을 농축하고 회수한다.

그리고 4번째이자 마지막 수세수는 불순물 조정을 위하여 주기적으로 쏟아 낸다.

가 역 투 과 막

니켈염을 회수재생하기 위해 가역투과막을 사용한 공장들은 \$10,000에서 \$37,000에 이르는 장치구입비의 회수를 1,2년~2,8년 사이에 달성했다는 자료를 제출하였다. 이 장치 구입비는 도금장치비의 2~7%에 상당하는 것이다. 표 2에 표시된 조업비용 데이터는 격막을 매치하는 비용은 포함되지 않았다. 한 공장에 있었던 격막 매치 비용을 조업비용에 포함시키면 총 비용이 3개 기기에 대해 월 \$400이 증가되었다.

이 경우 자금회수 기간도 1,2년에서 1,4년으로 달라졌다. 격막의 수명이 12~36개월이라고 4개 공장이 응답했고 8개 기기에서의 평균 수명은 약 22개월이었다. 세 공장이 니켈도금조 다음에 2개의 역류수세(counter flow) 탱크를 설치했고 한 공장은 4개를 설치했다.

가역투과막을 사용함으로써 물 재생량이 300~1250 l/hr에 달했는데 이는 각 공장에서의 총 물 사용량의 약 10%에 해당되는 것이다.

가역투과막기로 보내는 용액으로부터 고형물을 제거하는데 문제점이 있고 공장에서는 이는 보다 성능좋은 고형물 분리기의 필요성을 말해주는 것이라고 한 회사는 역설하였다. 동 회사는 딴 공장에 니켈 회수를 위해 전기투석기(electrodialysis)를 설치 할 계획인데 최초 설치 비용이

표 2

니켈 폐수를 위한 가역투과막법

공 장	회 수 장 치 비	격 막	조업비율 \$/월 ^a	약 품 질 감 \$/월	장 치 비 회 수 기 간	장 치 비 비 율 ^b
CC	32,000	폴 리 아 미 드	300	2,500	1.2	0.02
BBB	21,000(3)	셀 루 로 스 아 세 테 이 트	50	1,000	1.8	0.07
CCC	20,000(2)	-	200	무 응 답	-	0.04
DD	10,000	-	100	400	2.8	-
J	37,000(3)	-	100	2,700	1.2	-

^a 격막 교체 비용 포함

^b 역삼투 장치비를 도금설비비로 나눈 것임.

가역투막기를 설치하는것 보다 적게 들 것이라고 믿고 있기 때문이다. 적어도 한 회사가 불순물을 조정하기 위해 연속 전해 정화기를 설치했고 회수기구가 설치된 이래 회수를 증가해서 활성탄 처리 (전체 교체 방법으로)를 했다. 다른 회사는 도금을 하기 직전의 수세는 이온을 제거한 순수를 사용하였다.

가역투막기를 사용해 니켈을 회수 재생하는 공장 중 한 공장은 가역투막기를 보충하기 위해 증발장치를 설치할 계획인데 가역투막기 만으로는 묻어 나오는 물질을 충분히 농축해서 니켈 전부를 회수하지 못하기 때문이다.

황산구리 도금용액을 회수재생하기 위해 가역투막기를 설치한 한 공장은 약 1.5년 밖에 안되어 폐어버렸는데 그 이유는 격막의 수명이 6~9개월에 지나지 않았기 때문이다. 또한 이유는 재생된 화공약품의 가치가 용액에 의해 부식된 장치부품들을 교체하는데 든 비용을 상쇄하지 못하기 때문이다.

이 온 교 환

이온 교환기로 니켈과 금을 회수재생하는것이 비용회수에 유리한 방법이라는 것을 이자료(표3)는 나타내 주고 있다. 3개 공장이 크롬을 회수해서 장치구입비를 0.3~3.6년 걸쳐 회수하고 있다는 자료를 제시한 반면 다른 두 공장은 조업비가 회수 재생된 크롬가액과 맞먹거나 그 이상

이 들었다고 보고했다. 또 다른 공장은 크롬에서 니켈용으로 장치를 바꾸었는데 그 이유는 기기를 처음 설치했을 때 회수조업비가 재생된 크롬의 가치를 초과했기 때문이다.

크롬회수장치비 회수상태가 좋지 못한 경우에는 대개 장치가 몇년전에 설치된 것이거나 최대 성능을 가진 신형이 아닌 장치를 사용한 경우일 것이다. 그렇다고 하더라도 크롬회수는 Cr^{6+} 을 환원하며 Cr^{3+} 으로 만드는일, 그리고 크롬 침전과 고체물 분리를 해야 하는 필요성을 없애준다는 이유만으로도 계속 회수 작업을 할 명분은 충분히 되는 것이다. 더우거나 이 기기들은 상당한 양의 물(두 공장에서 1900과 5680 l/hr)을 재생시키는데 이것은 총공장 물사용량의 20~25%에 해당하는 양이다. 한 공장으로부터 나온 폐수내에 크롬 농축도는 0.2 mg/l에 지나지 않았다.

크롬산용액이 음이온 교환기에 주입되기 전에, 3가크롬과 다른 금속 불순물을 제거하기 위해 양이온 교환기가 사용된다. 대부분의 이온교환기 사용회사들은 황산이온이 증가하는 것을 방지하기 위해 탄산바륨을 도금용액에 때에 따라 첨가한다.

한 공장은 염소이온 축적에 대한 문제를 거론했다. 과도한 염소이온 농축을 피하기 위해 가끔 퍼내버리는 일이 있다. 또 다른 공장은 염소 이온 농축이 위험선에 도달했을때 끊어서 염산성분을

표 3
이 온 교 환 회 수 방 법

공 장	도 금 종 류	회수장치비 \$	반침의형식	조업비용 \$/월	약품절감 \$/월	장치비회수 기 간 년	장 치 비 율 ^a
AA	크 롬 도 금	33,000	교 환 식	1,000	1,000	안 됨	0.10
BB	크롬및니켈도금(2)	80,000	고 정 식	4,000	2,000	안 됨	0.10
C	크 롬 도 금	13,500	교 환 식	미 비	12,000	-	-
CC	크 롬 도 금	41,000	교 환 식	150	370	15.5	0.04
DD	크 롬 도 금	59,600	교 환 식	600	16,000	0.3	-
EE	크 롬 도 금	30,000	교 환 식	~ 125	825	~ 3.6	-
FF	크 롬 도 금	30,000	교 환 식	1,200	3,630	1.0	0.05
GG	금 도 금	12,000	이 동 식	300	12,000	0.1	0.01
A	니 켈 도 금	40,000	교 환 식	100	1,500	2.4	0.05
CC	니 켈 도 금	49,000	교 환 식	100	1,450	3.0	0.05
DD	니 켈 도 금	60,000	교 환 식	1,125	4,475	1.5	-
HH	니 켈 도 금	33,000	교 환 식	미 비	500	-	-
I	니 켈 도 금	50,000	교 환 식	400	2,000	2.6	<0.05
II	니 켈 도 금	300,000 ^b	고 정 식	1,500	3,500	12.5	-

^a 이 온 교 환 장 치 비 는 도 금 설 비 비 로 나 는 것 임.

^b 회 수 된 니 켈 액 농 축 용 회 수 장 치 비 포 함.

증발시켜 버렸다. 니켈염을 회수재생하기 위해 벡트교환식 기기를 사용하여 4 회사는 1.5~3 년 내에 장치구입비를 회수할 수 있다고 예상하고 있다. 원래 크롬회수 재생을 위해 구입한 구식 벡트 고정식 기기를 니켈용으로 사용하고 있는 또 다른 회사는 기기를 이동시키고 다시 관을 연결시키는데 드는 비용을 포함한 기기설치 총 비용을 회수하기 위해 그 장치를 12.5년 동안 가동시키지 않으면 안된다고 한다. 한개의 니켈 회수 기기가 공장 총 물사용량의 8%에 상당하는 1,900 l/hr의 물을 재생한다. 니켈회수 재생을 위해 이온 교환기를 사용하는 이들 공장으로부터 나오는 폐수내에 니켈 농축도는 0.5~1.0 g/l에 지나지 않는다. 한 회사의 설문응답서에 나타

난 장치에 대한 문제로는 물의 내부 증발과 이로 인해 도금약품(크롬산)이 건조되어 달라붙는 것을 피하기 위해 교체하여야만 하는 발브에 관한 문제가 주이었다.

금과 팔라듐을 회수재생하기 위해 한공장에 설치된 벡트 이동식 이온 교환기에 의해 월 \$12,000에 해당하는 금속을 회수하고 있다고 한다.

조업비용은 겨우 월 \$300이며 이리하여 약 1달이내에 \$12,000의 장치 구입비를 회수한다고 한다.

교환기의 용량은 1900 l/hr이며 공급되는 액은 금농도가 매우 묽다. 금속 상태로 모든 금속을 재생하는데 전해조에서 행한다. 이 회사는 교환기에 공급되는 액에서 혼합 금속수산화물(주로

니켈과 주석)을 제거하기 위해 개량된 고체분리기를 사용할 필요성을 지적하고 있다.

역류수세에 의한 농축

몇몇 회사는 재생 수단으로 증발기, 가역투막기, 이온교환기를 사용하는 방법을 기술한 설문 응답에 보충으로 역류수세조를 사용해서 유가금속을 농축하여 회수재생하는 방법을 기술하고 있다.

중서부에 위치한 한 회사는 한개의 공기 교환절약수세조 다음에 두개의 역류수세조를 사용하여 니켈염 구입비로 연간 \$6,000이나 절약하고 있다고 주장하였다.

이 저렴한 시스템으로 약 90%의 니켈이 재생되어 광택도금용으로 재순환된다. 크롬도금을 한 후 한번 절약 수세를 하고 세번 역류수세를 해서 연간 \$2,000에 해당하는 크롬산을 회수 재생한다고 한다. 또 다른 회사는 역류식 수세에 의해 니켈도금을 외부누출없이 완전히 크로즈드(closed)화 하였다고 주장했으나 상세한 내용은 밝히지 않았다. 공업용 경질크롬도금을 전문으로 하는 한 회사는 완전 크로즈드화하기 위해 7개의 역류수세탱크를 사용한다.

토 론

회수재생장치는 도금회사들이 화공약품을 절약하고 공장폐수내에 중금속 함유량의 허용기준을 넘지 않도록 하기 위해 실시하는 화학처리 비용을 전연 들이지 않거나 최소한 줄일 수 있도록 해 주었다. 비용 절감 효과는 용수절약과 아울러 장치선택을 잘 함으로써 극대화 할 수 있었다.

물어 나온 용액이 농축되어 도금전해조로 재순환될때 생기는 불순물의 축적과 연관해서 생기는 문제들을 피하기 위해 다양한 기법(테크닉)이 채택되었다. 이와 같은 테크닉의 유효성 여부는 개

개의 도금조업의 특성에 달려있는것 같이 보인다. 몇몇 회사에서 효과를 본 정화작업이 다른 회사에서는 별무효과인 경우도 있었다.

성공적인 방법이라고 딱 꼬집어서 말할만한 방식이 이번 조사에서 나타나지는 않았지만 대부분의 설문응답 결과에 의하면 도금의 질을 저하시키지 않는 재순환 시스템은 화공약품을 절약하고 비용을 줄이려는데 기사들의 노력으로 충분하다고 보고 있다. 재순환 시스템의 비용절감 효과는 물어 나오는 양과 재생된 화공약품의 가치가 어느 정도이냐에 달려 있다. 보통 대기업들은 증발기, 가역투막기 이온교환기등의 구입비용을 단시일내에 회수할 수 있고 물어나오는 양의 손실을 효과적으로 회수한다. 소기업들은 이와 같은 장치 구입비와 운용비를 정당화하기가 매우 힘들것이다. 이 경우에는 될 수 있는 한 비용이 안들게 절약 수세를 하고 역류수세(counter flow rinse)를 하는 것이 값비싼 화공약품들을 일부나마 건질 수 있는 최선의 방법이 될 것이다.

회수재생으로 장치구입비용을 회수하는 기간이 크롬, 니켈, 납함금, 금(기타 다른 금속)에 대해서는 일반적으로 비교적으로 빠른 편이지만 이에 비견할만한 아연재생장치 구입비 회수기간은 이번 조사에서 확인되지 않았다. 그러나 화학처리 입장에서 볼때 회수재생의 이점은 시안화물을 분해하고 아연분을 침전시키며 고체물을 분리시키고 슬라지를 처분하기 위한 아연시안화물 용액을 화학처리하는데 소요되는 비용을 감안할때는 명백해 진다. 예를 들어 폐기물 처리를 위한 화공약품 비용은 시안화물 Lb 당 \$3으로 추산되었다. 만약 이 추산이 재생된 시안화물 용액의 금액으로 인정된다면 회수재생 시스템을 채택하는 재순환 방법은 중요한 경제적 동기(incen-tive)가 되는 것이다.