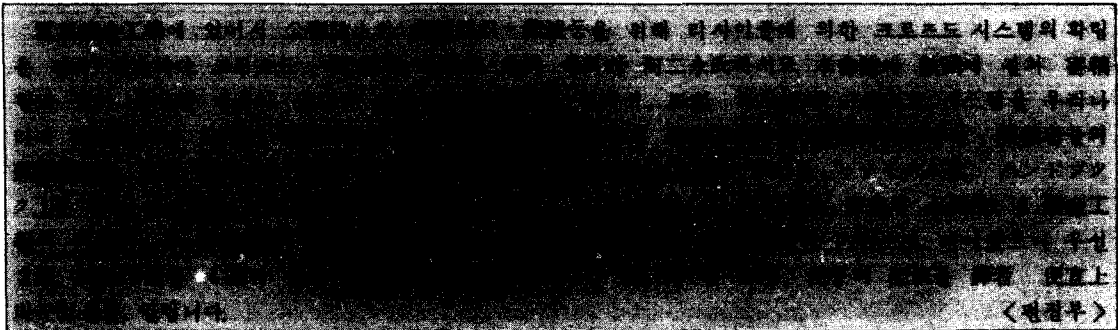


〈技術資料〉

電氣鍍金工場에 있어서의 리사이클 (Recycle) 化 (I)

편 집 부



1. 리사이클화(recycle化) 실시의 필요성

앞으로의 전기도금 공장이 국민이 요망하는 환경보존을 지키기 위해서는 리사이클화의 실시 이외에는 다른 방법이 없다고 단언할 수 있는 이유로서는 다음과 같은 점을 들 수가 있겠다.

현재까지의 전기도금 공장에서는 가공공정에 있어서, 국내 산출량이 극히 적은 중금속 및 기타의 많은 귀중한 자원을 배수와 함께 아낌없이 폐기시켜 왔다. 이것은 배수 및 도금 슬러지의 성분분석 결과를 보면 명백히 알수 있다. 아연, 니켈, 구리, 크롬등의 폐기량은 점점 증가되고 있는 실정이다. 실례를 아연도금액에 대해서 보면 많은 공장이 작업공정에서 액을 흘려내는양이 상당히 증가되어 대체로 구입 원재료의 70~80%가 직접 재료로 되지 않고 수세수와 함께 방류되고 있는 것이 판명되고 있다.

더욱이 배출된 이들 재료에 큰 경비를 들여서 공해방지를 위한 처리조작을 하지 않으면 안된다. 그리고 이 처리법 여하에 따라서는 도금슬러지가 엄청나게 많아지고 결국에는 슬러지의 처리 및 그의 처분에 골치를 썩여야 한다는 사서 고생하는 일을 저지르고 있다. 또한 이 쓸모없는 자원폐기에 요하는 에너지의 낭비도 막대한 량이 아닐수 없다. 지금까지 사용할때에 비교적 경

시하기 쉬웠던 물, 전기, 연료등도 생각해 보면 현재에 와서는 소홀히 해서는 안될 귀중한 자원이며 이 낭비는 커다란 에너지의 손실로 간주하지 않으면 안된다. 더욱이 사용수량의 절감은 리사이클화를 시행함에 있어서 농축회수나 배수처리 효율을 향상시켜야 하는 것이 필수 조건임에도 불구하고 종래의 도금가공공정에서는 너무나도 다량의 물을 필요이상으로 쓸모없이 마구 사용한 경향이 있다. 그리고 이제부터는 환경보전대책면에서 총량 규제에 이행되었고 地盤沈下 방지를 위해 각지방에서의 지하수 揚水禁止 나아가서는 지하수 사용 공정에 수도용수나 공업용수를 바꾸어 사용하도록 의무화하는 기미도 있어 이런 면에서도 절수, 감량화를 도모할 필요가 있다. 이같은 정세하에 있어서는 대규모의 도금공장은 물론이러니와 어떠한 소규모 공장일지라도 예전과 같이 1일에 수십톤 이상의 배수를 배출할 수는 없는 것이다. 현재 일본토산성의 조사통계로는 일본의 전기도금 공장에 있어서의 수세, 수량은 전국평균이 대체로 종업원 1인당 2~3톤/일로 되어 있지만 지도목표는 1톤/일 이하를 대상으로 하지 않을 수 없게 되었다.

최근 각지에서의 수도요금을 비롯하여 전기료

연료비의 인상이 두드러지고 있으며 아울러 전반적인 도금 원재료비의 양등은 피할 길이 없는 실정이다. 이점을 함께 고려한다면 지금까지의 수많은 자원, 에너지의 낭비는 전기도금 공장에 있어서 경영적인 면에서도 극히 불리한 것이 명백하다. 새삼스러운 문제는 못되지만 현재 우리나라에 있어서는 산업계 전반을 통틀어 자원절감 에너지 절감이 강조되고 있고 총력을 기울여 이 문제에 대처하려고 하고 있다. 전기도금 공장에 있어서는 이 필요성이 상기 이유로 더 더욱 크다고 아니할 수 없다.

그러나 이 필요성이 충분히 이해되어 한시라도 빨리 그 대책을 강구하여야 함에도 불구하고 전기도금 업계에서는 아직도 주저하는 경우가 많고 실현을 적극적으로 하지않고 있다. 따라서 구태의연한 원재료의 폐기, 물, 전기, 연료등의 낭비를 계속하고 있는 공장은 결코 적지 않다.

그 원인으로서는 오직 지금까지의 도금작업 공정에서의 관습성을 타파함으로써 무엇인가 예기치 않은 폐해라도 발생하지나 않을까 하는 불안이 있기 때문이 아닌가, 생각된다. 이와같이 하면 생산성을 저하시키고 불량가공품이 잇달아 일어나지나 않을까 하는 억측만을 두려워 하여 새로운 방법은 실행치도 않고 지금까지의 관습을 그대로 추종하고 있는것이 경영적으로 무난하다고 생각하는 것은 이마당에서 근본적으로 큰 오류를 범하고 있는 것이라고 아니할 수 없다. 종래법에 따라서 도금가공을 하는 것이 한편으로 생각하면 확실히 다량의 원재료와 수세수량을 사용하고 있는 만큼 양호한 품질을 얻기에 비교적 용이할런지도 모른다. 그러나 이것 역시 한도가 있고 필요 절대량을 훨씬 초과하는 낭비와 폐기는 실로 무의미한 것이다. 더욱이 경영 전반에서 본다면 이윤폭을 공연히 감소시킬 뿐이며 문제가 많은 것이다.

고도성장기에 있어서는 다소의 자원을 마구 사용하여도 생산성의 증대화를 도모함으로써 커버할 수는 있지만 앞으로 총량 규제의 법규 준수가 충분히 예측되는 사회정세하에 있어서는 이와같은 감상은 결코 허용되지 않을 것이다. 전기도금 업계에 있어서 금후는 높은 附加價值 증대를 요구하며 양보다도 질적경영에 이행하려고 하는 풍조

가 많은 만큼 자원절감 에너지절감을 위한 대책을 끌고 나가야 한다는 것은 어쩔수 없는 일이다. 이 방침에 따르면 당연한 결론으로서 관리체제의 확립과 아울러 공장전체를 대상으로 한 리사이클 시스템의 도입은 강력히 요망되는 것이다.

실제로 리사이클 시스템을 도입할 경우 이론적으로 말해서 완전한 공해방지 대책을 확립한다는 것은 공장으로 부터의 모든 유해물질의 배출을 억제하고 가능하다면 유해물질을 모두 유용물질로 변화하게 하여 아무것도 남김없이 활용하는 것이 이상적이다. 말하자면 배수를 한방울이라도 외부에 배출시키지 않는 크로우즈드 시스템의 채용이야말로 최선책이라 말할 수 있다.

그러나 이 시스템의 도입은 현상하의 많은 공장에 있어서 가령 원리적으로 충분히 이해가 된다고 하더라도 관리체제의 정비문제로 하여 현장에 채용하는데 있어서는 상당한 곤란이 수반된다고 하는것이 뻔한 사실이다. 그러므로 크로우즈드 시스템을 최종 목적으로 한 리사이클 시스템의 도입을 고려하는 것이 좋다.

다만 리사이클화 실시에 있어서 자기 공장의 어느 공정에서 어떠한 물질이 어떠한 형태로 배출되고 있느냐를 충분히 확인한 토대 위에서가 아니면 비록 농축회수 기기류를 사용하여도 실행은 불가능 하게 된다. 일반적으로 전기도금 공장에서는 원재료로서 구입하고 있는 약품류는 밝혀져 있지만 가공공정에 있어서 화학반응에 의하여 거의가 다른 물질로 되고 더욱이 수용액으로 되어 존재하고 있기 때문에 그 파악이 정확하게 이루어 지지 않고 있는 것이 보통이다. 따라서 수차에 걸치는 가공공정의 전체적인 관찰이 필요하게 된다. 많은 유해물질을 다루지 않을 수 없는 전기도금 공장으로서의 비록 소량이라 할지라도 유해물질을 배출시키면 어떠한 형태이건간에 무해화처리는 반드시 행해지지 않으면 안된다. 이때 배수의 내용이 단순한 것이라면 이 처리는 용이하지만 타업종의 공장과는 달라 복잡화한 성분의 것이 많을 경우가 태반인 것이다. 그 일례를 시안화아연 도금액에서 든다면 그 배출성분은 아연과 철의 시안착염에 유지 기타의 유기물이 혼입된 것이 주성분으로서 이 이외에 작업관리 여하에 따라서는 6카크롬, 구리, 납, 카드뮴

기타 다량의 무기물 및 유기물의 불순물이 혼입되어 있고 그 유해성 및 오탁성은 크다. 이것은 보통 일반적인 배수처리 원리에 따라서 처리를 행하여도 무해화 처리가 잘 안되는 율은 높다. 이 공정에서 종래에는 대량의 수세수량을 사용하여 현 상황에서는 채용할 수가 없는 회석법을 채택해서 그런대로 끌고 왔다고 말할 수 있다. 지난 시대의 법규제의 배수배출 기준을 지키기 위해서 필요 이상의 규모를 갖는 처리시설로 그런대로 대응은 해왔다고 하나 오늘날에는 어렵다. 이 문제를 해결하기 위해서는 전처리, 수세, 도금의 각 공정에 걸쳐서 혼입 배출에 감시관리를 충분히 시행해왔던 공장에서는 당연히 상기 복잡스럽게 만든 배수를 배출함이 없이 공해에 대처해왔다. 단순화 할 수 있는 배수를 배출관리가 조잡함으로서 공연히 복잡하게 만들어 모든 것을 문제점이 되도록 다루워온 종래의 법에는 크게 반성할 필요가 너무나도 많다. 더욱이 복잡스럽게 만든 배수를 처리하고 있는 공장이 아직까지도 상당수 존재하고 있다는 자체가 크게 문제가 되는 것이다. 이와같이 종래의 도금 배수처리에 있어서도 문제를 남겼던 액의 배출관리를 관습이라고는 하나 아직도 계속하고 있어서는 공정내의 리사이클화의 채용은 도저히 바랄수도 없는 것이다.

도금가공 공정을 도금 소재반입에서 시작하여 최종 공정까지에 걸쳐 어떠한 미소한 사항이라 할 지라도 결코 간과함이 없이 불순물 혼입을 하나 하나 미연에 방지해야 하는 일을 모든 공정을 통하여 재검토가 이루어져야겠다.

따라서 후술하는 수세공정의 시정은 물론이러나와 전처리공정, 도금공정 후처리공정등에 있어서 검토에 재검토, 재삼의 검토가 필요하다. 특히 전처리공정을 무시해서는 안된다. 지금까지의 리사이클화 실시는 주로 도금공정 및 도금 후의 수세공정만을 대상으로 하여 행하고 있는 경우가 많다. 그때문에 전처리공정과 그 수세공정으로 부터의 유해물질, 오탁물질이 다음 공정으로 넘겨지는데 대한 고려가 되어있지 않고 나아가서는 리사이클화를 곤란하게 만들게 된다. 도금 배수중의 油分함유는 과거에 있어서는 무해화처리의 물리화학적 반응을 지연시키거나 중금속류의 응집 침강속도를 저하시키는등 그 존재는 종종 배수처

리를 방해하는 일이 많았다. 또한 油分이 도금공정으로 묻어 들어간 경우에는 도금의 출질을 저하시킬 뿐 아니라 도금액, 전처리액의 노화의 촉진까지도 빠리시키는등 그 미치는 영향은 크다.

수많은 공장을 대상으로한 실태조사의 결과에서는 탈지공정 직후의 수세조에서 유분 함유량을 노르말렉산 추출물질량으로 산출하였을때 400 ~ 1,000 ppm의 높은 값을 나타내고 있다. 그러나 이때에 유기용제를 사용하는 예비탈지 공정을 가하게 되면 한단계 낮은 값을 얻을수 있으며 이 과정에서 여과조작을 행하면 다시 약 90%의 감소율을 나타낼 수 있게 된다. 리사이클을 위해서는 알칼리 탈지액의 수명이 극히 길지 않으면 안된다. 그리고 탈지액 표면에 떠 있는 油分の 제거에는 오우버플로우 형식에 의한 방법, 폴리프로필렌 수지에 의한 흡착 및 膜 분리법에 의한 방법등이 있는데 이들을 채용함이 바람직하다.

전처리공정에 대해서만도 개략적이긴 하지만 이상과 같은 점을 들수 있다. 앞으로 도금 배수처리의 효과적인 방법을 고려하고 또한 배출관리의 철저화를 위해서도 이를 실시하고 그에 의존하는 것은 참으로 좋은 것이다. 그리고 실제로 리사이클화를 도모하는 경우에 다음과 같은 기본을 지키고 이 조건에 대하여 충분한 검토 조사를 행할 필요가 있다.

① 도금액 및 전후처리액의 묻어나오는 양을 극력 최소로 되게해야 하며 일단 묻어나온 것은 어떠한 형태로든지 농축 조작에 의해 필히 원래의 액으로 되돌아 가도록 궁리를 한다. 이때의 농축은 먼저 자연농축 회수를 고려하며 관련기기, 및 장치의 도입은 이후의 단계에서 검토한다.

② 액의 묻어나온량과 첨가한 양이 항상 같은 양이 되도록 전후의 공정을 개선을 하여 전공정을 통해서 발란스가 유지되도록 노력한다.

③ 묻어나온 것과 첨가한 것이 다음 가공공정에서 가공상 방해가 되지 않도록 궁리한다.

④ 전공정에 걸쳐 품질유지를 위한 세정 효과를 떨어뜨리지 않는 범위내에서 되도록 수세수량을 감소시킨다. 동시에 이때 사용한 수세수는 되도록 회수, 재이용을 고려한다.

⑤ 리사이클의 방해가 되는 액중의 생성물, 불순물에 관해서는 미리 철저하게 조사하고 그 처

리법을 필히 강구해 둔다.

⑥ 생산성 및 도금품질을 저하시키게 하는 리사이클화는 무리해서 행하지 않는다.

⑦ 리사이클화 실시에 있어서 너무 많은 경비를 들이는 것은 되도록 피한다. 그러나 이 때문에 유지 관리가 복잡해지면 안된다. 될수 있는대로 용이하게 할 수 있는것 부터 순서대로 선택하도록 주의한다.

이들 기본 사항을 기초로하여 독자적으로 각 공장에 적합한 레이아웃(lay out)를 다시 짜야할 필요가 생기게 된다. 도금 가공이 수동식인 경우에는 비교적 용이하지만 자동화되어 있는 경우에는 수세공정, 전처리공정의 변경은 어렵다.

그러나 반송방법을 바꾼다던지 하여 보완할 수는 있다. 예컨대 도금후의 회수조에 도금전 침지를 해서 묻어들여가고 묻어나오는 것의 균형을 유지하도록 하는 것도 한 방법이다. 이 방법은 크롬, 니켈도금에서는 이미 실시하고 있는 곳도 있고 회수율을 높임과 동시에 도금시간의 단축, 품질의 향상에도 기여하고 있다.

리사이클에 중점을 두면 자연히 종래의 각조의 배치와는 달라지게 되고 그래도 나쁠것이 없다.

농축장치를 공정중에 삽입하는 경우에는 회수조와 나란히 하지 않으면 안되고 각처리조의 액면 레벨도 문제가 된다. 반송등의 관리는. 보통 1일 단위로 하면 액면의 변화가 최대 10cm 폭이내에 그치도록 조의 구조를 개선할 필요가 있다. 또한 반송은 모두 여과기를 통하여 행하면 효과적이다.

흔히 순환 연속여과를 하여 밸브 절환에 의해 액송하면 된다.

도금조에 있어서 격막을 사용하고 있는 경우에

는 액면제어로 액을 되돌아가게 하는 것은 어려우나 양극 주머니를 쓰는 경우에는 이 제어는 용이해진다. 그러나 액을 지나치게 넣으면 착오가 일어나기 쉽다. 이 점에 대해서는 제어기기를 사용하는 것도 좋으나 설비비, 관리방법을 고려한다면 오히려 자연적으로 되돌아갈 수 있는 설계가 바람직하다. 수세방법도 종래대로의 단지 수세조를 나란히 해서 흘러 넘치는 방식으로 해서는 의미가 없다. 상세한 것은 후술하겠지만 액면을 앞쪽을 낮게하고 또한 조의 저부로부터 방축을 통하여 다음 조에 이송시키는 공리는 무엇보다도 바람직하다.

농축장치 도입에 있어서는 현단계로는 실시하는데 있어서 아직도 문제점을 때로는 남기는 것도 사실이지만 일반적으로 말하여 도금액의 온도가 높으면 농축조작은 어렵지 않다. 이런 관점에서 볼때 구리, 니켈, 크롬 등의 도금공정에 있어서의 리사이클화는 그리 곤란하지는 않다.

리사이클화의 실시에 있어서는 자연농축형이 상이기는 하지만 리사이클화의 관련기기 장치를 필요로 하는 경우도 많다. 현재, 리사이클을 위하여 사용되고 있는 방법으로는 전해법, 막분리법, 이온교환수지법, 증발농축법등을 들 수 있으며 실제로는 전해채취, 격막전해, 전기투석, 확산투석, 역침투, 한외여과, 이온교환수지, 진공증발농축, 대기증발농축, 기타의 장치가 이용되고 있다.

그러나 이들의 장치를 단지 도입하는 것만으로는 리사이클화가 가능하다고는 할 수가 없다. 장치의 특정 단점을 충분히 파악한 다음에 자기 공장에서의 사용 목적에 맞추어서 선택하지 않으면 효율적이 못된다.

2. 鍍金工程의 再檢討

2-1 리사이클화를 위한 레이아웃 (lay out) 의 개선

2-1-1 공해의 발생원파 공해물질

지금까지의 공해발생은 현실적으로는 처리 장치의 고장이나 가동이 충분치 않았다는 등등이 직접 원인으로 되어 있는 경우가 많다. 그러나 다시 조사한 결과로는 처리장치에 유출하여서는 아니될

배수를 유출시킨 경우도 상당히 있다. 처리장치에 유출해서는 안되는 배수라고 하는것은 처리 목적이 아닌 물질, 예컨대 시안계 배수에 크롬산이 혼입되어 있거나 또는 그 반대로 혼입되어 있는 경우와, 배수농도가 지나치게 높거나 극단으로 낮을 경우 및 처리장치의 능력이상의 다량의 배수등을 가르켜서 하는 말이다.

이들 공해사고를 없애기 위해서는 배수를 배출하지 않거나 또는 공해규제 물질을 사용하지 않거나 하는 것이 근본적인 완전한 대책이 될 것이나 그것은 극히 어려운 일이다. 따라서 차선책으로서 가능한限 배출량을 감소시키는 일과 처리하기 쉬운 배수를 만드는 일이라 하겠다. 이와같은 관점에서 배수에 대해 재검토를 하여본다면 우선 배수의 발생원은 수세공정이라는 것과 공해물질은 도금액이나 전후처리액에 함유된 액의 중요한 구성물질이라는 것이다. 따라서 공해규제물질은 원래 유용한 도금액이거나 전후처리액이며, 그것이 배수중에 함유되어 배출되는 것으로서 이것은 수세라고하는 작업에 의하여 수세공정에서 배출되는 것에 지나지 않는다. 배수는 도금액 등에 비하면 농도는 훨씬 낮다. 농도가 낮으므로 쓸모가 없는 폐수가 되고 마는 것으로서 농도가 도금액과 같거나 또는 그것에 가까운 농도라면 충분히 재사용이 가능한 것이다. 여기서는 리사이클 라고 하는 것을 중심으로 하여 리사이클을 시행하기 위한 제일의 조건으로서, 유용물로 재사용가능한 농도 또는 그것에 가까운 농도의 배수를 될 수 있는대로 적은 양이 되도록 만드는데 필요한 수세 방법을 중심으로 레이아웃트를 생각해 보기로 한다.

2-1-2 수세의 의미와 이유

수세란 물로 씻는 것을 말한다. 당연한 일이지만 왜 씻느냐 어느 정도 깨끗이 씻느냐 하는 것은 다시 한번 생각해 볼 필요가 있다. 그리고 그 의미가 확실히 파악된 다음에는 비로소 어떻게 씻는 것이 필요하고 충분한가 하는 문제가 명확해질 것이다.

수세에는 도금의 전처리 과정에서의 공정관리상 필요한 것과 제품품질상 필요한 것의 두개로 대별된다고 본다.

도금의 전처리과정에서의 수세의 목적은 앞공정으로부터 다음공정에 도금액의 조성이나 조건에 해를 주는 것 따위의 유해물을 넘기지 않도록 한다는 것이다. 예컨대 구리도금액 중에 크롬성분을 넘여가지 않게 한다거나 구리성분을 니켈도금액 중에 넘여가지 않게 한다는 것이다. 도금전의 중화처리공정의 매다수는 이 예에 해당되는 것이다.

앞의 공정에서 넘겨지는 것이 다음 공정에서 그리 유해치 않다면 특히 수세를 행하지 않아도 될

것이다. 고예로서 반광택니켈에서 광택니켈로 들어갈 경우에는 그 사이의 수세공정을 생략하고 있는 공장이 많다. 또 광택니켈에서 돌니켈 등 넘어가는 경우도 마찬가지로 수세를 행하지 않는 일이 많다. 이것은 차공정에 특히 악영향을 미치지 않으므로 유해불순물이 넘어가는 것을 방지하기 위한 수세를 행하지 않아도 되는 경우의 일예이다.

후자의 품질유지를 위한 수세는 도금액등이 제품에 남아서 얼룩등 상품가치나 기능상 악영향을 미치지 않는 정도까지 청정하게 하는 것이 목적이나 예컨대 크로메이트 처리액의 수세등에서 수세수의 크롬산 농도가 약 200 ppm의 물로 수세를 행하여 문제를 일으키지 않고 제품을 출하하고 있는 공장도 있다.

만약 수세수 중에 크로메이트처리한 물품을 넣어두고 수세수중에 크롬이 검출되지 않게될때까지 수세를 계속했다고 한다면 도리어 크로메이트 피막은 극히 약한 것으로 되고 만다. 따라서 수세에 대해 고찰할때에는 그 수세가 어떠한 목적과 의미를 갖고 있느냐 하는 것을 잘 생각하여 필요충분한 농도(즉 오염물)까지만 씻을수 있는 방법을 채용할 것이며 필요이상으로 공연한 물을 유출할 필요는 없다. 지금 가령 어느정도까지 씻으면 될 것이냐 하는 한도를 최종 오염 허용농도라 부르기로 한다. 그리고 이 최종 오염 허용농도를 어느선까지로 잡느냐 어느정도이면 불량이 일어나지 않느냐 또는 다음 공정에 있어서 불순물로서 어느 정도까지 축적되는 것이냐 하는점을 판단하여 설정하는 일이 우선 필요하다. 리사이클 률이 높아져서 거의 100%리사이클 되기에 이르면 다음 공정으로 넘겨지는 미량의 불순물의 축적이 염려된다. 그를 위해서는 현재의 작업방법 및 공정에서 최종 수세조의 농도가 어느정도로 되어있느냐 또한 도금액이 어느정도의 불순물을 함유하고 있어 불량이 나 크레임(claim)이 나오지 않았느냐 하는 것을 분석하여 데이터(data)를 만들어 둘 필요가 있다. 또 공정에 따라서는 순수한 물로 갑자기 수세하지 않는 편이 좋은 경우도 있으므로 그 공정이 어떤 의미를 가지고 있으며 왜 수세를 행하느냐 하는 것을 다시 한번 잘 검토해볼 필요가 있다.

2-1-3 수세의 기초

수세란 기본적으로 물에 의한 희석이라고 생각

할 수가 있다. 어느정도 깨끗이 씻느냐 하는 것은 어느정도의 오염농도가 되기까지 희석하느냐 하는 것이다.

예컨대 어떤 도금품에 10 ml의 도금액이 부착하여 다음 수세조에 들어간다고 했을때 이 도금액의 농도가 가령 크롬산 250 g/l이고 수세수의 양은 100 l였다고 한다면 250 g/l의 도금액이 10 ml 퍼내어져 100 l의 수세조에 들어간 것으로 된다. 이 수세조중에서 잘 휘저어 섞어서 씻었다고 한다. 이 수세조중에는 250 g/l × 0.01 l = 2.5 g의 크롬산이 옮겨 들어와 그것이 100 l의 물로 균일하게 희석되었으므로 2.5 g ÷ 100 l = 0.025 g/l의 크롬산 농도로 될 것이다. 즉 10,000 배로 희석된 것으로 된다. 즉 100 l의 물속에 10 ml의 도금액을 넣으면 그 농도는 약 10,000 분의 1로 될 뿐이며 그 이상은 묽어지지 않는다. 이 농도를 희석한계농도라 부르기로 한다. 물품이 이 0.025 g/l로 된 수세조로부터 다음조로 나갈때에는 0.025 g/l의 크롬산 용액(수세수)이 묻어나가 다음에 넘겨지게 되는 것이다. 즉 수세수에 담구어서 씻는 방법으로는 희석한계농도 보다 깨끗이 씻을 수는 없다. 실제의 수세작업에 있어서는 어떻게 빨리 그 상황에서의 희석한계농도로 하느냐, 다시말하면 공급된 물 전체로 균일화 하느냐 하는 점이 수세작업을 효율있게 하는 것과 직결되는 것이다.

수세에 대해서 항상 고려하지 않으면 안될 기본적인 요소를 들면 다음과 같다.

- (1) 도금액 또는 수세공정에 묻어들어가는 액의 농도 (이것을 Co로 표시한다)
 - (2) 수세공정에 묻어들어가는 액량 또는 묻어나오는 량 (이것을 묻어나가는 양D로 표시한다)
 - (3) 수세수의 총량, 또는 수세조 1조당의 수량(이것을 W또는 V로 표시한다)
 - (4) 어느정도까지 깨끗이 하느냐 또는 깨끗이 되었느냐를 나타내는 최종 수세조의 농도 (Cn으로 표시한다)
 - (5) 원래의 액농도와 최종 수세조 농도와의 비 즉 몇배로 희석 되었느냐를 나타내는 값 (이것을 R로 표시하면 $R = Co/Cn$ 으로 된다)
 - (6) 몇조의 수세조를 사용하여 씻느냐를 나타내는 수세조의 수 (n으로 표시한다)
- 이상의 6 항목이 수세작업에 있어서는 기본적 요

인이다. 즉 어느정도의 농도의 도금액이 (Co) 어느정도 물품에 묻어서 묻어나가 (D), 몇 l의 수세조를 (V) 몇조 사용하여 (n) 어느정도까지 깨끗이 (Cn) 씻느냐 하는 것이 수세작업인 것이다. 그리고 이 수세공정에서는 원래의 도금액을 몇배 인가로 희석하는 ($R = Co/Cn$) 작업을 하고 있는 것이므로 작업공정수나 사용수량등을 고려한다면 어떤 수세방법을 써야만 효율적이냐를 생각하는 것이 리사이클화를 위한 레이아웃 (lay out) 의 제일보가 되는 것이다.

여러가지의 수세방법 또는 레이아웃의 이해득실은 별항에서 검토하기로 하고 여기서는 먼저 제시한 기본적인 요인이 도금의 공정중에서 각각 어떠한 의미를 갖고 있느냐를 고찰해보기로 한다.

1. 도금액 농도 Co에 관하여

수세관 Co를 어느정도까지 희석하느냐 하는 것이므로 Co가 낮은 편이 빠르고 소량의 물로 수세할 수 있을 것이다. 따라서 Co 즉 도금액 농도는 낮은 편이 수세 문제만을 고려할때 양호한 것이 되겠으나, 도금액 농도는 도금의 생산성이나 물성등에도 영향을 줌으로 기업 전체 면에서 고려할때 단순히 농도를 낮추라고 하기는 곤란하다. 물론 생산성이나 도금 피막의 성질등이 동일하다면 묽은 편이 유리하다. 따라서 여기서는 Co는 낮은 편이 수세의 면에 보았을 경우에는 유리하다고 말하고 구체적인 방법에 대해서는 언급치 않기로 한다.

2. 묻어나오는 양 D에 관하여

묻어나오는 양의 대소는, 수세를 희석이라고 볼때 몇배로 묽게하면 필요 충분한 수세로 되느냐를 정하는 하나의 열쇠가 된다. 만약 수세조가 1조였다고 하면 희석배수 $R = Co/Cn$ 은 그대로 $R = W/D$ 로 환치되는 꼴이 된다. 따라서 묻어나오는 양의 감소 대책은 리사이클화 하는데 있어서, 그리고 수세에 있어서도 가장 중요한 과제로 되는 것이다.

예컨대 $Co = 65 g/l$, $n = 3$, $V = 100 l$ 의 회분 (batch)식 수세에 있어서 최종 수세조 즉 제 3 수세조 농도가 $Cn = 1.0 ppm$ 을 넘지않는 범위내에서 작업할 수 있는 작업수를 묻어나오는 량 10 ml/래크, 25 ml/래크, 50 ml/래크로 변화시켜 이론적인 계산을 해보면 $D = 10 ml$ 에서는 456 래크, $D = 25 ml$ 에서는 181 래크, $D = 50 ml$ 에서는 90

랙크로서, 묻어나오는 량에 비례하여 작업가능 수가 감소하고 있다. 이 경향은 다른 向流多段水洗 등에서 동일하다. 그러므로 여러가지 설비와 장치의 도입이나 수세조수의 증가등을 고려하기 전에 어떻게 묻어나오는 량의 감소를 도모하느냐를 검토하지 않으면 안된다는 것을 알 수 있으리라 생각한다.

3. 최종수세조의 농도 C_n 에 관하여

합리적인 수세를 행하려고 할때 최종 수세조 농도는 최종 오염 허용농도가 아니면 안된다. 최종 오염허용농도의 결정이 C_n 에 직접관계되는 것이지만 실제작업에 있어서의 C_n 上限은 최종 오염허용 농도가 되고 이 C_n 상한을 높은 농도로 설정할 수만 있다면 동일 작업수의 경우에는 수세수량을 감소할 수 있거나 수세조수를 삭감할 수 있고 동일 용량의 수세조수가 같다면 작업가능 회수를 증대시킬 수 있게 된다.

4. 수세수량 V 에 관하여

이 항의 주제는 리사이클화가 가능한 량과 농도의 排水를 만드는데 관한 것이다. 묻어나오는 량 및 도금액 농도가 어느 일정한 값일때 수세수량을 감소시키면 수세수의 농도는 높아지고, 수량이 증대하면 농도가 낮아진다. 이에 관한 연구가 아래에서 말하는 수세방법의 개선이나 레이아웃의 개선이 되는 것이며 별항에서 다시 말하기로 한다.

2-1-4 리사이클화와 회수 및 수세공정

1. 내츄랄리사이클 (natural recycle)

도금작업에 의하여 도금액이 감소하게 되는 경우 현장에서는 작업종료후 회수액의 일부를 도금조에 되돌리고있는 공장이 많다. 이것은 부분적인 내츄랄리사이클이며 가장 경비가 들지 않는 방법이다. 공장에 따라서는 여과나 활성탄 여과를 하여 되돌리는 곳도 있다. 또 회수액량이 도금조의 도금액 감소량보다 과다할 경우 회수액을 농축하여 도금액 감소량과 거의 같게하여 도금조에 되돌리고 있다. 이것이 농축방법을 사용한 리사이클이다. 회수액을 리사이클한다 하여도 종래 배출하던 식으로 수세수를 그대로 해 놓고 있다면 공해문제도 여전히 해결을 제대로 못하고 리사이클 효율도 나쁘

다. 그러므로 우선 수세수량을 극단으로 절감하여 도금액의 감소량과 같게 하거나 또는 근접시킬 수만 있다면 내츄랄리사이클 또는 그것에 가까운 상태로 리사이클 할 수 있도록 해야할 것이다. 따라서 리사이클화를 시행하는 제 1단계는 적은 수세수량으로 필요충분한 수세를 수행하는 일이다. 수세수량이 적어지면 당연 수세수 농도는 높아지게 되는데 필요한 것은 최종 수세조의 농도가 최종 오염 허용농도 이하만 된다면 수세의 목적은 달성되는 것이고 회수조나 제 1수세조 농도가 도금을 부식시킬만큼 극단으로 높지만 않다면 그 농도가 어느 정도이건 간에 지장은 없는 것이다.

2. 설비장치를 사용하는 리사이클

수세방법의 검토만으로는 수세수량은 도금액 감소량과 같거나 또는 근접한 량으로까지 절감할 수 없는 경우도 있다. 특히 최종 오염 허용농도를 낮게 억제하지 않으면 안되는 경우등에는 내츄랄한 형태로서의 리사이클에는 무리가 있다. 이 경우에는 이온교환 장치등을 사용해야만 되는데 그래도 그들 부대장치에 적합한 배수를 만들거나 효율있게 사용하기 위해서는 역시 수세방법의 검토가 필요하다.

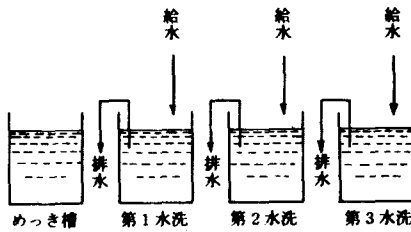
수세는 리사이클화를 행하기 위한 기본적인 작업으로서 중요하기는 하지만 그 전부는 아니다. 그러나 리사이클화를 행하는데 있어서 반드시 검토를 하지 않으면 안되는 작업의 하나이다.

이하 수세수량을 되도록 도금액의 감소량에 근접시키기 위한 여러가지 수세방법의 검토를 시행할때, 이 중에는 묻어나오는 량의 대책, 수세조수, 수세방법, 수세수량, 각수세조의 농도, 부대농축정화설비등의 문제등이 포함되므로 개개의 공장의 현상을 토대로 하여 종합적으로 판단하여야 할 것이다. 여기서 말하는 것은 하나의 생각과 경향이지 어느 공장에도 적용되는 만능의 방법을 말하는 것은 아니고 씨스템 (system)을 만들어 내기 위한 기본요소에 대하여 기술하는 것 뿐이다.

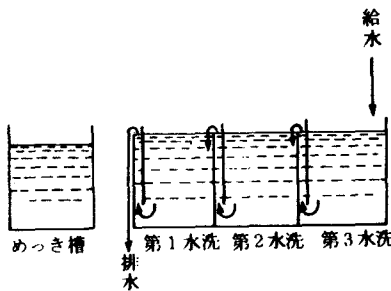
2-1-5 여러가지 수세방법과 이론식

수세의 방법에는 그림 2-1에 나타낸바와 같은 침지수세의 3개의 기본적인 형과 스프레이 수세가 있다.

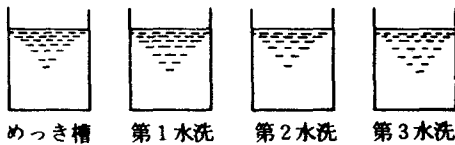
스프레이 수세는 별도로 다루기로 하고 여기서는 침지수세방법에 대하여 기술한다.



(a) 병렬수세 (조 하나하나에 급수하고 따로따로 배수하는 방법)



(b) 직렬향류수세 (최종수세조로부터 급수하여 제 1 수세조에서 배수하는 방법)



(c) 회분식수세

일정한 농도가 되었을때 제 1 수세만 배수하고 기타는 순차적으로 앞으로 보내주는 방법

그림 2-1

1. 並列水洗

병렬수세란 그림 2-1 (a)에 나타낸 것과 같은 수세방법으로서 多重수세라고도 불려진다. 수세의 방법에 多重 또는 多段이라는 말이 각각 쓰여져서 혼돈을 일으키므로 여기서는 병렬수세라 부르기로 한다. 병렬수세에서는 각수세조는 각각 독립되어 있고 각각의 수세조에 급수가 되며 각각의 수세조로부터 배수가 배출된다. 수세작업을 회석작업으로서 다루는 경우 병렬수세를 모델로 하여 고찰하

면 가장 단순하고 알기 쉬우므로 수세의 기초에서 거론한 문제를 다시한번 제기해 보기로 한다. 지금 각 수세조가 동일한 수세작업을 몇번씩 반복하여 수세수의 농도는 平衡으로 되어 있다고 생각한다. 이때 도금액의 농도 C_0 가 100 g/l 이고 물어나오는 량 D 가 1 l/래크 였다고 한다.

물품이 제 1 수세조에 넣어졌을때 100 g/l 의액 1 l 가 수세조에 넘겨진다. 이때 물어나오는 량의 100 배의 수세수를 공급했다고 하면 극히 단순하게는 제 1 수세조의 농도는 약 $1/100$ 즉 1 g/l 로 될 것이다. C_0 는 $1/100$ 로 희석된 것이다. 이 1 g/l 의 수세수가 마찬가지로 물품에 물어나와 동일 조건의 제 2 수세조에서 희석되면 다시 $1/100$ 의 농도의 0.01 g/l , 10 ppm 으로 되어야 할 것이다. 즉 수세를 반복해 나가면 조의 수를 n 이라고 할때 $1/(100)^n$ 으로 희석되게 된다. 이 관계를 공식화하면 $A = R^n - 1$ 이라는 식이 성립된다. A 는 1 조당의 급수량을 물어나오는 양으로 나눈 값, W/D 이며 R 은 도금액 농도 C_0 를 최종 수세조 농도 C_n 으로 나눈 값으로서 희석배수이다. 즉 n 조의 수세조를 사용하여 R 배로 묽게 하자면 물어나오는 량의 몇배의 물을 각각의 수세조에 공급하면 되느냐를 표시하고 있는 식이다. 이 식을 좀 더 상세히 다시 쓴다면 1 조당에 공급하는 수세수 량 W 는 $W = (C_0/C_n)^{1/n} \times D - D$ 로 된다. 지금 리사이클화를 추진하는 제 1 단계에서는 수세에 사용하는 수세수를 극력 절감하여 증발등에 의한 도금액의 감소량에 근접시키려고 하는 것이므로 W 을 작아지게 할 것을 고려하지 않으면 안된다. 그렇게 하는데는 식을 보면 알 수 있듯이 4 개의 방법이 생각된다. W 을 작게 하기 위해서는

- (1) 물어나오는 량 D 를 작게 한다.
- (2) 초기농도 C_0 을 작게 한다.
- (3) 최종수세조농도 (이것은 최종 오염 허용농도라 생각해도 된다.) C_n 을 크게 한다.
- (4) 수세조의 수 n 을 많이 한다.

이상 수세의 기초에서 지적한 항목이 모두 나오게 된다. 이 요건은 다른 수세방법에서도 기본적으로는 동일하다. 무엇보다도 (1)의 물어나오는 량 D 를 적게 할 것. 이것이 도금 공정에서의 리사이클에 있어서 가장 중요한 포인트이다. (2)의 초기농도 C_0 를 작게하는 것은 즉 도금농도를 낮춘다고 하는 것이다. 여기서 말하는 저농도란 도금 작업상 필요없

이 높은 농도로 하지 않는다는 뜻이며 어디까지나 절수, 리사이클화를 위한 것이다. 따라서 Co를 작게 하는 것은 작업성이나 도금의 피막물성등의 점에서 현실로는 어려운 요소도 많이 있고 한도가 있다.

다음으로 최종오염허용 농도 Cn을 크게 할 것. 이것은 일부의 공정에서는 아직도 가능할 것이다. 가장 가능성이 높은 공정은 도금의 최종 공정이다. 예컨대 크로메이트 처리후의 수세나, 주석도금후의 인산소다 처리를 한다음의 수세등이다. 그러나 역으로 만약 리사이클의 효율이 높아져서 대부분이 리사이클 되게되면 비례하여 중간 공정에서의 Cn을 작게 하지 않으면 불순물의 농축이 문제로 되어 온다.

表 2-1

조건 Co=250g/l Cn=5 ppm D=50 ml				
n	W (ℓ)	nW (ℓ)	A	nA
1	2,500	2,500	49,999	49,999
2	11.13	22.26	222.61	445.21
3	1.79	5.38	35.84	107.52
4	0.70	2.79	13.95	55.81
5	0.39	1.93	7.71	38.53
6	0.25	1.52	5.07	30.42
7	0.18	1.29	3.69	25.84
8	0.14	1.15	2.87	22.94
9	0.12	1.05	2.33	20.95
10	0.10	0.98	1.95	19.51

수세조수 n을 크게 하는 것은 절수상 대단한 효과를 미친다. 그것은 식으로부터도 알 수 있듯이 필요 수량은 지수로서 효과를 미치기 때문이다.

일례로서 표 2-1에 Co 및 Cn을 결정하여 놓고 수세조의 수를 증가했을 때의 각조의 수세水量과 합계의水量을 들어본다.

표의 효과로 본다면 1조와 2조에서는 대단히 차이가 있다는 것을 알 수 있다. 또 2조와 3조에서는 단일조에서 1/10, 총량으로는 1/4로 되어 있다. 그러나 5조이상에서는 감소 효과는 극단으로 적어지고 있다. 따라서 작업성의 면에서 고려하여도 수세조 5조 이상은 그리 득책이 못된다고 할 수 있다.

리사이클화에 있어서 물어 나오는 도금액을 본래대로

로 되돌리려면 도금액의 감소분 만큼 밖에 되돌릴 수가 없다. 만약 도금조의 액감량분과 동일한 수세수 량으로 수세할 수 있다면 수세수는 전부 도금조에 되돌려지므로 거의 크로우즈드(closed)화할 수 있다. 그러나 병렬수세의 경우 사용수 량을 감소시키려고하면 수세조의 수가 증가되고 각조마다의 사용수 량은 감소되지만 전부의 조로부터 배출되는 총 배수량은 생각한만큼 감소하지는 않는다. 예컨대 표 2-1과 같은 조건의 R을 50,000으로 했을 경우 총수량을 물어 나오는 량의 15배로 억제하려고 하면 수세조 수는 18개가 필요하고 12배로 할려면 54조가 필요하게 된다. 또 R을 10,000으로 하고 15배의 수량으로 씻기 위해서는 11조가 필요하고 10배의 수량으로 하면 57조나 필요하게 된다. 따라서 총수량을 감소시키려고하면 할수록 대단한 기세로 수세조수를 증가시키지 않으면 안된다. 절수율은 R의 크기에도 따르겠지만 실용적으로는 물어 나오는 량의 수십배가 한도라 말할 수 있겠다. 무리하게 총수량을 감소시키려고 하면 근소한 량 때문에 얼마나 수세조를 증가시키지 않으면 안되느냐를 비현실적이긴 하지만 계산해보면 전술한 R을 50,000으로 했을 경우 총수량을 물어 나오는 량의 10.9배로 할때 수세조수는 735조인데 비해 10.8배로 억제하려고 하면 6,800만조나 필요로 하게 되는 꼴이 되는 것이다. 이와같이 볼때 병렬수세는 리사이클화 하는데 좋은 방법이 아니냐 하면 그렇지도 않다. 사용방법에 따라서는 무효하다고 말할 수는 없다. 그것은 각 수세조로부터 배출되는 수세수 농도가 각각 다르고 수세조가 5조 있으면 5종류의 농도의 배수가 얻어진다는 점이다. 예컨대 표 2-1의 조건에서 각 수세조의 농도를 계산해보면 표 2-2와 같이 된다. 얻어진 각조의 농도에 의하여 그 농도에 적합한 처리방법, 예컨대 가열농축이나 전해전기투석, 이온교환 등 여러가지를 선택할 수가 있어 이용할 수가 있다는 것이다.

2. 直列向流水洗

그림 2-1 (b)에 나타낸 것과 같은 수세방법이 직렬향류수세라 부르는 수세방법으로서, 단방향류수세라고도 불리어 지고 있다. 이 수세방법이 도금공장에서 가장 많이 사용되고 있는 방법이다. 그

러나 많은 공장에서 사용되고 있다고 하여도 반드시 만족한 상태로 사용되고 있다고는 말할 수가 없다. 예컨대 향류수세로 되어 있더라도 단순한 오버플로우식이 많고 엷다운 (up down) 급수식으로 하고 있는 곳이 드물다. 일정량의 물로 잘 씻는데는 전술한 바와 같이 빨리 회석한계 수질로 할 것. 즉 공급된 물로 균일하게 회석하는 것이 조건이므로 수세조의 구조도 이 조건을 만족시키기 쉬운 구

조를 고안하지 않으면 안된다. 직렬향류 수세도 공식화 되어 있고 각종 이론치를 구할 수는 있지만 구하는 항목에 따라서는 간단하게는 계산하기 어렵다. 그러나 필요수세수량은 병렬수세와 같은 조건의 경우의 거의 1 조분의 수량에 근접하게 되므로 정확한 계산을 하지 않아도 될 때는 병렬수세의 식에서 얻어진 치를 사용하여도 큰 착오는 없다.

표 2-2

조건 $C_0 = 250 \text{ g/l}$ $C_n = 5 \text{ ppm}$ $D = 50 \text{ ml}$						
n	W (ℓ)	C ₁ (ppm)	C ₂ (ppm)	C ₃ (ppm)	C ₄ (ppm)	C ₅ (ppm)
1	2,500	5				
2	11,13	1,118	5			
3	1,79	6,786	184	5		
4	0,70	16,719	1,118	75	5	
5	0,39	28,717	3,299	379	44	5

표 2-3 직렬향류수세

($C_0 = 250 \text{ g/l}$, $C_n = 0.005 \text{ g/l}$, $D = 0.05 \text{ l/h}$)

n	A	W (ℓ/h)	C ₁ (g/l)	C ₂ (g/l)	C ₃ (g/l)	C ₄ (g/l)	C ₅ (g/l)	C ₆ (g/l)	C ₇ (g/l)
1	49,500	2,475	0,005						
2	221	11,1	1,11	0,005					
3	36,5	1,8	6,84	0,19	0,005				
4	14,7	0,73	16,9	1,15	0,08	0,005			
5	8,4	0,42	28,9	3,42	0,40	0,05	0,005		
6	5,8	0,29	40,7	6,97	1,20	0,20	0,03	0,005	
7	4,5	0,23	53,8	11,9	2,65	2,65	0,13	0,03	0,005

수세조수와 수량 및 배출농도의 관계를 병렬수세의 예로 나타낸 것과 같은 조건으로 계산한 예들표 2-3에 나타낸다. 또 R, n, A의 관계도를 그림 2-2에 나타낸다. 이것은 기지의 2개점을 연결하면 미지의 치가 구할수 있도록 되어 있다. 예컨대 R = 10,000에서 3 이라면 수세수량은 물어 나오는 량의 약 22~23배 필요하다.

직렬향류수세에 있어서 이론치 대로의 수세수로 수세가 행해졌다고 한다면 제 1 수세조 농도는 회수조가 유효하게 작용하고 있는 경우의 최고 농도와 같게 되어 회수조 농도는 회수조를 설치하지 않는 직렬향류수세의 제 1 수세조 농도 이하로 유지하지 않으면 의미가 없어진다.

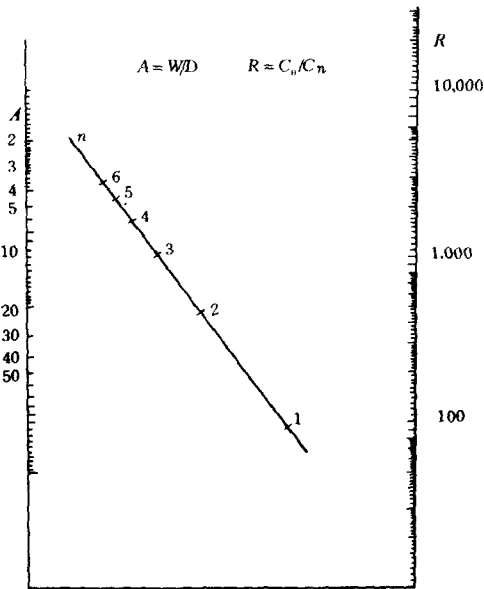


그림 2-2 直列向流水洗水量그래프

3. 回分式 水洗 및 回分式 向流水洗

회분식 수세는 그림 2-1 (C) 에 나타난 것과 같은 수세방법으로서 회수조의 연속이라 생각하면 된다.

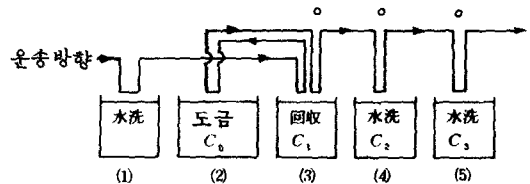
타수세 방법에서 水洗水를 콘트롤(control) 하 하는데는 각종 어려운 문제가 있지만 회분식에서는 어떤 일정시간 급수를 완전히 정지하고 있으므로 급수량의 콘트롤을 행할 필요가 없다는 것이 이 점이다. 회분식 수세에서는 수세수가 일정한 오염에 달했을때 통채로 물을 갹신하므로 직렬향류수세의 경우보다도 사용수량, 또는 일정 수량에 있어서의 수세가능한 제품량으로 비교하면 효율이 나쁘지만 병렬수세보다는 효율이 좋다. 단 일정 수세 농도에 달한 후 가장 농도가 높은 제 1 수세조의 물만을 폐기하고 제 2 수세조로부터 뒤를 순차적으로 물의 수세조로 옮겨 최종 수세조에만 물을 보급하는 방법을 취하면 직렬향류수세보다도 물사용 효율은 높아진다. 이 방법을 회분식 향류수세라 부 르기로 한다. 또 향류시키는 수세수의 량을 수세 조 전량 행하는 것이 아니라 수세조의 몇활인가를 향류시키는 회분식 부분량 향류수세라 하는 방법

도 있다.

회분식 수세의 이점중의 하나에 이온교환수지의 병용이 있다. 상세한 것은 후술하겠지만 직렬 향류 수세에 비교하여 이온교환수지에의 부하량이 약 1/3 정도로 된다. 회분식 수세의 결점의 하나는 수 세수를 비워야되고 또 물을 옮겨야 된다는 문제가 있다. 도금작업의 도중에서 수세수 농도가 높아졌다고 하여서 작업을 중지하고 비워서 갈아야 하는 작업을 해야 함으로 매우 비능률적이다. 더욱이 수 세조수가 많고 회분식 향류수세 방식을 채용하는 경우가 문제이다. 예컨대 1 조당 배수 및 급수에 20 분이 걸리고 수세조가 4 조였다고 한다면 수세 수를 옮겨는 작업에 100 분, 즉 1 시간 40 분이 나 요하게 된다. 따라서 작업량, 교체 간격, 수세조수, 수세수량 등의 바란스를 사전에 잘 계산해 둘 필요 가 있다.

4. 제 1 수세조 또는 회수조를 두번사용하는방법

그림 2-3 과 같은 반송방법을 취하면 1 작업 공 정중에 회수조 또는 제 1 수세조를 2 회 사용하는꼴 이 된다. 이 방법은 크롬도금 등에서 일부 실제로 사용되고 있지만 회수액이 작업중에 자동적으로 도 금액으로 되돌아가는 것과 회수액의 농도가 도금액 의 농도의 약 1/2 이상으로 높아지지 않는 않는 특징 을 갖는다는 점에서 매력에 있는 방법이다. 왜 약 1/2 이상의 농도로 되지 않느냐 하는 이유는 별 도하고 현행의 도금 공정에서 회수조 농도가 도금 액 농도의 1/2 을 초과하고 있는 공정에서는 시 도해봄직할 것으로 생각된다. 회수조 농도 및 수세 수농도가 어떻게 되느냐 하는 것은 항을 달리하여 설명하기로 한다.



종래는 (1)→(2)→(3)→(4)→(5)로 운송했었다. 개선법은 (1)→(3)→(2)→(3)→(4)→(5)로 한다.

○의 상승시에는 충분히 액이 흘러내리도록 한다.

그림 2-3 운송방식의 예

수세에 관한 여러가지 이론계산식이 제안되고 있지만 본항에서는 설명이 번잡해 지므로 상세히 말하지 않기로 한다. 계산식만을 종합하여 자료로서 별도로 기재해 둔다.

2-1-6 각수세방법의 특징과 실제

여기서는 각수세방법이 어떠한 특징을 갖고 있느냐를 검토 비교해 보기로 한다.

1. 병렬수세와 직렬향류수세

지금 도금액의 농도를 $100g/l$, 최종 수세조 농도를 $0.01g/l$ 로 억제하기 위해 필요한 수세조의 수를 물어나오는 양에 대한 총수세수의 량을 변화시켜서 조사해 보면 표 2-4와 같이 된다.

또 같은 조건에서 물어나오는 량 D를 $0.05l/1$ 작업으로 하고 총수세수량 $100l$ 로 작업할 수 있는 작업수를 비교해보면 표 2-5와 같이 된다.

표 2-4, 5에서도 명백히 나타난바와 같이 병렬수세를 사용하는 것은 특별한 이유가 없는 한 절수에는 효과가 낮음을 알 수 있다.

또 총수량을 일정하게 한 경우 수세조를 1조 증가시키면 작업가능수는 얼마큼 증가하느냐 하는 것을 나타낸 사항을 보면 병렬수세에서는 수세조 4조까지는 증가하고 있지만 4조로부터 5조로 하여도 작업가능수의 증가율은 감소하고 있고 수세조 증가에 의한 장점은 적어지고 있다. 한편 직렬향류수세에서는 수세조 6조까지 사이에는 수세조 1조 증가에 대한 작업가능수의 증가율은 병렬수세와 같이 감소하지는 않는다.

표 2-1의 수세수 량의 감소 및 표 2-5의 결과

표 2-4. 물어나오는 양에 대한 총수량의 배율을 결정했을때 Cn이 초과되지 않기 위해 필요한 수세조수의 비교

물어 나오는 양에 대한 총수량배율	필요 수세조 수	
	병렬수세	직렬향류수세
50	4	3
20	7	4
15	11	4
10	57	4

$C_0 = 100g/l$ C_n 상한 = $0.01g/l$

를 보더라도 병렬수세에 있어서는 무턱대고 수세조수를 증가한다고 하여도 그 효율은 좋아지지 않으므로 실제적인 작업스페이스등을 고려하지 않는 다 하더라도 4조나 5조가 한도가 될 것이다.

표 2-5. 병렬수세와 직렬향류수세의 작업수의 비교

수세조 수	병렬수세		직렬향류수세	
	작업가능수	1조당작업 증가 수	작업가능수	1조당작업 증가 수
1	0		0	
2	10	10	20	20
3	32	22	94	74
4	55	23	206	112
5	75	20	329	123
6	91	16	453	124

$C_0 = 100g/l$ C_n 상한 = $0.01g/l$
 $D = 0.05l/작업$ 총수세수량 $W = 100/l$

2. 병렬수세와 회분식 수세

1의 경우와 같이 물어나오는 량 D를 $0.05l/1$ 로 하고 총수세조수 량을 $100l$ 로 하였을때 최종 수세조 농도 $0.01g/l$ 이내에서 작업할 수 있는 작업수를 비교해보면 표 2-6과 같이 된다. 이것으로 보면 회분식이 병렬수세 보다도 수세조 3조이상에서는 훨씬 유리하다는 것이 명백하다.

또 1조당 작업가능수 증가율도 수세조 6조째에서 한계로 되어 있다. 1조당 작업가능수의 증가량

표 2-6. 병렬수세와 회분식수세의 작업수의 비교

수세조 수	병렬수세		회분식수세	
	작업가능수	1조당작업 증가 수	작업가능수	1조당작업 증가 수
1	0		0	
2	10	10	13	13
3	32	22	56	43
4	55	23	114	58
5	75	20	175	61
6	91	16	235	60

$C_0 = 100g/l$ C_n 상한 = $0.01g/l$
 $D = 0.05l/작업$ 총수세수량 $W = 100l$

으로 비교할때 3 조부터 4 조로 증가했을 경우로는 병렬수세에서는 23 작업의 증가이지만 회분식까지는 58 작업이고 1 조 증가하는 효과는 1.8 배로 된다.

병렬수세, 회분식수세 모두 직렬향류수세와 다르며 수세의 수와 같은 수만큼 농도가 상이한 배수가 배출된다고 하는 특징이 있는데 예를 수세조수 4 조로 하고 최종 수세조 농도가 0.01 g/l 일때의 각 수세조 농도가 어떻게 되는가를 조사해보면 표 2-7

과 같이 된다. C_n을 0.01 g/l 이하로 유지했을 때의 최고 작업수가 다르므로 당연 수세수 농도도 달라지게 되는데 회분식이 동일 수량으로는 농후한 액을 배출하게 된다.

3. 직렬향류수세와 회분식수세

직렬향류수세와 회분식수세의 비교는 표 2-5, 표 2-6 을 비교하면 그차이는 명백하다. 직렬향류수세가 절수의 관점에서는 유리한 방법이다.

표 2-7. 각종수세방법에 의한 수세조농도의 차의비교

	作業數	第 1 水洗槽	第 2 水洗槽	第 3 水洗槽	第 4 水洗槽
並列水洗	55	9,910 g/l	$9,821 \times 10^{-1}$ g/l	$9,732 \times 10^{-2}$ g/l	$9,644 \times 10^{-3}$ g/l
回分式水洗	114	20,369 g/l	2,250 g/l	$1,703 \times 10^{-1}$ g/l	$9,830 \times 10^{-3}$ g/l
直列向流水洗	206	10,184 g/l	1,049 g/l	$1,070 \times 10^{-1}$ g/l	$1,000 \times 10^{-2}$ g/l

$C_0 = 100 \text{ g/l}$ $C_4 \text{ 상한} = 0.01 \text{ g/l}$

$D = 0.05 \text{ l/작업}$ 총수세수량 $W = 100 \text{ l}$ (회분식, 병렬식에서는 1 조당 25 l)

수세조수 $n = 4$

단, 직렬향류수세에서는 제 1 수세조의 10.184 g/l 의 배수만이 배출된다.

또 회분식 수세에서는 표 2-7 에 나타난바와 같이 수세조의 수 n 과 같은 농도가 다른 n 종류의 배수가 배출되지만 직렬향류수세에서는 제 1 조에서 나오는 한종류이며 표 2-7 과 같이 최종 수세수 농도를 0.01 g/l 로 유지하자면 항상 제 1 수세조로 부터는 10.18 g/l 의 배수가 배출하게 된다.

두수세 방법 모두가 앞에서 말한 바와 같이 보급수량 조절의 난이, 비워서 교체하는 번거로운 일등의 실작업적인 문제가 있으므로 그 점도 검토할 필요가 있다.

4. 회분식 향류수세

회분식 향류수세란 각수세조가 일정한 농도에 달한 후 제 1 수세조의 수세수를 배출해버리고 비워진 제 1 수세조에 제 2 수세조의 수세수를, 제 2 수세조에는 제 3 수세조의 수세수를 순차로 앞의 수세

조로 옮겨 최종 수세조에는 새로운 물을 급수하는 전량향류식과 수세조의 수세수의 일부분울 앞의 수세조로 옮기는 部分量 向流式이 있다. 물의 사용 효율로 보면 전량향류식이 가장 효율이 좋다. 향류량을 T 로하고 수세조의 수세수량을 V 로 하면 향류율 T/V 가 작아짐에 따라서 물사용 효율은 낮아진다.

직렬향류수세와 비교해 볼때 1 향류 싸이클중에 작업하는 작업수에 따라, 바꿔말하여 최종 수세조의 농도 및 수세조수 1 작업당의 수량등의 조건에 따라 근소하나마 달라지는데 향류율 T/V 가 1/2 이상에서는 회분식 향류수세쪽이 水量的으로는 유리하다. 그 일례를 표 2-8에 나타낸다.

회분식향류수세에서는 1 싸이클내의 작업수와 물어 나오는량을 일정하게 하면 향류싸이클을 반복할때마다 수세수 농도는 상승해 가지만 점차로 어떤 평형치에 근접해 간다. 향류율이 높을수록 제 1 싸이클에 가까운 치로 빨리 평형치에 달하고

표 2-8 회분식향류수세와 직렬향류수세의 사용수량의 비교

n	T (l)	回分式向流水洗			直列向流水洗		回分式節水率
		U	T/V	C _n ⁰ (g/l)	C _n (g/l)	W (l)	($\frac{W-T}{W}$)×100
5	5,000	50	10/10	1.0936×10 ⁻¹⁰	1.0936×10 ⁻¹⁰	12,327	59.44
5	4,000	40	8/10	8.3455×10 ⁻¹⁰	8.3455×10 ⁻¹⁰	6,565	39.07
5	3,000	30	6/10	2.1128×10 ⁻⁹	2.1127×10 ⁻⁹	4,088	26.61
5	2,000	20	4/10	4.0462×10 ⁻⁹	4.0461×10 ⁻⁹	2,393	16.42
4	5,000	50	10/10	4.8739×10 ⁻⁸	4.8739×10 ⁻⁸	10,629	52.96
4	4,000	40	8/10	1.6366×10 ⁻⁷	1.6365×10 ⁻⁷	6,279	36.30
4	3,000	30	6/10	3.1655×10 ⁻⁷	3.1656×10 ⁻⁷	3,992	24.85
4	2,000	20	4/10	5.0907×10 ⁻⁷	5.0907×10 ⁻⁷	2,363	15.36
3	5,000	50	10/10	1.7977×10 ⁻⁵	1.7977×10 ⁻⁵	8,843	43.46
3	4,000	40	8/10	3.2085×10 ⁻⁵	3.2085×10 ⁻⁵	5,829	31.38
3	3,000	30	6/10	4.7444×10 ⁻⁵	4.7443×10 ⁻⁵	3,836	21.79
3	2,000	20	4/10	6.4046×10 ⁻⁵	6.4046×10 ⁻⁵	2,314	13.57
2	5,000	50	10/10	5.1154×10 ⁻³	5.1154×10 ⁻³	6,966	28.22
2	4,000	40	8/10	6.0969×10 ⁻³	6.0969×10 ⁻³	5,103	21.61
2	3,000	30	6/10	7.0758×10 ⁻³	7.0758×10 ⁻³	3,551	15.52
2	2,000	20	4/10	8.0521×10 ⁻³	8.0521×10 ⁻³	2,219	9.87

C_n⁰ = 회분식향류수세에 있어서의 n 조째의 평형농도

C_n = 직렬향류수세에 있어서의 n 조째의 농도

T = 향류량, W = 직렬향류수세의 수량, U = 1 사이클내의 작업수

V = 5,000 ℓ, T/V = 100 으로 한다.

그 후는 사이클수가 증가하여도 사이클 종료시의 각수세조 농도는 변화하지 않는다. 그 예를 표 2-9에 나타낸다. 수세조수를 많이 설치할 수 있고 또한 1 사이클내에서 회수조, 즉 제 1 수세조의 수세수가 전량 도금액으로 되돌아가지 않을 경우 부분량 향류수세를 검토해 보는 것도 좋다.

회분식 전량 향류수세 및 부분량 향류수세에 관한 특징이나 다른 수세방법과의 상세한 비교는 이론식의 성립이나 여러가지 기호등의 약축을 한 후에 행하지 않으면 번잡해지고 오해를 초래하기 쉬우므로 여기서는 상기한 바와 같은 극히 기본적인 개략의 경향만을 나타내었다.

5. 회수조 또는 제 1 수세조를 2 회 사용하는 경우

그림 2-3에 나타냈듯이 회수조 또는 회분식에

있어서는 제 1 수세조를 2 회 사용하는 방법은 회수조 농도가 도금액 농도의 약 1/2 이상으로 되지 않는 이 점과 항상 도금액에 회수조의 액이 넘겨져서 전공정의 수세수가 넘겨지는 경우보다도 액 농도의 변동이 적다고 하는 이점이 있다. 회수조 농도를 도금액 농도의 1/2 이하로 유지하지 않으면 의미가 상실되는 수세공정 예를들면 수세조수가 적고 C_n을 낮게 유지하지 않으면 안되는 경우등에서는 효과는 도금액 농도의 변동에 대한 효과밖에 없다.

지금 일례로서 제 1 수세조를 2 회 사용했을 경우와 보통의 경우의 회분식 수세에 있어서의 농도 변화를 계산한 것을 표 2-10에 나타내 본다. 이 예는 1 조당의 수세수량이 물어 나오는 양의 100 배 밖에 되지 않는다는 특별한 케이스이지만 수세조가

표 2-9 회분식향류수세에 있어서의 평형농도의 예
(단위 g/l)

N	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
1	5.9814 × 10 ⁻¹	1.8521 × 10 ⁻³	3.9484 × 10 ⁻⁶	6.5117 × 10 ⁻⁹
2	8.3708 × 10 ⁻¹	4.0241 × 10 ⁻³	1.4396 × 10 ⁻⁵	4.1752 × 10 ⁻⁸
3	9.3337 × 10 ⁻¹	5.4717 × 10 ⁻³	2.5580 × 10 ⁻⁵	1.0080 × 10 ⁻⁷
4	9.7252 × 10 ⁻¹	6.2887 × 10 ⁻³	3.4282 × 10 ⁻⁵	1.6354 × 10 ⁻⁷
5	9.8858 × 10 ⁻¹	6.7151 × 10 ⁻³	4.0058 × 10 ⁻⁵	2.1624 × 10 ⁻⁷
6	9.9521 × 10 ⁻¹	6.9279 × 10 ⁻³	4.3547 × 10 ⁻⁵	2.5464 × 10 ⁻⁷
7	9.9798 × 10 ⁻¹	7.0312 × 10 ⁻³	4.5529 × 10 ⁻⁵	2.8009 × 10 ⁻⁷
8	9.9914 × 10 ⁻¹	7.0804 × 10 ⁻³	4.6607 × 10 ⁻⁵	2.9586 × 10 ⁻⁷
9	9.9963 × 10 ⁻¹	7.1036 × 10 ⁻³	4.7176 × 10 ⁻⁵	3.0515 × 10 ⁻⁷
10	9.9984 × 10 ⁻¹	7.1144 × 10 ⁻³	4.7468 × 10 ⁻⁵	3.1042 × 10 ⁻⁷
11	9.9993 × 10 ⁻¹	7.1194 × 10 ⁻³	4.7616 × 10 ⁻⁵	3.1332 × 10 ⁻⁷
12	9.9997 × 10 ⁻¹	7.1217 × 10 ⁻³	4.7690 × 10 ⁻⁵	3.1488 × 10 ⁻⁷
13	9.9999 × 10 ⁻¹	7.1227 × 10 ⁻³	4.7726 × 10 ⁻⁵	3.1570 × 10 ⁻⁷
14	9.9999 × 10 ⁻¹	7.1232 × 10 ⁻³	4.7744 × 10 ⁻⁵	3.1612 × 10 ⁻⁷
15	1.0000	7.1234 × 10 ⁻³	4.7753 × 10 ⁻⁵	3.1634 × 10 ⁻⁷
16	1.0000	7.1235 × 10 ⁻³	4.7757 × 10 ⁻⁵	3.1645 × 10 ⁻⁷
17	1.0000	7.1236 × 10 ⁻³	4.7759 × 10 ⁻⁵	3.1650 × 10 ⁻⁷
18	1.0000	7.1236 × 10 ⁻³	4.7760 × 10 ⁻⁵	3.1653 × 10 ⁻⁷
19	1.0000	7.1236 × 10 ⁻³	4.7760 × 10 ⁻⁵	3.1654 × 10 ⁻⁷
20	1.0000	7.1236 × 10 ⁻³	4.7760 × 10 ⁻⁵	3.1655 × 10 ⁻⁷
21	1.0000	7.1236 × 10 ⁻³	4.7761 × 10 ⁻⁵	3.1655 × 10 ⁻⁷
22	1.0000	7.1236 × 10 ⁻³	4.7761 × 10 ⁻⁵	3.1655 × 10 ⁻⁷

C₀ = 100 g/l, D = 1 l/작업, V = 5,000 l

향류량 T = 3,000 l, T/V = 6/10

1 싸이클내의 작업수 U = 30 작업, N = 반복 싸이클수

적을수록 효과가 높다는 것을 알 수 있다.

회분식 수세는 회수조의 연속이라고 말할 수 있는 방법이므로 제 1 수세조도 제 5 수세조도 동일 주기로 비워서 갈아낸다는 것을 전제로 하고 있다. 그러나 연속적으로 수세수를 보급하고 있는 직렬향류수세등으로 회수조를 설치, 회수조농도가 자꾸만 상승하게 되는 경우등에는 이 방법으로 회수조의 상한을 억제할 수가 있다.

그러나 수세수를 수세조 농도에 대응하여 자동

적으로 급수량을 조절하는 시스템에서는 회수조 또는 제 1 수세조가 도금액 농도의 1/2 을 초과하는 그러한 상태로 되는 것은 그야말로 특수한 경우에 한하므로 그렇게 효과를 나타내는 일은 적다고 생각된다.

다만 회수조 농도의 조절관리를 할 수 없는 공장에서 상한농도를 억제하는 의미에서 검토한다면 검토할 값어치가 있을 것이다.

표 2-10 회분식수세에서 제 1 수세조를 1 회 사용하는 경우와 2 회 사용하는 경우의 작업 회수에 의한 각 수세조 농도의 비교

水洗方法	作業數	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
C^1	20	1 80 46	1.817	1.298×10^{-1}	$73 20 \times 10^{-3}$	3.456×10^{-4}
C^2		1 64 99	1.710	1.240×10^{-1}	$70 54 \times 10^{-3}$	3.351×10^{-4}
C^1	40	3 28 35	6.235	8.355×10^{-1}	$87 15 \times 10^{-2}$	$74 91 \times 10^{-3}$
C^2		2 75 81	5.527	$7.6 22 \times 10^{-1}$	$80 91 \times 10^{-2}$	$70 39 \times 10^{-3}$
C^1	60	4 49 95	12.255	2.380	$35 97 \times 10^{-1}$	$44 65 \times 10^{-2}$
C^2		3 50 24	10.278	2.079	$32 22 \times 10^{-1}$	$40 70 \times 10^{-2}$
C^1	80	5 48 88	19.156	4.828	$95 03 \times 10^{-1}$	$15 36 \times 10^{-1}$
C^2		4 00 23	15.262	4.045	$82 24 \times 10^{-1}$	$13 60 \times 10^{-1}$
C^1	100	6 30 29	26.424	8.121	1.960	3.892×10^{-1}
C^2		4 33 80	20.078	6.545	1.641	3.349×10^{-1}
C^1	120	6 97 01	33.701	12.137	3.455	8.112×10^{-1}
C^2		4 56 36	24.517	9.427	2.803	6.790×10^{-1}

$C_0 = 100 \text{ g/l}, V = 100 \text{ l}, D = 1 \text{ l/작업}$

C^1 는 제 1 수세조 1 회 사용, C^2 는 제 1 수세조 2 회 사용을 표시한다.

6. 회분식 또는 회분식 향류수세에 있어서의 작업 수와 묻어나오는 량과의 관계

회분식 또는 회분식 향류수세는 이론식을 보더라도 그 구성이 복잡하므로 실제로 구체적인 예를 들어 실수치를 대입하여 계산해 보는 것이 그 경향을 알아내는데 가장 빠르다.

여기서 거론하는 것은 작업수와 묻어나오는 량의 관계가 수세농도, 나아가서는 수세수량에 어떠

한 영향을 주느냐 하는데 관한 것이다.

구체적인 예로서 결이의 크기와 묻어나오는 양이 비례했다고 한다. 1일의 작업량이 60 래크로 산정했을 경우 결이의 크기를 배로하면 30 작업으로 좋은 것이 된다. 단, 결이의 크기가 배로 되면 묻어나오는 양도 배로 된다고 할 경우 묻어나오는 량이 2 배로 많아도 작업회수를 반으로 감소시키는 쪽이 득이 되는지 손이 되는지를 수세의

표 2-11 회분식수세에서 작업수×묻어나오는 량을 일정으로 하고 작업수 또는 묻어나오는 량을 달리했을 경우의 각 수세조 농도의 비교

j	D	C_1	C_2	C_3	C_4
60	1	1.1297×10^1	6.7425×10^{-1}	2.7538×10^{-2}	8.6056×10^{-4}
30	2	1.1287×10^1	6.8354×10^{-1}	2.8006×10^{-2}	9.3996×10^{-4}
20	3	1.1276×10^1	6.9279×10^{-1}	3.0011×10^{-2}	1.0233×10^{-3}
15	4	1.1266×10^1	7.0198×10^{-1}	3.1275×10^{-2}	1.1107×10^{-3}
12	5	1.1255×10^1	7.1113×10^{-1}	3.2555×10^{-2}	1.2020×10^{-3}

$C_0 = 100 \text{ g/l} \quad V = 500 \text{ l} \quad j \times D = 60 \quad j = \text{作業數}$

j	D	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
60	1	1.1927×10 ⁰	7.2598×10 ⁻³	2.9972×10 ⁻⁵	9.4336×10 ⁻⁸
30	2	1.1926×10 ⁰	7.3768×10 ⁻³	3.1431×10 ⁻⁵	1.0362×10 ⁻⁷
20	3	1.1925×10 ⁰	7.4938×10 ⁻³	3.2922×10 ⁻⁵	1.1345×10 ⁻⁷
15	4	1.1924×10 ⁰	7.6107×10 ⁻³	3.4442×10 ⁻⁵	1.2382×10 ⁻⁷
12	5	1.1922×10 ⁰	7.7276×10 ⁻³	3.5993×10 ⁻⁵	1.3477×10 ⁻⁷

C₀ = 100 g/l V = 5,000 l j × D = 60 j = 作業數

표 2-12 회분식향류수세에서 작업수 × 묻어나오는 량을 일정으로 하고 작업수 또는 묻어나오는 량을 달리했을 경우의 각 수세조농도의 비교 (각조의 평형치)

j	D	C ₁ ^b	C ₂ ^b	C ₃ ^b	C ₄ ^b
60	1	12000×10 ¹	7.9211×10 ⁻¹	3.8006×10 ⁻²	1.4743×10 ⁻³
30	2	12000×10 ¹	8.0396×10 ⁻¹	3.9646×10 ⁻²	1.6921×10 ⁻³
20	3	12000×10 ¹	8.1578×10 ⁻¹	4.1312×10 ⁻²	1.7151×10 ⁻³
15	4	12000×10 ¹	8.2756×10 ⁻¹	4.3004×10 ⁻²	1.8434×10 ⁻³
12	5	12000×10 ¹	8.3931×10 ⁻¹	4.4720×10 ⁻²	1.9771×10 ⁻³

C₀ = 100 g/l V = 500 l 向流量 T = 500 l j × D = 60 j = 作業數 C^b = 平衡値

j	D	C ₁ ^b	C ₂ ^b	C ₃ ^b	C ₄ ^b
60	1	1.2000×10 ⁰	7.3778×10 ⁻³	3.0971×10 ⁻⁵	9.9964×10 ⁻⁸
30	2	1.2000×10 ⁰	7.4978×10 ⁻³	3.2475×10 ⁻⁵	1.0966×10 ⁻⁷
20	3	1.2000×10 ⁰	7.6177×10 ⁻³	3.4012×10 ⁻⁵	1.1990×10 ⁻⁷
15	4	1.2000×10 ⁰	7.7376×10 ⁻³	3.5579×10 ⁻⁵	1.3072×10 ⁻⁷
12	5	1.2000×10 ⁰	7.8574×10 ⁻³	3.7178×10 ⁻⁵	1.4213×10 ⁻⁷

C₀ = 100 g/l V = 5,000 l 向流量 T = 5,000 l j × D = 60 j = 作業數 C^b = 平衡値

편에서 고찰해 보자는 것이다. 즉 작업수를 j로 하고 묻어나오는 량은 D로 했을 경우 j×D는 일정하지만 j 또는 D를 달리했을 경우 수세수 농도는 어떻게 될 것인가?

이것을 계산한 예가 표 2-11, 2-12이다. 여기서는 수세조의 크기를 V=500 l와 V=5,000 l로 하고 j×D=60으로 하였다. 이 표의 결과로 보면 “작업수×묻어나오는 량” 즉 수세공정에 넘겨지는 총 물질량이 동일하다면 1작업당 묻어나오는 양을 적게하여 작업회수를 증가시키는 편이 수세수의 오염면에서 볼 때 득을 본다고 할 수 있겠다.

마찬가지로 수세공정을 회분식 전량 향류수세로 했을 경우 작업회수가 많고 묻어나오는 량이 많았을 때 수세수의 평형농도가 낮다고 하는 결과가 나와있다.

이 관계를 역의 면으로 표로 만든 것이 표 2-13이다. 여기서는 제 4 수세조의 수세수 농도가 어떤 일정치에 이르기까지 어느 정도의 작업이 가능하느냐 하는 것을 묻어나오는 량을 달리하여 조사해 보았다. 작업수×묻어나오는 량은 작업회수를 증가시키는 편이 많아져 있고 최종 수세조 농도를 일정치로 정했을 경우 부하 량을 많이 부하할 수 있다는 결과로 되어있다.

표 2-13 회분식수세에서 최종수세조 농도설정치를 초과하지 않는 범위에서의 작업가능수를 물어나오는 량을 달리한 비교

(單位 g/l)

条 件	$C_4=100g/l, V=500l, n=4$		$C_0=100g/l, V=5,000l, n=4$	
C_4 上限	1.0000×10^{-3}		1.0000×10^{-5}	
D	作業可能數	$j \times D$	作業可能數	$j \times D$
1	62	62	196	196
2	30	60	97	194
3	19	57	64	192
4	14	56	48	192
5	11	55	38	190

표 2-14 회분식수세에서 작업수×물어나오는 량을 일정하게 하고 작업수 또는 물어나오는 량을 달리한 경우의 이온교환탑 부하량의 비교

$V=5,000l \quad j \times D=60$

作業數	물어나오는 량	$C_3 (g/l)$	이온교환 측지량 (g)
60	1	2.9972×10^{-5}	4.7289×10^{-4}
30	2	3.1431×10^{-5}	5.1952×10^{-4}
20	3	3.2922×10^{-5}	5.6887×10^{-4}
15	4	3.4442×10^{-5}	6.2100×10^{-4}
12	5	3.5993×10^{-5}	6.7598×10^{-4}

$C_0=100 g/l$

$V=500l \quad j \times D=60$

作業數	물어나오는 량	$C_3 (g/l)$	이온교환 측지량 (g)
60	1	2.7538×10^{-2}	4.4147×10^{-1}
30	2	2.8766×10^{-2}	4.8296×10^{-1}
20	3	3.0011×10^{-2}	5.2662×10^{-1}
15	4	3.1275×10^{-2}	5.7246×10^{-1}
12	5	3.2555×10^{-2}	6.2054×10^{-1}

또 제 4 수세조에 이온교환수지탑을 조립했을 경우 이온교환수지에 대한 부하량을 수세조에 대한 부하량과 같은 모양으로 계산한 결과를 표 2-14에 나타낸다. 역시 물어나오는 량보다 작업수를 증가시킨 쪽이 부하가 적어진다.

따라서 회분식 수세 또는 회분식 향류수세를 행할 경우 1작업의 물품의 수를 증가시키면 물어나오는 량은 증가하나 작업수는 감소되는데 이것

보다는 작업회수를 증가시켜 1작업당의 물어나오는 량을 감소시키는 쪽이 수세수 부하가 적고 동일 수량에서의 작업가능회수가 증가하며 같은모양으로 이온교환등에의 부하도 감소하므로 작업방법, 래크의 크기등의 검토도 유효한 수단이 될 것이다.

7. 이온교환 수지탑등의 병용

최종 수세조의 오염농도를 0 또는 아주 낮은 농도로 유지하려고 할 경우 이온교환수지탑이나 역침투법등의 장치를 수세공정에 조립하는 것이 좋을 때가 있다. 특히 회분식이나 회분식향류수세 등에서는 오염이 많아졌다고 하여서 작업중에 수세수를 갈아넣는 일등은 할 수 없으므로 안전장치로서의 역할을 감당하는 일이 있다. 또 정상적인 작업이라도 회분식향류수세에서는 1향류 사이클 작업이라도 회분식향류수세에서는 1향류 사이클내에 작업하는 작업수에 따라 각수세조의 평형 농도가 다르므로 특히 이온교환등의 병용은 유효하다.

그러나 이 경우에도 이온교환 및 역침투법의 특징이나 수세의 기본을 잘 파악해 두지 않으면 실패를 한다. 이하 수세공정에 하나의 예로서 이온교환탑을 설치했을 경우의 각각의 특징에 대하여 말한다.

별항에서 상세히 설명되지만 이온교환에는 SV와 교환용량의 문제가 붙어다닌다. 이 2개와 수세와의 문제를 좀 검토해 보기로 한다.

그림 2-4와 같이 공정을 짰을 경우의 이온교환

수지에 대한 부하량을 직렬향류수세와 회분식수세와를 비교한 결과를 표 2 - 15 에 나타낸다.

이 경우 직렬향류수세에서는 항상 최종 수세조농도는 일정 평형인 것으로 한다. 이온교환 부하량에서는 1회분식 처리내에서의 작업수가 많을수록 회분식수세쪽이 직렬향류수세에 비하여 부하량이 적고 또 동일 작업수에서는 수세조수가 많을수록 회분식쪽이 부하율이 작아지고 있다.

그런데 이온교환용 수세조의 수세수를 이온교환수지탑으로 순환시켜 수세조를 일정농도로 유지키 위해서는 어느 정도의 수량을 공급해주면 될것이나 그것은 수세조에 들어와서 수세조의 물로 균일하게 되었을 때의 농도를 C_s 로 하고 일정하게 유지코

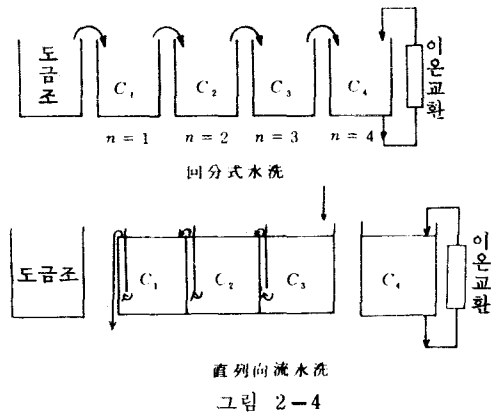


표 2-15 이온교환탑에 걸리는 부하량의 비교

1 사이클의 작업수	회분식水洗		直列向流水洗	
	C_3 (g/l)	이온교환 축적량 (g)	C_3 (g/l)	이온교환 축적량 (g)
10	2.179×10^{-5}	7.090×10^{-6}	2.179×10^{-5}	2.179×10^{-5}
20	1.514×10^{-4}	8.729×10^{-5}	1.514×10^{-4}	3.028×10^{-4}
30	4.839×10^{-4}	4.009×10^{-4}	4.839×10^{-4}	1.452×10^{-3}
40	1.112×10^{-3}	1.202×10^{-3}	1.112×10^{-3}	4.448×10^{-3}
50	2.124×10^{-3}	2.835×10^{-3}	2.124×10^{-3}	1.062×10^{-2}
100	1.590×10^{-2}	4.155×10^{-2}	1.590×10^{-2}	1.590×10^{-1}

$C_0 = 100 \text{ g/l}, V = 100 \text{ l}, D = 0.1 \text{ l/j}, n = 4$

단 직렬향류수세에서는 C_3 은 회분식수세의 1 사이클 작업종료시의 C_3 농도를 항상 유지하는 것으로 가정하여 계산하였다.

저하는 농도를 C_n 으로 한다면 C_s 와 C_n 과 수세조 용량 V 및 어느만큼의 시간이 걸리는가 하는 t 로 결정된다. 수세조 용량을 100 l 와 500 l 로 했을 경우의 필요수량을 표 2-13 에 나타낸다. 이것은 그 시간내에 공급해야 할 수량을 V 라하면 대체로 $tv = \ln(C_s/C_n) V$ 보세 표시할 수가 있다. 즉 어떤 일정 시간내에 몇배인가를 희석하려고 한다면 $2,303 \times V \times \log(C_s/C_0)$ 의 수가 필요하게 될 것이다. 예컨대 표 2-13 의 $V = 500 \text{ l}$ 에서 물품이 들어왔을때의 농도를 다음 물품이 들어올때까지의 120 초간에 1/100 로 해버리려고 한다면 120 초간에 약 2,300 l 의 물을 수세조에 공급하지 않으면 안된다. 이것은 1 시간에 69,000 l 의 물을 이온교환장치로부터 공급하지 안된다는 것으로 되는 것이다. 이온교환의 SV 를 30 으로 하여도 이

이온교환수량은 2,300 l 필요로 한다. 1/100 이 아니라 1/10 의 농도로 낮추어도 된다면 필요수량 및 이온교환수량이 반만으로 된다는 것이다. 또 수세조는 되도록 작은 편이 유리하다. 더욱 적은 물로 행하는데는 수세수를 전부 빼내고 새로운 물을 가해줌으로써 이온교환장치를 포함하는 순환제가 되지 않도록 하면 좋다.

이와같은 생각은 실제로는 물을 공급하여 어떤 수세조의 농도를 희석하고자 하는 경우에도 적용될 것이어서 병렬수세등도 수세의 이온식상으로는 수세조 용량 V 의 함이 들어있지 않지만 실제의 수세조건을 모델화했을 경우에는 당연히 이 문제가 들어오지 않으면 안된다. 직렬향류수세 및 병렬수세에서의 전제조건은 항상 수세조 농도가 평형으로 되어있는 것으로 되어있기 때문이다.

따라서 최종 수세조로부터 도금품이 나갈때에 항상 오염이 0에 가까운 상태로 하기 위하여 이온교환탑등의 순수화 장치를 직결시켜 수세를 행하는 경우 수세조용량, 순수공급량등을 잘 검토할 필요가 있다.

이의 실제적인 예를들면 도금의 여과기의 여과용량등은 1시간에 도금액 용량의 3배이상, 4배정도의 것을 선택하고 있다. 그것은 적어도 1시간내에 도금액이 전부 여과기를 통과하기 위해서는 $23 \times V$ 만큼의 순환량이 필요하다는 의미에서 나온 것이라 생각된다.

그러므로 회분식수세의 일부에 이온교환탑등을 설치하여 접속시키는 경우 회분식의 비워서 갈아대는 주기때문에 일반의 수세조는 크더라도 관계없으나 이온교환등에 접속된 수세조는 작업상 지장이 없는 범위에서 작은 편이 유리할 것으로 생각된다.

2-1-7 스프레이수세

스프레이 수세는 오래전부터 자동기등에 사용되고 있고 수세수량을 감소시키기 위해서는 효과가 있다. 그러나 스프레이 수세 후에 종래의 침지식의 수세를 행하는 경우 스프레이 수세에 사용하는 수량은 제 1 수세조 또는 회수조의 사용 수량 이하이고 또 제 2 수세조 이후에서 물어나오는 오염의 총량이 침지식의 제 1 수세 또는 회수조로부터의 것과 동등 혹은 적지않으면 의미가 없다.

아래에 鍍金技術研究會(日本)가 1971년 11월 1일에 내놓은 "도금배수대책기술연구부회"의 보고서 가운데 "스프레이 세정의 검토"에서 1부 발췌하여 소개한다.

(1) 도금액의 洗淨水 水量的 절감과 세정효과의 향상을 위한 試圖

크롬도금이 끝나면 도금품은 걸이와 함께 회수조 (1,200 × 575 × 1,130, 780ℓ) 에 침지, 세정된다. 즉 회수조의 물은 물어나온액의 대부분이 혼입되어 일반적으로 작업조건이나 회수조의 수량 및 물어나오는량에 의하여 다르지만 회수조중의 크롬산량은 25 ~ 50g/ℓ (무수크롬산의 물어나오는량 7.6kg/일) 까지 올라가는 것이 실정이다. 이때문에 회수조 이후의 공정인 수세공정에는 다시 이 물어나온액의 물어내는 작업이 있어 이것이 크롬도금 배수로 되는 것이다. 또 이 회수조 용액은 하루 작업에 의해 물어나간량 및 증발량에 상당하는 도금액의 감량을 보급하는데 사용되는데 이것은 회수조 액량의 전량에 상당하는 것이 아니다. 따라서 회수조 용액의 농도는 연차로 높아지게 된다.

(2) 스프레이노즐의 선정에 대하여

스프레이노즐의 선정은 효율 높은 세정효과를 기대하는데 중요한 일인바 그 사용방법도 크게 효과를 좌우한다. 즉 각각의 스프레이의 형상에 따라 다음과 같은 노즐의 호칭과 특징이 있다.

(a) 홀로우콘 (hollow cone 空圓錐) 노즐

- 중공, 원추상의 분무
- 비교적 저압에서 작동을 시작하고 세입자를 얻을 수 있다.
- 약 2kg/cm²까지는 분사각이 넓어지고 그 이상에서는 분사각이 일정하게 된다.

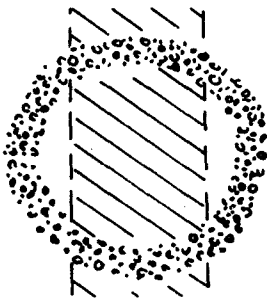


그림 2 - 5 홀로우콘노즐

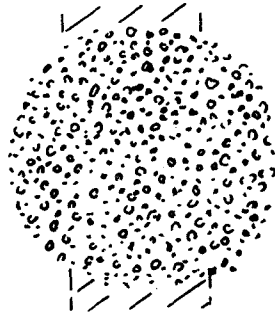


그림 2 - 6 풀콘노즐

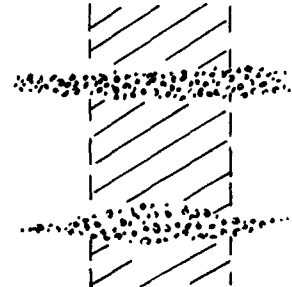


그림 2 - 7 플레이트 앳트마이징 노즐

그림 2-5와 같이 중공의 분무 패턴으로서 일반적으로 세입자를 얻을 수 있는데 분무량 전체로서 본다면 효율이 좋은 것이라 할 수 없다. 세정에 관여치 않는 것이 많은 편이다.

(b) 풀콘 (full cone 充圓錐) 노즐

- 전면 균등의 원추상의 분무
- 비교적 저압에서 사용되며 거친 입자와 가는 입자가 혼재한다.

그림 2-6과 같이 전면 균등의 분무이기 때문에 분사각이 적당하다면 효과가 높다. 또 분사압력 1kg/cm^2 이하에서는 분무는 급격히 감소하고 1kg/cm^2 이상에서는 완만하게 감소한다.

(c) 플랫에트마이징 (flat atomizing 부채형) 노즐

- 균등폭의 부채형 분무와 중앙의 두꺼운 부채형 분무기가 있다. (그림 2-7)
- 약 7kg/cm^2 까지는 분사각이 넓어지고 그 이상에서는 분사각은 일정하게 된다. 분사각의 선정이 적당하다면 자동도금장치등과 같이 걸이가 상승 하강하는 경우에 소량의 물로 세정할 수가 있다. 또 이 경우는 비교적 수량의 로스(손실)가 없다.

(3) 첫째 실험

일반적으로 스프레이 세정에 사용되는 수도물을 그대로 그 전량을 조에 되돌리는데는 그조에 대한 1일의 보급수량 이내에서가 아니면 안된다.

A회사의 경우 1일의 보급수량은 약 150ℓ이며 도금자동 장치의 전기적 제어기구와 연동시켜 스프레이물의 회로에 넣은 압송용 급수 펌프의 전동기를 작동시키도록한 결과 1회의 스프레이 시간이 15S(초)로는 사용수량 과잉이고 도금액량이 증가되고 만다는 것을 알았다. 그 때문에 스프레이 시간을 8S로 하였다. 즉 스프레이 시간과 타이밍을 맞추어 노즐로부터 스프레이되고 회수조에 고인 세정수를 펌프업하여 다시 크롬도금조에 되돌리도록 하였다. 그러나 이 결과는 8S간의 스프레이 세정으로는 눈으로 관정하는 한, 도금액을 깨끗이 씻어내기에는 충분치 못하다는 것이 밝혀졌다.

(4) 둘째 실험

본 실험에서는 도금조에 노즐을 합계 8개 사용하였다. 따라서 노즐로부터 분사하는 수량은 노즐의 규정치의 8배가 된다. 이때문에 스프레이 세정

효과의 개선법으로서는 다음과 같은점을 생각하게 되었다.

- (가) 스프레이시간 15S, 단 스프레이후 조 밑에 고인 물을 농축하여 회수
- (나) 스프레이시간 8S, 노즐형식을 달리한다.
- (다) 종래와 마찬가지로 회수조에 침지 세정한 다음 회수조상에서 스프레이 (8S)
- (라) 물어나온 액으로 순환 스프레이에 의해 세정하고 가능하다면 온수로 스프레이 (8S)를 한다.

이들 방법을 검토한 결과 소량의 수도수로 스프레이 세정의 효과를 올리는 데는 다음과 같이 순환 스프레이 방식을 병용하는 것이 가장 좋다는 것을 알았다.

순환 스프레이 (CrO₃ 약 50g/ℓ의 회수조 밑에 고인 스프레이가 끝난 물을 펌프에 의해 압송하고 행거 (걸이) 하강시에 스프레이 한다)

- 스프레이 중지 (물끼를 떨어내기 위한 여유시간) 26 초
- 수도수 스프레이 (행거 (걸이) 가 올라갈때) 8 초
- 스프레이 중지 (행거 (걸이) 가 완전히 올라갔을 때, 물끼 떨어내기) 7 초

(5) 결 과

종래와 마찬가지로 회수조에 침지 수세 했을 경우와 회수조 대신에 스프레이 세정을 행한 실험 결과를 비교해보면 표 2-16과 같이 된다.

이 표에서 보면 침지 세정으로부터 들어가고 나오는 크롬산량보다도 스프레이 세정때가 크롬산의 지입 지출량이 적고 그리고 스프레이 세정의 앞공정에 순환세정을 가하는 편이 훨씬 적어진다는 것이 명백하다.

이때 노즐과 걸이 (rack)까지의 간격에 따른 분립의 형상, 분사각도의 선정의 양부와 아울러 분사압력의 적부가 가장 세정효과를 지배한다. 즉 일반적으로 노즐은 2.8~3kg/cm²를 표준 조건으로 하여 그 성능의 비교, 제작규준으로 삼고 있는데 분사압력이 낮을 경우는 스프레이의 형상이나 분립의 분포, 입자의 크기가 불안정하다.

도금면의 세정은 분무상태가 미세해질수록 시간을 요하며 어느정도 거친 입자가 표면을 두들기는

상태에 있지 않으면 안된다.

한편 도금품을 걸이에 거는 고정법이 불완전 하여 적은 풍압으로 빗나가 떨어져 버리고 마는때도

표 2 - 16

세정방법	유 량 스프레이 형 식	1일의 전 스프레이의 수량 (ℓ/8 hr)	수세조 중의 크롬산의 지출량(ℓ)
침 지 세 정			1690
스프레이 세 정 만 한 것	프래트애도 마이징 8 개	144	1277
순환 스프레이 세 정 을 가 한 것	동 상	144	2627

있고 또 때로는 분무입자가 조벽등에 부딪쳐 튕겨져 氣流를 타고 회수조상방에 비산하는 일도 생각할 수 있다. 그리고 이때에 수류펌프압이나 스프레이수량에 제한이 있어 분사압을 올릴 수 없는 상황도 있어서 실험은 1~1.5 kg/cm로 한정하고 있다. 그러나 효과적인 세정에는 2~3 kg/cm 전후를 필요로 하고 있다.

(6) 스프레이 수세의 연구

스프레이 수세는 효과가 있는 수세 방법이지만 그 효과를 지나치게 과신하면 그 효과를 반감하고 만다. 여기서 스프레이 수세를 문제삼는 것은 첫째로 수세수량의 감소때문이다. 적어도 회수조에서 사용하는 수세수량 이하이어야 하며 회수조 농도 이하의 오염도로 수세할 수 없을 때는 의미가 없다.

전술한 실험에서는 사이클 스프레이와 수도수 스프레이와의 병용으로 수량과 농도의 조절을 행하였지만 걸이 (rack) 에 따라서는 스프레이를 하더라도 물품에 직접 닿지 않는 스프레이수가 상당량있다. 어떤 물품에 있어서는 스프레이수의 1/2 이상이 직접 세정에는 관여하지 않는 예도 있다. 그러하여 그림 2-8 과 같이 스프레이 수세조를 개량하여 물의 량을 감축하고 있는 공장도 있다.

또 노즐의 종류, 특징을 잘 살려서 노즐의 수를 감소시키는 방법이나 비말비산을 방지하는 일도 필요할 것이다. 공업용 크롬도금등에서는 槽上 스프레이하는 방법이 사용되지만 유효하게 사용하고 있

는 공장은 그나름대로 비말비산의 방지법을 고안하고 있다.

스프레이 수세는 완전한 균일수세를 기대하는 것은 물품의 형상이 복잡해지면 질수록 어려워지지만 절수면에서는 유효한 방법의 하나이다.

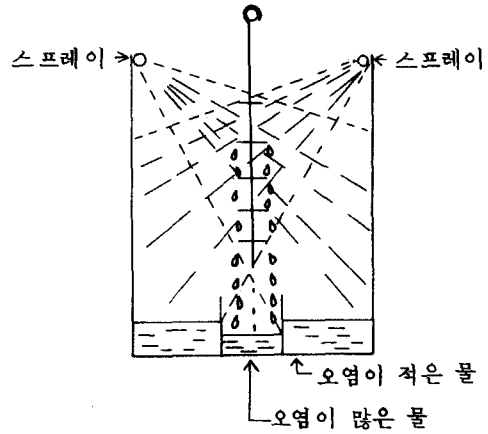


그림 2-8

그 특징을 살려서 연구하면서 쓰는 공리가 바람직하다.

2-1-8 바렐도금의 경우

바렐도금의 특징은 묻어나오는량이 많다는 것과 바렐내의 액이 바렐외의 액과 교환이 잘 안된다는 점이다. 도금을 올리는 작업도 작업이러니와 수세, 리사이클을 고려할 경우에는 특히고려해야 할 요건이다.

바렐도금에서는 물품의 형상이 복잡하거나 작은 물품이 흔히 겹쳐져 있어서 물품과 물품사이의 틈에 있는 액이 여간해서 빠져나오지 않아 물기를 떨어내는 시간을 충분히 잡지 않으면 묻어나오는양이 극단으로 많아진다.

물기를 충분히 떨어내기 위해서는 래크식도금의 경우보다는 물기를 떨어내는 시간을 길게 할 필요가 있다.

리사이클을 행하기 위한 기본적 요소로서는 도금액 양을 증가시키지 않을 것과 도금액 농도를 상승시키지 않을 것등을 들 수 있다. 왜냐하면 도금액 량이 증가해 버린다면 회수한 도금액을 원

래 상태로 되돌려 보내지 못하기 때문이다. 바렐도금의 경우 도금장치의 구조나 작업시간등을 잘 고려하지 않으면 도금액을 증가시키고 마는 일이 자주 일어난다. 예컨대 그림 2-9와 같은 경우 물기를 떨어내는 시간이 불충분하면 좌편 수세조로 부터 지입되는 액량은 도금조의 어느 위치에 바렐이 놓여지더라도 바로 옆에서 부터의 지입액 없애기 시간으로하여 생각되는 지입량은 가장 많다. 액의 점성등을 고려치 않을 경우 이 지입량과 거의 같은 지출을 하는 바렐은 도금조 상을 이동하는 시간만큼 액떨어내는 시간을 잡을 수있어 묻어나오는 액량은 적어지고 도금조 최좌단의 바렐은 묻어나오는량이 가장 적다. 결과적으로는 이 도금조에서는 묻어들어가는것보다 묻어나오는량이 많아 도금액량은 증가하게 된다.

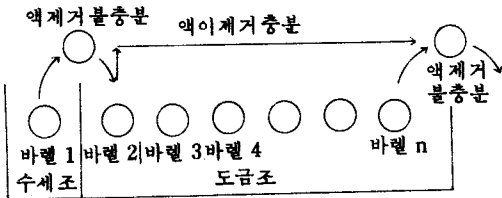


그림 2-9

이와같은 구조로 된 도금장치는 실제로 흔히 볼 수가 있다. 여기서는 금속분을 보급하거나 어느 기간 경과하면 도금액을 빼내어 폐기하거나 하고 있다. 이런상황에서는 리사이클을 시행할 수가 없는 것이다. 이 구조형식을 가장 많이 볼 수 있는 것은 아연도금이다.

이에 대한 해결 대책의 하나는 낙하액이 거의 없어질 때 까지 물기를 떨어내는 시간을 잡아주는 일이다.

그 둘째는 「2-1-5 여러가지 수세방법」에서 말한 回收槽를 2회 사용하는 방법을 사용하여 자동적으로 회수액을 지입시켜 도금액의 회박화를 방지하고 보충금속염을 감소시키는 방법.

또는 알공정의 방향을 역으로 하는 방법이다. 아연도금의 예에서 알공정이 탈지공정이라고 한다면 그림 2-10과 같은 배치가 가능하도록 고

안한다.

다른 하나는 그림 2-11과 같이 수세조와의 사이에 회수조 또는 空槽를 설치한다는 등의 고안도 있다.

다음으로 바렐의 수세효과는 걸이 (rack)의 경우와 다르다는 점에 주의하지 않으면 안된다. 지금까지 수세방법의 검토에서 말한 것들은 첫째 전제로서 물품이 수세조에 들어가고 나갈때까지 사이에 수세수 전량에서 완전히 균일화 되는 것을 필요로 한 것이고 후술하지만 실제로 어떤 범위에서는 그것도 가능하다.

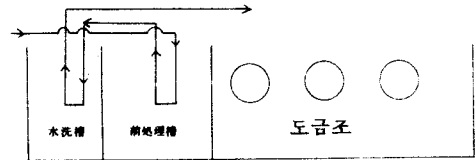


그림 2-10

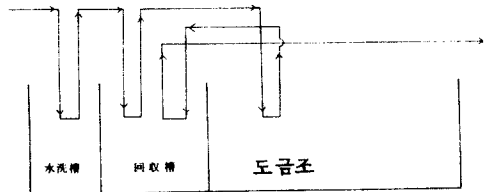


그림 2-11

그러나 바렐의 경우는 근본적으로 그것이 다르다. 어떤 공장의 실험에서 도금조로 부터 바렐을, 새로운 물을 넣은 50ℓ의 회수조에 옮겨 잠시 회전시킨 후 바렐속의 물과 밖의 물과를 채취하여 그 농도를 판정한 결과 바렐내에서는 1,163 ppm였고, 외측에서는 96 ppm 이었다. 다음으로 이 바렐을 1회 회수조로 부터 끌어올려 물기를 떨어낸 후 다시 한번 회수조속에 넣어서 같은 테스트로 판정을 행하였던 바 바렐내 농도는 405 ppm, 외측은 325 ppm 이었다.

또하나의 실험에서는 수세조 용량 약 88ℓ, 도금액농도·니켈로서 약 43g/ℓ의 액을 사용하여 같은 테스트의 측정을 행하였다.

표 2-17에 나타낸 이 결과는

(1) 공바렐로 바렐을 회전시키지 않고 수세조에 침지하여 20 초 후와 120 초 후의 바렐내의 농도를 측정하고 그 후 전체를 잘 균일화시켜 수세조 농도를 측정할 경우와

(2) 바렐에 4mm (5/32 인치)의 보울을 10,000 개 넣어서 (1)과 같은 모양으로 바렐을 회전시키지 않을 경우

(3) (2)와 같은 모양의 조건으로 바렐을 수세수중에서 회전시켰을 경우의 세가지 실험 수치이다.

바렐을 회전시키지 않는 경우, 최초는 바렐내의 농도가 높지만 시간이 경과하면 균일하게 되었을 때 보다도 낮아지고 있다. 그 이유는 명백하게 확인되지는 않고 있는데 보울을 넣은 바렐에서 눈으로 관찰한바에 따르면 바렐내에 수세수가 들어간 후 바렐하부로부터 곧바로 아래로 농도가 높은 니켈액이 하강해가는 것을 볼 수 있었던 것으로 미루어보아 수세수와 바렐내 농도와의 농도차가 많을 경우 농도가 높은 바렐내 수세수가 하강하여 묽은 수세수가 들어오는 것으로 생각되는 것이다. 바렐내의 물을 채취하는데 있어서 바렐의 중심부에서 하기 때

도가 20 초후에 445 ppm 정도로 되어 있는 계산이 되는데 30 초후의 결과로는 428 ppm으로 되어있어 시간차를 고려에 넣은 좋은 결과를 나타내고 있는 것이다. 그리하여 120 초후에는 수세조가 균일한 것 되었을때의 약 1.8 배의 농도를 나타내며 5 분 후에 겨우 균일치에 근접하게 된다.

회분식에서의 실제의 실험결과에 대해서는 후술 하겠지만 상기 실험만으로써 본다면 완전히 수세 되었다고 할 때 130 ppm 전후의 수세수가 다음 수세조에 지입되도록 되어있으나 120 초간의 수세시간으로는 약 1.8 배의 농도의 것이 다음조에 지입되고 만다. 바렐을 회전시키지 않는 경우에 실제로는 보울은 바렐 중심부의 수세수 농도보다 더욱 오염되어 있을 것이라는것도 생각해야 할 것이다.

바렐을 회전시키는 것이 좋으나 나쁘다는 것은 좀 더 실험을 반복하지 않으면 결론을 낼 수 없지만 바렐의 수세효과가 극히 나쁘다는 것은 인정할 수 있겠다.

따라서 바렐수세를 행함에는 수세조의 물 전부를 사용하여 수세하도록 고안되어야 할 것이다. 그렇게 함에는 바렐용적과 물품량, 묻어나오는 량, 바렐의 구멍크기나 구멍등에도 문제가 있을것이나 하나의 안으로서 먼저 공장에서의 실험으로도 수세가 잘되는 것을 볼 수 있듯이 수세조에서 1회상하시켜 수세수를 바꾸어 넣어주는 것도 그방법이라고 생각된다.

또 상기 실험결과로부터 바렐에 묻어있는 도금액 량이 비교적 많다는 것을 짐작할 수 있다. 이 실험용 바렐은 내경 약 200 mm 횡폭 340 mm 바렐 구멍 직경 3 mm의 바렐인데 쏘바렐만으로 약 145 ml 정도의 묻어내기를 하고 있는 셈이 된다.

지름 4 mm의 보울 10,000개의 겉보기 체적은 약 490 ml이고 실질체적은 327 ml이다. 이체적차의 보울과 보울의 틈사이에 전부 도금액이 들어갔다고 하면 162 ml 이며 바렐자체의 묻어나오는 량이 많다는 것도 알 수 있을 것이다.

바렐의 구멍크기가 작어지면 더욱 묻어나오는 량이 많다는 것을 상상할 수 있다. 따라서 바렐을 씻지 않고 3-품만을 씻을수가 있다면 오염은 적게할 수가 있을 것이다. 말하자면 수세수량을 적게할 수가 있을 것이다. 이것도 금후 연구되어야 할 사항이라 하겠다.

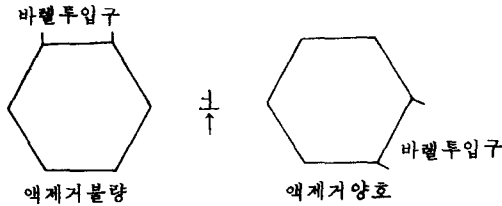
표2-17. 바렐수세에 있어서의 바렐내 농도

	공바렐 무회전	보울투입 무회 전보울 (4mmφ 10,000개)	보울투입회전 보울 (4mmφ 10,000개)
20초	242ppm		
30초		262ppm	428 ppm
120초	40ppm	70 ppm	226 ppm
균 일	70ppm	131 ppm	127 ppm

$$Co = 43 g/\ell \quad as \ Ni \quad V = \text{약} 88 \ell$$

문에 바렐저부의 농도는 이 실험에서는 측정할 수 없었다. 보울을 넣은 바렐에 대해서는 보울사이에 들어있는 도금액이 바렐내에 들어간 물만으로는 균일하게 되지 않고 보울이 겹쳐져 있는 곳에 보다 농도가 높은 것이 아닌가 생각된다. 그것은 균일화된 후의 수세수의 농도에 대하여 고찰해 볼 때 쏘바렐과 보울을 넣은 바렐과는 묻어나오는 량이 약 1.8 배 이상 다르지만서도 20 초와 30 초와의 차는 좀 있으나 바렐내 농도는 그렇게 다르지 않기에 문이다. 보울을 넣어서 회전시켰을 경우 바렐내 농

상기 바렐구멍지름 3mm의 바렐에서는 바렐의 투입구를 기울여 아래로 향하게 했을때와 위를 향하게 했을때 묻어나오는 액이 상당히 다르다.



(그림 2-12)

수자적으로 계산되지는 않았지만 바렐 투입구를 상향으로 해놓고 충분히 시간을 잡아 액을 빼낸 후 투입구를 기울여 아래가 되도록 회전시켰을때가 최초 투입구를 기울여 아래로 해놓은후 상향으로 했을때 보다도 다량의 액이 그때가서야 유출된다.

이것은 아마도 바렐의 뚜껑맞춤의 부분쪽이 액이 흐르기 쉽기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 액을 떨어낼때 바렐을 천천히 회전시킬 수 없을 경우에는 바렐 투입구를 기울여 아래로 되도록 하여 액떨어내기를 하도록 하는 궁리도 필요할 것이다.

2-1-9 이론파 실제

지금까지 말해온 수세방법이나 농도에 관한 문제의 대부분은 어떤 조건을 붙여서 도출한 수세의 이론식에서 계산에 의해 산출한 결과이다. 따라서 이들 이론을 현장에 적용시킴에는 이들 이론적 고찰이 어느정도 현장에서 재현될 수 있는냐를 검토하지 않으면 안된다. 실제로는 「리사이클화 도입의 실시예」의 章(후에 소개)에서 다루어지고 있듯이 현장에서 가동하여 성과를 올리고 있는 것도 있다.

여기서는 실험용의 수세장치를 사용하여 행한 실험예가 있으므로 그 결과의 일부를 참고로 하면서 실제의 공정에 적용하는 경우의 문제를 검토해 본다. 실험은 이론식에서 얻어진 경향과의 대응 또는 이론치와의 차이를 초래하는 요인으로 되는 조건을 찾아내는 것에 중점을 두어서 행하

여졌다. 이 실험에서는 수세방법으로서 회분식수세와 回分式部分量向流水洗를 채택하였다. 실험에 사용된 자동수세장치는 사진 2-1과 같은 장치로 도금조 용량 최대 150ℓ, 수세조 용량 최대 125ℓ, 수세조수 5조로서 병렬수세, 직렬향류수세, 회분식수세, 회분식부분량 향류수세가 가능하며 기내에 부착한 가변 타이머에 의해 도금시간, 수세시간, 액을 떨어내기 위한 공중방치 시간이 각각 지정 가능하다. 또 바렐의 경우에는 액중에서의 바렐 회전과 회전을 정지할 수가 있다.

[실험 1]

조건 ① 도금액, 니켈도금액

조성농도는 실험에 의해 변동하므로 그때마다 측정

- ② 수세조수 5조
- ③ 수세수량 약 95.7 ℓ/조
- ④ 수세방법 회분식수세
- ⑤ 교반없음.
- ⑥ 도금침지시간 1분
수세시간 20초
액떨어내는 시간 10초

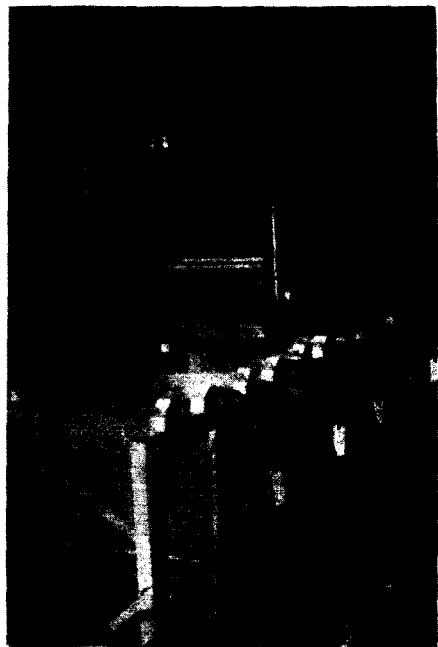


사진 2-1. 자동수세장치

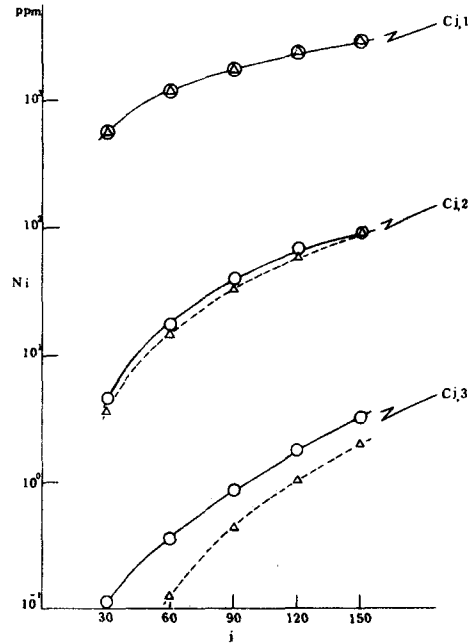
로 작업수 30 회마다의 수세수중의 니켈 농도를 측정했다.

실험의 결과는 표 2-18, 그림 2-13에 나타낸다. 도표중의 이론치는 작업회수 (j) 30 회 인때의 수세수중의 니켈총량에서 묻어나오는 량 평균을 구하여 C₀는 각 작업수 마다에 분석치에서 보정하였다. 묻어나오는 량 평균은 약 43 ml / 래크이다.

제 1 수세조 농도는 150 작업 종료후에서 이론치와의 차는 농도로 85 ppm, 이론차에 대한 비율로는 4% 이내로 되어 있다. 수세조가 증가했을 경우 이론치때 실측비율은 커지는데 실용적인 상용수세 농도라 생각되는 제 3 수세조에서 ppm 정도의 차이이다.

[실험 2]

실험 2에서는 실험 1의 조건중 수세시간을 0 초로 하고 나머지 조건은 같은 모양으로 하였다. 이것은 현장에서의 수작업의 실패에 가까운 조건으로 한 것으로서 액떨어내는 시간을 변화시키지 않



j = 30 회마다의 각수세조중의 니켈농도 (수세시간 20 초)

그림 2-11 그림 2-13

표 2-18 금강 j = 30 회 마다의 각수세조중의 니켈 농도

k \ j	0	30	60	90	120	150
C ₀	42.85 g/l	42.85 g/l	42.67 g/l	42.44 g/l	41.68 g/l	41.09 g/l
C _{j,1}	實驗值	543	1115	1695	2230	2759
	理論值	553	1100	1637	2164	2674
	實/理	0.982	1.01	1.04	1.03	1.03
C _{j,2}	實驗值	4.5	17.0	38.7	65.0	92.0
	理論值	3.71	14.5	32.1	56.3	87.0
	實/理	1.21	1.17	1.18	1.15	1.06
C _{j,3}	實驗值	0.11	0.35	0.84	1.73	3.03
	理論值	0.017	0.13	0.43	1.00	1.90
	實/理	6.47	2.69	1.95	1.73	1.59
C _{j,4}	實驗值	-	-	0.12	0.15	0.21
	理論值	6.12 × 10 ⁻⁵	8.81 × 10 ⁻⁴	4.27 × 10 ⁻³	0.013	0.031
	實/理	-	-	2.810	1.154	6.77
C _{j,5}	實驗值	-	-	-	-	-
	理論值	1.80 × 10 ⁻⁷	4.88 × 10 ⁻⁶	3.48 × 10 ⁻⁵	1.41 × 10 ⁻⁴	4.19 × 10 ⁻⁴
	實/理	-	-	-	-	-

조건 j = 1~150, D = 42.91 ml, V = 957 l C₀ = 42.85~41.09 g/l

수세시간 20 초 액떨어내는 시간 10 초

주) 이론치 계산은 회분식 부분량 향류수세의 식을 사용하여 j = 30, N = 5 까지 E = 0 로 하여 계산했다. C₀의 변동을 보정하기 위해 C₀ⁿ⁻¹를 C₀^{S·N}으로 하여 사용했다. 묻어나오는 량 D는 j = 30 N = 1의 C_{30,1}¹ · V + C_{30,2}¹ · V에서 구한 것과 j = 30, N = 2의 C_{30,1}² · V + C_{30,2}² · V | V + C_{30,3}² · V에서 구한 것은 평균치로 하여 D = 42.91 ml로 하여 사용했다.

은 것은 묻어나오는 량의 조건만은 일정으로 하
기 위해서이다.

결과는 표 2-19, 그림 2-14 에 나타낸다. 실험
1 과 비교하면 제 2 수세조이후의 실험치와 이론
치의 차가 커지고 있는 것을 알 수 있다. 이 실험
의 목적은 교반을 행하지 않는 상태에서 수세
했을 경우 수세시간 즉 수세수중에의 침지시간을
짧게하면 수세수전량으로서 균일 희석이 일어나
지 않기 때문에 제 2 수세조 이하에는 제 1 수세수
의 희석한계 농도보다 높은 농도의 수세수가 묻
어나오며 수세농도의 상승이 예상되므로 이것을
확인하는데 있다.

결과적으로는 제 2 수세조 이하의 이론치대 실험
측치의 비율은 수세시간 20 초인때 보다 크게되
어 있어 수세하기 어려운 형상의 물품이나 많은
량을 묻혀내오는 물품의 경우에는 이론적으로 부
터 수세수 농도 및 필요수량등을 추정하는 경우
에는 주의를 할 필요가 있다.

그림 2-15 는 작업회수 $j=60$ 의 경우의 수세
시간의 차에 의한 작조간의 농도를 나타낸 것으
로서 이론치 끼리는 거의 병행하고 있지만 실험
치 끼리는 수세조수가 많아질수록 차이가 크게
되어 있다.

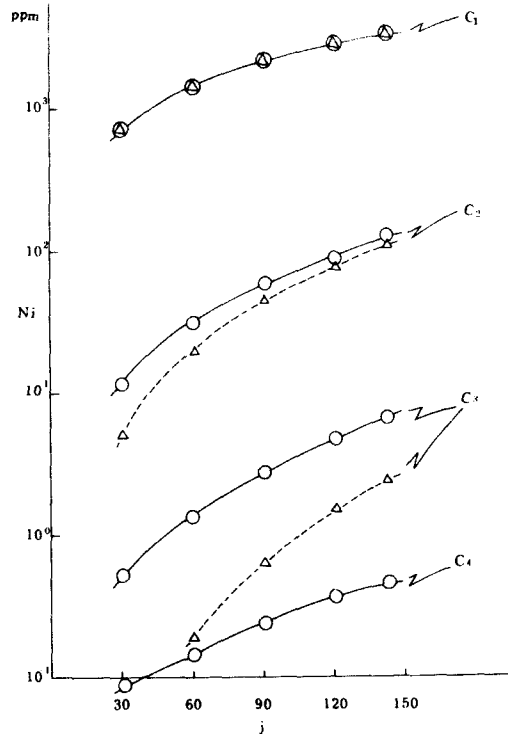


그림 2-14 $j=30$ 회 마다의 각 수세조중
의 니켈농도(수세시간 0 초)

表 2-19 금강 $j=30$ 회 마다의 각수세조중 니켈농도(수세시간 0 초)

(單位 ppm)

$k \setminus j$	0	30	60	90	120	142
C_0	51.36g/l	50.78g/l	50.48g/l	50.19g/l	49.60g/l	49.0g/l
$C_{j,1}$	實驗值	7.27	14.53	21.72	28.32	61
	理論值	7.10	14.05	20.86	27.51	3.21
	實/理	1.02	1.03	1.04	1.03	1.4
$C_{j,2}$	實驗值	11.4	30.9	58.6	87.2	125.0
	理論值	5.13	19.96	44.14	77.34	107.2
	實/理	2.22	1.55	1.33	1.13	1.17
$C_{j,3}$	實驗值	0.52	1.34	2.67	4.56	6.49
	理論值	0.026	0.192	0.631	1.47	2.40
	實/理	20.00	6.98	4.23	3.10	2.70
$C_{j,4}$	實驗值	0.09	0.15	0.24	0.36	0.45
	理論值	9.82×10^{-5}	1.41×10^{-3}	6.84×10^{-3}	0.021	0.045
	實/理	916.5	106.4	35.4	17.1	10.0

条件 $j=1 \sim 142$ $D=4.47ml$ $V=95.7l$ $C_0=51.36 \sim 49.60g/l$

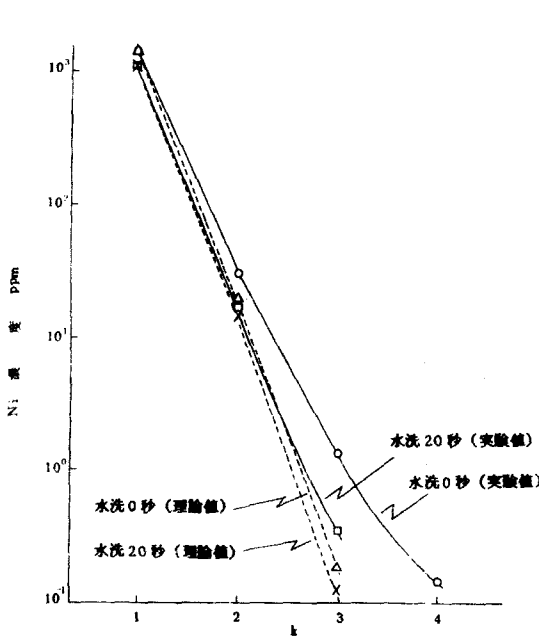


그림 2-15 $j=60$ 회의 수세시간의 차에 의한 각조간의 니켈 농도

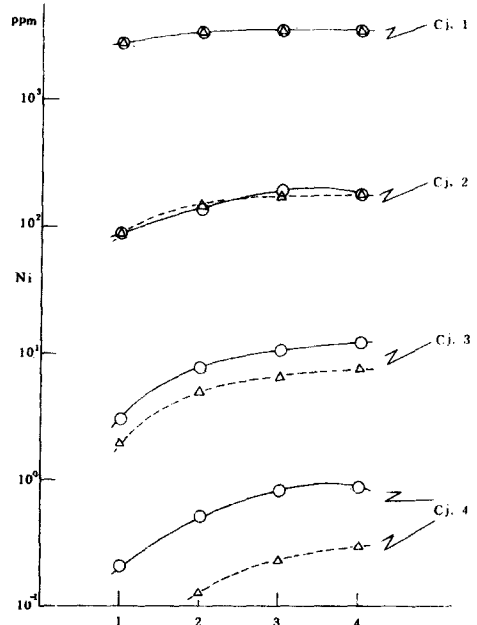


그림 2-16 회분식 부분량항류수세에 있어서의 작업단위에 의한 니켈농도 변화

表 2-20 금강 $j=150$ 회, $E/V=0.783$ 부분항류수세에 있어서의

각 수세조수의 니켈농도

(單位 ppm)

N	0	1	2	3	4
	4285 g/l	41.09 g/l	39.92 g/l	37.86 g/l	35.96 g/l
$C^N_{150,1}$	實驗值	2759	3258	3353	3266
	理論值	2674	3194	3266	3166
	實/理	1.03	1.02	1.03	1.03
$C^N_{150,2}$	實驗值	92.0	129	181	182
	理論值	87.0	142	163	166
	實/理	1.06	0.908	1.11	1.10
$C^N_{150,3}$	實驗值	3.03	7.60	10.3	11.7
	理論值	1.90	4.77	6.55	7.31
	實/理	1.59	1.59	1.57	1.60
$C^N_{150,4}$	實驗值	0.21	0.52	0.82	0.87
	理論值	0.031	0.132	0.232	0.295
	實/理	6.77	3.94	3.53	2.95
$C^N_{150,5}$	實驗值	-	-	0.31	0.25
	理論值	4.19×10^{-4}	3.15×10^{-3}	7.30×10^{-3}	0.011
	實/理	-	-	4.25	2.27

조건 $j=150$ $D=42.91$ ml $V=95.7$ l $E/V=0.783$ $N=1 \sim 4$

전작업회수 600 회 기타 실험 1과 같다.

[실험 3]

단순한 회분식 수세에서는 水量의 점에서 직렬 향류수세보다 사용 水量이 증가하고 리사이클물이 낮아지는 경향이 있다. 회분식 전량 향류수세 또는 회분식 부분량 향류수세를 실시할 수 있다면 수용수량은 감소하고 향류량과 도금액 감소량이 일치한다면 그 공정은 크로우즈드로 된다. 또 완전 리사이클이 불능한 경우에 있어서도 그것은 별도 처리하거나, 처분해야 하는 양이 적어서 좋은 점이 있다.

실험은 1.일의 작업수 j 를 150 회로 하고 150 회를 1 사이클 $N=1$ 로 하고 150 작업 종료후 제 1 수세조의 물의 약 80%를 도금조에 반류하는 것을 가정해서 행하였다. $N=1$ 에서 $j=150$ 처리 했을 때의 제 K 수세조의 농도를 C_{150K} 로 표시한다.

결과를 표 2-20, 그림 2-16에 나타낸다. $N=4$, 즉 150 작업을 1 사이클로 하여 연 600 작업을 행하였는데 실험 1의 경우와 같은 정도의 확실성으로 이론치와 적합했다.

이상 간단한 실험으로써도 알 수 있듯이 이론 그자체 즉, 이상에서 말하여 온 것은 어떤 확실성으로 현장적으로도 적용할 수 있음이 명백하다.

그러므로 이론적으로 고찰하거나 비교한 결과는 현장에 있어서의 작업조건에 따라서는 수치적으로 차가 있을런지는 알 수 없으나 그 경향은 같게 될 것이다. 현장에서 실제로 공정을 짜서 레이아웃(lay out)하는 경우 이제까지 말해온 것들의 기본적인 조건을 잘 검토하여 조건을 정비하는 일부부터 시작해야 할 것이다.

몇번씩 반복하여 말하지만 가장 기본으로 되는 것은 묻어나온 액을 도금조에 되돌리는 일이다.

그러기 위해서는 도금액의 조건으로서는

- 1) 도금액량이 적어도 증가하지 말것. 가능하면 감소형이어야 할 것
- 2) 도금액 농도가 증가하지 않을 것

- 3) 불순물을 만들어 내는 따위의 액이 아니어야 할 것.

등이 최저 조건으로 들 수 있겠다. 이들 조건에 맞지 않는 액의 경우에는 우선 맞추도록 하는 궁리를 한 다음에 리사이클화를 검토하여야 할 것이다.

다음으로 리사이클화에 있어서는

- 1) 묻어나오는 양을 감소시킬 것
- 2) 리사이클 하는 액량을 되도록 작게 할 것
리사이클액량을 작게 하기 위해서는 수세수량을 감소시키고 회수조 또는 제 1 수세조 농도를 그 공정에서 지장이 일어나지 않는 한도로까지 높이는 일이며 수세수량을 줄이고 효과적인 행함에는

- 1) 수세의 필요충분한 조건을 확인하고
- 2) 수세관 기본적으로는 물에 의한 회석이라고 하는 입장에서
- 3) 수세조수
- 4) 수세수량
- 5) 수세수농도
- 6) 묻어나오수량
- 7) 작업량

등 가장 효율적인 수세방법을 검토하여 그들 조건을 잘 파악해야 할 것이다. 실패를 두려워해서는 안되지만 조건을 무시한 시행착오는 문제가 공해문제에 이어지는 위험이 있는만큼 가장 주의해야 할 점이다.

이론적으로도 바르고 실험실적으로도 바르다는 것은 현장에 있어서도 바르게 행해질 수 있다는 것이다. 그러나 현장에서 잘 되어가지 않는 경우의 가장 흔한 예는 실험이나 이론에 있어서의 조건을 파악하지 못한 점이다.

현장에 몇개의 구체예로서 리사이클이 행하여지고 있다. 조건을 확실히 포착하여 전진해 주기 바란다.