



- 해외선진 청정생산기법 및 기술 - 도금을 위한 청정생산의 대안

-자료제공 : 한국생산기술연구원, 국가청정생산지원센터

미국 로드아일랜드주립대학 공해방지센터와 한국생산기술연구원 국가청정지원센터가 공동 협력해 금속 마감과 금속 가공산업이 청정 생산 선택들을 확인, 평가, 실행 할 수 있는 기술을 개발, 지난 5월 29일과 31일 두차례 발표 세미나를 가졌다.

이에 본지는 회원들의 업무향상을 위해 세미나 발표 기술 중 『도금을 위한 청정 생산의 대안』을 발췌, 게재 하고자 한다.

[편집자 주]

목 차

I. 저급 기술 용액(solutions)

II. 물 보존

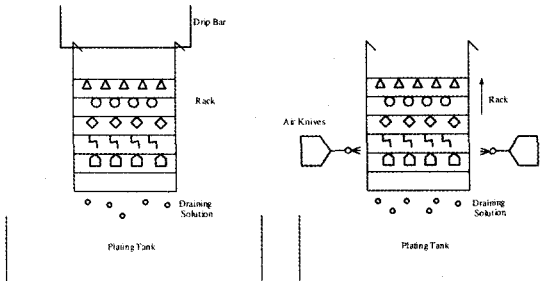
- 적합한 행구기
- 역류행구기
- 행금탱크의 교반
- 전도성 계량기가 있는 자동화 탱크 시스템

III. 공정내 재활용

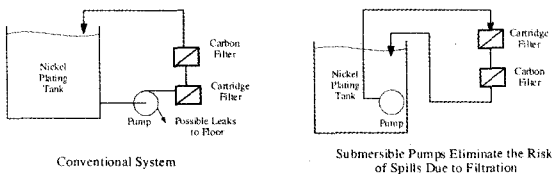
- 공정내 재활용과 물질의 재생
- 금속제거와 물의 정화를 위한 이온교환
- 금속제거와 물의 정화를 위한 반삼투
- 금속염 재생과 린스 유액 재활용을 위한 전기 투석
- 용해된 금속의 전기분해재생
- 산과 금속재생을 위한 확산 투석

I. 저급 기술 용액

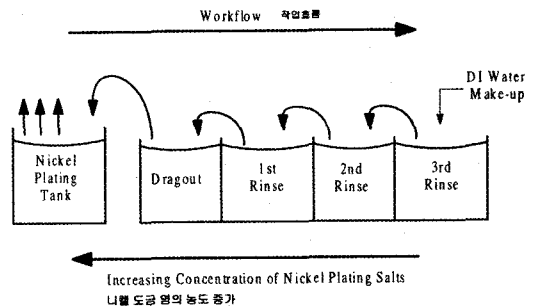
- 도금 용액(plating solutions)이 담겨 있는 탱크 안에서 도금용액을 순정(pure)하게 보관한다;
- 적당한 탱크에 배수된 용액을 갖다놓는다;그리고
- 만족할만한 부분 마무리를 유지하는 동안에 사용된 행금물의 양을 줄인다.
- 탱크에 들어가고 나가는 유동체의 제어
- 금속의 제거를 위한 모형(dummy)도금
- 용기의 여과
- 반이온화된(Deionized)물의 사용
- 개선된 관리-Floor 유출
- 선반 도금(Rack Plating)에서 dragout 복구 (그림 참조)



- 배럴도금 내에서의 Dragout Recovery
- 펌프/밸브 보수(maintenance)



니켈도금 라인 이용



장에서 사용되는 “역흐름(counterflow)행금.”

• 마지막 행금 탱크(the final rinse tank)에 더해지는 청정수(clean water); 마지막 행금 탱크에서 넘치는 물은 인근역행 흐름 탱크(the adjacent, upstream tank)등에 보내진다.

• 첫번 행금 탱크로부터 넘친 물(overflow)은 폐기물 처리로 보내지거나 증발 대체(evaporative)로서 도금 탱크로 보내지거나 둘 모두 행해진다; 수동 혹은 자동으로.

II. 물의 보존

• 적합한 행구기(Rinsing)

- 물 사용의 조절은 물 소비를 줄이고 공정내 재활용 시설에 대한 비용을 최소화 한다.
- 물보존에 대한 다음과 같은 청정생산 선택을 고려한다.
 - 역류 행금(Counter-Current Rinsing)
 - 행금 탱크 휘저어 섞어 (Rinse Tank Agitation)
 - 전도성 계량기(Conductivity Meters)가 달려있는 자동화된 탱크시스템.

• 역류행구기(Counter-Current Rinsing)

- 최소량의 물(water)로 부품들을 행구는 대부분의 공

• 증발 손실로 인하여 대부분의 금속 도금 탱크는 섭씨 60도이상으로 가열되어 있다.

• 첫 번째 행금탱크(rinse tank)는 도금 탱크로 돌아갈 수 있고 증발을 보충할 수 있게끔 고농도염을 함유하고 있다.

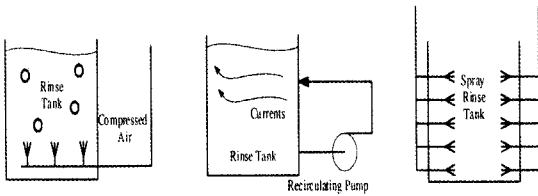
• 만약 역류(counter-current)공정의 물의 흐름이 증발율(evaporation rate)과 일치한다면, 사실상 폐기물은 생성되지 않는다.

• 마지막 행금탱크에서 반응온화(deionized)된 물의 사용은 소금(염)이 원치 않게 쌓여지는 것을 방지하기 위해 필요하다.

• 행금 탱크의 교반(Agitation)



- 소개된 기계 교반은 행굼에 필요한 물의 양을 줄일 수 있다.
- 만약 압축공기를 사용할 수 있다면, 각 행굼 탱크에 Spargers를 설치한다; 액체(the liquid)를 통해 만들어지는 공기거품은 교류(turbulence)를 만들어 행구기(rinsing)를 강화한다.
- 유동체(fluid)를 재순환하기 위해 행굼 탱크에 펌프를 설치하는 것은 행구기에 도움이 되는 흐름(currents)을 만든다.
- 행구기 시스템(rinsing system), 특히 오픈릴식(reel-to-reel)의 도금라인에 스프레이 노즐을 사용한다.



전도성 계량기(conductivity meters)가 있는 자동화 탱크 시스템

- 전도성 계량기는 소금(염)이 쌓이는 것을 감지하는데 사용되며, 상대적으로 저렴하다; 행구기의 수명을 최대화한다.
- 행굼 탱크가 고전도성(high conductivity)에 도달하면 용액(solution)은 역류 행굼 탱크(upstream rinse tank)에 보내지고 마지막 행구기(final rinse)에 신선한 DI물(water)이 첨가된다.
- 펌프는 자동화되어 있지만 수동으로도 작동될 수 있다.

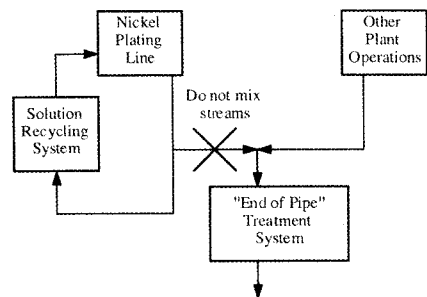
III. 공정내 재활용

공정내 재활용과 물질의 재생

폐수를 재활용하는 실질적 방법-이를테면 금속의 방출을 방지하는 온라인-분리 기술을 검토한다.

- 분리 폐기물 흐름(Streams)
- 다음과 같은 기술을 검토:
 - 이온교환(Ion Exchange)
 - 반삼투성(Reverse Osmosis)
 - 전기투석(Electrodialysis)
 - 전기분해 재생(Electrolytic Recovery)
 - 확산투석(Diffusion Dialysis)
- 많은 도금 공정은 증발 대체(evaporative replacement)에서 요구되는 것보다 더 많은 물이 필요하다.
- 초과된 물은 보통 폐기물 처리로 보내진다.
- 온라인 분리기술은 폐수와 도금용액을 재활용하는 실질적 수단으로 제안된다.
- 금속 방출을 금지.

Stream Segregation



금속 제거와 물의 정화를 위한 이온교환

- 이온교환 수지(resins)는 물리적 흡착 공정을 통하여 용액으로부터 금속이온을 제거한다.



• 이것을 적용하는 기술은 금속 그리고/혹은 도금염을 재생하는 것처럼 도금 행금물을 정화하거나 재활용하는 효과적 공정으로 검증되었다.

• 이온 교환 컬럼(columns)에 남아있는 물은 행구는 곳으로 다시 돌아간다.

• 알맞게 설계된 시스템은 새로 유입되는 물(incoming tap water)보다 더 나은 특색을 지닌 물을 공급한다.

• 이온의 흡착이 발생하는 수지 컬럼(resin columns) 도처에 분포된 폐수.

• 양이온 수지 컬럼 : 수소이온에 흡착되고 교환되는 금속이온.

• 음이온 컬럼 : 수산화물(hydroxide)이온에 흡착되고 교환되는 associated salts(염화물, 황산염).

• 수소이온과 수산화물이온은 물로 결합한다.

• 소모된 컬럼은 산성(acid) 혹은 가성(caustic) 용액으로 재생성될 수 있다.

• 재생성 용액은 용해되지 않은 금속이 풍부하여 도금용액으로 재사용될 수 있다. 예 : 니켈로 포화된 음이온 컬럼은 니켈 황산염 용액을 만드는 것처럼 황산으로 재생성될 수 있다.

• 바른 수지를 사용하는 것이 아주 중요하다; 재생성이 잘 이루어지지 않는 값싼 수지가 있는데 보통 재생 혹은 폐기를 위해 외지(off-site)로 옮겨진다.

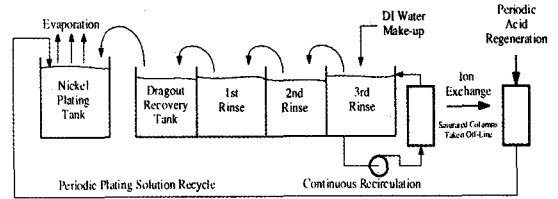
• metal-free final rinse를 확실하게 하기 위해 수지를 통하여 지속적으로 진행되는 마지막 행금.

• 도금탱크로 복귀한 역류 린스(Upstream rinses)와 dragouts. 이온교환 생성은 호환성이 조사되어야만 한다.

• 운영비용은 보통 산출할 수 있는 화학약품비용과 노동비용을 포함한다.

• 고철 판매를 위한 고품금속 획득을 위해 재생성(regenerant)에 사용된 전기분해 재생.

• 만약 다른 선택이 비용효과적이 아니라면 재생성가능성의 처리와 처분.



• 금속 제거와 물의 정화를 위한 반삼투(reverse osmosis)

• 반삼투(Rreverse osmosis, RO)는 청정생산의 전망으로 볼 때 이온교환(ion-exchange)시스템 보다는 많은 장점을 지니고 있다.

• 이온교환은 수지재생성과 금속재생을 위한 산(acid)과 가성소다(caustics)와 같은 위험 화학약품을 필요로 한다; 반삼투는 물로부터 용해된 금속을 깨끗이 기계적 분리를 한다.

• 반삼투는 물분자를 지나도록 허용하는 반면 이온통과는 거절되는 특수제작박막(specially-manufactured membranes)을 사용한다.

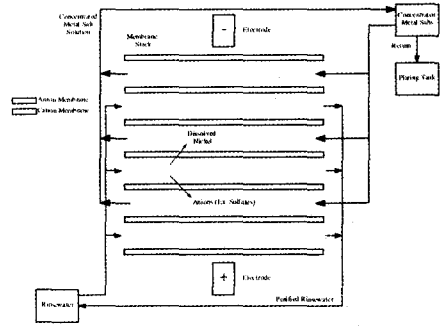
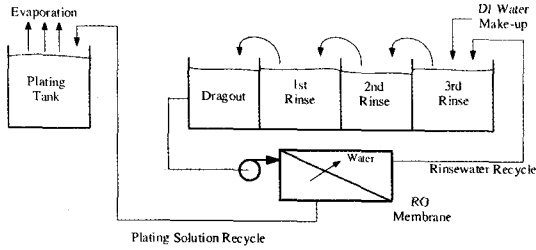
• 고압력펌프와 압력저항부품이 사용된다.

• 분리된 깨끗한 물은 마지막 행금 탱크(final rinse tank)에 보내진다(이온교환과 비슷).

• 공정으로부터 생긴 농축물(concentrate)은 도금용액의 성분과 닮은 단순히 물이 제거된(de-watered) dragout solution이다.

• 이온교환(ion-exchange)과 달리 화학약품이 사용되지 않는다.

• 손실보충을 위해 가끔 이온화 되지 않은 물을 보충. (그림참조)



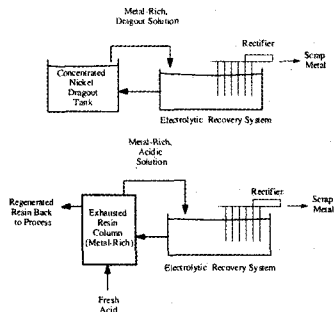
- 재활용된 물은 미량의 금속이온을 함유할 수 있다.
- 자동차 범퍼와 같이 장식적이지 않고 기능적 적용은 아무 문제없이 재활용된 린스제를 사용할 수 있다.
- 금도금을 위한 pre-plate와 같이 니켈도금은 값 비싼 금 바스(glod baths)의 오염을 방지하기 위해 deionized water postrinse가 요구된다.
- 반삼투 시스템은 규모가 중, 대형인 도금업자에게는 비용이 효과적이지만 현재 시장의 경향은 소형 규모에 적용할 수 있도록 시스템을 만들고 있다.

· 금속염 재생과 린스 유액 재활용을 위한 전기투석 (Electrodialysis)

- 양이온-음이온 선택 막막(cation-and anion selective membranes) 한 쌍의 교류 전자(alternating pairs)는 행금 물(rinse water)로부터 금속염(metal salts)을 분리, 농축한다.
- 금속염(metal salts)의 분리를 위해 막막(membranes)을 사용한 전기장
- 반삼투(reverse osmosis)와 비슷한 산출물
- 소형도금업자에게는 특히 비용이 많이 들 수 있다. (그림 참조)

· 용해된 금속의 전기분해재생(Electrowining)

- 금속은 농축폐기용액으로부터 도금되어질 수 있다.
- 재생된 금속은 극소량이 시장가치로 팔려질 수 있다.
- 재생 금속은 가끔 양극 물질로서 도금바스(the plating bath)로 돌려진다.
- 다양한 농축 용액으로부터 재생된 니켈, 동, 은 그리고 다른 물질.
 - 전기분해재생(Electrolytic Recovery)에서 가공되는 dragouts, 이온교환재생성(ion exchange regenerants) 그리고 농축박막유체(concentrated membrane fluids).
 - 저농축(low concentrations)에서는 효율적이지 않은 전기분해 재생.
 - 침전농축을 현저하게 줄이기 위해 고체로 재생된 금속.
 - 일반적으로 재생 금속의 1kg은 4kg의 침전물을 줄인다.
 - 양극(anode)과 음극(cathode)물질, 표면 영역은 중요한 디자인 요소이다.
 - 스테인리스 금속 혹은 그래파이트 물질이 주로 사용된다.
 - 다양한 규모에 이용될 수 있는 시스템이 제공된다.
- 전기사용률을 기초로 한 운영비용 (그림 참조)



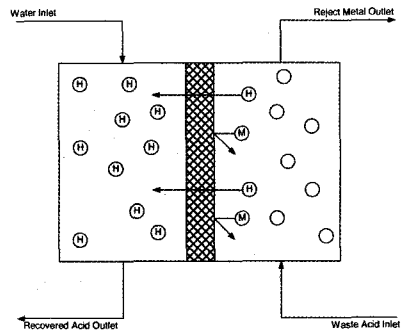
· 산과 금속 재생을 위한 확산투석(Diffusion Dialysis)

산 부식(acid etching), stripping, 혹은 산화생성공정(anodizing processes)은 도금공정의 부분은 아니나 acid baths가 아주 일반적이고 도금라인과 비슷하게 설치되기 때문에 여기서 언급될 것이다.

- Acid baths는 용해된 금속으로 인해 오염된다: 이것의 처리와 처분을 하는데 비용이 든다.
- 확산투석기술(diffusion dialysis technology)을 사용하여 the bath의 수명을 확장한다.
- 확산투석(Diffusion dialysis)분리하기 위해 이온교환 박막(ion-exchange membrane to separate)을 사용한다.
- 음이온교환박막(anion exchange membrane)은 수소이온(양이온)이 박막(membrane)을 가로질러 확산

하는 격막(diaphragm)같이 작용한다.

- 특별히 박막에서 추출되는 아연 및 철과 같은 사용된 산용액(spent acid solution)에 함유된 다량의 양이온.
- 시스템에 원료의 공급 흐름(Feed streams): 탱크의 산성물질과 깨끗한 물.
- 배출 흐름: 재생된 산(acid)의 흐름(박막삼투 membrane permeate)과 소거된 산(acid)의 흐름(박막추출



membrane reject).

- 가능한 재생(전기분해 혹은 이온교환)을 위하여 개별적 흐름(separate stream)안에서 재사용을 위한 청정 산(cleaner acid)을 공급하고, 용해된 금속을 농축한다.
- 만약 금속재생이 가능치 않으면, 금속 다함량 폐기물 흐름(the metal-rich waste stream)으로 취급되지만 전체 산용기(the entire acid bath)를 처리하는 것보다 훨씬 비용이 저렴하다.

월간 『환경관리인』을 읽으면 국가의 환경보전이 빨라집니다.