

바렐도금에 미치는 공정변수의 영향

최대규, 유황룡, 장시성, 황운석*

재능대학 표면처리과, 인하대학교 재료공학부*

Influence of Process Variables on Barrel Electroplating

T. K. Choi, H. R. Ryoo, S. S. Jang, W. S. Hwang*

Dept. of Surface Treatment, Jaenung College Inchon, 401-714, Korea.

*School of Materials Science and Engineering, Inha University, Inchon, 402-751, Korea

Abstract

In this study, the effect of the diameter and the number of barrel hole on the total area of barrel hole were calculated and analyzed. And the effects of applied current density, rotational speed of the barrel, size and number of barrel hole, and the volume of plating materials on the distribution of plating thickness were experimented and discussed by the barrel electroplating of the tube type brass specimens in a sulfamate nickel barrel solution. The effect of barrel hole size and barrel hole area on the throwing power was also discussed.

Key words : barrel, electroplating, throwing power

1. 서 론

제품의 소형화가 진행됨에 따라 도금부품도 경박단소로 가고 있으며, 특히 전자제품 분야에서도 chip부품이나 수정발진자와 같이 미소부품이 크게 증가하고 있다. 이와같은 배경하에서 바렐도금에 대한 관심이 집중되어 새로운 방식의 바렐도금장치와 바렐기술에 대한 개발과 더불어 그 동안의 문제점들을 분석하고 생산기술을 향상시키고자 하는 노력이 경주되고 있다.¹⁻³⁾

기존의 바렐도금은 바렐의 회전력에 의한 도금액 순환으로 도금을 하고 있으나, 원통형과 같이 내부구조가 존재하거나 형상이 복잡한 피도금체의

도금에 있어서는 음극으로의 새로운 액공급 부족으로 부분 무도금 및 심한 두께 편차 등 여러 형태의 불량 발생되고 있으며, 기존의 바렐도금으로 균일한 피복력을 얻는데에는 필요 이상의 도금 시간을 요구하는 문제점이 존재한다.⁴⁻⁶⁾

따라서, 최근 수요가 증가하고 있는 소형전자부품의 경우에도 도금불량을 비롯한 많은 문제가 발생하고 있으며, 이들 부품에 고기능의 피막을 얻기 위해서는 새로운 바렐도금장치가 요구되고 있다. 특히 원통형 리튬전지 케이스의 경우, 한 쪽이 막혀있어 도금액에 잠기었을 때 전지케이스 내부에 부분적으로 진공부분이 생성되어, 이로 인한 무도금 불량이 빈번히 발생되고 있는 실정이다.

이를 해결하기 위하여 교반상태, 구경의 크기조정 등 여러 가지 방법이 시도되어 왔으나, 아직 고속 도금에 많은 문제점이 발생되고 있는 실정이다.

뿐만 아니라 바렐도금은 공정기술이 정지도금과 근본적으로 달라 피도금물과 양극의 위치가 계속 변화하기 때문에 개개의 피도금물의 전류밀도가 항상 변화한다. 그러므로 바렐도금에서는 공정변수가 매우 많을 뿐만 아니라 개개의 변수가 불확정성을 갖고 있기 때문에 이를 체계적으로 실험을 통하여 분석한 학술적 보고는 거의 전무한 상태이다.

따라서 최근에는 이를 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 기법으로 해결하고자 하는 움직임이 있으나, 이 불확정부분을 수치화하여 논리적으로 다루기도 매우 어렵다. 그러나 바렐도금은 실제로는 아주 일상적으로 사용되고 있는 공정기술로서 각 기업에서는 경험 자체에만 의존하고 있기 때문에, 새로운 형상의 부품에 대해서는 trial-and-error에 의존할 수밖에 없어 적응력이 크게 떨어지며 생산성의 향상과 품질보장은 중요한 과제로 되어있다.

따라서 본 연구에서는 바렐도금시 작업상 문제시되고 있는 인자, 즉 바렐구조에 기인하는 인자로서 바렐공의 크기와 수량, 그리고 개공률 사이의 관계를 분석하고, 아울러 피도금물의 형상, 처리량 및 전해 조건에 기인하는 인자 등을 도출시켜, 이에 대한 실험을 통하여 공정변수를 최적화하고자 한다.

2. 바렐공의 크기, 수량 및 개공률에 대한 분석

2.1 바렐공의 크기와 개공률 사이의 관계 해석

바렐에 다수의 구멍을 뚫어 측벽의 표면적에 대한 개공부의 면적(개공률)이 클수록 보다 저전압에서 보다 높은 전류를 얻을 수가 있으므로 바렐공의 크기와 수량은 바렐도금에 있어서 매우 중요한 요소가 된다. 또한 이 경우 전압강하를 극히 작게 억제할 수 있는 방안도 고려되어야 한다.

바렐공의 형상으로는 통상적으로 원형의 구멍이 대부분이나 타원형, 메쉬 형, 경사형과 같이 특수한 형태로 일부 적용되고 있다.

개공률을 설계할 때 단위면적당 바렐공의 직경과 수량이 관계되며 도금액의 표면장력과 회전등 바렐도금시 바렐내부와 외부에서의 도금액의 출입, 발생한 기체의 방출, 그밖에도 바렐의 강도, 제작가공성등도 고려하여야 한다.

원형의 구멍의 경우에는 피도금물이 구멍을 통하여 방출되거나, 구멍에 박히지 않는 범위에서 가능한 한 최대의 직경으로 하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 일반적으로는 0.5mm에서 6mm정도의 범위의 직경이 많이 사용되고 있다.

바렐공 직경, 바렐공 사이의 간격, 그리고 개공률 사이의 관계를 정리하여 다음과 같은 식을 유도하였다.

바렐공의 직경을 d , 바렐공 사이의 간격을 a 라고 하고, 바렐 측면의 축방향의 길이를 l , 회전방향의 길이를 r 이라고 하면 바렐 측면의 면적 A 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$A = r l \quad (1)$$

원통형 바렐의 경우는 바렐직경을 D 라고 하면 다음과 같이 표현 가능하다. 즉, $r = \pi D$ 이므로,

$$A = \pi D l \quad (2)$$

또한 바렐 축방향의 바렐공의 수를 m , 회전방향의 바렐공의 수를 n 이라고 하면, 전체 바렐공의 수 P 는

$$P = m n \quad (3)$$

따라서 l 과 r 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$l = m d + (m+1)a \cong m(d+a) \quad (4)$$

$$r = n d + (n+1)a \cong n(d+a) \quad (5)$$

그러므로 바렐 측면의 면적 A 는

$$A = m n (d+a)^2 \quad (6)$$

바렐공의 총면적을 C 라고 하면

$$C = \pi(D/2)^2 \quad (7)$$

따라서 개공률(%)을 H 라고 할 때

$$H = (C/A) \times 100 \quad (8)$$

그러므로 H 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$H = 25\pi d^2 / (d+a)^2 \quad (9)$$

이와 같이 유도한 (9)식을 이용하여 바렐공의 직경, 바렐공 사이의 간격, 그리고 개공률 사이의 관계를 계산하고 이를 도표로 작성하여 Fig. 1~Fig. 3에 정리하였다.

Fig. 1에 바렐공사이의 간격과 바렐공 직경에 따른 개공률의 변화를 나타내었다. 바렐공 간격이 1mm의 경우 개공률 10%가 얻어지는 바렐공의 직경은 0.55mm이다. 또한 바렐공 직경 1.02mm에서 개공률 20%, 직경 1.62mm에서 개공률 30%, 직경 2.50mm에서 개공률 40%, 직경 3.95mm에서 개공률 50%로 직경 증가에 따라 개공률은 증가한다. 그러나 바렐공 직경 증가에 따른 개공률의 증가는 비례하지 않고 완만하게 증가하여 개공률 70%라면 바렐공의 직경이 16.9mm, 바렐공 간격 1mm로서 실제로는 이와같은 바렐의 제작은 불가능하다.

개공률 50%를 기준으로 평가해도 바렐공사이의 간격이 0.5mm에서는 바렐공직경 1.98mm, 1.0mm에서는 3.95mm, 2.0mm에서는 7.9mm로 바렐공의 직경에 비해 간격이 너무 작게 되어 구조적으로 문제가 많다. 그리고 실제의 바렐이 플라스틱 재료로 만들어지기 때문에 실제의 바렐 제작에서는 바렐공 사이의 간격은 바렐공의 직경보다 작게 하기가 매우 어렵다. 따라서 본 그림의 분석 결과 중 실제로 의미가 있는 것은 바렐공 직경 d 보다 바렐공 사이의 간격 a 가 같거나 클 경우이다. 따라서 바렐공 직경과 간격이 같을 경우에 최대개공률의 값이 얻어지며, 이는 위의 (9)식에 $a_{max}=d$ 의 관계를 적용하면 다음과 같이 계산 가능하다.

$$H_{max} = 25\pi/4 \quad (10)$$

즉 실제적인 최대개공률은 (10)식에서와 같이 19.6%이며, 이는 그림 Fig. 1의 (a)~(f)에서 확인할 수 있다.

바렐공 직경에 따른 개공률을 분석한 결과를 Fig. 2에 정리하였다. 그림의 분석 결과를 보면 당연히 바렐공 직경의 크기가 증가할수록 개공률은 높은 결과를 보이고 있다. 그러나 이 경우에도 적용 가능한 데이터는 바렐공 직경보다 바렐 간격이 큰 경우에 한하며, 이 결과는 앞서의 Fig. 1의 분석결과와 잘 일치하고 있다.

그림 Fig. 3에는 바렐공 크기와 바렐공 간격에 따른 개공률을 비교 분석한 결과를 정리하였다. 이 결과를 보면 동일한 개공률에 대하여 바렐공 크기와 바렐공 간격은 직선적인 관계를 보이고 있다. 그림에서 흑점으로 표시한 것은 바렐공 크기와 바렐공 간격이 같은 경우이며, 따라서 개공률 17.5%까지는 바렐공 직경보다 바렐공 간격이 큰 것을 알 수 있다. 개공률 20%에서는 직경과 간격이 거의 동일한 크기임을 나타내고 있다.

이상의 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

이론적으로는 70%이상의 개공률도 가능하나 실제의 바렐 재료와 바렐의 가공, 바렐작업에서의 내구성등을 고려하면 바렐공 간격은 최소한 바렐공 직경과 같거나 그 이상이다. 따라서 실질적인 최대개공률은 (10)식으로 유도한 결과와 같이 19.6%에서 크게 벗어나지 못한다. 또한 바렐공의 직경이 작아지면 바렐공 간격이 약간 증가하여도 개공률은 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 가능한 한 바렐공의 직경을 크게 하고 간격을 작게 하는 것이 도금액의 유동성을 향상시키는데 있어서 매우 중요한 변수로 작용한다. 또한 바렐도급 작업시의 문제점만 없다면 개공률을 크게 향상시키기 위해서는 슬리트 형상의 메쉬형 바렐을 적용하여야 할 것으로 판단된다.

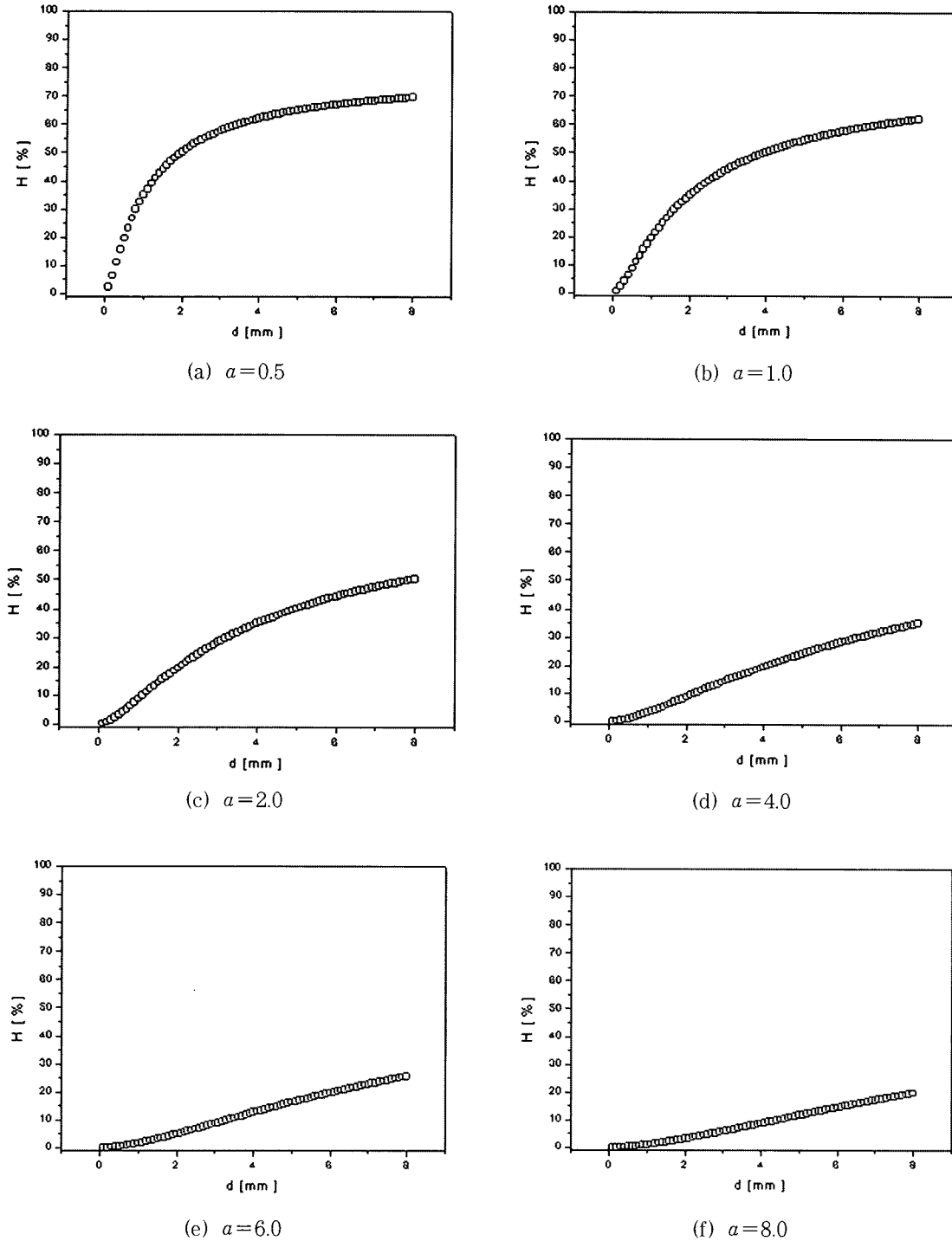
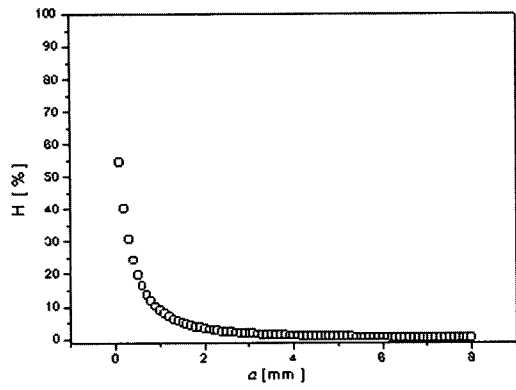
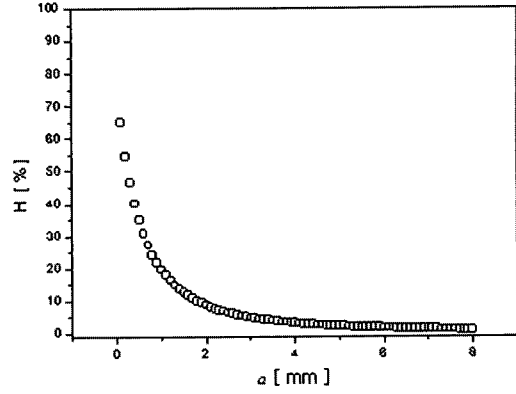


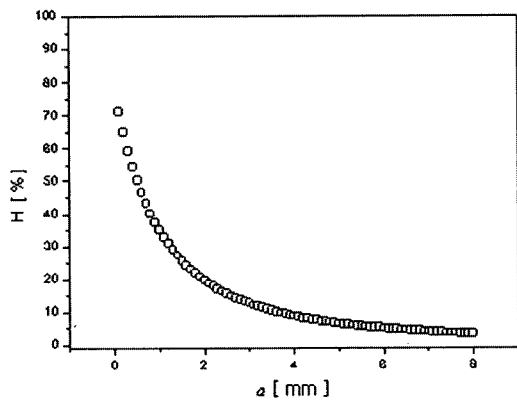
Fig. 1 Relationship between total area and distance of barrel hole



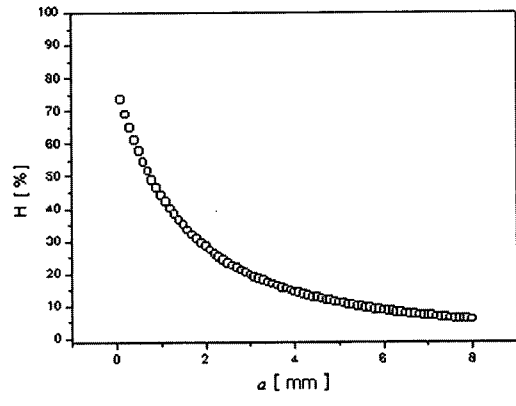
(a) $a=0.5$



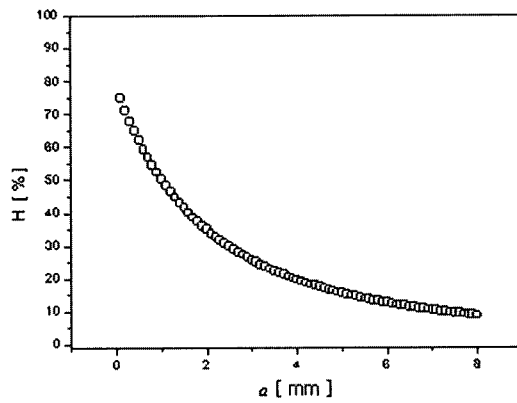
(b) $a=1.0$



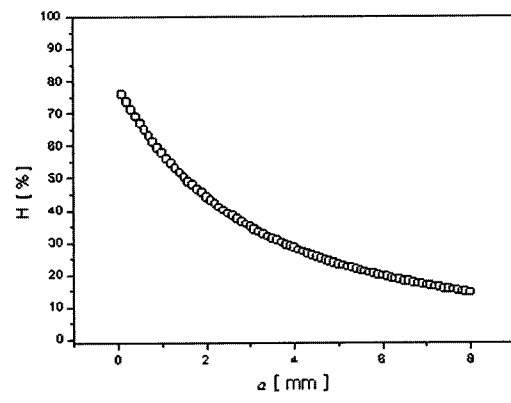
(c) $a=2.0$



(d) $a=3.0$



(e) $a=4.0$



(f) $a=6.0$

Fig. 2 Relationship between total area and diameter of barrel hole

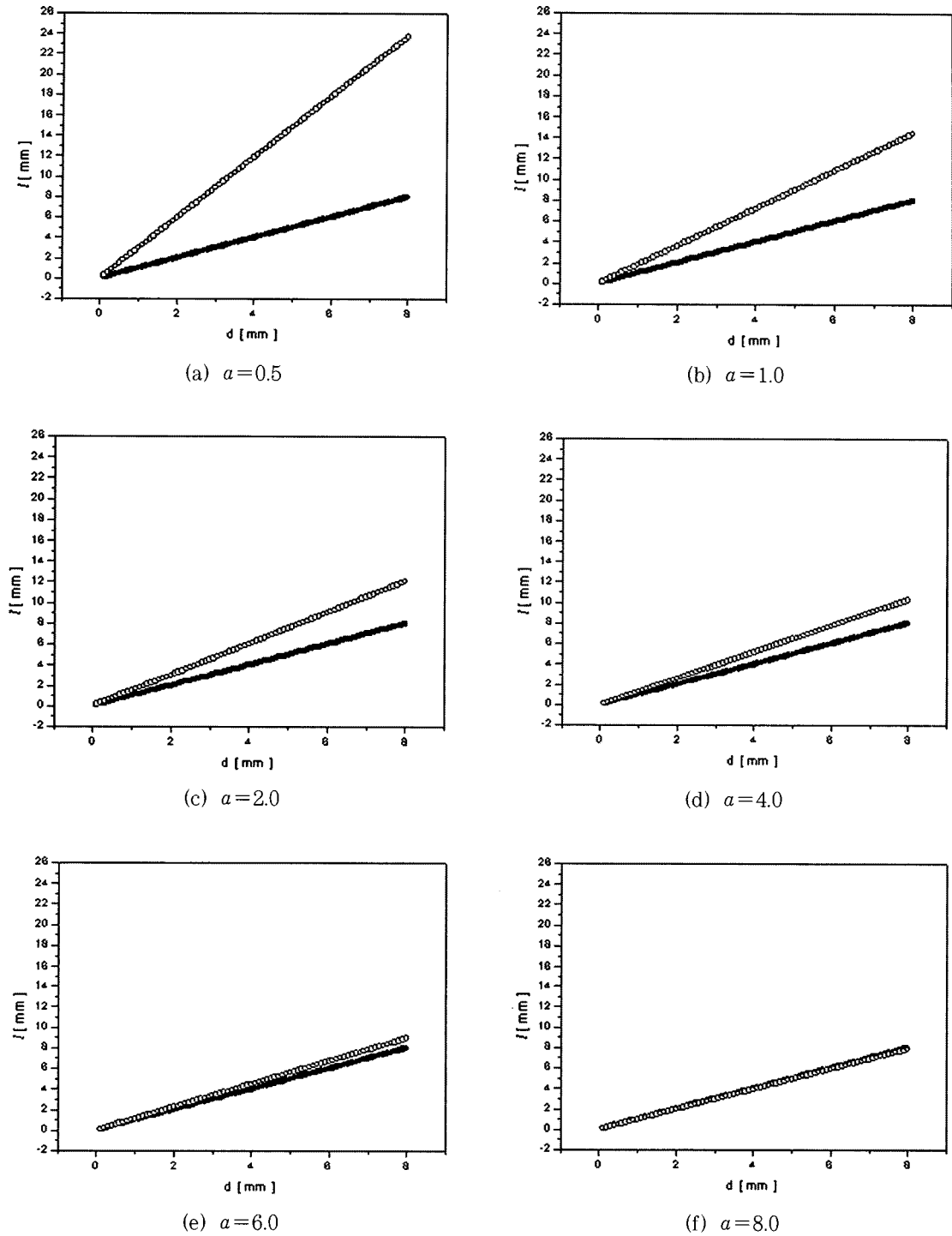
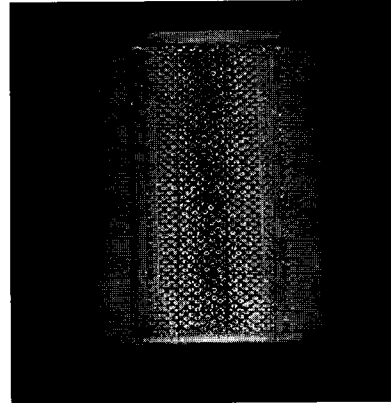
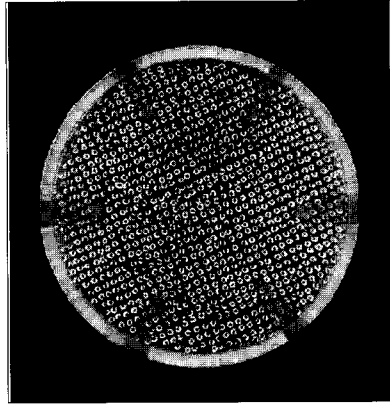
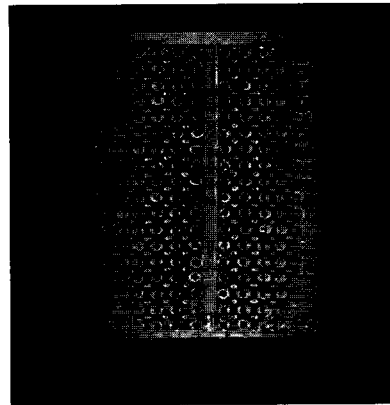
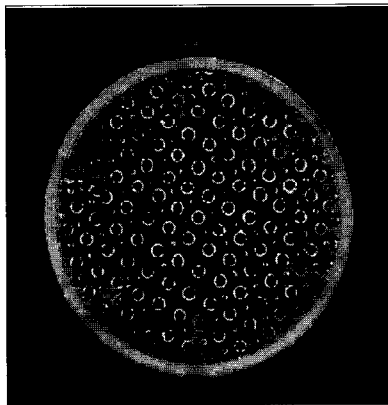


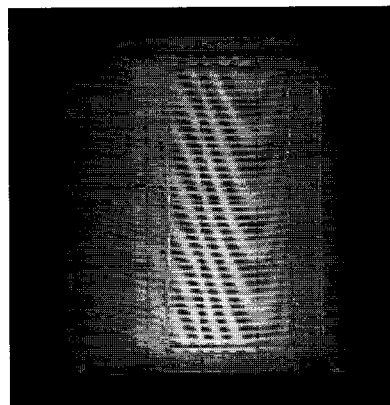
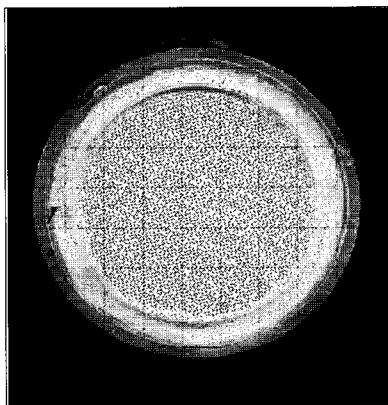
Fig. 3 Relationship between diameter and distance of barrel hole



(a) $\alpha=0.5$



(b)



(c)

Fig. 4 Shape of barrel (a) 2mm diameter (b) 5mm diameter (3) mesh type

2. 2 바렐설계 및 제작

이상의 분석결과를 바탕으로 다음과 같이 바렐을 설계하여 제작하였다.

바렐의 형식은 일반적으로 가장 많이 사용되는 수평형을 선택하였으며, 치구를 설치하여 경사형으로 사용할 수 있도록 하였다. 그리고 바렐의 형상도 가장 일반적인 원통형으로 하였다.

바렐공의 크기와 수량을 변수로 하여 실험을 수행하고 이들의 영향을 분석하기 위하여, 바렐공 직경 2mm와 5mm의 2 종류의 바렐을 제작하였다. 2mm 바렐공의 경우 위에서 해석한 바와 같이 바렐공 직경 d 와 바렐공 간격 a 를 같게 하여 각기 2mm로 하면 앞서 해석한 바와 같이 개공률은 19.6%이다.

따라서 본 연구에서는 개공률을 19.6% 이상으로 증가시키기 위하여 바렐공 간격 a 를 3mm로 하고 바렐공 4개의 중앙위치에 2mm 직경의 바렐공을 하나씩 추가하여 구멍을 제작하도록 하였다. 이때 5mm×5mm의 면적에 2mm 직경의 바렐공이 2개씩 존재하게 되어 바렐공의 개공률은 25.1%까지 증가한다.

5mm 직경의 바렐공의 경우 바렐공 간격 a 를 5mm로 하여 제작하였다. 이 경우에도 역시 4개의 바렐공의 중심 위치에 2mm의 바렐공을 한 개씩 추가로 설치하여 개공률이 22.8%까지 증가하도록 하였다.

또한 위에서 분석한 바와 같이 개공률을 50% 정도로 하여 시험이 가능하도록 메쉬형 바렐도 같이 제작하였다. 또한, 피도금물의 유동을 균일하게 하기 위하여 5mm t×10mm h의 6개의 교반판을 바렐내벽에 60° 간격으로 설치하였다.

또한, 본 연구에서 제작한 바렐의 크기가 내경 130mm, 길이 190mm로서 약 2.5l의 부피를 갖는 규모이기 때문에 리드는 하나로 하였으며, 접점두 부재로는 순동으로, 크기는 직경 20mm, 길이 40mm로 하였다.

본 연구에서 제작한 바렐공의 형상을 Fig. 4에 나타내었다.

3. 실험방법

바렐에 대한 앞의 분석결과, 바렐도금의 균일전착성에 가장 큰 영향을 미치는 변수로서는 피도금물의 투입량, 전류밀도, 그리고 바렐회전수이다. 따라서 본 과제에서 설계·제작한 바렐장치를 이용하여, 설파민산니켈욕을 대상으로 하여 전해조건과 공정변수가 바렐도금의 균일전착성에 미치는 영향을 분석하였다.

바렐도금 시험재로서는 직경 8mm, 길이 10mm의 원통형 황동제 부품을 사용하였으며, 그 형상을 Fig. 5에 나타내었다. 바렐도금액은 설파민산니켈도금액을 사용하였으며, 공정조건은 예비실험결과 최적조건으로 판단된 pH 4, 온도 50°C의 조건에서 수행하였다. 또한 도금층의 균일전착성은 도금후 시험재를 마운팅한 후 횡단면과 종단면을 절단하여 광학현미경과 SEM을 이용하여 내외부의 도금층 두께를 비교하여 계산하였다.



Fig. 5 Specimens used in the barrel electroplating experiment

4. 결과 및 고찰

도금시험재의 투입량을 10%~40% 사이로 변화시켜 바렐도금시험을 하고 균일전착성을 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 투입량 10%에서 25%까지는 투입량 증가에 따라 균일전착성이 20%에서 25.9%로 서서히 증가하는 경향이 일어났다. 그러나 투입량이 25%이상으로 증가하면 균일전착성은 급격히 감소하여 40%에서는 8%정도를 나타내었다. 따라서 본 실험에서와 같은 형상의 재료에 있어서 최적투입량은 20~25% 정도로 판단된다. 일반적으로 바렐도금의 투입량 기

준을 바렐부피의 1/3정도로 하고 있는 것과 비교하면, 본실험의 균일전착성의 결과는 이보다 크게 낮은 값을 알 수 있다.

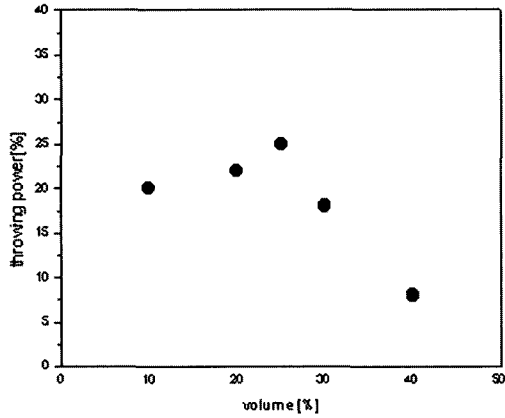


Fig. 6 Effect of metal volume on the throwing power

전류밀도를 0.4~1.0A/dm²으로 변화시켜 전류를 인가한 경우의 시험결과를 Fig. 7에 정리하였다. 전류밀도가 증가하면 균일전착성은 증가하여 0.6A/dm²에서 최대치가 얻어졌으며, 그 이상의 전류인가에서는 전류밀도가 직선적으로 감소하였다. 이와 같이 비교적 낮은 전류밀도에서 최적값이 얻어진 것은 본시험재의 투입량이 상대적으로 적어 한계전류밀도치도 높지않고 시험재의 형상이

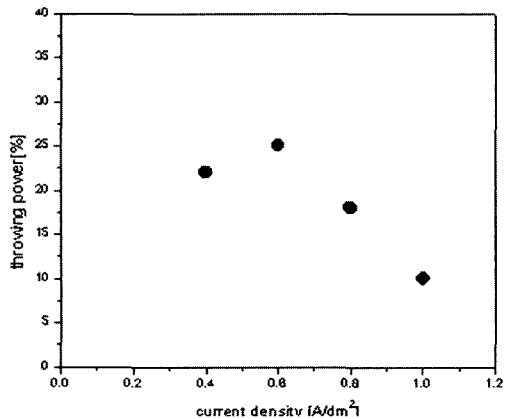


Fig. 7 Effect of current density on the throwing power

파이프형인 것에 기인하는 것으로 판단된다.

바렐의 회전속도가 균일전착성에 미치는 영향을 분석하고 최적조건을 확립하기 위하여 바렐의 회전속도를 2~10 rpm 범위에서 변화시키며 도금시험을 수행하였다. 그 결과를 Fig.8에 나타내었는데, 시험한 최저회전속도인 2 rpm에서 회전수가 증가할수록 균일전착성은 서서히 증가하며 6 rpm에서 최대균일전착성을 보인다. 그 이상의 회전속도에서는 균일전착성이 급격히 감소하여 10 rpm에서는 10%에도 도달하지 못하였다.

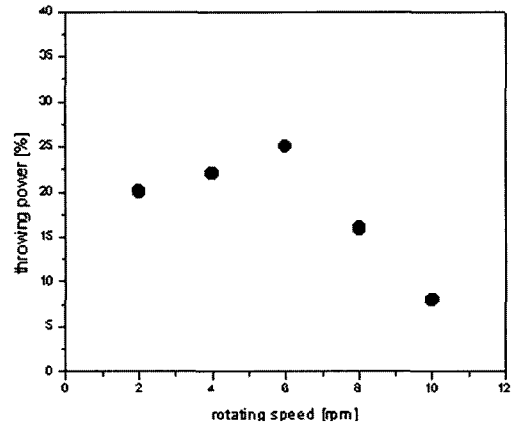


Fig. 8 Effect of rotational speed of barrel on the throwing power

또한 본 과제에서의 설계·제작한 바렐공의 크기와 개공률에 따른 균일전착성능을 비교하기 위하여 바렐공 2mm, 5mm, 그리고 mesh를 사용한 슬리트형의 바렐에서 각기 도금시험을 수행하고 균일전착성을 평가하였다. 그 결과를 Table 1에 정리하였다.

Table 1의 결과를 보면 개공률이 가장 작은 5mm 바렐공의 경우가 25%로서 균일전착성 가장 우수

Table 1. Effect of barrel hole diameter on the throwing power

diameter of hole	total area of hole	throwing power
mesh	50%	13%
2mm	25.1%	18%
5mm	22.7%	25%

하였으며, 오히려 개공률이 약 50%에 달하는 mesh에서 가장 열악한 13%의 균일전착성이 얻어졌다.

이는 앞서 바렐구조해석에서도 검토한 바와 같이 mesh와 같은 구경이 작은 경우에는 바렐공의 표면적이 크게 증가하여 도금액과 접촉하는 표면적이 늘어 오히려 바렐 외부로부터 내부로의 도금액의 유동을 방해하기 때문인 것으로 판단된다.

또한, 판두께가 두꺼울수록 전류의 흐름을 방해하여 전류치는 감소하고 전압강하가 일어난다. 따라서 판두께가 두꺼울수록 전압강하에 해당하는 만큼 전압을 상승시켜야 한다. 이 때의 전압강하는 일반적인 전기화학적 반응을 고려할 때 판두께에 직선적으로 비례할 것으로 생각되며, 개공률에는 반비례할 것으로 판단된다. 따라서 개공률이 동일할 때 판두께를 얇게 할수록 전압강하는 감소한다.

그러나 개공률이 동일할 때 전압강하가 일정하다고 하여도 바렐공의 크기가 크고 수량이 적은 경우와 바렐공의 직경이 작고 수량이 많은 경우를 비교하면, 후자의 경우 바렐의 표면적이 증가하게 되므로 실질적으로 도금액의 유동을 방해하는 역할을 할 것으로 판단된다. 따라서 이를 고려할 시 바렐공의 직경은 크게 하는 것이 유동성 증대에 도움이 될 것으로 생각된다.

바렐공의 직경이 큰 5mm의 경우, 도금액 공급이 원활하게 이루어져 고전류부위와 저전류 부위에 도금두께 편차를 많이 줄일 수 있어 높은 균일전착성이 얻어지는 것으로 생각된다.

이상의 실험결과를 정리하면 지금까지의 최적의 공정조건으로서 투입량 25%, 인가 전류밀도 0.6A/dm², 회전속도 6rpm이 얻어졌다. 또한 바렐공의 형상과 크기로서는 최대개공률은 아니나 바렐공 직경의 크기가 가장 큰 5mm의 경우가 균일전착성이 가장 우수한 결과가 얻어졌다.

accepted days : 2002.10.29

received days : 2002.11.21

5. 결 론

본연구에서 바렐공의 크기와 수량, 그리고 개공률 사이의 관계를 분석하고, 아울러 피도금물의 형상, 처리량 및 전해 조건에 기인하는 인자 등을 도출시켜, 이에 대한 실험을 통하여 공정변수의 최적화를 시도하였다. 이하에 그 결과를 정리한다.

1) 바렐공의 형상, 크기, 수량, 그리고 개공률에 대한 분석을 통하여 이들 사이의 관계를 정립하였으며 기존보다 개공률이 25%이상 높은 바렐을 설계·제작하였다.

2) 바렐도금공정의 주요 공정변수인 투입량, 인가전류밀도, 회전속도에 대한 도금시험을 수행하여 이들 공정변수가 도금의 균일전착성에 미치는 영향을 분석하고 기본 공정조건을 확립하였다.

3) 균일전착성에 있어 바렐공의 개공률은 중요하나, 이 보다는 바렐공의 직경이 큰 것이 전착성 향상에 유리한 것으로 판명되었다. 이는 바렐공의 크기가 작을 때에는 바렐공을 통과하는 액의 접촉면적이 넓어져 도금액의 유동성이 방해되기 때문인 것으로 생각된다.

참고문헌

1. F. M. Schlesinger and M. Paunovic : Modern Electroplating, 4th Ed., John Wiley & Sons Inc. (2002) 752
2. N. V. Parthasaradhy : Practical Electroplating Handbook, Prentice Hall, New Jersey (1989) 333
3. W. Paatsch : Galvanotechnik, 83 (1992) 2633
4. W. Paatsch : Galvanotechnik, 77 (1977) 392
5. W. H. Jackson, A. K. Graham, and R. K. Asher : Electroplating Engineering Handbook, 4th Ed., Van Nostrand Reinhold, New York (1984) 573
6. M. D. Thomson : Trans. IMF, 74(3) (1996) 3