

# Hull Cell에서 전류분포의 균일화에 관한 연구

여운관

홍익대학교 과학기술대학 금속공학과

## A Study on Uniformity of Current Distribution in Hull Cell

W. K. Yeo

Dept. of metallurgical Eng., College of Science & Tech., Hong Ik Univ., Jochiwon, Chungnam 339-800

### Abstract

The method of uniforming current distribution in Hull cell are studied by using auxiliary anode, current shield bipolar electrode, and combining bipolar electrode with current shield in order to find a way of uniform deposition. The current density distributions are measured by each ammeter of the same inner resistance connected to divided cathode panel respectively. The current density distributions of cathode electrode divided into five sections with 5mm width have a tendency of linear inclination, and that of twenty sections have a tendency of smoother curve than the curve of original Hull cell panel. Their results showed lower value on the high current density portion and higher value on the low portion than that original Hull cell panel. The current distribution in Hull cell is able to unify by using auxiliary anode, or combining bipolar electrode with current shield, but not efficient in using one of both individually.

### 1. 서 론

전기도금은 장식, 방식, 내열, 내마멸, 경화, 전도성, 기타 특수한 목적으로 도금을 하게된다. 이러한 목적 달성을 위한 기본적인 사항으로서 도금면은 ①소지와 밀착력이 강해야하고 ②평활, 치밀하고 목적에 적합한 광택이 나야하며 ③모든 면에 균일한 두께로 도금이 되어야 하고 ④취약하지 않은 도금이 되어야 한다.

그러나 우리나라 도금공장의 현장 실정을 볼때 ①의 밀착력의 문제는 약품과 전처리 기술의 정착에 의해, ②·④의 평활 광택, 취약도금의 문제는 우수한 광택제, 첨가제, 액의 정화, 액 관리 등

으로 어느 정도 해결되고 있으나, ③균일 전착의 문제는 현장에서 가장 소홀히 다루고 있어 해결해야 할 문제점으로 남아있다.

도금두께를 균일히 한다는 것은 도금제품의 품질을 향상시키는 것 이외에 자원절약, 에너지 절약의 중요한 의미가 있다. 균일전착을 하기 위해서는 결이의 결이 방법을 개선하던가 보조음극이나 보조양극을 사용하고 또는 전류차폐판을 사용하던가 bipolar 전극을 사용해야 한다.

그러나 현장에서는 지극히 간단한 기하학적 조건의 개선에 의한 방법을 경험적으로 시행하고 있다. 그리하여 본 연구에서는 도금두께의 균일화를 목적으로 현셀에서 전류분포를 균일화하는 방법

을 찾아 보았다. 혈셀은 양극에 대해 음극을 비스듬히 배치해서 음극의 각 부위와 전류분포가 다르게 만든 소형 cell로서 광범위의 전류밀도에 대한 도금상태를 관찰하여 도금육관리를 하는 시험기구이나 그러한 광범위한 전류분포상태를 역으로 균일한 전류분포상태로 조정하는 방법을 모색하여 여러가지 형태의 도금재물에 대한 균일전착을 하기위한 지표를 제공하고자 본 연구가 행해졌다.

혈셀의 전류분포 측정에 대한 연구는 도금 후 두께 측정에 의해 환산하여 산출하는 방법<sup>1)</sup> 이외에 등각사상법(等角寫像法)에 의한 계산법<sup>2)</sup> 혈셀판 근방의 전위를 측정하여 별도로 구한 전위-전류밀도곡선으로 부터 구하는 방법<sup>3)</sup> 전도지와 전도성 페인트를 사용하는 facsimile paper 법<sup>4-6)</sup> 음극판을 분할하여 표준저항을 걸어 구역별로 전압을 측정 전류로 환산하는 방법<sup>7)</sup> 등이 있으나 복잡성, 정밀성, 응용성등에 모두 일장 일단이 있다. 그리하여 본 연구에서는 음극을 분할하여 각 분할 구역에 내부저항이 거의 같은 전류계를 연결하여 각 부위의 전류를 직접 측정하는 간단한 방법을 취했다. 균일전착을 위한 방안을 모색하는데 본 연구의 목적이 있으므로 본 방법이 정밀성은 떨어지나 목적 수행에는 충분하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 장치 및 분할 혈셀판

혈셀은 Fig. 1과 같은 267ml의 것을 사용하였으며 장치의 개략을 Fig. 2에 나타내었다. 분할한 혈셀음극판은 프린트 배선용 기판을 실크스크린법으로 에칭하여 0.3mm 홈을 만들어 똑같은 20개 구획으로 분할한 판(이하 20개 구획 분할판)과 똑같은 간격으로 5개 구획에 폭 5mm씩만 남긴 판(이하 5개 구획 분할판)등 2가지 음극판을 만들었다. 20개 구획분할판은 5 $\mu$ m 정도의 Ni 도금을 한후 혈셀에서 총전류 2A로 5분간 전해하여 두께 측정을 해서 분할하였을때의 전류분포에 대한 영향을

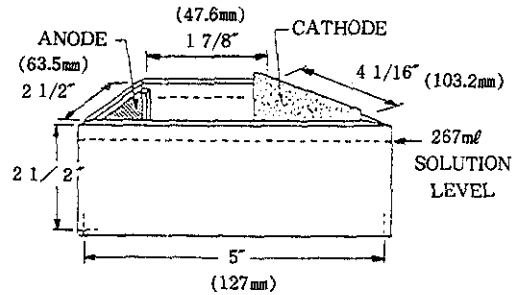


Fig. 1. Hull cell.

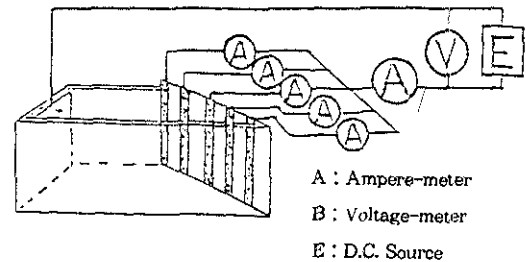


Fig. 2. Schematic circuitry of current distribution measurement.

검토하였으며 5개 구획 분할판은 Fig. 2와 같이 내부저항(135~150m $\Omega$ )이 거의 같은 전류계를 구획마다 연결하여 각 구획에 흐르는 전류를 측정하여 전류분포 균일화를 모색하였다. 전류계의 내부저항이 같지 않으므로 구획을 바꾸어 연결하여 여러번 측정한것을 평균하는 방식을 취하였다.

### 2.2 도금액의 조성 및 시험조건

시험에 사용된 액의 조성은 황산구리 210 g/l, 황산 55 g/l, 팽택제 5m/l의 것이며, 욕의 온도는 30 $^{\circ}$ C에서 main voltage 1V를 기본으로 하였다. 전압을 변경할때는 분할판의 면적이 다르므로 원판일 경우 총전류 1A에 상당하는 전류밀도 2.1A/dm<sup>2</sup>을 기준으로 상승시켰다. 액의 공기교반은 하지않고 가끔 기계적으로 교반하고 사용한 액은 새로운 액으로 교환하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 Hull cell의 전류분포 검토

혈셀판상의 전류밀도분포는 여러사람에 의해 연구되었다.

R. O. Hull<sup>1)</sup>의 연구결과에 따르면

$$D = I(27.2 - 48.7 \log L) \quad (0.25 \leq L \leq 3.25) \quad \dots(1)$$

의 근사식으로 나타냈다. 여기서 D는 전류밀도 ( $A/ft^2$ ), I는 측정시의 총전류(A), L은 혈셀판의 고전류 밀도 부위로 부터의 거리(inch)를 나타낸다. R. H. Rousselot<sup>2)</sup>는

$$CD = I(3.96 - 3.88 \log x) \quad \dots(2)$$

여기서 CD는  $A/dm^2$ , I는 A, x는 cm이다 (이하 동일)

寺門, 長坂<sup>3)</sup>는

$$CD = I(4.38 - 4.06 \log x) \quad (0.9 \leq x \leq 4.0) \quad \dots(3)$$

$$CD = I(4.88 - 4.86 \log x) \quad (4.0 \leq x \leq 9.0) \quad \dots(4)$$

$$CD = I(4.44 - 4.25 \log x) \quad (0.5 \leq x \leq 8.0) \quad \dots(5)$$

$$CD = I(4.33 - 5.00 \log x) \quad (0.4 \leq x \leq 0.9) \quad \dots(6)$$

을 제안하였고 독일규격<sup>4)</sup>에는

$$CD = I(5.10 - 5.24 \log x) \quad (0.6 < x < 8.3) \quad \dots(7)$$

등이 있다.

이상 연구 제시된 혈셀판상의 전류밀도분포상태를 그림으로 나타내면 Fig. 3과 같다. 총 전류 1A를 기준으로 나타내고 단 비교를 위해 식(7)에 대해서만 총전류 2A, 3A 일때도 나타내었다. 식(1)과 식(7)은 거의 정확하게 일치하기 때문에 Fig. 3에는 식(7)만 나타내었으며 식(3), (4), (6)은 제한조건내에서 식(5)와 거의 정확하게 일치하기에 Fig. 3에는 식(5)만 나타내었다. 식(2), 식(5), 식(7)은 거의 같은 전류분포상태를 나타내나 모두 정확하게 일치하지는 않는다.

근래 Hull cell 시험결과를 더욱 예민하고 정확하게 나타내는 회전전극에 의한 Hull cell 시험방

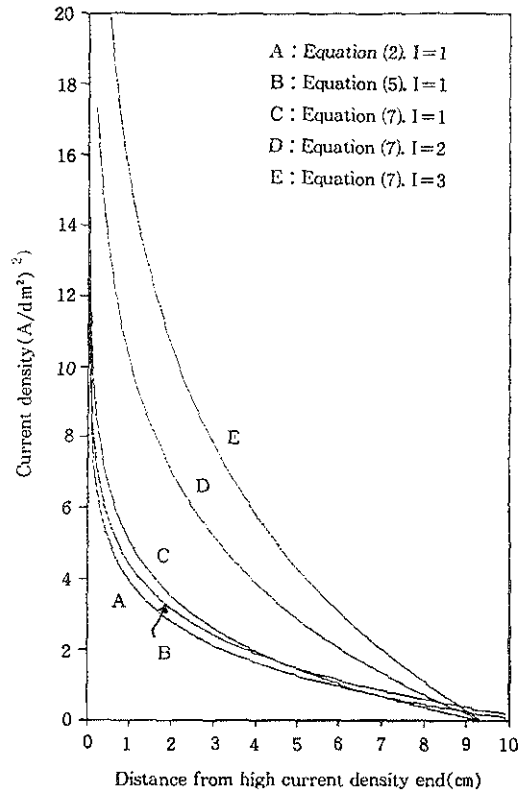


Fig. 3. Comparison of published current density distribution in Hull cell.

법<sup>5-14)</sup>의 전류분포 측정등의 연구가 많이 이루어지고 있으나 조건이 다르고 이상의 자료로 비교대상이 충분하기에 여기서는 논외로 하였다.

#### 3.2 분할 Hull cell 음극판의 전류분포 검토

Fig. 4는 20개 구획 분할판의 도금두께 측정에 의한 전류밀도분포(B)와 5개 구획 분할판에 전류계를 직결해서 얻은 전류밀도분포상태(C)를 나타낸 것이다. 그리고 비교를 위해 식(7)의 전류밀도분포곡선(A)을 함께 나타내었다. Fig. 4의 A, B는 총전류 1A(평균전류밀도 약  $2A/dm^2$ , 판의 표면적에 의해 A는  $2.08A/dm^2$ , B는  $2.2A/dm^2$ )일때의 전류밀도 분포 곡선이며 C는 총전류 0.25A(평균전류밀도  $2A/dm^2$ )일때의 전류밀도 분포 곡

선이다. (A), (B)는 총전류 2A(평균전류밀도 약 4A/dm<sup>2</sup>)일때의 전류밀도 분포 곡선이며 (C)는 총전류 0.5A(평균 전류밀도 4A/dm<sup>2</sup>)일때의 전류밀도 분포곡선이다.

곡선 (B)에 걸쳐있는 20개의 짧은 토막곡선들은 20개 구획 분할판을 총전류 2A로 5분간 도금한 후, 분할판 하나 하나를 우측과 좌측의 도금두께를 측정하여 전류밀도로 환산한 것이다. 이를 평균한 값을 연결한 것이 곡선 (B)이다. 분할판의 도금두께는 Fig. 4중에 나타난 바와 같이 좌측(양극에 가까운 쪽)이 우측(양극에서 먼쪽)보다 항상 두꺼웠다. 즉 분할판 마다 좌측은 두꺼우고 우측은 얇은 도금두께경사를 갖고 있었다. 그리고 A, (A)와 B, (B), C, (C)를 총괄 비교할 때 양극에 가까운 쪽(고전류밀도부)는 A, (A) 보다 B, (B)가 조금 낮은 값을 나타내고 C, (C)는 더욱 낮은 값을 나타냈다. 반면에 양극에서 먼쪽(저전류밀도부)은 A, (A)보다 B, (B)가 조금 높은 값을 나타내고 C, (C)는 더욱 높은 값을 나타내었다. 결국 20개 구획 분할판의 전류밀도분포는 혈셀음극원판보다 경사가 적은 완만한 곡선을 나타냈으며 5개 구획 분할판의 전류밀도분포는 경사가 더욱 작은 직선형으로 나타났다.

이들 곡선과 직선을 수식화 하면 B, (B)는  $CD=I(4.4-\log x-0.3x)$  .....(8)

의 근사식으로 나타낼 수 있었으며

직선 C, (C)는 고전류밀도부(양극에서 가까운 쪽)는  $CD=I(4.0-0.4x)$  .....(9)

저전류밀도부(양극에서 먼쪽)는  $CD=I(3.5-0.3x)$  .....(10)

의 근사식으로 나타낼 수 있었다.

이상의 결과로 볼때 분할판을 사용하여도 전류분포 경향을 충분히 알 수 있기때문에 5개 구획 분할판을 사용하여 보조양극, 전류차폐판, bipolar 전극, 및 차폐판과 bipolar 전극 등시 사용에 의한 Hull cell내에서의 전류분포 균일화를 위한 방안을 모색하였다.

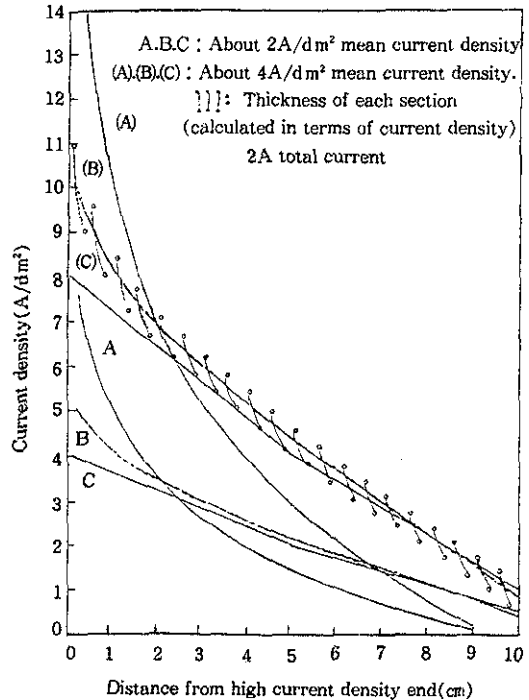


Fig. 4. Current density distribution on the divided cathode in Hull cell vs. current density distribution given by equation (7).

(7); A(A); Equation (7); A; 2A total current. B(B); Mean thickness of sections (calculated in terms of current density). B; 1A. (B) : 2A total current C.(C); Current of 5 sections (calculated in terms of current density). C; 0.25A. (C); 0.5A total current.

### 3. 3 보조양극에 의한 전류분포

Fig. 5는 보조양극을 사용할때 혈셀내에 전류분포가 어떻게 변하는 가를 나타낸 것이다. 곡선 A는 Fig. 5의 하단 혈셀모형 A와 같이 10cm 양극을 직각으로 보조양극을 배치하였을때 전류분포 곡선이며 B는 6cm(혈셀 양극판) 보조양극을 긴 측면 중앙에 배치하였을때의 결과를 나타낸 것이다. C는 6cm 보조양극을 예각 코너로부터 1.5cm 곳에 접근 배치하였을 때이며 D는 3cm 보조양극을 예각 코너로부터 1.5cm 되는 곳에 접근 배치하였을 때의 결과를 나타낸 것이다. 혈셀내에서 보조양극을 사용하여 전류분포를 균일히 하기 위해

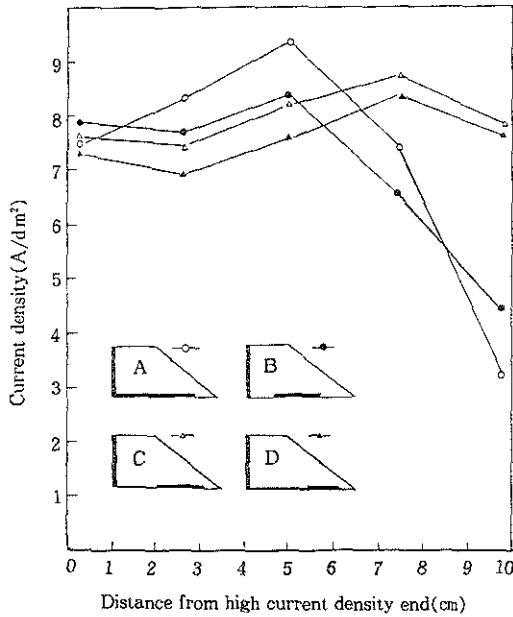


Fig. 5. Current density distribution on the divided cathode in Hull cell with auxiliary anode.

서는 C 또는 D와 같이 보조양극을 저전류밀도부에 아주 근접시켜야 함을 알았다. 그러나 실제 도금작업에서 양극의 접근배치는 배선의 불편함과 단락의 위험이 따르는 등 지극히 어려운 작업이 아닐 수 없다.

3. 4 전류차폐판 사용시의 전류분포

Fig. 6을 전류차폐판을 사용하였을 때 전류분포 상태를 나타낸 것이다. A, B, C, D는 5cm 차폐판을 사용한 것이며 그중 A는 짧은 측벽 중앙에 직각으로 배치한 것이다. B는 음극판에 접근시켜 직각으로 배치한 것이며, C는 양극판에 접근시켜 45°의 각으로 배치한 것이고, D는 짧은 측벽 2cm 되는 곳에 39°의 각으로 음극판과 평행되게 배치한 것이다. E, F, G는 10cm의 차폐판을 사용한 것이며 그중 E는 양극판에 접근시켜 긴측벽과의 사이가 4mm가 생기도록 배치한 것이다. F는 짧은 측벽 2cm 되는 곳에 E와 같은 방법으로 배치한 것

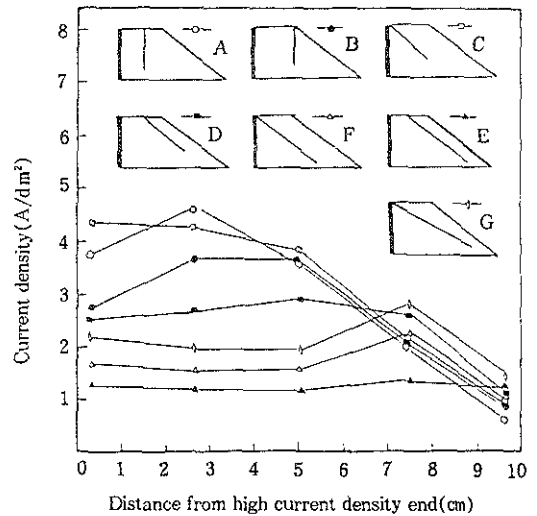


Fig. 6. Current density distribution on the divided cathode in Hull cell with current shield arranged in various geometry.

이며, 2cm되는 곳에 접근시켜 예각 코너 중앙에 대각선 상으로 배치한 것이다. 이상과 같이 여러 가지 형태로 전류차폐판을 배치하였으나, 차폐판 사용만으로는 저전류밀도부(우측면)의 전류밀도 상승을 기하기가 무척 어려웠다. 저전류밀도부(우측면)에 전류밀도를 높이기 위해 F와 같이 우측면을 제외한 모든 부분을 차폐하면 같은 전압에서 총전류는 약 1/5로 감소되고 같은 총전류를 흘리기 위해서는 약 5배의 전압상승이 필요하였다. 실제 도금작업시 같은 전류를 흘리기 위해 높은 전압을 필요하게 됨으로 전기 에너지 손실이 크다는 점에서 차폐판만으로 전류분포를 조절한다는 것은 형체에 따라 전류차폐가 쉽지 않으며 에너지 손실이 크다는 것을 알았다.

3. 5 Bipolar전극에 의한 전류분포

여러가지 bipolar전극을 배치사용하여 혈셀내의 전류분포를 알아본 결과를 Fig. 7에 나타내었다. A는 6cm판을 긴측벽 중앙에 배치한 경우이고, B는 6cm판을 예각 코너 1cm되는 곳까지 최대로 접

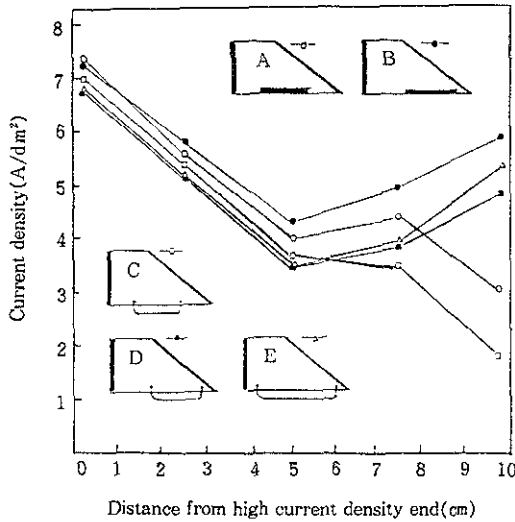


Fig. 7. Current density distribution on the divided cathode in Hull cell with bipolar electrode.

근시킨 것이다. C는 지름 1.6mm의 나동선을 6cm 간격을 가진 U자형으로하여 긴측벽 중앙에 거꾸로 배치한 경우이고, D는 똑같은 나동선을 예각 코너 1cm되는 곳에 배치한 경우이다. E는 같은 나동선을 10cm간격의 U자형으로하여 D와 같이 배치한 경우이다.

bipolar전극은 A, C와 같이 저전류밀도부위와 좀 거리가 떨어져면 전류상승 효과가 저하됨을 알 수 있다. B, D, E와 같이 극히 접근시켜야만 전류가 상승되었고, D와 E를 비교할 때 bipolar전극에서는 양극에도 가깝고 음극측에도 가깝게 접근시키는 것이 전류상승효과를 높이는 결과를 나타냈다.

### 3. 6 전류차폐판과 bipolar전극의 조합에 의한 전류분포

Fig. 6와 Fig. 7에 나타난 결과를 토대로 비교적 간단한 차폐판(Fig. 5의 A, B)를 사용하고 6cm구리판과 구리선(1.6mm $\phi$ )의 bipolar전극을 사용하여 전류분포를 측정된 결과를 Fig. 8에 나타

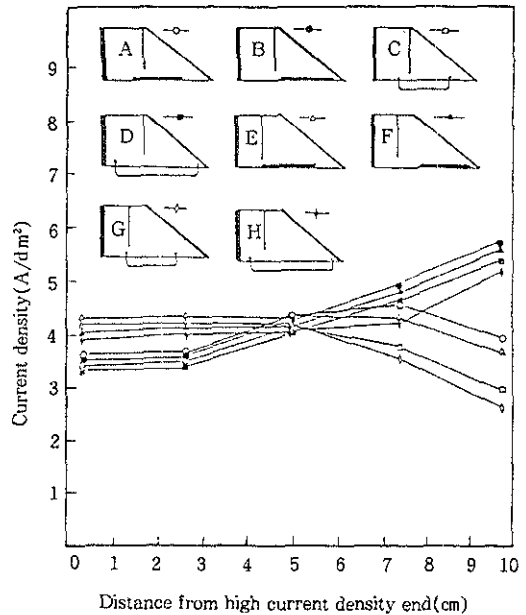


Fig. 8. Current density distribution on the divided cathode in Hull cell with both bipolar electrode and current shield.

내었다. 고전류밀도부위는 전류차폐판으로 전류를 차단하고 저전류밀도부위에 bipolar전극을 배치함으로써 셀내의 전류분포를 균일하게 할 수 있음을 알았다. 분할판임을 감안할 때 B, D, F, H와 같은 차폐판과 bipolar전극을 배치할 때 셀원판에 가장 균일한 전류분포를 얻을 수 있다.

전류차폐판을 사용하기 때문에 같은 전압하에서는 67~83% 정도의 전류를 흘릴 수 밖에 없었으나 1.2~1.5배 정도 상승시킴으로서 같은 전류를 흘리는데 충분하였다. 이는 실제 도금시 전해를 위한 전기료의 비중은 그다지 크지 않으므로 필요없는 부위에 두껍게 도금하여 손실되는 자원 절약을 감안할 때 그 정도의 전압상승 요인은 별로 문제가 안된다고 보아지며, 도금의 질을 향상시킨다는 점에서 간단한 차폐와 bipolar전극 사용을 적극 시도해 보아야 할 것이라고 판단된다.

### 4. 결 론

전기 도금시 균일전착을 하기 위한 자료를 얻기

위해 혈셀내에서 전류분포를 균일화하는 방안을 보조양극, 전류차폐판, bipolar전극, 및 차폐판과 bipolar전극의 조합등에 의해 찾아보았다. 음극을 분할하여 내부저항이 같은 전류계를 분할판에 각각 연결하여 전류를 측정하는 방법을 취하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 분할한 음극판을 사용하면 고전류밀도부위는 낮은 전류밀도치로 나타나고 저전류밀도부위는 높은 전류밀도치를 나타내었다. 그리고 분할된 판은 각각 독자적으로 절류분포경사를 나타내었다.

2) 20개 구획 분할판의 전류밀도분포는 혈셀 원판에 비해 경사가 적은 비교적 완만한 곡선을 나타냈으며 전류밀도 ( $A/dm^2$ ) = 총전류(A)(4.4 -  $\log x - 0.3x$ )의 근사식에 가까운 곡선형이었다. 폭 5mm의 5개 구획 분할판의 전류밀도분포는 직선형을 나타냈으며 양극에 가까운 쪽은 전류밀도 ( $A/dm^2$ ) = 총전류(A)(4.0 -  $0.4x$ )의 근사식으로, 양극으로부터 먼쪽은 전류밀도 ( $A/dm^2$ ) = 총전류(A)(3.5 -  $0.3x$ )의 근사식으로 나타낼 수 있는 전류밀도분포 상태를 나타내었다.

3) 6cm의 보조양극을 저전류밀도부위에 설치함으로써 전류밀도분포를 균일화할 수 있었다.

4) 전류차폐판을 설치하여 저전류밀도부위의 전류밀도를 상승시켜 전류분포를 균일화함은 곤란하였다.

5) Bipolar전극으로 저전류밀도부위의 전류를 상승시키기 위해서는 전극을 서로 가깝게 접근시켰을 때 전류상승을 기할 수 있으나 고전류밀도부위의 전류밀도치만큼 상승시킬수는 없었다.

6) 고전류밀도부위를 차폐판으로 전류를 차단하고 저전류밀도부위에 bipolar전극을 배치하므로서 혈셀내에서 전류분포를 균일화 할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 교내(홍익대학교) 연구비 지원금에 의해 이루어진 것입니다.

## 참고문헌

1. R. O. Huli : Proc. Am. Electroplater's Soc., 27 (1939) 52
2. R. Terando, H. Nagasoka : J. Metal Finishing Society of Japan, 27 (1976) 676
3. P. Neufeld and P. V. Patl : Transactions of the Institute of Metal Finishing, 52 [2] (1974) 71
4. G. F. Kinney and T. V. Festa : Proc. Am. Electroplater's Soc., 41 (1954) 66
5. R. H. Rousselot : Metal Finishing 57 [10] (1959) 56
6. S. Konishi and M. Yokoi : J. Metal Finishing Society of Japan, 34 (1983) 18.3
7. S. Igawa, Y. Uchikoshiki, and T. Inoue : J. Metal Finishing Society of Japan, 30 (1979) 17
8. DIN 50957, Galvanisierungsprüfung mit der Hull-Zelle (1958)
9. A. F. S Afshar, D. R. Gabe, and B. Sewell : Trans. Inst. Met. Fin., 69 (1991) 37
10. I. Kadija, J. A. Abys, V. Shinchankar, and H. K. Straschil : Plating & Surf. Fin., 78 [7] (1991) 60
11. Po-Yen Lu : Plating & Surf. Fin., 78 [10] (1991) 62
12. C. Madore, M. Matlosz, and D. Landolt. : J. Appl. Electrochem., 22 (1992) 1155
13. C. Madore, A. C. West, M. Matlosz, and D. Landolt : Electrochem. Acta., 37 (1992) 69
14. C. Madore and D. Landolt : Plating & Surf. Fin., 80[11] (1993) 73