

〈研究論文〉

印刷配線用 電解銅箔의 製造에 關한 研究*

尹容九**, 李震亨***

Fabrication & Evaluation of Electroplated Copper Foils
for Printed Circuit Board Applications

Y. K. Yoon and J. H. Lee

Abstract

Copper-clad laminate(CCL) was fabricated and evaluated by bonding $35\pm 5\mu$ thick electroplated copper foils with a suitable adhesive to an insulating base such as phenolic resin laminate. In this study, electroplating methods and conditions were studied to produce good quality copper foils for printed circuit board applications. The electroplating bath solutions used were a copper sulfate solution and a concentrated copper fluoborate solution. A surface roughening treatment that improves the adhesive strength of copper foils with an insulating laminate was also developed. A conventional copper sulfate solution containing sulfuric acid was used for the roughening treatment.

1. 서 론

印刷配線이란 絶緣板의 表面에 電導性物質을 所要回路의 패턴(pattern)에 따라서 배치시켜 줌으로써 電子部品間에 전기적 결합을 부여한 것을 말한다.

이러한 印刷配線은 페놀(phenol)樹脂와 같은 絶緣積層板의 片面 또는 兩面에 銅箔을 耐熱性接着劑로 접착해서 印刷配線基板인 銅箔附積層板(copper clad laminate; CCL)을 만든 후 이 銅箔附積層板上에 所要回路의 패턴을 耐酸性塗料로 도포하고 回路패턴 이의 부분의 銅箔을 용해 제거하여 만든다.

이와같은 아이디어는 이미 18世紀에着想⁽¹⁾되었으나 20世紀에 들어오면서 부터 1·2次世界大戰과 더불어 급속도로 發展⁽²⁾하기 시작해서, 오늘날에 와서는 印刷配線方式을 채택하지 않은 電子製品은 거의 없을 정도에 이르렀다. 現代電子工業에서는 이와같은 印刷配線方式을 이용함으로써 電子部品組立을 自動化하여 製造原價를 節減시키고 製造品質의 均一化 및 電子器機의 小型化를 성취하고 있다. 國內에서도 電子工業의 급격한

발달에 따라 印刷配線을 만들 印刷配線基板의 需要는 증가하고 있고, 앞으로 라디오, 텔레비전, 전자식탁상 계산기等, 電子器機의 海外進出과 함께 그 需要는 急増할 것으로 예상된다. 이와같이 중요한 印刷配線基板을 우리나라는 대부분 輸入에 依存하고 있어 이의 國產化가 절실히 요망된다.

印刷配線基板의 構成材料중 絶緣積層板과 接着劑에 관해서는 國內에서도 基礎研究가 수행된 바 있으나 銅箔에 대해서는 基礎研究도 전연 되어 있지 않다. 따라서 이 研究에서는 앞으로 印刷配線基板 제조용 銅箔을 國產化하기 위한 技術의 基礎資料를 얻고자 하였다.

印刷配線用 銅箔을 제조하는 방법에는 壓延法과 電解法의 2가지가 있다. 그러나 壓延法으로 銅箔을 제조하면 銅箔의 두께, 純度 및 物理的性質의 조절이 곤란하고, 그 施設費가 커서 電解法이 주로 이용된다. 따라서 이 研究에서는 電解法으로 銅箔을 電着시킬 경우에 電流密度 및 電解溫度가 銅箔의 物理的性質에 미치는 영향을 조사하였고, 銅箔으로서 가장 중요한 두께의 均一性을 얻기위해서 電解槽 및 電極의 幾何學的인 條件을 다루었다. 또한 印刷配線基板 제조時 銅箔과 絶緣積層板과의 接着力을 강화하는 銅箔의 粗化處理 方法과 條件을 확립하였다.

* 이 研究는 韓國科學技術研究所에서 遂行되었음

** 現 原子力研究所長, 前 韓國科學技術研究所 金屬材料研究室長

*** 韓國科學技術研究所 金屬材料研究室員

2. 실험방법

일반적으로 가장 널리 實用되는 印刷配線用 銅箔은 回轉陰極을 사용하여 連續적으로 제조한 電解銅箔으로서 그 製造工程은 그림 1과 같다. 이러한 電解銅箔의 특징은 電解液側面이 매트(matte)狀의 粗惡한 表面을 갖게 되어 兩面이 平滑한 壓延銅箔에 비해 더 높은 接

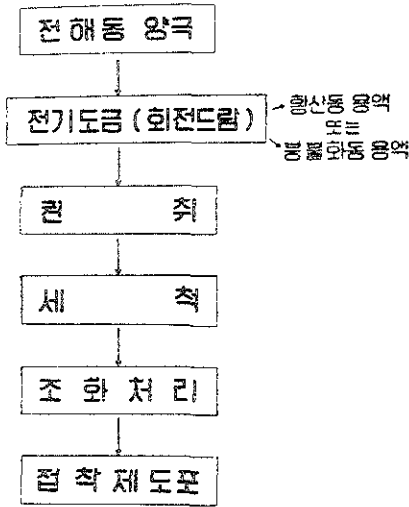
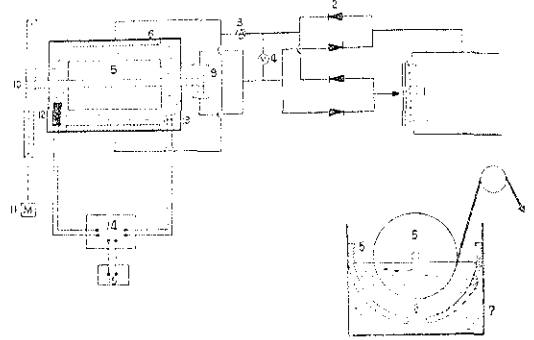


그림 1. 전해동박의 제조공정

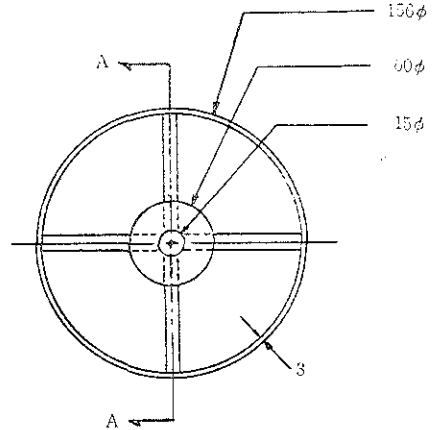
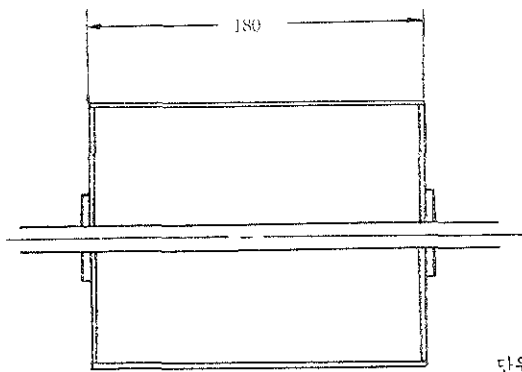
着力을 얻을수 있다. 이 研究에서는 銅箔電着에 必要한 電解條件, 電解槽의 形狀, 電極의 形狀 및 크기 등에 대한 基礎實驗을 배치(batch)式으로 실험한 후 그림 2와 같은 連續回轉式 실험장치를 제작하였다. 直流電源은 單相全波를 얻을 수 있는 整流器를 사용하여 直流을 얻었고 可變電壓調節機(variable transformer)를 사용하여 所要電流가 흐르도록 하였다. 電解槽는 鐵板을



1. 가변전압조정기, 2. 정류기, 3. 직류전류제, 4. 직류전압계, 5. 회전음극, 6. 양극, 7. 전해조, 8. 공기교반용 파이프, 9. 전기접속용 수은풀(Hg-pool) 10. 풀리(Pulley), 11. 28V. D.C. 감속모터, 12. 가열코일, 13. 수은온도조정기, 14. 릴레이, 15. 교류전원

그림 2. 회전음극을 사용하는 연속회전식 실험장치

써서 直六面體型으로 만든 후 아크릴板으로 내부를 라이닝(lining)하였다. 陽極은 3mm 두께의 표면이 매끈한 電解銅板을 사용하였고, 陰極은 보다 좋은 品質의 銅箔을 電着시킬 수 있는 18-8 오스테나이트(austenite)系 스테인레스鋼板⁽²⁾(두께: 0.5mm)을 배치식에 의한 基礎實驗에 사용하였고 連續方法에서의 回轉드럼은 3mm 두께의 스테인레스鋼 파이프, 프로 그림 3과 같이 제작하여 사용하였다. 陰極인 스테인레스鋼板 또는 드럼은 耐酸性



단위 : mm

* 전착면을 제외한 부분은 예폭시 수치로 절연

그림 3. 회전드럼의 제작도

塗料의 도포에 적당한 0.5 μ (³)의 表面狀態로 研磨하고 알카리脫脂液으로 완전히 脫脂하여 水洗한 후 곧 電解하였다.

電解液으로서의 黃酸銅溶液과 礮非化銅溶液을 사용하였다. 黃酸銅溶液에 依한 銅箔電着의 경우 一般鍍金에서와 같이 2~5 A/dm² 정도의 낮은 電流密度로는 35 μ 두께의 銅箔을 電着시키는데 많은 時間이 所要된다. 따라서 黃酸銅溶液의 電流密度를 높여주어 電解時間을 줄이기 위해서 電解液의 溫度를 상승시켰고 충분한 空氣攪拌을 시켜주었다. 礮非化銅溶液은 弗酸과 礮酸으로 礮非酸을 만들고 이 礮非酸에 炭酸銅을 반응시켜 礮非化銅溶液을 만들었다. 다음의 表 1은 이 研究에서 사용한 電解液의 組成을 나타낸 것이다.

表 1. 이 연구에서 사용한 전해액의 조성

황산동용액		붕불화동용액	
조 성	농도 (g/l)	조 성	농도 (g/l)
황산동, CuSO ₄ ·5H ₂ O	168.1	붕불화동, Cu(BF ₄) ₂	367.1
황산, H ₂ SO ₄	156.5	붕불산, HBF ₄	54.9
Cu ⁺	42.8	Cu ⁺	98.4

銅箔의 粗化處理는 에보놀 시 스페셜(Ebonol C Special)*에 依한 黑色酸化被膜處理方法和 低濃度구리鍍金溶液에서 電解處理하여 赤土色 酸化被膜을 生成시켜 주는 方法으로 실험하였다. 에보놀 시 스페셜에 依한 처리방법은 平板陰極의 片面 또는 兩面에 구리를 電着시켜 水洗한 후 180 g/l의 에보놀 시 스페셜溶液을 100~110°C로 加熱하여 이 溶液에서 3分間 처리하였다. 低濃度구리鍍金溶液에 依한 電解處理方法은 粗化處理할 銅箔의 表面을 洗淨한 후 130 g/l의 黃酸銅과 60 ml/l의 黃酸을 含有하는 溶液에서 銅箔을 陰極으로 하여 過大陰極電流密度로 電解하였다. 이와같이 처리한 銅箔을 7%重크롬酸소다(Na₂Cr₂O₇·2H₂O)溶液에서 溶液溫度를 25°C로 유지하여 30秒 동안 처리함으로써 被膜生成物과 크로메이트(chromate)(⁴)가 형성되도록 하여 被膜을 安定化시켰다.

銅箔두께의 측정은 측정할 銅箔을 各 部分別로 일정 한 크기로 절단하여 그 重量을 측정하고 다음 式에 依해서 平均두께를 계산하였다.

平均두께(μ) = 試料의 重量(g) \times 10⁴ / 8.93(g/cm³) \times 試料面積(cm²)

銅箔의 硬度는 튜콘微少硬度機(Tucon microhardness tester)를 사용하여 50g의 荷重을 걸고 누-프 인덴터(Knoop indenter)를 사용하여 그 硬度를 측정하였다.

* 美國의 엔손(Enthone)會社에서 개발한 구리 또는 구리合金의 黑色酸化被膜處理試藥으로서 強알카리性임.

接着力측정은 ASTM D 1867에 따라서 수행하였다. ASTM D 1867에 依하면 銅箔附積層板의 接着力측정은 高溫處理(140°C에서 60 \pm 6分 동안 處理)후와 납침적(260 \pm 2°C로 녹인 납 위에서 5秒 동안 處理)후로 되어 있다. 印刷配線基板으로서 평가할 경우에는 위의 두 종류的 接着力을 따로 측정하였으나, 銅箔의 粗化處理상태를 평가하기 위해서는 室溫에서만 측정하였다. 試片은 粗化處理한 銅箔을 絶緣積層板 XXXP*와 接着劑 퍼-머셀 18 接着필름(Permacel 18 electrical adhesive film)**과 함께 165°C에서 1200 psi로 25分 동안 壓着시켜서 印刷配線基板을 단편후 이것을 2 \times 2 인치 크기로 잘라서 感光性樹脂指로 그림 4와 같은 模型으로 도포하고 염화제 2철(FeCl₂)溶液으로 腐蝕시켰다. 다음에 그림 4와 같은 模型으로 腐蝕시킨 銅箔띠(copper strip)

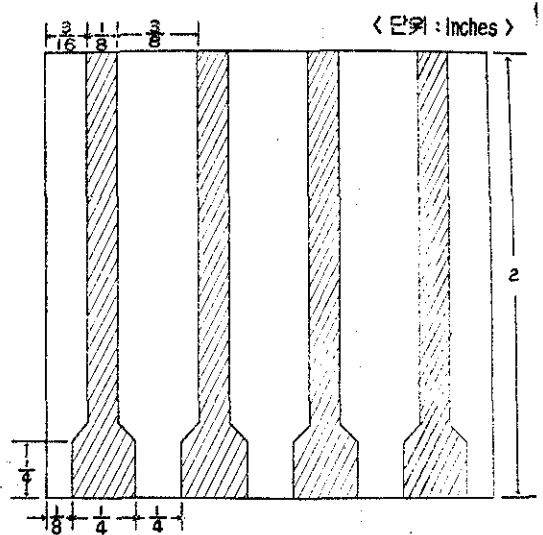


그림 4. 점착력 시험 시편 모형

의 1/4인치 한끝을 1인치 정도 벗겨 클램프(clamp)에 물리고 試片에 대하여 垂直으로 1분에 2인치의 一定한 速度로 벗기면서 이때 걸리는 荷重을 측정하여 接着力을 계산하였다. 여기서 사용한 측정기계는 인스트론萬能試驗機(Instron universal testing machine)이었다.

3. 실험결과 및 고찰

1. 銅箔의 電解條件

黃酸銅溶液에서 電解液의 溫度를 약 43°C로 올리고

* 페놀樹脂積層板(paper phenolic laminate)의 일종으로 NEMA 分類에 依한 表示方法, 이 研究에서 사용한 것은 美國의 신세인(Synthane)會社의 제품임.

** 페놀樹脂積層板에 銅箔을 接着시킬 수 있는 두께 1.5~2.0 μ 의 耐熱性接着필름으로서 美國의 퍼-머셀(Permacel)會社의 제품임

충분한 空氣攪拌을 하였을때는 陰極電流密度를 28 A/dm²까지 올려도 표면이 깨끗한 구리電着을 얻을 수 있었다. 한편 硼弗化銅溶液은 黃酸銅溶液에 비해 擴散係數가 훨씬 크기 때문⁽⁵⁾에(황산동 : 6×10⁶ cm²/S, 붕분화동 : 36×10⁶ cm²/S) 常溫에서도 약 40 A/dm²의 높은 電流密度까지 사용할 수 있었다.

이와같은 電解條件에서 電解溫도와 銅箔의 硬度的와 관계는 그림 5에 나타난 바와 같았다. 黃酸銅溶液의 경우는 43°C 이상의 溫度에서 20 A/dm²의 電流密度로, 硼弗化銅溶液의 경우는 25°C 이상의 溫度에서 20 A/dm²

의 電流密度로 각각 電着시킨 후 銅箔으로서 분리하였다. 그 硬度的의 변화를 측정하였다. 電流密度의 변화에 대한 硬度的의 변화는 그림 6과 같았다. 黃酸銅溶液에서는 電解溫度를 55°C로 유지하고 硼弗化銅溶液에서는 25°C로 유지하였다.

그림 5와 그림 6을 보면 電解溫度的 상승에 따라 電着銅箔의 硬度的는 감소하고 電流密度의 증가에 따라 그 硬度的는 증가한다는 것을 알 수 있다. 電解溫度가 상승하면 水素吸收量이 적어지고 結晶크기가 커지기 때문에 電着銅箔의 硬度的가 감소하고, 또 電流密度가 증가하면 水素吸收量과 內部應力이 증가하고 結晶크기가 작아지기 때문에 電着銅箔의 硬度的가 감소하는 것으로 생각된다. 그런데 硼弗化銅溶液의 경우가 黃酸銅溶液의 경우보다 그 硬度的가 전반적으로 높았다. 硼弗化銅溶液의 경우 그 擴散係數가 黃酸銅溶液보다 훨씬 크기 때문에 구리이온의 電着過程에서 結晶核의 生成速度가 結晶核의 成長速度 보다 크다. 따라서 硼弗化銅溶液에서 結晶化한 구리의 結晶粒子는 黃酸銅溶液에서의 구리粒子보다 더 작으며 이 結果 硼弗化銅溶液에서 電解한 銅箔의 硬度的가 더 높은 것으로 생각된다. 또한 硼弗化銅溶液에서 電流密度를 40 A/dm²로 하고 電解溫度를 40°C이상으로 상승시키면 陰極으로부터 銅箔을 분리하기가 곤란했고 電着表面狀態도 좋지 않았다. 이것은 40°C 이상의 溫度에서는 오스테나이트계 스텐레스鋼의 粒界腐蝕⁽⁶⁾에 의해서 陰極表面에 微細한 흠이 생기기 때문인 것으로 생각된다.

한편 酸性銅溶液에서 電氣分解한 電着구리의 硬度和強度는 電解溫度 및 電流密度의 변화에 따라서 거의 비슷하게 영향⁽⁷⁾을 받고, 또한 酸性銅溶液의 濃度變化는 電着層의 物理的性質⁽⁸⁾에 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 알려져 있다.

사실상 黃酸銅溶液에서는 충분한 空氣攪拌을 시켜주고 20~25 A/dm²인 電流密度와 45~55°C의 電解溫度 범위에서, 硼弗化銅溶液에서는 10~30 A/dm²인 電流密度와 25~40°C의 電解溫度 범위에서 電解하면 添加劑 없이도 諸 物理的性質이 規格에 맞는 印刷配線用 銅箔을 얻을 수 있었다.

2. 電解槽 및 電極의 幾何學的 條件과 電着의 均一性

電解槽의 形狀 및 크기에 대한 銅箔의 電着狀態를 조사하기 위해서 원주형 비커(beaker)와 직육면체형 電解槽에서 硼弗化銅溶液을 사용하여 陽極과 陰極의 面積比를 1:1이 되도록 하고 각각 一定時間 電着시킨 결과, 직육면체형 電解槽가 원주형 電解槽보다 균일한 電着을 얻을 수 있었다. 또한 같은 직육면체형 電解槽에서도 電解槽의 巾과 電極크기의 相對的 比가 알맞을 때 電着이 균일했다. 한편 電極의 形狀 및 크기에 대한 銅箔의 電着狀態를 조사하기 위해서는 黃酸銅溶液

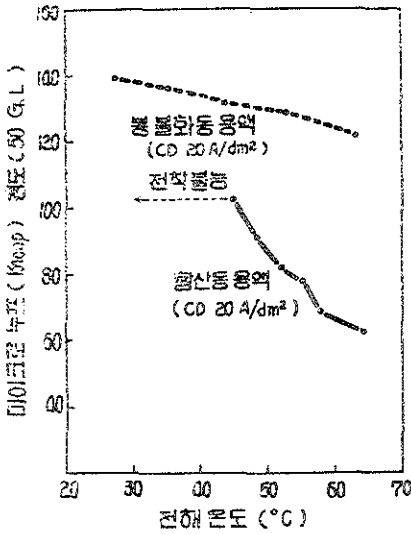


그림 5. 황산동 및 붕분화동용액에서 전해온도의 변화에 대한 경도의 변화

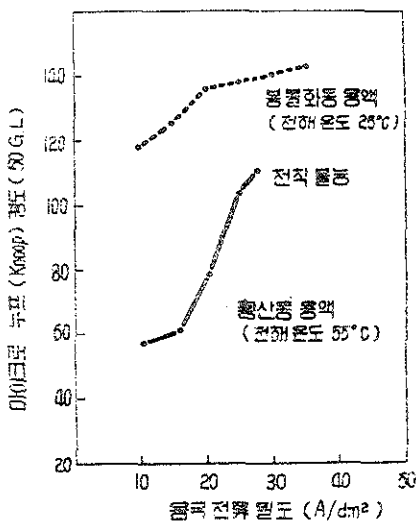


그림 6. 황산동 및 붕분화동용액에서 전류밀도의 변화에 대한 경도의 변화

에서 陽極과 陰極의 한번(세로)의 길이를 一定하게 하고 다른번(가로)을 변화시키면서 電着시켜 가로의 비에 대한 電着두께를 측정한 결과 그림 7과 같았다. 즉 어느 경우나 陰極의 가장자리부분이 중앙부분보다 그 두께가 두껍다. 이것은 陽極의 가장자리와 뒷면으로부터 電流의 흐름⁽⁹⁾이 있기 때문에 가장자리의 電流密度가 중앙보다 더 높은 까닭이다. 그러나 陽極과 陰極의 距離비가 1:1인 경우, 가장자리 이의 부분의 두께는 균일함을 알 수 있다. 또한 陽極과 陰極사이의 거리에 대한 均一電着性은 그림 8에 나타낸 바와 같이 極間距離가 가까울수록 均一電着性이 좋았다.

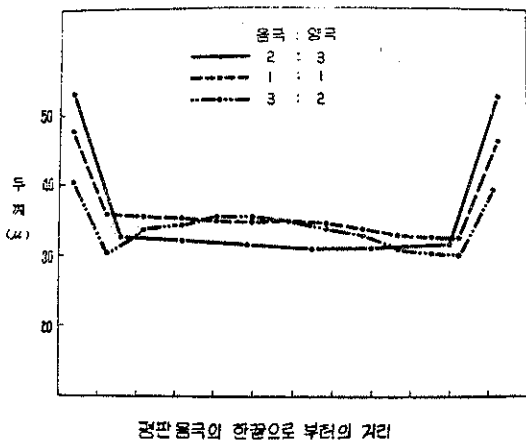


그림 7. 전극의 크기에 대한 전착두께의 분포비교

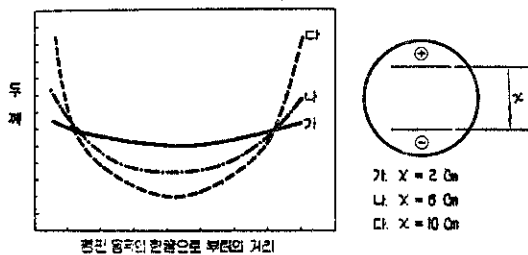


그림 8. 극간거리에 대한 전착두께의 분포비교

이상의 결과를 종합해서 직육면체형 電解槽에서 陽極과 陰極사이의 距離를 1.5cm로 유지하고 陰極의 가장자리에 물리는 구리이온을 빼앗아 가도록 補助電着面을 만들어주어서 그 전착상태를 조사한 결과는 그림 9와 같았다. 그림 9에서 보는 바와 같이 陰極에 補助電着面을 만들어 줌으로써 두께가 균일한 銅箔을 얻을 수 있었다.

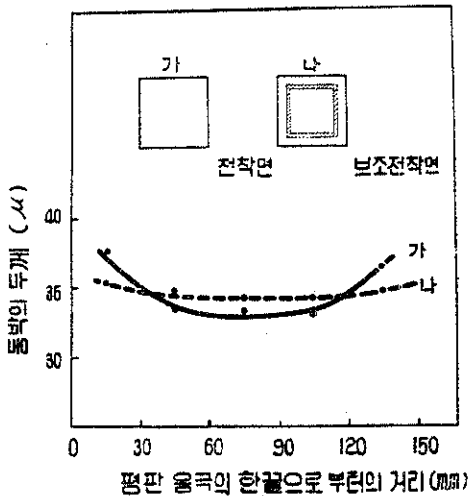


그림 9. 보조전착면이 없는 경우와 있는 경우의 전착두께 비교

한편 回轉陰極을 사용할 경우 回轉陰極의 回轉方向으로는 回轉陰極의 速度를 항상 一定하게 유지하고 陽極과 陰極間의 距離를 一定하게 유지하면 表 2에 나타낸 바와같이 균일한 두께의 銅箔을 얻을 수 있었다. 回轉陰極의 巾方向으로는 배치式의 경우와 같이 回轉陰極의 가장자리에 補助電着面을 만들어 줌으로써 가능

表 2. 회전음극상에 전착시킨 동박의 회전방향으로의 두께

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
두께 (μ)	37.1	37.1	36.7	36.2	36.1	36.5	36.2	35.9	36.3	36.6

表 3. 회전음극에 의한 동박의 두께분포

	(단위 : μ)							
	보조전착면이 없는 경우				보조전착면이 있는 경우			
	I	II	III	평균	I	II	III	평균
①	39.0	37.8	36.6	37.8	33.5	33.2	32.7	33.1
②	30.3	29.6	30.8	30.2	33.1	32.5	33.3	32.8
③	30.2	29.9	31.9	30.7	33.3	34.1	33.3	33.8
④	32.0	32.0	32.6	32.2	33.9	33.8	34.1	33.9
⑤	37.2	34.9	36.7	36.3	34.7	32.8	32.8	33.4
	두께의 분포범위 7.6				두께의 분포범위 0.9			

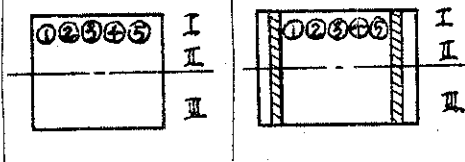


表 4. 외국 규격치와 이 연구제품의 측정치와의 접착력 비교

접착력(ibs/in폭) (XXXP 사용)	규 격 치		이 연구제품 측정치	
	ASTM* & NEMA**	MIL***	Ebonol C Special처리	과대음극전류 밀도처리
고온처리후(140°C, 1시간)	6	8	9.2	9.0
납침적후(260°C, 5초간)	6	8	9.0	8.5

* the American Society for Testing and Materials

** the National Electrical Manufacturer's Association

*** Military specification

하였다. 다음의 表 3은 回轉陰極의 가장자리에 補助電着面이 없을 때와 있을 때 각각 電着銅箔의 두께分佈를 계산한 結果이다.

3. 銅箔의 粗化處理와 印刷配線基板의 接着力

예보늘 시 스페셜處理 및 低濃度구리鍍金溶液에서 過大陰極電流密度로 處理한 銅箔을 퍼머셀 18 接着필름 및 XXXP 絶緣積層板과 함께 壓着시켜 印刷配線基板으로 만든후 前述한 ASTM D 1867에 따라서 그 接着力을 측정하여 다음 表 4와 같은 結果를 얻었다. 예보늘 시 스페셜處理한 경우가 低濃度구리鍍金溶液에서 電解處理한 경우보다 接着力이 약간 높은 것을 알 수 있다. 그러나 예보늘 시 스페셜에 의한 處理方法으로는 銅箔의 片面만 처리하기 위해서 100°C 정도의 溫度와 强알칼리性溶液에 견딜만한 재료로 片面을 絶緣해 주어야 되었다. 그러나 低濃度구리鍍金溶液에서 過大陰極電流密度로 處理하는 方法은 예보늘 시 스페셜에 의한 方法보다 그 處理方法이 더 簡便하였고 電解溶液을 쉽게 廉價로 제조할 수 있는 利點이 있었다. 黃酸銅溶液을 電解溶液으로 사용하는 경우는 130~140 g/l의 黃酸銅과 60~65 ml/l의 黃酸을 含有하는 溶液이 가

장 적당했다. 사용溫度는 약 20~60°C범위에서도 接着力에 큰 변화는 없었으나 약 35°C에서 좋은 結果를 얻을 수 있었다. 이 方法은 높은 陰極電流密度를 사용함으로써 分極現象⁽¹⁰⁾을 助長시켜서 樹枝狀의 거치른 表面을 얻는 것이므로 溶液은 항상 靜止상태로 유지해 주었다. 陰極電流密度는 사용하는 電解槽의 形狀, 크기 및 電解液의 濃度, 溫度 등에 左右되기 때문에 陰極電流密度의 범위를 규정하기가 곤란하였다. 그러나 이 실험에서 사용한 溶液에서는 15~20 A/dm²의 電流密度로 25~30秒동안 처리한 경우가 가장 좋은 結果를 얻을 수 있었다.

한편 銅箔의 電解條件이 印刷配線基板의 接着力에 미치는 영향을 조사하기 위해서 礬弗化銅溶液에서 電流密度와 電解溫度를 변화시켜 제조한 銅箔을 예보늘 시 스페셜溶液으로 처리한 후 印刷配線基板으로 만들어 그 接着力을 조사한 結果는 그림 10 및 그림 11과 같았다. 이 두 그림에 依하면 電流密度 및 電解溫度의 변화에 따라 印刷配線基板의 接着力은 크게 변화하지 않음을 알 수 있다. 즉 銅箔의 電解條件에 依해서 영향을 받는 銅箔의 電解液側 電着面은 印刷配線基板의 接着力에 큰

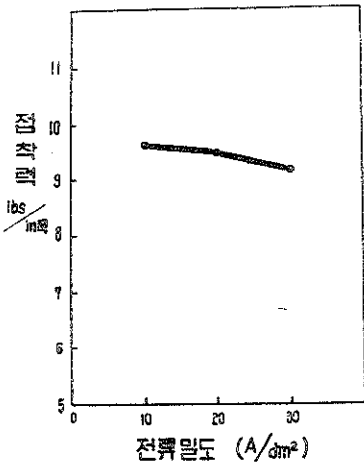


그림 10. 전류밀도에 대한 접착력 변화 (전해온도 25°C)

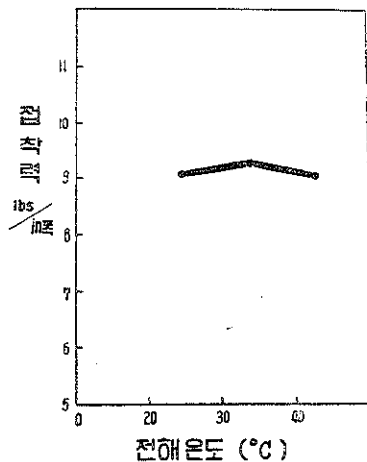


그림 11. 전해온도에 대한 접착력변화(전류밀도 20 A/dm²)

영향을 미치지 못하는 정도임을 알 수 있다. 그러나各種表面處理方法으로粗化處理한銅箔을 같은條件으로印刷配線基板을 제작하여 이들의接着力을常溫에서 측정 비교한結果는그림 12와 같았다. 여기서銅箔제조후의粗化處理方法은印刷配線基板의接着力에 영향을 주는 큰要素임을 알 수 있다.

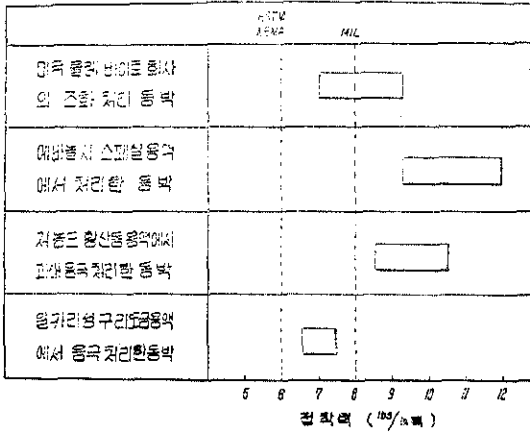


그림 12. 각종 표면처리방법으로 조화한 동박의 접착력 비교

4. 결 론

1. 酸性銅溶液中에서電着시킨電解銅箔의硬도는電解溫도의 증가에 따라 감소하고, 電流密度的 증가에 따라 증가한다.
2. 印刷配線用銅箔으로서要求되는品質의銅箔은高濃度黃酸銅溶液을 사용할 경우 空氣攪拌을 충분히 해주고 20~25 A/dm²인 電流密度와 45~55°C의 電解溫度범위에서 얻을 수 있었고, 高濃度礪拂化銅溶液을 사용할 경우 10~30 A/dm²인 電流密度와 25~40°C의 電解溫度범위에서 얻을 수 있었다.
3. 均一두께의銅箔을電着시키기 위해서는배치式의

경우陽極과陰極은같은꼴로서그같은비를1:1로하고陰極주위에補助電着面을만들어줌으로써可能하다. 한편回轉陰極을사용할경우回轉陰極의回轉方向으로의두께는回轉速度와陽極과陰極의거리를一定하게해두면두께가均一하게된다.

4. 印刷配線基板의接着力은銅箔의電解條件보다銅箔의粗化處理方法에左右된다.

5. 低濃度구리鍍金溶液에依한粗化處理方法을이용하면經濟적으로간편하게規格値이상의接着力을얻을수있다. 그電解條件은130~140 g/l의黃酸銅과60~65 ml/l의黃酸을含有하는低濃度구리鍍金溶液에서15~20 A/dm²의電流密度및약35°C의電解溫度로25~30秒동안處理하는것이였다.

參考文獻

- (1) 網島英一: プリント配線の設計と製作, 誠文堂新光社, 東京, 2 (1964)
- (2) Basil H. S. Day: Plating, Vol. 52, No. 3, 229 (1965)
- (3) 參考文獻(1), 112 (1964)
- (4) D. W. Dahringer: U. S. Pat. 3,322, 656 (May 30, 1967)
- (5) 山口重利: 金屬, Vol. 29, No. 2, 139 (1959)
- (6) 長津寬: 金屬, Vol. 28, No. 12, 914 (1958)
- (7) J. D. Greenwood: Metal Finishing, Vol. 11, No. 128, 315 (1965)
- (8) W. H. Safranek: Acid Copper Electroplating and Electroforming in "Modern Electroplating" F. A. Lowenheim, ed., 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 193(1967)
- (9) W. M. Shakespeare: Trans. Am. Inst. Min. Metall. Engrs., Vol. 106, 446 (1933)
- (10) W. V. Waterbury: U. S. Pat. 3,328, 275 (June 27, 1967)