

스크린인쇄법을 이용한 Build-up 다층 인쇄회로기판의 패속제조공정 기술개발

조병희, 정해도*, 정해원**

부산대학교 정밀기계공학과 대학원, *부산대학교 기계공학부, **미소전자

Development of Build up Multilayer Board Rapid Manufacturing Process Using Screen Printing Technology

B. H. Cho, H. D. Jeong*, H. W. Jeong***

Graduate School of Precision Mechanical Engineering, Pusan National University

*School of Mechanical Engineering, Pusan National University

**MISO Electronics

초 록 : 일반적으로 빌드업 다층 인쇄회로기판은 에칭, 도금등의 습식공정에 의해 제작이 이루어지므로 많은 장비와 많은 시간이 필요하게 된다. 이러한 습식공정은 양산에는 적합하지만 개발단계에서는 그리 적합하지 않은 방법이다. 본 연구에서는 스크린 인쇄기술을 도입하여 빌드업 다층 인쇄회로기판을 제작하여 보았다. 절연성 재료로는 광경화성수지 또는 열경화성수지를 사용하였으며 전도성 재료로는 전도성 페이스트를 사용하였다. 층간의 전기적 연결을 담당하는 비아와 회로를 형성하기 위해 스크린 인쇄공정을 통해 전도성 페이스트를 인쇄하였다. 이러한 방법을 통해 제품의 개발 단계에서 기존의 빌드업 다층 인쇄회로기판 제작 공정과 비교하여 좀 더 효율적인 방법을 제시하였다.

Abstract : Generally, many equipments and a long lead time are required to manufacture the build-up multilayer board through various processes such as etching, plating, drilling etc. Wet process is suitable for mass production, however it is not adequate for manufacturing prototype in developing stage. In this study, a silk screen printing technology is introduced to make a prototype build-up multilayer board. As for the material, photo/thermal curable resin and conductive paste are used for forming dielectric and conductor. And conductive paste fills vias for interconnecting each layer, and also is used for circuit patterning by silk screen technology. Finally, the basic concept and the possibility of build-up multilayer board prototype is proposed and verified as a powerful approach, compared with the conventional processes.

Key words : build-up multilayer board, silk screen printing technology, photo/thermal curable resin, conductive paste

1. 서 론

최근 전자산업은 전자기기의 소형화, 박형화를 위해 부품 실장시 고밀도화, 고정도화, 고집적화가 가능한 다층인쇄회로기판을 이용한 실장기술을 채용하고 있는 추세이다. 이러한 다층인쇄회로기판을 이용하고 있는 분야로는 공장자동화(FA)기기, 사무실 자동화(OA)기기, 통신 기기, 방송 기기, 휴대형 컴퓨터등 많은 분야가 있다. 특히, 최근 이동 통신 기기와 디지털 가전 시장을 중심으로 소형화, 박형화가 급격히

진행되면서 다층인쇄회로기판에 대한 수요가 급증하고 있다. 또한, 최근 μ BGA(Ball Grid Array), TCP(Tape Carrier Package)등의 CSP(Chip Size Package)기술의 발달에 의해 이러한 칩을 실장할 수 있는 고밀도 인쇄회로기판에 대한 관심도 점점 증가하고 있는 실정이다. 최근 국내에서도 이러한 다층인쇄회로기판에 많은 투자와 연구가 이루어지고 있다. 이러한 다층인쇄회로기판을 제조하는 공정은 기존의 단면, 혹은 양면 인쇄회로기판 제조공정과 유사한 공정을 거친다^[1]. 즉, 동박을 입혀거나 도금을 통하여 도전층을 형성시킨 후, 원하지

않는 부분은 에칭(Etching)공정을 이용하여 제거하고 원하는 회로부분만이 남도록 하는 방법이다^[2]. 층수가 많지 않은 경우 양면 인쇄회로기판을 적층하여 2층이나 4층의 인쇄회로기판을 제조하기도 한다. 하지만 점점 많은 층수의 인쇄회로기판에 대한 요구가 증가하면서 여러가지 빌드업 공정들이 개발되었다. 이러한 공정들의 공통점은 기본적으로 코어(Core)를 기본으로 하여 코어의 상, 하면에 각각 새로운 층을 적층하여 빌드업 다층 인쇄회로기판을 제조한다는 것이다. 이러한 빌드업 다층 인쇄회로기판의 제조공정은 층간의 전기적 연결을 담당하는 비아(Via)의 형성 방법에 따라 포토 비아(Photo via), 레이저 비아(Laser via), 플라즈마 비아(Plasma via)등으로 분류 할 수 있다^[3]. Fig. 1과 Fig. 2에 포토 비아와 레이저 비아 공정 중 대표적인 공정들인 SLC(Surface laminar circuit)공정과 RCC (Resin coated copper foil)공정의 개략적인 공정도를

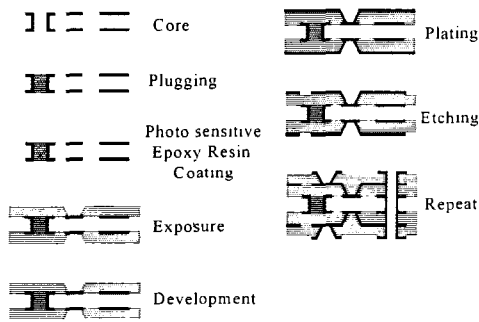


Fig. 1. SLC Process

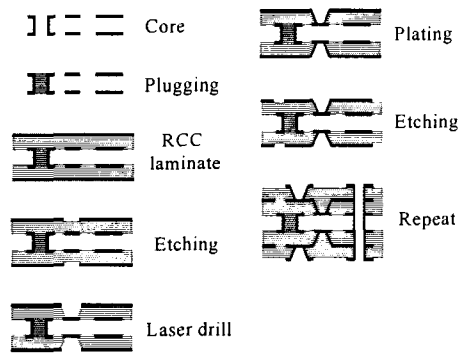


Fig. 2. RCC Process

나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 코어를 사용하는 공정에서는 코어 상, 하면의 전기적 연결이 필요할 경우, 제약이 따르게 된다. 현재

이러한 제약을 줄이기 위하여 미리 코어의 상, 하면에 전기적 연결을 위한 단자를 설치하는 공정을 도입하기도 한다. 본 연구에서는 이러한 제약을 없애고 회로 설계시 보다 많은 자유도를 가질 수 있도록 코어를 사용하지 않고 빌드업 다층 인쇄회로기판을 제조하는 공정에 관하여 실험을 수행하였다. 또한, 인쇄회로기판 제조 공정 중 일부 공정에서 사용되고 있는 스크린 인쇄법을 도입하여 기존의 인쇄회로기판 제조공정에서 채용되었던 에칭, 도금등의 습식공정(Wet process)이 아닌 건식공정(Dry process)을 구현하였다. 이러한 건식공정에 의해 빌드업 다층 인쇄회로기판을 제작함으로써 기존의 습식공정에서 필요하였던 여러 가지 가공액들을 줄일 수 있게 되어 보다 더 환경 친화적인 제조공정을 개발하였다.

2. 실험 방법

2.1 스크린 인쇄기술

스크린 인쇄기술은 원하는 형상의 단면을 가지는 스크린 위에 원하는 인쇄재료를 놓고 스퀴즈를 통해 인쇄재료를 작업면에 전이시켜 원하는 형상의 단면을 형성하는 다품종 소량 생산체계에서 널리 사용되는 인쇄방법이다^[4]. 실제 빌드업 다층 인쇄회로기판을 제작하기 이전에 스크린의 메시(mesh)에 따른 인쇄의 해상도를 파악하기 위해 기초 실험을 수행하였다. 인쇄 해상도를 평가하기 위한 해상도 차트의 사진을 Fig. 3에 나타내었다. 차트 오른쪽의 숫자는 mm당 선수를 뜻하는 것으로, 2.0의 경우 선폭과 피치가 각각 250 μ m이다. Fig. 4에 실험에서 사용한 스크린, 스퀴즈, 수동 인쇄기, 자외선 램프, 건조로의 사진을 나타내었다. 스크린은 300, 350, 420의 세 가지 메시의 폴리에스

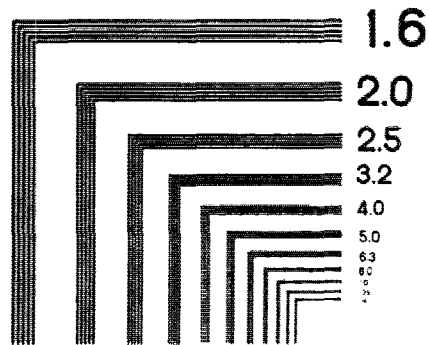


Fig. 3. Resolution chart

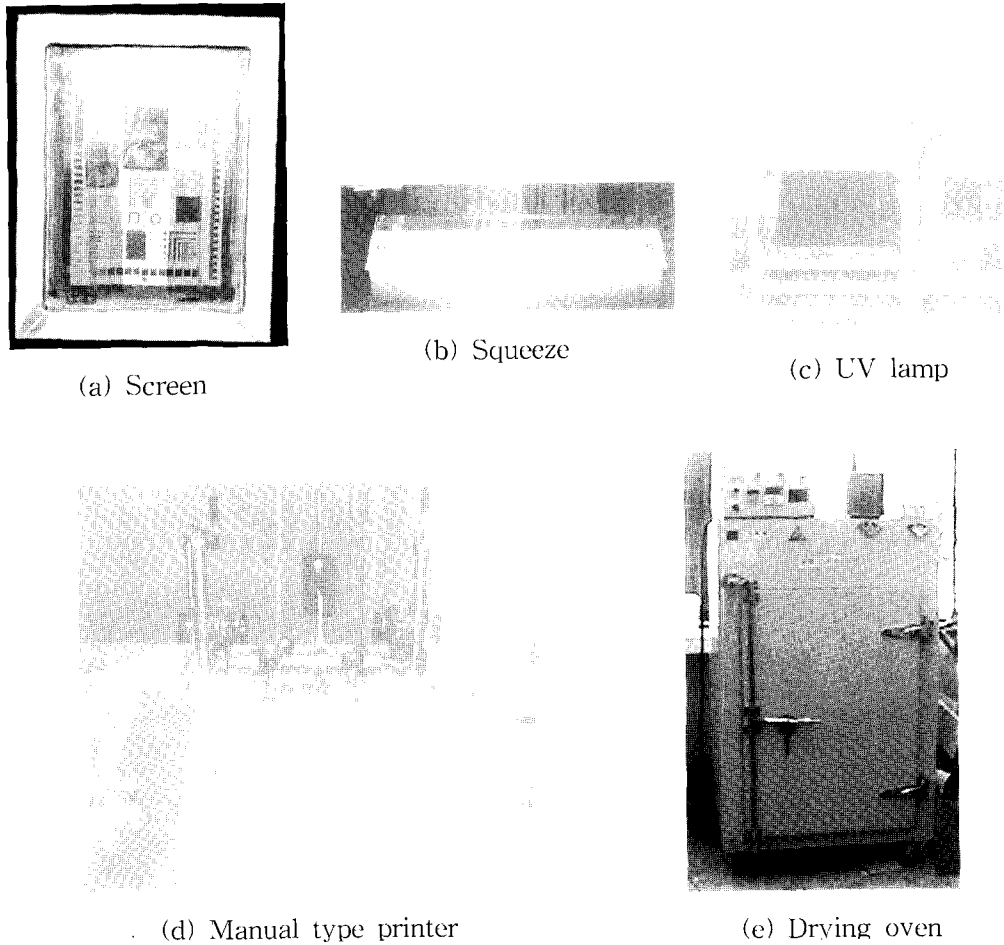


Fig. 4. Experimental equipments

터 스크린을 사용하였다. 스퀴즈는 쇼어경도 (Shore hardness : Hs) 62의 경도를 가지는 폴리우레탄 재질의 각종 스퀴즈를 사용하였다. 자외선 램프는 절연성 재료로 쓰인 광경화성수지의 경화를 위해서, 건조기의 경우 전도성 재료로 쓰인 전도성 페이스트의 경화를 위해 사용하였다.

2.2 실험 재료

본 연구에서는 스크린 인쇄를 통해 원하는 형상의 단면을 형성하므로 인쇄가능한 재료는 모두 사용될 수 있다. 이번 실험에서는 빌드업 다층 인쇄회로기판의 제작 시간을 단축하고 가장 고밀도의 빌드업 다층 인쇄회로기판을 제작할 수 있는 공정인 포토 비아법에 한발 더 다가서기 위해 절연성 재료로 광경화성수지를 사용하였다. 포토 비아공법의 경우 감광성 수지를

도포, 현상하여 원하는 단면을 형성하지만, 본 실험에서 시도한 공정은 광경화성수지의 도포, 경화만으로 원하는 단면의 형성이 가능하다. 하지만, 아직까지는 열경화성수지의 전기적 특성이 우수하므로 열경화성수지를 사용하여 인쇄하는 공정도 가능할 것이다. 최근 적용이 시작되고 있는 TCD(Thermal curable dielectric)공정의 경우 절연층의 경화에 약 30분의 시간이 소요되었으나, 본 실험에서는 자외선을 이용하여 절연층의 경화시간을 20초로 줄일 수 있었다. 인쇄재료의 점도에 따른 인쇄 해상도의 영향을 살펴보기 위해 두 가지 전도성 페이스트를 사용하였다. Table 1에 두 가지 재료의 특성을 비교하였다.

Fig. 5에 제조공정을 나타내었다. 제조 공정을 살펴보면, 먼저 절연층 인쇄공정에서 비아홀이 될 부분은 인쇄재료가 빠져나가지 않도록 스

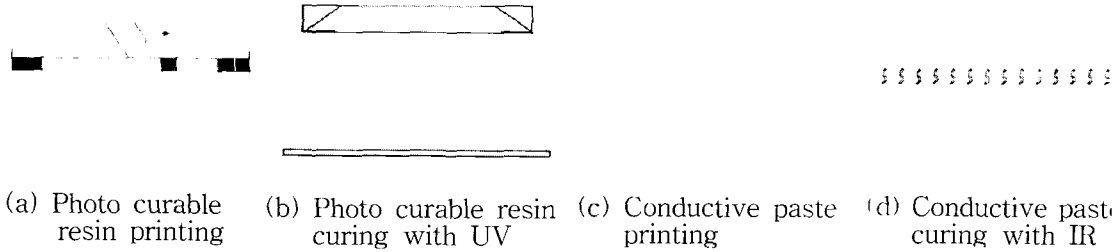


Fig. 5. Manufacturing process

Table 1. Properties of conductive paste

	Viscosity (Pa · s)	Sheet Resistivity ($10^{-5} \Omega/\text{sq}/\text{mm}$)	Curing Condition
Dupont 5007	20~40	0.12~0.15	8~10 min. at 120°C
TAIYO	4.5~5.0	0.2~0.25	30~60 min. at 80°C

크린을 제작하여 인쇄를 한다. 절연층의 인쇄가 끝나면 이의 경화를 위해서 자외선 램프를 이용하여 노광을 하게되고, 형성된 홀에 전도성 페이스트를 인쇄공정을 통해 채우게 된다. 홀에 페이스트를 채우고 건조기를 통해 경화시킨 후, 배선 부분 역시 전도성 페이스트를 스크린 인쇄공정을 통해 형성한 후, 이를 경화시키면 한층이 완성된다. 이러한 공정의 반복에 의해 다층 인쇄회로기판을 제작할 수 있게 된다.

3. 결과 및 고찰

3.1 광경화성수지의 경화특성

스크린 인쇄를 하기 전에 광경화성수지의 최적 경화시간을 알아보기 위하여 경화실험을 수행하였다. 인쇄특성의 향상을 위하여 탄산칼슘(CaCO₃)분말을 중량비로 20% 첨가하였기 때문에 이의 영향도 알아보기 위해서 순수한 광경화성수지와 탄산칼슘이 함유된 광경화성수지의 경화특성을 각각 파악하였다. 수지의 경화특성을 살펴보기 위하여 조사되는 에너지의 양을 변화시키면서 경화정도를 측정하였다. 경화정도는 Gel content로 평가하였다. Gel content는 경화 후 수지를 톨루엔에 24시간 침지시킨 후 이를 완전히 건조시켜 침지 전후의 무게 비로 경화정도를 평가하는 방법이다. Fig. 6에 이러한 Gel content의 측정결과를 그래프로 나타내었다.

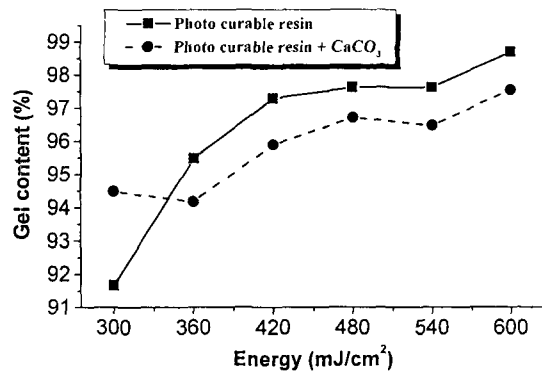


Fig. 6. Gel content

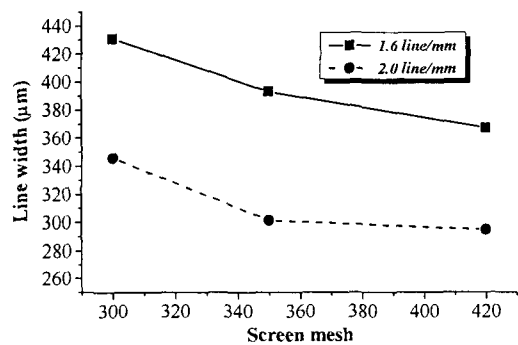


Fig. 7. Graph of line width as screen mesh with photo curable resin

측정결과 600mJ/cm²의 에너지를 부가하였을 때, 자외선 경화성수지의 경우 99%, 탄산칼슘 20wt%함량 자외선 수지의 경우 97%의 Gel content를 나타내었다. 사용한 자외선 램프의 에너지가 30mW이므로 20초가 최적의 경화시간인 것으로 생각된다. 또한 탄산칼슘을 혼합하더라도 자외선 경화성수지의 경화에는 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였다.

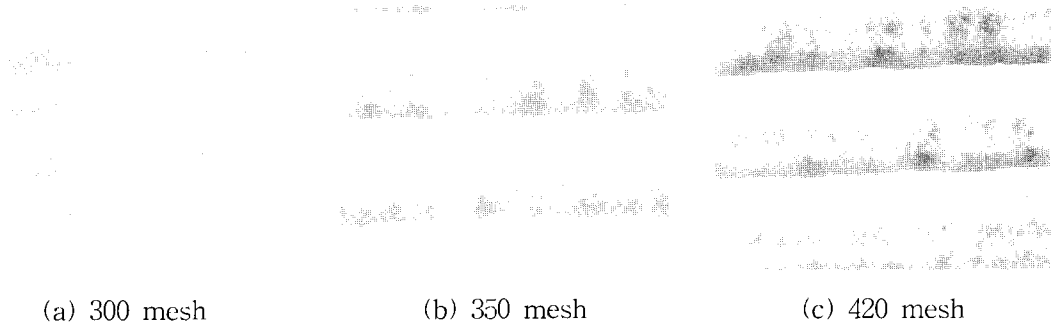


Fig. 8. Optical microscopic image of photo curable resin at 2.0 line/mm (×50)

3.2. 광경화성수지의 인쇄 해상도

각각의 스크린 메시에 따른 광경화성수지의 인쇄결과를 Fig. 7에 그래프로 나타내었다. 인쇄 후, 자외선 램프를 사용하여 20초씩 경화시켰으며, 선 폭을 측정하기 위하여 광학 현미경을 사용하였다. Fig. 8에 광학 현미경 사진을 나타내었다. 이때의 배율은 50배이다.

측정 결과 광경화성수지의 경우 최소 선 폭이 420메시의 스크린을 사용하여 약 300 μ m의 값을 얻을 수 있었다.

선 폭의 결과를 바탕으로 인쇄의 번짐율(spread ratio)을 Fig. 9에 나타내었다.

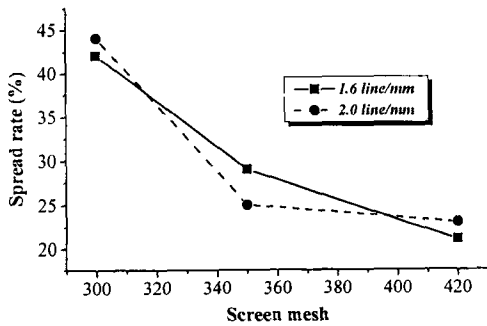


Fig. 9. Spread rate of photo curable resin

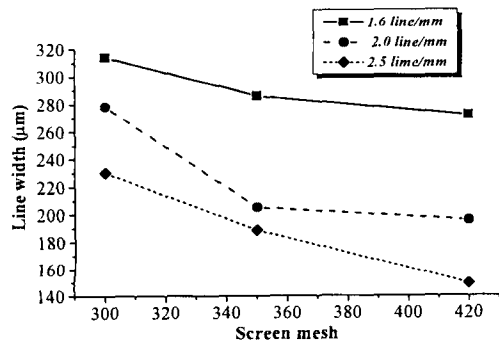


Fig. 10. Graph of line width as screen mesh with Dupont 5007

광경화성수지의 경우 스크린의 메시가 증가할수록 선 폭과 번짐율은 감소하는 경향을 나타내었다. 광경화성수지의 인쇄특성을 향상시키기 위해서는 높은 메시의 스크린을 사용하거나, 좀더 인쇄특성이 좋은 광경화성수지를 적용하여야 할 것이다.

3.3 전도성 페이스트의 인쇄 해상도

점도에 따른 해상도의 차이를 알아보기 위하여 점도가 다른 두 가지의 페이스트를 사용하였다. 실험에서 사용한 광경화성수지와는 달리 전도성페이스트의 경우 경화 후, 전도성을 가져야 하므로 은 분말의 함량이 50% 이상이다. 따라서, 페이스트에 함유된 수지의 양이 적으므로 광경화성수지보다는 유동성이 떨어지게 된다. 전도성페이스트 역시 광경화성수지와 마찬가지로, 선 폭을 측정하기 위하여 인쇄 후, 열경화를 거쳐 광학 현미경을 사용하였다. 이때의 배율 역시 50배를 사용하였다. Fig. 10에 듀폰사에서 제작한 Dupont 5007페이스트의 스크린 메시수에 따른 인쇄결과를 그래프로 나타내었고, Fig. 11에는 Dupont 5007페이스트의 인쇄결과 사진을, Fig. 12에는 번짐율의 그래프를 각각 나타내었다. Fig. 13에 다이요 잉크에서 제작한 TAIYO페이스트의 스크린 메시수에 따른 인쇄결과를 그래프로 나타내었고, Fig. 14에는 TAIYO페이스트의 인쇄결과 사진을, Fig. 15에는 번짐율의 그래프를 각각 나타내었다. 사진에서 검게 나타난 부분이 페이스트이다. 두 가지 페이스트 모두 광경화성수지보다 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 측정결과를 살펴보면, 광경화성수지와 마찬가지로 스크린의 메시가 증가할수록 선 폭과 번짐율 모두 감소하는 경향을 나타내고 있다. 하지만, 광경화성수지와는 달리 420메시의 스크린을 사용하였을 경우 번짐율의 값이 음의 값을 나타내었다. 이

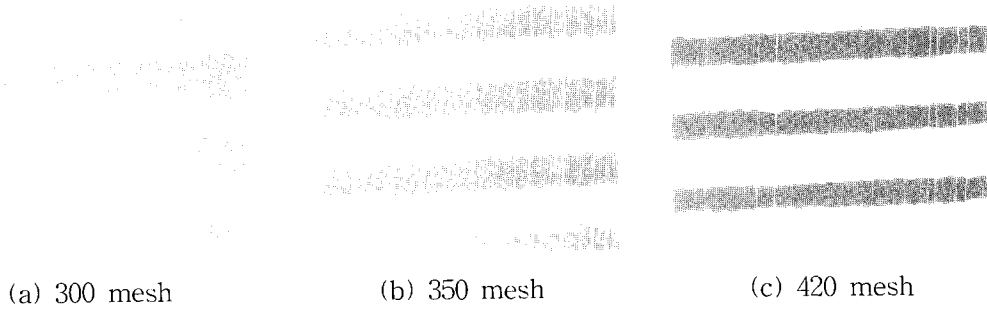


Fig. 11. Optical microscopic image of Dupont 5007 at 2.5 line/mm($\times 50$)

는 위에서도 설명하였듯이, 전도성페이스트에 함유된 수지의 양이 적어서 유동성이 떨어지기 때문인 것으로 생각된다. 최소 선 폭의 경우 Dupont 5007이 420메시의 스크린을 사용하였을 때, 약 $150\mu\text{m}$ 의 값을 나타내었고, TAIYO 페이스트의 경우 역시 420메시의 스크린을 사용하여 약 $160\mu\text{m}$ 의 값을 얻을 수 있었다. 하지만, 이러한 최소 선 폭의 경우 테스트 차트에서 설계된 $200\mu\text{m}$ 의 값보다 약 $50\mu\text{m}$ 정도 작은 값을 나타내고 있다. 테스트 차트에서 설계된 선 폭과 가장 근접한 값을 가지는 인쇄조건은 Dupont 5007의 경우 300메시의 스크린을

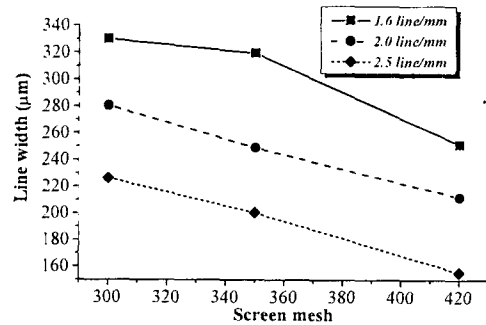


Fig. 13. Graph of line width as screen mesh with TAIYO

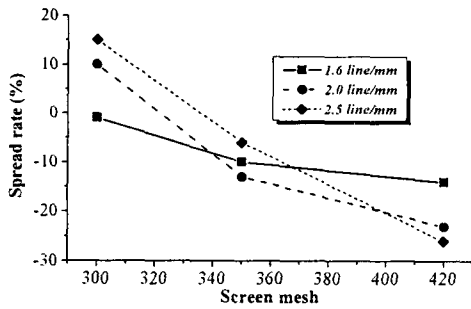


Fig. 12. Spread rate of Dupont 5007

사용하였을 때로 나타났고, TAIYO 페이스트의 경우는 350메시의 스크린을 사용하였을 때 테스트 차트와의 차이가 가장 작은 것으로 나타났다. 특히, TAIYO 페이스트의 경우 350메시의 스크린을 사용하였을 때, $\pm 1\%$ 정도의 번짐율을 얻을 수 있었다.

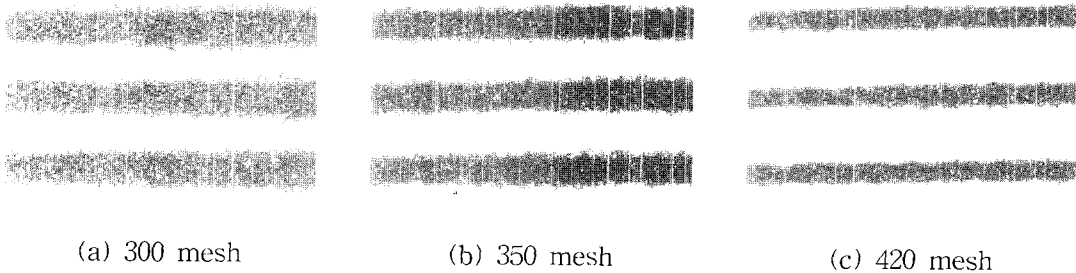


Fig. 14. Optical microscopic image of TAIYO at 2.5 line/mm($\times 50$)

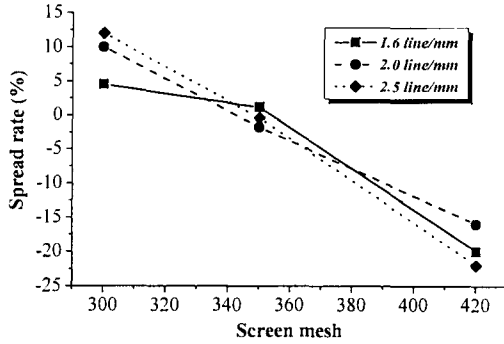


Fig. 15. Spread rate of TAIYO

4. 실제 빌드업 사례

이러한 인쇄실험 결과를 바탕으로 하여 실제 빌드업 다층 인쇄회로기판을 제작해 보았다. Table 2에 제작한 빌드업 다층 인쇄회로기판의 사양을 나타내었다. Fig. 16에 실제 빌드업 공정마다의 사진을 나타내었다. Fig. 17에는 완성된 빌드업 다층 인쇄회로기판의 표면 확대사진을 나타내었다. 기존의 빌드업 다층 인쇄회로기판의 경우 코어를 기본으로 하여 적층이 이루어지므로, 층간의 전기적 연결에 제한을 받게 된다. 하지만, 스크린 인쇄기술을 적용한 새로운 공정에서는 코어를 사용하지 않고 빌드업 공

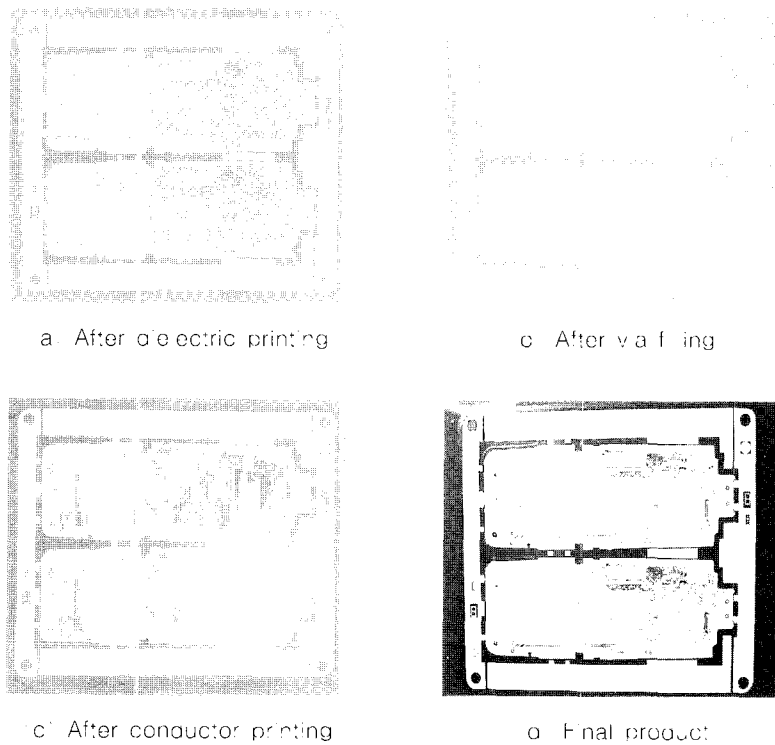


Fig. 16. Actual build up process

정이 가능하여 설계상의 제약을 없애고 회로 설계시 보다 많은 자유도를 가질 수 있게 하였다. 또한, 기존의 빌드업 공정에서 채용되었던 에칭, 도금등의 습식공정(wet process)을 스크린 인쇄법을 적용함으로써 건식공정(dry process)으로 대체할 수 있었다.

최근 일부에서 적용되고 있는 열경화성수지를 사용한 빌드업 공정과 비교하여 보면, 열경화성

수지의 경화에 30분 정도의 시간이 소요되지만, 광경화성수지의 경우 경화시간을 20초로 대폭 줄일 수 있어 패속화가 가능하였다. 또한 층 두께의 경우 기존의 공정에서 절연층의 두께가 100 μ m, 전도층의 두께가 15 μ m정도인 것에 반해 본 연구에서 개발된 공정의 경우 절연층이 30 μ m, 전도층이 10 μ m정도의 두께를 가지므로 빌드업 다층 인쇄회로기판의 박형화가 가능하였

Table 2. Specification of build-up multilayer board

Purpose	PCS phone
Number of layer	6 layers
Via hole	Min. 300 μ m
Conductive pattern width	Min. 200 μ m

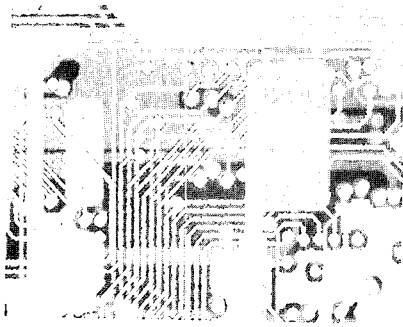


Fig. 17. Enlarged view of build-up multi layer board

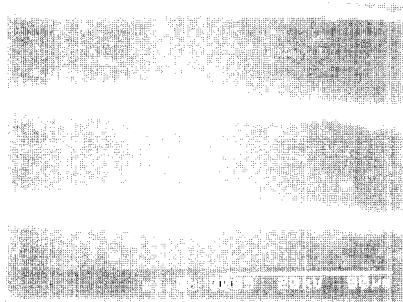


Fig. 18. Cross sectional view of build-up multi layer board

다. 이는 점점 박형화 되어가고 있는 전자제품의 추세에 비추어 볼 때, 매우 큰 장점이 될 것이다. Fig. 18에 본 공정으로 제작한 빌드업 다층 인쇄회로기판의 단면 사진을 나타내었다.

5. 결 론

이상의 결과를 요약해보면 다음과 같다.

1. 스크린의 메시가 증가할수록 재료의 종류와 상관없이 선 폭과 번짐율이 감소함을 알 수 있다. 광경화성수지의 경우 420메시의 스크린에서 최소 선폭 300 μ m, Dupont 5007의 경우 420메시의 스크린에서 최소 선폭 150 μ m, 300메시의 스크린에서 가장 작은 번짐이 발생한다. TAIYO 페이스트의

경우 420메시의 스크린에서 최소 선폭 160 μ m, 350메시의 스크린에서 가장 작은 번짐이 발생한다.

2. 기존의 빌드업 공정들이 코어를 기본으로 양면으로 적층이 이루어진 반면, 새로 개발된 공정은 코어를 사용하지 않고 한 쪽 방향으로 적층이 이루어져 층간의 전기적 연결이 용이해졌다.
3. 기존의 공정들은 빌드업을 위해서 레이저 드릴 등 고가의 장비가 필요하였으나, 본 공정에서는 기존의 스크린 인쇄장치를 적용하여 쉽게 빌드업이 가능하였다.
4. RCC공정의 경우 전용의 원판을 따로 구입하여야 빌드업이 가능하지만, 새로운 공정의 경우 전용의 원판을 구입할 필요 없이 빌드업이 가능하였다.
5. 기존 공정의 경우 동박을 입힌 수지 판을 사용함으로 인하여 각 층 두께가 100 μ m 정도의 값을 가지지만, 본 공정에서는 30 μ m의 층 두께를 가짐으로써 빌드업 다층 인쇄회로기판의 두께를 약 60%정도 감소시킬 수 있었다. 또한, 인쇄재료의 점도와 적절한 인쇄 조건의 선정이 뒤따른다면 층 두께의 조절이 가능할 것이다.
6. 본 연구에서는 수동 인쇄에 의한 인쇄결과를 사용하였기 때문에 인쇄결과가 150 μ m 정도의 값을 가지지만, 반자동인쇄기나 자동 인쇄기를 사용하여 인쇄작업을 수행할 경우 100 μ m 이하의 고밀도 패턴도 인쇄가 가능하리라 기대된다.

참 고 문 헌

1. 藤平 正氣, 藤森 秀信, "多層プリント配線板 ステップ 365," 工業調査會, pp. 1-11, (1996).
2. Russell L. Heisermam, "PRINTED CIRCUIT BOARDS," John Wiley & Sons, pp. 1-10, 53-60, (1983).
3. H. D. Jeong, B. H. Cho, H. W. Jeong, T. Nakagawa, "Development of build up PCB using rapid prototyping," Proceeding of AFDM '99, pp. 595-596, (1999).
4. 日本スクリーン印刷技術協會, "スクリーン印刷ハンドブック," 日本出版, pp. 145, (1974).