

◆특집◆ 전통산업과 첨단산업의 창의적 융합을 위한 RP&M 기술 활용

기능성 시작품 제작기술을 이용한 전자부품제조 공정기술 개발

임용관*, 조병희**, 정해도***

Development of Electronic Parts Manufacturing Process Using Functional Prototype Fabrication Technology

Yong Gwan Im*, Byung Hee Cho** and Hae Do Jeong***

Key Words : Rapid Prototyping (패속시작기술), Functional Prototype Development (기능성 시작품 개발), Build-up Printed Circuit Board (빌드업 인쇄회로 기판), Screen Printing (스크린인쇄)

1. 서론

1.1 패속시작기술(Rapid Prototyping, RP)

1980년 Hull과 Marutani의 특허가 비슷한 시기에 미국과 일본에서 출원된 이후, RP시스템은 현재까지 세계 각국 약 20여개 이상의 메이커에서 각각의 방식 혹은 비슷한 방식을 채택한 여러 시스템들이 개발되어 시제품제작 시장에 출시되었다. 그러한 시스템들 중에는 현재까지도 시장에서 높은 점유율을 유지하는 방식이나 시스템이 있는 반면, 한때 유망한 것으로 평가되었으나 더 이상 시장에 존재하지 않는 시스템들 또한 있다.

우리나라 패속시작기술(Rapid Prototyping, RP)은 1980년 후반 SLA(Stereo Laserlithography Apparatus)가 도입된 이래, 현재까지 자동차, 전자/기계부품 등 산업 전반에 걸쳐 디자인, 워킹(Working) 혹은 마스터모델(Master model)의 제작방법으로 널리 이용되어 왔다. 그 이후 패속시작기술

은 단순히시제품의 모형을 제작하는 기술로서 뿐만아니라 패속금형제작(Rapid tooling, RT) 기술과 패속조형의 적층방식을 이용한 여러 가지 미세가공기술로 발전하였다.

패속금형제작 기술에서는 SLS(Selective Laser Sintering), 용접-절삭의 하이브리드 방식 등의 직접식 금형제작(Direct tooling)기술과 RP로 제작된 마스터모델을 실리콘 고무형으로 반전하여 금형을 제작하는 간접식(Indirect tooling) 기술로 나눌 수 있다.^{1,2}

최근에는 패속조형을 이용하여 3차원 소성가공이나, 마이크로/나노 구조체에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 그러나 근본적으로 3차원 형상의 구조물을 다시 2차원의 여러 슬라이스로 자르는 것에서 기인하는 계단형상(Step mark)을 방지하는 것이 어려우며, 기능적으로 다른 소재를 동시에 사용하지 못하는 등 아직도 해결해야 할 과제들이 남아 있다.

1.2 기능성 시작품 제작기술

RP는 원하는 3차원의 구조물을 빠른 시간에 제작할 수 있다는 장점은 있지만, 사용되는 재질의 한계로 인하여 주로 외부의 기하학적 형상에 초점

* 부산대학교 학교기업 경량부품가공센터
Tel. 051-510-3779, Fax. 051-510-3780

Email ygim@pusan.ac.kr

정밀가공 특허, 패속조형, 패속금형제작, 초정밀레이저가공 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

을 두고 있다. 금속 재질의 시작품이 필요한 경우에는 금속파우더를 사용하는 RP를 사용하여 모델을 제작하거나, 다른 방법으로 제작한 모델을 진공주형(Vacuum Casting)을 이용하여 왁스로 치환한 뒤 정밀주조(Investment Casting)로 제작하거나 혹은 세라믹재질을 파우더를 정밀주조의 셸(Shell) 형태로 RP모델을 제작하여 그 셸에 직접 용탕을 주입하여 제작하는 방법도 있다.

본 연구에서 제시하는 기능성 시작품 제작 (Functional Prototype Development, FPD) 기술은 기존의 RP가 디자인 검증이나 부품의 가공 혹은 금형 등 기계가공의 범주에 머물렀던 것과는 달리 전자부품의 제작으로 그 응용의 범위를 확장하였다.

Fig. 1에서와 같이 기능성시작품 제작기술은 RP의 슬라이스 적층개념과 전자부품의 제작공정에 이용되는 여러 가지 기술들을 융합하였다. 그것은 기존의 RP가 하나의 적층 슬라이스(Slice) 내에서 물리적으로 다른 두 가지 이상의 재료를 동시에 사용하지 못한 것에 반하여, 본 고의 기능성 시작품 제작에서는 물리적으로 성질이 전혀 다른 두가지 재료(도체/부도체)를 하나의 슬라이스 단면에 구현한 것이다.

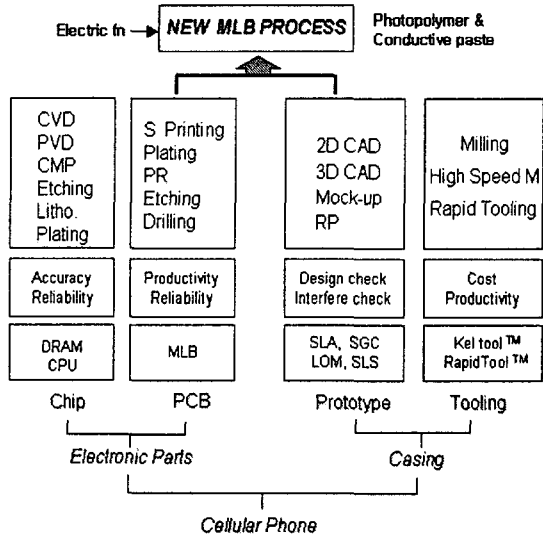


Fig. 1 Concept of functional prototype development

2. 전자부품제작 공정

2.1 종래 MLB 제작 공정

1990년대 후반 IT 산업의 비약적인 발달로 휴대용 전자기기의 보급이 확대되고, 기존의 가전기기도 점차 박형화 되고 있는 추세 속에서 그러한 IT 제품들에 실장되는 전자부품인 MLB(Multi Layer printed circuit Board)의 박형화와 경량화 여부가 그 제품의 시장에서의 경쟁력으로 직결되고 있는 실정이다. MLB공정은 비아홀(Viahole)의 형성 방법에 따라 여러가지로 나뉘는데, 레이저비아, 포토비아, 플라즈마비아 공정 등이 있으며, 각각의 제조회사 마다 독특한 제조방법을 가지고 있어 그 공정은 매우 다양하다. Fig. 2에는 가장 널리 쓰이고 있는 레이저비아 공법 중 RCC(Resin Coated Copper foil) 공정을 나타낸 것이다.

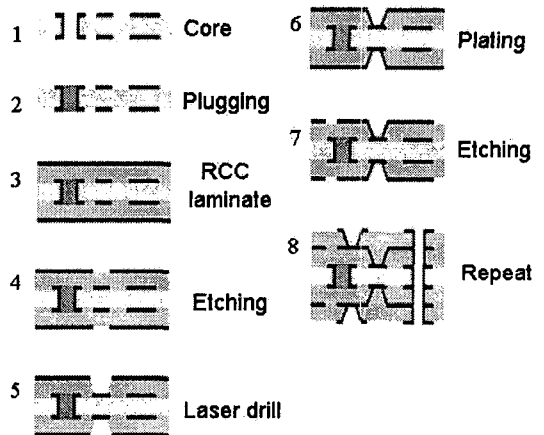


Fig. 2 Conventional MLB process (RCC)

코어판(Core Plate)을 중심, 상하 양 방향으로 각 층마다 필름부착, 에칭, 레이저 드릴링, 도금, 다시 에칭하는 공정을 층마다 반복해야 하기 때문에 공정수가 매우 많아, 박형화에 상당한 어려움을 가지고 있다. 또한 비아홀 가공을 레이저로 수행하기 때문에 고가의 레이저드릴 도입으로 인한 제조 코스트, 비아홀의 비수직적 배열에 의한 실질 실장면적의 확대 등 여러 가지 문제점을 가지고 있다.

2.2 새로운 MLB 제작 공정

Fig. 3에서처럼 기존의 MLB 공정과 RP의 두 공정상의 특성과 장단점을 비교하여, 그 중 각각의 공정을 적절히 이용하여 새로운 공정을 개발하였다

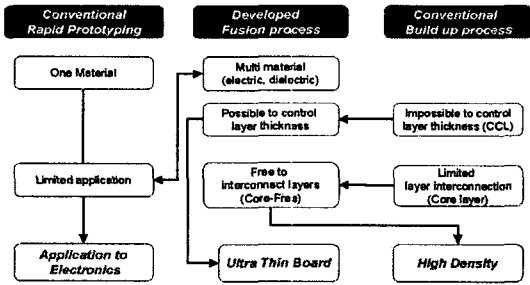


Fig. 3 Concept of MLB build-up process using RP

즉 RP의 슬라이스 적층 개념과 단면 형성기구, 그리고, 한 슬라이스에서 이종재료(도체/부도체)를 구현하는 기존 MLB공정의 특성을 이용하여 보다 고밀도, 박형화 된 시제품을 제작하였다.

Fig. 4에는 적용된 RP공정인 SGC(Solid Ground Curing)법과 개략적인 공정을 나타내었다. SGC는 일반적인 RP가 점을 기준으로한 스캐닝을 주로 채택하는 반면, 마스크(Mask)를 이용하여 점이 아닌 전자부품제조 공정(반도체 혹은 MLB)에서 많이 사용되는 면을 기준으로하는 노광(Exposure)방식을 채택하고 있다.

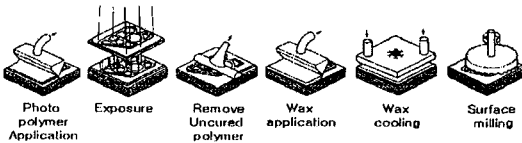


Fig. 4(a) Flow of solid ground curing process

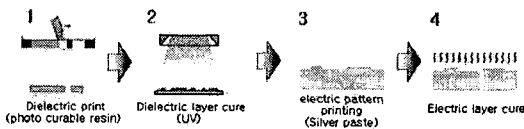


Fig. 4(b) Flow of new MLB fabrication process using RP concept

일반적인 MLB제조 공정에서는 부도체/도체 패턴은 부도체의 판에 동박을 입힌 후 노광, 에칭 등의 복잡한 공정을 거치는 반면, 새 공정에서는 광경화성수지를 프린팅, 노광하여 제작함으로써 공정을 대폭 줄였다. 또한, 기존 MLB공정과 달리 제거 가능한 수용성 필름을 채택하여, 코어판이 필요없

게 되어 코어판을 중심으로 아래 위로 동시에 공정이 진행되는 것이 아니라 바닥면에서부터 위쪽방향으로만 공정이 진행되어 두께도 매우 얇게 제작할 수 있게 되었다. Fig. 5에는 새 공정의 전체적인 공정을 도식적으로 나타내었다.

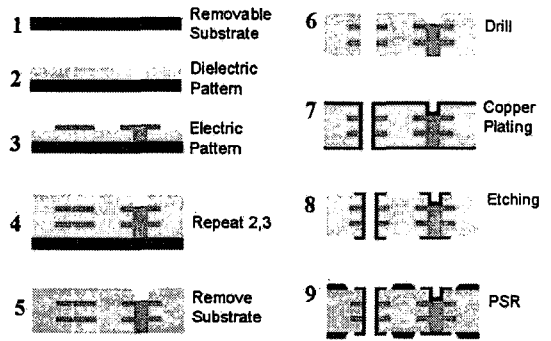


Fig. 5 Full build up process by novel MLB process

3. 실험

3.1 스크린인쇄

스크린인쇄는 일정한 메시(Mesh)를 가지는 스크린을 일정한 인장력(Tension)으로 틀에 고정시키고, 스크린 위에 원하는 형상의 단면을 형성한 후에 인쇄 재료를 스퀴지(Squeeze)를 이용하여 일정한 압력으로 밀면서 원하는 형상의 단면을 얻는 인쇄 방법이다. 볼록인쇄, 오목인쇄와 달리 특수인쇄로 분류되어 있는 방법으로써, 다품종 소량생산에 적용되고 있으며, 그 적용 범위 또한 미술, 포장용기, 전자부품제조 등 많은 분야에 적용되고 있다.⁴

Table 1 Classification of screen

Material	Silk, Nylon, Polyester, Stainless steel, Metal
Thread	Mono filament type, Multi filament type, Mixed type
Number of mesh	Low, Medium, High

스크린이란 실크, 합성섬유 등을 이용하여 날실과 씨실의 교차에 의해 메시를 형성시켜 인쇄재료가 빠져나갈 수 있는 공간을 만들어 놓은 것이다. 스크린의 분류를 Table 1에 나타내었다. 인쇄조건, 인쇄목적에 따라 Table에 분류된 스크린중 하나를

선택하여 사용한다.

최근 정밀도가 요구되는 분야에서는 합성섬유보다 더욱 신축성이 적은 것이 필요하게 돼 폴리에스테르 스크린에 도금가공한 것, 스테인리스 직물, 금속판등이 사용되고 있다.

스퀴지는 인쇄작업시 인쇄재료를 피인쇄체에 전이하는 역할을 한다. 스퀴지의 재료는 주로 Hs 50~90정도의 경도를 가지는 폴리우레탄이 가장 많이 사용되고 있다.³ 일부 금속스크린을 이용하는 경우 금속제의 스퀴지도 사용되고 있다. 인쇄작업시 스퀴지와 인쇄면이 이루는 각도, 스퀴지에 가해지는 압력에 의해 인쇄재료의 전이량이 결정된다. 따라서, 스퀴지의 각도와 압력은 인쇄작업에서 중요한 요소가 된다. 본 연구에서는 폴리에스테르 재질의 스크린과 Hs 62의 경도를 가지는 폴리우레탄 재질의 스퀴지를 사용하였다.

3.2 실험재료

본 연구에서는 제작된 시제품의 동일한 슬라이스 단면에 두 가지 서로 다른 성질을 부가하기 위하여 도전성재료와 절연성재료를 사용하였다. 절연성 재료로는 폐속조형기술에서 많이 쓰이고 있는 광경화성수지와 탄산칼슘 입자를 혼입하여 사용하였으며 도전성 재료로는 상용으로 시판되는 도전성 페이스트를 사용하여 실험하였다.

입자가 비뉴턴유체에 분산되어 있을 때, 외부에서 기계적인 힘을 가하면 유동성이 좋아지고, 외부에서 힘을 가하지 않으면 유동성이 나빠지는데 이러한 현상을 요변성(Thixotropy)이라고 한다.⁴ 이러한 현상은 온도의 변화에 의한 유동성의 변화와는 구별되어야만 한다. 온도의 변화에 의한 유동성의 변화는 유체 점도 자체의 변화에 의한 결과이기 때문이다. 스크린인쇄기술에서 이러한 요변성이 필요한 이유는 인쇄 재료를 스퀴지로 인쇄할 때에는 유동성을 가져야만 스크린을 통과하여 인쇄가 되고 인쇄한 후에는 유동성이 나빠져서 고체와 유사한 성질을 가져야만 퍼지지 않고 형상을 유지할 수 있기 때문이다.

이러한 현상을 콜로이드 화학적으로 살펴보면 유체속에 분산되어 있는 입자는 계면의 전기 이중층에 의해 분산력과 응집력이 균형을 이루는 위치에서 운동이 제약되어 있는 상태이다. 외부에서

전단 응력이 가해지면 이러한 전기 이중층의 일부가 붕괴되고 입자 사이의 반발력이 증가한다. 이러한 작용에 의해 내부구조가 파괴되어 유동이 쉬워지는 것이다. 외부에서 가해지던 힘을 제거하면 전기 이중층이 다시 생성되어 입자의 운동이 점점 어려워지고 결국 내부구조를 다시 회복하여 유동하기 어려운 상태로 돌아가게 된다. Fig. 6에 이러한 요변성의 개념도를 나타내었다.⁵

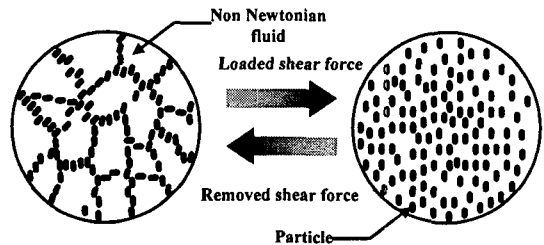


Fig. 6 Thixotropy behavior

3.3 실험조건

광경화성수지를 경화시키기 위해 사용한 자외선 램프와 스크린인쇄기를 사용하였다. 따라서, 실험조건인 경우 인쇄압력, 스퀴지 각도보다는 스크린 메시수와 점도에 따라 설정하였다. 실험에 사용한 자외선 램프의 주요 사양을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Specification of UV lamp

Wave length(nm)	Power (kW)	Energy (mW/cm ²)
325	Max. 2 (Variable)	30

스크린의 메시수에 따른 인쇄의 해상도를 평가하기 위해 300메시, 350메시, 420메시 세 가지의 스크린을 사용하여 각각의 재료에 대하여 해상도를 평가하였다.

해상도를 평가하기 위해 일본전자사진학회에서 제안한 테스트 차트(Test chart No.1-T)를 사용하였다. Fig. 7과 Fig. 8에 각각 테스트 차트의 전체 사진과 인쇄의 해상도 평가용 차트를 나타내었다. 해상도 평가용 차트의 숫자는 mm당 라인수를 뜻하

며 $2^{1/3}$ 씩 증가한다. 이와 같은 시험결과를 바탕으로 하여 실제 빌드업인쇄회로기판(Build-up printed circuit board)을 제작하였다.

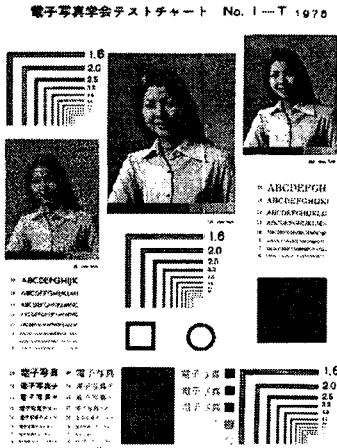


Fig. 7 Test chart No.1-T

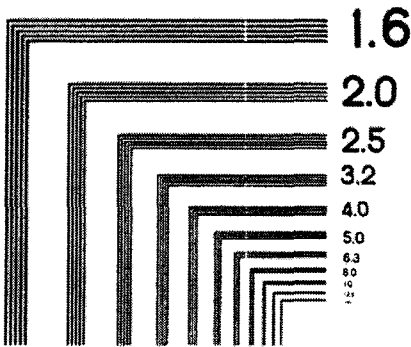


Fig. 8 Resolution chart

4. 실험결과

4.1 광경화성수지(Photopolymer resin)

스크린인쇄에 적당한 점도와 요변성(Thixotropy)을 가지게 하기 위하여 기존의 광경화성수지보다 높은 점도의 광경화성수지에 탄산칼슘(CaCO_3)함유량을 변화시켜 실험하였다.

탄산칼슘함량에 따른 점도변화를 Fig. 9에 나타내었다. 인쇄시험결과, 탄산칼슘함량이 20%인 경

우 번짐 없이 인쇄가 가능하였으며 그때의 점도는 2.8Pas이었다. 탄산칼슘을 첨가하지 않은 경우의 점도가 탄산칼슘 함량이 10%인 경우보다 높은 점도를 나타내었는데 이는 요변성에 의한 결과라고 사료된다.

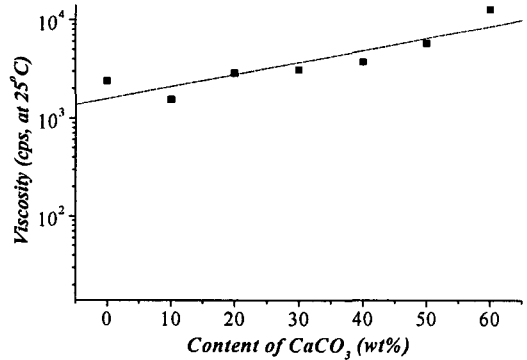


Fig. 9 Viscosity graph

광경화성수지의 경우 하나의 함량에 대해서만 인쇄가 가능하였다. 20%이하의 경우 많은 번짐이 발생하였고, 20%이상의 경우 인쇄가 끊어지는 현상이 나타났다. 인쇄 후, 경화조건은 2kW출력으로 10초간 경화하였다. Fig. 10과 Fig. 11에 스크린 메시수에 따른 선폭, 번짐율을 표시하였다. 광경화성수지의 경우 스크린메시가 증가할수록 인쇄된 선폭이 점점 가늘어지는 경향을 나타내었다. 번짐율의 경우도 스크린메시가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다.

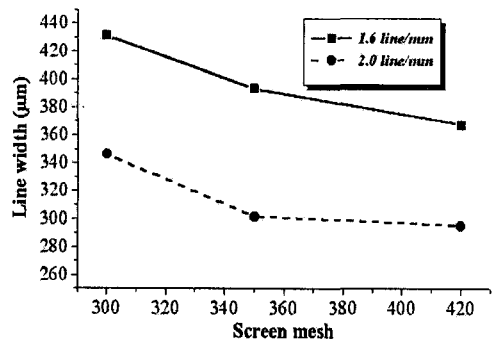


Fig. 10 Graph of line width as screen mesh

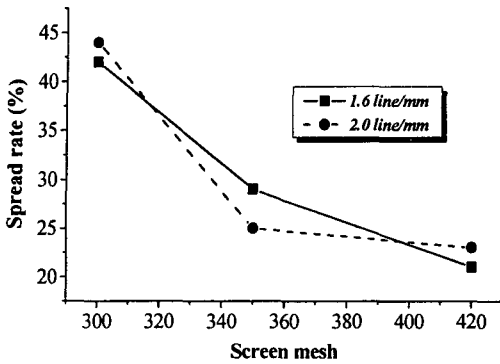


Fig. 11 Spread rate of photo curable resin

광경화성 수지의 최종실험 결과 420mesh를 이용하여 스크린 프린트를 하였을 때, 20%의 번짐율과 250 μ m의 선폭을 나타내고 있다.

4.2 도전성 페이스트 (Conductive paste)

부도체인 광경화성 수지와 동일한 단면에 형성할 도체 물질로는 도전성 페이스트를 사용하여 역시 스크린인쇄법으로 패턴을 형성하였다. 도전성 페이스트의 경우 광경화성이 아닌 열경화성을 사용하였으며, 경화조건은 150 $^{\circ}$ C에서 30분간 경화하였다.

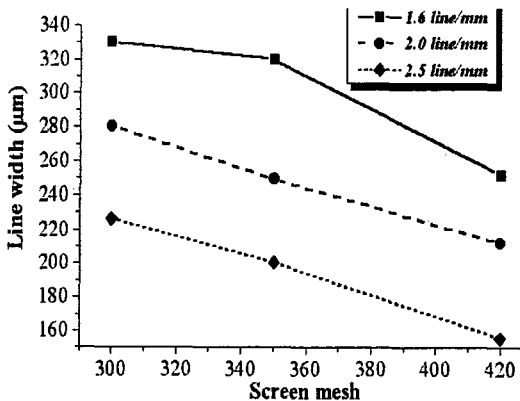


Fig. 12 Graph of line width as screen mesh

Fig. 12와 Fig. 13에 사용된 도전성 페이스트 선폭, 번짐율을 비교하였다. 실험결과 도전성 페이스트의 인쇄에서는 -10%의 번짐율과 150 μ m의 선폭을 얻을 수 있었다. 도전성 페이스트의 경우 광경

화성수지에 비하여 점도가 상대적으로 높기 때문에 번짐율이 부의 값을 나타내며, 구현할 수 있는 선폭 또한 미세함을 알 수 있다.

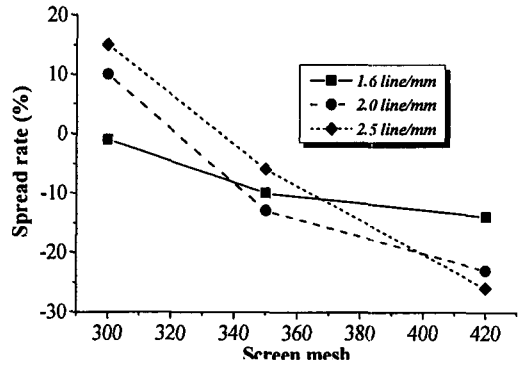


Fig. 13 Spread rate of conductive materials

4.3 실제 빌드업 사례

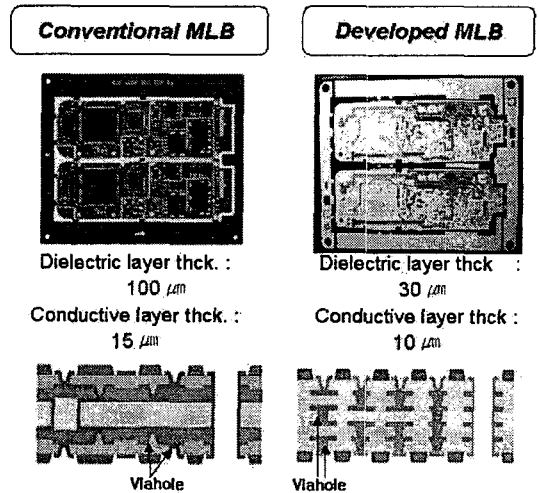


Fig. 14 Comparison of RCC & new MLB process

Fig. 14에서는 기존의 RCC 공법의 MLB와 새로운 공정으로 제작된 MLB시편을 비교하였다. 한층의 두께를 기존 RCC법일 경우 도체와 부도체로 구성된 MLB 한층의 두께가 115 μ m이며, RP의 적층개념을 이용한 새로운 제작방법에서는 40 μ m으로 1/3 수준으로 줄일 수 있었다. 이것은 일반적인 휴대전화용의 6층인 MLB라고 가정하였을 때, 690 μ m두께

의 MLB를 240 μ m으로 줄임으로서 보다 박판이면서 경량의 MLB제작이 가능하였다. 사실, 이것은 단순한 슬라이스 층의 두께를 산술적으로만 합한 것으로 실제 RCC에서는 그림에서와 같이 기판 중간에 두꺼운 코어판이 있어야 하므로, 전체적인 두께와 무게는 훨씬 증가한다고 볼 수 있다.

또한 기존 RCC의 경우 윗층 슬라이스의 비아홀과 아래층 슬라이스의 비아홀을 전기적으로 연결할 때, 윗층과 아래층의 연결이 수직이 되지 않고, 약간 어긋나 있는 비수직적인 비아홀의 배열을 볼 수 있다. 그러나, 새로운 공법에서는 RP적층개념과 스크린인쇄의 마스크와 노광기술을 적절히 조합하여 아래와 위 비아홀의 수직적 배열이 가능하게 되었다. 이것을 통하여 같은 회로의 경우 칩(Chip)을 실장할 수 있는 MLB의 면적을 줄일 수 있고, 그에 따라 신호의 전기적인 흐름을 양호하게 하여 회로 전체의 효율을 향상시킬 수 있다.

5. 결론

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 인쇄재료의 점도가 낮을수록 사용되는 스크린의 메시수가 커야만 높은 인쇄 해상도를 얻을 수 있다.
2. 인쇄재료의 점도가 높은 경우 무조건 높은 메시의 스크린 보다는 적절한 메시의 스크린을 선정해야만 한다.
3. 스크린메시수와 인쇄재료의 점도의 최적화를 통해서 MLB의 허용오차에 부합하는 인쇄회로의 도체/부도체 패턴을 인쇄하였다.
4. 부도체를 RP의 단면형성 방법을 차용하여 제작함으로써 두께를 기존의 MLB보다 60%이상 줄일 수 있었다.
5. 기계공학 위주의 패속조형기술의 적용범위를 전자부품의 제조에도 적용할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. Choi, D. S., Lee, S. H., Shin, B. S., Whang, K. H., Song, Y. A., Park, S.H. and Jee, H. S.,

"Development of a direct metal freeform fabrication technique using CO2 laser welding and milling technology," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 113, pp. 273-279, 2001.

2. Jeong, H. D., "Laminating System," Sung An Dang, 1997.
3. Heisermam, Russell L., "Printed circuit boards," John Wiley & Sons, pp. 1-10, 53-60, 1983.
4. Ahn, B. R., "Printing Technology," Se Jin Sa, pp. 332-333, 1993.
5. Shaw, Duncan J., "Introduction to colloid and surface chemistry," Butterworth Heinemann, pp. 254-255, 1989.