

# LTCC공정의 정밀 적층 기술

이 글에서는 LTCC제품 및 공정을 소개하고, 각 공정에 필요한 기술들을 소개하며 그 중에서 정밀 적층에 영향을 미치는 인자들과 정밀 적층을 구현하는 기술에 대해 소개하고자 한다.

휴대용 이동통신 단말기는 지속적인 소형화, 경박화, 고성능화, 다기능화 되어가고 있고 제품의 수명 주기도 매우 짧아지고 있다. 이러한 추세에 따

라 유럽형 단말기 제조업체에서는 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic : 저온 동시 소성 세라믹) 기술을 이용하여 모듈화된 부품의 채용을 일반화하

고 있다. 이러한 부품으로는 듀얼 또는 트리플 밴드 주파수 송·수신 신호의 스위치 부분과 다이플렉서, 저역통과필터를 하나의 모듈로 집적화한 ASM(Antenna

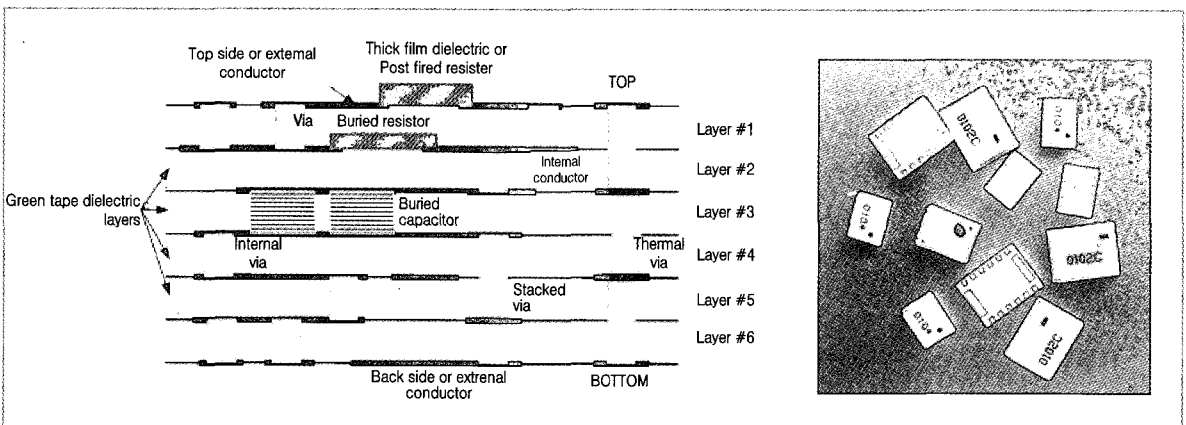


그림 1 LTCC 내부 구조 및 (주)아이엠텍의 ASM, FEM 제품들

Switch Module)이나 ASM의 수 신 단 에 SAW(Surface Acoustic Wave) Filter를 첨가한 FEM(Front End Module)이 있다. 따라서 SAW 필터, 다이플렉스, 저역통과필터 등 개별적인 단독 부품의 적용률은 지속적으로 감소될 것으로 예측되며, 인덕터, 저항, 콘덴서의 수동 소자의 내장과 및 능동 소자 실장이 복합된 다중 칩 모듈(multi-chip module)과, 여러 개의 회로가 하나로 통합된 형태의 복합기능 모듈(multi-functional module)이 지속적으로 증가할 것으로 예측된다.

### LTCC 특징과 공정 흐름

LTCC는 유전체인 세라믹 시트에 내부 회로 연결을 위한 지름 100~200 $\mu\text{m}$ 의 구멍(비아)을 뚫고, 구멍을 도체로 채운 후 시트 윗면에 선풍 100 $\mu\text{m}$  정도의 선이나 일정 면적의 도체로 회로를 인쇄한다. 이렇게 각 층을 인쇄한 후 각 층을 정밀하게 적층하여 다층 기판을 만든다. LTCC는 기존의 FR4나 테프론을 재료로 한 다층기판인 MLB(Multi-Layer Board)에서 재료를 세라믹으로 변경한 것과 유사하다.

LTCC에서 Low Temperature를 사용하는 HTCC(High Temperature Co-fired Ceramic)에 대응되는 개념으로 1,000 $^{\circ}\text{C}$

LTCC는 기존 세라믹 공정에 비해 공정이 유전 손실이 적어 고주파 특성이 좋고, 수동 소자들을 내장할 수 있어 집적화 추수현황이 유리하며 신뢰성도 우수하여 부품의 모듈화에 매우 적합한 기술이다.

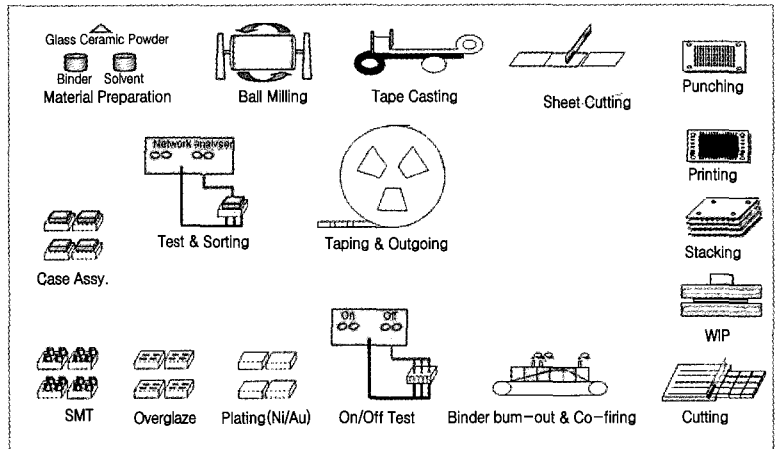


그림 2 일반적인 LTCC 공정 흐름도

를 기준으로 그 이상인 1,550 $^{\circ}\text{C}$  정도에서 소성되는 알루미늄 세라믹을 사용하는 대신 850 $^{\circ}\text{C}$  정도의 비교적 저온에서 소성되는 글라스 세라믹을 사용한다. Co-fired Ceramic이란 기존의 기술로는 유전체를 한층 깔고 소성하고 그 위에 도체를 인쇄하여 소성하는 것을 반복하여 만들던 다층 세라믹을 새로운 기술을 사용하여 여러 시트에 도체를 인쇄하여 적층 한 후 동시에 소성하는 기술을 의미한다.

HTCC는 고온에서 동시소성을 하기 위해, 녹는점이 HTCC의 소성 온도보다 낮은 은이나 금을

사용하지 못하고 텅스텐이나 몰리브덴을 도체로 사용하기 때문에 소성시 도체가 산화되는 것을 방지하기 위하여 수소나 질소 분위기에서 소성하여야 한다. 그러나 LTCC는 내부 도체로 은이나 금을 사용하기 때문에 도체의 내부 저항이 작고, 특별한 분위기를 사용하지 않고 보통의 공기중에서 소성이 가능하다. HTCC에서 사용하는 알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )은 유전율이 9.8 정도인데 비해 LTCC의 글라스 세라믹은 유전율이 6.0~7.8 정도로 상대적으로 낮아 고주파를 사용하는 경우 유전손실이 적어 고주파 특성이

좋다. 또한 콘덴서, 저항, 인덕터의 수동 소자를 표면에 실장하는 기존의 PCB 기판과는 달리 수동 소자를 각층 사이에 인쇄하여 포함시키고 높은 신뢰성을 얻을 수 있기 때문에 부품의 모듈화에 매우 적합한 기술이다.

LTCC 기판의 제작 공정은 다음과 같이 이루어진다. 우선 글라스 세라믹 분말을 바인더와 솔벤트를 섞어 슬러리 형태로 만든 후(material preparation) 알루미늄 불을 넣고 볼밀링을 8~24시간 수행하여 잘 섞어준다(ball milling). 볼밀링된 슬러리를 탈포를 거쳐 적절한 점도로 조절한 후 30~75 $\mu\text{m}$  두께의 PET 필름 위에 용도에 따라 25~300 $\mu\text{m}$  두께로 코팅을 한다(tape casting). 캐스팅된 시트는 롤 형태로 감기고 이를 일정한 크기의 사각형 형태로 자르는 시트커팅 공정을 거치고(sheet cutting) 층과 층을 연결하는 지름 100~200 $\mu\text{m}$ 의 비아 홀과 위치를 고정해주는 지름 1.5~3.0mm의 가이드 홀을 펀칭한다(punching). 펀칭 공정에는 펀치와 다이를 이용한 기계적인 펀칭과 레이저 펀칭 두 가지중 하나를 사용한다. 이렇게 펀칭된 비아홀에 도체를 채우고 각 층별로 선폭 100 $\mu\text{m}$  정도의 회로를 스크린 프린터를 이용하여 인쇄하고 건조하여 회로 패턴을 구현한다.(printing)

패턴인쇄가 완료되면 PET 필

름을 제거하면서 세라믹시트를 정밀하게 적층한다(Stacking). 이렇게 적층된 시트를 진공포장하여 70~90 $^{\circ}\text{C}$ 의 물에 넣고 약 3,000psi 정도의 압력으로 가압하여 압착한다(WIP : Worm Isostatic Pressing). 압착된 시트를 비전인식 마크를 보면서 제품 크기로 절단한 후(cutting), 형상 유지에 사용되었던 고분자 성분인 바인더를 태우고(binder burn-out) 더 온도를 높여 제품을 소성한다(co-firing). 소성된 제품은 On/Off 시험, 도금, SMT(Surface Mount Technology), 케이스 실장 후 리플로우를 가열을 통해 제품으로 완성되고, 최종 특성 시험과 함께 릴 형태로 포장되어 출하된다.

### LTCC에 필수적인 주요 공정 기술

고집적, 미세 LTCC 기판의 성공적인 제작을 위하여 각 공정의 정밀화가 이루어져야 하는데 특히 미세 비아 홀 가공 공정, 정밀 회로 인쇄 공정, 여러장의 세라믹 시트의 정밀 적층 공정의 정밀화는 LTCC 기판 제작의 전기적 성능, 양산 수율 확보 측면에서 반드시 수

행되어야 할 부분이다. 펀칭공정에서 발생하는 버는 인쇄 시 인쇄 정밀도를 낮추고, 비아홀에 도체를 충전할 때 도체의 충진을 방해한다. 또한 적층 시공정에서 PET 필름을 제거할 때, 비아홀에 채워진 도체를 함께 제거함으로써 회로가 단선되는 오픈 불량률 유발하게 된다. 인쇄시 발생하는 회로의 단선 여부와 펀칭된 비아홀과의 위치정밀도, 선폭의 균일도 역시 최종 제품의 수율과 전기적인 특성에 영향을 미치며, 적층시 발생하는 변형과 위 아래 층간의 위치 정밀도도 제품의 양산 수율에 직접적인 영향을 미친다.

LTCC 적층에는 가이드 핀으로 위치를 고정하여 사용하는 가이드 핀 방식의 수동적 위치제어 방식의 적층기와 카메라를 사용하여 위치 인식 마크를 인식한 후, 위치 제어를 하는 능동적 위치제어 방식의 적층기가 있다. 수동방식은 능동 방식에 비해 저렴

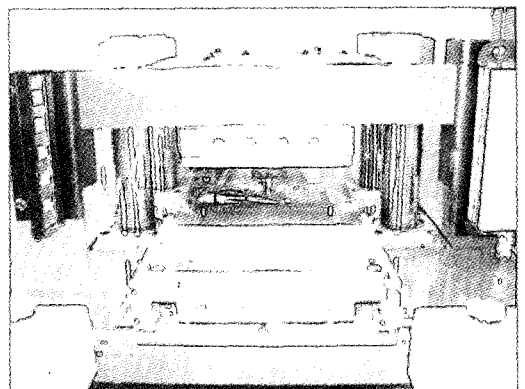


그림 3 가이드 핀을 사용한 수동적 위치 제어 적층기

한 비용으로 제작 가능하며 능동적 위치제어 방식에 비해 적층 위치 오차는 커진다.

## 수동 제어형 정밀 적층 기술의 구현

수동 제어형 적층기는 먼저 아래 필름을 깔고 그 위에 첫장을 일정 온도에서 압력을 가해 붙인 후 세라믹에 붙어있던 PET 필름을 제거한다. 그 위에는 세라믹면이 아래로 향하게 가이드 핀에 시트를 끼우고 일정 온도에서 압력을 가한다. 온도와 압력으로 시트가 아래층과 접촉되면 붙어있던 PET 필름을 제거한다. 이와 같은 순서로 첫장부터 순서대로 적층압을 가하고 PET 필름을 제거하고 제일 마지막장은 필름에 먼저 시트를 접촉시키고 PET 필름을 제거한 후 그 면으로 아래와 접촉시킨다. 이러한 방식은 LTCC 기판의 위, 아래면에 모두 인쇄하여 동시소성하기 위한 방식이다.

이러한 방식에서 적층 오차는 홀과 핀의 과소 공차에 의해 발생하는 가이드 홀의 변형오차, 홀과 핀과의 과다 공차에 의한 공차 오차, 아래쪽 세라믹면에 가해지는 접착력과 위쪽 PET면에 작용하는 접착력이 동시에 작용하면서 생기는 시트의 변형 오차 등이 중첩되어 나타나게 된다. 이러한 오차에 영향을 미치는 인자

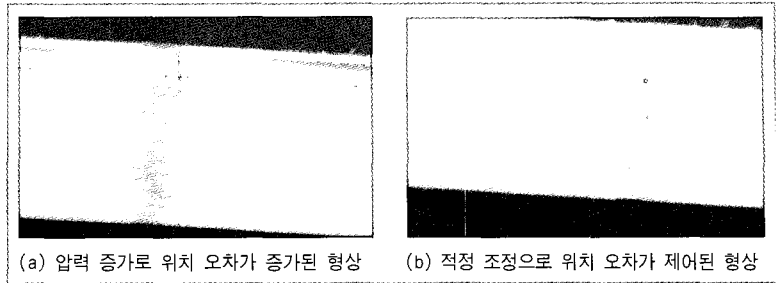


그림 4 압력 변화에 따른 위치 오차

들을 다음 같다.

### 적층 온도와 압력

적층 온도와, 적층 압력을 변화시켜 가면서 최적의 적층 조건을 실험을 통하여 구할 수 있다. 온도와 압력에 따른 접착 강도 실험을 기준으로 최적점을 찾고, 조건에 따른 단면 사진에서 층간에 떨어지는 현상의 발생 여부와 위치 정밀도를 확인하는 것이 필요하다.

적층 압력을 일정하게 하고 적층 온도를 증가시키면 접착강도가 증가하다가 일정 온도에 도달하면 그 수준을 유지한다. 온도가 너무 낮을 경우 시트층간이 서로 분리되는 현상을 보이고 온도가 너무 높을 경우 시트의 변형 오차가 증가하는 현상을 보인다.

적층 온도를 위에서 구한 상한과 하한의 평균점에 고정하고 압력을 변화시키면 압력이 너무 낮을 경우 시트 층간 부리 현상을 보이고 압력 증가에 따라 접착 강도는 증가하나 압력이 너무 강하면 시트의 변형에 의한 정렬 오차가 증가하는 현상을 보인다.

또한 비아홀에 채워진 도체가 아랫면의 도체 패턴을 눌러 변형시킴으로써 패턴이 움푹 들어가는 현상이 발생할 수 있다.

적층 위치 정밀도는 일정 온도 이상에서 온도의 영향을 거의 받지 않는데 비해 압력에 의해서는 많은 영향을 받는다. 지나친 압력이 주어지면 시트의 변형이 일어나 위치 정밀도가 어긋나고 비아홀 주변의 패턴이 심하게 변형된다.

적층 공정상에서 PET 필름의 분리는 실험에서 사용된 온도와 압력에서 큰 영향을 받지 않으며 PET의 코팅 및 시트의 구성에 따라서 분리도가 달라진다.

### 적층기 주요 부품의 설계 및 정밀 가공

국부적으로 과다한 압력이 작용하여 불균일 변형이 일어나서 위치 오차가 증가하는 것을 방지하기 위하여 상판과 하판이 평행을 유지하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 적층기 하판이 상하로 움직일 때 가이드 역할을 하는 4

수동 제어형 정밀 적층 기술은 단순한 위치 제어뿐 아니라 시트의 변형까지 고려해야 하므로 공정 변수인 온도 및 압력 제어, 압력 상승 속도, 부품의 설계, 위치, 공차, 가공 정밀도가 같이 고려되어야 하며, 적층시 위치 오차의 한계를 고려하여 제품을 설계하는 것이 필요하다.

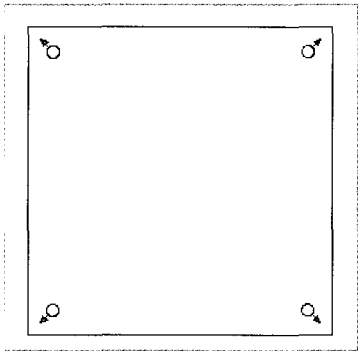


그림 5 하판의 핀 배치 설계

개의 적층기 컬럼의 정밀 가공, 적층기의 상 하 평판의 정밀 가공, 아래 평판의 핀 형상 설계 및 가이드 홀과의 공차 및 정밀 가공, 핀 위치의 정렬 등이 중요하다.

평판의 가공이 정확하지 않으면, 가압 시에 시트가 옆으로 밀려나게 되는 현상이 발생한다. 시트의 위치 정렬은 아래 평판의 4개 핀에 시트의 가이드 홀을 맞추어 적층하는 방식으로 이루어진다. 따라서 핀은 시트가 쉽게 들어가도록 형상 설계 되어야 하며, 정확히 위치 정렬이 되도록 펀칭 홀의 크기를 다수 측정하여 공차를 정하여야 한다. 핀과 가이드 홀 사이에 약간의 유격을 가지고 시트가 쉽게 핀에 들어가면

유격에 의한 오차 발생과 펀칭 위치 오차에 의한 시트 내부가 약간 들리는 현상을 제거하기 위하여 네 개의 핀을 대각선 바깥쪽 방향으로 약간 오프셋 되게 설계하는 것이 필요하다. 이렇게 함으로써 내부 패턴이 균일하게 고정되어 시트의 위치 오차를 줄이게 된다.

### 적용 압력 상승 속도 제어

적층 공정 시 일정 압력의 유지하는 적층 정밀도 향상에 매우 중요하다. 빠르게 하판을 상승시켜 가압을 하도록 하면 그린시트와 상판의 접촉시 충격이 발생하여 그린 시트의 위치가 옆으로 밀리면서 100 $\mu$ m 이상의 위치 오차를 일으키기도 하므로, 이를 막는 것은 매우 중요한 과제이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 2단계 압력 제어 시스템을 사용하여 해결할 수 있다. 하판을 위쪽으로 이송할 때 초기에는 고속으로 이동하고, 상판으로부터 15~20mm 부근에서부터 저속으로 이송하여 느린 속도로 상판과 하판 사이의 접촉이 일어나도록 유도 할 수 있고, 가압도 느린 속

도로 원하는 수치로 진행될 수 있다. 이러한 방법으로 효과적으로 일정 압력을 유지하면서도 충격력에 의한 위치 오차를 발생시키지 않으면서 정밀한 적층 공정을 수행할 수 있게 되었다.

이러한 요소들을 고려하여 적층 정밀도를 제어하면 제품의 양산 공정에서는 약 100~150 $\mu$ m 정도의 범위에서 적층 오차의 제어가 가능하고 오차 요인을 최소한으로 줄이면서 적층 정밀도를 제어하면 최대 70 $\mu$ m 정도까지 오차를 줄일 수 있다. 이러한 오차는, 변형하는 시트를 가지고 핀으로 위치를 제어하며 아래, 위의 접착력이 경쟁하는 기본 공정상의 한계 때문에 가지는 오차의 한계로 보인다. 따라서 수동 제어형 적층기를 사용할 경우 최대 150 $\mu$ m 정도의 위치 오차가 발생하여도 제품에 영향이 최소화 될 수 있도록 제품을 설계하지 않으면 적층 정밀도에 저하에 따라 제품의 전기적 특성이 나빠져서 수율이 낮아지고 결국 낮은 수율 때문에 양산이 불가능한 경우가 발생할 수 있다.

## 능동 제어형 정밀 적층 기술의 구현

능동 제어형 적층기는 시트를 PET가 바닥쪽으로 향하게 놓고 비전 인식을 통하여 위치를 인식한 후 PET를 자동으로 박리한

후 위치 제어를 통해 일정 위치에 적층하는 방법을 사용한다. 시트 자체를 진공을 이용하여 고르게 잘 잡고 있는 상태에서 PET의 박리가 일어나므로 시트 변형에 의한 위치 오차를 최소화할 수 있다. 또한 절대적인 좌표점을 기준으로 모든 층의 시트를 적층함으로써 적층 오차의 누적을 피할 수 있다. 따라서 장비의 반복 정밀도 및 비전 인식 위치 정밀도가 정밀 위치 제어에 매우 중요한 부분을 차지한다. 능동 제어형 적층기에서도 수동 제어형 적층기와 같이 최적 온도 및 압력값을 실험을 통해 결정할 수 있고 장비의 반복 정밀도를 보장하기 위한 이송 부품의 가공 정밀도가 매우 중요하다.

또한 수동 제어형 적층기와 달리 비전 인식 및 위치 제어에 의해 적층 정밀도가 결정되므로 비전 인식때 인식되는 좌표계의 원점과 실제로 위치 제어에 사용되는 좌표계의 원점 및 경사각을 일치시키기 위한 초기 보정 과정이 필요하다. 이러한 과정이 생략되면 인식되는 좌표계와 제어를 위해 사용되는 좌표계의 원점과 경사각이 다를 수 있으므로 초기 위치의 오차가 크게 발생한 경우에는 초기 위치 오차가 작게 발

LTCC 공정 기술의 정밀도 향상을 위해서는 기계적인 반복 정밀도뿐 아니라 재료의 물성 변경 공정 조건 최적화를 포함한 포괄적인 정밀 공정 기술의 개발이 필요하다.

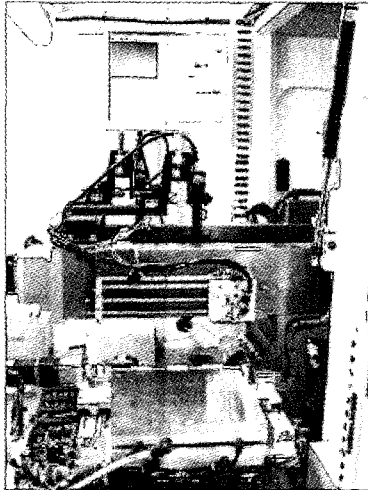


그림 6 비전 인식을 이용한 능동적 위치 제어 적층기

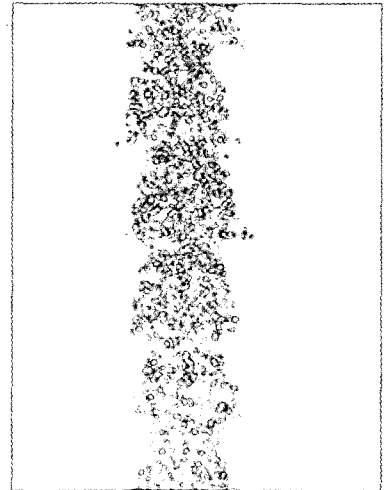


그림 7 적층 오차가 제어된 비아홀

생한 경우에 비해 위치 제어 오차가 클 가능성이 높게 된다.

능동 제어형 적층기의 경우 양산 공정에서 약  $50\sim 80\mu\text{m}$  정도의 범위에서 적층 오차의 제어가 가능하고 오차 요인을 최소한으로 줄이면서 적층 정밀도를 제어하면 최대  $30\mu\text{m}$  정도까지 적층 오차를 줄일 수 있다. 현재 개발되고 있는 제품들에 있어 소형화

와 집적화의 요구가 더 심화되고 있으며 LTCC 각 공정에 더 정밀한 오차 제어가 요구되고 있다. 이러한 요구에 대해 기계적인 반복 정밀도뿐 아니라, 재료의 물성 변경, 공정 조건 최적화를 포함한 포괄적인 정밀 공정 기술의 개발이 필요하다.