

PCB의 열 성능 및 기계적 성능 최적화 방법

글: Alex Mangroli/ Kris Vasoya, Stablcor Inc., Costa Mesa, Calif., USA

엔지니어들은 더욱 가볍고, 더욱 빠르고, 더욱 견고한 PCB를 제조하기 위해 항상 애쓰고 있다. 이 같은 설계를 달성하기 위해, 엔지니어들은 자신들의 설계를 향상시킬 수 있는 대안적인 소재에 관심을 가져야 한다. 온도, 열팽창계수 (CTE), 강도 (rigidity)를 실현시킬 수 있는 수많은 소재들이 있다. 엔지니어들이 적절한 CTE를 갖춘 소재를 실현했다고 여기면, 온도 조건이 맞지 않는 상황이 발생 하는 게 현실이다. 거의 무게를 증가하지 않고도 온도, CTE, 강도를 갖춘 이상적인 PCB를 달성하기 위해 현재 탄소혼합물 래미네이트가 이용되고 있다.

키워드: PCB (Printed Circuit Board), 탄소혼합물 래미네이트, 열전도성, CTE, 강도

도입

PCB (Printed circuit board)는 모든 전자 제품의 구조적, 전기적 핵심 부품이다. PCB의 주요 기능은 부품에 전기적 인터커넥트를 제공하고, 부품을 위한 기계적 지원을 제공해, 부품을 위해 안전한 동작 환경을 제공하는 것이다. 엔지니어가 이상적인 PCB를 설계하려고 할 경우, 정상적으로 갖춰야 할 속성이 따르게 된다. 이에 PCB는 열 전도성 (열 제거)을 더욱 향상시키고, 플립 칩이나 WLP (wafer level package)를 지원할 수 있는 CTE 제어를 제공하며, 모바일 애플리케이션을 위한 매우 가벼운 구조를 가지며, 혼합형 패키지를 지원하고, 더욱 높은 온도에서 신호무결성을 유지한다. 과거에, 무거운 금속 코어나 기계적 스티프너와 같은 다양한 솔루션들이 사용되어 이러한 문제들의 일부를 해결했다. 그러나 이 솔루션들이 모든 문제들을 해결한 것은 아니다. 현재 탄소혼합물 래미네이트는 오늘날 겪고 있는 PCB 문제를 해결하기 위해 사용되고 있다.

이전을 위한 매우 가벼운 구조를 가지며, 혼합형 패키지를 지원하고, 더욱 높은 온도에서 신호무결성을 유지한다. 과거에, 무거운 금속 코어나 기계적 스티프너와 같은 다양한 솔루션들이 사용되어 이러한 문제들의 일부를 해결했다. 그러나 이 솔루션들이 모든 문제들을 해결한 것은 아니다. 현재 탄소혼합물 래미네이트는 오늘날 겪고 있는 PCB 문제를 해결하기 위해 사용되고 있다.

PCB는 과거에 비해 엄청난 진화를 겪고 있다. 과거에 요구되었던 속도와 프로세싱은 기하급수적으로 증가했으며 기술이 발전함

DELECTRIC MATERIAL	Thermal conductivity (W/m · K)	CTE (ppm/°C)	Tensile Modulus (Msi)	Density (g/cc)
E-Glass Fiber	0.3 to 0.4	XY:5/6	10 to 20	2.54
FR-4/E-glass	0.3 to 0.4	XY:16/20, Z:60	3.5 to 4.5	1.6~1.8
Polyimide/E-glass	0.2 to 0.4	XY:16/20, Z:60	3.5 to 4.5	1.5~1.7
Non Woven Aramid/Epoxy	0.2 to 0.3	XY:9/12, Z:120	2 to 2.1	1.25~1.3
PTFE Ceramic (R03000)	0.5 to 0.66	XY:17, Z:25	0.30	2.1~3.0
Non-PTFE Ceramic	0.6 to 0.65	XY:12/16, Z:50	1.6 to 3.9	1.8~1.86

표 1. PCB 제조를 위해 사용되는 유전체 속성

열관리, CTE 제어 & 스티프너 소재				
MATERIAL	Thermal Conductivity (W/m · K)	CTE (ppm/°C)	Tensile Modulus (ppm/°C)	Density (g/cc)
Heavy Copper	385-400	XY:17/19	12 to 16	8.90
Copper-Invar-Copper (CIC)	120-130	XY:5/6	18 to 19	9.90
Copper-Molybdenum-Copper (CMC)	180-220	XY:6/8	N/A	9.8-10
Non Woven Aramid composite	0.2-0.3	XY:9/12, Z:120	2 to 2.1	1.25-1.3
Quartz	N/A	XY:6/8, Z:40	3.5 to 4.5	2.20
Copper C11000 full hard	385-400	17.00	6.40	8.90
Aluminum 5052	150	25	3.76	2.70
Aluminum 6061 T6	150	25	3.76	2.7

표 2. 열 관리, CTE 제어 및 보강재 소재

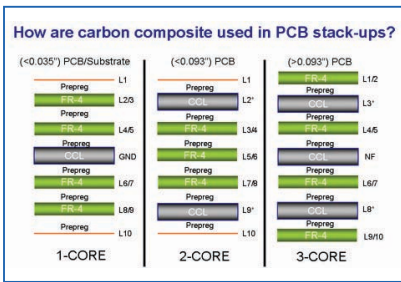


그림 1: PCB에서 탄소 화합물이 사용될 수 있는 방법

에 따라 더욱 더 증가할 것이다. PCB는 온도 피로 특성, CTE (coefficient of thermal expansion) 미스매치, 솔더 접합력, 쇼크 및 진동 문제, 높은 오븐 온도 처리 문제 등과 같은 다양한 문제들에 직면해 있다.

오늘날의 소재와 그 한계점

표 1은 PCB를 만들기 위해 사용하는 유전체 소재의 속성을 보여준다. 이 소재는 낮은 Dk, 저 손실, 고속 신호 성능을 보유하나 PCB를 더욱 강화시키기 위한 열 제한 CTE 혹은 제한된 강도 성능은 갖추고 있지 않다. 따라서, 엔지니어는 이를 대안할 수 있거나 추가적인 열, CTE 제어, 기계적 스티프너 (보강재)로 관심을 돌리고 있다. 엔지니어가 대안적인 소재로 눈을 돌릴 경우, 한 가지 장점은 얻을 수 있으나 다른 영역에서 다른 조건들을 희생하게 된다. 예를 들어, 무거운 구리를 사용하는 것은 열을 허용하나, 엔지니어는 무게와 CTE를 포기해야만 한다. 무거운 구리 솔루션을 효과적으로 사용하고 소재의 CTE 효과를 대등하게 하기 위해, 소재는 PCB의 중앙 내부에 위치되어야 한다. 두꺼운 금속도 애플리케이션에 구멍을 뚫을 때 한계가 있다. 소재는 미세한 라인과 소형 스루 홀을 이용해도 고밀도 인터커넥트 (HDI: High density interconnect) PCB에서 성능을 처리하지 못한다. 본질적으로 PCB는 각 보드에서 신호를 연결해 동작하는 매우 작은 신호를 갖춘 개별적인 PCB 2개가 될 것이다. 이 설계는 설계자가 미세한 라인과 신호

열, CTE 제어, 강도, 경량의 소재

전기적 전도성 소재	열 전도성 (W/m · K)	CTE (ppm/°C)	인장탄성률 (Msi)	밀도 (g/cm³)
낮은 계수 탄소 섬유	8 ~12	-0.41	30~35	1.7~1.8
높은 계수 탄소 섬유	300~325	-1.5	100~114	2.1~2.2
구리 피복식 탄소화합물*	XY: 75~175, Z: ~1	2~5	10~25	1.65~1.7

* STABLCOR(r) 라미네이트로 상용화됨

표 3. 구리 피복식 탄소화합물 (STABLCOR(r))

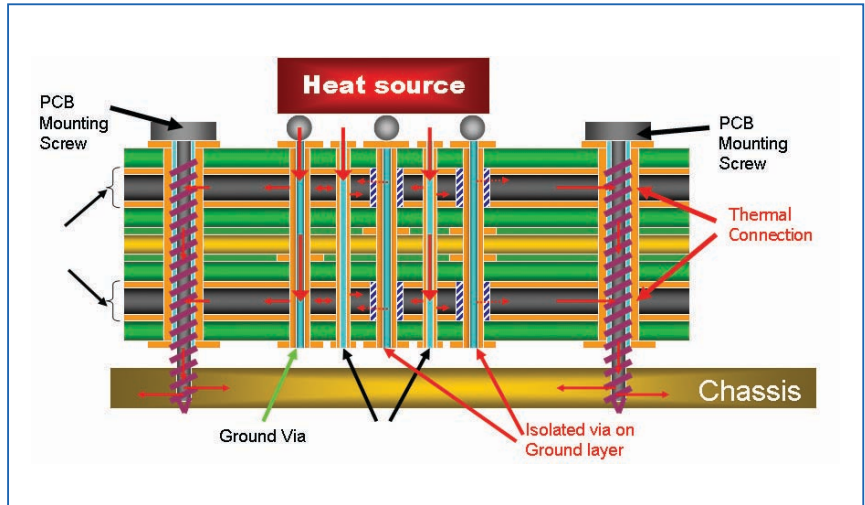


그림 2:

로 설계하도록 한계를 만들기 때문에, 전반적으로 PCB 성능에 제한이 따른다.

또 다른 예는 알루미늄이다. 이 소재는 열, 인장탄성률 (tensile modulus), 밀도 관점에서 잘 마무리된다. 그러나 이 소재의 문제점은 CTE 제어가 결여되어, 25ppm/°C로 확장된다는 것이다. 이것은 추가적인 기계적 보강재를 비롯해 IC의 연결을 유지하기 위해 필요한 다른 솔루션이 존재해야 한다는 것을 의미한다.

기존의 실험적 소재와 중량감이 있는 구리는 새로운 영역에서 엔지니어에게 문제를 야기할 수도 있다. 전반적으로 이러한 소재들은 공정하기가 어려우며, 열 전도성이 우수하지 못하고, (CIC & CMC를 위해) 특별한 패수 처리 조건을 요구하며, 두꺼운 금속 솔루션을 사용해 수율이 좋지 못할 뿐만 아니라 HDI 애플리케이션에서도 한계가 있다.

PCB에 임베디드된 탄소화합물 라미네이트

과거에 사용된 소재의 한계점이 고성능 소재에 대한 필요성을 야기시켰다. 탄소화합물 라미네이트 (CCL: Carbon composite laminate)는 열, CTE 제어, 강도 성능이 향상되어 폭넓은 PCB 솔루션에서 현재 사용되고 있다.

탄소화합물 라미네이트 속성

시장에 상용화된 탄소섬유는 현재 2가지 형태가 있다. 첫 번째는 낮은 계수의 탄소 섬유이다. 낮은 계수의 탄소 섬유는 8 ~ 12 W/m.K 열 전도성, -0.41 ppm/°C CTE, 30 ~ 35Msi의 인장탄성률, 1.7~1.8g/cc의 밀도를 갖는다. 높은 계수의 탄소 섬유는 300 ~ 325W/m.K의 열 전도성을 갖는다. 인장탄성률은 100 ~ 114Msi이며, 이것은 낮은 계수

의 탄소 섬유보다 실질적으로 더 높다. 섬유가 탄소화합물 레미네이트로 몰드될 때, 각 측면에서 2개의 구리 시트를 이용한 레미네이트는 X와 Y 방향에서 75 ~ 175w/m.K의 열 전도성을 가지며 (구리 시트가 없을 경우 3 ~ 90W/m.K, 2 ~ 5ppm/C의 CTE, 11 ~ 40Msi의 인장탄성률, 1.65 ~ 1.7g/cc의 밀도를 갖는다. 표 3은 높은 계수 및 낮은 계수의 탄소 섬유에 대한 특성과 구리 피복식 탄소화합물 레미네이트의 속성을 정리한 것이다.

PCB에서 탄소화합물이 어떻게 사용될 수 있는가?

탄소화합물 레미네이트는 전기적 전도성을 갖추었다. 따라서, 이 레미네이트는 유전체가 아니라 접지판 레이어로 사용된다. 이 소재는 PCB에서 여러 방법으로 배치될 수 있다 (그림 1). 더 얇은 PCB/기판 (<0.035)의 경우, 탄소화합물의 단일 층은 PCB의 중앙에 배치될 수 있다. 중간 두께의 PCB (<0.08)의 경우, CCL의 층은 각 표면 층 아래에 배치될 수 있다. 이것은 PCB의 열, CTE, 강도에 대한 이상적인 최적화를 가능하게 할 것이다. 더 두꺼운 PCB의 경우, 열 및 기계적 속성을 향상시키기 위해 2개의 이상의 CCL이 배치될 수 있다.

탄소화합물 레미네이트 장점

PCB에 대해 탄소화합물 레미네이트 (CCL: carbon composite laminate)의 3가지 핵심 사항은 열, CTE, 강도 성능의 향상이다. PCB는 거의 무게를 증가시키지 않고도 이러한 3가지 속성을 통해 향상될 수 있어, 더욱 가볍고, 빠르고, 강한 PCB를 만들 수 있다.

열 전도

PCB에 대해 탄소화합물 레미네이트 (CCL: carbon composite laminate)의 3가지 핵심 사항은 열, CTE, 강도 성능의 향상이다. PCB는 거의 무게를 증가시키지 않고도 이러한 3가지 속성을 통해 향상될 수 있어, 더욱 가볍고, 빠르고, 강한 PCB를 만들 수 있다.

기존의 구리 코어나 두꺼운 금속 솔루션은 PCB의 열 속성을 향상시키기 위해 사용되었다. 이 소재는 PCB가 등방성 방식으로 열을 퍼지게 할 수 있게 했다. 예를 들어 순환식 패턴이다. 이 소재의 문제점은 다음과 같다. 즉 등방성 냉각이 PCB에서 핫 스팟으로부터 열이 빠르게 제거될 수 없게 한다는

점이다. 열은 더욱 느린 순환식 패턴으로 방출된다.

탄소화합물 레미네이트는 수평 방식의 (측면식) 열 전도성을 갖는다. 예를 들어, 탄소화합물 레미네이트를 통해 열은 x와 y 평면으로 발산될 수 있으며 핫스팟에서 멀어진다. 열은 서멀이나 접지 구리 바이어스를 통해 열-생성원에서 탄소화합물까지 흐른다. 일단 열이 탄소화합물에 부딪히면, 이 열은 PCB 전반에 걸쳐 급속하게 퍼지며, 이방성 방식으로 보드 끝까지 퍼지게 된다. 열은 신호 바이어스를 통해 방출될 수 있는 성질이 있다. 열이 콤포지트에서 분리된다고 해도, 이 열은 탄소를 얻기 위해 에폭시/폴리머 장벽을 통해 작은 거리를 통과해야만 한다. 따라서, PCB는 열 스프레더로서의 역할을 수행해, 집적회로 (IC)가 더욱 더 서늘하게 동작할 수 있게 한다.

CTE

현재 산업에서 흔하게 사용되고 있는 패키지 기술에는 3가지 유형이 있다. 유기적 패키지 (16-19ppm/C), 세라믹 패키지 (6-8ppm/C), DDA (direct die attach) 혹은 플립 칩 (2-4ppm/C)이 바로 그것이다. FR4는 17 ~ 19ppm/C의 CTE를 가지고 있으며, 이것은 유기적 패키지와 잘 동작한다. 그러나 산업은 낮은 CTE 패키지에 대한 수요를 이끌어내고 있기 때문에, 세라믹 패키지나 심지어 DDA/플립 칩 부품과 매치할 수 있는 CTE를 맞추는 PCB에 대한 수요가 증가하고 있다.

과거에, 케블라 (Kevlar)처럼 부직포 아라미드 소재는 PCB의 CTE를 제어하기 위해 사용되었다. 이 소재는 수평 방향 (in-plane) CTE (9 ~ 12ppm/C)와 잘 동작한다. 이 소재의 문제점은 스루-홀 (through-hole)의 신뢰성 문제를 야기시키고 드릴 작업을 어렵게 만들 수 있는 급진적인 z-축 확장 (110 ~

유전체	수평 방향 CTE (ppm/°C)
FR-4 / E-glass	16~20
Polyimide/E-glass	15~19
Non Woven Aramid/Epoxy	9~12
PTFE Ceramic (R03000)	17.00
Non-PTFE Ceramic (R04000)	12~16

표 4. 유전체의 수평 방향 CTE

유전체	수직 방향 CTE (ppm/°C)
FR-4/E-glass	55~60
Polyimide/E-glass	50~55
Non Woven Aramid/Epoxy	110~120
PTFE Ceramic (R03000)	25~40
Non-PTFE Ceramic (R04000)	50~55

표 5. 유전체의 수직 방향 CTE

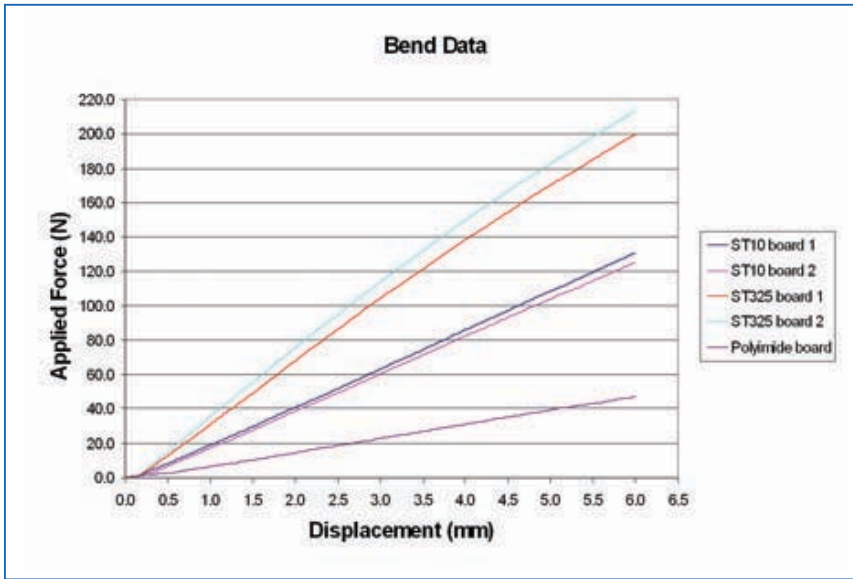


표 6. 폴리이미드-기반 소재와 비교된 탄소화합물 소재

샘플 번호	샘플 ID	6mm (N)에서 최대 하중	샘플 #5에 대한 강도
1	ST10 board 1	130.9	277.3%
2	ST10 board 2	125.4	265.7%
3	ST325 board 1	199.9	423.5%
4	ST325 board 2	213.4	452.1%
5	Polyimide board	47.2	Baseline

표 6. 표준 결함 테스트 결과

120ppm/°C 문제를 가진다는 점이다. 이 소재는 습기를 흡수하며 강도가 우수하지 않다. 이 소재는 2006년 후반을 기점으로 공급이 중단되었다.

현재 탄소화합물 레미네이트는 PCB의 CTE를 제어하기 위해 사용되고 있다. 이 소재는 엔지니어의 표면 CTE의 요건에 맞출 수 있는 속성을 보유했다.

강도 (Rigidity)

강도는 수많은 PCB에서 여러 관점으로 중요한 역할을 담당한다. 핵심은 모바일 애플리케이션에 대한 쇼크 & 진동이다. PCB 설계자는 PCB의 구조를 견고히 하기 위해 여러 번 기계적 보강재를 사용한다. 기계적 보강재의 어려움은 PCB에 무게 가중을 부가

한다는 점이다.

현재 탄소화합물은 PCB가 더욱 더 강해질 수 있다. 독자적인 테스트 실험실에 수행된 결함 테스트에서, 낮은 계수의 탄소화합물은 폴리이미드 테스트 샘플보다 ~275% 더욱 강하다. 높은 계수의 탄소화합물 샘플은 폴리이미드 테스트 샘플보다 ~450% 더욱 강했다.

밀도

무게 가중은 PCB의 열 및 기계적 성능이 향상되었을 때 매우 중요한 문제가 되고 있다. 이상적인 PCB를 만들기 위해 수많은 솔루션의 사용은 상당히 많은 무게 가중을 부여한다. 탄소화합물 레미네이트는 밀도나 무게에서 FR4와 비교할 수 있다.

Material (Laminate)	Density gm/cm3
FR4	1.80
Polyimide	1.70
Carbon Composite	1.65
Aluminum	2.7
Copper	8.92
CIC	9.9

표 7. 레미네이트 밀도 비교

결론

엔지니어가 PCB에 적합한 이상적인 전도 소재를 찾기 위해, 엔지니어는 하나 혹은 여러 솔루션에 관심을 가져야 하한다. 그러나 이상적인 솔루션을 여전히 찾지 못할 수도 있다. PCB 내에서 탄소화합물 레미네이트를 이용함으로써, 엔지니어는 더욱 효율적인 PCB를 생성할 수 있는 온도, CTE, 강도 성능을 최대화할 수 있다.

Alex Mangrolia는 Stalcor Inc.의 마케팅 및 PR 담당 매니저이다. Kris Vasoya는 Stalcor Inc.의 CIO이다. Mangrolia의 이메일 주소는 alex.mangrolia@stalcor.com로 연락할 수 있다.