

Slim Multi-Layer Printed Circuit Boards 의 굽힘 강도 개선에 관한 실험적 연구

김상목 † · 구태완* · 송우진** · 강범수***

Experimental Study on the Improvement of Flexural Strength In Slim Multi-Layer Printed Circuit Boards

Sang-Mok Kim, Tae-Wan Ku, Woo-Jin Song and Beom-Soo Kang

Key Words : multi-layer PCB(다층 인쇄회로기판), flexural strength(굽힘 강도), three point bending test(굽힘 강도 실험), CFRP(카본섬유 강화플라스틱)

Abstract

Recently, demands on thin multi-layer printed circuit boards(PCB) have been rapidly increased with broad spread of personal portable digital appliances such as multi-media. In case of mobile phone, however, the fact that PCBs have low flexural strength might cause defects. The purpose of this study is to improve the flexural strength by substituting the well-known GFRP(glass fiber reinforced plastic) for CFRP(carbon fiber reinforced plastic). Firstly, finite element simulation was carried out using ABAQUS to find out a unique CFRP layer that has a role to sustain the applied forces mainly in PCB. Secondly, three point bending tests were conducted with the newly designed CFRP PCB model to verify the improvement of the flexural strength. Consequently, it is shown that PCB layered with the CFRP on both outer sides of the board can be used to improve the flexural strength effectively.

1. 서 론

IT 산업의 발달로 휴대용 전자기기의 보급이 확대되고, 기존의 가전기기들도 점차 슬림화 되고 있는 추세 속에서 그 제품들에 실장 되는 multi-layer PCB(Printed circuit board)의 박형화와 경량화 여부가 그 제품의 시장에서의 경쟁력으로 직결되고 있는 실정이다. 특히 최근에는 휴대폰 시장에서 슬림화 추세가 가속되고 있다. 휴대폰 시장에서 기술력 경쟁은 더욱 낮고, 더욱 가볍고, 더욱 기능성 있는 제품을 만들 수 있는냐가 관건

이기 때문이다. 단적인 예로써, 2004 년 말에 M社의 RAZR Phone 출시로 알 수가 있다. RAZR 는 두께 13.9mm 의 폴더형 슬림 휴대폰이다. RAZR 는 단기간에 가장 많이 팔렸으며, 우리나라를 비롯하여 전세계적으로 5000 만대 이상 팔렸다. 그 후로 국내의 Samsung, LG 등이 슬림 휴대폰 개발에 박차를 가하고 있으며, 세계적으로도 슬림 휴대폰이 많이 출시가 되고 있다.

휴대폰의 두께를 줄이기 위해서는 휴대폰 내부에 있는 부품들의 크기가 작아져야 하며, 그 부품들을 고정시키고 효율적으로 연결시켜주는 multi-layer PCB 의 두께 역시 줄어들어야 한다. Multi-layer PCB 의 두께가 줄어들면 외부의 충격에 더욱 민감해진다. 휴대폰의 경우 외부의 순간적인 큰 충격과 지속적인 자극은 고장과 직결되는 가장 큰 요인이다. 순간적인 충격으로 인한 고장은 PCB 위에 실장 된 칩이 부착된 곳 주변의 resin 에

† 부산대학교 항공우주공학과 대학원
E-mail : sm_kim@pusan.ac.kr
TEL : (051)510 - 1531 FAX : (051)512 - 4491

* 부산대학교 항공우주공학과

** 부산대학교 산학협력단

*** 부산대학교 항공우주공학과

crack 이 발생하거나 BGA(Ball Grid Array)의 땀납(Solder Joints)부분의 결함 때문에 발생한다. 또한, 지속적인 자극은 휴대폰으로 게임을 하거나 문자 메시지를 보낼 때 버튼을 누르면서 발생을 한다. 이러한 자극은 큰 충격은 아니지만 지속적이기 때문에 휴대폰의 고장 발생에 영향을 준다.

순간적인 충격이나 지속적인 자극은 multi-layer PCB 에 굽힘 하중으로 작용된다고 생각할 수 있다. Multi-layer PCB 가 슬림화가 되면 굽힘 강도가 크게 낮아지게 되고 위와 같은 고장이 발생할 확률이 더욱 높아지게 된다. 따라서 슬림형 PCB 의 굽힘 강도를 개선하기 위하여 복합재료 형태로 적층 되어 있는 PCB 의 lamina 를 기존의 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic)대신 강도가 높은 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)으로 대체를 하고자 하였다. 대체 CFRP 가 적용된 시제품을 제작하여 현재 휴대폰에 사용되는 슬림형 PCB 와 굽힘 강도를 실험적으로 비교를 하였다.

2. 실험내용

2.1 이론적 배경

굽힘 하중(flexural load, P)에 의한 복합재료의 굽힘 강도는 ASTM D790-3 에서 식 (1)과 같이 정의 된다.

$$\frac{P}{\delta} = \frac{4E_B b d^3}{L^3} \quad (1)$$

$$E_B I = \frac{L^3 P}{48 \delta} \quad (2)$$

여기서 b는 재료의 폭을 나타내고 d는 재료의 두께를 나타낸다. L은 굽힘 강도 실험을 할 때 재료를 지지하는 지지점 사이의 거리를 나타낸다. 굽힘 하중(P)의 크기와 하중에 의한 수직 변형(δ)은 three point bending test를 통하여 결정이 된다.⁽⁵⁾

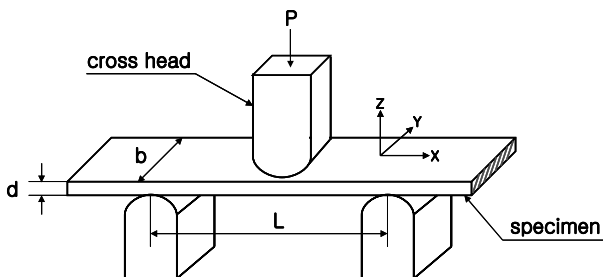


Fig. 1 Three point bending test methods parameter

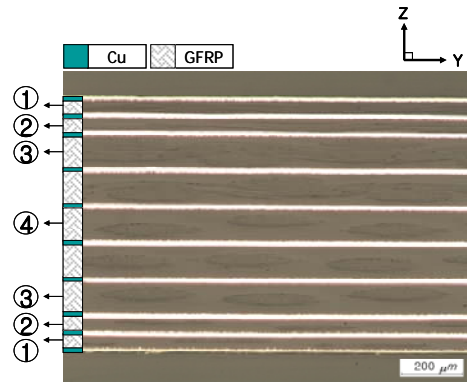


Fig. 2 Multi-layer PCB cross section

기준 모델 Model Number: 1			비교 모델 Model Number: 2			비교 모델 Model Number: 3		
①	50	GFRP	①	50	SUS	①	50	GFRP
②	50	GFRP	②	50	GFRP	②	50	SUS
③	100	GFRP	③	100	GFRP	③	100	GFRP
④	100	GFRP	④	100	GFRP	④	100	GFRP

비교 모델 Model Number: 4			비교 모델 Model Number: 5		
①	50	GFRP	①	50	GFRP
②	50	GFRP	②	50	GFRP
③	100	SUS	③	100	GFRP
④	100	GFRP	④	100	SUS

Fig. 3 Simulation model structure and thickness (μm)

식 (1)은 두께에 따라서 PCB 의 강도가 달라진다는 사실을 잘 나타내고 있다. 폭과 길이는 동일하지만 두께가 다른 두 PCB 를 고려해보면, 외부 수직하중(P)는 두께(d)의 세제곱에 비례를 하게 된다. 즉, 0.8mm 두께를 갖는 PCB 가 1.0mm 의 두께를 갖는 PCB 보다 약 2 배 정도 강도가 감소한다는 사실을 알 수 있다. 그러므로 multi-layer PCB 의 두께가 얇아지면 강도가 크게 감소할 것으로 예상된다. 굽힘 강도를 개선하기 위해서는 굽힘 강성(flexural stiffness, $E_B I$)를 개선해야 한다. 본 연구에서는 multi-layer PCB 의 두께를 1.0mm 에서 0.82mm 로 축소하였을 때 발생하는 문제를 개선하기 위하여 굽힘 강성을 강화시킬 방법을 실험적 검증은 통하여 제시하였다.

2.2 유한요소 해석

Fig.2 는 three point bending test 를 실시하기 위해 제작한 multi-layer PCB 의 단면 나타내며, Fig.1 에서 시험 시편의 빗금 친 우측 단면을 나타낸 것이다. 이것은 유한요소 해석과 실험을 수행 할 때 기준 모델이 된다. 총 19 개의 층으로 구성이 되어 있고 Fig.2 의 ④는 중심 층이며 이 층을 중심으로 각각의 동일한 재료가 대칭으로 구성된다.

Table.1 Mechanical properties of material

Material	E_1 (GP)	E_2 (GP)	G_{12} (GP)	ν_{12}	ρ (kg/m^3)
GFRP	45	12	4.4	0.25	1940
Copper	103	103	39.7	0.33	8940
SUS	200	200	86	0.3	7860

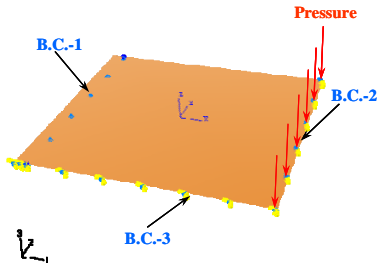


Fig. 4 ABAQUS 1/4 modeling and boundary condition

Fig.3 은 굽힘 하중을 지지하는 주요 층을 파악하기 위해 유한요소 해석case를 나타낸 것이다. Fig.3의 기준 모델 1 은 Fig.2의 단면과 동일하며 비교 모델 2~5 는 기준 모델 1에서 GFRP층을 굽힘 강도가 큰 SUS로 대체한 경우이다. SUS의 경우 굽힘 강도가 크기 때문에 대체소재의 영향을 확인하는데 용이했으며, 굽힘 하중을 지지하는 층을 쉽게 파악할 수 있었다. ABAQUS software를 이용하여 Fig.4 과 같이 1/4 대칭 모델링을 수행하고 단순 지지 경계조건을 적용하여 three point bending simulation을 실시하였다. 이때, 적용되는 재료의 물성값은 Table.1 과 같다.⁽²⁾

2.3 시험시편 및 실험장비

현재 사용되고 있는 1.0mm 두께의 multi-layer PCB 를 0.82mm로 제작 하여 기준 모델로 삼는다. Fig.2 에서 그 단면이 잘 나타나 있다. 기준 모델이 되는 PCB 의 바깥층 GFRP (①)의 두께는 $50\mu m$ 가 되도록 제작하였다. 이 부분에 대체소재

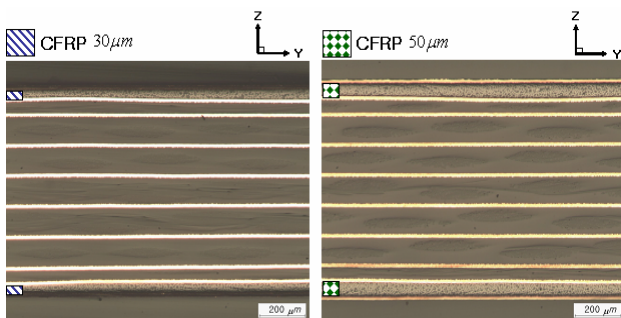


Fig. 5 PCB cross section applied with CFRP

Table. 2 Test model total thickness

	A	B	C	D	E
Total Thickness(mm)	0.82	0.78	0.82	0.77	1.0

Table.3 Instron 4485 specification

load cell capacity	step stroke	cross head speed	load error
1kN	0.1mm	0.001~500 mm/min	-0.5 % ~ +0.5 %

인 CFRP 를 적용하여 CFRP 의 두께가 $30\mu m$, $50\mu m$ 가 되도록 각각의 시제작품을 제작하였다. Fig.5 는 대체소재 CFRP 가 적용된 PCB 의 단면을 나타낸 것이다. 이것은 광학현미경 50 배로 촬영한 것이며, 이것을 통하여 CFRP 가 원하는 형태로 적층 되었음을 알 수 있었다. 실제 사용되고 있는 PCB 와 굽힘 강도를 비교하기 위하여 두께가 얇은 서로 다른 휴대폰 2 대를 분해하여 기판을 획득하였다. 이때, 시제작품과 휴대폰 기판의 크기는 $40mm \times 22mm$ 로 제작 하였다. Table.2 는 시제작품과 휴대폰 기판의 각각의 두께를 나타낸 것이다. 편의를 위하여 기준모델을 A, $30\mu m$ CFRP 가 적용된 모델을 B, $50\mu m$ CFRP 가 적용된 모델을 C, 휴대폰 기판을 각각 D, E 로 나타내었다. 실험 장비는 Instron 4485 를 사용하였다. Table.3 은 실험장비의 성능을 나타내고 있다.

2.4 실험 방법

실험은 ASTM D790- 3 에서 제시되어 있는 three point bending test methods 를 참고하였으며, 지지점 사이의 거리(L)를 34mm 로 하며 cross head speed 를 5mm/min 으로 실험을 진행 하였다. 실험은 수직 변형(δ)가 3.3mm 가 될 때까지 진행하고 굽힘

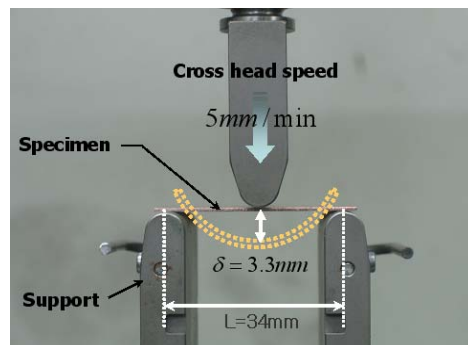


Fig. 6 Test condition

하중(P)가 가해지는 지점에서 3.3mm까지의 Data를 비교 분석한다⁽³⁾

3. 결과 및 고찰

3.1 유한요소 해석 결과

기준 모델과 비교 모델을 ABAQUS software 에서 three point bending simulation 하였으며, 그 결과를 Fig.7 에서 기준모델에 대한 비로써 나타내었다. 비교모델 2 번을 통하여 가장 바깥 GFRP 층을 대체소재로 보강을 했을 경우 굽힘 강도가 가장 크게 나타난다는 사실을 알 수 있었다. 보강하는 SUS 의 두께는 $50 \mu\text{m}$ 로 얇았지만 $100 \mu\text{m}$ 의 두께가 적용된 4, 5 번 비교모델보다 기준모델에 대한 굽힘 강도가 크게 나타난 것이었다. 따라서 비교모델 2 의 대체소재 층이 굽힘 하중을 주로 지지한다고 판단 할 수 있었다. 그러므로 비교모델 2 와 같이 가장 바깥 층에 대체소재를 적용해야 작은 양의 대체소재로 큰 보강 효과를 얻을 수 있다.

3.2 굽힘강도 실험 결과

Fig. 8 의 결과는 3 개의 시제작품과 2 개의 휴대폰기관의 three point bending test 에 의한 3.3mm 지점까지의 굽힘 강도를 나타낸다. 휴대폰 기관 D, E 를 제외한 A, B, C 모델은 각각 10 번의 bending test 를 실시하였다. Fig. 9 는 A, B, C 모델의 실험결과 값을 평균하여 나타낸 결과와 실험모델의 굽힘 강성(flexural stiffness, $E_B I$)을 나타낸 결과이다. 휴대폰 기관 D 는 E 보다 두께가 얇기 때문에 굽힘 강도가 작게 나왔다. 기준모델 A 는 실제 사용 중인 휴대폰 기관과 차이가 있지만 두께의 영향을 고려한다면 기준모델로써 적절하다고 판단되었다.

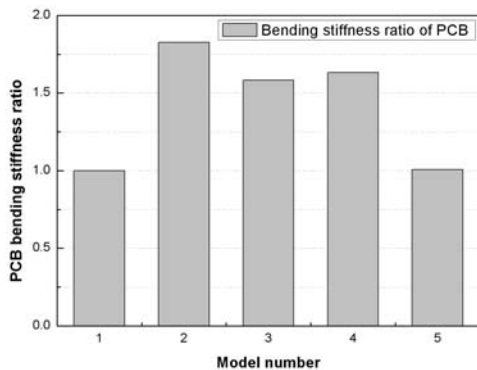


Fig. 7 Influence of reinforce materials locality to PCB bending stiffness

대체모델 B, C 는 simulation 을 통하여 기준모델의 가장 바깥 GFRP 층을 CFRP 층으로 대체를 하였다. 그 결과 대체모델 B 는 기준모델보다 두께가 $20 \mu\text{m}$ 작지만 굽힘 강도는 1.9 배 증가 하였다. 대체모델 A 는 기준모델과 전체 두께는 동일하지만 굽힘 강도는 2.7 배 증가 하였다. 이상의 실험 결과를 통하여 굽힘 강도가 큰 자재를 적절한 층에 적용하면 굽힘 강성($E_B I$)을 크게 강화시킬 수 있다는 사실을 검증할 수 있었다.

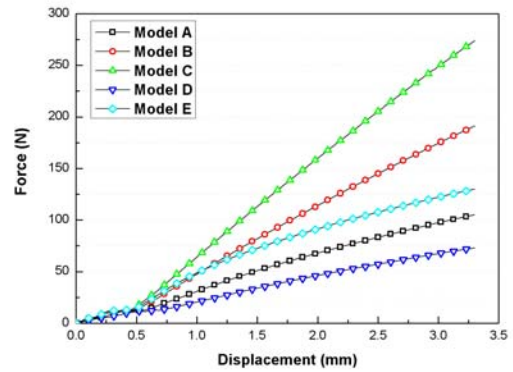


Fig. 8 Three point bending test result

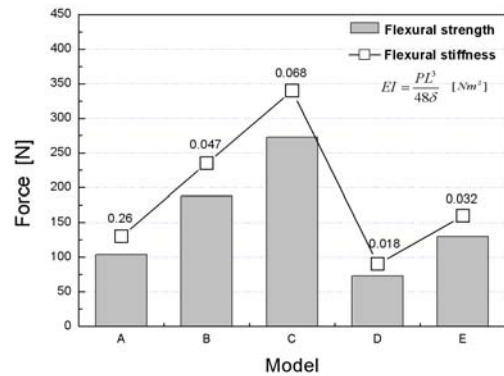


Fig. 9 Flexural strength and flexural stiffness

4. 결론

본 연구에서는 multi-layer PCB 의 굽힘 강도 개선을 위하여 유한요소 해석 결과와 실험을 통해 대체모델에 대한 굽힘 강도 평가를 수행하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 유한요소 해석을 통하여 multi-layer PCB 의 굽힘 하중을 지지하는 층을 조사한 결과, 바깥 층에 위치한 GFRP 가 가장 큰 하중을 견디는 것을 알 수 있었다.

(2) three point bending test 를 통하여 대체 모델에 대한 굽힘 강도 평가 수행 결과, 기준 모델과 실제 휴대폰에 사용되는 모델보다 굽힘 강도가 증가 하였다. CFRP 가 30 μm 적용된 대체 모델은 굽힘 강도가 1.9 배 증가 하였고, CFRP 가 50 μm 적용된 대체 모델은 2.7 배까지 증가 하였다.

이상의 결과로부터, multi-layer PCB 의 바깥 층에 기존의 GFRP 보다 강도가 높은 CFRP 등의 재료를 대체하거나 바깥 층 두께를 증가 시키면 굽힘 강도를 크게 개선 할 수 있었다.

후 기

"본 연구는 교육인적 자원부 지원의 제 2 단계 BK21 사업과 최우수실험실 지원사업의 연구결과입니다." 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Zheng-Ming Huang, 2004, " Progressive flexural failure analysis of laminated composites with knitted fabric reinforcement", *Mechanics of Materials* 36, pp.249-256.
- (2) Lei L. Mercado, Betty Phillips, Shubhada Sajasarbudhe, Joe Paul Sedillo, David Bray, Eric Monroe, Kang Joon Lee, George Lo, 2006, "Handheld use condition-based bend test development", *IEEE*, Vol.29, No.2, pp.240-248.
- (3) 2003, "Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials", *ASTM*, D790-03, pp.1-11.
- (4) Yu. M. Tarnopol'skii, T. Kincis, 1985, "Static test methods for composites", *VNRC*, pp.236-239.
- (5) Manabu Kanemitsu, Hidetoshi Nakayasu, 2000, "Factor analysis of lamina combination for flexural fracture of CFRP", *ACCM*, Vol.2, pp.993-998.