

PCB 열 압착 공정에서 잔류응력 계산을 위한 방법

이상혁[†] · 김선경

서울산업대학교 나노아이티공학과 · 서울산업대학교 금형설계학과

A method for estimating residual stress development of PCB during thermo-compression bonding process

Sang-Hyuk Lee[†] · Sun-Kyung Kim

Department of Nano IT Engineering, Seoul National University of Technology

Department of Die & Mold Design, Seoul National University of Technology

Abstract : In this work, we have proposed a method for calculating the residual stress developed during the PCB thermo-compression bonding process. Residual stress is the most important factor that causes PCB warpage in accordance with the pattern design. In this work, a single-layered double-sided PCB, which is comprised of the dielectric (FR-4) substrate in the middle and copper cladding on the both top and bottom sides, is considered. A reference temperature, where all stress is free, is calculated by comparing the calculated and measured warpage of a PCB of which copper cladding of the top side is removed. Then, the residual stress values are calculated for the double-sided PCB.

Keyword : residual stress, PCB warpage, thermo-compression bonding process

1. 서 론

최근 디지털 IT(Information Technology) 기기의 고성능 기반 아래 PCB(Printed Circuit Board) 인쇄회로기판은 과거에는 단순히 전기적인 신호를 전달하는 회로판으로 비교적 제작이 용이한 제품으로 인식되었으나, 실장 되는 칩의 사이즈가 작아지고 라인간의 피치 및 선 폭이 급격히 좁아짐에 따라 고도의 제작기술이 요구되고 있다. 특히 PCB가 차지하는 면적의 대부분이 전자 제품의 크기를 점유하고 있어서, PCB를 얼마나 작고 얇게 만들 수 있는가가 경박 단소한 제품을 구현하는데 큰 관건이 되고 있다. PCB는 여러 공정을 통해 제작되고 있다. 그 중에서 열 압착 공정을 통해 FR-4와 동박(Copper)을

접착하고 경화시킨다. 열 압착 공정은 그림 Fig 1에서 보는 것과 같이 진공 챔버의 상하에서 열판에 끼워 가압/가열하는 방법으로 적층을 하는 방법이다.

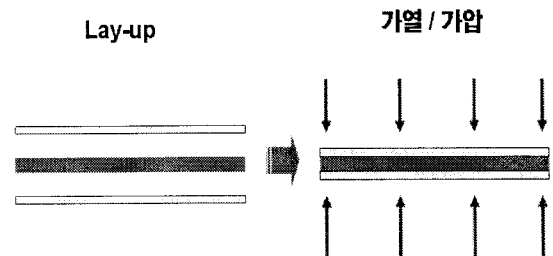


Fig 1. PCB thermo-compression bonding process

FR-4가 완전히 경화되기 위해서는 170 ~ 175℃에서 최소 20분간은 기판이 압착되어야 한다. 압력의 경우에도 초기에 최대압력을 가하면 스트레스로 인

[†] lshpius10@snut.ac.kr

해 틀어짐이 발생하므로 초기 5 ~ 10분간 압력을 낮게 유지한 다음에 최대 압력을 가한다. 이런 공정으로 인해 PCB에는 잔류응력이 발생하게 된다. 동박 부분에서는 압축응력이 발생하고 FR-4는 인장응력을 가지게 된다. 이런 상태에서 에칭을 통한 동박의 패터닝 공정을 거치게 되면 응력이 부분적으로 해소 되거나 남아 있게 되므로 PCB의 휨(Warpage)이 발생하게 된다.

이런 휨을 줄이기 위해서 열 압착 공정 후 PCB에 발생하는 잔류응력 값의 계산이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 열 압착 공정 후 PCB에 발생하는 잔류응력을 계산하는 방법을 수립하였다.

PCB는 가운데 절연체인 FR-4기판의 양면에 패턴이 없는 동박을 접착한 양면 PCB를 이용하였다. PCB의 크기는 가로 12mm, 세로 16mm 이고, FR-4의 두께는 60 μ m 이며 동박은 각각 25 μ m 이다. 먼저 동박의 한쪽 면을 벗겨낸 PCB의 열압착 공정 후 휨 값을 측정하고 공정 온도 변화를 통한 시뮬레이션으로 PCB 열압착 공정 온도를 산정한다. 산정된 공정 온도로 양면 PCB를 시뮬레이션 하여 PCB에서 발생하는 잔류응력 값을 계산 하였다.

2. 휨 측정 실험

2.1. 휨 측정 실험 장비

PCB의 휨을 측정하기 위해서 센서(Sensor)를 이용하여 PCB의 Z축 휨 값을 측정하였다. Fig 2.를 통해 측정 장비의 개념도를 볼 수 있다.

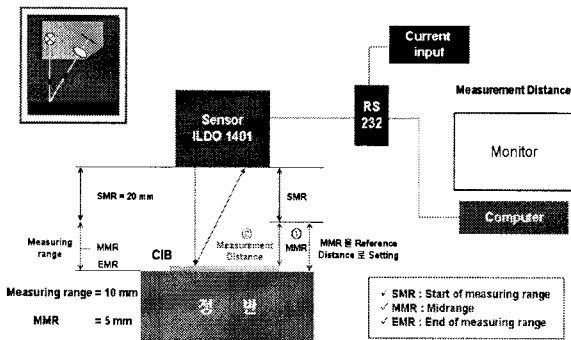


Fig 2. Conceptual diagram of measurement device

측정은 MMR(Midrange)를 기준으로 하여 측정하였다. MMR은 5.049mm 이다. 따라서 휨 측정값은 MMR에서 측정된 거리를 뺀 값이 측정값이 된다. 그리고 Fig 3.은 PCB 휨을 측정하기 위한 장치이다.

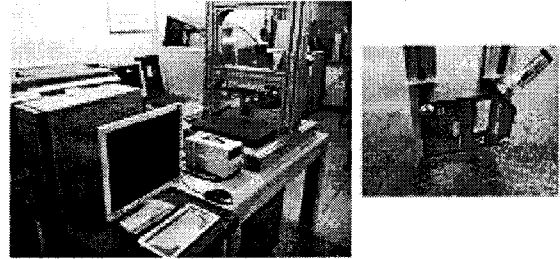


Fig 3. Measurement device

2.2. 실험 측정 결과

측정 실험에 사용된 PCB는 양면 PCB로 동박 한쪽을 벗기고 열 압착 공정을 한 PCB이다. PCB의 크기는 가로 12mm 세로 16mm 이며, FR-4의 두께는 60 μ m이고, 동박은 25 μ m이다. Fig 4에서 PCB가 대칭적으로 휘어짐을 볼 수 있다.

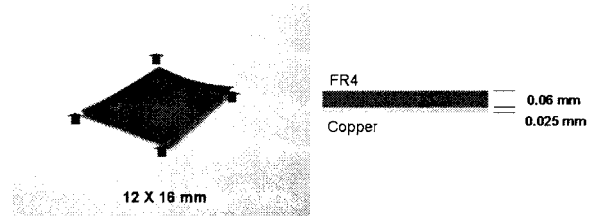


Fig 4. PCB Model for measurement

Fig 5에서 보는 것과 같이 측정 간격은 가로(X)는 3mm, 세로(Y)는 4mm 로 하여 측정하였다. 총 측정 점은 25개 이다.

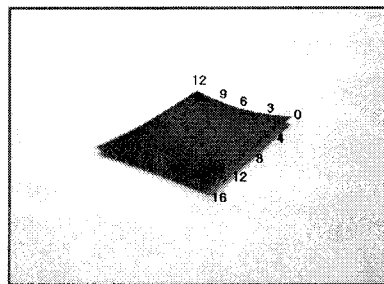


Fig 5. PCB measurement point

기준이 되는 측정 거리인 정반까지의 거리는 5.049mm이다. 따라서 측정값은 정반까지의 거리에서 PCB까지의 거리를 뺀 값이 휨 측정값이 된다. Table 1.을 통해서 PCB의 휨 측정값을 알 수 있다.

Table 1. Measurement result 단위 : mm

X	Y	정반까지 distance	PCB까지 distance	측정값
0	0	5.049	4.3	0.749
3	0	5.049	4.48	0.569
6	0	5.049	4.6	0.449
9	0	5.049	4.5	0.549
12	0	5.049	4.25	0.799
12	4	5.049	4.74	0.309
9	4	5.049	4.84	0.209
6	4	5.049	4.9	0.149
3	4	5.049	4.85	0.199
0	4	5.049	4.7	0.349
0	8	5.049	4.8	0.249
3	8	5.049	4.92	0.129
6	8	5.049	4.91	0.139
9	8	5.049	4.92	0.129
12	8	5.049	4.75	0.299
12	12	5.049	4.73	0.319
9	12	5.049	4.8	0.249
6	12	5.049	4.9	0.149
3	12	5.049	4.79	0.259
0	12	5.049	4.73	0.319
0	16	5.049	4.27	0.779
3	16	5.049	4.42	0.629
6	16	5.049	4.6	0.449
9	16	5.049	4.5	0.549
12	17	5.049	4.3	0.749

측정 결과 가운데 (X=6, Y=8)를 중심으로 대칭적으로 PCB의 휨이 발생했음을 알 수 있다.

3. 수치 해석을 통한 공정온도 산정

3.1. PCB 모델링

PCB 형상은 측정된 PCB 형상과 동일하게 한쪽 동박이 벗겨진 PCB를 모델링 했다. 그리고 시뮬레이션을 위한 모델링은 3-D MCAD (Mechanical Computer-aided Design)를 이용하여 구성하였다. Fig 6.을 보면 MCAD를 이용하여 만들어진 형상을 볼 수 있다.

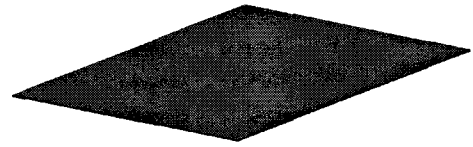


Fig 6. PCB modeling

3.2 시뮬레이션을 위한 경계조건

경계조건(Boundary Condition)은 모델의 가운데 한 점을 세 방향으로 고정했다. 그리고 전체적인 영역에 동일한 방식으로 열을 주었다. 공정온도는 각각 110℃, 150℃, 170℃, 180℃, 200℃에서 25℃로 식혀짐을 고려하였다. Table 2.는 해석 시 사용된 동과 FR-4의 물성치를 나타내고 있다. 해석은 ANSYS를 사용하였다.

Table 2. Material Properties

	Copper	FR-4
Ex (GPa)	82.74	15.17
Ey (GPa)	82.74	12.41
Ez (GPa)	82.74	12.41
PRXY	0.33	0.16
PRYZ	0.33	0.16
PRXZ	0.33	0.16
CTEX (me/℃)	18.92E-06	20.45E-06
CTEY (me/℃)	16.33E-06	25.11E-06
CTEZ (me/℃)	16.33E-06	20.45E-06

3.3 시뮬레이션에 따른 온도 산정 결과

한쪽 동박을 벗겨낸 PCB 실험 측정값을 기준으로 하여 해석 결과값과 비교하였다. 해석 결과와 측정값의 비교는 PCB 측정시 측정점과 같은 위치의 노드들의 Z축 Displacement 값에 PCB 두께를 더한 값과 비교 한다. 전체적인 값의 비교는 각 측정점의 측정값과 해석값의 차이를 제공할 하여 얻은 값들의 전체 합이 낮을수록 실제 공정온도에 가까움을 알 수 있다.

각 공정 온도의 시뮬레이션에 따른 비교결과 공정온도가 170℃일 때 가장 가까운 값을 가졌다.

Table 3.은 각 공정 온도에 따른 비교값 을 나타냈 다. 그리고 그에 따른 비교를 Fig 7.을 통해서 볼 수 있다. Fig 8.은 170℃에서의 해석 결과 형상이다.

Table 3. Results value follow temperature 단위 : mm

Temperature	Compare Value
110℃	0.66004
150℃	0.18444
170℃	0.15739
180℃	0.19659
200℃	0.38048

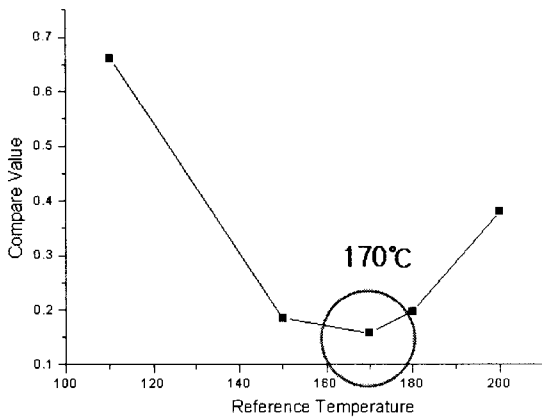


Fig 7. Compared of result values

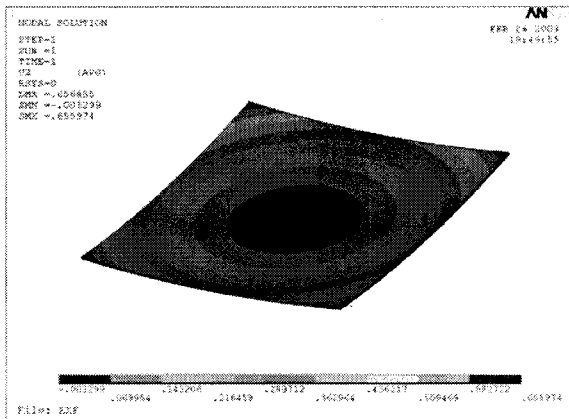


Fig 8. Result of simulation

하지만 더 정확한 공정온도를 찾기 위해 160℃부터 180℃까지 2.5℃씩 온도를 변화 시켜 결과를 비교 하였다. 비교 결과 165℃에서 가장 가까운 값을 가졌다. Table 4.는 각 공정온도에 따른 비교 값을 나타냈다. 그리고 Fig 9.는 온도에 따른 결과값의 비

교를 보여주고 있다. Fig 10.은 165℃에서 해석결과 형상이다.

Table 4. Results value follow temperature 단위 : mm

Temperature	Compare Value
160℃	0.15333
162.5℃	0.15105
165℃	0.14925
167.5℃	0.15307
170℃	0.15739
172.5℃	0.16389
175℃	0.17259
177.5℃	0.18351
180℃	0.19659

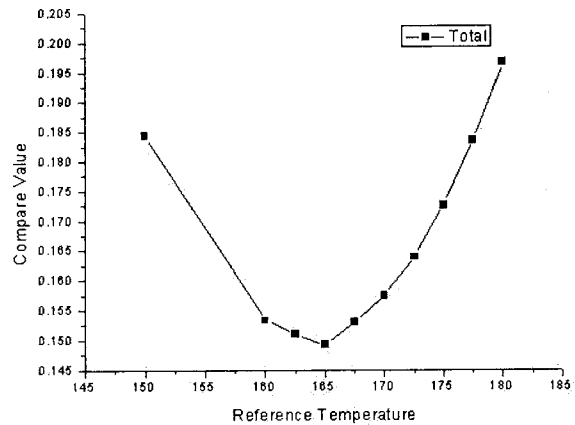


Fig 9. Compared of result values

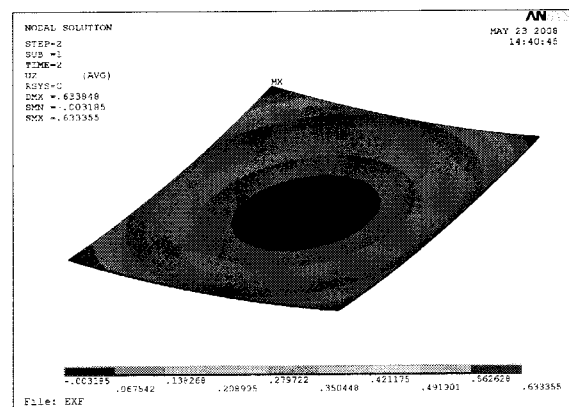


Fig 10. Result of simulation

4. 잔류응력 계산

측정값과 해석값의 비교를 통해 열 압착 공정의 온도를 결정 할 수 있었다. 그에 따른 온도 산정 결과 165°C에서 공정이 이루어졌음을 알 수 있었다. 따라서 공정온도 165°C에서 공정한 후 양면 PCB에 발생하는 잔류응력을 시뮬레이션을 통해 계산할 수 있다. 해석을 위한 경계 조건은 동일하게 하였다. Fig 11.을 통해 공정온도 165°C에서 양면 PCB의 X축에 생기는 잔류응력을 시뮬레이션을 통해 볼 수 있다. Fig 12는 Y축에 생기는 잔류응력이다. X축에서는 동박의 양 끝에 최대응력이 발생됨을 볼 수 있었다. 최대 응력 값은 8.729 MPa 이었다. 그리고 Y축에서도 동박의 양 끝에 최대 응력이 집중되고 FR-4는 전체적으로 응력을 많이 받고 있음을 알 수 있었다. 최대 응력 값은 14.056 MPa 이었다.

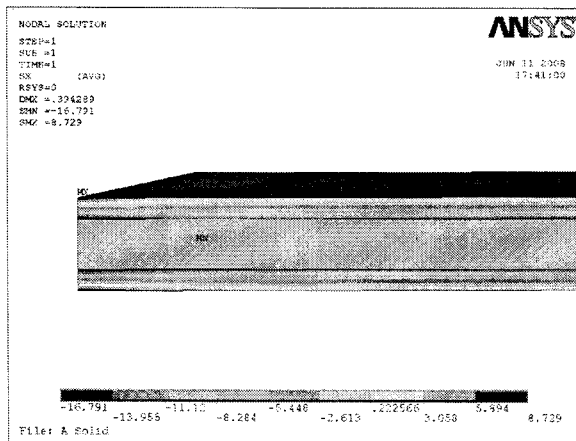


Fig 11. Residual stress of X axis

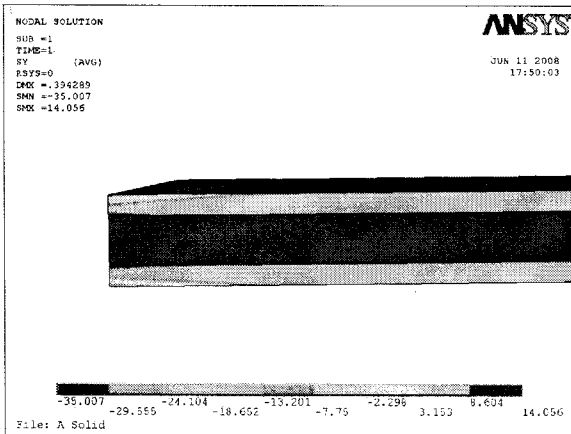


Fig 12. Residual stress of Y axis

5. 결 론

PCB 는 열압착 공정 후 PCB안의 잔류응력이 존재 하게 된다. 이런 잔류응력의 존재로 PCB가 패터닝 공정을 하게 되면 PCB의 휨이 발생하게 된다. PCB의 휨에 있어서 잔류응력은 매우 중요한 요인 중에 하나이다. 따라서 본 연구에서는 잔류응력을 계산하는 방법을 수립하였다. 본 연구에서는 절연체를 중심으로 위아래 동박이 있는 양면 PCB를 이용하였다. 먼저 동박 한쪽 면을 벗겨낸 PCB의 열 압착 공정 후 측정점을 정하여 휨 값을 측정하였다. 그리고 측정한 값을 기준으로 시뮬레이션을 통해서 얻은 값과의 비교를 해서 PCB 열압착 공정 온도를 산정하였다. 시뮬레이션에서 공정온도는 각 각 110°C, 150°C, 170°C, 180°C, 200°C에서 25°C로 식혀짐을 고려하여 해석 하였다. 결과 170°C에서 가장 가까웠다. 그러나 더 정확한 온도 산정을 위해서 160°C부터 180°C까지 2.5°C씩 온도를 변화 시켜 결과를 비교 하였다. 산정된 공정온도는 165°C에서 가장 가까운 값을 가졌다. 산정된 공정온도 165°C로 양면 PCB의 시뮬레이션을 통해서 PCB의 X축과 Y축에 발생하는 잔류응력 값을 계산 할 수 있었다.

6. 후 기

본 논문은 서울테크노파크의 차세대 패키징 공정 · 장비 실용화 사업의 일환으로 지식경제부 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 1) R.Tuominen., J.K.Kivilahti., "A Novel IMB Technology for Active and Passive Components" Espoo, Finland, 269-273, 2000
- 2) Sun Kyoung Kim, Sang-Hyuk Lee, "Optimal design of dummy pattern for minimizing PWB warpage" IPDO,US, 2007