

절연간격을 지배요인으로 하는 PCB기판의 발화위험성 연구

유현중, 이복영, 박찬호, 박상태, 홍성호
방재시험연구원

A Study on the Fire Hazard controlled by Isolation distance of Printed Circuit Board

Hyun-Jong Yu, Bok-Young Lee, Chan-Ho Park, Sang-Tae Park, Sung-Ho Hong
Fire Insures Laboratories of Korea

1. 서 론

다양한 전기전자제품에 사용되는 PCB(Printed Circuit Board)는 집적 회로, 저항 또는 반도체소자 등의 전기적 부품들이 장착되는 에폭시기판으로써 TV, 오디오, 냉장고, 컴퓨터 등 우리가 일상생활에서 다양하게 사용하고 있는 전기제품에 필수적으로 사용되고 있다. 이처럼 다양하게 사용되고 있는 PCB는 경년에 따라 먼지나 습기 등이 표면에 부착되면 화재위험성이 높아지고 실제로 가전제품의 PCB에서 화재가 발생한 사례가 종종 보고되고 있어 이에 대한 화재위험성분석이 필요하다.

본 논문은 가전제품 PCB에서의 주요 화재발생요인인 트래킹에 대하여 실험적으로 분석한 연구이다. 트래킹은 장기적으로 사용된 PCB면에 먼지나 습기가 조금씩 쌓이고 이 먼지와 습기가 아주 약간씩 스파크를 내면서 타는데 먼지 자체는 부도체이지만 습기와 결합되어 스파크를 내면서 탄소로 바뀌게 되고 이에 의해 도전성 경로가 형성되는 현상이다. PCB에서 트래킹이 발생하지 않으려면 절연간격을 적절하게 유지해야 하는데, 본 연구에서는 서로 다른 절연간격을 가진 PCB를 가지고 발화 실험을 통하여 화재에 대한 위험성을 평가하였다.

2. PCB Pattern 치수 및 폭과 허용전류의 관계

Fig. 1은 PCB에서 형태에 따른 치수를 나타낸 것으로 Fig. 1에서 A, B, C의 최소간격은 다음과 같이 정해진다.

1) 최소 패턴폭(A) : 표준은 0.3 mm 이상, 최소 0.25 mm 이상

2) 최소 패턴 간격(B)

- ① 저항이 있을 경우 : 0.25 mm 이상
- ② 저항이 없을 경우 : 0.5 mm 이상
- ③ AC 30 V/DC 45 V 이상인 경우는 아래 Table 1을 기준으로 한다.

3) Hole 끝에서부터의 거리(D) : 0.4 mm 이상

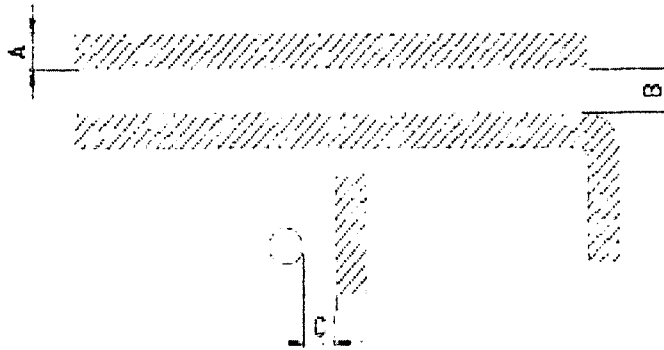


Fig. 1. Pattern의 형태에 따른 치수.

Table 1. 최소패턴 간격

Pattern간 간격	설 계 치	전기용품 기준
50 V 이상 150 V 이하	2.65 mm 이상	2.5 mm 이상
150 V 이상 300 V 이하	3.15 mm 이상	3.0 mm 이상
300 V 이상 600 V 이하	5.15 mm 이상	5.0 mm 이상

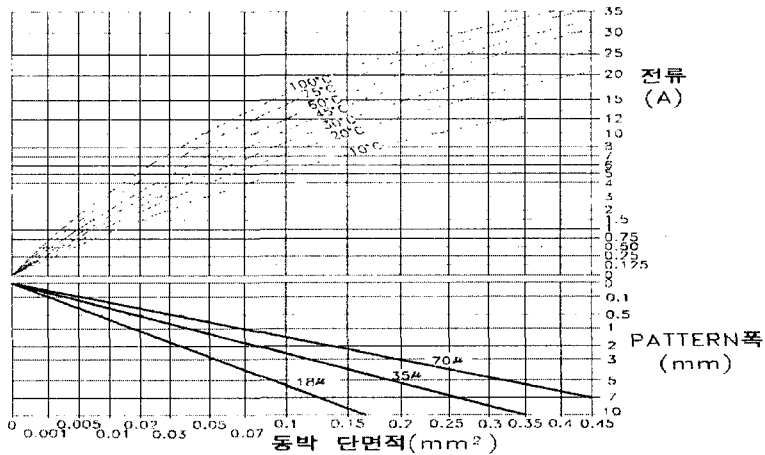


Fig. 2. Pattern 폭과 허용전류.

Fig. 2는 패턴 폭과 허용전류와의 관계를 나타낸 것으로서 패턴 폭이 넓어짐에 따라 허

용전류가 커지는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 2에서는 허용전류에 따른 온도도 나타나는데 PCB에서의 온도상승은 PCB의 최대안전동작온도에서 사용장소의 최대주위온도와 차로 나타내어진다. 따라서 허용온도 상승과 허용전류에 의해 필요한 동박 단면적을 구하고 그 동박 단면적과 동박 두께에 의해 필요한 최소 Pattern을 결정할 수 있다. 한 예로 허용전류 12A에 온도상승이 20℃일 경우 동박 두께는 보통 35 μm이고 Pattern폭은 5 mm이며 동박 단면적은 0.2mm²로 결정된다.

Table 2와 Fig. 3은 패턴간격과 허용전압과의 관계를 나타낸 것으로 패턴간격이 넓어짐에 따라 허용전압도 높아짐을 알 수 있다.

Table 2. PATTERN간격과 허용전압

정격전압(V) AC 또는 DC	Pattern 간격(mm)
0 ~ 9	0.127
10 ~ 30	0.254
31 ~ 50	0.381
51 ~ 150	0.508
151 ~ 300	0.762
301 ~ 500	1.524

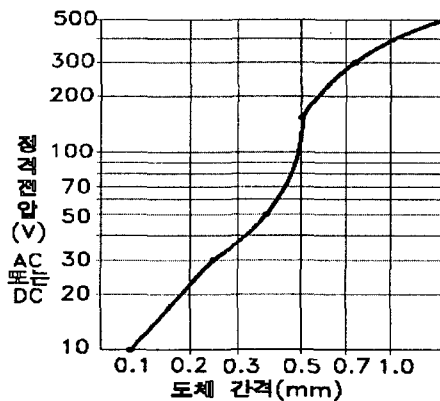
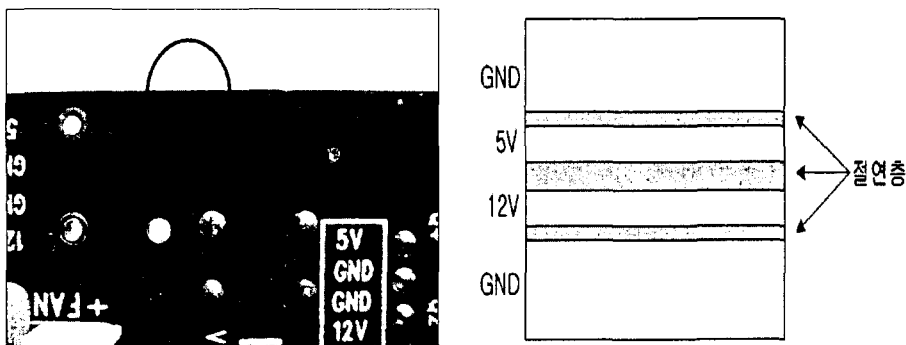


Fig. 3. 도체 간격과 정격전압.

3. 시험체의 외형 분석

1) 시험체 1의 외형구조

Fig. 4은 시험체 1의 전원 입력단자 부분으로 (a)에서 알 수 있듯이 12 V, GND, GND, 5 V순으로 전원이 공급되도록 되어 있다. (b)는 5 V와 12 V의 전원을 공급하는 Pattern를 확대한 것으로 5 V와 GND, 12 V와 GND 사이의 절연거리는 0.4 mm이다.

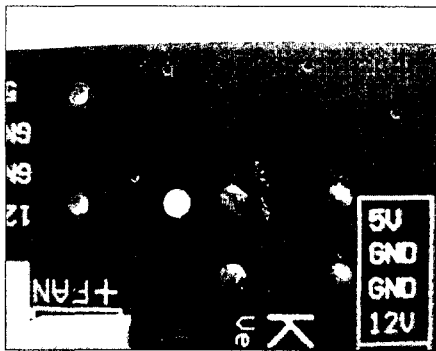


(a) 전원 공급 Pattern (b) 전원 공급 Pattern(GND, 5V, 12V)

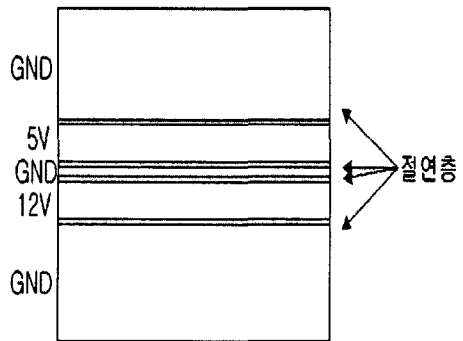
Fig. 4. PCB 전원 입력단자 앞면 및 뒷면.

2) 시험체 2의 외형구조

Fig. 5은 시험체 2의 전원 입력단자 부분으로 (a)에서 알 수 있듯이 12 V, GND, GND, 5 V순으로 전원이 공급되도록 되어 있다. (b)는 5 V와 12 V의 전원을 공급하는 Pattern를 확대한 것으로 5 V와 GND, 12 V와 GND 사이의 절연이격 거리는 0.12 mm로 나타났다. 시험체 1의 0.4 mm와는 큰 차이를 나타내고 있으며 5 V와 12 V 사이에 절연부분이 있었던 시험체 1의 것과는 다르게 이 부분을 GND wire가 배치되고 있으며 이 GND와 5 V 및 12 V 전원선과 이격거리가 짧음을 알 수 있다.



(a) 전원 공급 Pattern



(b) 전원 공급 패턴(GND, 5 V, 12 V)

Fig. 5. PCB 전원 입력단자 앞면 및 뒷면.

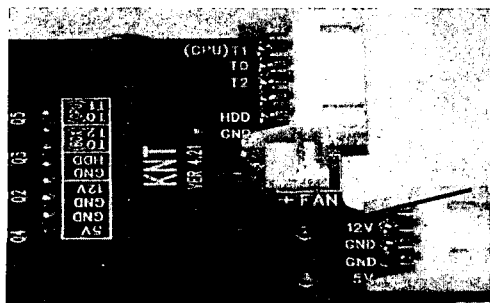
4. 시험체의 절연성능 실험

1) 시험체 1의 발화위험성 실험

① 실험방법

3 %의 염화나트륨 수용액을 Fig 6의 O형 부분에 염화나트륨 수용액(5 V와 GND)을 가하면서 AC 전압을 50 V 단위로 증가시키면서 1분간 전압을 인가하여 트래킹현상 및 절연파괴로 인한 화염발생여부를 확인하였다. PCB에 가한 염화나트륨 수용액은 1 ml이며, 1분 간격으로 3방울을 낙하시켰다.

또 시험체 1의 시험체 2개를 가지고 절연파괴되는 전압과 화염전파특성을 분석하였다.



수용액 적수

Fig. 6. PCB에서의 수용액 적수부위.

② 실험결과

Fig. 7은 PCB에서의 절연파괴 과정을 나타낸 것으로 3 %의 염화나트륨 수용액을 적수시키고 전압을 50 V 단위로 증가시킨 결과 Fig. 7에서 보는 바와 같이 염화나트륨 수용액을 적수시킨 부위에서 소음과 함께 연기와 화염이 발생하여 PCB 기판이 타는 것을 확인할 수 있다. Table 3는 PCB 절연파괴 전압측정결과를 나타낸 것으로 시험체 1의 PCB의 경우 염화나트륨 수용액을 적수하여 전압을 상승시킨 결과 400 V와 450 V의 전압에서 절연파괴로 인한 화염이 발생하는 것을 알 수 있다.



Fig. 7. PCB에서의 절연파괴 과정.

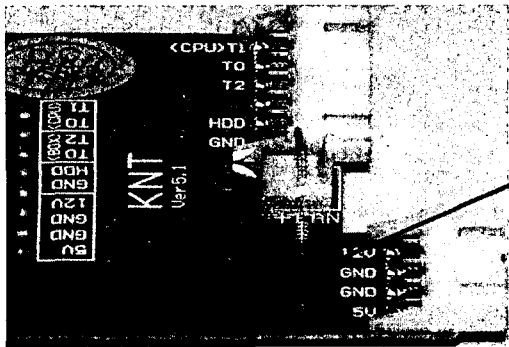
Table 3. PCB 절연파괴 전압측정 결과

구 분	시험체 번호	
	1	2
50 V	이상없음	이상없음
150 V	이상없음	이상없음
200 V	이상없음	이상없음
250 V	이상없음	이상없음
300 V	이상없음	이상없음
350 V	이상없음	이상없음
400 V	절연파괴	이상없음
450 V	-	절연파괴

2) 시험체 2의 발화위험성 실험

① 실험방법

시험체 1의 경우와 마찬가지로 단시간에 화재를 재연하기 위해서 3 %의 염화나트륨 수용액을 이용하여 트레이킹 실험을 수행하였다. 따라서 본 실험에서는 3 %의 염화나트륨 수용액을 이용하여 PCB 회로에 Fig. 8의 O형 부분에 염화나트륨 수용액(5 V와 GND)을 떨어트리면서 PCB 회로에 AC 전압을 50 V 단위로 상승시키면서 1분간 전압을 인가하여 트레이킹(절연파괴)이 발생 여부를 확인 하였다. 또한 시험체 2의 시험체 2개를 가지고 절연파괴 되는 전압과 화염전파 특성을 분석하였다.



수용액 적수

Fig. 8. PCB에서의 수용액 적수 부위.

② 실험결과

Fig. 9은 시험체 2에서의 절연파괴 과정을 나타낸 것으로 Fig. 9에서 보는 바와 같이 시험체 1의 경우와 마찬가지로 염화나트륨 수용액을 적수시킨 부위에서 소음과 함께 연기와 화염이 발생하여 PCB 기판이 타는 것을 확인할 수 있다. Table 4는 PCB 절연파괴 전압측정결과를 나타낸 것으로 시험체 2 PCB의 경우 염화나트륨 수용액을 적수하여 전압을 상승시킨 결과 50 V의 낮은 전압에서도 절연이 파괴되는 시험체가 있었고, 2개의 시험체 모두가 시험체 1의 전압보다 낮은 전압에서 절연파괴로 인한 화염이 발생하는 것으로 나타났다. 이와 같은 실험결과로부터 시험체 2의 절연 성능이 시험체 1보다 낮다는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 9. PCB에서의 절연파괴 과정.

Table 4. PCB 절연파괴 전압측정 결과

구 분	시험체 번호	
	1	2
50 V	절연파괴	이상없음
100 V	-	절연파괴
150 V	-	-
200 V	-	-
250 V	-	-
300 V	-	-
350 V	-	-
400 V	-	-

5. 결 론

본 연구에서는 서로 다른 절연간격을 가진 PCB를 가지고 발화 실험을 통하여 화재에 대한 위험성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 시험체 1과 시험체 2 PCB상 전원공급용 동박간 절연성능비교를 위하여 염화나트륨 수용액을 적수 후 전압을 상승시킨 결과 시험체 1은 AC 400 ~ 450 V(60Hz)의 전압에서 절연파괴에 의한 화염이 발생하였고, 시험체 2는 AC 50 ~ 100 V(60Hz)의 전압에서 절연파괴에 의한 화염이 발생하였다.
- 2) PCB 패턴에서 동박간 절연이격이 충분히 확보되지 않으면 동박에 흐르는 전류에 의해 절연물이 탄화되어 화재가 발생할 확률이 높아진다.
- 3) 제조회사에서 전기전자제품에 사용될 PCB기판의 화재안전성을 위해 PCB 패턴에서 동박간 절연이격의 명확한 기준이 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. IPC-A-600F, "Acceptability of Printed Boards", Association Connecting Electronics Industries, 1999
2. C. J. Pierre, Hazards, Decontaminant and Replacement of PCB, Kluwer Academic Publication, 1989
3. National Research Council, A Risk Management Strategy for PCB-Contaminated Sediments, Natl Academy Press, 2001
4. David G.Lilley, "Fire investigation-origin, cause and responsibility", Lilley & Associates, Route 1 Box 151 stillwater, OK 97507, pp631-635, 1996
5. W. F. Cooper, Electrical Safety Engineering, Butterworth Heineman, 1993