

키보드에서의 Ag Ion Migration 불량 개선사례

Improving quality of keyboard by analyzing Ag ion migration

하중신, 최완수, 이성수⁽¹⁾, 김영복⁽²⁾

Jong Shin Ha, Wan Soo Choi, Seong Soo Lee, Young Bok Kim

Abstact

컴퓨터 키보드의 시장불량품을 분석한 결과 여러 키가 동시에 입력되는 현상이 다수 발생하는 것을 알 수 있었다. 정밀분석결과 이의 원인이 키보드 membrane의 패턴을 구성하는 은(Ag) paste의 ion migration 발생에 의한 것임을 알 수 있었다. 재현실험을 통해 고온 고습한 환경에서 장시간 사용하다보면 membrane 내부로 수분이 침투하여 패턴간에 Ag ion migration이 발생되어 키 동작 오류를 유발시킴을 알 수 있었다. 이에 대한 대책안으로 제조 원가에 크게 영향을 주지 않으면서 migration을 크게 억제할 수 있는 준방수 방식의 membrane을 채택하여 40°C, 90%RH 환경에서 최소 5년을 보증할 수 있는 키보드를 제작하였다. 또한, 키보드 membrane의 ion migration 시험시 정상사용조건을 가속시킬 수 있는 재현 및 검증시험법(85°C, 85%RH, 가속계수 17배)을 개발하였다.

1. 서론

개발단계에서 예기치 못했던 불량이 실사용 조건에서 종종 발생한다. 이는 소비자들의 사용환경 변화에 대한 대응이 올바르게 행하지 못한 경우가 대부분이고, 이 경우 소비자들의 불만은 역시 제품을 만든 메이커로 향해지곤 한다. 키보드의 경우 데스크 탑 PC에서 가장 빈번하게 사용되는 입력 장치이고, 최근 PC의 사용시간이 증가하면서 이전에 비해 키보드에 대한 사용 시간의 증가등 변화가 발생되었다.

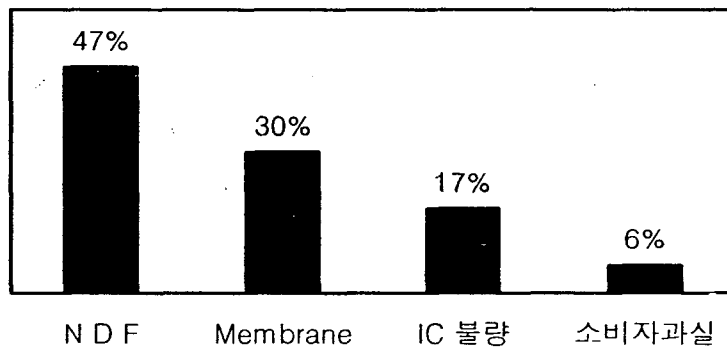
⁽¹⁾ 삼성전자(주) CS경영센터

⁽²⁾ 삼성전자(주) 컴퓨터시스템(사)

일반적으로 키보드 불량률의 경우 MICOM등 부품 불량률 대부분이지만, 그 외 키보드의 사용환경과 관련된 내부 구성품의 불량률이 발생되기도 한다. 그 중 한가지가 membrane에서 발생하는 ion migration에 의한 불량이다. Ion migration에 대한 연구는 PCB기판에서는 많이 수행되었지만, 키보드의 구성 부품인 membrane의 경우는 연구결과가 극히 드물다. 본 시험에서는 키보드의 시장불량률 중 membrane 불량률의 원인인 ion migration현상에 대하여 분석하고, 그에 대한 대책을 수립하여 키보드의 신뢰성을 향상시키는 데 목적이 있다.

2. 시장불량률분석

그림 1은 최근 데스크탑 PC에 채용이 증가하고 있는 USB 키보드의 시장 불량률 시료에 대한 분석 현황이다. 시장불량률 시료의 분석결과 원인 규명이 어려운 NDF



<그림 1> 시장 불량률 시료 분석 결과

(No Defects Found)성 불량률이 47%, membrane불량률이 30%를 점유하는 것을 알 수 있었다. 그 중 membrane불량률은 키를 구성하는 membrane matrix상에서 line 전체 또는 일부 키가 동작되지 않거나 아니면 여러 키가 동시에 동작하는 불량률이 대부분으로 pattern의 open 또는 short성 불량률이 공정상에서 발생된다. 그러나 이러한 공정 불량 이외에 pattern상의 여러 키가 동시에 동작하는 불량률이 사용 환경상에서 발생하는 경우가 있는데, 시장불량률시료의 분석 결과 그림 2와 같이 membrane pattern간의 ion migration현상으로 인하여 여러 키가 동시에 동작하는

불량이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이러한 불량률의 원인은 membrane의 pattern에 사용되는 도전 filler의 주성분으로 Ag가 사용되고 있으나, 전원이 인가된 상태에서 Ag pattern간에 습기가 차면 Ag가 수분과 반응하여 전기 분해되어 Ag ion이 된다. Ag ion은 산소와 반응하여 Ag₂O가 되는데 Ag₂O는 아주 불안정하여 Ag로 돌아가려는 경향이 있다[1]. 이러한 현상이 확산되어 미세한 가지를 발생시켜 단락의 원인이 되는 것을 ion migration이라 한다. Ag ion migration 불량률은 특히 여름철과 같은 고온 다습한 환경에서 장시간 PC를 사용한 경우 membrane 내부로 수분이 침투하여 Ag pattern간에 short를 발생시키게 된다. 전체 membrane 불량률에서 Ag ion migration에 의한 불량률 차지하는 비율은 60%로 이에 대한 대책이 시급함을 분석결과로부터 알 수 있었다.



<그림 2> membrane pattern간의 Ag Ion migration 현상

3. 시험방법

실제 시장에서 발생한 불량을 재현하기 위하여 증기압시험(Pressure Cooker Test) 및 온습도시험을 실시하였고, 고온고습시험으로 개선시료의 검증용 실시하였다.

3.1 증기압 시험

증기압 시험은 paste 종류별 migration 발생여부 및 인가전압별 발생유무를 빠른 시간에 확인하기 위하여 실시하였다. 정상시험으로는 장시간을 필요로 하기 때문에 전자부품의 가속 시험으로서 사용되고 있는 불포화형의 증기압 시험을 ion migration의 평가에 이용하였다. 그에 대한 조건이 표 1에 나타나 있다.

<표 1> 증기압 시험 조건

시료종류	온도	습도	압력	인가전압	시험시간
Ag 100% Ag 80% + C 20%	121°C	100%RH	2기압	3.3, 5, 10V	2분

3.2 온습도 시험

시험조건은 실사용 조건에서 발생할 수 있는 최악의 조건(40°C, 90%RH)을 가정하여 설정하였으며, Ag ion migration 발생에 대한 가속시험으로 고온고습시험(60°C, 90%RH 및 85°C, 85%RH)을 실시하여 가속계수를 산출하였다. 시험에 사용된 전원은 실사용 조건인 5V와 가속 조건인 10V로 설정하여 실시하였다. 시험 조건에 대한 자세한 내용은 아래의 표 2와 같다. 시험에 사용된 membrane paste의 종류는 키보드에 주로 사용되는 Ag 100%와 Ag 80% + C 20% 시료로 실시하였다. Ag ion migration 발생여부 확인은 interval censoring 방식으로 점검하면서 migration이 발생하는 시간까지 계속하여 실시하였다.

개선시료에 대한 검증시험은 85°C, 85%RH로 실시하여 온습도시험에서 산출된 가속계수로 환산하여 40°C, 90%RH 조건에 대한 수명시간을 예측하였다.

<표 2> 온습도 시험 조건

번호	온도(°C)	습도(%RH)	전압(V)	시료수
1	85	85	5	3
2	60	90	10	2
3	40	90	10	3
4	40	90	5	3

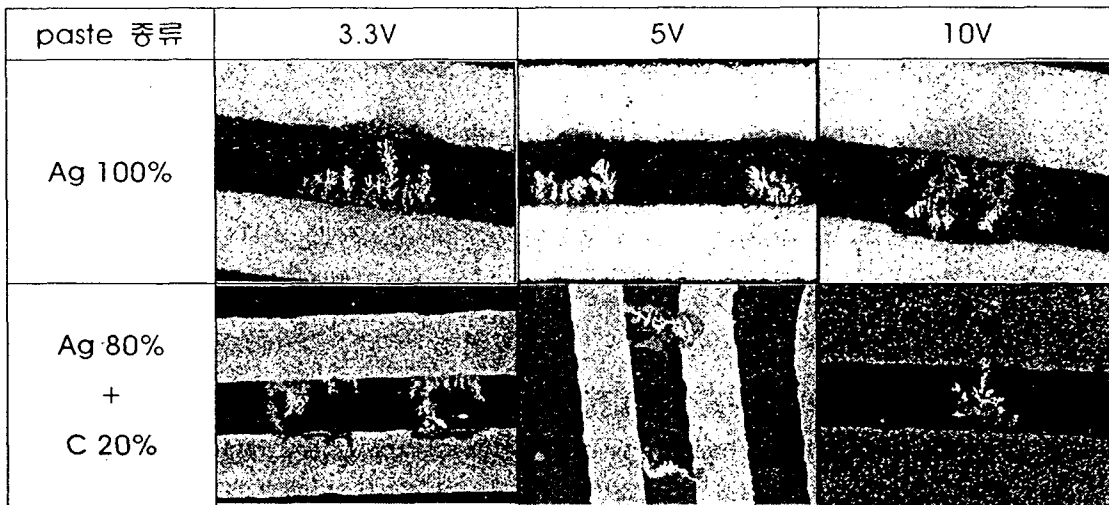
4. 시험결과

4.1 증기압시험결과

증기압 시험은 기압을 증가시켜 강제적으로 수분의 포화도를 높여 기존 온습도 시험보다 더 많은 수분을 발생시키므로 실제로 ion migration이 일어나기 좋은 조건이 된다. 절연저항계를 통해 2분 동안 전압을 인가한 후 시료를 관찰한 결과 그림

3에서 보는 바와 같이 paste에 무관하게 migration이 발생함을 알 수 있었다. C가 20% 함유되어 있다 하더라도, pattern상에 수분이 응결될 수 있으면 migration이 발생하며, 시장환경에서 Ag ion migration이 발생할 수 있음을 알려주는 결과로 Ag 80% + C20% paste가 개선대책에 부적합한 것을 알 수 있었다. 한편 실사용 전압 보다 낮은 3.3V에서도 Ag ion migration이 발생함을 알 수 있었다.

<그림 3> 증기압 시험 결과



4.2 온습도 시험결과

Ag ion migration 재현과 paste별 발생여부를 확인 그리고 수명시간 산출을 위하여 온습도 시험을 실시하였다. 증기압 시험결과와 동일하게 paste에 상관없이 Ag 100% 및 Ag 80% + C 20% 모두 Ag ion migration이 발생됨을 알 수 있었다.

<표 3> 조건별 migration 발생시간

Paste 종류 시험조건	Ag 100%			Ag 80% + C 20%			가속계수
	1	2	3	1	2	3	
85°C, 85%RH, 5V	70	70	116+	70	70	116	17.23
60°C, 80%RH, 10V	70	378+	116+	70	378	116	3.60
40°C, 90%RH, 10V	712	712	712	712	712+	712+	1.65
40°C, 90%RH, 5V	1178	1178	1178+	1178	1178	1178+	1

+ 는 중도 절단 데이터 임

Ion migration 발생 원인은 membrane 내로 침투된 수분과 pattern 간 전압차로 인한 Ag 이온 전이 현상으로 온도가 높을수록 그리고 전압이 높을수록 Ag ion migration 이 더욱 빨리 발생되었으며, 40°C, 90%RH, 5V 기준으로 150일 이내에 Ag ion migration 이 발생(1178시간÷8시간/일)되는 것을 알 수 있었다. (표 3 참조)

평균수명 및 가속계수를 산출하기 위하여 첫번째로 두 paste의 평균 수명에 차이가 있는지 가설검정을 하였다. 검정방법은 Paired T 검정으로 실시하였고, 그 결과로부터, 표 4에서 보는 바와 같이 두 종류의 paste 간에 차이가 없음을 알 수 있었다. 따라서 paste의 종류를 구분하지 않고 병합하여 각 스트레스인자에 대한

<표 4> Paired T 검정 결과

Paired T for Ag100% - Ag80%+C20%				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Ag100%	4	664	789	395
Ag80%+C20%	4	837	816	408
Difference	4	-173	274	137
95% CI for mean difference: (-609, 264)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0):				
T-Value = -1.26 P-Value = 0.297				

가속계수를 산출하였다. 전압에 대한 가속계수를 계산한 결과 전압이 5V에서 10V로 2배 증가될 때 1.65를 구할 수 있었다. 온습도에 대한 가속모델은 Eyring Model의 변환식인[2] 다음과 같은 수명-스트레스 관계식을 사용하였다.

$$L(H,T) = A \exp(c/T + b/H)$$

여기서

T : 온도,

H : 습도,

A, b, c : 데이터로부터 추정해야 할 미지의 상수 이다.

계산결과 $A = 7.1421 \times 10^{-8}$, $b=78.63$, $c=721674$ 의 계수값을 구할 수 있었고, 각 조건에 대한 가속계수를 표 3에 나타낸 바와 같이 얻을 수 있었다. 결과에서 보는 바

와 같이 85°C, 85%RH 조건의 경우 40°C, 90%RH 에 비하여 17배의 가속계수를 얻을 수 있었는데 이 결과로부터 개선품의 가속수명시험을 실시하였다.

4.3 개선시험결과

기존 시료의 경우 pattern 간격이 좁은 지역에 수분이 응결되면 paste 종류에 무관하게 Ag ion migration이 발생되었지만, membrane pattern에 UV coating 처리를 하여 가속시험(85°C 85%RH 240시간)을 실시한 결과 Ag ion migration이 발생되지 않음을 확인할 수 있었다. 그러나 UV coating 내부로 수분이 침투한 흔적이 발생되어(그림 4참조) 그 상태가 지속적으로 경과되면 Ag ion migration이 일어날 수 있는 잠재적 문제점을 갖고 있었다. 따라서 membrane 주변에 bonding 처리를 한 준방수 형태의 membrane을 채택하여 수분 침투를 방지하도록 최종 개선을 하였다. 최종 개선품의 시험결과 Ag ion migration 및 수분 침투가 일어나지 않음을 알 수 있었고, 이는 40°C 90% 환산시 최소 517일(4135hrs)동안 migration이 발생되지 않는 조건으로서 고온 고습한 여름철 사용기준으로 5년 이상을 보증할 수 있었다. 또한 소비자의 부주의로 음료수등이, 키보드내에 유입되더라도 소비자과실 불량이 발생되지 않기 때문에 소비자 만족도를 높일 수 있을 것이다.

<그림 4> 1차 개선품의 수분침투 현상



5. 결론

키보드 membrane의 Ag ion migration 불량 분석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 키보드용 membrane은 Ag 100% 또는 Ag 80%+C 20%의 paste를 주로 사용하는데 두 재질 모두 Ag ion migration이 발생함을 알 수 있었고, 평균발생시간에 대한 가설검정결과 차이가 없음을 알 수 있었다.
- (2) Membrane 경계면에 bonding처리를 한 준방수 형태의 membrane을 채택하여 Ag ion migration 불량을 감소시킴에 따라 30%의 시장불량을 예방할 수 있었다.
- (3) Ion migration 현상을 재현 및 검증할 수 있는 시험법을 개발할 수 있었다. 85°C 85%RH 환경시험은 40°C 90%RH 시험에 비해 17배 가속한 시험 조건임을 알 수 있었고, 5년 이상의 수명을 보증할 수 있는 85°C 85%RH, 5V, 240 시간의 membrane 가속시험법을 개발 하였다.

참고문헌

- [1] G. T. Kohman, H. W. Hermance and G. H. Downes "Silver Migration in Electrical Insulation", Bell System Technical Journal (1955), 34, 6, p 1115,.
- [2] Wayne Nelson, "Accelerated Testing " , WILEY, 1990, p 100