특 집 : 전자부품의 신뢰성

전자부품의 새로운 고장

박 명 규

New Failure of Electronic Components

Meyng Gyu Park

1. 하이테크와 새로운 고장

최근 하이테크제품은 신제품 개발의 주류를 이루고 있으며, 하이테크를 이용한 신제품의 개발이 매우 활발하다. 하이테크제품은 새로운 소재, 일렉트로닉스, 바이오닉스 등 최신의 기술혁신성과를 적극적으로 이용한 것이다. 종래의 제품과 비교해 훨씬 경박 단소하던가, 새로운 기능이 부과되어 있다던가, 고성능이 되어 있는 등의 특징이 있다. 게다가 이들 하이테크제품의 제조방식은 자동화에 의한 대량생산 방식 또는 다품종 소량생산이 가능한 FMS(유연생산시스템)방식이고, 여기에도 하이테크가 많이 활용된다.

신제품에 하이테크를 이용하면 많은 장점을 기대할 수 있지만, 반면 새로운 고장이 발생한다는 신뢰성 측면에서 최대의 단점을 동반하게 된다. 따라서 신제품개발은 새로운 성능이나 기능을 개발하는 것이지만, 동시에 새로운 고장을 극복하는 기술을 개발해야 하는 것도 있다. 거기에는 우선 새로운 성능과 기능에 동반해서 발생하는 새로운 고장을 분명하게 하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 고장물리의 방식과 고장해석 기술이 매우 중요하다.

여기서는 전자제품을 예로 하여, 새로운 고장의 문제에 대해서 논한다. 전자제품 분야에서 하이테크라는 것은 소형화, 고밀도화, 저전력화, 고기능화 등이 특징이지만, 이들 특징은 다음에 논하는 새로운 신뢰성문제를 야기하게 된다.

1.1 소형화, 고밀도화에 의한 신뢰성문제

소형화, 고밀도화를 위하여 치수를 1/2로 한 간단한 예를 생각해 보자. 면적은1/4, 체적은 1/8이 되므로, 다음과 같이 여러 가지 항목에 변화가 생긴다. 발열밀도는 8배, 방열면적은 1/4, 열전도량은 1/2, 전위균배는 : 2배, 확산거리는 1/2, 강도(압축, 흡인력)는 1/4이 된다.

이처럼 소형화는 부품의 온도, 배선간의 전위균배의 증가, 기계적인 강도저하 등, 제품의 고장시간을 단축시키는 원인을 만들게 된다. 예를 들면 금속의 마이그레이션(Migration)에 의한 고장시간은 소형화에 의해 단축된다. 이 고장메커니즘은 금속과 물의 화학반응으로 금속이 이온화하고, 금속이온이 전계의 작용으로 이동하고, 전기적인 리크나 단락(Short)고장을 일으키는 것이고, 수분, 전계 및 온도로 가속되기 때문이다.

이런 고장은 옛날부터 잘 알려져 왔지만, 소형화에 동반해서 심각해진 문제이다. 예를 들면, 은의 마이그레이션은 이미 1955년에 미국의 벨연구소에서 연구보고 된 바가 있다. 이것은 자동전화교환기의 뱅크부에 Ag의 마이그레이션에 의한 단락사고가 발생했기 때문에, 이때 발생한 기구나 영향을 주는 스트레스, 구조/재료의 조합 등이 밝혀졌다. 그 후, 여러 나라에서 인쇄배선 판에서 발생하는 마이그레이션 연구가 이루어졌다. 오늘날에는 후막 집적회로나 LTCC 등의 Ag 페이스트를 사용하는 초소형부품에 발생하는 예가 있어 재차 연구대상이 되고 있다.

또 LSI에서 알루미늄배선의 치수가 1㎛ 이하가 되면, 전류밀도가 증가하고, 전류의 열작용으로 알루미늄배선이 단선되는 등의 새로운 문제가 발생하고 있다. 미세화와 함께 먼지나 불순물의 영향등도 지금 이상으로 중대해지기 때문에 세심한 주의가 필요하다.

1.2 저전압, 저전력화에 의한 신뢰성문제

저전압, 저전력화는 회로의 소형화, 고밀도화에서는 바람직한 방향이다. 그러나 신뢰성에서는 소음, 전자기적인 간섭 및 정전기 등에 의한 고장증대가 일어나게 된다. 예를 들면 IC가 정전기의 방전으로 고장 나는 일이 있다. 미세화에 의해 절연내력이 저하함에 따라 고장이 증가한다. 정전기는 겨울철 건조할 때에 인체 등

에 대전하기 쉽고, 정전기에 대전된 사람이 IC에 접촉하면 고장이 발생한다. 정전기의 대전방지와 디바이스의 절연내력을 향상시킬 필요가 있다.
플라스틱 몰드는 생산성과 비용 면에서 대단히 뛰어난 기술이지만, 새로운 고장문제를 일으키게 된다. 노이즈에 의한 고장도 다음에 말하는 고기능화와의 관계에서 점점 중요한 문제가 된다.

1.3 고기능화에 의한 신뢰성문제

마이컴(Micom)을 넣어 고기능화한 제품이 많이 나오고 있지만, 고기능화와 함께 소프트웨어가 새로운 문제가 된다. 예를 들면 사용자의 사용방법은 천차만별이거나, 수출제품으로 생활습관에 차이가 있는 등의 문제로 예상하지 않은 고장이 발생하는 경우가 있다. 고기능화에 의해 고장 종류가 증가하게 된다.

이러한 새로운 고장문제는 제조프로세스를 자동화하거나, 개선하였을 때에도 동반한다. 제품개발에 있어서는 하이테크와 동반한 새로운 고장문제를 사전에 철저히 검토하는 것이 중요하다.

2. 환경규제와 새로운 고장

전 세계적으로 환경보호를 목적으로 한 환경규제 강화가 신무역장벽으로 등장하는 것이 대세로 굳어지고 있다. 이미 지난 90년대 초부터 친환경관련 생산시스템 작동을 준비해 온 유럽연합(EU)이 2002년 7월부터 에어컨에 대한 신 냉매 적용규제를 시작한 것은 환경라운드의 신호탄이라고 볼 수 있다. 그 동안 EU 환경규제를 인지하고는 있었지만 막상 규제의무화 시점에 이러한 상황은 친환경경영에 대한 관심을 더욱 고조시키면서 전자업계 전체에 파급될 것으로 보인다. 하고는 있었지만 막상 규제의무화 시점에 이러한 상황은 친환경경영에 대한 관심을 더욱 고조시키면서 전자업계 전체에 파급될 것으로 보인다.

게다가 EU는 2002년 6월 폐전기전자(WEEE : Waste Electronics and Electric Equipment) 처리지침 기본 골격을 모두 확정한 가운데 WEEE 지침 발효 이전에 생산 중단된 제품의 폐기 책임에 대한 문제와 인터넷 판매제품에 대한 책임 등의 문제만을 남겨 놓을 정도로, 모든 친환경 관련규제(안)을 강화해 규정하고 있다. 다만 Pb와 관련한 규제 실시 시점은 당초의 2004년에서 2007년까지로 연기했다.

2.1 Pb Free 추진에 따른 새로운 고장

유럽연합, 일본 등 선진국들이 Pb 성분을 포함한 전자제품에 대해 지역 내 진입불가 등의 강력한 규제를 늦어도 5년 안에 시행할 것으로 예측되고 있다. 이러한 추세에 맞춰 일본의 대부분의 제품 및 부품업체들은 2004년까지 Pb 프리 관련 양산체제를 갖추고 신뢰성을 확보하는 프로그램들을 앞 다투어 발표하고 있다.

수년 안에 Pb 등 유독성분을 내뿜어 환경을 오염시키는 부품들은 세계시장에서 퇴출될 처지에 놓인 것이다. 이에 따라 Pb 성분이 함유되지 않은 무연 솔더링 기술개발이 주요 쟁점으로 떠오르고 있다. 그러나 기존 Sn-Pb 계열의 솔더 가 지금까지 생산라인의 적용을 통해 신뢰성을 인정받는 등 솔더링 특성이 우수하고, 널리 사용되어 온 터라 이를 무연 솔더로 대체하기란 만만치 않다. 이와 같은 기술적 어려움 때문에 아직까지 가격, 융점, 젖음성, 내열성, 접합강도 등 특성측면에서 Sn-Pb 계열의 솔더를 완벽하게 대체할 만한 무연 솔더링 기술은 나오지 않고 있다. 그럼에도 Sn-Ag-Cu 등을 주축으로 한 Sn-Ag계열, Sn-Cu계열 등 새로운 합금형태의 무연 솔더링 기술개발경쟁은 생산현장에서 갈수록 치열하게 전개되고 있다.

무연 솔더링과 기존 솔더링의 가장 큰 차이점은 융점의 차이다. 무연 솔더는 합금의 조성에 따라 융점이 195~225℃로 Sn-Pb계열의 융점(183℃)보다 높기 때문에 생산라인을 다시 설치해야 하는 경우도 있다. 또 무연 솔더가 완전 용융되는 온도가 약 230℃ 정도인데, 이것을 맞추기 위해 주변 분위기는 약 250℃ 정도를 유지해야 하며, 이때 기판 및 부품이 견딜 수 있는 최대온도는 240℃ 정도로 부품의 내열성향상 및 솔더링 공정상의 온도허용범위를 정밀 제어하는 기술이 요구된다.

특히 부품내부의 열손상은 전기적인 검사에서도 찾아내기 힘들어 자칫 고장을 수시로 유발하는 등 제조물책임(PL)과 관련된 치명적인 결함을 유발할 수도 있다.

2.2 유해물질 사용금지에 따른 새로운 고장

유럽연합이 오는 2007년을 기점으로 할로겐, 6가 크롬, 수은 등의 인체에 유해한 성분이 함유된 전자장비 및 부품의 사용을 금지한 것이 ROHS (Restricting the use of Substances) 이다. 이것은 결국 이러한 성분이 들어가지 않은 신 재료를 개발, 현재와 동일하거나 그 이상의 특성을 얻을 수 있어야 한다는 것을 의미한다. 일본의 많은 전자부품업체들은 제품에 들어가는 환경 부하물질을 제거하려는 노력을 많이 하고 있고 표 8과 같이 구체적인 일정을 제시하고 있다. 또한 부품이 미치는 환경부하와 환경에의 영향을 정량적으로 평가하는 Life Cycle Analysis (LCA)의 도입도 적극

검토되고 있다.

물론 현재와 동등 이상의 특성을 가진 신재료의 개발도 어렵지만, 이러한 신재료는 사용 실적이 없기 때문에 실제 세트에 사용되었을 때를 가정한 새로운 고장발생 가능성을 항상 염두에 두고 새로운 신뢰성 평가도 실시되어야 한다. 당연히 많은 시간과 비용이 수반되며 많은 실패를 경험해야 할 것이다. 특히, 틀에 박힌 전형적인 시험으로는 찾아낼 수 없는 새로운 고장이 있다는 가정 하에 단순한 평가가 아닌 새로운 발견을 전제로 한 평가가 되어야 한다.

2.3 소니의 '신 그린 조달'

2002 년 4월 말, 소니는 일본 약 1000사의 부품· 재료메이커를 불러 자사의 환경비전에 기초한 새로운 그린조달시스템을 설명했다. 2003년 4월부터 부품이나 재료를 조달할 때의 기준을 대폭 변경하여, 공급하는 부품· 재료가 "확실히 환경관련 유해물질을 함유하지 않고 있다는 것을 보증하라"는 내용이었다.[7]

이것의 실효성을 부여하기 위해 소니가 요구한 세 가지는 다음과 같다.

첫 번째는 부품· 재료메이커의 사장명이 기록된 '보증서'의 제출을 요구했다. 이렇게 하여 부품· 재료메이커가 기업 전체적으로 그린조달에 주력하기를 기대한다.

두 번째는 '원류 관리' 장치의 확립이다. 소니와 직접적인 거래가 없는 메이커라도 공급체인에 얽혀 있는 한은 소니가 지정한 관리기준을 구축한 회사 '그린 파트너'여야 한다. 즉, 부품메이커는 그린파트너 인정을 받은 재료메이커에서만 자재를 조달할 수 있다. "모든 재료를 근본부터 청정하게 하고 제조공정도 체크한다. 그러한 장치를 구축해 두면 일일이 검사하지 않아도 된다. 이것이 우리가 지향하는 원류관리다".

세 번째 주축이 부품조달처에 대해 요구하는 환경관련 유해물질의 '비사용 증명서'이다. 'SS-00259'라는 소니 기술문서에서 지정하는 사용금지 물질 8종 중, 수지 내의 Cd에 대해서는 분석 데이터, 그 밖에 대해서는 성분표의 첨부를 요구한다. 이러한 까다로운 요구에 많은 부품· 재료메이커는 당혹감을 감추지 못하고 있다.

3. 새로운 고장의 예

3.1 후지쯔 HDD의 LSI 단락고장

3.1.1 후지쯔 HDD의 LSI 단락고장 사건 배경

2001년 6월경, 한 일본 PC 메이커는 기업용 PC 고객으로부터 "내장 HDD의 고장률이 이상하게 높다"는 지적을 받고, 이 회사는 즉시 후지쯔에 연락해 대책을 요구하였다. 후지쯔는 이 고장이 당초 HDD 특유의 문제로 파악하였고, 새로운 HDD로 교환하였다. 그러나 신품 HDD가 2002년 6월경에 다시 이전과 같은 증상으로 고장 났다. PC 메이커는 HDD를 후지쯔제에서 미국 메이커제로 교체한 후로 현재까지 불량이 확인되지 않았다.

그러나 최근 HDD와는 관계가 없는 기기에서도 같은 증상의 LSI 불량이 잇따르고 있다는 것을 알게 되었다. 그리고 이제 많은 기기 메이커나 LSI 메이커 등을 둘러싼 대소동으로 발전하고 있다. 원인은 Fig. 1에서와 같이 이 기기에 탑재한 컨트롤러 LSI CL-SH 8671이 고장난 것으로, LSI 패키지 내부에서 단자 간 단락이 일어나서 동작불량이 일어난 것이다. 단자 간 단락의 원인은 LSI 패키지 봉지재에 난연제로 첨가한 적색 P가 고온고습 환경에서 사용할 때, Ag 마이그레이션을 촉진시켜 단락을 일으키는 것으로 판명되었다. 불행히도 여기에 사용된 적색 P는 미토모 베이크라이트사(일)에서 기존의 난연제 Br 화합물을 비할로겐계로 대체하여 개발한 'EME-U' 시리즈를 적용한 봉지재이었다. 이 회사가 비 할로겐 환경대응제품으로 실용화한, 적색 P가 들어간 봉지재 'EME-U' 시리즈의 샘플 출하 개시 시기는 1996년 6월경이고, 2002년 7월에 출하를 중단하기까지 총 판매량은 약 1000t에 달하며, 직접 구매한 고객 수는 LSI 메이커나 패키지 조립회사 등 총 13사에 달한다. 이것은 봉지재로서는 상당한 양이다. 패키지 하나에 사용하는 봉지재의 양을 1g 정도라고 가정하면 1000t의 봉지재로 약 10억 개 분의 LSI를 제조할 수 있다. 현재 불량은 생기지 않더라도 상당한 수의 예비불량 칩이 있다고 할 수 있다. 후지쯔 HDD용으로스 Cirrus Logic사가 판매한 CL-SH8671 중 위험한 것은 약 400만개라고 하므로 나머지 막대한 봉지재는 다른 LSI에 사용되었고 그래서 불량이 발생할지도 모르는 것이다.

HDD 이외의 LSI 불량 사례도 속속 표면화되기 시

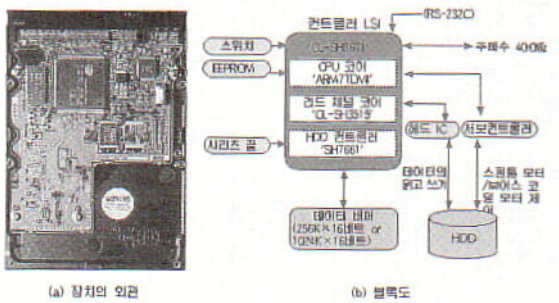


Fig. 1 후지쯔 3.5인치급의 하드 디스크 장치 MPG3xxx AT' 시리즈

작했다. 그것도 지금까지의 인식으로는 HDD용 컨트롤러 LSI와 같이 다(多)핀 논리 LSI에서 불량이 잘 생길 것으로 보였었지만, 메모리나 아날로그 LSI 등 소(少)핀 품종에서도 조건에 따라서는 마찬가지 불량이 생긴다는 것을 알 수 있게 되었다.

3.1.2 고장기구

불량이 발생한 LSI의 특정단자사이가 단락한 것 같다. 불량이 발생한 LSI 단자 사이에 무슨 일이 일어나고 있는지 조사했다. 원소분석 결과, 단락한 단자사이에 Ag, Cu, P 등 세 종류의 원소가 확인되었고, Ag가 단락한 단자 사이를 연결했었다. "Ag의 이온 마이그레이션이 아닐까?" 그러나 LSI 사양에서 단자간격은 150 ㎛ 정도로, 단락한 단자사이의 전위차는 10V 정도로 보통은 이 조건에서 이온 마이그레이션으로 인한 단락이 일어날 수 없다. 즉, 일반 이온 마이그레이션이 아닌 Ag의 이동을 가속하는 요인이 존재할 것에 주목하여, 봉지재에 난연제로 첨가되었던 적색 인에 주목했다. 즉시 난연제를 적색 인에서 Br 화합물로 바꾸었다. 그 이후에는 단락문제가 발생하지 않았다. 적색 인의 존재하에서 Ag의 이온 마이그레이션이 일어난다는 결론에 도달했다. 고장발생의 대략적인 모습은 Fig. 2와 같다.

이온 마이그레이션이 잘 일어나는 것은 전극재료의 종류나 온도, 습도, 전계강도 등에 따라 결정된다. 우선 전극재료별로는 Ag가 사용되었고, 이온 마이그레이션은 Ag〉Pb〉Cu〉Sn〉Au 순으로 잘 일어난다는 것을 알 수 있다. 온도와 습도는 일반적으로 높을수록 이온 마이그레이션이 잘 진행된다. 이번에 기기메이커의 대부분도 고온다습 환경에서 불량이 잘 발생한다고 발표하였다. LSI 자체도 동작할 때 고온이 되었을 가능성이 높다. 습도는 기후뿐만 아니라 기기사용상황에 따라서도 변화한다. 온도가 낮은 야간에 기기를 정지하여 기기내부의 LSI 등의 상대습도가 높아지고, 다음날 전원을 투입할 때 이온 마이그레이션이 잘 발생하게 된다. 이온 마이그레이션으로 인한 고장이 가정용 전기제품이 많다고 하는 것도 이 때문이다. 전계강도도 이번의 다핀 논리 LSI는 일반적으로 리드프레임의 간격이 좁으므로 단자간 전계강도가 잘 높아진다.

그러나 일반 반도체 패키지에서는 이번과 같은 조건에서는 이온 마이그레이션으로 인한 불량은 절대로 일어날 수 없다. Fig. 3과 같이 고온고습환경 하에서 적색 인이 수분과 반응해 인산이 되어 Ag의 이온 마이그레이션을 가속했다고 할 수 있다.

난연제에 사용하는 적색 P 입자는 표면에 내습보호막을 형성, 수분이 입자 안에 확산되는 것을 막는다. 그러나 어떤 원인으로든 보호가 불충분해지면 인산이 발생할 가능성은 있다. 적색 P의 존재뿐만 아니라, 적색 P의 최대 입자지름에 주목하는 메이커도 있다. 앞에서 말한 반도체 메이커가 작성한 이번 불량에 관한 리포트에는 대책으로 "적색 인의 최대 입자지름을 줄인다"는 기술이 있다. 후지쯔의 실험에서는 불량발생률이 약 1/20로 감소했다고 말한다. 그러나 실제 필드에서는 기대한 대로 불량의 발생을 억제할 수 없었다. 적색 P 입자의 최대 입자지름과 불량의 관련성에 대해서는 아직 해명되지 않았다고 할 수 있다.

3.1.3 신재료 개발과 신뢰성

Br 화합물이 연소할 때 다이옥신 등의 유독가스를 발생할 가능성이 있다. 따라서 1990년경에 유럽을 중심으로 Br 화합물 사용규제가 확산되어, 봉지재 이외의 분야도 포함해 비 할로겐계 재료개발이 가속되었다. 현 시점에서 Br 화합물을 상회하는 난연 효과를 나타내는 재료는 없다고 생각하고 있다. 지금 너무 비 할로겐계(환경친화)를 요구하다 새로운 고장을 만났다.

봉지재에 기인한 이번 LSI 고장은 다음 두 가지를 생각하게 해 준다. 출하 전(개발단계) 시험에서 아무도 불량을 발견할 수 없었던 점과 고장 후의 고장해석이 어렵다는 점이다. 기기메이커나 LSI 메이커의 대부분은 봉지재를 채용할 때나 부품을 출하· 접수할 때 신뢰성 시험을 한다. 그래도 거의 모든 메이커의 시험을 통과한다. 이러한 불량은 예전에 경험한 적이 없었기 때문이라고 한다. 후지쯔의 담당자는 "이번 불량은 세계 최초의 고장모드였다고 할 수 있다. 기존 신뢰성시험에서

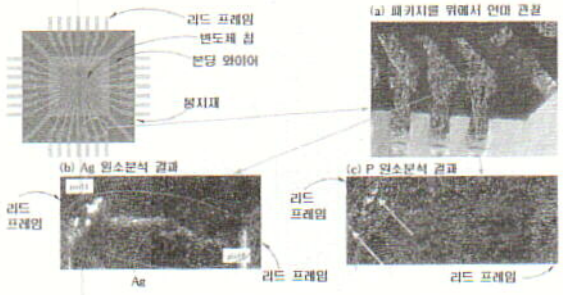


Fig. 2 LSI의 단락한 배선사이에서 Ag와 P 확인

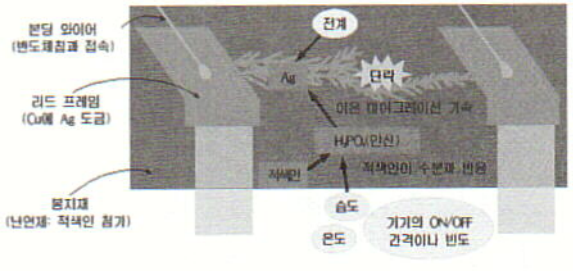


Fig. 3 P에 의한 이온 마이그레이션의 가속

는 발견할 수 없었다"고 한다.

이번 사건을 계기로 Set업체의 입장과 대책을 Table 1에 나타낸다. 전자산업의 수평분업화는 PC의 대두와 함께 가속되고 현재도 계속 진행되고 있다. 이전에는 기기 메이커 자체가 실시하던 HDD나 LSI 개발, 제조의 대부분을 전문 메이커가 하고 있다. 어떤 기능을 가진 기기의 실현에 필요한 요소기술은 몇 계층이나 되는 전문 메이커에 의해 분담되고 있다. 이렇게 되면 어느 한 전문메이커에서 트러블이 생기면 다른 전문메이커를 포함해 관련기업 전체가 영향을 받게 된다. 게다가 분업화가 너무 진행되면 어떤 층에서의 트러블 정보가 다른 기업에 빨리 전달되지 않는 단점도 있다. 그리고 트러블이 발생하면 불명확해 진다.

계속 높아지는 가격 압력과 개발속도향상의 양립을 강요당하고 있는 기기메이커에게 신뢰성평가에 할애하는 시간이나 비용은 저절로 제한된다. 이러한 상황에서 "어떻게 기기의 신뢰성을 확보할 수 있는가"라는 문제가 대두되고, 기기메이커 중에는 "가상승을 각오하고서라도 검사환경의 강화를 도모할 필요가 있다"고 생각하는 곳이 늘어나고 있다.

3.2 적층 세라믹콘덴서(MLCC)의 크랙

3.2.1 적층 세라믹콘덴서의 결함과 고장

MLCC는 $BaTiO_3$를 주원료로 하는 세라믹재료와 Ni, Pd 등의 금속전극을 사용하여 1000℃ 이상에서

Table 1 후지쯔 HDD를 사용한 주요 Set업체의 반성과 대책

Set Maker	NEC PC부문 (00~01 제품 무상교환)
사용 부품	내장 HDD
사용 조건	고온 다습 환경
반 성	새로운 대책
기기출하전의 시험 부족 - HDD 시험에 특히 주의 - 지금까지는 디스크부나 헤드부라는 기구계 중심으로 가속시험 실시 - LSI 등의 회로계는 과거에 문제를 일으킨 사례가 없었음	**기기 출하전의 가속시험 강화** - HDD 내장 PCB 제거 후, 단체상태로 고온다습 가속 시험 추가
신뢰성평가나 재료선정을 위임 - HDD 등 부품에 사용하는 재료선정이나 부품메이커 에서 실시하는 신뢰성 평가항목 등에 대해 각 메이 커에 위임 - 평가항목이 적었을지도 모름	**부품 메이커에 대한 관여 강화** - 부품/재료에 대한 정보를 빨리 입수 - 부품메이커의 부품 및 재료선정에 적극 참여
Set Maker	일본 IBM의 PC부문 (00~02 제품 무상교환)
사용 부품	내장 HDD
사용 조건	고온 다습 환경
반 성	새로운 대책
신뢰성 시험에 함정이 있었다. - HDD의 고장모드는 고온고습 상황에서 PC를 장시간 사용 후 미사용 시 잘 발생 - 지금까지 가속시험 및 부품메이커에 요구했던 신뢰성시험에는 이런 상황은 상정하지 않았음	**출하 후 시험 강화** - 부품메이커에 장시간 사용 후 미사용과 같은 신뢰성 평가 항목 추가 - HDD/메인 보드/전원주변장치 등의 주요부품 은 출하 후 경시변화(1.5년 정도)를 자사에서 관측
Set Maker	어드반 테스트 (01,02 두차례 무상교환)
사용 부품	테스터 메인보드에 실장된 LSI
사용 조건	고온 다습 환경 이외에도 발생
반 성	새로운 대책
재료선정을 부품 메이커에 맡김 - LSI 패키지 봉지재의 재료선정에 더 깊이 관여	**재료 선정에 더욱 관여** - 재료 메이커명, 재료 모델명을 부품메이커가 공개 - 재료를 직접 원소분석 후 신뢰성 확인
개발단계의 시험이 불충분 - 개발단계의 시험에서 고온고습조건의 경시변화 시험 항목이 불충분	**시험 내용을 강화** - 개발단계에 결로 시험(습도 조절)과 열/습도/전압의 영향을 실시간으로 관찰

소성 후, Cu, Ni, Sn-Pb 등의 금속 외부전극을 연결하는 전자세라믹스의 대표적인 제품으로 Fig. 4와 같은 구조를 가진다.

재료와 제조공정의 선정과 조화에 의해 1차적으로 신뢰성이 결정되고, Set 메이커에서 사용 시 취급 부주의에 의한 고장(주로 열충격에 의한 크랙)을 가져올 수 있고, 최종 소비자에 공급 후에 사용과 함께 열화 또는 파괴되는 전형적인 세라믹의 치명적 고장을 가지고 있다. 이러한 고장의 잠재요인(공정 부조화, 미소 균열, 이격(Delamination), 보이드, 등) 중에서 가장 문제가 되고 있는 균열을 제조공정에서부터 사용 시까지 발생할 수 있는 전부를 분류하여 보면 다음과 같다.

일반적으로 MLCC의 불완전함은 내부적인 것과 외부적인 것의 2영역으로 나눈다. 내부적인 것은 불규칙(Disorders), 전위(Dislocation), 입계 및 2상(Second phase)의 존재 등이고, 외부적인 것은 기공, 이격(Delamination), 미세 흠점(Thin spots), 균열, 국부 오염 및 보이드 등에 기인한다. 이러한 불완전함이 MLCC의 고장에 미치는 특징은 다음과 같다.

a) 기공이 많은 유전체는 수명이 짧고, 급격한 파괴가 일어난다.

b) 1개나 그 이상의 명확한 외부적인 결함이, 존재하는 콘덴서는 급격한 파괴 가능성이 높고초기 고장을 일으키는 경우가 많다.

c) 내부적인 결함에 의한 고장은 전압과 온도스트레스 하에서 차지인젝션(Charge injection)에 기인한 누설전류 상승을 가져오는 열화고장 형태를 보여 준다

따라서 외부적인 결함의 존재는 콘덴서의 급격한 파괴에 기여하고, 세라믹의 내부적인 결함은 열화고장 형태를 보여 준다.

5.2.2 MLCC 공정 및 사용에 따른 균열

MLCC 제조는 현재 대부분 그린시트를 제작하여, 내부 전극 인쇄, 가열/압착, 탈 바인더 및 소성 공정으로 이루어진다. 이 때, 내부 전극을 유전체 그린시트가 충분히 건조되지 않은 상태에서 인쇄하거나, 전극 인쇄 부분과 그렇지 않은 부분의 밀도차가 있으면, 탈바인더

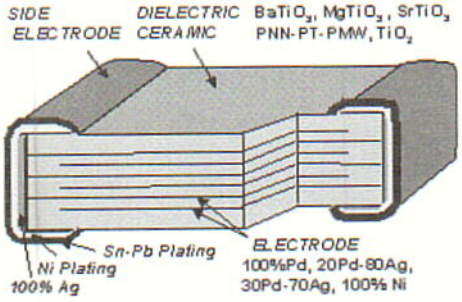


Fig. 4 MLCC의 구조 및 재료

시 다량의 가스방출과 함께 파괴되는 Fig. 5와 같은 이격이 발생시키고, 내부전극이 두꺼운 경우에도 소성 시의 과다수축(세라믹보다)에 의해 이격을 유발할 수 있다. 또한 적층압력이 작은 경우는 가압방향으로 큰 팽창이 일어나 내부전극 산화에 따른 체적증가로 인해 Fig. 6과 같은 크랙이 발생한다. 이러한 소성 시의 크랙은 검사공정에서 대부분 제거된다고 볼 수 있다.

그러나 솔더링 시의 열충격에 의한 균열은 바로 PCB 에 실장되어 기기에 사용되기 때문에 매우 위험하므로, MLCC의 내열성뿐만 아니라, 솔더링 조건 및

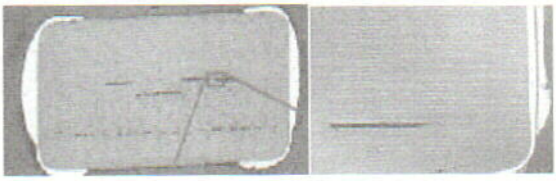


Fig. 5 이격(delamination)의 예. (b) (a)의 확대)

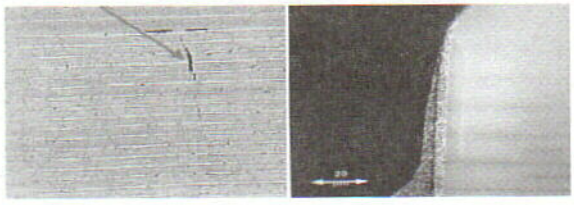
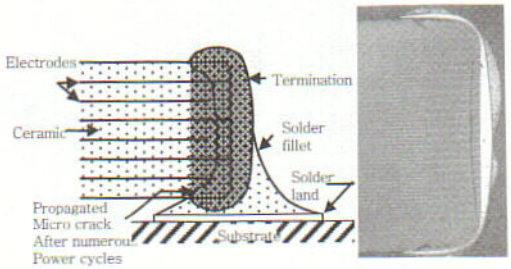
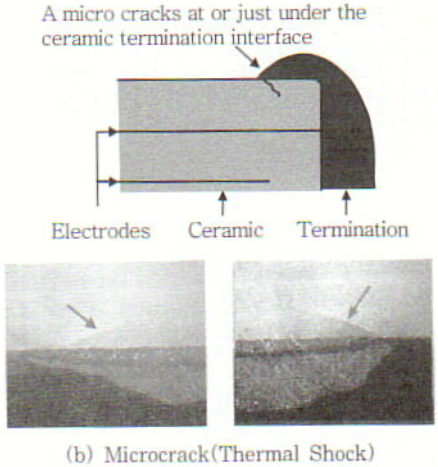


Fig. 6 소성크랙의 예. (b) (a)의 확대)



(a) 미세균열(Power Cycle)



(b) Microcrack(Thermal Shock)

Fig. 7 MLCC의 미세균열

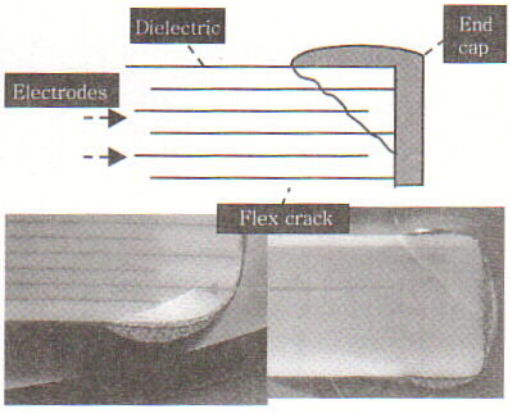


그림 8 Flex crack(PCB bending)

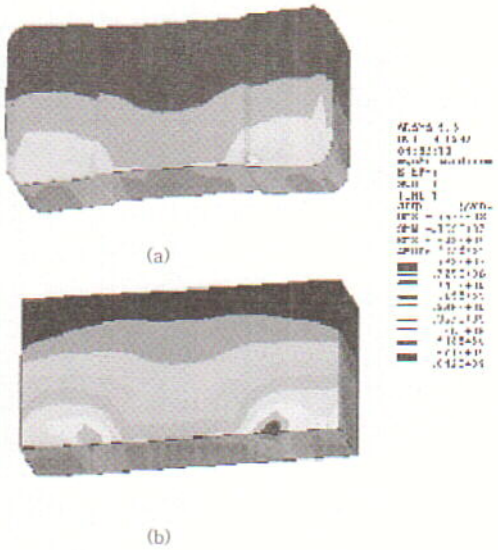


Fig. 9 PCB가 휠 때 MLCC의 응력분포. (a) MLCC의 응력 분포, (b) 세라믹스 보디에서 응력 분포

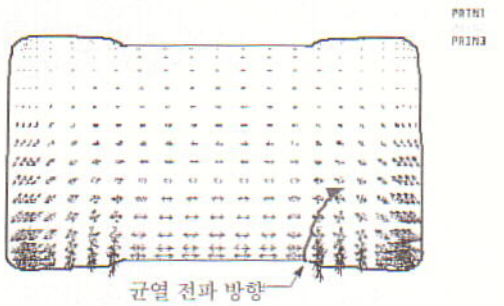


Fig. 10 MLCC 단면에서의 주응력 방향

분위기에 의해서도 여러 가지 균열을 유발할 수 있으므로 주의를 요한다. Fig. 7에 여러 가지 균열을 보여 준다.

PCB에 솔더링된 MLCC는 PCB 자체의 휨 작용에 의해 압축력과 인장력을 동시에 받게 되어 Fig. 8과 같은 파괴가 발생하는 경우도 있다. 일반적으로는 규격으로 휨 작용에 대해 MLCC가 견딜 수 있는 정도를 허용하고 있다. MLCC의 형상과 관련된 구조적인 연구를 CAE를 이용하여 유한요소법(Finite Element Method) 해석한 사례를 Fig. 9와 Fig. 10에 나타내었고, PCB의 휨 작용에 의해 MLCC에서 발생되는 현상을 규명할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Milton : "Reliability and Failure of Electronic Materials and Devices", Academic Press, 1998, pp 339-352
2. Bajenescu, Bazu, "Reliability of Electronic Components", Springer, (1999) 341-354
3. Etigakwa, "전자부품의 신뢰성시험", 일과기연, 1988, 9-16
4. Matsuda, Takashisa, "실무가를 위한 신뢰성 교재", 일과기연 (1995) 315-325
5. Taishi et. al., "후지쯔의 HDD 문제는 왜 일어났는가", Nikkei Electronics, No. 833, 2002, pp 99-119
6. Nagahiro,, "LSI Reliability Crisis", Nikkei Micro Device, No 209, (2002), 63-71
7. CALCE Electronic Products and Systems Center, "Design and Process Guidelines for Use of Ceramic Chip Capacitors", (2001), 16-26
8. Rawal, Garcia, "Factors Responsible for Thermal Shock Behavior of Chip Capacitors", 37th Electronic Components Conference, 145-156
9. Samsung Electro Mechanics, "Analysis of Frex Cracks on the Multilayer Chip Ceramic Capacitors", 1996, 2-10
10. "가전업계 국제환경규제 핫이슈 의미와 전망", 전자신문, 2002.08.27
11 "EU의 환경관련 무역규제 현황과 대응방안", 대한상공회의소 보도자료, 2003.01.14
12 "환경부하물질 삭감/전폐- 전자부품 각사가 가속", 전파신문, 2002.11.19

• 박명규
• 1961년생
• 연세대학교 준결정 재료 연구단
• 금속공학전공
• e-mail: fleury@yonsei.ac.kr