

## 인장하중하에서의 고분자/거친금속 계면의 파손에 대한 비교연구 I: 실험결과

이호영 · 김성룡\*†

서울대학교 기계항공공학부  
\*충주대학교 고분자공학과

### Comparative Study on the Failure of Polymer/Roughened Metal Interfaces under Mode-I Loading I: Experimental Result

Ho-Young Lee and Sung-Ryong Kim\*†

School of Mechanical and Aerospace Engineering, San 56-1, Seoul National University, Seoul 151-741 Korea  
\*Department of Polymer Science and Engineering, Chungju National University, Chungju 380-702 Korea

(2004년 9월 20일 받음, 2004년 12월 11일 최종수정본 받음)

**Abstract** Copper-based leadframe sheets were immersed in two kinds of hot alkaline solutions to form brown-oxide or black-oxide layer on the surface. The oxide-coated leadframe sheets were molded with epoxy molding compound (EMC). After post mold curing, the oxide-coated EMC-leadframe joints were machined to form sandwiched double-cantilever beam (SDCB) specimens. The SDCB specimens were used to measure the fracture toughness of the EMC/leadframe interfaces under quasi-Mode I loading conditions. Fracture surfaces were analyzed by various equipment to investigate failure path. The present paper deals with the failure path, and the cause of the failure path formation with an adhesion model will be treated in the succeeding paper.

**Key words** leadframe, brown oxide, black oxide, epoxy, failure path

#### 1. 서 론

표면실장형(surface mounting type) 박형 플라스틱 패키지(thin plastic package)는 세라믹 패키지(ceramic package)에 비하여 제조비용이 저렴할 뿐 아니라 전자기기의 소형화, 경량화 요구를 수용할 수 있어 널리 사용되고 있다. 그러나 패키지를 인쇄회로기판(PCB: Printed Circuit Board)에 실장하기 위하여 솔더 리플로우(solder reflow)를 거치는 동안 종종 팝콘크래킹 현상(popcorn cracking phenomena)을 일으켜 문제가 된다.<sup>1)</sup> 팝콘 균열(popcorn crack)은 원인이 되는 초기 균열(pre-crack)이 형성되는 위치에 따라 크게 세 가지 형태(type)로 나눌 수 있다.<sup>2)</sup> 다이패드(die pad)와 EMC 사이의 박리(delamination)에 의해서 초기 균열이 형성되고, 이렇게 형성된 초기 균열이 진전하여 팝콘균열을 형성하는 type I과, 실리콘 칩(Si chip)과 다이패드를 접착시켜주는 다이접착제(die bond adhesive)와 다이패드와의 박리에 의해서 초기 균열이 형성되고, 이렇게 형성된 초기 균열이 진전하여 팝콘균열을 형성하는 type II, 그리고 실리콘 칩(Si chip)

과 EMC사이의 박리에 의해서 초기 균열이 형성되고, 이렇게 형성된 초기 균열이 진전하여 팝콘균열을 형성하는 type III가 그것이다.<sup>3)</sup> 이 중에서 type I 팝콘 균열은 발생빈도가 비교적 높다고 알려져 있고, 리드프레임(die pad)과 EMC 사이의 접착력 증대가 type I 팝콘 균열의 발생을 억제하기 위한 하나의 해결책으로 간주되고 있다.<sup>4)</sup>

구리를 뜨거운 알칼리 용액에서 화학적으로 산화시키면 표면에 바늘 모양의 산화물 층이 형성되며, 이러한 산화물들은 고분자와 기계적으로 고착하여 접착하기 때문에 접착력이 증가하는 것으로 알려져 있다.<sup>5)</sup>

본 연구에서는 다이패드(die pad)로 사용되는 리드프레임과 EMC 사이의 접착불량에 기인하여 발생하는 type I 팝콘 크래킹 현상의 발생 빈도를 줄이고자 EMC로 몰딩(molding)하기 전에 구리계 리드프레임의 표면에 갈색 산화물(brown oxide) 및 흑색산화물(black oxide)을 형성시켰으며, 산화물의 형성이 접착력에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 파괴역학적 개념에 기반을 두고 제작된 SDCB (Sandwiched Double-Cantilever Beam) 시편을 제작하여 EMC/리드프레임 계면의 접착력을 계면 파괴인성치(interfacial fracture toughness)로 측정하였다. 접착력 측정 후 여러 가지 분석장비를 이용하여 파면을 분석, 파

†E-Mail : srkim@chungju.ac.kr

손경로(failure path)를 규명하였고 이를 소개하고자 한다. 파손경로의 형성원인에 대한 설명은 다음 논문에서 다룰 예정이다.

## 2. 실험 방법

구리계 리드프레임(상품명: EFTEC-64T, 조성: Cu-0.3Cr-0.25Sn-0.2Zn)을 표면세척하고 자연산화물(native oxide)층을 제거한 후 뜨거운 알칼리 용액에 담궈 표면에 갈색산화물<sup>6)</sup> 및 흑색산화물을 형성시켰다.<sup>7)</sup> 표면에 산화물이 형성된 리드프레임은 압축성형시스템(compression molding system)을 이용하여 EMC로 몰딩한 후 기계적 가공을 통하여 SDCB (Sandwiched Double-Cantilever Beam) 시편을 제작하였다.<sup>8)</sup> 이들 시편은 샌드위치 시편(sandwiched specimen)이라 불리는데, 그 이유는 벌크 EMC 사이에 얇은 리드프레임이 존재하여 마치 샌드위치 구조를 하고 있기 때문이다. 이때 리드프레임은 EMC에 비하여 상대적으로 매우 얇아야 하는데, 그 이유는 계면파괴역학적 관점에서 정의된 샌드위치 시편이 되려면 사이 층(본 연구에서는 리드프레임)이 바깥층(본 연구에서는 EMC)에 비하여 대략 100분의 1 이하로 매우 얇아야 한다.<sup>9)</sup> 이럴 경우 중간층의 역할은 무시할 수 있기 때문에 샌드위치 시편은 마치 중간층은 없고 바깥층만으로 이루어져 있는 균질한 시편(homogeneous specimen)으로 해석이 가능하다.<sup>9)</sup> 여기서 균질한 시편으로 해석이 가능하다는 의미는 시편 내에 존재하는 균열의 에너지방출률(energy release rate)과 외부하중(external loading)의 관계를 규정하는데 있어서 중간층의 존재는 무시되고 오로지 바깥층의 물성만을 고려하여 해석해도 문제가 없다는 의미이다. 본 연구에서 사용된 시편의 형상을 Fig. 1에 나타내었다. 초기균열(pre-crack)은 사무용품의 하나인 수정테이프(correction tape)를 사용하여 형성하였다. 수정테이프는 두께가 얇고 접착력이 불량하기 때

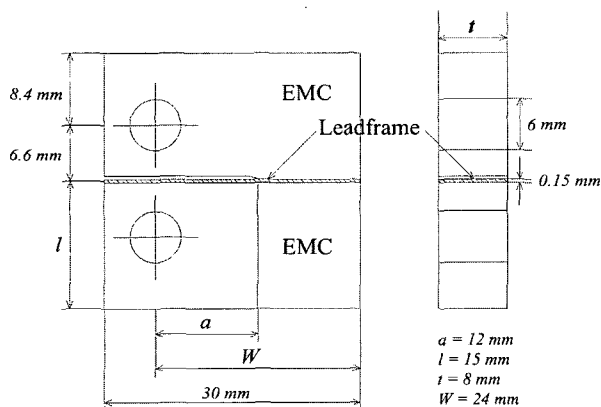


Fig. 1. Schematic diagram of SDCB (Sandwiched Double-Cantilever Beam) specimen.

문에 원하는 모양의 초기균열을 형성시키기에 매우 유리하다.

계면파괴인성치(interfacial fracture toughness)는 시편이 파괴되기 직전까지 탄성변형거동을 한다고 가정할 경우 임계 에너지방출률(critical energy release rate)과 같게 된다. 따라서, 시편에 대한 에너지방출률 식에 하중-변위 곡선으로부터 얻은 임계하중(critical load) 값을 구하여 임계에너지 방출률을 구하면 계면파괴인성치를 구할 수 있다. 본 연구에서 사용된 시편들의 경우, 샌드위치 시편이기 때문에 리드프레임의 존재는 무시할 수 있고, 바깥층으로 사용된 EMC의 경우 열경화성 수지이기 때문에 취성(brittleness)이 강하여 파괴되기 직전까지 탄성변형거동(linear elastic deformation)을 보인다고 가정하였다.

계면파괴인성치 측정 후에는 SEM (Scanning Electron Microscope, 모델: Hitachi S2380N), 소각(glancing-angle) XRD (X-Ray Diffractometer, 모델: Rigaku, D/max-rc (12 kW)), AES (Auger Electron Spectroscopy, 모델: SAM 4300)를 이용한 표면분석을 통하여 파손경로를 규명하였다. 정확한 정보를 얻기 위해서는 반드시 표면오염의 영향이 제거된 후에 AES 분석이 수행되어야 한다. 이를 위하여, 시편을 AES 분석 챔버에 잠입시킨 후 본격적인 AES 분석을 실시하기 바로 직전에 0.2분 동안 알곤(Ar) 스퍼터링으로 표면을 깨끗이 해 주었다. 알곤 스퍼터링 후 진공을 깨지 않고 곧바로 AES 분석을 수행함으로써 알곤 스퍼터링 후 다시 표면이 오염되지 않도록 하였다.

## 3. 결 과

### 3.1 산화거동

표면 미세 구조를 SEM으로 관찰하였고, 그 결과를 Fig. 2(갈색산화물)와 Fig. 3(흑색산화물)에 나타내었다.<sup>8)</sup> 세정(cleaning)과 전처리(pre-treatment)만을 행한 리드프레임의 표면에서 줄무늬 모양이 관찰되었는데, 이는 리드프레임을 제조할 때의 공정 중의 하나인 냉간가공(cold rolling) 공정시 형성된 것으로 생각된다.<sup>8)</sup>

갈색산화물 처리를 받은 리드프레임의 표면에서는 미세한 바늘모양의 석출물들이 관찰되었다. 이러한 석출물들은 XRD 분석결과 CuO로 판명되었으며, 처리시간 2분까지만 성장하고 그 이후에는 성장을 멈추는 것으로 판명되었다.<sup>8)</sup>

흑색산화물 처리를 받은 리드프레임의 표면에서는 조약돌 모양의 석출물들이 초기에 관찰되었으며, 이러한 석출물들은 처리시간 1분까지 성장하였다.<sup>10)</sup> 이러한 석출물들은 XRD 분석결과 Cu<sub>2</sub>O로 판명되었다. 처리시간 1분 이후에는 바늘모양의 석출물들이 나타나기 시작하였고, 점차 성장하여 처리시간 2분에는 표면전체를 완전히 덮어

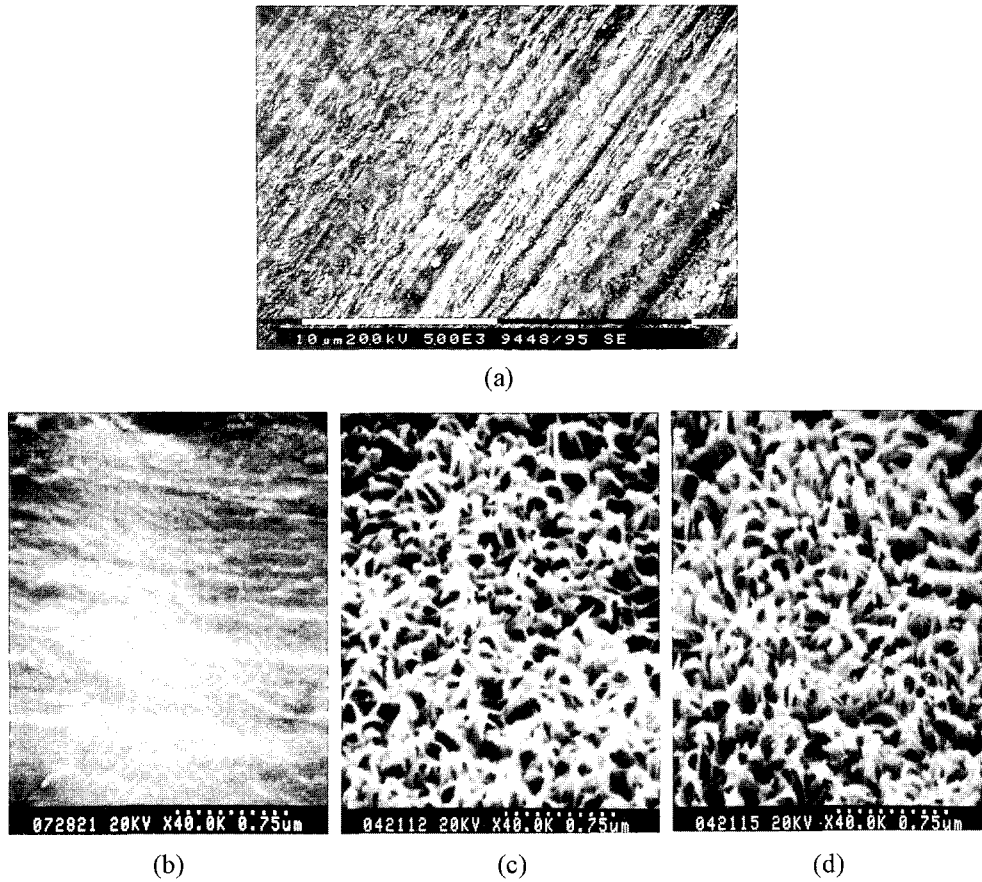


Fig. 2. SEM micrographs of brown-oxide-coated leadframe: oxidation times are (a) and (b) 0, as-cleaned, (c) 30 sec, (d) 20 min.

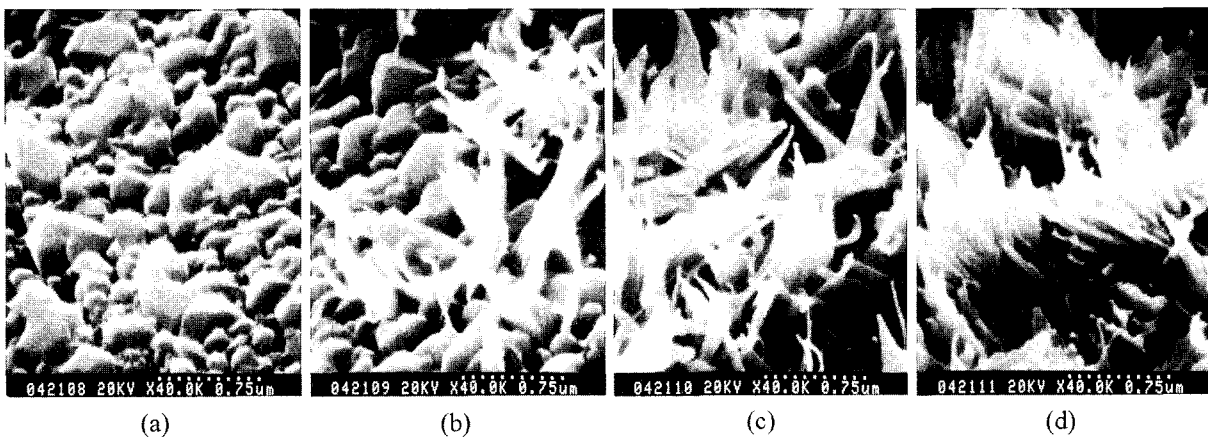


Fig. 3. SEM micrographs of black-oxide-coated leadframe: oxidation times are (a) 30 sec, (b) 1 min, (c) 2 min, and (d) 20 min.

버렸다. XRD 분석결과 이러한 석출물들은 CuO로 판명되었다.<sup>10)</sup>

### 3.2 접착력

갈색산화물이 입혀진 리드프레임/EMC 계면의 파괴인성치를 SDCB 시편을 이용하여 측정하였고, 그 결과를

Fig. 4에 나타내었다.<sup>8)</sup> 처리를 하지 않은 경우의 파괴인성치는 0이었지만, 갈색산화물이 형성되면 처리시간 1분까지는 거의 직선적으로 증가하였다. 처리시간 2분에서 약  $80 \text{ J/m}^2$ 의 값으로 포화되어 더 이상 증가하지 않았다.<sup>8)</sup>

흑색산화물이 입혀진 리드프레임/EMC 계면의 파괴인

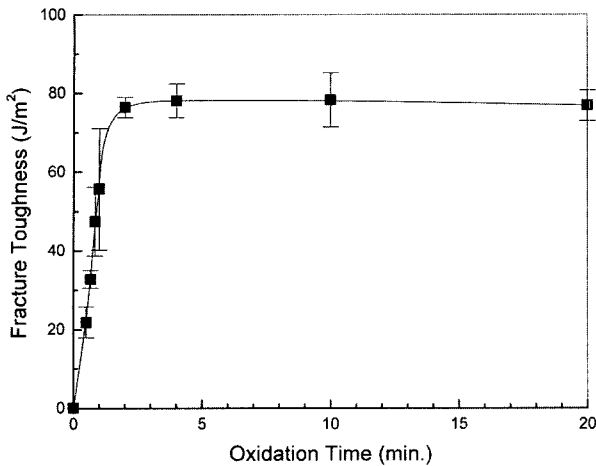


Fig. 4. Fracture toughness of the EMC/brown-oxide-coated copper-based leadframe interface.

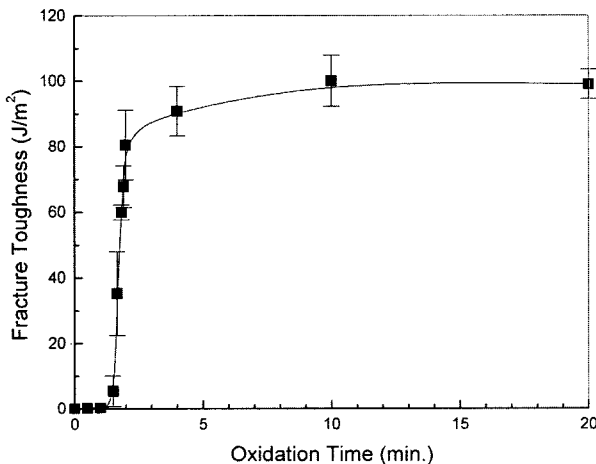


Fig. 5. Fracture toughness of the EMC/black-oxide-coated copper-based leadframe interface.

성치를 SDCB 시편을 이용하여 측정하였고, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다.<sup>10)</sup> 처리시간 1분까지 파괴인성치는 0이었지만, 처리시간 2분에서 약  $80 \text{ J/m}^2$ 의 값을 보였고, 처리시간 10분에서는 약  $100 \text{ J/m}^2$ 로 포화된 후 더 이상 증가하지 않았다. 이를 통하여 표면에  $\text{Cu}_2\text{O}$ 층이 존재하는 것이 접착력 증가에 전혀 기여하지 않지만 바늘 같은  $\text{CuO}$ 층이 존재하는 것은 접착력 증가에 상당한 기여를 한다는 것을 알 수 있었다.<sup>10)</sup>

### 3.3 파손경로

#### 3.3.1 갈색산화물

여러 가지 분석 장치를 이용하여 분석한 결과 갈색산화물이 입혀진 리드프레임/EMC 접합체의 파손경로는 처리시간 2분을 기준으로 확연히 구분된다. 처리시간 2분 미만의 경우,  $\text{CuO}$ 층/EMC 계면과 EMC의 내부에 걸쳐

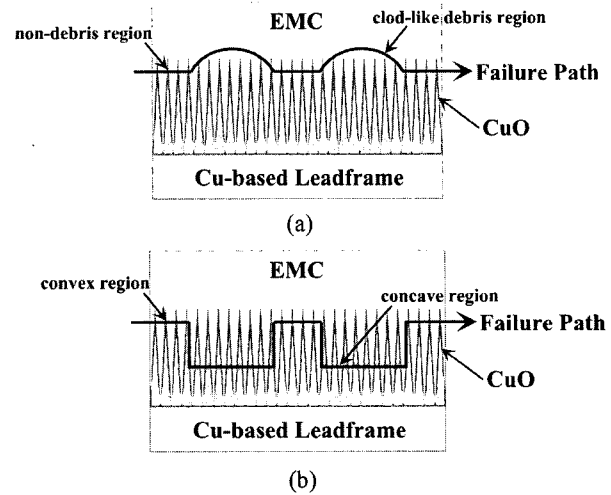


Fig. 6. Schematic diagrams delineating failure paths for the EMC/brown-oxide-coated copper-based leadframe system. (a) A-type failure, and (b) B-type failure.

서 파손이 일어난 것으로 판명되었다.<sup>11)</sup> 이러한 형태의 파손을 편의상 'A-형 파손'이라 명명하였다. 처리시간 2분 이상의 경우에는  $\text{CuO}$ 층/EMC 계면과  $\text{CuO}$ 층 내부에 걸쳐서 파손이 일어난 것으로 판명되었다.<sup>11)</sup> 이러한 형태의 파손을 편의상 'B-형 파손'이라 명명하였다. 파손경로를 Fig. 6에 나타내었다.

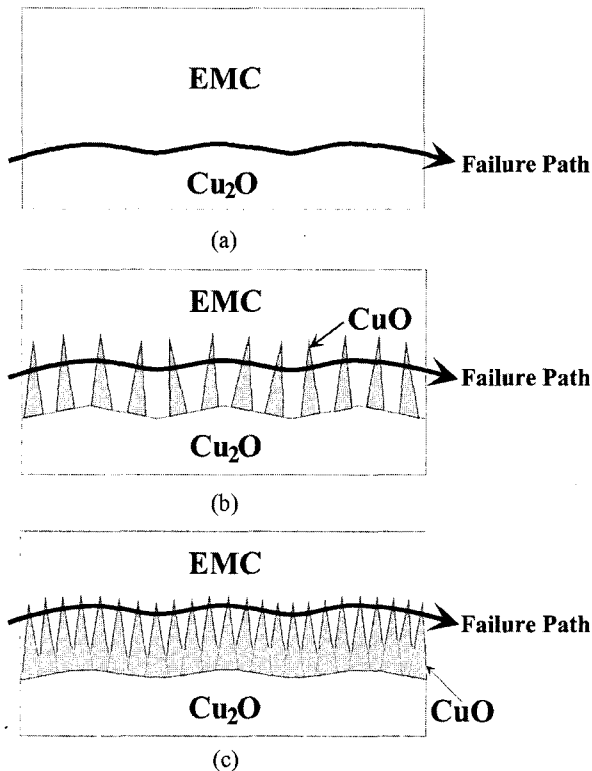
#### 3.3.2 흑색산화물

분석 결과 흑색산화물이 입혀진 리드프레임/EMC 접합체의 파손경로는 처리시간 1분과 2분을 기준으로 확연히 구분된다. 처리시간 1분 미만의 경우,  $\text{Cu}_2\text{O}$ /EMC 계면에서 파손이 일어난 것으로 판명되었다.<sup>12)</sup> 이러한 형태의 파손을 편의상 'C-형 파손'이라 명명하였다. 처리시간 1분과 2분 사이에서는  $\text{Cu}_2\text{O}$ /EMC 계면과  $\text{CuO}$ 층/EMC 계면에서 파손이 일어나는 것으로 판명되었다.<sup>12)</sup> 이러한 형태의 파손을 편의상 'D-형 파손'이라 명명하였다. 처리시간 2분 이상의 경우에는  $\text{CuO}$ 층/EMC 계면에서 파손이 일어난 것으로 판명되었다.<sup>12)</sup> 이러한 형태의 파손을 편의상 'E-형 파손'이라 명명하였다. 파손경로를 Fig. 7에 나타내었다.

## 4. 결 론

1. 갈색산화물과 흑색산화물이 입혀진 리드프레임/EMC 계면의 파괴인성치(interfacial fracture toughness)를 SDCB (Sandwiched Double-Cantilever Beam) 시편을 이용하여 준인장모드(quasi-Mode I) 하중 조건에서 측정하였고, 계면파괴인성치 측정 후 얻어진 파면을 분석하여 파손경로를 규명하였다.

2. 갈색산화물이 입혀진 리드프레임/EMC 접합체의 파



**Fig. 7.** Schematic diagrams delineating failure paths for the EMC/black-oxide-coated copper-based leadframe system. (a) C-type failure, (b) D-type failure and (b) E-type failure.

손경로는 처리시간 2분을 기준으로 확연히 구분된다. 처리시간 2분 미만의 경우, CuO층/EMC 계면과 EMC의 내부에 걸쳐서 파손이 일어난 것으로 판명되었다. 이러한 형태의 파손을 편의상 'A-형 파손'이라 명명하였다. 처리시간 2분 이상의 경우에는 CuO층/EMC 계면과 CuO층 내부에 걸쳐서 파손이 일어난 것으로 판명되었고, 이러한 형태의 파손을 편의상 'B-형 파손'이라 명명하였다.

3. 흑색산화물이 입혀진 리드프레임/EMC 접합체의 파손경로는 처리시간 1분과 2분을 기준으로 확연히 구분된다. 처리시간 1분 미만의 경우, Cu<sub>2</sub>O/EMC 계면에서 파손이 일어난 것으로 판명되었다. 이러한 형태의 파손을 편의상 'C-형 파손'이라 명명하였다. 처리시간 1분과 2분 사이에서는 Cu<sub>2</sub>O/EMC 계면과 CuO층/EMC 계면에서 파손이 일어나는 것으로 판명되었고, 이러한 형태의 파손을 편의상 'D-형 파손'이라 명명하였다. 처리시간 2분 이상의 경우에는 CuO층/EMC 계면에서 파손이 일어난 것으로 판명되었으며, 이러한 형태의 파손을 편의상 'E-형 파손'이라 명명하였다.

## 참 고 문 헌

1. A. A. Gallo and R. Munamarty, *IEEE Trans. Reliab.*, **44**(3), 362 (1995).
2. H. Lee and Y. Y. Earmme, *IEEE CPMT*, **19**(2), 168 (1996).
3. S. Omi, K. Fujita, T. Tsuda and T. Maeda, *IEEE CHMT*, **14**(4), 818 (1991).
4. H. Y. Lee, *Mater. Sci. Eng.* **A311**(1-2), 217 (2001).
5. C. Kembell, *Adhesion*, D. D. Eley, Oxford University Press, London, 19 (1961).
6. B. J. Love and P. F. Packham, *J. Adhesion*, **40**, 139 (1993).
7. H. K. Yun, K. Cho, J. H. An and C. E. Park, *J. Mater. Sci.*, **27**, 5811 (1992).
8. H. Y. Lee and J. Yu, *Korean J. Mater. Res.*, **9**(10), 992 (1999).
9. Z. Suo and J. W. Hutchinson, *Mater. Sci. Eng.* **A107**, 135 (1989).
10. H. Y. Lee, *Trans. Electric. Electron. Mater.*, **1**(3), 23 (2000).
11. H. Y. Lee and S. R. Kim, *J. Korean Inst. Surf. Eng.*, **33**(4), 241 (2000).
12. H. Y. Lee and S. R. Kim, *J. Microelectron. Packag. Sci.*, **7**(2), 7 (2000).