

IC 몰딩 콤파운드 재료의 파괴 인성치(II)

논문
11-5-3

Fracture Toughness of IC Molding Compound Materials(II)

김경섭*, 신영의**
(Kyung-Seob Kim, Young-Eui Shin)

Abstract

Cracking problem of Epoxy Molding Compound(EMC) is critical for the reliability of the plastic package during temperature cycling and IR-reflow condition. Fracture toughness of EMC, which is defined as the resistance of EMC to the crack propagation, is a useful factor in the estimation of EMC against package crack. Thus, development of EMC having high fracture toughness at a given loading condition would be important for confirming the integrity of package.

In this study, toughness of several EMC was measured by varying the test conditions such as temperature, loading speeds, and weight percent of filler in order to quantify the variation of toughness of EMC under various applicable conditions.

It was found from the experiments that toughness of all EMC has following trends, i.e., it rapidly decreases over the glass transition temperature, remains almost same or little decreases below 0°C. It decreases with the growth of cross head speed in EMC and the weight percent of filler as the degree of brittleness of EMC increases with the amount of filler content.

Key Words(중요용어) : Epoxy Molding Compound(에폭시 몰딩 콤파운드), Fracture Toughness(파괴 인성치), Filler(충진제), Crack(파손), Loading Speed(하중속도)

1. 서론

반도체 패키징 기술의 핵심은 몰딩이라고 해도 과언이 아니다. 패키징의 또다른 표현이 봉지(encapsulation)이라는 점이나, 이 봉지의 목적이 1) 외부환경으로부터 반도체 칩을 보호, 2) 외부환경으로부터 전기적 절연, 3) 칩의 작동시 발생하는 열의 효과적 방출, 4) 실장의 간연성 등임을 고려한다면 반도체 패키지는 몰딩에 의하여 봉지가 완성되는 것을 알 수 있다.

일반적으로 플라스틱 패키지가 봉지수지로 몰딩된 후 상온으로 냉각되면서, 소재들의 열팽창률 차이로 인해 응력이 발생하며, 패키지 내부의 응력 집중부에 미세균열이 발생한다. 그리고 이 균열은 온도충

격시험(temperature cycling test)과 흡습에 의한 재료의 열화(degradation)로 칩(chip)과 다이패드(die pad)계면 또는 다이패드와 에폭시 몰딩 콤파운드(EMC, Epoxy Molding Compound) 계면등에 박리(delamination)를 유발시킨다. 이 계면으로 침투한 습기가 리플로 과정에서 증기화하여, 약 2~3 MPa의 압력을 발생시키며, 이 압력과 열응력이 복합적으로 작용하여 균열선단에 많은 응력이 집중된다. 이 응력의 집중된 정도를 나타내는 것이 응력세기계수(stress intensity factor)이며, 이 값이 한계치를 넘어서면 균열이 진전(propagation)된다.

IC 패키지의 열응력에 대한 연구는 1970년대 후반부터 시작하여 압전저항 소자(piezoresistive device), 스트레인 게이지(strain gage), 광탄성(photoelasticity)을 사용하여 내부응력을 측정하였으나, 국부적인 부위와 패키지 제작후의 응력해석이라는 단점 때문에, 컴퓨터를 사용한 유한요소법(finite element method) 해석이 1980년대부터 행해져 왔으며, 초기에는 선형상태에 국한되다가 1985년경부터는 비선형 상태에서 해석하게 되었고, 주로 상업용 프로그램을

* : 여주대학 전자과
(경기도 여주군 여주읍 교리 산 6-16, Fax:0337-83-5113
E-mail: kkseob@yeojoo.ac.kr)

** : 중앙대학교 기계설계학과

1998년 1월 14일 접수, 1998년 3월 17일 심사완료

사용하였다. 또한 1990년에는 8가지 상업용 몰딩 콤파운드를 적용하여 열에 의한 재료의 파손현상¹⁾의 측정이 시도되었다. 그러나 종래의 반도체 파손현상의 연구는 굽힘강도, 전단강도를 판단기준으로 하는 전통적인 고장 평가 기준에 의하여 행하여²⁾지고 있으나 더욱 신뢰성있는 해석 결과를 얻기 위해서는 파손의 직접적인 원인인 균열을 다루는 파괴 기준이 적용되어야 한다. 또한 패키지 내부의 미세 균열이 파단으로의 진전여부를 예측하기 위해서는 몰딩 콤파운드의 균열저항값을 나타내는 물성치인 파괴인성치(fracture toughness, K_{Ic})를 실험적으로 구해야 하나, 이에 대한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 반도체 봉지수지의 파괴인성치 측정 및 패키지 적용³⁾에 연속해서 재료의 함량과 실험조건을 변화시켜서, 이때의 파괴인성치를 측정하였다. 이 측정값은 패키지 개발시 신뢰성을 확보할 수 있는 몰딩 콤파운드를 선정하거나, 신규 개발된 몰딩 콤파운드가 보장할 수 있는 신뢰성 수준을 사전에 예측하는데 필요한 주요 데이터로 사용될 수 있다.

2. 실험 방법

콤파트 인장 시험편을 만들기 위해서 트랜스퍼 몰딩(transfer molding) 다이(die)를 제작하였다. 이 다이는 $W \times L \times H : 310 \times 285 \times 385$ mm로 제작되었으며, 시험편 제작시 다이 가열 온도는 175 °C, 압력은 500 psi, 경화 시간은 120초이다. 시험편 제작후 후경화(post cure)는 175 °C, 6시간을 행하였다. 평균 입도는 몰딩 콤파운드 제작에 필요한 충전재 각각의 지름의 평균을 의미하며, 몰딩 콤파운드에 대해 충전

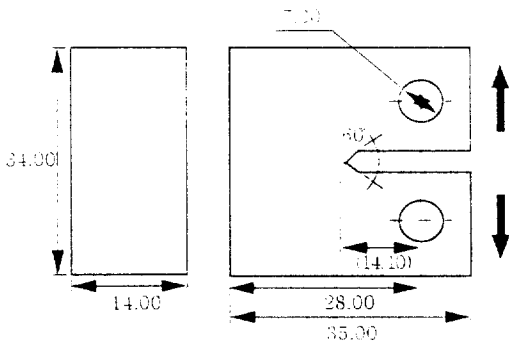


그림 1. 콤파트 인장 시험편 치수(단위:mm)
Fig. 1. Compact tension specimen dimension (unit:mm)

재의 중량비는 85 W%를 기준으로 하여, 충전재의 평균 입도가 15 μ m, 17 μ m, 25 μ m인 각각의 시험편을 제작하였다. 측정에 사용된 모든 표준 시험편의 균열은 노치 선단에서 razor blade를 사용하여, 0.1 mm 깊이의 free crack을 형성하였다. razor blade에 의해 발생하는 압축 잔류응력을 최소화하기 위해 균열을 형성시킨 뒤 상온에서 1주 경과후 모든 실험을 진행하였다.⁴⁾ 그림 1에 콤파트 인장 시험편의 주요 치수를, 그림 2에는 트랜스퍼 몰딩으로 제작된 시험편의 형상을 나타내었다.

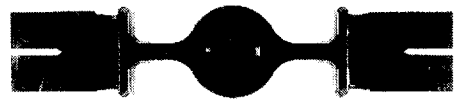


그림 2. 시험편 사진
Fig. 2. Specimen photograph

2.1 평면 변형 파괴인성치

파괴인성치 측정에 적용된 항목은 아래와 같다.

- 1) 온도별: -40, 0, 25, 85, 155, 230 °C
- 2) 온도/습도 조건별: 25/100, 151/100, 230/100 °C/%
- 3) 크로스헤드 속도별: 1, 5, 10 mm/min
- 4) 충전재 중량비별: 75, 80, 85 W%
- 5) 충전재 평균 입도별: 15, 17, 25 μ m

2.2 측정

실험장치는 UTM(ZWICK model-1425)을 사용하였으며, 온도변화에 따른 실험은 온도조절 챔버를 부착하여 측정하였다. 또한 온·습도별 측정은 고온 고습 챔버(HAST model TPC412M) 속에 필요한 시간동안 보관한 후 온도챔버에 넣어 측정하였다. 실

표 1. 물성치
Table 1. Material property

Property	EOCN EMC	Biphenyl EMC	Poly Function EMC
T_g	150	133	184
Modulus (MPa)	25°C	17600	19900
	215°C	2070	1960
CTE (ppm/°C)	$T < T_g$	10	10
	$T > T_g$	45	45
Filler(구형:각형)	70:30	70:30	90:10

험시 적용된 하중속도(loading rate)는 동적효과(dynamic effect)에 의한 오차를 최소화하기 위해서 크로스헤드 속도를 1.67×10^{-5} m/s(1mm/min)로 하였다. 실험에 사용된 몰딩 콤파운드는 3종류로 EOCN(epoxy ortho-cresol novolac)계, 바이페닐(biphenyl)계, 고관능성(polyfunction)계이며, 표 1에 물성치를 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

실험결과로 얻은 하중-변위곡선을 이용해서 파괴인성치를 식 (1), (2)로 구하였다.⁵⁾

$$K_Q = \frac{P_Q}{B \cdot W^{1/2}} \cdot f(a/W) \quad (1)$$

$$f(a/W) = \frac{(2+a/W)(0.886+4.64(a/W)) - 13.32(a/W)^2 + 14.72(a/W)^3 - 5.6(a/W)^4}{(1 - (a/W))^{3/2}} \quad (2)$$

여기서, P_Q =최대하중(KN), B=시험편 두께(cm), W=시험편 길이(cm), a=파손길이(cm)이다.

3.1 온도에 따른 파괴인성치

-40~230 °C 사이에서 측정된 시험편의 갯수는 몰딩 콤파운드별로 5개이며, 이 파괴인성치들을 평균값으로 산출한 결과를 그림 3에 나타내었다. 85~230 °C의 사이에서 EOCN과 바이페닐계는 비슷한 파괴인성치를 보이며, 85°C 이상에서 급격히 낮아진다. 그러나 0~-40 °C 사이에서는 파괴인성치가 상온(25 °C)에 비교해서 동등하거나 약간 감소하여, 파괴인성치는 저온으로 내려갈때 보다는 고온으로 올라갈 때 급격히 감소한다.

또한 고관능성계는 25~155 °C(유리전이온도 이하) 사이에서는 파괴인성치의 변화가 거의 없으며, 155 °C 이상의 고온에서 급격히 낮아진다. 따라서 고온으로 갈 수록 파괴인성치가 작아지는 것은 온도가 증가하면 중요요리를 구성하고 있는 각 원자간의 결합강도가 떨어져서 기계적 물성치 자체가 저하되고, 파괴인성치 또한 작아진다.⁶⁾ 또한 모든 몰딩 콤파운드에서 온도가 증가할 수록 파괴인성치는 작아지나, 상대적으로 파손이 일어날 때까지의 변위값은 증가하여 몰딩 콤파운드가 연성(ductile)화됨을

알 수 있다.

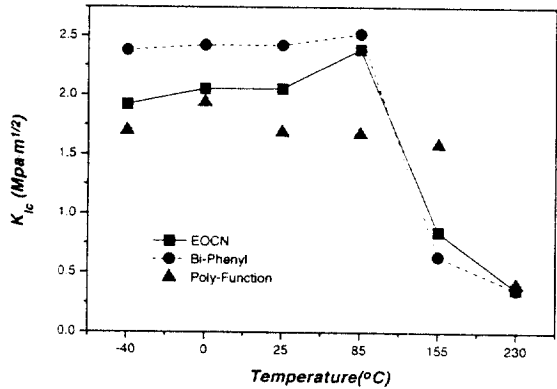


그림 3. 온도에 따른 파괴 인성치

Fig. 3. Effect of temperature on fracture toughness

3.2 온도/습도 조건에 따른 파괴인성치

온도/습도 조건에 따른 파괴인성치의 변화를 측정하기 위하여, 다양한 조건에서 측정하였으며 추정 결과를 그림 4에 나타내었다. 측정은 각각의 온도/습도 조건에서 수분의 증가량이 거의 없는 360시간 경과후 측정하였다. 상온과 고온상태에서 시험편의 흡습정도가 몰딩 콤파운드의 파괴인성치에 미치는 영향은 포화상태의 시험편이 수분이 제거된 시험편보다 파괴인성치가 작다. 그러므로 외부에서 몰딩 콤파운드에 들어가는 수분이 충전재와 레진과의 결합력을 저하시켜서 파괴인성치에 영향을 끼침을 알 수 있다.

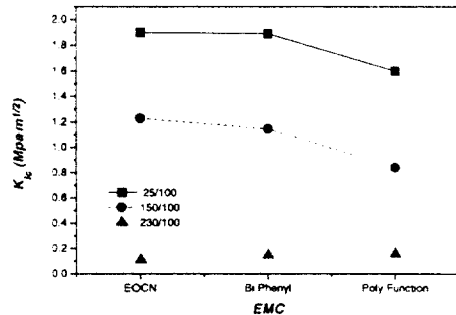


그림 4. 온도/습도 조건에 따른 파괴 인성치

Fig. 4. Effect of temperature/humidity conditions on fracture toughness

3.3 크로스헤드 속도에 따른 파괴인성치

크로스헤드 속도(crosshead speed)에 따른 파괴인성치의 영향을 분석하기 위하여, 상온(25 °C)에서 측정하였고 이 결과를 그림 5에 나타내었다. 크로스헤드 속도에 따른 영향은 헤드의 속도가 감소할 수록 증가하였다.

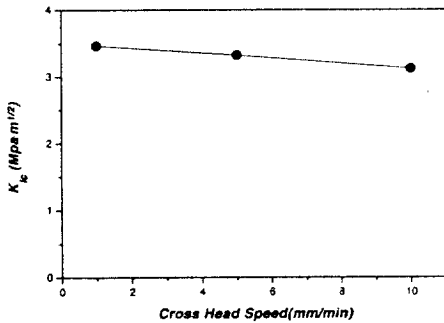


그림 5. 크로스 헤드 속도에 따른 파괴 인성치
Fig. 5. Effect of crosshead speed on fracture toughness

3.4 충전재 중량비에 따른 파괴인성치

EOCN계 몰딩 콤파운드에서 충전재의 중량비(W%)에 따른 파괴인성치를 상온(25 °C)에서 측정하였고, 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 충전재 중량비는 시험편 제작이 가능한 범위내에서 제작하였으며, 그 범위는 중량비 기준 75~85 W%이다. 이때 충전재의 구형:각형의 비율은 85:15 W%이며, 평균 입도는 16 μm이다.

측정결과 충전재의 중량비가 증가할 수록 파괴인

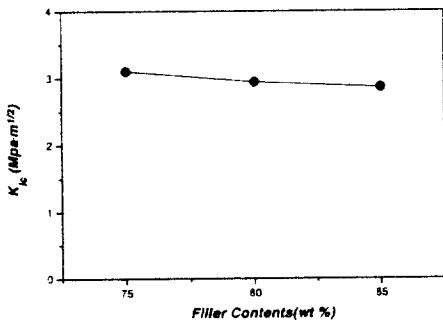


그림 6. 충전재 중량비에 따른 파괴 인성치
Fig. 6. Effect of filler contents on fracture toughness

성치는 감소함을 알 수 있다. 이는 충전재의 중량비가 증가하면 상대적으로 레진의 중량이 감소하여 재료의 취성화 성질이 강해지기 때문이다.

3.5 충전재 평균 입도에 따른 파괴인성치

평균입도별로 측정된 결과 평균 입도 크기가 커질 수록 파괴인성치는 감소하였다. 따라서 몰딩 콤파운드를 구성하고 있는 충전재의 평균 입도가 작아지면 패키지 파손 저항력은 상대적으로 커짐을 알 수 있다. (그림 7)

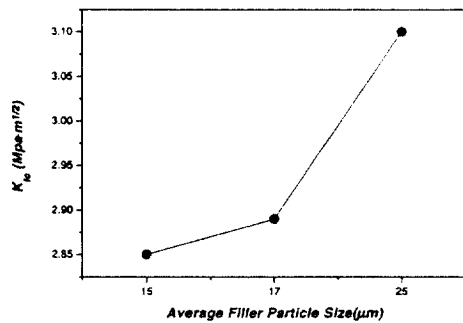


그림 7. 충전재 평균 입도에 따른 파괴 인성치
Fig. 7. Effect of average filler size on fracture toughness

3.6 시험편 파손 형상

패키지는 보관중 또는 각종 신뢰성시험 분위기에서 대기중의 수분을 흡수한다. 이 흡수된 수분은 적외선 리플로우 시험 및 각종 신뢰성시험등을 거치면서 반복되는 열응력 및 수증기압에 의해서 균열이 발생하고, 이 패키지 파손 형상을 유추하기 위해 상온과 고온에서 장시간 보관한 시험편에 발생하는 파면의 형태를 관찰하였다. 그림 8은 바이페닐계 몰딩 콤파운드를 상온에서 실험한 후 전자현미경으로 관찰한 파면이고, 그림 9는 215 °C, 12시간 경과후의 파면이다.

그림8, 9에서 보는 바와같이 상온에서 실험한 시험편의 파면은 충전재가 보이지 않고 레진과 충전재가 서로 잘 결합되어 있으나, 고온에서 장시간(215 °C, 12시간) 처리후 실험한 파면은 재질의 열화로 인하여 충전재와 레진사이의 계면 접착력이 저하되어 충전재가 외부로 노출됨을 알 수 있다. 따라서 상온과 고온 처리후의 파면의 형상이 서로 상이하므로, 패키지 파면 형상만으로도 패키지 신뢰성에 대한 정보를 예측할 수 있다.

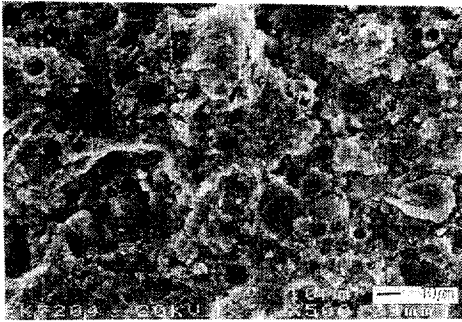


그림 8. 시험편 파손 형상(25°C)
Fig. 8. Specimen crack morphology(25°C)

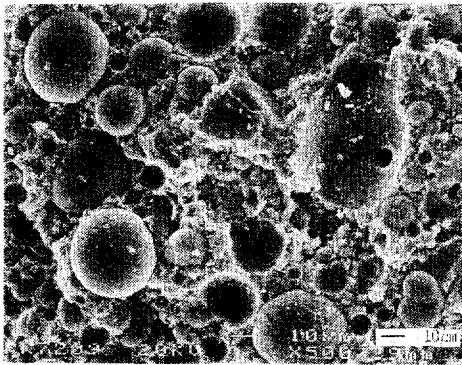


그림 9. 시험편 파손 형상(215°C, 12hr)
Fig. 9. Specimen crack morphology(215°C, 12hr)

4. 결 론

현재 상용화되고 있는 몰딩 콤파운드를 기본으로 각각의 실험조건에 따라 새롭게 제조하여, 반도체 봉지수지의 파괴인성치를 구하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 모든 몰딩 콤파운드는 유리 천이온도 이상에서 파괴인성치가 급격히 낮아지며, 0 °C 이하의 저온에

서는 동등하거나 약간 감소하였다. 또한 고온에서의 파괴인성치는 상온에 비하여 몰딩 콤파운드에 따라서 1/7~1/4 수준으로 고온으로 갈수록 몰딩 콤파운드의 균열 저항력이 작아진다.

2) 크로스헤드 속도에 따른 파괴인성치의 변화는 헤드의 속도가 감소할수록 증가한다.

3) 몰딩 콤파운드에 있어서 충전재 중량비에 따른 파괴인성치는 충전재의 중량비가 증가할수록 파괴인성치는 감소한다.

4) 충전재 평균 입도에 따른 영향은 입도 크기가 증가할수록 파괴인성치는 감소한다.

참 고 문 헌

1. H.E.Bair, D.J.Boyle, "Thermomechanical Properties of IC Molding Compounds" Polymer Engineering and Science, Vol.30, pp.609~617, 1990.
2. Makoto Kitano, Sueo Kawai, Asao Nishimura and Kunihiko Nishi, "A Study of Package Cracking during the Reflow Soldering Process", 日本機械學會論文集, 55卷, 510號, pp.356~363.
3. 김경섭, 신영의, "반도체 봉지수지의 파괴 인성치 측정 및 패키지 적용", 전기전자재료학회지, pp.519~527, 1997.9.
4. B.H.Kim, C.R.Joe & D.M.Otterson, "On the Determination of Fracture toughness in Polymers". Polymer Testing 8, pp.119~130, 1989.
5. 장동인, 정경섭, 파괴역학(이론·해석에서 공학적 응용까지), 원창출판사, 1992.
6. C.Keith Riew, Rubber Toughened Plastics, American Chemical Society, pp.120~133, 1989.