

<논 문>

리플로 납땜 공정에서 플라스틱 IC 패키지의 습기 및 열로 인한 파손문제 해석

이강용* · 이택성* · 김경섭**

(1995년 11월 6일 접수)

Hygrothermal Fracture Analysis of Plastic IC Package in Reflow Soldering Process

Kang Yong Lee, Taek Sung Lee and Kyung Seob Kim

Key Words : Plastic IC Package(플라스틱 IC 패키지), J-Integral(J-적분), Hygro-Thermal Loading(습·열하중), Moisture Absorption Analysis(흡습해석)

Abstract

The purpose of this paper is to evaluate the delamination and fracture integrity of the IC plastic package under hygrothermal loading by stress analysis and fracture mechanics approaches. The plastic SOJ package with a dimpled diepad under the reflow soldering process of IR heating type is considered. On the package without a crack, the stress variation according to the change of the design variables such as the material and shape of the package is calculated and the possibility of delamination is considered. For the model fully delaminated between the chip and diepad, J-integrals are calculated for the various design variables and the fracture integrity is discussed. From the results, optimal design values of variables to prevent the delamination and fracture of IC package are obtained. In this study, FDM program to obtain the vapor pressure from the content of moisture absorbed into the package is developed.

1. 서 론

봉지재(packaging material)로써 사용하고 있는 EMC(epoxy molding compound)는 공기중의 습기를 흡수하는 성질이 있으며 흡수된 습기는 표면 실장공정 중 패키지가 고온으로 가열될 때 기화하여 증기압(vapor pressure)을 발생시키게 된다. 증기압은 흡수된 습기의 양에 직접 영향을 받으므로 습기에 의한 파손현상을 해석하기 위해서는 다양한 흡습조건(moisture absorption condition)하에서

EMC내부로 흡수되는 습기량을 구하는 것이 선행되어야 한다. 그러나 이에 대한 해석적인 연구는 거의 찾아보기 힘든 실정이다. 이제까지의 연구들은 신뢰성 시험시에 패키지에 습기를 흡수시키는 시간과 조건 그리고 봉지재인 EMC의 종류에 관계 없이 리플로 납땜(reflow soldering)과정 중에 패키지 내부의 층간박리된 틈새에는 포화증기압이 발생한다고 가정하였다.⁽¹⁾ 이는 흡습시간과 습도와 온도 그리고 재질에 영향을 받는 습기의 확산원리가 무시된 것이다. 또한 반도체의 파괴현상의 연구는 주로 굽힘강도, 전단강도를 파단 기준으로 하는 전통적인 파손판별기준(failure criterion)에 의하여 행해져⁽²⁻⁴⁾ 왔으나 신뢰성 있는 해석결과를 얻기

*회원, 연세대학교 기계공학과

**삼성전자 주식회사

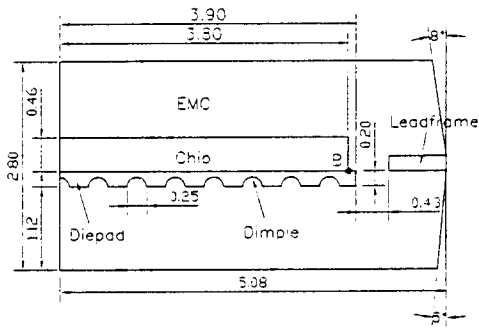


Fig. 1 SOJ plastic package

위해서는 파괴의 직접적인 원인인 균열을 다루는 파괴판별기준(fracture criterion)이 적용되어야 한다.

본 연구에서는 본 연구팀이 기 발표한 논문⁽⁵⁾내용을 바탕으로 하여 IC 패키지에 작용하는 습 열 하중(hygrothermal loading)으로 인한 파괴원인을 파괴역학적인 방법으로 규명하고 공정변수(온도, 습도) 및 설계조건(재질, 치수, 형상)에 따라 반도체의 건전성을 평가하고 신뢰성 향상을 위한 해석 절차(analysis procedure)를 정립하고자 하였다.

연구대상 패키지는 Fig. 1과 같은 SOJ(small outline J-lead)로 선정하였고 적외선방식의 리플로 납땜 신뢰성시험공정을 묘사하여 해석하였다.

FEM 해석에 사용된 소프트웨어는 상업용 프로그램인 ABAQUS⁽⁶⁾와 PATRAN⁽⁷⁾이다.

2. 열응력에 의한 설계조건 제시

결함이 없는 IC 패키지에서 열하중에 의하여 발생하는 응력은 상온일 때 Fig. 1에서 표시한 B 부위에서 가장 높은 값을 보인다.⁽⁵⁾ 여기서 응력계산에 사용된 재료의 물성치는 Table 1과 같고 사용된 온도경계치는 Fig. 2와 같다.

Fig. 3은 설계형상의 변화에 따른 B점에서 Mises 응력을 열응력이 가장 높은 상온⁽⁵⁾에서 보여주고 있다. 다이패드의 크기를 고정시키고 칩의 크기를 변화시키면서 칩과 다이패드의 크기의 비에 따라 Mises 응력의 변화경향을 계산한 결과 0.97일 때 가장 큰 응력값을 보이며 EMC의 두께가 얇아질수록 응력값은 작아지며 다이패드의 두께가 7 mil 부근에서 응력값이 가장 작음을 알 수 있다.

Table 1 Material properties

	Lead-frame (alloy 42)	Chip (Si)	EMC	Adhesive (Ag-epoxy)
Specific heat (J/kg °C)	502.4	699	1050	0.234
Density (kg/m ³)	8.1×10 ³	2.33×10 ³	1.9×10 ³	1.05×10 ⁴
Conductivity coefficient (W/m°C)	14.65	148	0.735	374
Thermal expansion coefficient (/°C)	0.45×10 ⁻⁵	0.26×10 ⁻⁵	$\alpha_1 : 1.0 \times 10^{-5}$ $\alpha_2 : 4.5 \times 10^{-5}$	$\alpha_1 : 4.9 \times 10^{-5}$ $\alpha_2 : 2.4 \times 10^{-4}$
Young's modulus (N/m ²)	1.45×10 ¹¹	1.88×10 ¹¹	2.45×10 ¹⁰ (25 °C) 2.0×10 ¹⁰ (70 °C) 1.0×10 ¹⁰ (150 °C) 1.0×10 ⁹ (215 °C)	1.2×10 ⁹ (23 °C)
Poisson's ratio	0.3	0.28	0.23	0.3
Glass transition temperature (°C)	.	.	133~145	36

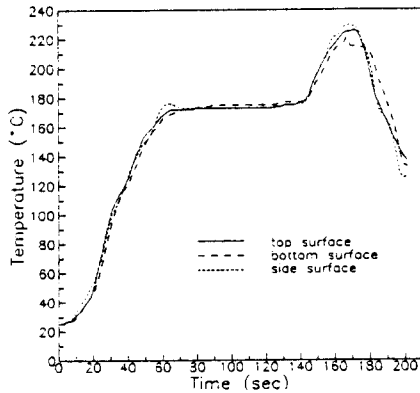


Fig. 2 Measured temperature profiles

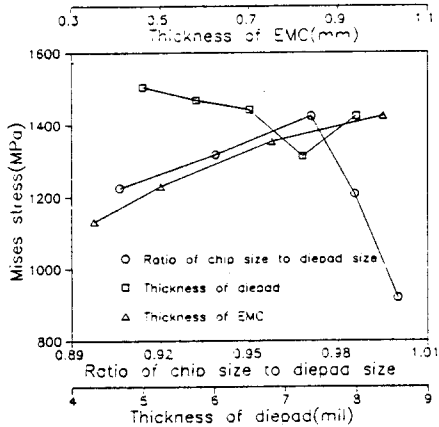


Fig. 3 Mises stress vs. dimensions of package

전체 패키지상에서 칩과 다이패드의 위치를 상하로 이동시켰을 때의 응력변화는 패키지상에서 다이패드와 칩의 위치가 위로 올라갈수록 응력값은 다소 작아지나 그 영향은 미약하며 다이패드 밑면의 덩플의 수를 15개에서 가운데로부터 모서리쪽을 향하여 대칭으로 14, 12, ..., 4, 2, 0개 순으로 줄이면 응력의 집중정도가 조금씩 작아지나 그 영향 또한 미약하다는 것을 계산결과에서 관찰할 수 있었다.

3. 열하중하에서의 파괴역학적 해석

응력해석의 결과 가장 증간박리 가능성이 높은 B 점에서부터 증간박리가 시작되어 칩과 다이패드 전체가 박리되고 그 박리는 계속되어 칩과 다이패드 사이 그리고 다이패드의 측면까지 모두 박리된

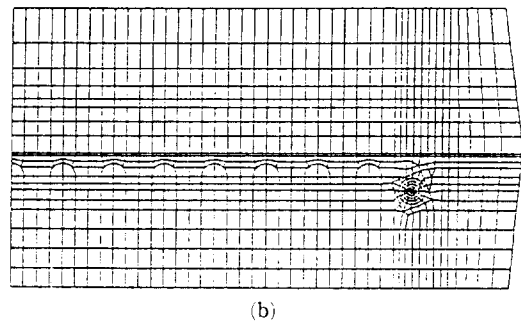
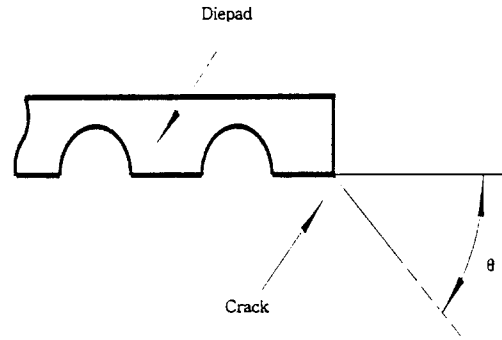


Fig. 4 FE crack model for J-integral calculation

모델을 해석 대상⁽⁵⁾으로 한다. 박리된 선단에 균열 길이가 0.15 mm(kinked crack length/main crack length=0.02)인 미세균열이 발생한 것으로 가정하였다. Fig. 4에서 균열의 방향(θ)을 정의하고 균열의 방향이 67.5°인 경우의 2차원 유한요소모델의 요소망을 보인다.

본 연구팀은 기 발표한 논문⁽⁵⁾에서 동일한 모델에서 균열이 67.5° 방향으로 발생된 경우가 파괴에 가장 취약함을 보였다. 따라서 열하중하에서 이 모델에 대하여 설계변수의 변화에 따른 J 적분의 변화를 살펴 보고자 한다.

다이패드의 크기를 고정시킨 상태에서 칩과 다이패드 크기 비율 변화시키면서 J-적분을 계산한 결과 Fig. 5에서 보는 바와 같이 칩크기가 작아질수록 파괴에 대한 저항성이 커지며, 그 비가 0.97일 때 가장 파괴에 약한 상태가 됨을 알 수 있다. 한편 열하중만 작용하는 경우에는 EMC의 두께를 얇게 하는 것이 균열에 대한 저항성을 높이는 결과가 되며 다이패드의 두께가 7 mil일 때 가장 파괴저항성이 높음을 알 수 있다.

Fig. 6은 리플로 납땜 중에 시간의 진행에 따라

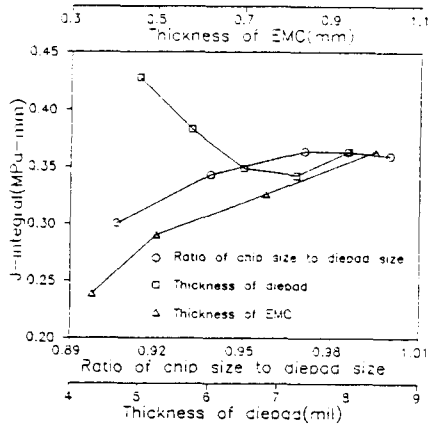


Fig. 5 J-integral vs. dimensions of package

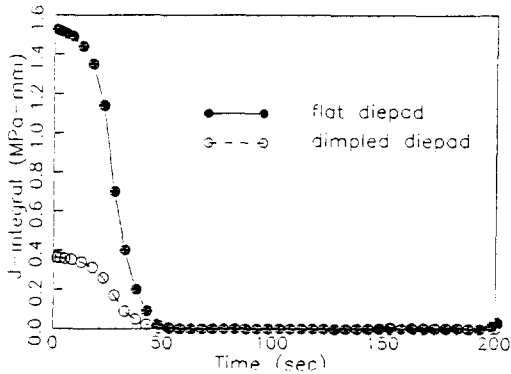


Fig. 6 Comparison between J-integrals for conventional and present delamination during reflow soldering process

열하중하에서의 J-적분값을 뒀플이 없는 평면 다이패드의 밑면에 100% 층간박리가 발생(고전적인 층간박리 형태)한 경우와 본 연구대상 모델에 대하여 균열방향 67.5°에서 J-적분값을 구한 것이다. 이 결과는 뒀플이 있는 다이패드 패키지가 평면 다이패드 패키지에 비하여 파괴저항성이 높음을 보여준다.

4. 흡습해석 및 증기압계산

Nguyen⁽⁸⁾은 패키지로 흡수된 습기에는 phthalate ester 성분들과 plasticizers와 같은 오염물이 녹아 이온 불순물(ionic impurity)이 만들어진다고 보고하였다. Fukuzawa⁽⁹⁾도 습기중에 자유 염소이온이 녹아 있어서 알루미늄 부식을 일으킨다

고 보고하였다. 이러한 불순물은 또한 Raoult 법칙에 따라 수증기의 포화증기압을 강하시키는 작용을 한다. 이와 같은 이유로 층간박리된 틈새의 내부습도가 패키지의 외부습도보다 낮더라도 이슬이 맺힐 수 있게 되어 습기가 응축된 물로 존재할 수 있다.

불순물이 포화증기압에 미치는 영향을 고려하기 위하여 불순물의 양의 정도를 나타내는 불순물계수를 식 (1)과 같이 정의한다.

$$p_s = f \cdot p_{s(p.w.)} \quad (1)$$

여기서, p_s 는 포화증기압, $p_{s(p.w.)}$ 순수한 물의 포화증기압, f 는 불순물계수이다.

모델은 다이패드와 칩사이가 100% 박리된 경우를 해석 대상으로 한다. EMC내부로 침투하는 습기량 C 는 다음과 같이 시간(t)과 다이패드로 부터의 거리(x)의 함수가 된다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2)$$

$$C(t=0) = C_0(x) \quad (3)$$

$$C(x=0) = pS \quad (4)$$

$$C(x=h) = \delta p_s S \quad (5)$$

여기서, D 는 플라스틱내에서 습기의 확산계수 (mm^2/s), C 는 플라스틱내부의 습기량 (mg/mm^3), C_0 는 초기 습기량(mg/mm^3), p 는 틈새의 증기압 (MPa), p_s 는 포화증기압(MPa), δ 는 상대습도, S 는 용해계수 ($\text{mg}/\text{mm}^3\text{MPa}$)이다.

EMC와 다이패드 사이의 틈새로 흘러 들어오는 수분유동량(\dot{m})과 수분누적치(m)은 다음 식으로 구하여진다.

$$\dot{m} = D \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right)_{x=0} \quad (6)$$

$$m = m_0 + A \int_0^t D \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right)_{x=0} dt \quad (7)$$

여기서 m_0 는 틈새의 초기수분량(mg), A 는 틈새와 접한 다이패드의 면적(mm^2), m 은 $t=0$ 부터 $t=t$ 까지의 수분누적량(mg)이다.

그리고 경계조건인 식 (4)의 틈새 압력(p)이 시간에 따라 변하고, 이 압력은 증기 상태방정식에 따른 거동을 하기 때문에 식 (2), (4), (6)과 증기 상태방정식이 서로 연관된 연립방정식의 형태로 된다. 따라서 유한차분법(finite difference method)

으로 정식화(formulation)하여 구한다.

Fig. 7과 같이 EMC의 두께를 n 개의 요소들로 나누고, i 를 절점번호, Δx 는 요소의 길이, Δt 는 시간 간격이라 하면 $t(\text{time}) = (j-1) \Delta t$ 에서 습기량 (C)과 식 (7)의 수분누적량(m)을 알때 다음 단계 $t=j\Delta t$ 에서의 값들을 식 (8)과 같이 유한차분식으로 정식화(formulation)할 수 있다.

습기량은 C_i^j 부터 C_{n-1}^j 까지의 값으로 부터 C_n^j 에서 C_{n-1}^j 까지의 값을 다음식으로 구한다.

$$C_i^j = \frac{D\Delta t}{\Delta x^2} (C^{j-1}_{i+1} + C^{j-1}_{i-1}) + (1 - \frac{2D\Delta t}{\Delta x^2}) C^{j-1}_i \quad (8)$$

여기서,

$$\frac{D(\Delta t)}{(\Delta x)^2} \leq \frac{1}{2} \quad (9)$$

$(i+1) - i = \Delta x$, $(j+1) - j = \Delta t$ 이다. Fig. 7에서 습기는 상단으로부터 1차원적으로 침투한다고 볼 수 없다. 측면으로 부터 침투하는 양도 고려해야 하므로 상단과 측면 두 방향으로 부터 스며드는 2차원적인 해석이 되어야 한다. 식 (8)은 이러한 2차원 문제를 EMC의 두께 h 에 보정계수를 곱하여 1차원 문제로 바꾼 것이며, 보정계수는 Fig. 7의 A 점에서 습기량 C 값을 기준으로 결정하였다. 즉 2D FEM에 의한 양과 식 (8)의 1D FDM에 의한 양을 비교하여 결정하였고 보정계수값은 칩 상단의 EMC 두께(t)에 따라 달라지며 $t=1 \text{ mm}$ 일 때 0.76, $t=0.75 \text{ mm}$ 일 때 0.78, $t=0.5 \text{ mm}$ 일 때 0.80, $t=0.35 \text{ mm}$ 일 때 0.86이다.

그리고 C_i^j 는 경계조건 식 (4)로 부터 다음식과 같이 된다.

$$C_i^j = p^j S \quad (10)$$

틈새에 누적되는 수분량은 3점 전향 미분식을 사용하여 다음식으로 수식화한다.

$$m^j = m^{j-1} + \frac{AD\Delta t}{2\Delta x} (-3C_i^j + 4C_{i-1}^j - C_{i-2}^j) \quad (11)$$

대기로부터 IC 패키지내의 틈새로 유입된 수분으로 인하여 틈새의 온도(T)와 비체적(v)에 따라 발생하는 압력(p)는 식 (15)의 증기상태방정식⁽¹⁰⁾으로 구해진다.

$$v = \frac{461.2 T}{p} - \frac{0.668}{(T/100)^{2.7}} - \frac{437 + 6.44 \times 10^{-6} p - 2.00 \times 10^{-34} p^5}{(T/100)^{8.4}} - \frac{1.77 \times 10^{-5} p^5}{(T/100)^{30.5}} - \frac{5.40 \times 10^{-68} p^{25}}{(T/100)^{147}} \quad (12)$$

여기서, $v = \frac{V}{m}$ 이며 v , p , T 의 단위는 각각 m^3/kg , Pa , K 이다. 체적(V)은 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$V = \eta \delta A \quad (13)$$

여기서, η 는 상수($=0.284$), δ 는 최대 틈새간격(mm), A 는 틈새와 접촉한 다이패드의 면적(mm^2)이다. η 는 밀면적이 A 이고 두께가 δ 인 직육면체의 부피에 대한 틈새의 부피의 비를 나타내는 상수이다. 식 (13)에서 δ 는 압력(p)에 의하여 벌어지는 틈새이며 3D 유한요소해석에 의하여 δ 와 p 의 관계를 칩상단의 EMC 두께(t)를 변화시키면서 다음과 같이 구하였다.

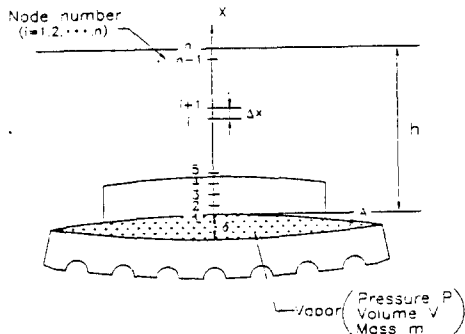


Fig. 7 Finite difference model

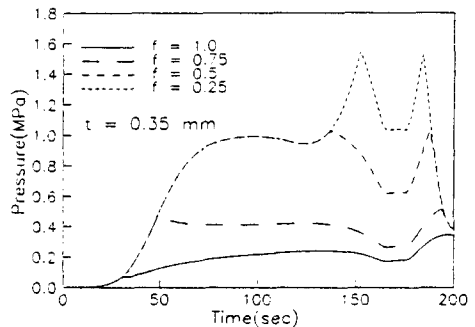


Fig. 8 Change of vapor pressure with variation of contamination factor values (168 hrs absorption)

$$t=1.0 \text{ mm 인 경우 : } \delta = \frac{22.3}{E^{0.81}} p \quad (14)$$

$$t=0.75 \text{ mm 인 경우 : } \delta = \frac{32.5}{E^{0.80}} p \quad (15)$$

$$t=0.5 \text{ mm 인 경우 : } \delta = \frac{33.22}{E^{0.74}} p \quad (16)$$

$$t=0.35 \text{ mm 인 경우 : } \delta = \frac{25.93}{E^{0.67}} p \quad (17)$$

여기서, E 는 EMC의 종탄성계수이며 δ 의 단위는 mm이고 p , E 의 단위는 각각 MPa이다.

이상의 흡습해석에 따라 IC 패키지를 85°C/85% 습기분위기에서 168시간 흡습시킨 경우의 증기압을 구하였다. 불순물계수(f)의 변화에 따른 증기압을 Fig. 8에서 보인다. 증기압은 불순물계수가 작을수록 즉 불순물의 양이 많을수록 높아짐을 알 수 있다.

5. 기계적하중하에서의 파괴역학적 해석

유한요소모델의 요소망구성은 열하중 작용시 J-적분을 구하는 100% 층간박리 모델(Fig. 4)과 같

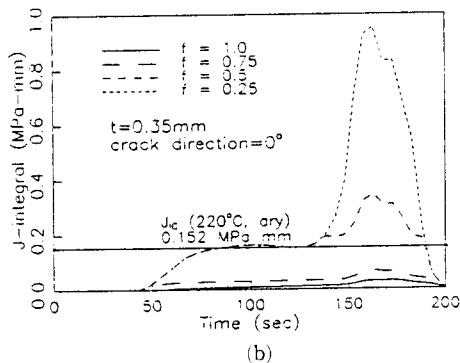
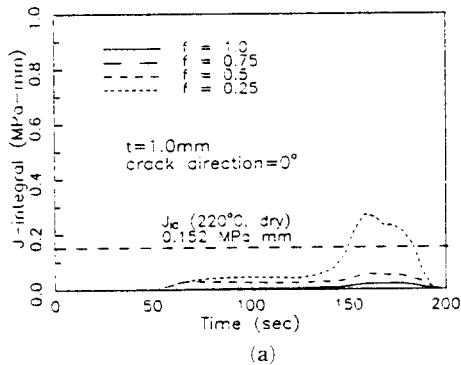


Fig. 9 Change of J-integral during the reflow soldering process

다. Fig. 9는 f 가 J-적분에 미치는 영향을 리플로 납땜 중에 본 것이다. f 값이 적으면 적을수록 J-적분값이 증가함을 알 수 있다. J-적분값은 공정중 최대온도(약 230°C)에 이르는 약 170초에서 가장 크며 이 온도(230°C)에서 파괴인성치는 상온보다 훨씬 낮기 때문에(참고로 습도 0%, 220°C에서 EMC의 파괴인성치는 0.152 MPa·mm임) 증기압에 의한 파손 가능성은 이 때가 가장 높다고 할 수 있다. 한편 EMC두께가 감소할수록 파손 가능성이 커지고 있음을 알 수 있다. 여기에서는 EMC 두께 1.0 mm와 0.35 mm만 예로 보였다.

균열방향을 변화시키면서 구한 J-적분 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 여기서의 값은 리플로 납땜 시작후 약 173초 일 때의 값이다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 J-적분값은 균열방향 0°에서 가장 크므로 증기압에 의한 균열은 두께에 관계없이 이 방향으로 진전될 것이다. EMC의 두께가 다른경우 즉 1 mm, 0.75 mm, 0.5 mm인 경우도 같은 현상을 보인다는 것을 계산 결과 확인하였다.

아래에서는 패키지의 구조 설계시에 최적 설계변

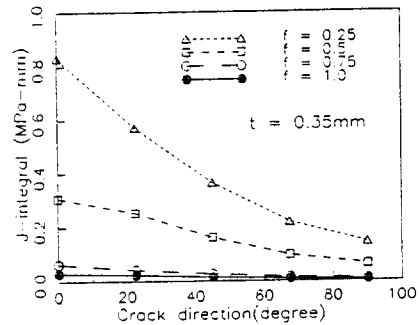


Fig. 10 Variation of J-integral with crack direction at 173 sec after reflow soldering

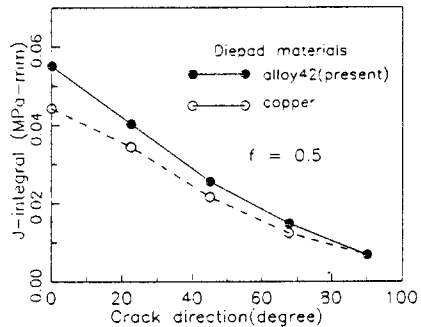


Fig. 11 J-integral vs. crack direction for two diepad materials

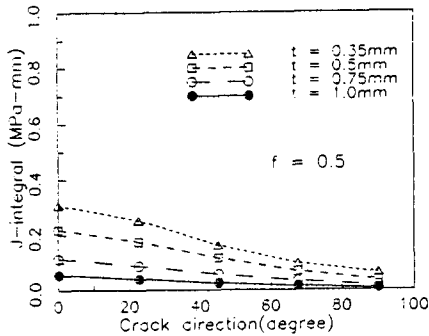


Fig. 12 Change of J-integral with variation of crack direction

수를 찾기 위하여 IC 패키지의 형상과 재질 변화에 따라 증기압으로 인한 J-적분을 구하고 그 경향으로부터 파손에 대한 저항성을 평가하고자 한다. 85°C/85%의 분위기에서 168시간 흡습시킨 패키지에 대하여 리플로 납땜 시작 후 173초에서 J-적분을 구한다.

다이패드 재질을 alloy 42에서 구리로 대체했을 때의 J-적분 결과를 Fig. 11에서 보인다. 증기압하에서는 구리가 J-적분값이 작으므로 파괴가능성이 감소함을 볼 수 있다.

칩 상면과 다이패드 하면의 EMC 두께를 동일 두께로 하되 이를 변화시키면서 균열방향에 따른 J-적분을 계산한 결과는 Fig. 12와 같다. EMC의 두께가 얇을수록 J-적분값이 커지므로 파손에 취약해짐을 알 수 있다.

Fig. 13에서는 다이패드의 두께가 얇아질수록 파손에 대한 저항성이 나빠지는 것을 볼 수 있다.

다이패드의 크기를 고정시킨 상태에서 칩의 크기를 변화시키면서 구한 J-적분값은 칩의 크기가 커질수록 서서히 증가하여 큰 변화를 보이지 않았고 칩과 다이패드를 상하방향으로 위치를 각각 0.08 mm씩 변화시키면서 J-적분을 구했을 경우 위쪽으로 이동한 경우가 아래로 이동한 경우 보다 파괴방지에 유리하나 그 차는 미세하였고 덩플의 수를 현재의 15 개로부터 가운데에 있는 덩플로부터 차츰 줄여서 J-적분에 미치는 영향을 검토해 본 결과 덩플수의 영향은 증기압에 의한 손상에는 별 영향을 미치지 않을 정도로 J-적분결과는 거의 변화가 없음을 계산결과에서 확인할 수 있었다.

다이패드상의 덩플의 효과를 알아보기 위하여 덩플이 없을 때 주로 발생하던 다이패드 밀면의 층간

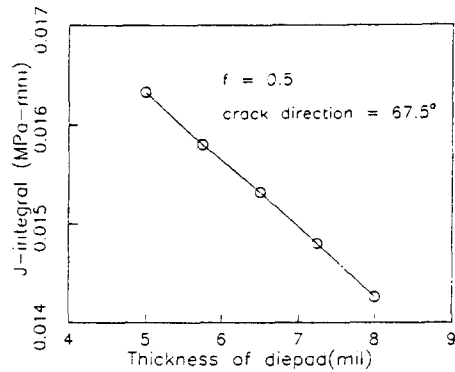


Fig. 13 Change of J-integral with variation of diepad thickness

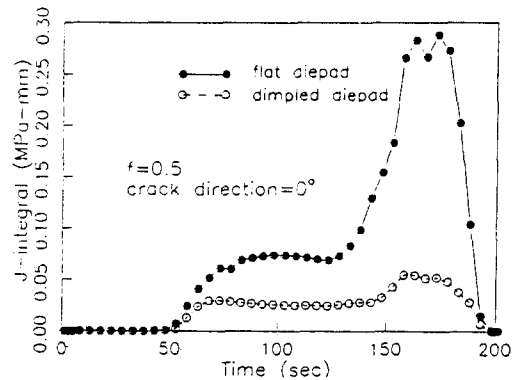


Fig. 14 Comparison of J-integral for the conventional and present delamination during reflow soldering process under vapor pressure

박리부 균열과 덩플이 있는 경우에 발생하는 다이패드 상면의 층간박리부로부터 발생하는 균열선단에서 J-적분을 100% 층간박리된 것으로 가정하여 비교한 결과 Fig. 14에서 보는 바와 같이 열하중상태와 마찬가지로 기계적하중이 작용할 때에도 덩플이 있는 다이패드가 평면 다이패드에 비해 균열방지에 명백히 유리함을 알 수 있다.

6. 복합하중에 의한 파괴해석

IC 패키지는 실제로 열하중과 기계적하중을 동시에 받으므로 두 하중이 동시에 작용할 때 납땜공정의 전 시간대에서 J-적분의 변화경향을 본 결과는 Fig. 15와 같다.

초기(약 50초 까지)의 J-적분값은 열하중에 의한

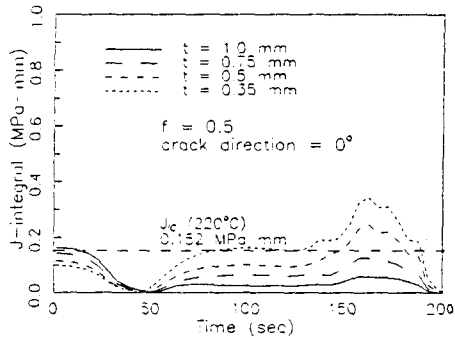


Fig. 15 Variation of J-integral with thickness of EMC during reflow soldering process

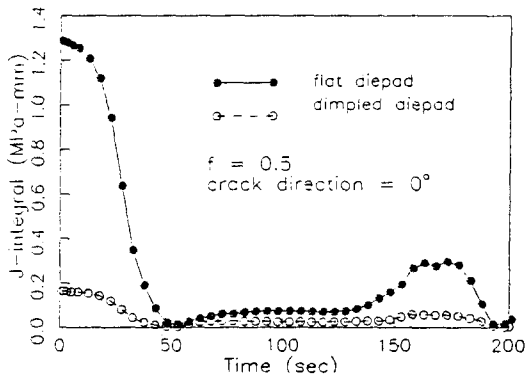


Fig. 16 Comparison of J-integral for conventional and present delamination during reflow soldering under hygro-thermal loading

것이 증가되며 나중(50초 이후)의 J-적분은 증기압에 의한 것이 증가 된다. 이 결과에서 EMC의 두께의 영향은 열하중과 기계적하중에서 반대가 됨을 알 수 있다. 복합하중에 의한 J-적분값은 열하중에 의한 J-적분값과 기계적하중에 의한 J-적분값이 중첩된 것이므로 결국 상온상태의 패키지 파괴는 열하중에 의하여 지배되며 고온상태에서는 기계적하중에 의하여 지배된다. 따라서 상온상태의 파괴를 방지하기 위해서는 제2장의 제안을 고온파괴를 방지하기 위해서는 제4장의 제안을 적용하여야 한다.

평면 다이패드를 사용한 패키지에서 주로 발생하는 균열현상(다이패드의 밀면 층간박리)과 본 연구대상 모델의 균열에 대한 파괴저항성을 납땜의 전 공정에서 비교한 결과 Fig. 16에서 보는 바와 같이 텅플이 있는 다이패드를 사용한 패키지가 평면 다이패드를 사용한 패키지보다 다이패드 모서리 하단부에서 발생하는 균열을 방지하는데 유리함을

알 수 있다.

7. 결 론

습·열하중하에 있는 플라스틱 IC 패키지의 층간박리 현상과 파괴현상에 대한 방지대책을 강구하기 위한 연구에서 층간박리 가능성을 판별하기 위해 응력해석을 수행하였고 파괴 건정성 평가를 위해서 파괴역학적인 방법을 채택하여 J-적분값을 계산하였다. 한편 수증기압을 구하기 위해 유한차분법 프로그램을 불순물정도에 따라 포화증기압이 변할 수 있다는 개념을 새롭게 도입하여 개발하였다. 이러한 연구결과를 통하여 층간박리와 파괴를 억제할 수 있는 재질, 형상, 치수 등을 제안하였다.

참고문헌

- (1) Kawamura, N., Kawakami, T., Matsumoto, K., Sawada, K. and Taguchi, H., 1993, "Structural Integrity Evaluation for a Plastic Package during the Soldering Process," *Proc. of the 1993 ASME International Electronics Packaging Conference*, pp. 91~95.
- (2) Adachi, M., Ohuchi, S. and Totsuka, N., 1993, "New Mode Crack of LSI Package in the Solder Reflow Process," *IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology*, Vol. 16, No. 5, pp. 550~554.
- (3) Glaser, J. C. and Juare, M. P., 1989, "Thermal and Structural Analysis of a PLCC Device for Surface Mount Process," *ASME Journal of Electronic Packaging*, Vol. 111, pp. 172~178.
- (4) Kornblum, Y. and Glaser, J. C., 1989, "Combined Moisture and Thermal Stresses Failure Mode in a PLCC," *ASME Journal of Electronic Packaging*, Vol. 111, pp. 249~254.
- (5) 이강용, 문호산, 이택성, 김경섭, 1995, "열응력에 의한 IC 패키지의 Cracking 해석," 대한기계학회논문집, 제19권, 제12호, pp. 3197~3204.
- (6) ABAQUS User's Manual, Ver. 5.3, HKS Inc.
- (7) P3/PATRAN User Manual, Release 1.3-2, PDA Engrg.
- (8) Nguyen, L.T., 1993, "Reliability of Postmolded IC Packages," *ASME Journal of Electronic*

- Packaging*, Vol. 115, pp. 346~355.
- (9) Fukuzawa, I., Ishiguro, S. and Nanbu, S. 1985, "Moisture Degradation of Plastic LSIs by Reflow soldering," in *Proc. IRPS*, pp. 192~197.
- (10) Kitano, M., Nishimura, A. and Kawai, S., 1988, "Analysis of Package Cracking during Reflow Soldering Process," *Proc. of IEEE Int. Reliability Phys. Symp.*, pp. 90~95.