

반도체 패키지의 경계요소법에 의한 균열진전경로의 예측

정 남 용*

송실대학교 기계공학과

Prediction of Crack Propagation Path Using Boundary Element Method in IC Packages

Nam Yong Chung*

Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

(Received 3 April 2007 / Accepted 21 December 2007)

Abstract : Applications of bonded dissimilar materials such as integrated circuit(IC) packages, ceramics/metal and resin/metal bonded joints, are very increasing in various industry fields. It is very important to analyze the thermal stress and stress singularity at interface edge in bonded joints of dissimilar materials. In order to investigate the IC package crack propagating from the edge of die pad and resin, the fracture parameters of bonded dissimilar materials and material properties are obtained. In this paper, the thermal stress and its singularity index for the IC package were analyzed using 2-dimensional elastic boundary element method(BEM). From these results, crack propagation direction and path by thermal stress in the IC package were numerically simulated with boundary element method.

Key words : Integrated circuit package(IC 패키지), Boundary element method(경계요소법) Thermal stress analysis(열응력해석), Stress singularity factor(응력특이성계수), Stress intensity factor(응력세기계수), Crack propagation direction(균열진전방향), Crack propagation path(균열진전경로)

1. 서론

IC(integrated circuit) 패키지(package)와 같은 반도체 부품은 소형화, 고성능화 및 고집적화의 목적으로 실리콘(Si) 칩과 금속제의 다이패드(die pad)를 수지(resin)로 몰딩 제작하고 있다. 이 때, 200°C 이상의 고온에서 제작하기 때문에 냉각과정 중에 이종재료 사이의 선팽창계수와 탄성계수의 차이로 접합 계면단(bonded interface edge)에서는 열응력으로 인한 응력특이성(stress singularity)이 발생하게 된다. 이러한 열응력은 수지와 금속의 접합 계면에서 층간박리(delamination)를 일으키기도 하고, 패키지 자체의 수지 균열발생에 의한 균열파괴

(cracking)를 초래하기도 하며, 접합강도에 큰 영향을 주기 때문에 열응력에 의한 계면파괴에 대한 연구가 요망된다.

IC 패키지에 작용하는 열응력에 의한 파괴에 관한 수치해석 및 실험적인 연구는 최근 많은 관심을 가지고 수행되어 왔다.¹⁻⁴⁾ 또한, IC 패키지의 계면파괴 현상이나 리드 프레임(lead frame)과 수지사이의 계면박리 현상과 균열발생으로 인한 파괴형태를 극초단파를 이용하여 비파괴적으로 검출하는 방법에 관한 연구가 수행되었다.⁵⁻⁹⁾ 그러나 IC 패키지에 대한 접합 계면균열의 열응력에 의한 응력특이성의 해석 및 강도평가 방법이 미확립된 상태이다.¹⁰⁻¹²⁾ 또한, 균열 진전경로의 예측이 가능하다면 IC 패키지의 파괴를 사전에 방지할 수 있을 것이지만, 이에

*Corresponding author, E-mail: nychung@ssu.ac.kr

관한 연구결과는 거의 발표되지 않고 있는 실정이다.¹³⁾

따라서 본 연구에서는 경계요소법(boundary element method ; BEM)을 이용하여 IC 패키지에 대한 열응력을 해석하고, 이들 결과를 사용하여 응력특이성계수 및 응력세기계수를 계산한 후 이들에 의한 IC 패키지에 대한 균열진전 방향 및 진전경로의 예측 방법을 제시하고자 한다.

2. 열응력의 BEM 해석

2.1 BEM 해석 모델

고밀도 집적회로(large scale integration ; LSI) 패키지의 대표적인 실장 형태로는 리드의 피치가 제한되어 있으므로 소형화에 제한을 받는 삽입형인 DIP(dual in-line package)형, 리드의 피치를 작게 할 수 있고 기판의 양면에 실장하여 실장 밀도를 높일 수 있는 표면 실장형인 SOJ(small out-line)형, 또한 이들의 결점을 보완하고 소형화가 가능한 COL(chip on-line)형이 있다. SOJ 패키지는 수지와 다이패드 사이의 기계적 접착력을 높이기 위하여 일반적으로 다이패드 밑면에 덤플(dimple)을 만든다. 패키지의 파괴는 실장 온도로부터 상온으로 냉각되는 공정중의 열응력차에 의한 패키지 균열이 발생·파괴되는 경우가 대부분이므로 이에 대한 연구가 필요하다.

Fig. 1은 고밀도 집적회로(LSI) 칩을 탑재하는 플라스틱의 패키지 칩으로 사용되고 있는 대표적인 형태인 DIP형의 구조를 나타낸 것이다. LSI 칩은 금속제의 평판에 고착시키고, 지름 30 μm 정도의 금속 다이패드에서 외부 리드와 접합된 전체가 수지로 피복된 구조로 되어 있다.

본 연구에서는 Fig. 1에서와 같이 덤플이 없는 반도체 패키지에 대한 열응력의 해석을 하기 위하여 패키지의 대칭성을 고려하여 BEM 해석 모델 및 구속조건은 Fig. 2와 같이 하였다. 산업현장에서 패키지의 실제 몰딩 접합은 200°C의 온도에서 수행하고, 실장후 25°C의 상온으로 냉각시킬 때 이들의 열응력차에 의해 패키지 균열이 발생하고, 파괴되는 것으로 간주하여 이때의 열응력을 해석하였다. 열응력의 해석은 Fig. 2와 같은 반도체 패키지의 모델에

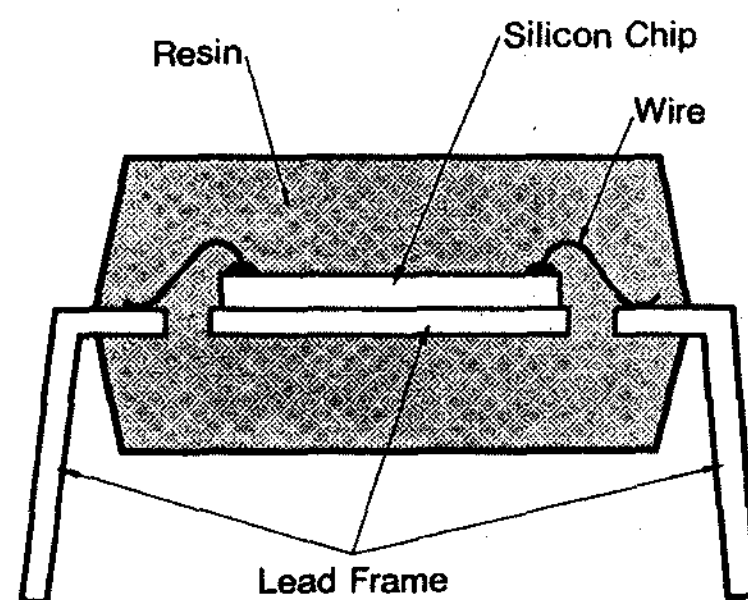


Fig. 1 Structure of the DIC package

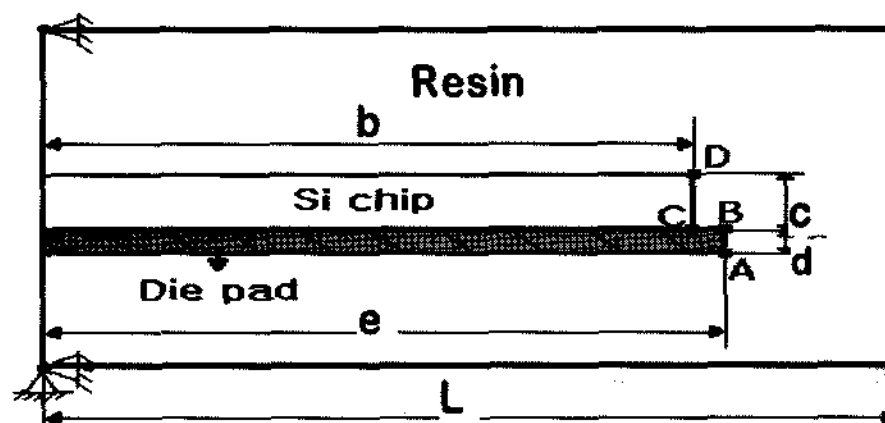


Fig. 2 Model of BEM analysis for IC package

대한 해석을 한 후 Si 칩, 다이패드 및 수지사이에서 열응력이 집중하는 A, B, C, D점의 열응력해석 결과를 비교·검토하였다.

Fig. 2에 나타낸 반도체 패키지의 열응력 해석 모델에 대한 각부의 치수는 $b=3.8\text{ mm}$, $c=0.5\text{ mm}$, $d=0.2\text{ mm}$, $e=4.0\text{ mm}$, $L=5.0\text{ mm}$ 이고, 각 재료에 대한 물성값은 Table 1과 같다. 이때 Si 칩과 다이패드는 접착제를 사용하여 접착하는 방법도 있지만, 접착제를 사용하지 않고 완전 접합하는 방법도 이용되므로 본 연구에서는 접착제의 영향은 없는 것으로 하였다. 또한, 와이어는 생략하고 수지의 유리전이온도(glass transition temperature)는 175°C로 하고, 패키지의 실장 공정에서는 그 온도를 초과하지 않는 것으로 하고 탄성거동을 가정하였다.

Table 1 Mechanical and physical properties of materials in IC package

Mechanical properties Materials of IC package	Young's modulus E[GPa]	Poisson's ratio ν	Coefficient of thermal expansion $\alpha[10^{-6}/^{\circ}\text{C}]$
Si chip	200	0.3	3.0
Die pad	150	0.3	5.0
Resin	15	0.35	30

2.2 2차원 BEM 열응력

본 연구에서는 Kelvin의 기본해를 이용한 2차원 열탄성 응력해석을 실시하고, 2차원 열탄성 기초이론에 근거한 응력과 변형률의 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립한다.¹²⁾

$$\begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \end{bmatrix} = \frac{1}{E^*} \begin{bmatrix} 1 & -\nu^* \\ -\nu^* & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha^* \Delta T \\ \alpha^* \Delta T \end{bmatrix} \quad (\text{평면응력}) \quad (1)$$

여기서 E 는 세로탄성계수, ν 는 푸아송 비, α^* 는 선팽창계수, ΔT 는 온도차이고, $\epsilon_t = \alpha^* \Delta T$ 는 열변형률을 의미한다. 또한, 평면변형률 상태에서는 식 (1)을 다음의 관계식으로 표시한다.

$$E^* = \frac{E}{1-\nu^2}, \quad \nu^* = \frac{\nu}{1-\nu}, \quad \alpha^* = (1+\nu)\alpha \quad (2)$$

3. 응력특이성계수 및 응력세기계수

3.1 응력특이성계수의 해석

Fig. 2와 같은 IC 패키지의 해석 모델에 대한 접합 계면단에 균열이 발생하지 않은 경우에 BEM 열응력해석을 실시한 후 그 해석결과를 이용하여 응력특이성지수 λ 를 계산하였다.¹⁰⁾

계산된 응력특이성지수를 이용하여 접합 계면단으로부터의 거리 r 에 따른 외삽에 의해 다음 식에서 응력특이성계수를 구하였다.^{10,11)}

$$\begin{aligned} \Gamma_1 &= \sigma_y \cdot \lim_{r \rightarrow 0} (r)^\lambda \\ \Gamma_2 &= \tau_{xy} \cdot \lim_{r \rightarrow 0} (r)^\lambda \end{aligned} \quad (3)$$

$$\Gamma = \sqrt{\Gamma_1^2 + \Gamma_2^2}$$

여기서 Γ_1 과 Γ_2 는 각각 BEM 열응력해석으로부터 얻은 수직응력 및 전단응력 성분을 사용한 값이고, 이들의 합을 전응력특이성계수 Γ 로 하였다.

Table 2는 응력특이성계수의 계산결과를 나타낸 것이고, 그 계산결과를 비교하면 Fig. 2에서 A점에 대한 응력특이성계수는 다른 점에 비하여 가장 크게 나타났으므로 이 부분의 응력집중이 가장 크다.

따라서 Fig. 2에서 A점을 기점으로 하여 균열이 발생·진전하여 패키지는 결국 파단 될 것이므로

Table 2 Stress singularity factors of IC package

Point	Stress singularity factor	
	$\Gamma_1 [MPa(mm)^\lambda]$	$\Gamma_2 [MPa(mm)^\lambda]$
A	0.2409	0.2512
B	0.2331	0.2109
C	0.2114	0.1954
D	0.2247	0.1475

A점에 대한 균열의 응력세기계수를 계산하고, 이것을 이용하여 균열의 진전방향 및 진전경로를 예측하고자 한다.

3.2 응력세기계수의 해석

3.2.1 이종접합체의 계면균열에 대한 응력장

Fig. 3과 같은 이종접합체의 계면균열에 대한 응력장을 극좌표로 표시하면 다음 식과 같다.¹³⁾

$$\begin{aligned} \sigma_{\theta j} &= \frac{\sqrt{K_1^2 + K_2^2}}{2\sqrt{2\pi r} \cosh(\pi\epsilon)} [B(\theta, \epsilon, \gamma) \cos(\epsilon \ln \frac{r}{l}) \\ &\quad - C(\theta, \epsilon, \gamma) \sin(\epsilon \ln \frac{r}{l})] \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \tau_{\theta j} &= \frac{\sqrt{K_1^2 + K_2^2}}{2\sqrt{2\pi r} \cosh(\pi\epsilon)} [D(\theta, \epsilon, \gamma) \cos(\epsilon \ln \frac{r}{l}) \\ &\quad + F(\theta, \epsilon, \gamma) \sin(\epsilon \ln \frac{r}{l})] \end{aligned} \quad (5)$$

여기서

$$\begin{aligned} B &= W_j [2\cos(\frac{\theta}{2} + \gamma) - (\cos\theta + 2\epsilon \sin\theta) \cos(\frac{\theta}{2} - \gamma)] \\ &\quad + \frac{1}{W_j} \cos(\frac{3}{2}\theta + \gamma) \end{aligned} \quad (6)$$

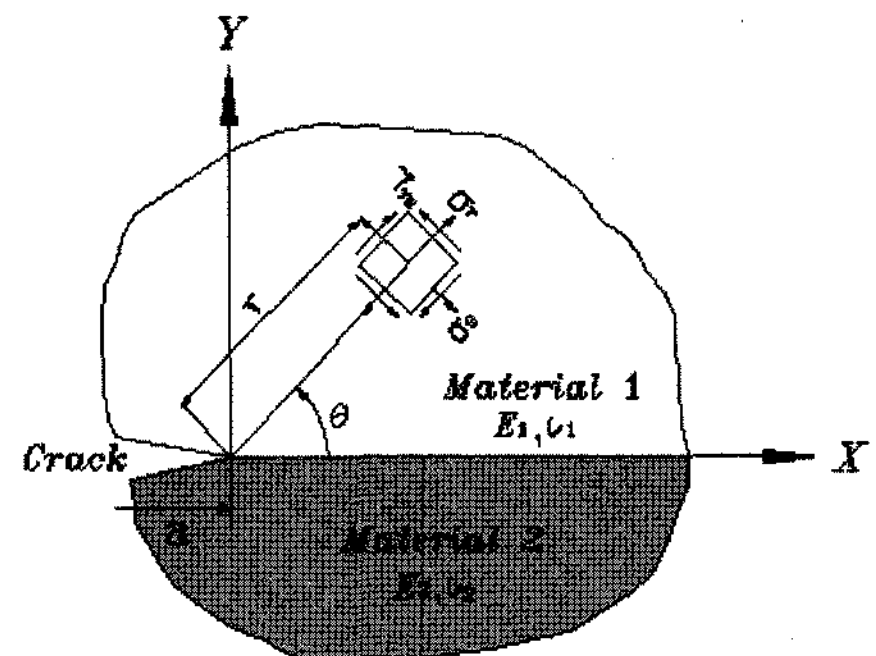


Fig. 3 Crack-tip stress field in the bonded dissimilar materials

$$C = W_j [2 \sin(\frac{\theta}{2} + \gamma) + (\cos \theta + 2\epsilon \cos \theta) \sin(\frac{\theta}{2} - \gamma)] + \frac{1}{W_j} \sin(\frac{3}{2}\theta + \gamma) \quad (7)$$

$$D = -W_j (\cos \theta + 2\epsilon \sin \theta) \sin(\frac{\theta}{2} - \gamma) + \frac{1}{W_j} \sin(\frac{3}{2}\theta + \gamma) \quad (8)$$

$$F = W_j (\cos \theta + 2\epsilon \sin \theta) \cos(\frac{\theta}{2} - \gamma) + \frac{1}{W_j} \sin(\frac{3}{2}\theta + \gamma) \quad (9)$$

$$W_1 = e^{-\epsilon(\pi - \theta)}, \quad W_2 = e^{\epsilon(\pi + \theta)} \quad (10)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left[\frac{K_2}{K_1} \right] \quad (11)$$

$$\epsilon = \frac{1}{2\pi} \ln \left[\frac{\kappa_1 \mu_2 + \mu_1}{\kappa_2 \mu_1 + \mu_2} \right] \quad (12)$$

$$k_j = \begin{cases} 3 - 4\nu_j & (\text{평면변형률}) \\ 3 - \nu_j & (\text{평면응력}) \end{cases} \quad (j = 1, 2) \quad (13)$$

여기서, ϵ 은 이종재료 정수, μ 는 전단탄성계수이고, σ_y 와 τ_{xy} 는 각각 수직 및 전단응력 성분을 나타내며, r 은 균열선단으로부터의 거리이고, l 은 기준 길이로서 균열의 길이를 나타낸다. 또한, K_I, K_{II} 는 계면균열에 대한 복소응력세기계수이고, 균질재료의 균열에 대한 모드 I, 모드 II의 응력세기계수 K_I, K_{II} 와 다르고, 이것은 항상 혼합모드 균열로 되며 K_I, K_{II} 와 직접적인 대응은 되지 않는다.

3.2.2 응력해석 모델 및 요소분할

BEM 수치해석의 모델은 Fig. 4와 같이 하고, IC 패키지의 계면단에서 균열이 발생하지 않았을 경우와 발생한 후에 대한 열응력을 해석하였다. 균열이 발생하지 않은 경우 열응력 해석결과를 이용하여 응력특이성계수를 구하고, 균열이 발생하였을 때는 응력세기계수를 구하였다.

IC 패키지의 해석 모델에 대한 요소분할은 Fig. 4와 같고, 전체 분할 요소수는 230개로 하였다. 또한,

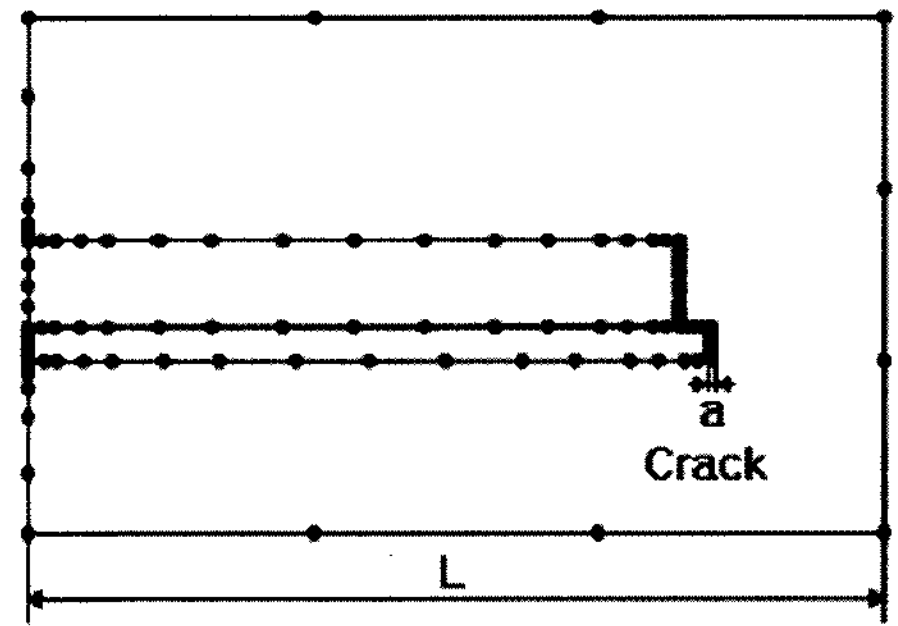


Fig. 4 Model of stress analysis by BEM

균열이 발생하였을 경우 균열 길이의 비는 $a/L = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ 로 변화시켜 가면서 응력해석을 실시하였다.

3.2.3 응력세기계수의 계산

IC 패키지에 대한 Fig. 2와 같은 모델의 A 점에서 균열이 발생한 경우 Fig. 4와 같이 요소분할을 한 후 BEM에 의한 열응력해석과 이를 이용한 응력세기계수를 구하였다.

BEM 응력해석 결과를 사용하여 다음 식들에 의한 외삽법으로 응력세기계수를 계산하였다.¹⁴⁾

$$K_1 = \lim_{r \rightarrow 0} \sqrt{2\pi r} (\sigma_y \cos Q + \tau_{xy} \sin Q) \quad (14)$$

$$K_2 = \lim_{r \rightarrow 0} \sqrt{2\pi r} (\tau_{xy} \cos Q - \sigma_y \sin Q) \quad (15)$$

$$Q = \epsilon \ln(r/a) \quad (16)$$

Table 3에는 균열길이의 비에 따른 응력세기계수의 해석결과를 나타내었다.

Fig. 5와 Fig. 6은 Table 3의 결과를 균열길이의 비에 따른 열응력에 의한 응력세기계수 K_1 과 K_2 를 나타낸 것이며, 균열길이가 증가할수록 응력세기계수 K_1 과 K_2 도 증가하는 것을 알 수 있다.

Table 3 Stress intensity factors for a/L

Crack length a/L	Stress intensity factor	
	K_1 [MPa \sqrt{m}]	K_2 [MPa \sqrt{m}]
0.1	3.11	5.91
0.2	4.73	8.32
0.3	7.17	11.11
0.4	9.12	13.33

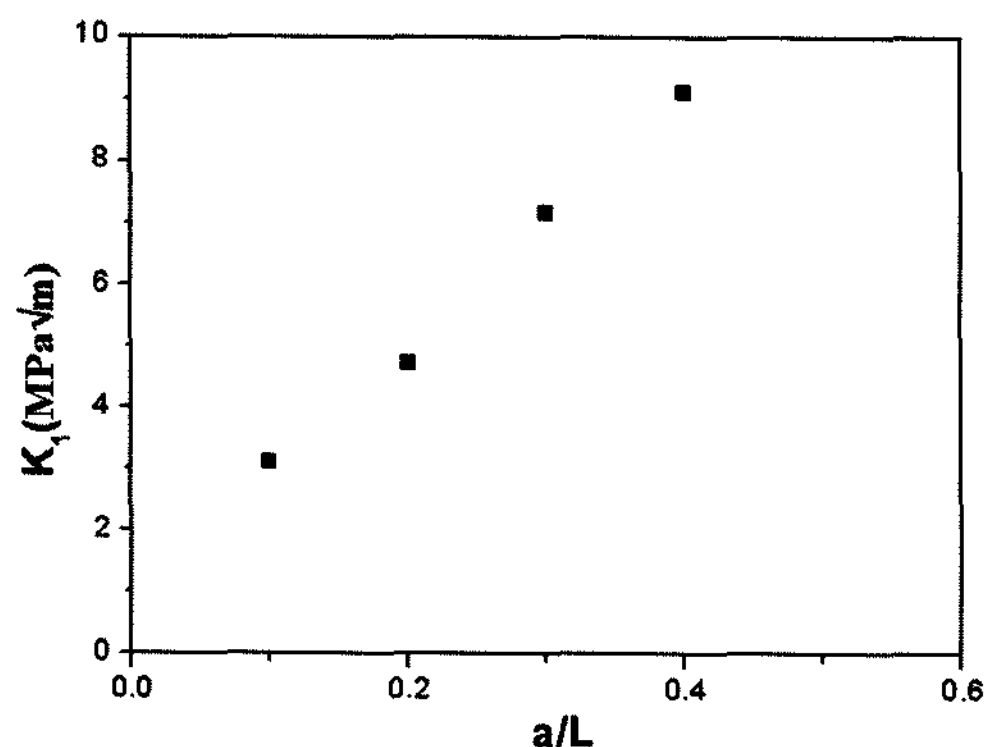


Fig. 5 Stress intensity factor K1 for a/L

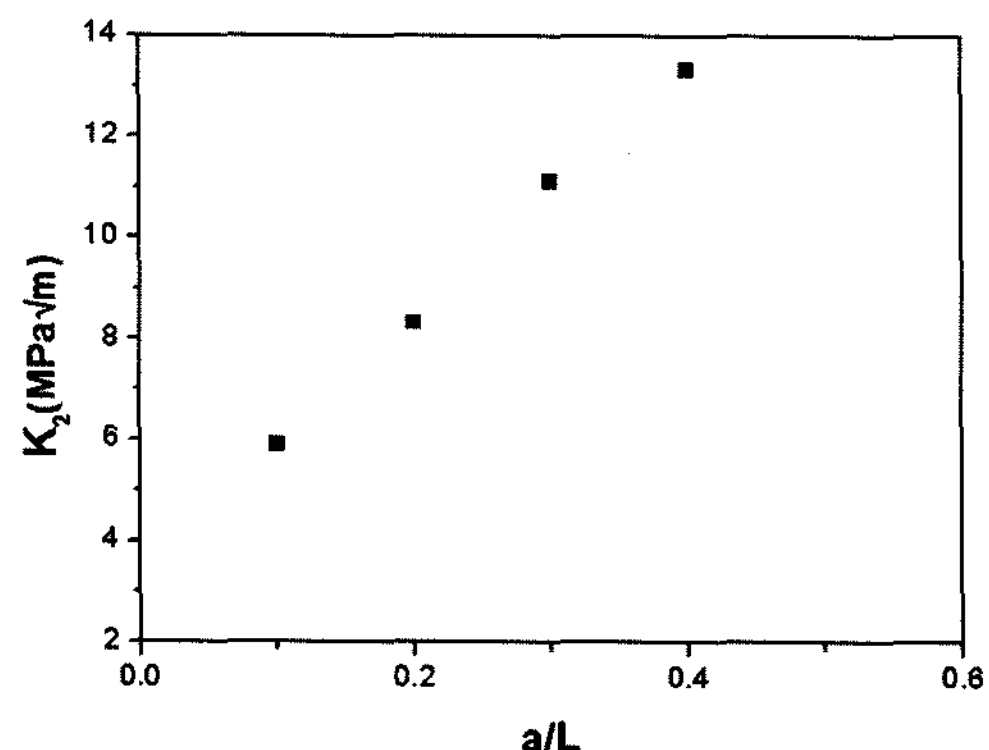


Fig. 6 Stress intensity factor K2 for a/L

4. IC 패키지에 대한 균열진전경로의 예측

4.1 이종재 계면균열의 진전방향

IC 패키지의 균열진전 방향 및 경로를 예측하기 위하여 혼합모드 파괴기준(mixed mode criterion)을 적용한다. 이종접합체의 파괴조건은 일반적으로 정밀도가 가장 높다고 인정되고 있는 접선방향 최대응력($\sigma_{\theta_{max}}$)를 이용한다. 이것은 식 (4)에서 σ_{θ_j} 가 최대로 되는 방향으로 균열이 진전하고, 이때 균열진전방향 θ_0 는 다음 식으로부터 구한다.¹³⁾

$$\frac{\partial B(\theta, \epsilon, \gamma)}{\partial \theta} = 0 \quad (17)$$

$$\epsilon W_j [2 \cos(\frac{\theta_0}{2} + \gamma) - (\cos \theta_0 + 2\epsilon \sin \theta_0) \cos(\frac{\theta_0}{2} - \gamma)]$$

$$+ W_j [-\sin(\frac{\theta_0}{2} + \gamma) + (\sin \theta_0 - 2\epsilon \cos \theta_0) \cos(\frac{\theta_0}{2} - \gamma)]$$

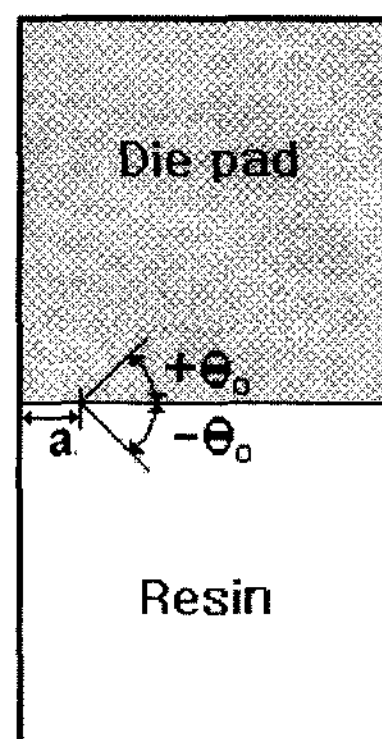


Fig. 7 Crack propagation angle (θ_0) and direction for an interface crack

$$+ \frac{1}{2} (\cos \theta_0 + 2\epsilon \sin \theta_0) \sin(\frac{\theta_0}{2} - \gamma) \quad (18)$$

$$- [\epsilon \cos(\frac{3\theta_0}{2} + \gamma) + \frac{3}{2} \sin(\frac{3\theta_0}{2} + \gamma)] / W_j = 0$$

Fig. 2에 도시한 해석 모델에 대하여 Fig. 4와 같은 요소분할을 하고, Table 1의 재료 물성값을 사용하여 BEM 열응력 해석을 한 후 식 (18)을 이용하여 초기균열 진전각도를 계산하여 Table 4에 나타낸다.

Fig. 2에 대한 모델의 A점에서 극히 미소한 초기

Table 4 Initial crack propagation angle for point A

Stress intensity factor		Crack propagation direction (θ_0)
K_1 [MPa \sqrt{m}]	K_2 [MPa \sqrt{m}]	
1.2	2.9	-63.36°

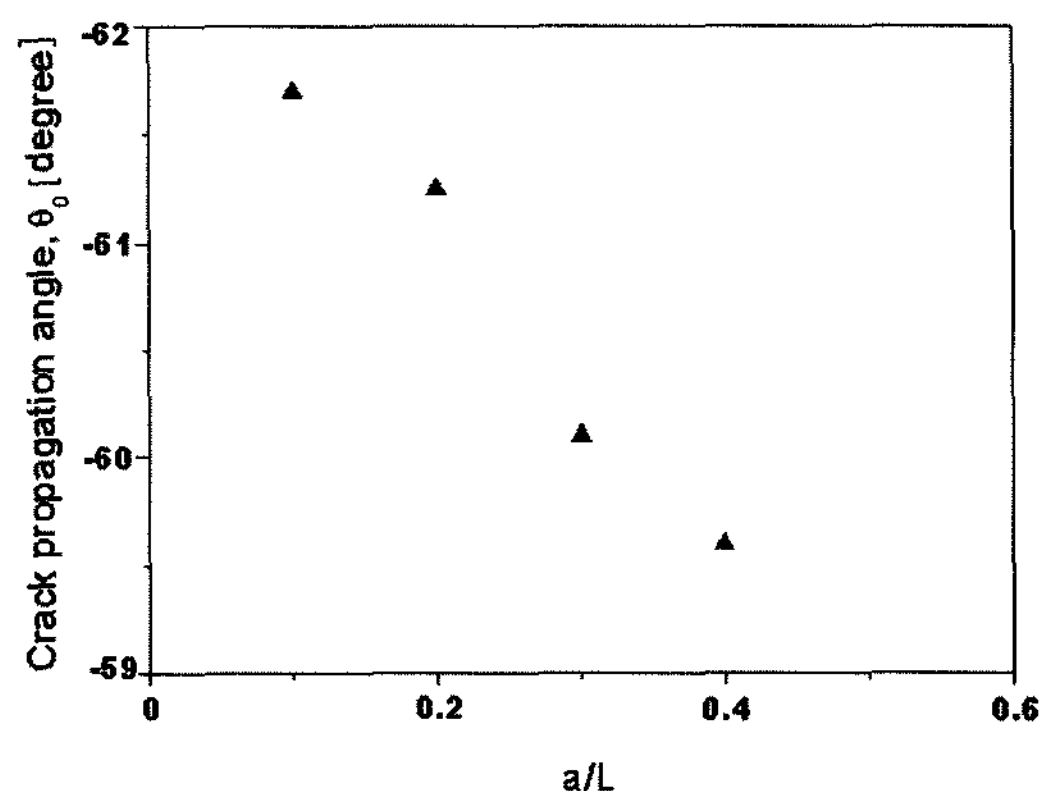


Fig. 8 Initial crack propagation angle for a/L

균열길이 $a=0.001\text{ mm}$ 가 발생한 것으로 가정하여 초기균열의 진전각도를 계산하였다.

Fig. 7에서와 같이 IC 패키지의 접합 계면단 A점으로부터 초기균열의 진전방향이 θ_0 인 + 방향, 또는 - 방향으로 진전할 것인가를 판단한다. Table 4에서 알 수 있듯이 Fig. 2의 패키지에 대한 A점으로부터 초기균열이 발생하여 수직쪽으로 63.36° 의 방향으로 균열이 진전한다.

Fig. 8은 초기균열의 진전각도 θ_0 를 균열길이의 비 a/L 에 대해서 나타낸 것이다. Fig. 7에서와 같이 균열의 길이가 증가할수록 균열은 다이패드 쪽에 가까워지면서 진전하는 것을 알 수 있다.

4.2 균질재 혼합모드 균열의 진전방향

4.1절에서 검토한 바와 같이 패키지에 대한 초기 균열의 진전방향은 수직쪽으로 진전하므로 균질재인 수직의 혼합모드 균열의 진전방향을 결정하여야 한다.¹⁵⁾

균질재에 대한 혼합모드 균열의 진전방향 및 경로를 예측하기 위해서는 혼합모드 파괴기준의 적용이 필요하다. 일반적으로 혼합모드 파괴기준은 접선방향 응력 최대설($\sigma_{\theta_{max}}$)을 사용하고 있다.¹⁶⁾

Fig. 3에서 재료 1과 2의 재료정수가 같으면 균질재이므로 극좌표로 나타낸 응력장은 다음과 같다.

$$\sigma_r = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} [K_I(1 + \sin^2 \frac{\theta}{2}) + \frac{3}{2} K_{II} \sin \theta - 2K_{II} \tan \frac{\theta}{2}] \quad (19)$$

$$\sigma_\theta = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} [K_I \cos^2 \frac{\theta}{2} - \frac{3}{2} K_{II} \sin \theta]$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{1}{2\sqrt{2\pi r}} [K_I \sin \theta + K_{II}(3 \cos \theta - 1)]$$

식 (19)에서 σ_θ 가 최대가 되고, $\tau_{r\theta} = 0$ 인 방향으로 균열이 진전하므로 균열진전각도는 다음 조건으로 주어진다.

$$K_I \sin \theta + K_{II}(3 \cos \theta - 1) = 0 \quad (20)$$

식 (20)에 K_I 및 K_{II} 의 값을 대입하면 균열의 진

전각도 θ_0 는 다음 식으로 표시된다.

$$\theta_0 = 2 \tan^{-1} \left[\frac{1}{4} \left(\frac{K_I}{K_{II}} \right) \pm \frac{1}{4} \sqrt{\left(\frac{K_I}{K_{II}} \right)^2 + 8} \right] \quad (21)$$

여기서 θ_0 는 반시계 방향을 (+)로 한다.

4.3 패키지에 대한 균열진전경로의 예측

Fig. 4의 A점에서 균열이 균질재인 수직쪽으로 진전하면, 균열의 진전은 모드 I 성분에만 의존하는 것으로 하여 $\Delta K_{II} \approx 0$ 이 되도록 미소량의 균열길이를 진전시킨 후 그때의 균열진전 방향을 다시 결정한다. 이러한 BEM 계산을 패키지가 파단 될 때까지 수회 반복하면, BEM에 의한 균열진전경로의 시뮬레이션 예측이 가능하다.

BEM에 의한 균열진전경로를 예측할 때 균열의 진전길이는 초기에는 $0.001 \sim 0.002\text{ mm}$ 의 미소 길이로 진전시키고, 수회 진전시킨 후에는 그 길이를 조금씩 증가시켜 가면서 진전경로를 결정한다.

Fig. 9는 열응력에 의한 IC 패키지에 대한 BEM 시뮬레이션으로 균열진전경로를 예측한 결과를 나타낸 것이다.

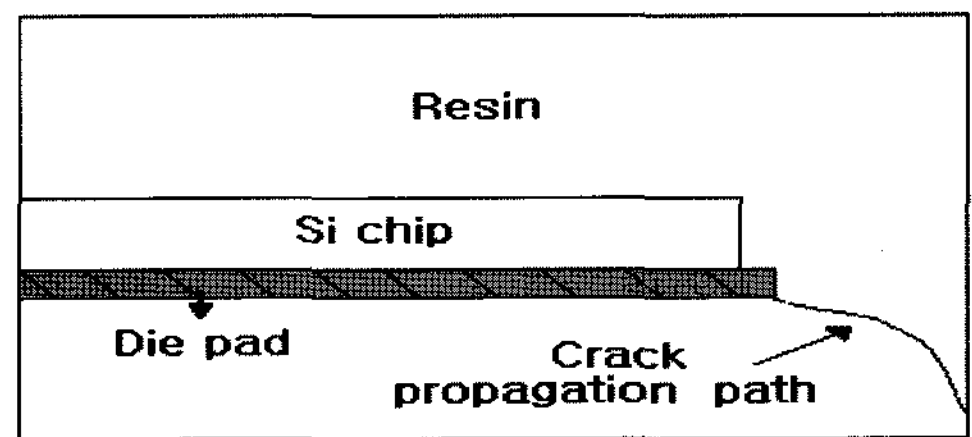


Fig. 9 Crack propagation path predicted by BEM simulation

4.4 예측된 균열진전경로의 검증

본 연구에서 예측한 패키지 균열의 초기진전방향 (θ_0) 및 균열진전경로는 IC 패키지의 형상, 구성재료의 물성값 및 사용조건 등에 의해 미소한 차이가 있으므로 정확한 직접적인 비교·검토는 곤란하지만, 본 연구와 관련된 유사한 연구 결과를 살펴보기로 한다.

IC 패키지에 대한 초기균열의 방향을 예측하기 위하여 각 조건에 대한 M 적분으로 균열 각도의 변화에 따른 J 적분을 계산한 후 최대에너지 방출률을

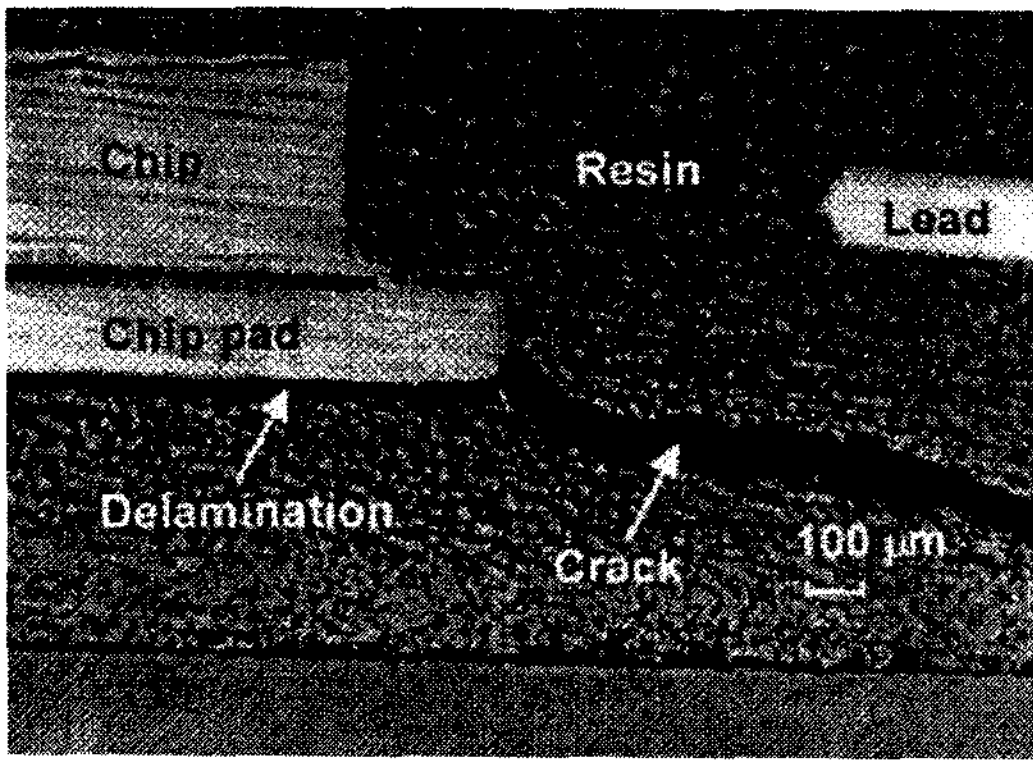


Fig. 10 Actual delamination and crack propagation path observed by microscope

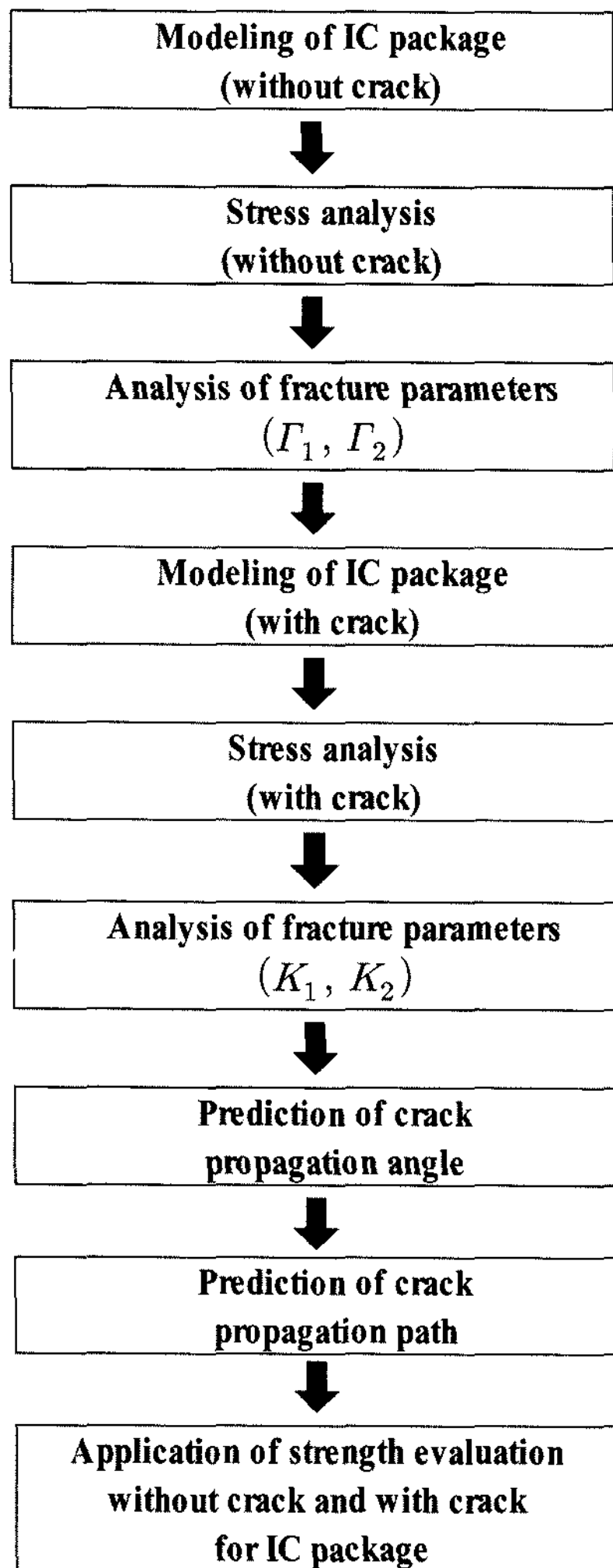


Fig. 11 Flow chart for the prediction of crack propagation path in IC package

구한 결과로부터 초기균열의 진전방향 θ_0 를 $50^\circ \sim 65^\circ$ 로 예측한 연구결과가 있다.⁶⁾ 또한, 폴리이미드 코팅층을 갖는 SOJ 형의 IC 패키지에 대한 C(t) 적분을 수행한 후 패키지 균열의 초기진전각도를 60° 로 계산한 연구결과도 있다.⁴⁾

Fig. 10은 IC 패키지의 층간 박리 및 균열파괴 형상을 비파괴 검사로부터 얻은 현미경사진을 나타낸 것이다.⁹⁾ 그림에서는 다이패드와 수지사이의 층간 박리와 수지의 균열파괴가 동시에 발생하고 있지만, 본 연구에서 예측한 수지쪽의 균열진전경로와 매우 유사한 것을 알 수 있다.

Table 4에서도 알 수 있듯이 본 연구로부터 얻어진 결과는 다이패드의 A점으로부터 발생하는 초기 균열의 진전방향 $\theta_0 = 63.36^\circ$ 로 예측된다. 타 연구자들의 연구 결과를 고려하면 반도체 패키지의 파괴는 다이패드의 A점으로부터 발생하는 초기균열의 진전방향 $\theta_0 = 60^\circ \sim 65^\circ$ 로서 본 연구결과와 잘 일치한다. 본 연구에서 예측한 패키지 파괴의 균열진전 경로를 검증할 직접적인 비교대상이 없으므로 현재로서는 직접적인 비교는 곤란하지만, 추후 박리파괴와 패키지 균열을 동시에 고려한 연구결과와 산업현장의 파괴사례에 대한 협력연구가 기대된다.

5. 결론

IC 패키지에 대해서 BEM에 의한 열응력 해석을 하고, 이들 결과를 이용하여 응력특이성계수와 응력세기계수를 계산한 후 균열진전방향과 진전경로를 BEM 수치해석 시뮬레이션을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) IC 패키지에 균열이 발생하기 전의 경우 BEM 열 응력 해석에 의한 응력특이성계수를 구하고, 초기균열이 발생하는 위치를 응력특이성계수가 가장 큰 계면단의 점 A로 결정하였다.
- 2) IC 패키지에서 열응력에 의해 균열이 발생한 경우 BEM 수치해석을 이용하여 초기균열의 진전 방향 $\theta_0 = 63.36^\circ$ 로 예측하고, 이것은 타 연구자의 결과와 잘 일치한다.
- 3) IC 패키지에서 열응력에 의해 초기균열이 발생하여 진전할 때 균열의 진전경로를 BEM 수치시뮬레이션으로 예측하는 방법을 제시하였다.

- 4) IC 패키지에 대해서 열응력에 의해 균열이 발생·진전하는 경우 BEM 수치해석에 의해 예측된 균열의 진전경로는 실제 패키지의 파괴균열 형상과 매우 유사하다.

후 기

본 연구는 숭실대학교 교내 연구비 지원으로 이루어졌음.

References

- 1) H. Miura, A. Nishimura, S. Kawai and K. Nishi, "Residual Stress in Resin-Molded IC Chips," *Transaction of JSME*, Vol.55, No.516, pp. 1763-1770, 1998.
- 2) H. Miura, A. Nishimura, S. Kawai and G. Murakami, "Effect of Package Structures on the Residual Stress of Silicon Chips Encapsulated in IC Plastic Packages," *Transaction of JSME*, Vol.56, No.522, pp.175-181, 1990.
- 3) M. Sato, R. Ruuki, S. Yoshoka and A. Inoue, "Analyses of Delamination Arrest Effect of Dimples on Interface in LSI Package," *Transaction of JSME*, Vol.60, No.577, pp.1985-1991, 1994.
- 4) K. Y. Lee, H. S. Moon, T. S. Lee and K. S. Kim, "Plastic IC Package Cracking Analysis due to Thermal Stress," *Transaction of KSME*, Vol.19, No.12, pp.3197-3204, 1995.
- 5) K. Y. Lee and J. H. Yang, "Viscoelastic Cracking Analysis of Plastic IC Package with Polyimide Coating Layer," *Transaction of KSME*, Vol.22, No.10, pp.1930-1937, 1998.
- 6) S. S. Park, L. O. Pahn and Y. Y. Earmme, "A Fracture Mechanics Approach on Delamination and Package Crack in Electronic Packaging (2)," *Transaction of KSME*, Vol.18, No.8, pp.2158-2166, 1994.
- 7) P. Alpen and K. C. Lee, "A Simple Model for the Mode I Popcorn Effect for IC Packages," *Microelectronics Reliability*, Vol.40, pp.1503-1508, 2000.
- 8) Y. Ju, M. Saka and H. Abe, "Nondestructive Inspection of Delamination in IC Package by High-Frequency Microwaves," *International Journal of NDT & E*, Vol.34, pp.213-217, 2001.
- 9) Y. Ju, M. Saka and H. Abe, "Detection of Delamination in IC Packages Using the Phase of Microwaves," *International Journal of NDT & E*, Vol.34, pp.49-56, 2001.
- 10) N. Y. Chung and B. T. Oh, "Evaluation Method of Bonded Strength Considering Stress Singularity in Adhesively Bonded Joints," *Transaction of KSME*, Vol.20, No.7, pp.2087-2096, 1996.
- 11) N. Y. Chung, "Evaluation Method of Interface Strength in Bonded Dissimilar Materials of Al/Epoxy," *Transaction of KSME*, Vol.26, No.11, pp.2277-2286, 2002.
- 12) N. Y. Chung and C. H. Park, "Analysis of Residual Stress Singularities on Interfaces of Friction Welded SUH35/SUH3," *Transactions of KSAE*, Vol.13, No.5, pp.104-111, 2005.
- 13) N. Y. Chung and C. H. Song, "Prediction of Propagation Path for the Interface Crack in Bonded Dissimilar Materials," *Transaction of KSAE*, Vol.4, No.3, pp.112-121, 1996.
- 14) N. Y. Chung and C. H. Song, "Effects of Interface Cracks Emanating from a Circular Hole on Stress Intensity Factors in Bonded Dissimilar Materials," *Int. J. Automotive Technology*, Vol.6, No.3, pp.293-303, 2005.
- 15) N. Y. Chung and C. H. Song, "Prediction of Propagation Path on Mixed Mode Crack Using Boundary Element Method," *Spring Conference Proceedings*, Vol.II, KSAE, pp.387-393, 1994.
- 16) F. Edoğan and G. C. Sih, "On the Crack Extension in Plastic under Plane Loading and Transverse Shear," *Transaction of ASME*, Vol.85, No.D, pp.519-528, 1963.