

〈논 문〉

# 다꾸찌방법을 사용한 여러변수들이 패키지균열에 미치는 신뢰도 평가

권용수\* · 박상선\*\* · 박재완\* · 채영석\*\*\* · 최성렬\*\*\*

(1996년 10월 30일 접수)

## Estimate of Package Crack Reliabilities on the Various Parameters Using Taguchi's Method

Yong-Su Kwon, Sang-Sun Park, Jae-Wan Park, Young-Suck Chai and Sung-Ryul Choi

**Key Words :** Package Crack (패키지균열), Conservation Integral (보존적분), Energy Release Rate (에너지방출률), Taguchi's Method (다꾸찌방법)

### Abstract

Package crack caused by the soldering process in the surface mounting plastic package is evaluated by applying the maximum energy release rate criterion. It could be shown that the crack propagation from the lower edge of the die pad is easily occurred at the maximum temperature during the soldering process, where the pressure acting on the crack surface is assumed by the saturated vapor pressure at maximum temperature. The package crack formation depends on various parameters such as chip size, relative thickness, material properties, the moisture content and soldering temperature etc. The quantitative measure of the effects of the parameters could be easily obtained by using the taguchi's method which requires only a few kinds of combinations with such parameters. From the results, it could be obtained that the more significant parameters to effect the package reliability are the orders of Young's modulus, die pad size, down set, chip thickness and maximum soldering temperature.

### 1. 서 론

근래 반도체 산업의 발달로 인하여 칩(chip)의 고집적화, 다기능화에 의한 대형화가 이루어지는 반면, 패키지(package)는 소형화, 박형화를 계속 함으로 전자부품의 신뢰성 평가는 매우 중요한 문제가 되고 있다. 패키지를 배선기판에 실장하는 방법에는 삽입형(insertion mounting type)과 표면실

장형(surface mounting type)이 있으며, 현재는 고집적화에 유리한 표면실장형이 주종을 이룬다. 그러나 삽입형은 실장시 리드(lead)부만이 용융솔더에 노출되는 반면, 표면실장형은 실장시에 패키지 전체가 솔더(solder)의 용융온도보다 높은 210°C ~ 260°C에 노출됨으로써 다양한 패키지균열을 야기하게 된다. 패키지를 기판에 실장하는 방법으로는 VPS(vapor phase)법과 IR(infrared)법이 있으며, 현재 열전달이 빠르고 비용이 싼 IR법이 많이 사용되고 있다.

Fig. 1과 같은 패키지를 표면실장할 때, 전자부품내 균열이 생성되는 주요인자로는 패키지 내의

\*회원, 영남대학교 대학원 기계공학과  
\*\*한국과학기술원 기계공학과  
\*\*\*회원, 영남대학교 기계공학부

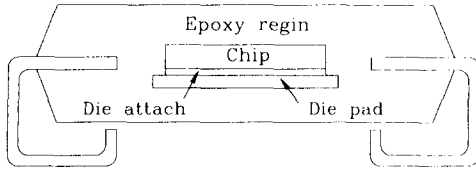


Fig. 1 Geometry of plastic package

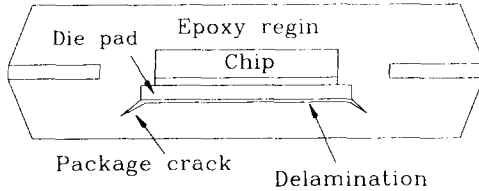


Fig. 2 Type of package crack in plastic package

온도변화에 따른 열하중과 패키지에 함유된 습기의 팽창에 따른 기계적하중으로 알려져 있다.<sup>(1)</sup> 보편적으로 패키지에는 제조과정에서 미소균열들이 존재할 수 있고, 비록 균열이 존재하지 않는다고 하더라도 표면실장시 균열이 생성될 수 있다. 가령 다이패드(die pad)와 에폭시수지(EMC: epoxy molding compound)의 접합 모서리(edge)와 같은 상이한 재료들이 접합된 모서리 부근에는, 열하중이나 패키지가 대기에서 흡수한 수분이 팽창함에 따른 기계적 하중에 의하여, 응력특이성이 존재하여 접합면이 분리되는 층간박리(delamination)가 일어날 수 있다. 이와 같은 계면균열은 극단적으로 계면의 전영역에 걸쳐 박리될 수 있으며, 나아가 Fig. 2와 같이 에폭시수지 내부로 꺾인균열(kinked crack) 등 다양한 형상의 균열이 형성되는 바, 이상태의 균열을 패키지균열(package crack)이라고 지칭한다.

균열생성은 패키지의 제조공정이나 패키지를 기판에 접착하는 솔더링(soldering)과정에서 용이하므로, 패키지 신뢰성 확보를 위해서는 파괴역학을 도입한 이들 균열의 해석이 필수적이다. 패키지 내부에 생성되는 균열의 실험적 사례는 Omi 등<sup>(2)</sup>의 문헌에 제시된 바 있으며, 이와 같은 균열생성 원인인자로는 열하중, 습기에 의한 기계적 하중뿐만 아니라, 패키지를 구성하는 재료의 물성치, 패키지의 기하학적 모양 등 매우 다양하며, 균열생성에는 이들 인자들이 복잡하게 연관되어 있음이 알려져 있다.

패키지 신뢰성 평가는 주로 접합점 부근의 응력

해석에 한정되었으나, 보다 높은 패키지 신뢰성 확보를 위하여 파괴역학을 도입한 패키지균열의 수치적해석에 대한 연구가 점차 활발해지고 있다. 박상선<sup>(4,5)</sup> 등은 J적분 및 M적분과 같은 보존적분을 사용하여 수치적으로 파괴역학 매개변수인 에너지방출률(energy release rate)을 구하는 방법을 제시하고, 에폭시수지가 유리전이온도(glass transition temperature)  $T_g$ 에서 무응력이라고 두고 패키지가 상온상태로 되는 냉각과정에 대하여 다이패드와 에폭시간의 계면균열문제와 패키지균열문제를 해석하였다. Lee 등<sup>(3)</sup>은 Omi 등<sup>(2)</sup>이 실험적으로 보인 세 종류의 패키지균열 문제에 대해 보존적분을 사용하여 해석하고, 이들 패키지균열은 재료의 물성치 및 기하학적 형상들에 따라 생성될 수 있음을 보였다.

본 연구에서는 패키지를 IR법으로 표면실장할 때 균열의 생성 및 진전이 용이한 조건을 찾고, 패키지 구성재료의 물성치, 기하학적 형상, 외부조건이 패키지의 신뢰성에 미치는 영향을 알고자 한다.

균열의 생성 및 진전이 용이한 조건을 찾기위해 다이패드 아랫면의 일부분이 층간박리된 경우로 두고, 시간에 따른 에너지방출률을 수치계산하였으며, 이결과 균열의 생성 및 진전이 에폭시수지의 유리전이온도 이상의 온도에서 가장 용이함을 알 수 있었다. 이로부터 고온상태의 패키지균열문제에 대한 에너지방출률을 수치적으로 계산하였다. 이때 패키지균열의 형태는 생성이 용이한 Fig. 2와 같은 형태로 한정하였다.

실장시 패키지의 기하학적 형상, 구성재료, 외부환경 등의 요인이 다이패드의 아래 부분이 완전박리된 후 패키지내로 진전하는 균열(패키지균열)에 미치는 영향을 평가하였다. 평가를 용이하게 하기 위하여 균열문제 해석결과를 다꾸찌(taguchi)<sup>(6)</sup>방법에 적용하여 정리하였다. 일반적으로 변수들의 영향을 모두 알기 위해서는 많은 해석이 요구되지만, 다꾸찌방법은 적은 양의 해석을 통해서도 여러 인자들의 영향을 밝힐 수 있는 보다 효율적인 방법임을 알 수 있었다. 이로부터 비교적 용이하게 각 변수중 패키지균열에 가장 민감하게 작용하는 변수를 찾았다.

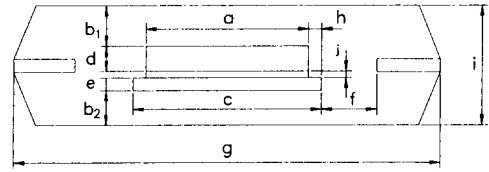
## 2. 문제의 모델링

본 연구에서 해석의 대상으로 삼은 패키지 모델은 현재 많이 사용되는 플라스틱 패키지의 일종인

TQFP(thin quad flat package)로서, 이를 단순화한 형상과 치수는 Fig. 3과 같다. Miyake 등은 2차원 모델과 3차원 모델을 비교한 결과 서로 잘 일치한다는 사실을 밝힌 바 있으므로,<sup>(7)</sup> 본 연구에서는 평면변형률(plane strain) 상태로 가정하여 2차원 해석을 하였고, 패키지의 기하학적 형상이 축대칭임을 고려하여 패키지의 반을 해석의 대상으로 삼았다.

이와같은 패키지의 안정성 평가를 위하여 계면균열과 패키지균열 문제를 해석하였다. 여기서 계면균열이란 다이패드 아래 양쪽 모서리에서 계면을 따라 박리되어 생성된 크기  $a=2\text{ mm}$ 인 균열을 말하며, 한편 패키지균열이란 Fig. 2에서 보인 바와 같이 다이패드가 완전히 박리되어 EMC 내부로 진행한 균열을 말한다. 패키지균열의 생성조건에 대한 정보를 얻기 위하여 꺾임균열길이를  $1\ \mu\text{m}$ 로 하였다.<sup>(3)</sup> 계면균열 및 패키지균열의 균열면은 완전히 열려있다고 보았고, 나머지 계면은 완전히 접합되어 있다고 가정하였다.

계면균열 해석시 온도분포와 응력분포는 상용 유한요소 프로그램인 ABAQUS를 이용하였고, 패키지균열 문제는 M적분에 대한 계산용 후처리 프로그램을 함께 사용하여 해석하였다. 프로그램에 사용된 요소는 8점 정규요소이며, 해석의 정밀도를 유지하기 위하여 사용된 요소와 절점의 수는 계면균열의 경우 1800여개, 6000여개이고, 한편 패키지균열의 경우 4000여개, 14000여개이다. Fig. 4는 Fig. 2에서 보인 패키지균열을 해석할 때 요소모양을 대표적으로 나타낸 것으로, 패키지균열선단 부



	Dimension (mm)
a	11.722
b <sub>1</sub> =b <sub>2</sub>	0.466
c	12.23
d	0.322
e	0.127
f	0.6
g	20
h	0.254
i	14
j	0.019

Fig. 3 Analysis of model

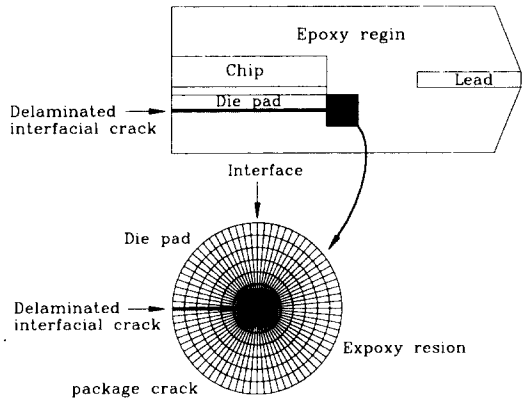


Fig. 4 Typical finite element mesh near the package crack

Table 1 Material properties<sup>(8)</sup>

Material	Young's modulus	Poisson's ratio	Thermal expansion coefficient	Thermal conductivity	Density	Specific heat	
	E(GPa)	$\nu$	$\alpha$ (ppm/°C)	k(W/m°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (J/kg°C)	
Chip	165.5	0.25	2.3	153	2330	703	
L/F	Cu	119.3	0.34	16.9	196.6	8920	400
	Alloy42	167	0.29	10.1	15.91	8300	502.44
EMC (T <sub>g</sub> =168°C)	12.753 (2.55)	0.25	16 (71)	0.67	1820	1884	
D/A (T <sub>g</sub> =120°C)	8.96 (2.48)	0.25	41 (150)	4.5	3800	703	

근의 요소분할(mesh)을 원형으로 하였다.

재료의 물성치중 탄성계수 및 선팅창계수는 유리 천이온도  $T_g$ 를 전후하여 큰 차이를 보이는 바 이 온도를 중심으로 각각 이원화된 값을 사용하였으며, 수치계산에 사용된 패키지 부품들의 물성치는 Table 1과 같다.<sup>(8)</sup> 에폭시와 다이패드 및 칩 간의 접착제인 다이어태치(D/A)는 각각 유리천이온도에서 열응력을 영(zero)으로 두었고, 나머지 부품들의 열응력 기준온도는  $0^{\circ}\text{C}$ 로 하였다.<sup>(9)</sup> 이를 기준으로 실장초기인 상온상태에서 패키지에 존재하는 잔류응력은 실장전의 과정인 몰딩과정(즉, 몰딩한 후 상온까지 냉각과정)에서 계산된 응력으로 가정하였다. 균열 상하면에는 패키지에 흡수된 습기가 고온에서 팽창기화하여 포화수증기압이 등분포 압력으로 작용한다고 가정하였으며, 이때 포화수증기압의 기준온도를 균열선단의 온도로 하였다.

### 3. 보존적분과 에너지방출률

Rice<sup>(10)</sup>에 의하여 제안된 J적분은 다음과 같다.

$$J = \int_{\Gamma} (Wn_1 - t_i u_{i,1}) ds, \quad (1)$$

여기서,  $W$ 는 변형률 에너지밀도,  $t_i$ 는 트랙션벡터,  $u_i$ 는 변위,  $n_1$ 은 경로에 수직인 단위법선벡터의  $X_1$  성분을 말한다. 식 (1)은 기계적 하중이 작용하는 경우이며, 온도구배가 존재하는 경우에 대한 적분으로 수정한 식은 다음과 같다.

$$J = \int_{\Gamma} (Wn_1 - t_i u_{i,1}) ds + \int_A \alpha \sigma_{kk} \theta_1 dA, \quad (2)$$

여기서,  $\alpha$ 는 열팽창계수,  $\theta$ 는 온도차이다.

열하중 또는 균열면상에 표면력이 작용하지 않는 선형탄성재료내에 존재하는 2차원의 변위장에 대한 M적분은 다음과 같다.

$$M = \int_{\Gamma} (Wx_i n_i - t_i u_{i,j} x_j) ds \quad (3)$$

여기서,  $W$ 는 변형률 에너지밀도,  $n_i$ 는 적분경로에 수직인 단위벡터,  $t_i$ 는 트랙션벡터,  $u_i$ 는 변위 벡터이다.

식 (3)을 표면력이 작용하거나 재료에 열하중이 작용하는 경우로 수정한 결과는 다음과 같다.<sup>(3,12-14)</sup>

$$M = \int_{A-A_c} [(\sigma_{ki} u_{k,j} x_j - Wx_j) q_{,i} + \alpha \sigma_{kk} (\theta_{,j} x_j + \theta) q] dA - \int_{\Gamma_s} t_k u_{k,j} x_j ds \quad (4)$$

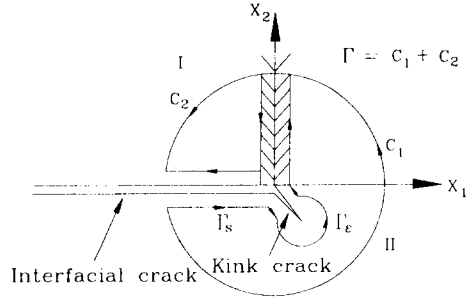


Fig. 5 Integration path of M integral

여기서,  $A$ 는 Fig. 5에 표현된  $\Gamma$ 로 둘러싸인 면적,  $A_c$ 은  $\Gamma_c$ 으로 둘러싸인 면적이고,  $\Gamma_s$ 는 균열면에서의 적분경로이며,  $\alpha$ 는 열팽창계수,  $\theta$ 는 온도차, 가중함수  $q$ 는 균열선단, 혹은  $\Gamma_c$ 에서 1, 임의의 적분경로  $\Gamma$ 에서는 0, 그리고 적분영역 내부에서는 1계 미분가능한 연속함수(continuous function)이다.

M적분이 임의의 적분경로에 대해 보존되는 경우 M적분과 J적분, 즉 균열의 에너지방출률  $G$ 와의 관계는 다음과 같다.<sup>(3,15)</sup>

$$M(x_1, x_2) = aJ = aG \quad (5)$$

여기서,  $a$ 는 키크균열이 시작되는 점에서 키크균열선단까지의 거리를 나타낸다.

### 4. 다꾸찌방법

제품 혹은 공정상 다양한 변수들의 값을 변화시켜 가면서 행하는 일련의 실험들을 직교배열(orthogonal arrays)이라 부르는 특수한 행렬을 이용한 행렬실험을 행하면 여러 변수들의 효과를 효율적으로 결정할 수가 있다. 다꾸찌(taguchi)방법에서는 공정의 다양한 변수들을 제어인자(control factors)라 부르며, 각 인자들은 2-3단계의 변화값을 결정하는데, 이를 수준(levels)이라 부른다. 따라서 실험의 조건은 제어인자와 수준으로 표현된다.

제품을 설계할때는 목적함수를 정확히 파악하고 있어야 하는데, 패키지내의 신뢰성을 높이기 위해서는 설계시 제어인자들을 적절히 조절하여 패키지에 존재하는 균열의 에너지방출률을 최소화하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 식 (6)의 목적함수를 최소화하는 문제가 된다.

**Table 2** Control factors and levels

Control factor	Level		
	1	2	3
A. Die pad	Cu*	Alloy42	-
B. Max. Temperature(°C)	230	235*	240
C. Chip width(mm)	10.222	11.722*	13.222
D. Chip thickness(mm)	0.247	0.322*	0.397
E. Package width(mm)	20*	24	28
F. Down set(mm)	-0.075	0*	+0.075
G. Young's modulus(EMC) (GPa)	1	3*	5
H. Thermal expansion(EMC) (ppm/°C)	60	70*	80

**Table 3** Orders for computation simulation

	Dia pad material A	Temp. B (°C)	Chip width C (mm)	Chip thickness D (mm)	Package width E (mm)	Down set F (mm)	Young's modulus G (GPa)	Thermal expansion H (ppm/°C)
1	Cu	230	-1.5	-0.075	20	-0.075	1	60
2	Cu	230	0	0	24	0	3	70
3	Cu	230	+1.5	+0.075	28	+0.075	5	80
4	Cu	235	-1.5	-0.075	24	0	5	80
5	Cu	235	0	0	28	+0.075	1	60
6	Cu	235	+1.5	+0.075	20	-0.075	3	70
7	Cu	240	-1.5	0	20	+0.075	3	80
8	Cu	240	0	+0.075	24	-0.075	5	60
9	Cu	240	+1.5	-0.075	28	0	1	70
10	AL42	230	-1.5	+0.075	28	0	3	60
11	AL42	230	0	-0.075	20	+0.075	5	70
12	AL42	230	+1.5	0	24	-0.075	1	80
13	AL42	235	-1.5	0	28	-0.075	5	70
14	AL42	235	0	+0.075	20	0	1	80
15	AL42	235	+1.5	-0.075	24	+0.075	3	60
16	AL42	240	-1.5	+0.075	24	+0.075	1	70
17	AL42	240	0	-0.075	28	-0.075	3	80
18	AL42	240	+1.5	0	20	0	5	60

$$Q = k(\text{제품평균품질특성}) = k \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (6)$$

여기서,  $Q$ 는 품질손실이고,  $k$ 는 상수,  $y_i$ 는 측정치이다. 다투찌에 의한 식 (6)의 표현은 다음과 같다.

$$\eta = -10 \log_{10}(\text{제품평균품질특성}) = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (7)$$

여기서,  $\eta$ 는 다투찌가 제시한 S/N 비(signal-to-noise ratio)를 나타내고, 단위는 데시벨(dB)이다.  $y_i$  값은 측정치로서, 본 연구에서는 수치해석의 결과 계산된 균열선단의 에너지방출률을 말한다. 식 (7)을 보면, 상용로그 앞에 음의 부호(-)가 존재함으로  $y_i$ 가 감소하면  $\eta$ 값은 증가하는 특성을 보이는데, 이것은 계산된 균열선단의 에너지방출률이 작을수록 S/N비는 증가함을 나타낸다.

여러 가지 설계변수들중 제어할 수 있는 인자들과 이들의 수준을 적절히 설정하여 정리하면 Table 2와 같다. 인자들의 수준을 모두 평가하기 위해서는  $2^1 \times 3^7 = 4374$ 번의 해석이 필요하나,  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  직교배열을 이용하면 18번의 수치해석만 수행하면 된다. Table 2의 제어인자와 수준을 직교표에 할당하면 Table 3과 같은 18가지 조합수가 결정되며, 이와같은 순서로 수치해석을 수행하면 각 제어인자들이 패키지에 미치는 정보를 얻게 될 것이다. Table 2 내의 "\*"는 각 제어인자들의 기준수준을 구별하여 나타낸 것이다.

### 5. 수치해석 결과 및 토의

본 연구에서는 Fig. 3 같은 패키지가 Table 1과 같은 물성치(다이패드 재료는 Cu)일 때 수치해석을 수행하였다. 먼저 솔더링을 위하여 IR법으로 가열할 때 다이패드 아래의 계면균열을 가정한 열전달 해석으로 시간에 따른 온도분포를 알아보고, 아울러 에너지방출률을 조사하였다. 패키지 내부온도는 순식간에 패키지 표면의 온도에 접근함을 보였는 바, 패키지 신뢰성 평가는 열전달 해석없이 패키지 내부온도를 최대 표면온도와 동일하다고 두고 수행한 해석만으로 충분함을 알 수 있었다. 다음은 Fig. 2에서 보인 바와 같은 형태의 패키지균열에 대한 해석을 수행하였다. 계면균열 해석결과

를 고려하여 패키지 전부가 최대 표면온도와 같다고 두고, 이에 관한 해석에 한정하였다.

#### 5.1 패키지내 다이패드 아랫면의 계면균열

다이패드 아랫면 양쪽 모서리에 길이  $a=2\text{ mm}$ 의 계면균열이 존재하고, 솔더링을 위하여 IR법으로 패키지 표면을 가열할 때 패키지 내부의 온도변화를 조사하였다. 사용된 열전달 프로그램은 ABAQUS에 내장된 프로그램이며, 이때 시간에 따른 균열선단의 온도변화를 그림으로 나타내면 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 ○는 IR법으로 솔더링할 때 패키지 표면의 온도를 시간에 따라 나타낸 것이며, □는 열전달 해석에서 얻은 균열선단에 대한 온도를 시간의 변화에 따라 그림으로 나타낸 것이다. ○와 □ 결과를 보면, 시간지연이 거의 없이 잘 일치함을 알 수 있다. 즉, 균열선단의 온도는 순식간에 패키지 표면온도에 도달함을 알 수 있다. 균열선단이 아닌 패키지 내부의 임의점 또한 유사한 관계임을 열전달 해석에서 알 수 있었는 바, 이를 종합하면 열전달의 해석없이 패키지 표면의 온도를 패키지 내부의 온도라고 간주해도 무방함을 보인다.

Fig. 7은 다이패드 아랫모서리에서 계면균열이 존재할 때 Fig. 6에서 해석한 열전달 결과를 기초로하여 에너지방출률을 시간의 변화에 따라 나타낸 것이다. 에너지방출률은 패키지의 온도변화에 의한

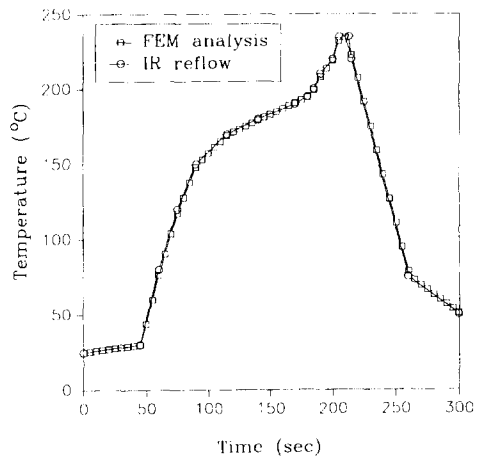


Fig. 6 Comparison between the transient temperature at interfacial crack tip by FEM analysis and the given surface temperature by IR reflow surface mounting

하중(열하중이라 지칭)과 패키지 온도변화없이 단순히 균열면에 작용하는 수증기압에 의한 하중(기계적하중이라 지칭)에 의한 에너지방출률을 증첩함과 동일하므로, 이를 각각 도시하였다. Fig. 7(a) 및 7(b)는 각각 열하중과 기계적 하중이 작용하는 경우 시간에 따른 에너지방출률을 도시한 것이다. 이때 수증기압은 주어진 온도에서 포화수증기압으로 가정하였다.

Fig. 7(a)은 열하중이 작용할 때 에너지방출률을 나타낸 것으로, 유리천이온도까지 점차 감소하다가 천이온도를 지나면 온도에 따라 급격한 변화를 보

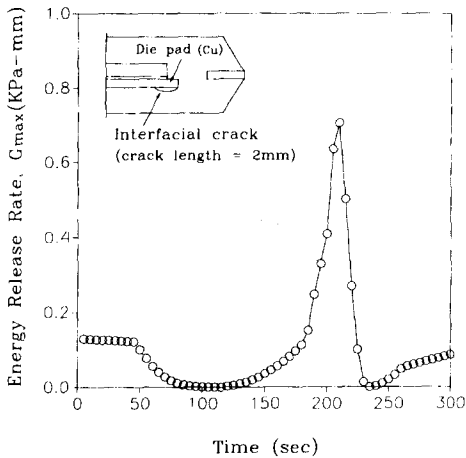


Fig. 7(a) Energy release rate for the interfacial crack under the thermal loading during the IR reflow surface mounting

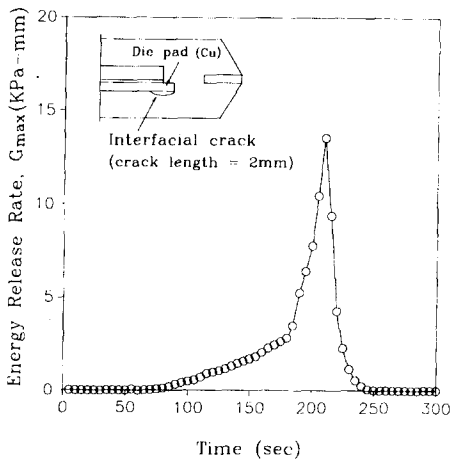


Fig. 7(b) Energy release rate for the interfacial crack under the mechanical loading during the IR reflow surface mounting

이고 있다. 즉, 표면실장 공정이 시작된 지 210초 후, 온도가 최대점인 곳에서 에너지방출률이 최대가 되었다. Fig. 7(b)는 기계적 하중이 작용할 때 에너지방출률의 변화를 나타낸 것으로, 이 경우 역시 210초후에 에너지방출률이 최대가 됨을 알 수 있다. Fig. 7(a), (b)의 결과로부터 최대 에너지방출률은 최고 온도에 도달했을 때 발생되며, 포화수증기압이 작용한다고 가정한다면 기계적 하중이 열하중보다 파손에 큰 영향인자가 됨을 알 수가 있다. 만일 계면에 작용하는 수증기압을 정확히 구한다면, 기계적 하중과 열하중이 계면균열에 미치는 영향을 보다 정량적으로 비교 분석할 수 있을 것이다.

5.2 패키지균열의 꺾인 각도에 따른 에너지방출률

표면실장시 가열과정에서 열하중과 기계적 하중이 동시에 작용하는 문제를 해석하였다. 이와같은 문제의 에너지방출률은 M적분을 사용함으로써 수치계산이 용이하다. 균열성장방향과 에너지방출률에 관한 정보를 얻기위하여 킹크균열의 길이를 1 μm로 하였다. IR법에 의한 패키지 실장과정에는 패키지온도가 상온에서 유리천이온도를 거쳐 최대온도인 235℃까지 가열되는 바, 패키지온도가 최대온도인 235℃의 정상상태에 대한 문제를 해석하였다. 235℃에서 포화수증기압은 3.06 MPa이다.

Fig. 8는 에너지방출률을 킹크각 ψ에 따라 나타낸 결과이다. Fig. 8에서 알 수 있듯이, 킹크각 ψ

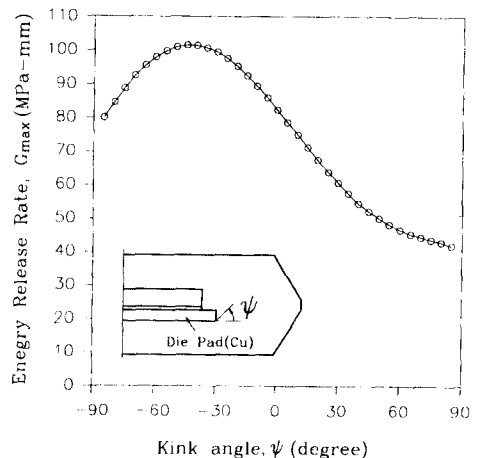


Fig. 8 Energy release rate combined with the thermal and mechanical loadings as various kinked angles for package crack

= -45°에서 최대 에너지방출률  $G_{max} = 101.5$  MPa-mm을 보인다.

5.3 다구찌방법을 적용한 여러번수들의 영향도 평가

패키지를 표면실장할 때 발생될 수 있는 균열에 대하여 패키지의 기하학적 형상, 구성재료 및 외부 환경이 미치는 영향을 평가한다. 설계변수들중 8개를 제어인자로 설정하였고, 각 제어인자들의 수준(levels)과 제어인자와 수준을  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  직교배열에 할당한 18가지의 수치해석표는 각각 Table 2, Table 3에 나타내었다.

Table 3과 같은 조합은 각 단계마다 패키지의 기하학적 형상과 구성재료의 물성이 변함에 따라 에너지방출률이 최대가 되는 각도가 달라진다. 따라서 각 단계별로 다이패드의 모서리를 정점으로 꺾인 균열(kink crack)을 5°씩 변화시켜, 최대 에너지방출률을 구하였다. 이 때 균열길이는 1μm로 고정하였다.<sup>(9)</sup> 실험은 동일한 조건에서도 오차발생률이 높기 때문에 반복실험을 수행함으로 여러개의 측정치를 얻지만, 수치해석은 실험적 오차를 발생하지 않으므로 동일한 조건에서 한 번의 계산값을 얻으면 된다. 따라서 Table 3에서 보인 조합순번대로 한번씩 수치해석을 수행하여 에너지방출률을 얻고, 이로부터 S/N비를 구하므로 식 (7)내에서  $i = 1$ 이 된다. 첫번째 수치해석 결과로 얻은  $G_{max} = 101.91$  MPa-mm을 식 (7)에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \eta_1 &= -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \\ &= -10 \log_{10} (101.91)^2 \\ &= -40.16 \text{ (dB)} \end{aligned}$$

같은 방법으로 각 순번대로 계산하여 결과를 정리하면 Table 4와 같다.

Table 4의 S/N비를 기초로 하여 동일한 제어인자의 수준에 대한 평균 S/N비는 같은 제어인자의 수준이 적용된 조합순번의 S/N비를 모두 뽑아서 이를 산술평균함으로써 얻게 된다. 각 제어인자들의 수준에 따른 민감도를 보기 위해서는 모든 제어인자를 하나의 그림으로 표현하여야 하나, 구별이 용이하도록 편의상 한 개의 그림에 2개의 제어인자씩 나누어 수준의 변화에 따른 평균 S/N비를 나타내었다. Fig. 9는 제어인자에 대한 S/N비를 각각 표시하였다. 이때 x축은 각 제어인자의 수준을 말하고, y축은 수준의 평균 S/N비를 말한다. 각 제어인자의 수준에 따른 민감도가 클수록 수준의 변화에 따른 평균 S/N비의 변화값이 크게 되며, 또한 수준의 변화에 따른 평균 S/N비가 증가할수록 에너지방출률은 감소함을 의미하는 바 패키지 신뢰성은 증가하게 된다.

Fig. 9에서 보는 바와 같이, 수준에 따라 민감도가 큰 제어인자는 칩 및 다이패드의 폭(C인자), 에폭시 수지의 탄성계수값(G인자), 다운셋(F인자)임을 알 수 있고, 다음으로 칩의 두께(D인자)와 온도(B인자)가 된다. 그 외의 인자가 S/N비의 변화에 미치는 영향은 미약함을 알 수 있다. 이로부터

Table 4 Energy release ratio and S/N ratio

Orders	$G_{max}$ (MPa-mm)	S/N (dB)	Orders	$G_{max}$ (MPa-mm)	S/N (dB)
1	101.91	-40.16	10	32.21	-30.16
2	70.86	-37.00	11	22.92	-27.20
3	74.30	-37.42	12	879.60	-58.89
4	13.69	-22.73	13	28.23	-29.01
5	181.47	-45.18	14	355.76	-51.02
6	438.08	-52.83	15	106.94	-40.58
7	23.70	-27.49	16	96.48	-39.69
8	128.27	-42.16	17	131.16	-42.36
9	593.35	-55.47	18	136.75	-42.72



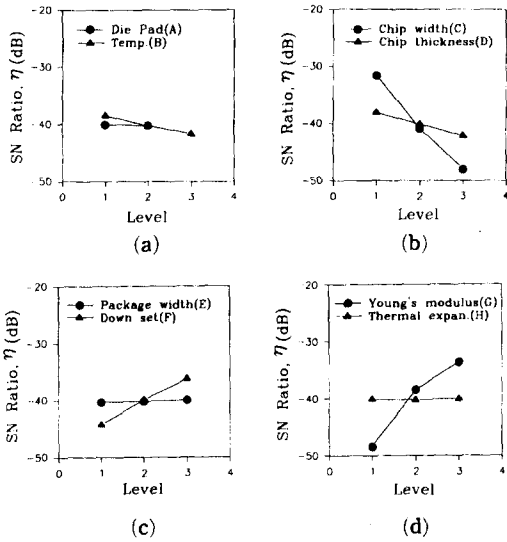


Fig. 9 S/N ratio versus control factors under thermal loading and mechanical loading for package crack

터 각 제어인자의 수준을 비교하면 패키지 신뢰성을 높이는 최적조건을 얻을 수 있다. 즉 제어인자 중 수준에 따라 S/N비의 변화값이 적은 것은 현행 수준을 유지하고, 민감한 반응을 보이는 제어인자는 현행수준보다 S/N비의 변화값이 증가하는 수준을 취함으로써 최적조건을 얻게 되는 바 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

현행조건 -  $A_1B_2C_2D_2E_1F_2G_2H_2$

최적조건 -  $A_1B_1C_1D_1E_1F_3G_3H_2$

여기에서 결정한 최적조건에 대한 타당성을 조사하기 위하여, 현행조건과 최적조건을 각각 패키지 균열 문제의 입력정보로 택하여 수치해석을 하였다. 그 결과 현행조건에 대한 최대 에너지방출률은  $G_{max} = 85.00$  (MPa-mm) 이었고, 최적조건에 대한 최대 에너지방출률이  $G_{max} = 7.59$  (MPa-mm) 로 계산되었다. 또한 이런 최적조건에 대한 결과는 Table 4에서 보인 18가지의 어느 경우보다도 에너지방출률이 작음을 보이고 있는 바, 그 타당성이 인정된다.

이와같은 조건은 패키징할 때, 임의의 균열에 대해 정성적으로 평가하여 얻은 결과이다. 따라서 새로운 패키지를 설계할 때 신뢰성을 높이는 설계방법으로 제시될 수 있을 것이며, 각 제어인자와 그 수준이 패키지의 신뢰성에 미치는 영향도를 고려하

면, 패키지의 구조변경 혹은 새로운 패키징 방법을 개발할 경우 설계기준으로 사용될 수 있을 것이다.

### 6. 결 론

본 연구에서는 반도체 패키지를 표면실장할 때 패키지내 구성재료, 기하학적 형상, 실장조건이 패키지균열에 미치는 영향에 관하여 수치해석하였다. 패키지의 표면실장조건은 IR법으로 하였으며, 실장과정에서 패키지균열의 발생이 용이한 조건을 찾기 위해, 다이패드 아랫면의 계면균열을 가정하여 실장공정과정에 따른 에너지방출률의 변화를 구하였다. 이로부터 패키지균열의 발생이 용이한 조건 하에서 패키지내 구성재료의 물성치, 기하학적 형상, 실장조건이 균열선단의 에너지방출률에 미치는 영향을 알아보았다. 수치해석의 순서 및 결과의 정리는 다꾸찌방법을 이용하였으며, 본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 표면실장할 때 패키지표면의 온도변화는 계면균열선단에 시간의 지연없이 그대로 전달되며, 균열선단의 에너지방출률은 최고 온도점에서 최대가 됨을 알 수 있었다. 이는 패키지내 균열문제의 평가는 최고 온도점에서 정상상태로 가정하여 해석하여도 무방함을 말하며, 또한 실장공정중 최고 온도점에서 균열의 생성 및 진전이 가장 용이함을 나타낸다.

둘째, 계면균열의 수치해석 결과를 이용하여, 패키지균열의 경우를 최대 온도점에서 정상상태로 가정하여 균열진전방향을 예측한 결과  $\phi = -45^\circ$ 에서 에너지방출률이 최대가 되었다.

셋째, 패키지내 구성재료의 물성치, 기하학적 형상, 실장조건이 패키지균열에 미치는 영향을 살펴볼 때, 영향이 가장 큰 제어인자는 에폭시 수지의 탄성계수값(G인자), 칩 및 다이패드의 폭(C인자), 다운셋(F인자)이며, 다음으로 칩의 두께(D인자)와 온도(B인자)가 됨을 알았고, 그외의 인자가 S/N비의 변화에 미치는 영향은 미약함을 알 수 있었다.

### 후 기

이 연구는 1994년도 한국과학재단 특정연구과제(과제번호: 94-0200-02-02-3) 연구비 지원에 의하여 수행된 것으로 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Nguyen, L. T., 1993, "Reliability of Postmolded IC Packages," *ASME J. of Electronic packaging*, Vol. 115, pp. 346~355.
- (2) Omi, S., Fujita, K., Tsuda, T. and Maeda, T., 1991, "Causes of Cracks in SMD and Type Specific Remedies," *IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, Vol. 14, pp. 818~823.
- (3) 이 혁, 엄윤용, 1995, "반도체패키지 구성요소의 재료물성치와 기하학적 형상이 여러형태의 패키지균열에 미치는 영향에 대한 파괴역학적 연구" 대한기계학회논문집, 제19권, 제12호, pp. 3270~3280.
- (4) 박상선, 반응운, 엄윤용, 1994, "반도체패키지에서의 층간박리 및 패키지균열에 대한 파괴역학적 연구(1) - 층간박리," 대한기계학회논문집, 제18권, 제8호, pp. 2139~2157.
- (5) 박상선, 반응운, 엄윤용, 1994, "반도체패키지에서의 층간박리 및 패키지균열에 대한 파괴역학적 연구(2) - 패키지균열," 대한기계학회논문집, 제18권, 제8호, pp. 2158~2166.
- (6) Phadke, M. S., 1989, *Quality Engineering Using Robust Design*, Prentice Hall.
- (7) Miyake, K., Suzuki, H. and Yamamoto, S., 1985, "Heat Transfer and Thermal Stress Analysis of Plastic-Encapsulated ICs," *IEEE Trans. on Reliability*, Vol. R-34, pp 402~409.
- (8) Liu, S. and Mei, Y., 1995, "Behavior of Delaminated Plastic IC Packages Subjected to Encapsulation Cooling, Moisture Absorption, And Wave Soldering," *IEEE Trans. on Components, Packaging Manufacturing Technology*, Part A., Vol. 18, pp. 634~645.
- (9) Glaser, J. C. and Juare, M. P., 1989, "Thermal and Structural Analysis of a PLCC Device for Surface Mount Processes," *ASME J. of Electronic Packaging*, Vol. 111, pp. 172~178.
- (10) Rice, J. R., 1968, "A Path Independent Integral and Approximation Analysis of Strain Concentration by Notches and Cracks," *ASME J. Appl. Mech*, Vol. 35, pp. 379~336.
- (11) Park, J. H. and Erarmme, Y. Y., 1986, "Application of conservation integrals to interfacial crack problems," *Mechanics of Materials*, Vol. 5, pp. 261~276.
- (12) 반응운, 1992, "계면균열 문제에서 M-적분의 계산," 석사학위논문, 한국과학기술원, 대전.
- (13) Wilson, W. K. and Yu, I. W., 1979, "The Use of the J-integral in Thermal Stress Crack Problems," *Int. J. Fract.*, Vol. 15, pp. 377~387.
- (14) Shih, C. F., Moran, B. and Nakamura, T., 1986, "Energy Release Rate Along a Three Dimensional Crack Front in a Thermally Stressed Body," *Int. J. Fract.*, Vol. 30, pp. 79~102.
- (15) Freund, L. B., 1978, "Stress Intensity Factor Calculations Based on a Conservation Integral," *Int. J. Solids and Structures*, Vol. 14, pp. 241~250.
- (16) Nguyen, L. T., Gee, S. A. and Bogert, W. F., 1991, "Effects of Configuration on Plastic Package Stresses," *ASME J. of Electronic Packaging*, Vol. 113, pp. 397~404.