

박막 광학 필터 디바이스의 패키징시 솔더 조인트의 피로 신뢰성 해석

이성철* · 현충민* · 이형만** · 김명진** · 김희경** · 김기태†

(2003년 5월 21일 접수, 2004년 4월 20일 심사완료)

Thermal Fatigue Reliability of Solder Joints in a Thin Film Optical Filter Device

Sung Chul Lee, Chung Min Hyun, Hyung Man Lee, Myoung Jin Kim,
Hwe Kyung Kim and Ki Tae Kim

Key Words : Fatigue Life Analysis(피로 수명 해석), Fatigue Reliability(피로 신뢰성), Finite Element Analysis(유한요소해석), Optical Thin Film Filter(박막 광학 필터), Solder Joint(솔더 조인트)

Abstract

Plastic and creep deformations of solder joints during thermal cycling are the main factors of misalignments and power losses in optical telecommunication components. Furthermore, the increased mismatch between solder joint-bonded areas may cause severe failure in the components. Darveaux's creep model was implemented into a finite element program (ABAQUS) to simulate creep response of solder. Based on the finite element results, thermal fatigue reliability was predicted by using various fatigue life prediction models. Also, the effects of ramp conditions, dwelling time, and solder joint-embedding materials on the reliability were investigated under the thermal cycling conditions of the Telcordia schedule (-40~75 °C).

1. 서론

광통신용 광학부품의 패키징시 주된 접합 재료는 솔더와 에폭시이며 웰딩을 적용한 접합기술 또한 병행하여 연구되고 있다. 특히 솔더는 전기적 특성과 기계적 특성의 장점으로 인해 전자부품과 PCB 제작시 유용한 접합 재료로 쓰이고 있다. 또한 광부품에 솔더링 적용시 외부의 환경으로부터 기밀성 유지가 가능하므로, 대부분 광부품 모

들에서의 밀봉(hermetic sealing)은 솔더를 접합재료로 이용하여 솔더-글래스, 솔더-글래스 파이버, 렌즈 및 페룰등으로 구성되어 있다.⁽¹⁻⁴⁾

일반적으로 접합재료로 사용되는 Sn-Pb 솔더는 저용점을 갖고 있으며, 일반적인 전자부품의 작업 환경 온도(-40~150 °C)는 솔더의 액상점보다 낮은 $0.5-0.9T_{melting}$ (Kelvin)을 지니므로 열적사이클시 솔더 내부에서는 잔류응력에 의한 주요변형기구로 변형이 발생한다. 따라서 장시간 사용시 광부품의 정렬 틀어짐(misalignment)과 출력손실 뿐만 아니라 솔더로 접합된 재료간의 밀립현상(mismatch)으로 인한 솔더 조인트의 피로파괴를 초래하기 쉽다.

반도체 패키징의 플립칩 접착(flip chip bonding) 기술의 경우 최적 공정 개발을 위한 연구가 활발

* 포항공과대학교 대학원

** 광부품연구센터, 전자부품연구원

† 책임저자, 회원, 포항공과대학교 기계공학과

E-mail: korean@postech.ac.kr

TEL: (054) 279-2164 FAX: (054) 279-5569

히 진행 되고 있는 반면, 일반적인 광부품 패키징의 경우 재료접합시 솔더의 형상과 양이 정량화되지 않아 현재까지 시행착오법에 의한 패키징 공정에 의존하고 있는 실정이다. 솔더링 공정을 최적화, 정량화하고 제품의 신뢰성을 확보하기 위해 광부품 패키징 디자인 검토를 위한 유한요소해석 적용이 요구된다.

광부품의 피로 수명을 예측하기 위해서는 온도와 응력에 따른 솔더 크립 구성 모델이 필요하며, 이에 대한 연구는 활발히 진행되어 왔다. 일반적으로 정상상태에서 Sn-Pb 솔더의 크립 거동 예측시 Arrhenius power-law creep^(5,6) 구성 모델이 적용되어 왔다. 그러나 Arrhenius power-law creep 모델의 경우 온도에 따른 응력계수와 활성화 에너지값이 부정확하여 높은 응력 하에서는 실험치와 이론치가 큰 차이를 보였다.

최근에 Darveaux 는 기존의 솔더 크립 모델에 대해 hyperbolic-sine 함수를 제안하여^(7,8) 일반적 작업 환경의 온도범위에서 솔더 크립 변형을 잘 예측함을 보였다. 또한 Pang et al.⁽⁹⁾은 탄성-소성-크립 (elastic-plastic-creep) 해석시 승온, 냉각구간에서 탄성-소성뿐만 아니라 크립 변형량을 구하는 full-creep 해석 공정이 dwell-creep 보다 정확한 피로수명을 예측할 수 있음을 연구하였다.

따라서 본 논문에서는 제안된 패키징공정에 대해 Darveaux 의 솔더 크립 구성 모델을 적용하여 유한요소해석을 수행하였다. 그 결과 Telcordia 조건을 따르는 온도사이클하에서 full-creep 을 적용한 솔더의 크립, 소성 변형량과 피로 수명을 구하였다. 또한 피로 수명에 대한 승온, 냉각속도, 유지 (dwelling) 시간, 솔더로 접합된 재료의 영향을 분석 하였다.

2. 이론적 배경

정상상태에서 솔더의 크립 변형률은 작은 응력 하에서는 power law 에 잘 일치하나 높은 응력하에서의 크립 변형률은 응력의 지수함수 관계를 갖게 된다. 이를 고려하여 Darveaux 가 제안한 구성방정식은 다음과 같다.⁽¹⁰⁾

$$\frac{d\gamma_s}{dt} = C_1 \frac{G}{T} [\sinh(\alpha \frac{\tau}{G})]^n \exp(\frac{-Q}{kT}) \quad (1)$$

여기서,

$\frac{d\gamma_s}{dt}$: steady-state creep strain rate [s⁻¹]

τ : equivalent shear stress [N/mm²]

α : the stress level at which the power law

dependence breaks down

C_1 : a constant

G : the shear modulus

T : absolute temperature (Kevin)

n : stress component

Q : activation energy

k : Boltzmann's constant

실제 온도에 따른 영향을 검토하기 위해서 전단 계수(shear modulus)의 온도에 따른 관계가 필요하다. 온도에 따른 전단 계수는 Darveaux 의 논문을 참조하였으며 다음과 같다.⁽¹⁰⁾

$$G = G_0 - G_1 T (^\circ C) \quad (2)$$

여기서,

G_0 : the modulus at 0 °C

G_1 : the temperature dependence

T : the temperature in °C

정확한 해석을 위해 탄성계수와 항복응력은 온도에 따른 영향을 고려하였으며 다음과 같다.⁽¹¹⁻¹⁴⁾

$$E(MPa) = 75907 - 151.77T(K) \quad (3)$$

$$\sigma_Y(MPa) = 75907 - 151.77T(K) \quad (4)$$

전단응력 또는 전단변형률은 von Mises 가정을 적용하여 인장응력 또는 인장변형률 성분으로 변환이 가능하며 그 결과는 다음의 식과 같다.

$$\sigma = \tau\sqrt{3}$$

$$\varepsilon = \gamma\sqrt{3} \quad (6)$$

또한, 등가 응력과 등가 변형률은 다음과 같다.

$$\sigma^e = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2}$$

$$\varepsilon^e = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2]^{1/2} \quad (7)$$

여기서, $\sigma_{1,2,3}$ 은 주응력, $\varepsilon_{1,2,3}$ 은 주변형률을 나타낸다.

전체 변형률 속도는 상기의 식을 포함하여 유한요소해석 결과로부터 얻어진 탄성, 소성 및 크립의 시간에 따른 변형량의 합이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{\varepsilon}_t = \dot{\varepsilon}_e + \dot{\varepsilon}_p + \dot{\varepsilon}_c \quad (8)$$

Table 1 Constants used in Eq. (1)-(6)

G_0	G_1	C_1	α	n	$\frac{Q}{(eV)}$	$k \times 10^{-5}$
28388	55.85	16.7	866	3.3	0.548	8.167

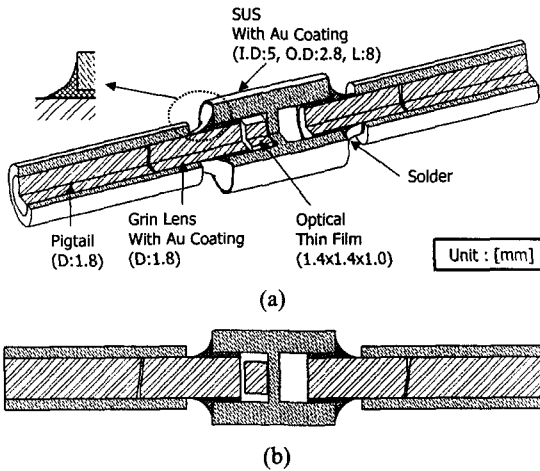


Fig. 1 (a) The 3D structure and (b) cross section for optical thin-film-filter device packaging

식 (1~8)에 적용된 크립 구성 방정식의 상수값은 Pang et al.⁽⁹⁾과 Darveaux⁽¹⁰⁾의 논문 데이터를 인용하였으며 Table 1에 나타내었다.

솔더 조인트의 피로수명을 구하기 위해서는 유한요소해석 결과에서 온도 사이클에 따른 등가 소성 변형범위(equivalent plastic strain range)와 등가 크립 변형범위(equivalent creep strain range)를 계산해야 하며 이를 적용하여 피로수명을 예측할 수 있다. 본 논문에서 적용한 피로수명 계산은 Pang et al.⁽¹⁴⁾이 제안한 Miner's rule에 근거한 크립-피로수명 추정 모델을 적용하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$N_T = [(1/N_p) + (1/N_c)]^{-1} \quad (9)$$

여기서, N_p 는 Solomon⁽¹⁵⁾이 실험한 다양한 등온 구간에서의 low-cycle 피로시험 결과 중 크립 변형이 없는 소성 변형의 영향을 나타내며 그 식은 다음과 같다.

$$N_p = \left(\frac{\theta}{\Delta\gamma_p}\right)^\alpha = [1.36/\Delta\gamma_p]^{(1/0.5)} \quad (10)$$

N_c 는 Knecht and Fox⁽¹⁶⁾가 Solomon⁽¹⁷⁾의 실험 데이터를 인용한 크립 변형량에 따른 피로수명 관계 식이며 그 식은 다음과 같다.

$$N_c = \frac{C}{\Delta\gamma_{mc}} = 8.9/\Delta\gamma_c \quad (11)$$

3. 해석 결과 및 검토

3.1 해석 모델링

Fig. 1은 본 연구에서 다층 박막 광학필터를 제

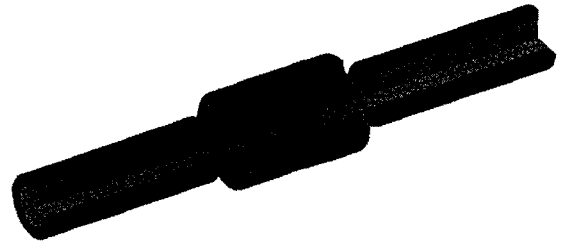


Fig. 2 Finite element analysis model for the optical thin-film-filter device

Table 2 Material properties of the optical thin-film-filter device

Materials	Elastic Modulus(MPa)	CTE(ppm/°C)	Poisson's Ratio
Glass	63000	3.25	0.345
SUS	193000	17.2	0.3
Solder	75907.6-151.7T(K)	21	0.35
Alumina	304598-45.57T(°C)	6.5	0.22

작하기 위해 적용된 디자인을 나타낸다. 다층 박막 광학 필터 디바이스는 이심폐를 피그테일과 0.23 피치(pitch)의 굴절률 구배 렌즈(gradient index lens)로 정렬된 폴리메이터, 박막 필터 그리고 단심폐를 피그테일과 0.23 피치의 굴절률 구배 렌즈로 정렬된 폴리메이터로 구성된다. 그린렌즈의 표면은 Cr-Pt-Au로 코팅이 되어 있으며 스테인리스스틸(SUS)로 제작된 필터 홀더는 Ni-Au로 코팅이 되어 있다. 스테인리스스틸과 그린렌즈의 계면을 접합하기 위해 솔더 프리폼(preform)의 재질로 63%Sn/37%Pb를 선정하였다. 이 솔더의 녹는 점은 456K이며 그 형상을 Fig. 1과 같이 나타내었다.

광부품 패키징의 경우는 일반적인 전자부품의 경우와 달리 정렬위치를 고정해야 하는 문제점을 갖고 있다. 박막 필터를 이용한 패키징의 경우 박막필터는 정렬이 되기 전에 필터 홀더에 에폭시를 이용하여 안착이 된다. 폴리메이터와 박막필터가 최소 손실을 갖는 정렬위치를 찾은 후 필터 홀더와 그린렌즈의 갭에 솔더를 용융하여 두 계면을 접합하고 그 정렬 위치를 고정한다. 솔더로 접합된 부품의 온도 사이클에 따른 신뢰성은 사용된 솔더의 형상과 크립특성, 온도 사이클 조건, 및 그린렌즈, 필터 홀더와 솔더간의 열팽창 계수에 따른 상관관계에 의해 결정이 된다. 본 논문에서는 온도 조건의 경우는 -40°C에서 75°C(Telcordia schedule)로 하고, 승온, 냉각 속도가 1°C/min, 10°C/min, 및 50°C/min 경우, 유지 시간이 10min, 30min,

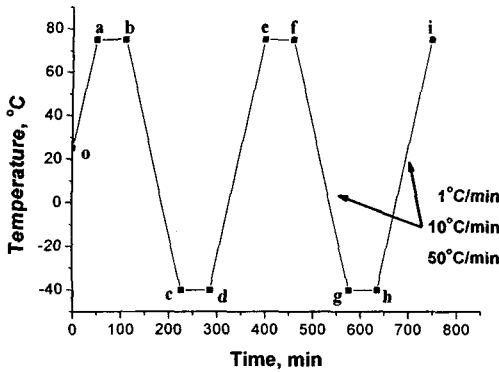


Fig. 3 Finite temperature profile for thermal cycling analysis of the optical device

60min 경우, 다양한 홀더재료가 사용될 경우에 대한 해석 결과를 비교 분석하였다.

Fig. 2는 박막 필터 디바이스의 열적사이클시 유한요소해석을 위한 요소를 나타낸다. 해석시 8596 개의 C3D10MT(10-node modified displacement and temperature tetrahedron) 엘리먼트를 사용하였으며, ABAQUS의 user creep subroutine을 적용하여 솔더의 크립 변형량을 해석하였다.⁽¹⁸⁾ 유한요소해석에 적용된 물성치는 Table 2에 나타내었다.

Telcordia GR-1221-CORE을 참조하면 온도사이클 시험조건은 central office(CO) 환경인 경우 -40에서 +70°C의 사이클을 적용하고 remote terminal & uncontrolled(RT/UNC) 환경인 경우는 -40°C에서 +85°C의 사이클을 적용한다. 승온과 냉각 속도는 1°C/min 이고 유지 시간은 1시간을 유지해야 한다.⁽¹⁹⁾ Fig. 3은 본 연구에서 적용된 온도 사이클 조건과 유지 시간 조건을 나타낸다. 본 논문에서는 상기의 신뢰성 규격을 참조하여 -40°C에서 75°C인 온도사이클에 대하여 Fig. 3과 같이 승온과 냉각 속도의 변화를 주어 온도 솔더 조인트의 피로 수명을 분석하였다. 또한 유지시간과 홀더 재료의 차이에 대한 피로수명의 영향도 분석하였다.

3.2 해석결과

Fig. 4는 승온, 냉각 속도 1°C/min, 유지시간 1시간 조건에서 4회의 온도 사이클 후 75°C에 도달했을 때 솔더의 등가 크립 변형량과 등가 소성 변형량의 유한요소해석 결과이다. 그린 렌즈와 홀더 간의 열팽창 차이에 의해 디바이스의 정렬뒤틀림과 잔류응력이 발생하며, 이로 인해 솔더 끝단 부분에서 상대적으로 높은 크립, 소성 변형량을 보임을 알 수 있다.

Fig. 5는 1-2 회의 온도 사이클에서 각 온도 구

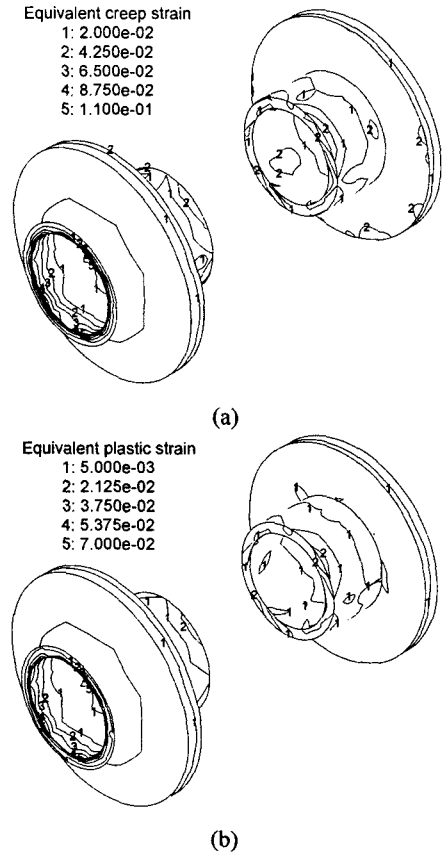
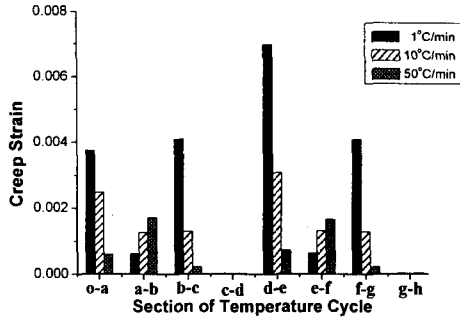
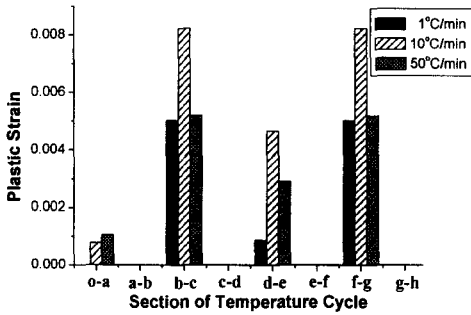


Fig. 4 Finite element calculations for distributions of (a) equivalent creep strain and (b) equivalent plastic strain in the solder part

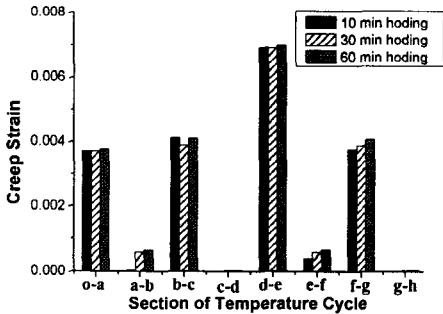
간에서의 승온, 냉각 속도와 유지시간 및 그린 렌즈와 홀더 재료차이에 따른 등가 크립 변형률과 등가 소성 변형률을 나타낸다. Fig. 5에서 (o-a) 구간과 (d-e) 구간의 값이 상이한 이유는 (o-a) 구간은 시작온도가 상온이며 (d-e) 구간의 경우는 -40°C에서 승온하는 경우의 결과이기 때문이다. 그 외의 구간에서는 사이클의 반복에 따라 큰 값의 변화가 없음을 알 수 있다. Fig. 5(a,b)에서 보듯 승온, 냉각 구간 (o-a), (b-c), (d-e), (f-g)에서 많은 크립 변형량이 발생하므로 유한 요소 해석시 full-creep 적용이 타당함을 알 수 있다. 오히려 온도 유지 구간 (a-b), (c-d), (e-f), (g-h)에서 적은 크립 변형량을 보이며 다른 구간과 달리 승온, 냉각 속도가 증가할수록 크립 변형량이 증가한다. 이는 승온, 냉각 속도가 증가함에 따라 응력 이완효과(stress relaxation)가 감소하여 크립 변형량이 증가하기 때문이다. 냉각구간에서는 재료들의 열팽창 계수의 차이의 의해 소성 변형량이 최대값을 보이고 온도 유지 구간에서는 소성 변형량이 미미함을



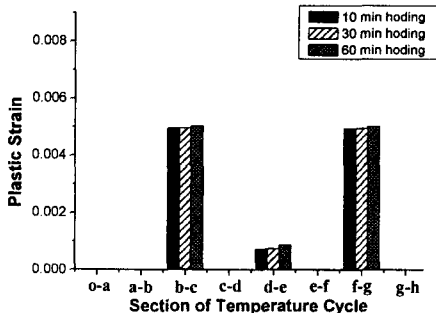
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 5 Equivalent creep strain and equivalent plastic strain increments at each section of the first 2 cycles

Table 3 Scale factors under different ramp rate conditions

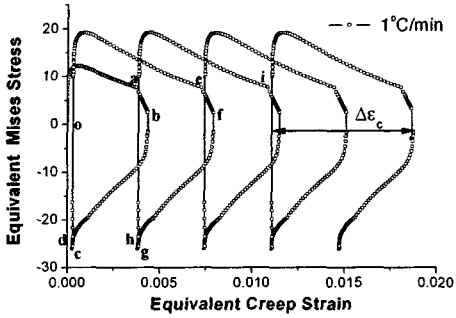
온도 구간	Equivalent Creep Strain			Equivalent Plastic Strain		
	1°C/min	10°C/min	50°C/min	1°C/min	10°C/min	50°C/min
o-a	6.3	4.1	1.0	1.0	1.0	1.0
a-b	1.0	2.0	2.8	1.0	1.0	1.0
b-c	19.5	6.1	1.0	1.0	1.6	1.0
c-d	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
d-e	9.6	4.2	1.0	1.0	5.3	3.3
e-f	1.0	2.0	2.6	1.0	1.0	1.0
f-g	19.4	6.1	1.0	1.0	1.6	1.0
g-h	1.0	1.0	1.3	1.0	1.0	1.0

확인할 수 있다. Fig. 5(c,d)는 유지시간이 길어짐에 따라 크립, 소성 변형량이 증가하지만 그 차이가 경미함을 나타내고 있다.

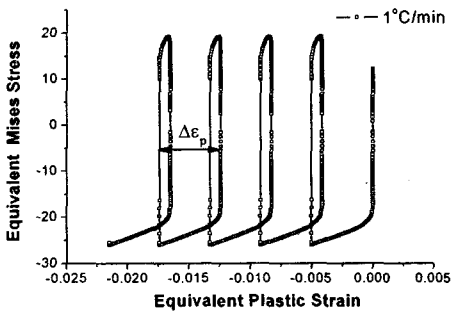
Table 3 은 1-2 사이클에서의 승온, 냉각 속도에 따른 크립 변형률과 소성 변형률의 변화량을 각 온도 구간에서 최소값으로 정규화(normalization)한 결과를 나타낸다. 크립 변형률의 경우 (a-b) 또는 (e-f)의 +75°C유지구간에서는 50°C/min 의 경우가 1°C/min 의 경우보다 약 2.7 배 증가하였다. 또한, (b-c) 또는 (f-g)의 냉각 구간에서는 1°C/min 의 경우가 50°C/min 의 경우보다 크립 변형률이 약 19.5 배 증가함을 알 수 있다. 소성 변형률의 경우 (d-e)의 승온 구간에서 10°C/min, 50°C/min 일때의 기준화계수(scale factor)는 각각 5.3, 3.3 을 나타내었다. 따라서 크립 변형률은 승온 구간보다 냉각 구간에서 온도속도의 영향이 큰 반면, 소성 변형률은 승온구간에서 온도속도의 영향이 큼을 알 수 있다.

솔더 조인트의 피로수명을 파악하기 위해서는 온도 사이클에서 발생하는 등가 크립 변형률과 등가 소성 변형률의 변화범위를 구하여야 한다. Fig. 6 은 승온, 냉각 속도가 1°C/min 와 50°C/min 에서의 Mises 응력에 따른 등가 크립 변형률과 소성 변형률의 변화를 나타낸다. (o-a), (b-c), (d-e), (f-g) 및 (h-i) 등과 같이 승온과 냉각시에 등가 크립 변형률의 증가가 큼을 알 수 있다. 또한, 소성 변형률은 냉각시에 증가율의 변화가 가장 큼을 알 수 있다. 또한 승온, 냉각 속도가 증가함에 따라 승온과 냉각시의 크립 변화량이 줄고 유지 시간동안의 크립 변화량이 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다.

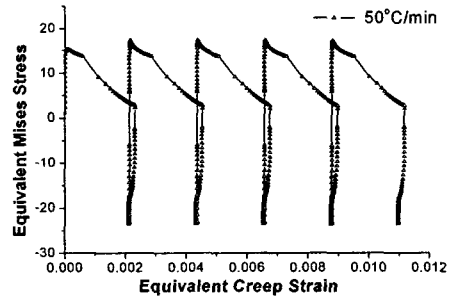
Fig. 7 은 승온, 냉각 속도가 1°C/min, 유지시간 1 시간일 때 홀더를 유리 와 알루미늄으로 교체할 경우 등가 크립, 소성 변형률과 Mises 응력의 관계를 나타낸다. Fig. 6 의 그래프와 전체적인 경향은 비슷하지만 홀더의 열팽창계수 작아질수록 사이클 안에서 크립 증가분 폭이 작아짐을 알 수 있다.



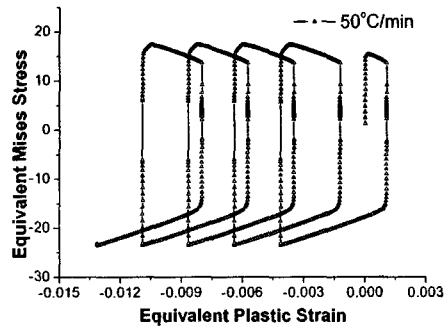
(a)



(b)

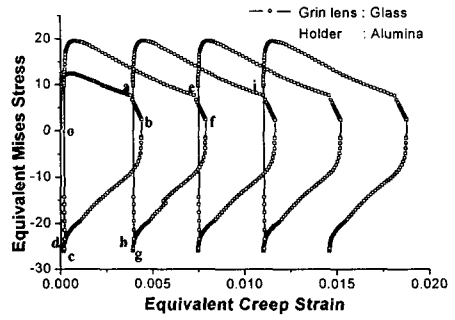


(c)

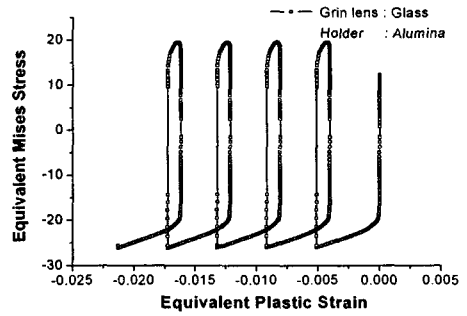


(d)

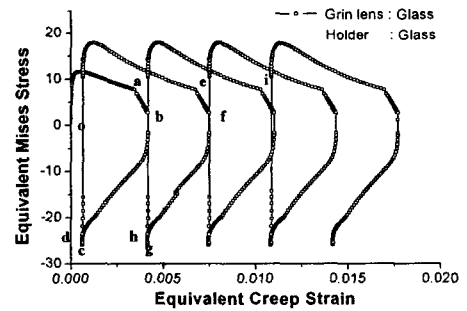
Fig. 6 Variation of Mises stress with equivalent creep strain and equivalent plastic strain at 10°C/m and 50°C/m



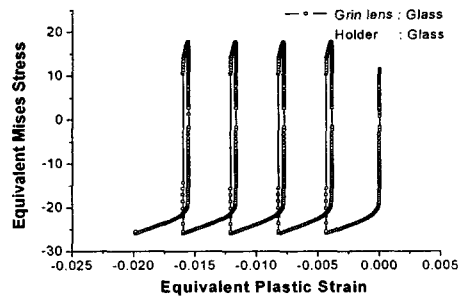
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 7 Variation of Mises stress with equivalent creep strain and equivalent plastic strain for different holder materials

Table 4 Equivalent and shear strain increments under the various conditions

		$\Delta\epsilon_p$	$\Delta\epsilon_c$	$\Delta\gamma_p$	$\Delta\gamma_c$
승온, 냉각 속도	1°C/min	0.0050	0.0076	0.0087	0.0132
	10°C/min	0.0082	0.0044	0.0142	0.0076
	50°C/min	0.0052	0.0024	0.0089	0.0041
유지 시간	10 min	0.0049	0.0073	0.0085	0.0127
	30 min	0.0050	0.0075	0.0086	0.0130
	60 min	0.0050	0.0076	0.0087	0.0132
홀더	Glass	0.0043	0.0068	0.0075	0.0118
	Alumina	0.0051	0.0077	0.0089	0.0133
	SUS	0.0050	0.0076	0.0087	0.0132

Table 4 는 승온, 냉각 속도에 따른 온도 사이클에서의 등가, 전단 변형률의 증가분을 나타낸다. 각 변형률의 증가분은 식(6)을 적용하여 환산하였다. Table 4 에 계산된 값은 1 회 사이클을 제외한 2-5 회 사이클에서 변형량 증가분을 평균한 결과이다. 50°C/min 의 승온, 냉각 속도에서 등가 전단 변형률의 범위가 가장 작음을 알 수 있다. 또한 다양한 유지시간의 경우, 상대적으로 열팽창 계수가 차가 큰 알루미늄과 SUS 의 경우 각각 전단 변형률 차이가 미미함을 알 수 있다.

Table 5 는 식 (9), (10) 및 (11)과 Table 4 의 전단 변형률 증가분을 적용하여 계산된 솔더 조인트의 피로 수명을 나타낸다. Telcordia 의 신뢰성 규격에서 -40 에서 75°C 의 온도 사이클과 1°C/min 의 조건하에서 500 시간은 광부품의 양불 판정 (pass/fail) 조건을 위해, 1000 시간은 정보를 얻기 위한 용도로 신뢰성 테스트를 수행할 것을 권하고 있다. Table 5 의 1°C/min 의 결과에서 솔더 조인트의 피로수명은 656.18 사이클이며, 1°C/min 의 온도 사이클의 경우 대략 5.8 시간이 소모된다. 따라서 솔더 조인트의 수명은 대략 3805 시간으로 신뢰성 규격을 충분히 만족하는 결과임을 알 수 있다.

Table 5 에서 승온, 냉각 속도가 가장 낮은 1°C/min 경우 크립 변형량에 의한 피로수명은 낮게 예측되었으나, 유지시간의 차이는 솔더 조인트 피로 수명에 큰 영향을 주지 못하였다. 홀더의 열팽창계수 차이에 따르는 피로수명을 살펴보면 알루미늄(CTE: 6.5)의 열팽창계수가 SUS(CTE: 17.2)보다 2.64 배나 작지만 SUS 의 경우에 비해 피로수명이 큰 차이를 보이지 않고 있다. 반면 글래스(CTE: 3.25)의 경우는 상당한 피로수명의 증가를 보이고 있어 특정 임계값 이상의 열팽창계수는 피로수명에 큰 영향을 보이지 않음을 알 수 있다.

Table 5 Predicted fatigue lives of the solder joint

		Solomon ⁽¹⁷⁾	Knecht /Fox ⁽¹⁶⁾	Pang et al. ⁽¹⁴⁾
승온, 냉각 속도	1°C/min	24661.33	674.11	656.18
	10°C/min	9135.69	1167.16	1034.94
	50°C/min	23155.66	2147.72	1965.42
유지 시간	10 min	25469.85	702.93	684.05
	30 min	25162.06	686.04	667.83
	60 min	24661.33	674.11	656.18
홀더	Glass	32883.71	751.23	734.45
	Alumina	23518.88	667.33	648.91
	SUS	24661.33	674.11	656.18

4. 결론

본 논문에서는 다층 박막 광학 필터 디바이스의 패키징시 솔더 조인트의 피로 수명을 해석하기 위해 유한요소해석을 수행하였다. 솔더의 크립 구성모델은 Darveaux⁽¹⁰⁾의 구성 모델을 적용하였으며 피로수명 계산은 Solomon⁽¹⁷⁾과 Knecht/Fox⁽¹⁶⁾의 이론에 Miner's rule 을 적용한 Pang et al.⁽¹⁴⁾의 이론을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 주어진 온도 사이클을 적용하여 승온, 냉각 속도의 변화에 따른 크립과 소성 변형률의 변화량을 분석한 결과 승온, 냉각 구간에서 온도속도가 작을수록 크립 변화량이 큰 값을 보였다.

(2) Telcordia 의 신뢰성 규격에 따라 구하여진 등가 전단 변형률을 적용하여 피로수명을 계산한 결과 656.18 사이클(3805 시간)의 솔더 조인트 수명으로 신뢰성 규격을 충분히 만족하는 결과를 구하였다.

(3) 해석을 통해 유지시간에 따른 피로수명 차이는 미미함을 보였다.

(4) 홀더 재료의 열팽창계수는 특정 임계값 이하인 경우 피로수명에 다소 큰 영향을 보임을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) Miller, K. A. W., Caras, B., Dean, B.A., Eltringham, T.F. and Ku, R.T., 1992, "Qualification of a Robust Fiber Termination," in *Proc. 42nd Electronic Components and Technology Conf.*, pp. 867-869.
- (2) Kruetzmann, G., 1990, "The Solder Glass Sealing Technology for the Use in Packaging of Fiber Optic Sensors," *Proc. of SPIE.*, Vol. 1267, pp. 2-8.
- (3) Itoh, M., Nagahori, T., Kohashi, H., Kaneko, H., Honmou, H., Watanabe, I., Uji, T. and Fujiwara, H., 1991, "Compact Multi-Channel LED/PD Array

- Modules for Hundred Mb/s/ch Parallel Optical Transmission," in *Proc. 41st Electronic Components and Technology Conf.*, pp. 475-478.
- (4) Uhlhorn, R., 1993, "Fiber-Optic Interconnect and Component Packaging for the Next Generation of Aerospace Platforms," in *Proc. 43rd Electronic Components and Technology Conf.*, pp. 974-982.
- (5) Kashyap, B. P., Murty, G. S., 1981, "Experimental Constitutive Relations for High Temperature Deformation of a Pb/Sn Eutectic Alloy," *Mater. Sci. Eng.*, Vol. 50, pp. 205-213.
- (6) Pao, Y. H., Badgley, J., Jih, E., Govila, R. and Browning, J., 1993, "Constitutive Behavior and Low Cycle Thermal Fatigue of 97Sn-3Cu Solder Joints," *ASME J. of Electronic Packaging*, Vol. 115, No. 2, pp. 147-152.
- (7) Darveaux, R. and Banerji, K., 1992, "Constitutive Relations for Tin-Based Solder Joints," *IEEE Transactions on Components, Hybrids, Manufact. Technol.*, Vol. 15, No. 6, December, pp. 1013-1024.
- (8) Shi, X. Q., Yang, Q. J., Wang, Z. P., Pang, H. L. J. and Zhou, W., 2000, "Reliability Assessment of PBGA Solder Joints Using the New Creep Constitutive Relationship and Modified Energy-Based Life Prediction Model," in *2000 Electronics Packaging Technology Conf.*, pp. 398-405.
- (9) Pang, J. H. L., Chong, D. Y. R. and Low, T. H., 2001, "Thermal Cycling Analysis of Flip-Chip Solder Joint Reliability," *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, Vol. 24, No. 4, December.
- (10) Darveaux, R. and Banerji, K., 1992, "Constitutive Relations for Tin-Based Solder Joints," *IEEE Transactions on Components, Hybrids, Manufact. Technol.*, Vol. 15, No. 6, December.
- (11) Wong, B. Helling, D. and Clark, R. W., 1988, "A creep-rupture model for two phase eutectic solders," *IEEE Trans. Comp. Hybrids, Manuf. Technol.*, vol. CHMT-11, pp. 305-325.
- (12) Clech, J. P. and Augis, J. A., 1988, "Temperature cycling, structural response and attachment reliability of surface-mounted leaded packages," in *Proc. 1988 IEPS*, Dallas, pp. 305-325, November.
- (13) Lau, J. H. and Pao, Y. H., 1997, "Solder Joint Reliability of BGA, CSP, Flip Chip, and Fine Pitch SMT Assemblies," *McGraw-Hill*, New York, pp. 112-123.
- (14) Pang, J. H. L., Seetoh, C. W. and Wang, Z. P., 2000, "CBGA solder joint reliability evaluation based on elastic plastic creep analysis," *ASME, J. Electron. Packag.*, September.
- (15) Solomon, H. D., 1986, "Fatigue of 60/40 Solder," *IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manufact. Technol.*, vol. CHMT-9, December.
- (16) Knecht, S. and Fox, L., 1990, "Constitutive Relation and Creep-Fatigue Life Model for Eutectic Tin-Lead Solder," *IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manufact. Technol.*, vol. 13, No. 2, June.
- (17) Solomon, H. D., 1989, "Low Cycle Fatigue of 60/40 Solder-Plastic Strain Limited vs. Displacement Limited Testing," *Electron. Packaging: Materials and Processes*, pp. 29-47.
- (18) *ABAQUS User Manual*, Ver. 6.2, 2001, Hibbitt, Karlsson and Sorensen.
- (19) Bellcore, 1999, "GR-1221-CORE, Generic Reliability Assurance Requirements for Passive Optical Components," *Bellcore*, Issue 2.