

QFP 솔더접합부의 크립특성에 관한 연구

조윤성⁺, 최명기⁺, 김종민⁺, 이성혁⁺, 신영의^{*}

(논문접수일 2007. 6. 26, 심사완료일 2007. 8. 21)

A Study on the Creep Characteristics of QFP Solder Joints

Yun-Sung Cho⁺, Myung-Gi Choi⁺, Jong-Min Kim⁺, Seong-Hyuk Lee⁺, Young-Eui Shin^{*}

Abstract

In this paper, the creep characteristics of lead and lead-free solder joint were investigated using the QFP(Quad Flat Package) creep test. Two kind of solder pastes(Sn-3Ag-0.5Cu, Sn-0.2Sb-0.4Ag-37.4Pb) were applied to the QFP solder joints and each specimen was checked the external and internal failures(i.e., wetting failure, void, pin hole, poor-heel fillet) by digital microscope and X-ray inspection. The creep test was conducted at the temperatures of 100°C and 130°C under the load of 15~20% of average pull strength in solder joints. The creep characteristics of each solder joints were compared using the creep strain-time curve and creep strain rate-stress curves. Through the comparison, the Sn-3Ag-0.5Cu solder joints have higher creep resistance than that of Sn-0.3Sb-0.4Ag-37.4Pb. Also, the grain boundary sliding in the fracture surface and the necking of solder joint were observed by FE-SEM.

Key Words : SMT electronic device(SMT 전자부품), QFP, creep(크립), solder(솔더), Sn-3Ag-0.5Cu, Sn-0.3Sb-0.4Ag-37.4Pb

1. 서론

전자제품의 접합재료의 하나인 Sn-Pb계 유연솔더는 용점(183°C)이 낮으며, 젖음성 및 유동성이 우수하고 솔더링 후 전기전도성 및 기계적 성질이 우수하여 오랜 기간 동안 전자 기기의 유효한 접합 재료로 사용되어 왔다. 그러나 납의 인체 및 환경에 대한 유해성 때문에 미국 유럽 등에서는 납 사용에 대해 EU의 납을 포함한 물질규제(RoHS/WEEE)가 비

관세 무역장벽화 추세로 대두되었고, 이와 같은 환경규제에 대응하기 위해 무연솔더에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다⁽¹⁾.

무연솔더는 용점에 따라 크게 고온계, 중온계, 저온계로 구분된다⁽¹⁾. 특히, Sn-3Ag-0.5Cu솔더는 용점이 221°C로 기존의 SnPb계 솔더에 비해 용점이 크게 높지 않으며 우수한 기계적 특성(크립, 열피로저항성)과 솔더링성으로 유력한 무연솔더로 각광받고 있다⁽²⁻⁴⁾.

크립은 재료에 용융점의 50%(K온도 기준)이상의 온도에

⁺ 중앙대학교 공과대학 기계공학부
^{*} 교신저자, 중앙대학교 공과대학 기계공학부 (shinyoun@cau.ac.kr)
주소: 156-756 서울시 동작구 흑석동 221

서 일정하중을 가하게 되면, 시간의 진행에 따라 변형이 일어나는 성질이다⁽⁶⁾. SMT(Surface Mount Technology) 전자제품은 실장되는 부품이 가볍고, 기하학적으로 구속되는 조건이 많기 때문에 기존의 벌크형상의 재료에 비하여 크립의 영향을 적게 받는다는 것은 신뢰성차원에서 부담이 덜 된다고 할 수 있겠다. 그러나 솔더와 같이 용융점이 낮은 재료인 경우에는 상온구간이 용융점의 50% 이상이므로 항상 크립에 의한 파괴가 가능한 조건에 있다. 본 연구에서는 표면실장용 전자부품 중의 하나인 Quad Flat Package(QFP) 칩에 Sn-3Ag-0.5Cu와 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu 솔더를 각각 적용하여 솔더 접합부의 크립 특성에 관한 실험을 통해 그 특성을 평가하였다.

2. 실험방법

본 실험은 SMT 전자부품에 적용된 솔더 접합부의 크립특성을 평가하기 위하여 JIS Z 3198-6의 인장시험규격을 적용하여 크립 실험을 수행하였다. QFP칩을 Fig. 1과 같이 45°로 기울어진 지그에 고정시킨 뒤 리드에 하중을 가하여 크립 변위를 실시간으로 측정하였다. QFP 리드접합에는 Sn-3Ag-0.5Cu(Alpha metal社)솔더와 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu(Senju社)솔더가 사용되었다.

2.1 실험하중 및 온도설정

크립하중은 시편의 평균인장강도의 15%이하의 하중이 가해진 경우 3.5×10^5 (s)이상에서도 크립파괴가 발생하지 않았으며, 25%이상에서는 1.8×10^3 (s)이내에서 크립파괴가 발생하였다. 본 크립실험에 적용된 하중은 실험의 평가시간을 고려하여 솔더접합부의 평균인장강도의 15~25%에 해당되는 하중을 선정하였다⁽⁶⁾.

크립실험에 적용할 온도설정을 위해 선행 연구(1994이후

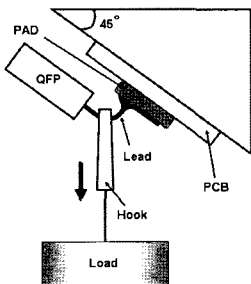


Fig. 1 The schematic of creep test

SCI급 논문)에서 무연솔더의 크립실험에 사용된 온도를 조사하였다. Fig. 3에 제시된 바와 같이 기존의 연구에서는 30°C와 130°C의 온도조건이 가장 많이 사용된 것을 확인할 수 있다. 하지만, 30°C의 경우 상온에서의 크립 거동을 분석하기 위해 적용된 온도구간이었으며 130°C의 시험온도는 선행연구의 다양한 설정온도 중 가장 고온의 온도로 설정한 조건이었다^(6-10,11,13,15). 따라서 본 연구에서는 선행연구에서 안정적인 크립 거동이 확인되었던 100°C의 조건과 대조군으로 130°C를 선정하여 실험을 실시하였다.

2.2 시편 선정

본 실험에 사용된 14×14mm 규격의 44 I/O(Input/Output) QFP를 Fig. 4에 나타내었다. 실험에 사용된 QFP는 Ni/Au의 도금으로 표면처리 되었으며 PCB상의 패드위에 실장되어 리플로우(reflow) 공정을 실시하였다.

QFP 접합부의 접합강도는 다양한 인자(보이드, 초기균열, 접합부형상)의 영향을 받는다. 본 실험에서는 이러한 영향을 최소화시키기 위하여 1차로 Digital Microscope(Keyence社 VHX-100)를 이용해 접합부형상의 외관 관찰을 하였으며, 2차로 보이드의 영향을 최소화하기 위해 X-Ray Inspection

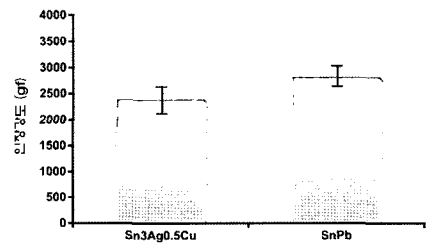


Fig. 2 The average pull strength of QFP solder joints

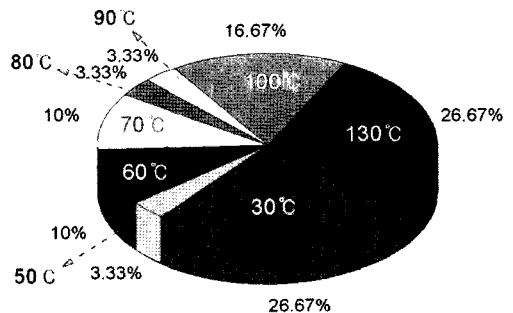


Fig. 3 The creep test temperature which used in previous researches

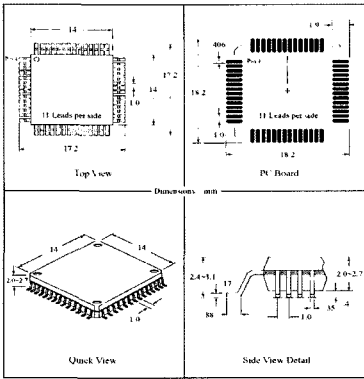


Fig. 4 Data sheet of QFP

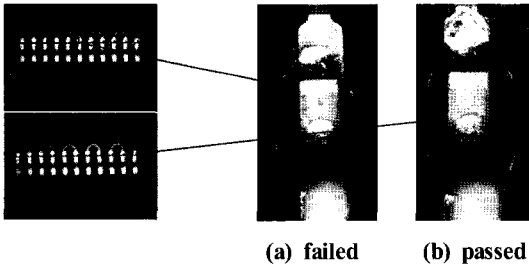


Fig. 5 The observation of solder joints appearance

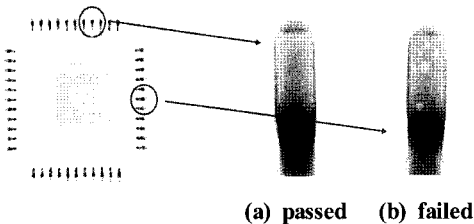


Fig. 6 The observation of void formation in solder joints using x-ray

Machine(SXV-090A)을 이용하여 솔더 접합부 내부 보이드를 확인하였다. Fig. 5는 외관 검사를 통한 접합형상이 불량한 샘플과 양호한 샘플의 사례를 제시하였다. 또한 Fig. 6에는 X-Ray 분석을 통한 솔더접합부 내부 검사 결과의 사례를 제시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 크립 변형율과 시간곡선

크립변형은 일반적으로 천이, 정상, 가속의 3단계를 보여

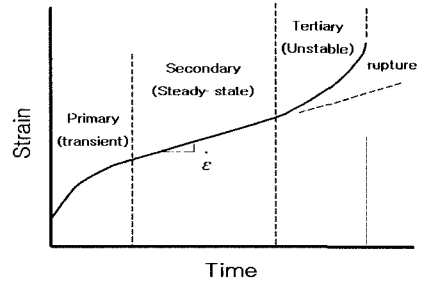


Fig. 7 Creep strain-time curve

준다. Fig. 7은 일반적인 크립변형율-시간곡선을 나타내었다. 크립은 천이(primary) 구간에서 급격한 변형을 겪은 후 솔더합금의 Strain hardening현상에 의해 높은 변형에서 빠른 속도로 감소하여 정상상태(steady-stae) 구간에 돌입한다. 정상상태 구간은 Strain hardneng현상과 Softning effect 현상의 균형으로 나타나게 된다. 하지만 단면이 줄어드는 네킹(Necking) 현상에 비해 꾸준한 하중이 가해지기 때문에 Stress는 증가하게 된다. 이러한 Stress의 증가와 Softning 현상이 Strain Hardening구간보다 커질 때 가속(tertiary)구간이 시작된다. 가속구간에서는 파단이 일어날 때 까지 크립 변형율이 가속화된다⁽¹²⁾.

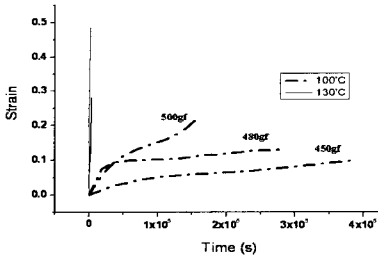
온도가 크립변형에 미치는 영향을 살펴보기 위해 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu솔더와 Sn-3Ag-0.5Cu솔더의 크립변형율-시간곡선을 살펴보았다. 변형율은 다음의 식을 이용하여 구하였다⁽¹³⁾.

$$\epsilon = \ln(L/L_i) \quad (1)$$

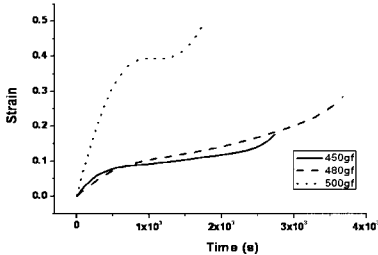
여기서 ϵ 은 변형율, L_i 는 초기길이(μm), L 은 변형 후 길이(μm)이다. Fig. 8의 (a)는 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu솔더의 100°C와 130°C 두 온도에 대한 450gf, 480gf, 500gf에서의 크립변형율-시간 곡선을 나타내었고, (b)에는 시간축을 $4 \times 10^3\text{s}$ 로 축소하여 130°C에서의 각 하중에 대한 변형율-시간 곡선을 나타내었다. 100°C에서 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu솔더의 크립변형율 곡선에 비해 130°C의 크립변형율 곡선은 Steady state 구간을 찾기 힘들며 변형율이 급격히 상승하는 것을 확인할 수 있다. 이는 130°C가 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu솔더 녹는점의 90%(K)에 달하고 이로 인해 크립저항이 큰 폭으로 감소⁽¹²⁾한 것으로 판단된다.

Fig. 9 (a)는 Sn-3Ag-0.5Cu솔더의 130°C와 100°C 두 온도에 대한 400gf, 420gf, 450gf, 500gf에서의 크립변형율-시간 곡선을 나타내었고, (b)에는 시간축을 $2.5 \times 10^5\text{s}$ 으로 축

소하여 130°C에서 각 하중에 대한 변형률-시간곡선을 나타내었다. Fig. 9를 통해 Sn-3Ag-0.5Cu솔더가 100°C에서 130°C로 온도증가에 의해 변형율이 증가하는 것을 볼 수 있

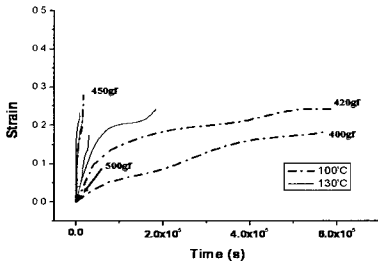


(a) Creep strain-time curves(100°C, 130°C)

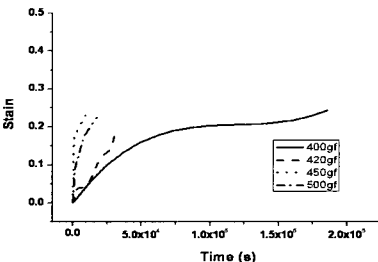


(b) Creep strain-time curves(130°C)

Fig. 8 Creep strain-time curves(Sn-0.2Sb-0.4Ag-37.4Pb)



(a) Creep strain-time curves(100°C, 130°C)



(b) Creep strain-time curves(130°C)

Fig. 9 Creep strain-time curves(Sn-3Ag-0.5Cu)

다. 그러나 100°C의 400g, 420g의 변형률 곡선을 제외하면 뚜렷한 차이를 보이지 않는다. 또한, 130°C의 400g의 변형률 곡선은 100°C의 450g, 500g보다 정상상태 구간이 뚜렷이 존재하는 변형률 곡선을 보여준다. 이를 통하여 Sn-3Ag-0.5Cu 솔더는 100°C에서 130°C의 온도증가에 따라 변형률의 증가하지만 그 영향이 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu 솔더보다 상대적으로 작다는 것을 알 수 있다.

3.2 크립 속도와 응력곡선

응력이 크립 변형에 미치는 영향을 살펴보기 위해 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu솔더와 Sn-3Ag-0.5Cu솔더의 크립속도($\dot{\epsilon}$: creep rate)-응력곡선을 살펴보았다. 두 솔더의 탄성계수는 다음의 식을 이용하여 구하였고, 측정된 변형률을 통해 QFP 접합부에 적용된 응력값을 도출하였다⁽¹⁴⁾.

Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu :

$$E = 353666 - 151 \cdot T \quad (2)$$

Sn-3Ag-0.5Cu :

$$E = 52400 - 193.05 \cdot T \quad (3)$$

여기서 T 는 온도(°C), E 는 탄성계수(MPa)이다. Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu의 크립속도는 Garofalo-Arrhenius의 공식이 사용되었고 그 식은 다음과 같다⁽¹⁴⁾.

Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu :

$$\dot{\epsilon} = \frac{6.14 \cdot (76589 - 151 \cdot T)}{T} \cdot \left[\sinh\left(\frac{2027\sigma}{76589 - 151 \cdot T}\right) \right]^{3.3} \cdot \exp\left(-\frac{6352}{T}\right) \quad (4)$$

또한, 솔더의 성분마다 다른 변형특성을 가지므로 Sn-3Ag-0.5Cu솔더의 크립속도는 wiese의 공식을 이용하여 계산되었다⁽¹⁵⁾.

Sn-3Ag-0.5Cu :

$$\dot{\epsilon} = 2 \times 10^{-21} \cdot (\sigma)^{18} \cdot \exp\left(-\frac{9994.59}{T}\right) \quad (5)$$

식 (4), (5)의 T 는 온도(K), σ 은 응력(MPa)을 나타낸다. Fig. 10과 Fig. 11은 각각 100°C와 130°C에서 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu솔더와 Sn-3Ag-0.5Cu솔더의 크립속도-응력 곡선을 나타낸 것이다. Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu솔더의 경우 100°C와 130°C에서 응력이 5MPa의 이상의 값부터 변형률 속도가 급격히 증가하였다. 그러나 Sn-3Ag-0.5Cu솔더의 경

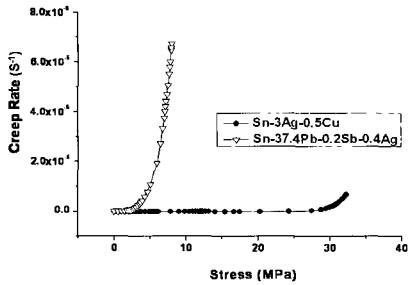


Fig. 10 Creep strain rate-stress curves(100°C)

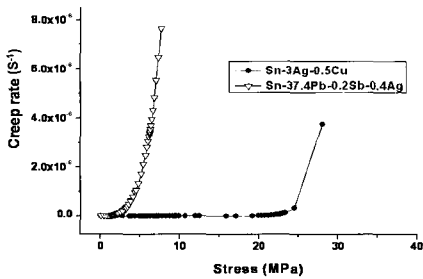
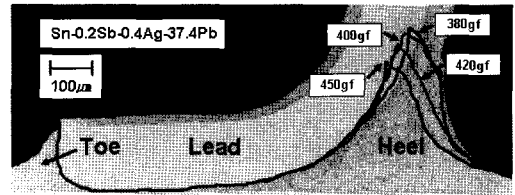


Fig. 11 Creep strain rate-stress curves(130°C)

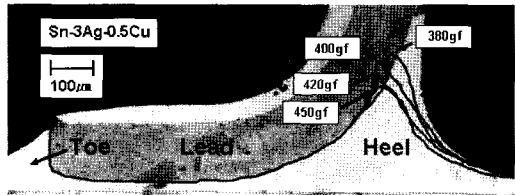
우 100°C와 130°C에서 모두 25MPa의 응력까지 안정적인 크립 속도를 보여주며 이후 서서히 증가하는 경향을 보여준다. 이를 통하여 두 온도구간에 있어서 Sn-3Ag-0.5Cu 솔더가 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu 솔더보다 높은 크립저항을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

3.3 파단면분석

컨케이브(concave) 타입의 형상을 가지는 QFP 접합부의 크립 하중에 따른 파괴 형상 및 파괴 메커니즘을 살펴보기 위해 파단면분석을 실시하였다. Fig. 12는 130°C에서 크립 하중에 따른 Sn-3Ag-0.5Cu 솔더와 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Cu 솔더의 실제 초기 균열 위치와 네킹 현상에 의한 힐 부분 솔더의 늘어짐 형상을 도식화하여 나타낸 것이다. 분석 결과, 크립 하중이 증가함에 따라 힐부분의 높이가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 크립 시험 시, 크립 정상상태 구간에서 응력집중부에 네킹 현상이 발생하게 되고, 이러한 네킹현상으로 인해 힐부분에 크립변형이 일어나 솔더가 늘어나게 된다. 크립 하중이 증가하면 정상상태 크립변형구간이 감소하는 것을 크립변형률-시간곡선을 통하여 확인할 수 있었으며, 이로 인해 네킹현상에 의한 변형률이 감소하게 되어 파단면 높이는 기판 제면을 기준으로 낮아지는 것을 확인할



(a) Sn-0.2Sb-0.4Ag-37.4Pb



(b) Sn-3Ag-0.5Cu

Fig. 12 Fracture mechanism by creep test

수 있었다.

본 실험결과 크립 파괴거동기구 및 크립 강도는 접합부의 형상에 따라 크게 영향을 받는다는 것을 예측할 수 있다. 따라서 접합부의 형상에 따라 크립 특성을 평가하는 다양한 측정방법을 고려할 필요가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 SMT전자제품에 적용된 솔더접합부의 크립 특성을 연구하기 위해 두가지 솔더(Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Ag, Sn-3Ag-0.5Cu)로 QFP 시편을 제작하여 크립실험을 실시하였다. 시험온도는 100°C와 130°C를 선정하였고 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 크립변형률-시간곡선을 분석한 결과 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Ag 솔더는 Sn-3Ag-0.5Cu에 비해 130°C에서 시험하중에 대한 변형률의 증가가 급속히 일어나는 것을 확인하였다. 이는 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Ag의 낮은 용점의 영향으로 인하여 130°C에서 크립 저항이 큰폭으로 감소한 것에 기인한 것으로 판단된다.
- (2) 크립속도-응력곡선을 분석한 결과 Sn-37.4Pb-0.2Sb-0.4Ag 솔더는 100°C와 130°C 모두 응력이 5MPa의 이상의 값부터 크립속도가 급격히 증가하였으나, Sn-3Ag-0.5Cu 솔더의 경우 두 온도구간에서 모두 25MPa의 응력까지 안정적인 크립속도를 보여주었다.

(1)과 (2)로부터 100℃와 130℃의 온도 구간에 대하여 QFP 칩에 적용된 Sn-37.4pB-0.2Sb-0.4Ag솔더 보다 Sn-3Ag-0.5Cu솔더가 크립저항이 우수한 것을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

- (3) 크립파괴 메커니즘을 확인하기 위해 QFP 시편의 파단면을 분석한 결과 크립하중이 증가함에 따라 초기 균열 발생지점이 접합부 컨케이브 형상의 하단부위에서 일어나는 것을 확인하였다. 이는 크립하중이 증가함에 따라 정상상태 크립변형구간이 감소하게 되고 이로 인해 네 킹현상에 의한 변형량의 감소에 따른 것이다.

후 기

본 논문은 서울특별시 지원하는 전략산업 혁신클러스터 육성 지원사업(3D Microsystem Packaging을 위한 집합공정 및 장비개발)으로 지원되어 수행하였습니다.

참 고 문 헌

- (1) Jung, J. P., Shin, Y. E. and Im, S. S., 2001, *Pb-Free Micro Soldering*, Samsungbooks, pp. 45~77.
- (2) Ganesan, S. and Pecht, M., 2004, *Lead-Free electronics 2004 Edition*, Chapter2, pp. 45~63.
- (3) Tummala, R. R., *Fundamental of Microsystems Package*, McGRAW-Hill Chapter 21, pp. 847~877.
- (4) Richards, B. and Nimmo, K., 1999, *An Analysis of the Current Status of Lead-Free Soldering*, UK, ITRNP.
- (5) Lau, J. H., *Solder Joint Reliability* Van Nostrand reinhold, New York, Chapter9, pp. 279~305.
- (6) Vianco, P. T., Rejent, J.A. and Kilgo, A. C., 2004, "Creep behavior of the ternary 95.5sn-3.9ag-0.6cu solder : part2-aged condition," *Jourl of Electronic Materials*, Vol. 33, No. 12.
- (7) Guo, F., Lucas, J. P. and Subramanian, K. N., 2001, "Creep behavior in cu and ag particle-reinforced composite and eutectic sn-3.5ag and sn-4.0ag-0.5cu non-composite solder joints," *Materials in Electronics*, Vol. 12, pp. 27~35.
- (8) Pan, D. and Dutta, I., 2004, "A mechanics-induced complication creep and its solution : application to sn-3.5ag solder," *Materials science and Engineering*, A 379, pp. 154~163.
- (9) Xie, D. J., 2000, "A new experimental method to evaluate creep fatigue life of flip-chip solder joints with underfill," *Microelectronics Reliability*, Vol. 40, pp. 1191~1198.
- (10) Al-ganainy, G. S., 2002, "Creep characteristics of a new pb-free soldering sn-in pewter," *phys. stat. sol. (a)* 193, No. 2, pp. 226~235.
- (11) Guo, F., Lucas, J. P., Subramanian, K. N. and Bieler, T. B., 2001, "Creep Properties of Eutectic Sn-3.5Ag Solder Joints Reinforced with Mechanically Incorporated Ni particles," *Jourl of Electronic Materials*, Vol. 30, No. 9.
- (12) Hwang, J. S., 1996, *Modern Solder technology or Competitive Electronics Manufacturing*, McGraw-Hill, pp. 78~81.
- (13) Lee, S. M., 1994, "Creep Strength of Eutectic Solders Used for Microelectronic Application," *Joural of the Korean Inst. of Met. & Master*, Vol. 32, No. 8.
- (14) Darveaux, R. and Banerji, K., 1992, "Constructive Relation for Tin-Based Solder Joints," *IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology*, Vol. 15, No. 6, (1992) 1013-1024.
- (15) Wiese, S. and Wolter, K.J., 2004, "Microstructure and creep behaviour of eutectic SnAg and SnAgCu solders," *Microelectronics Reliability*, No. 44, pp. 1923~1931.