

# Sn-Pb 솔더 접합부의 초기 강도에 관한 연구

신 영 의\* · 정 승 부\*\*

## A Study on Initial Strength of Sn-Pb Solder Joint

Young-Eui Shin\* and Seung-Boo Jung\*\*.

**Key Words** : lead frame (리드 프레임), Cu pad (구리 패드), printed circuit board (프린트 기판 회로) Short circuit (회로 단락), bondability (접합성), solder joint (솔더 접합부).

### Abstract

This paper presents the investigations on the initial strength and its variation of Sn-Pb solder joint using different lead frames, such as are 42 alloy lead and Cu alloy lead.

As the result of the lack of initial strength at solder joints, whose pitch is from 0.3 to 0.4mm, short circuit often occurred at the solder joint by thermal shock or external impact.

Therefore, in this paper investigations were performed on the initial strength and its variation of Sn-Pb solder joint as well as fractured mode with using different lead frames.

### 1. 서 론

전기·전자 부품 및 제품의 소형화, 고기능화의 진전에 따라 제품에 들어가는 각종 소자의 접합·접속 기술의 중요성은 날로 더해 가고 있다. 더욱 최근에는 환경 오염 및 작업 환경 등을 고려하여 현재 산업체에서 가장 많이 이용하고 있는 Sn-Pb 계열의 solder paste에 대응하는 비납(lead free) 재료의 개발에 박차를 가하고 있다. 한편, 현재 주종으로 사용되고 있는 Sn-Pb 계열의 솔더 페이스트

(solder paste)를 이용한 경우의 솔더 접합부의 열피로에 관한 연구<sup>1-4)</sup>는 비교적 많이 수행되고 있으나, 솔더 접합부의 초기 강도 및 초기 강도의 변동율과 안정성에 관하여 구체적인 데이터를 제시한 논문 및 보고서가 없어, 본 논문에서는 Sn-Pb 솔더 페이스트(solder paste)중에서 수요가 가장 많은 Sn-Pb(63-37 wt%) 솔더를 이용하여 프린트 기판상의 구리 패드(pad)와 리드 프레임을 접합시켜, 초기 접합 강도를 인장 전단 강도 및 peel 하중에 의하여 평가를 하였다. 아울러 부품, 제품의 품질 및 신뢰성 측면에서 접합·접속 기술은 핵심 기술

\* 정회원, 중앙대학교 공대 기계설계학과

\*\* 비회원, 성균관대학교 공대 금속공학과

이라 할 수 있기 때문에, 본 논문에서는 각 부품에 해당되는 소재 중에서 리드 프레임에 착안하여, 현재 산업계에서 가장 많이 이용되고 있는 42 합금과 구리 합금 리드를 이용했을 경우의 솔더 접합부의 초기 접합 강도와 강도의 변동율에 관하여 실험을 통하여 검토하였다.

## 2. 실험 재료 및 방법

### 2.1 리드 프레임

본 실험에 사용한 리드 프레임 재료는 구리 합금 리드와 42 합금 리드의 2종류를 사용하였다. 표 1에 리드 프레임의 조성을 나타내었으며, 그림 1에는 리드의 형상 및 크기를 나타내었다. 구리 합금 리드는 Zn을 미량으로 첨가함에 따라 가열·확산에 따른 구리와 솔더 계면 부근에서 발생하는 커켄달 보이드(Kirkendall void)의 발생을 저지할 수 있다는 재료를 선정하였다.

### 2.2 솔더 및 기판

Table 1. Chemical composition of lead

Materials	Chemical composition(%)						
	Ni	Sn	Pb	Fe	Zn	Mn	Cu
42 alloy	42			Bal			
Cu alloy	9.0	2.0	0.05	0.5	0.5	0.6	Bal

솔더는 페이스트(paste) 타입을 이용하였으며, 솔더 조성은 Sn-Pb(63-37 wt%)의 공정(共晶)형인 용융점(183℃)이 비교적 낮고, 현재 산업계에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 것을 사용하였다. 또한 솔더의 공급 방법은 메탈 마스크를 이용한 인쇄 방식으로 공급하였다. 기판도 산업계에서 많이 이용되고 있는 에폭시 계열의 FR-4를 사용하였으며, 기판 상에 형성되어 있는 구리 패턴과 리드를 솔더 페이스트를 이용하여 접합되도록 실험을 하였다. 표 2는 본 실험에서 사용한 솔더 제조업체의 페이스트의 특성을 나타낸 것이다.

Table 2. Characteristics of Sn-Pb(63-37 wt%) solder paste

Melting Point (°C)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Electric conductivity (%)	Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
183	8.40	11.8	5.10	32

### 2.3 접합 및 접합 강도 평가 방법

접합을 위한 열원은 국부 가열 방식의 하나인 펄스 히트 방식<sup>5)</sup> (pulse heat tip)을 이용하여 접합을 하였다. 그림 2은 기판 상의 구리 패턴과 모재인 리드를 전극 팁(tip, 재질 Mo)에 의하여 가압·가열하는 방법을 나타낸 것이다. 접합 과정은 전극 팁이 하강하여, 전극 팁과 리드, 솔더 페이스트, 구리 패턴과 접촉하여 설정한 압력에 도달하게 되면, 통전 개시 스위치가 작동하여 설정 시간, 설정 온도 동안 가열된다. 또한, 접합재인 솔더 페이스

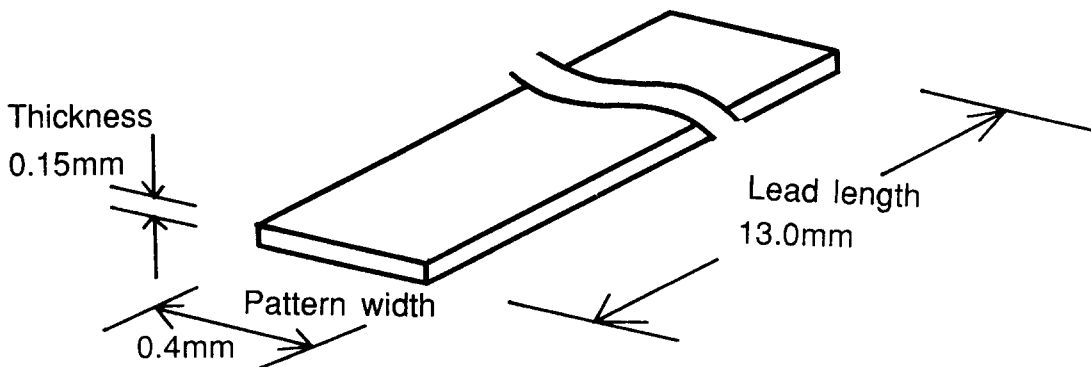


Fig. 1 Configuration and size of lead frame

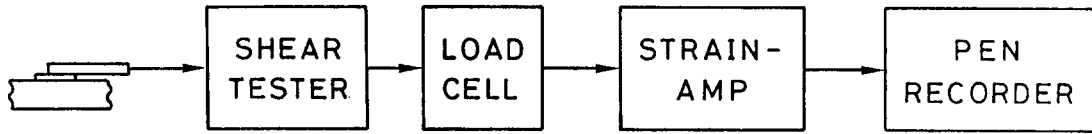


Fig. 3 Illustration of tensile shear test

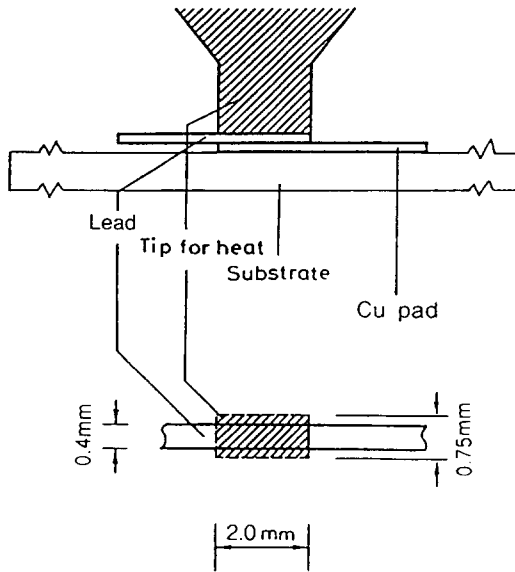


Fig. 2 Illustration of bonding method

트의 공급양도 폭 0.5, 길이 2.0, 두께 0.2mm로 공급하였으며, 두께의 변동율은 약 ±10% (0.175~0.220mm)이다.

아울러 접합 강도 평가는 인장 전단 시험 및 peel 하중에 의하여 평가하였으며, 시험 횟수는 각각 동일 조건 하에서 5회씩 하였고, 인장 전단 시험 방법은 그림 3에 나타내었다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 가열 온도 및 가열 시간과 초기 강도와의 관계

Sn-Pb (63-37 wt%)의 솔더 페이스트와 리드 프레임은 42 합금을 이용하여 전극팁의 온도와 가열 시간을 변화시켜 접합 실험을 수행하였다. 그림

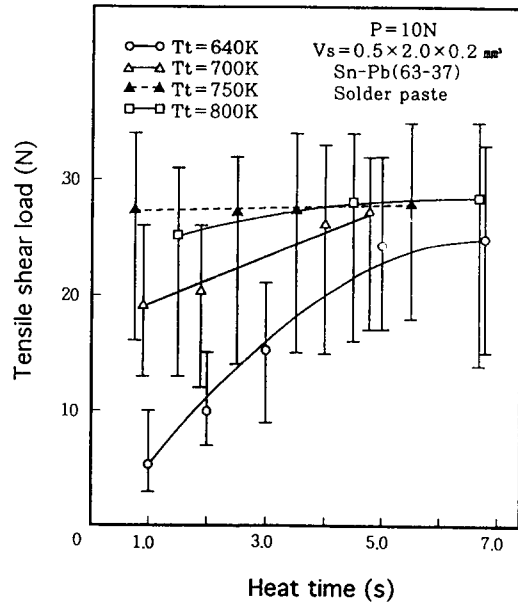


Fig. 4 Relation between heat time and tensile shear load with Sn-Pb (63-37 wt%) solder paste

4는 가압력을 10N으로 설정하고 가열 시간과 전극팁의 온도에 따른 인장 전단 강도를 나타낸 것이다. 또한, 동일 조건하에서의 인장 전단 시험 횟수는 5회씩 수행하여, 최대치, 최소치 및 평균치를 도표화하였다. 그림 4에서 알 수 있듯이, 온도 영역이 750~800K 영역에서는 가열 시간(1.0~6.9s)과는 관계없이 초기 접합 강도는 거의 일정한 경향을 나타내고 있으며, 온도 영역이 600K 이하의 경우에는 접합이 거의 불가능하였다. 이것은 접합 계면 온도가 Sn-Pb (63-37 wt%) 솔더 페이스트의 용융점인 456K에 도달하지 못한 것을 의미하고 있다. 한편, 온도 영역 640~700K에서는 가열 시간과 더불어 인장 전단 강도가 증가하는 경향을 보였으며, 이것은 가열 시간과 온도에 따른 접합부의 반응, 다시 말해, 용융된 솔더와 모재 간의 반응에

의한 반응 층의 성질에 기인한다고 판단된다. 아울러 그림 4에서 주목할 만한 것은 전단 강도의 변동율이 약 ± 40%라는 것이다.

이것의 원인으로 간주되어지는 것은 2.3항에서 기술한 바와 같이 솔더 페이스트의 공급량의 안정성 및 재현성, 접합부의 솔더 필렛(fillet)의 형상 및 접합 계면 온도의 재현성에 기인한 것으로 판단되며, 접합 계면 온도의 측정 방법 특히, 접합 계면 온도에 따른 접합성에 관한 실험 데이터는 추후 발표할 예정이다.

### 3.2 리드 조성에 따른 초기 접합 강도

리드 재료로서는 구리 합금 리드와 42 합금 리드를 이용하여 초기 접합 강도를 비교·검토하였다. 3.1에서는 초기 접합 강도를 인장 전단 시험으로 접합부의 강도를 평가하였으나, 미세 접합부의 기계적 성질 및 미시적인 품질을 구체적으로 검토하기 위하여 접합 계면에 집중적으로 응력이 걸리는 peel 인장 시험을 이용하여, peel 파단 하중 및 파단 형태에 관하여 비교·검토하였다.

그림 5는 본 실험에 사용한 peel 시험 방향과 방법을 나타낸 것이다. 그림과 같이 peel 각도는 90도가 되도록 설정하였다. 그림 6은 리드 프레임 소재를 42 합금 리드를 이용한 경우의 가열 온도에 따른 peel 파단 하중값을 나타낸 것이다. 그림에서

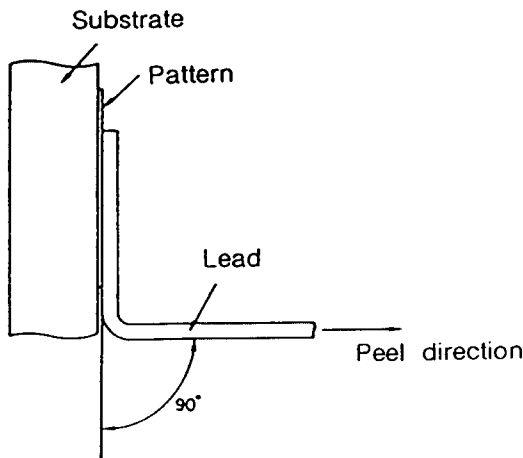


Fig. 5 Illustration of peel direction at peel test

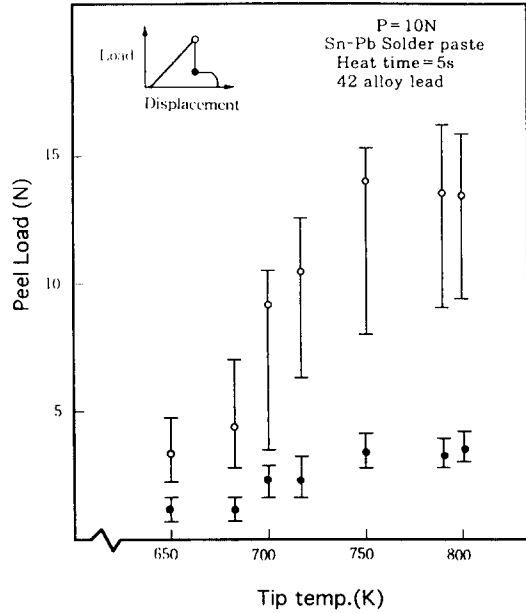


Fig. 6 Relation between peel load and tip temperature with 42 alloy lead

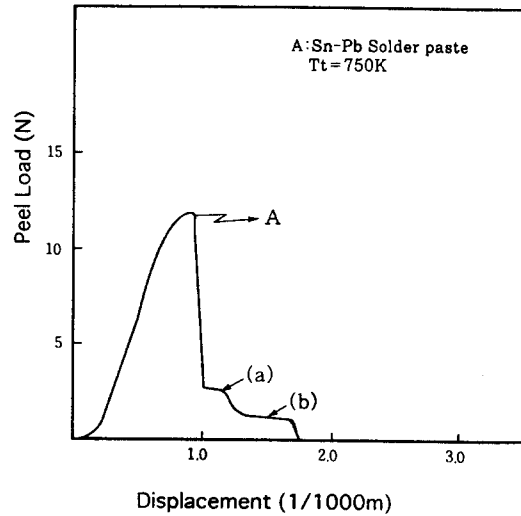


Fig. 7 Typical load-displacement curve of solder joint

알 수 있듯이 peel 파단 하중은 가열 온도의 상승과 더불어 증가하는 경향을 보이고, 전극 팁의 온도가 약 750K 전후에서 7~16N의 파단 하중값을

나타내고 있다. 또한 동일 조건하에서의 peel 파단 하중의 변동율은 3.1에서 기술한 인장 전단 강도와 마찬가지로 약  $\pm 40\%$  전후의 변동율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 7은 peel 파단 시의 변위량과 peel 하중과의 관계의 일례를 나타낸 것으로 전극 팁의 온도가 750K인 경우이다. 아울러 그림 8은 peel 파단시의 파단의 진행 상태를 나타낸 것으로, 그림 중의 (a), (b)는 그림 7의 (a), (b)와 대응하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 거시적인 필렛 (fillet)의 솔더 재료 내부를 경유해서, 리드 측의 접합 계면을 따라 파단이 진행되고 있음을 알 수 있다. 또한, 접합부의 peel 파단 하중은 변위량의 증가와 함께 상승하고 있음을 알 수 있고, 접합부의 peel 파단 하중은 변위량의 증가와 함께 상승하여 파단 개시 직전에서 하중의 최대값을 얻는다. 아울러 파단 개시와 함께 최고 파단 하중 값은 그림 중의 (a)의 하중 값으로 떨어지고, (a)에서 (b)까지의 하중 값은 그림에서 알 수 있듯이 기판 상에 형성되어 있는 구리 패드 가장자리 부위의 필

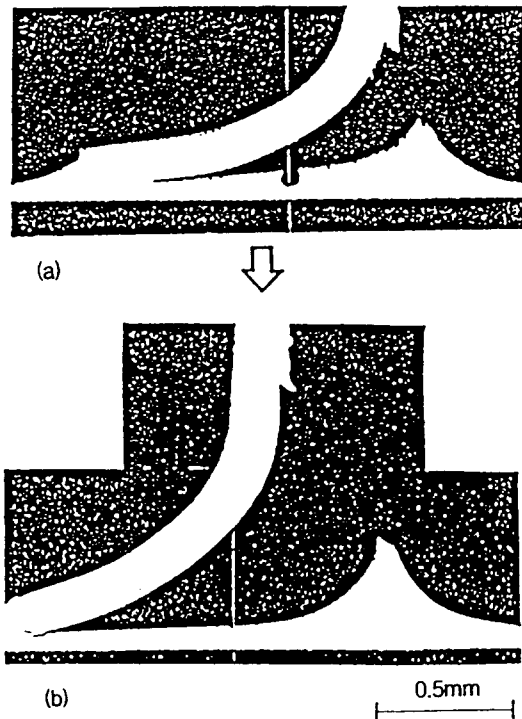


Fig. 8 Fracture modes of solder joint at each stage in fig. 5.

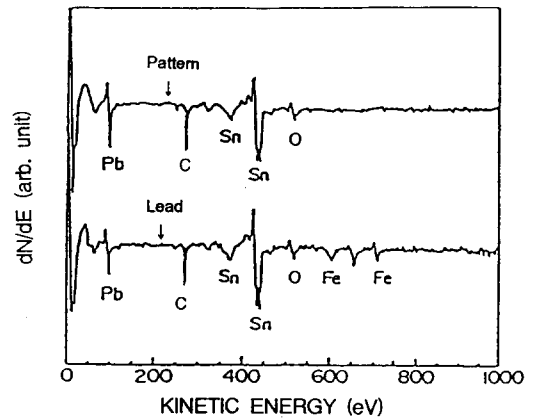


Fig. 9 AES analysis of fractured surface. (42 alloy lead)

렛과 접합 계면의 강도를 의미하고 있다. 아울러, 파단된 면을 AES (Auger Electron Spectroscopy) 분석한 결과를 그림 9에 나타내었다. 분석한 결과, 리드 재료의 원소인 Fe 및 Ni은 구리 패드 측에서는 검출되지 않고, 리드 측에서는 Fe, Ni은 물론 솔더 성분인 Sn이 검출되고 있음을 알 수 있다. 결국 42 합금 리드를 이용한 경우의 파단 형태는 솔

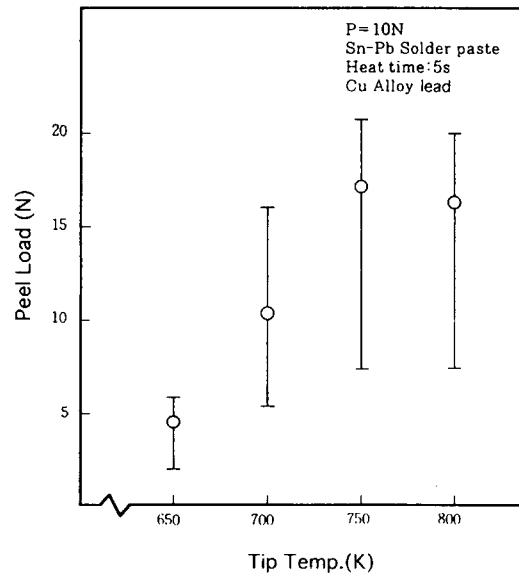


Fig. 10 Relation between peel load and tip temperature with Cu alloy lead

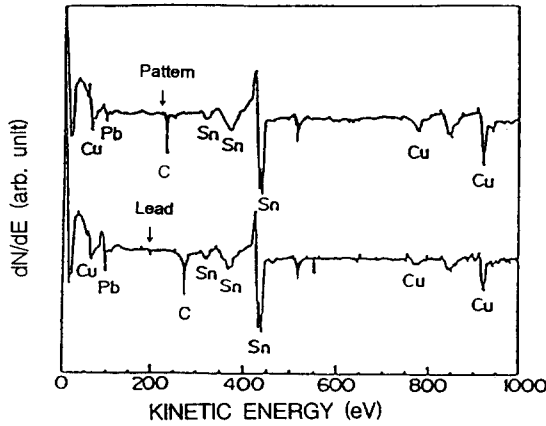


Fig. 11 AES analysis of fractured surface. (Cu alloy lead)

더와 모재인 리드의 계면 근방에서 파단되고 있다고 판단할 수 있다.

한편, 리드 프레임 소재를 42 합금 대신에 구리 합금 리드를 이용한 경우의 전극 팁의 온도에 따른 peel 파단 하중과의 관계를 그림 10에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 앞에서 기술한 42 합금 리드와 비교하면 상대적으로 높은 평균치가 얻어지고 있다. 이와 같이 상대적으로 높은 peel 하중이 얻어진 원인을 파악하기 위하여 peel 파단면(리드 측과 구리 패드 측)을 AES(Auger Electron Spectroscopy) 분석하였다. 분석한 결과를 그림 11에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 리드 측 및 패턴 측 모두에서 Cu 및 Sn이 검출되고 있다. 즉 파단면은 42 합금 리드를 이용한 경우와는 달리 합금 반응층 내에서 파단되고 있음을 의미하고 있다.

결국, 가열 온도의 증가와 더불어 peel 파단 하중도 증가하는 경향을 나타내며, 구리 합금 리드를 이용한 경우가 42 합금 리드를 이용한 경우보다 상대적으로 peel 파단 하중의 평균값이 크게 나타났다. 이것은 모재인 리드의 소재에 따른 접합 계면 부근에서 형성되는 합금 반응층의 성질과 파단 형태에 기인한 것으로 판단되어 진다.

#### 4. 결 론

#### 후 기

산업계에서 가장 많이 사용되고 있는 Sn-Pb(63-37 wt%) 솔더 페이스트와 42 합금 및 구리 합금 리드를 이용하여 국부 가열 방식인 펄스 히트(pulse heat tip)의 열원으로 접합을 하고 솔더 접합부의 초기 강도를 실험을 통하여 검토하였다. 또한, 국부 가압·가열 접합 방식이 동일 조건하에서도 초기 강도의 변동율이  $\pm 40\%$ 나 되는 가장 큰 이유는 접합 계면 온도의 변동이라 판단된다. 아울러, 본 연구의 실험을 통한 결론은 다음과 같다.

1) 전극 팁의 온도가 상대적으로 낮은 640~700K인 경우는 일괄 리플로우 방식과는 달리 가열 시간과 더불어 인장 전단 강도도 증가하는 경향을 보였다. 이것은 가열 시간이 일괄 리플로우의 경우보다 짧고(수 s), 용융된 솔더와 모재 간의 반응에 의해 생긴 반응층의 성질에 기인한다고 판단한다.

2) 전극 팁의 온도가 750~800K 영역에서 접합을 한 경우(가열 시간: 1.0~6.9s)에는 인장 전단 강도가 약 26N이었으나 그 변동율은 약  $\pm 40\%$ 로 초기 강도의 재현성 및 안정성에 큰 문제가 있다는 것을 실험을 통하여 밝혔다.

3) 모재인 리드의 종류에 따라 peel 하중 값의 차이를 보였으며 구리 합금 리드의 경우는 전극 팁 온도가 750K인 경우 최대값이 얻어져 7.5~21.0N, 평균값이 17.5N 였으며, 42 합금인 경우는 동일 온도 하에서 8.0~16.0N, 평균 하중은 14N으로 구리 합금 리드의 경우가 peel 하중의 변동율이 크고, 평균 하중도 상대적으로 크게 나타났다.

4) 42 합금 리드를 이용한 경우는 파단 형태가 리드와 Sn-Pb 솔더 간인 접합 계면에서 파단이 이루어졌으며, 구리 합금 리드를 이용한 경우는 파단면이 용융된 솔더와 구리 합금과 반응한 합금 반응층에서 파단이 이루어졌다. 결국 파단 형태로부터 초기 강도의 안정성 측면에서는 42 합금 리드가 유리하고, 강도의 크기 측면에서는 구리 합금 리드가 유리하다고 할 수 있다.

이 논문은 1995년도 중앙대학교 교내 학술 연구비 지원에 의한 것이며, 학교 당국 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. H. D. Solomon : Creep strain rate sensitivity and low cycle fatigue of 60/40 solder, *Brazing & Soldering*, No. 11, (1986), pp. 68-75
2. 佐藤了平 : Sn-Pb系 ソルダの鑄造組織と引張特性 *日本金屬學會誌*, Vol. 49, No.1(1989), pp.26-33
3. 佐藤了平 : 電子回路におけるSn-Pb系 合金微細銲接部の熱疲労 *日本金屬學會講演予稿*, 11(1988), pp. 31-40
4. M. Kitano : Statical fatigue life estimation, *Current Japanese Materials Research*, Vol. 2, (1987), pp. 235-250
5. 신영의 : 열원 형태에 의한 전자 재료의 접합성에 관한 연구(I), *대한용접학회*, 12권, 제4호, (1994), pp. 458-464