

# Beam scanner를 이용한 실장용 레이저 솔더링 (laser soldering) 기술 개발



한 유 희

(KIMM 용접기술연구부)

- '71 - '78 연세대학교 기계공학과(학사)
- '78 - '84 독일 브라운슈바이크 공대 기계공학과(석사)
- '84 - '87 독일 브라운슈바이크 공대 기계공학과(박사)
- '87 - '89 독일 항공우주 연구소 연구원
- '89 - 현재 한국기계연구원 책임연구원



김 인 응

(KIMM 용접기술연구부)

- '87 - '91 경희대학교 문리과대학 물리학과(학사)
- '91 - '93 한국과학기술원 물리학과(석사)
- '93 - 현재 한국기계연구원 연구원



정 재 필

(서울시립대학교 재료공학과)

- '79 - '83 서울대학교 금속공학과(석사)
- '83 - '85 한국과학기술원 재료공학과(석사)
- '89 - '92 서울대학교 금속공학과 (박사)
- '85 - '96 한국기계연구원 근무
- '96 - 현재 서울시립대학교 재료공학과 조교수

## 1. 서 론

현재 전자 산업에서 많은 전자 제품들이 소형화 및 경량화 되고 있다. 이는 전자회로의 고집적기술의 발달과 함께 전자부품의 패키징(packaging) 기술과 그 조립에서의 실장기술의 발달(특히 Surface Mount Technology)에 따른 결과이다[1].

그리고 현재에도 전자회로의 고집속화가 추구하고 있으며 이에 따라 VLSI 칩(chip)의 다핀화와 미세 피치화가 급속히 진전되고 있다. 이러한 다핀의 미세 피치를 갖는 VLSI 칩을 기판에 실장하는데 있어서는 다음과 같은 요소 기술이 필요하다.

- 고정도 납땜 공급 기술
- 고정도 부품 장착 기술
- 미세 납땜(outer lead bonding) 기술

현재까지는 리플로우 솔더링(reflow soldering) 기술이나 웨이브 솔더링(wave soldering) 기술이 대량생산에 적합한 일괄적인 솔더링 작업으로 사용되고 있으나 VLSI 칩의 다핀화 미세 피치화에 따른 SMT 부품의 새로운 실장기술의 개발이 필요하다[2, 3]. 기존의 솔더링 기술로써는 피치간격이 0.5 mm 이하이면 솔더링 작업시 이웃한 리드(lead)사이에 납재가 채워져 연결되는 브리지(bridge)현상이 발생하기 쉽다. 뿐만 아니라 일괄적인 솔더링 작업시 SMT 부품 전체가 가열되어 패키지(package)내의 수분이 팽창하며 발생하는 부품의 균열 및 이에 따른 불량이 문제되고 있다[4].

레이저를 사용하면 원하는 위치에 높은 에너지 밀도를 유발시킬 수 있고 빔 스캐너를 이용한 위치제어가 용이하기 때문에 짧은 시간동안 필요한 부위의 국부가열이 가능하다. 즉, 레이저를 outer lead bonding에 사용하면 칩 전체의 가열이 필요 없고, 국부적인 가열에 의해 브리지의 유발 없이 솔더링을 할 수 있다. 따라서 레이저를 이용한 outer lead bonding 기술이 외국에서는 연구되어 왔고 실제 일부 생산라인에 적용되어 사용되기도 한다. 또한 레이저를 이용한 솔더링은 국부적인 솔더링이 가능하기 때문에 inner lead bonding의 적용에도 연구되고 있다[5-9].

레이저 솔더링에 사용하는 레이저로는 CO<sub>2</sub> 레이저와 Nd:YAG 레이저가 있다. CO<sub>2</sub> 레이저의 경우에는 기판으로 널리 사용되는 FR4 등의 재질에 흡수가 잘되므로 솔더링 작업시 기판을 상하기 쉽다. 그리고 솔더와 리드는 CO<sub>2</sub> 레이저빔보다 Nd:YAG 레이저빔을 효율적으로 흡수하여 레이저 솔더링에는 Nd:YAG 레이저가 유리하다[6].

본 연구에서는 미세 납땜 기술 개발의 필요성에 따라 레이저를 이용한 미세 납땜 기술에 필요

한 빔위치의 제어기술, 빔 강도의 모듈레이션(modulation) 및 레이저 솔더링 공정기술 및 공정 변수 연구에 초점을 두었다. 따라서 본 연구에서는 크게 레이저 솔더링에 필요한 레이저빔 위치 제어 및 빔 모듈레이션 기술을 사용한 실험용 시스템의 제작과 이를 이용한 기초 연구로서, 패드(pad)상에서의 납재 wetting 실험, 리드와 패드간의 microsoldering 실험 및 분석을 행하였다. 사용한 납재는 솔더링에 많이 사용되고 있는 Sn-37Pb 솔더 페이스트(solder paste)를 선택하였다.

## 2. Soldering system 의 구성

솔더링 실험을 위한 시스템을 구성하기 위하여는 우선 두 가지의 기본적인 작업이 필요하다. 첫 번째로 레이저 빔을 원하는 위치, 즉, 솔더링을 하고자 하는 부위까지 전송을 해야한다. 두 번째로는 원하는 위치에 보내어 동시에 레이저 빔을 켜고 작업이 끝나면 빔을 끄는 on/off 제어가 필요하다. 솔더링 시스템의 전체적인 구성은 그림 1과 같다.

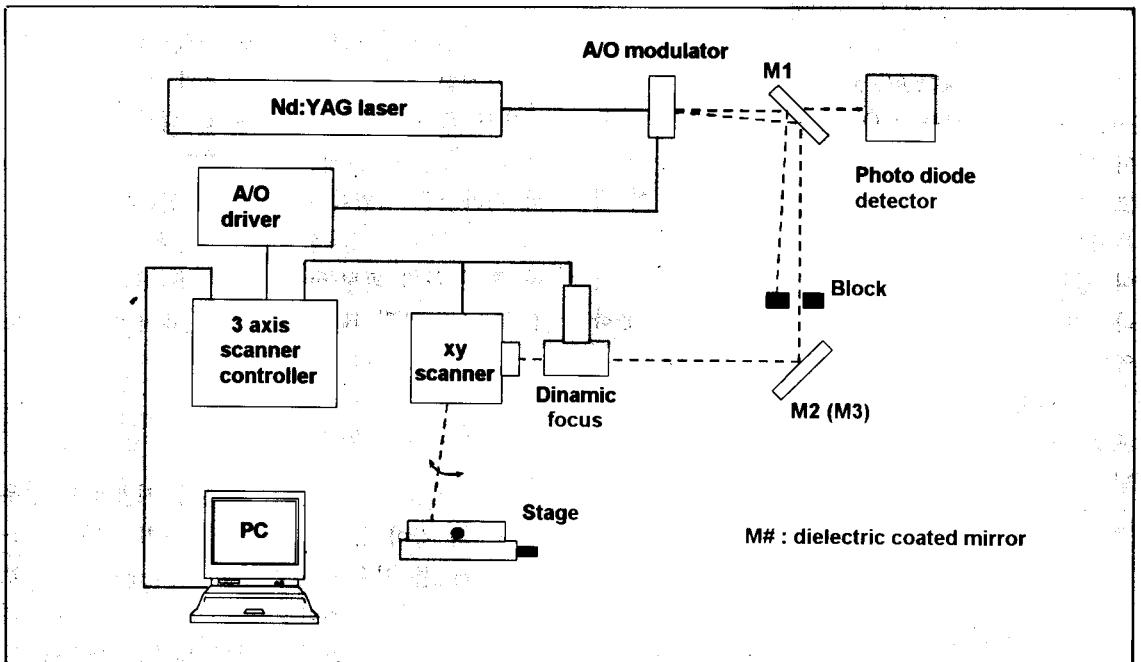


그림 1. Soldering system 구성도

표 1. System 제원

Nd:YAG 레이저	Acousto-Optical modulator	Galvano-Scanner
Maker : Lee Laser	Maker : Neos	Maker : General Scanning Inc.
Model : 718TQ	Model : N23080-3-1.06 HS N31XXX-6DS	Model : XY2026, LTL320A DE3000
Power : cw 60 W Divergence : 10 mrad ( 2 mrad wt. filter) Operational mode : cw, Q switching	Efficiency : first order beam 73% @ 1060 nm Deflection angle : first order 20.2 mrad Rising time : 수백 ns (230 ns @1 mm dia.) RF : 80.00 MHz Aperture : 6 mm	Controller : DE3000 (3 axis) Deflection angle : $\pm 20^\circ$ Resolution : 65535 step/40° Rate : 35 - 40 Hz max. Scanner aperture : 20 mm Dynamic focusing : travel 9.98 mm 13 mm aperture

본 시스템에서는 레이저 빔의 위치제어가 비교적 빠른 galvanometer beam scanner(빔 스캐너)를 채용하였고, 레이저의 on/off 제어를 위해 공진기 밖에 A/O modulator(변조기)를 설치하였다. 본 시스템에서는 집속 렌즈를 지난 레이저빔이 빔 스캐너에 입사하고, 이 경우에 작업면 (stage)에서 발생하는 초점 거리의 오차를 보정하기 위해 dynamic focusing을 채용하였다.

많은 산업용 Nd:YAG 레이저의 경우 Q switching drive가(대개는 A/O 변조기) 공진기 내에 있어 이를 이용하여 원하는 on/off 제어를 할 수 있고 펄스의 길이도 제어가 가능하다. 그러나 이 경우에는 펄스의 시작부분에 Q 스위칭 효과에 의하여 첨두 출력이 큰 짧은 Q 스위칭 펄스가 섞여 나오기 때문에 공진기 밖의 A/O 변조기를 이용하였다.

시스템의 제어는 PC에서 빔 스캐너 제어를 프로그램하여 사용하였고 빔 스캐너 제어기에서 빔 위치제어, dynamic focusing 및 레이저 빔 on/off 제어신호를 내보낸다.

시스템 구성에 사용한 주요 제원은 표 1과 같다.

### 2.1 Galvanometer beam scanner[10-12]

레이저를 사용할 때 빔 스캐너를 사용하면 2차

원 평면에서 선 스캔 작업을 쉽게 할 수 있다. 그러나 2축의 빔 스캐너를 사용할 때의 단점으로써는 pin-cushion error, focus error 등이 있다. General Scanning Inc.의 DE3000 controller는 3축 제어기으로써 lookup table을 참조하여 pin-cushion error를 보정하고 dynamic focus로 focusing error도 보정한다.

DE3000 제어기의 경우 빔 스캐너의 위치 오차를 보정하기 위한 보정 테이블의 작성은 작업면 위에서 65×65개의 격자점들에 대해 실제 위치 오차를 측정함으로써 이루어진다. 그러나 4225개의 격자점을 일일이 측정하여 확인하기는 어려우므로 9×9개의 격자점에 대해 실제 위치를 측정한 후 2 차원 피팅(fitting)하여 65×65 개의 격자점에 대한 보정 테이블을 소프트웨어적으로 작성하였다.

### 2.2 Dynamic focusing

Post-object 방식의 빔 스캐너 시스템의 경우 그림 1과 같이 초점 오차를 보정하기 위한 dynamic focus를 사용한다. Dynamic focus는 초점 보정용 렌즈를 채용하여 빔의 진행방향에 따라 렌즈를 적당히 이동하여 초점이 맺히는 위치를 보정하도록 한 것이다.

Dynamic focus를 이용한 초점 오차의 보정을 위한 광학계는 몇 가지 방법이 있으나 제작한 시스템에서는 그림 2와 같은 방법을 사용하였다.

그림 2의 광학계에서 빔의 집속 및 발산이 큰 경우에 대한 기하광학적인 접근 방법이 J. S. Ehrmann의 논문[13]에 자세히 설명되어 있다.

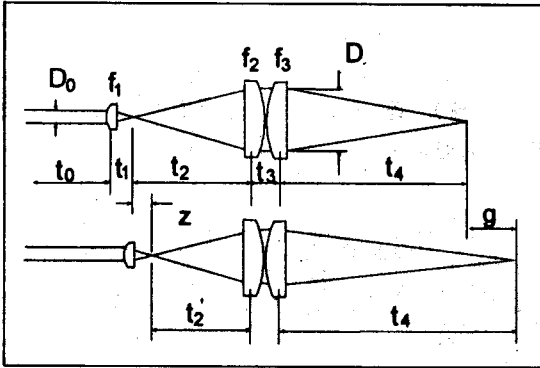


그림 2. Dynamic focusing의 원리

본 시스템에서  $f_3 = 250\text{mm}$ 로 하였고, 나머지 렌즈는  $f_2 = 150\text{mm}$ ,  $f_1 = 40\text{mm}$ 로 하였다.

이 때  $t_1 = f_1$ ,  $t_2 = f_2$ ,  $t_3 \approx 0$  (almost contact),  $t_4 = f_3$  이다.

### 3. 실험 방법

#### 3.1 실험 재료

실험에 사용된 실장용 전자 부품은 QFP100 (Quad Flat Package)로써, 리드 수는 가로 2면에 각각 30개, 세로 2면에 각각 20개 총 100개의 리드이며, 리드의 재질은 Fe-42%Ni(42alloy)이다.

제작된 실험용 기판재질은 FR-4이며 QFP100을 실장하도록 패드를 만들었다. 패드의 길이는 2.03mm(리드와 패드의 접촉부는 0.72mm), 패드의 폭은 0.3mm, 패드의 간격은 0.64mm, 0.65mm로 하였다. 또 리드의 폭은 0.3mm이며 리드간 간격은 0.65mm로 하였다.

패드는 Cu상에 Sn-37Pb를 도금한 것이다. 실험

함에 사용된 납재(solder)는 Sn-37Pb 공정 페이스트(Paste)이며, 납재의 기타 특성은 표 2와 같다.

표 2. 실험에 사용한 솔더 페이스트(solder paste)의 특성

	Sn-37Pb
Metal %	89%
Viscosity	880,000cps
Size of solder ball (mesh)	max. 45 $\mu\text{m}$
Flux	RMA
Melting point	183.3

상기 페이스트는 150 $\mu\text{m}$ 두께의 스텐실(stencil)을 사용하여 패드상에 도포 하였다.

#### 3.2 Soldering 공정

솔더링용 시편은, 납재 페이스트(solder paste)만 패드위에 도포한 상태, 혹은 페이스트가 도포된 위에 QFP를 setting한 상태 두 가지 경우로 하였다. 솔더링 시편은 120 $^{\circ}\text{C}$ 로 유지된 hot plate 위에서 120초간 건조시켰다.

건조가 완료된 시편은 Nd:YAG 레이저를 사용하여 솔더링하였다. 솔더링시 레이저 출력(laser power)은 2.1~6.3W, 레이저 빔(laser beam) 주사 시간은 10~800ms범위에서 변화시켰다.

솔더링작업은 레이저의 초점(초점 직경 : 약 50 $\mu\text{m}$ )을 사용하여, 리드(lead)의 안쪽으로부터 바깥쪽으로 빔을 조사하였다.

이때 QFP의 리드와 패드간 접촉을 증대시키기 위하여 3.87g의 추를 QFP에 올려놓았다.

솔더링이 완료된 시편에 대해, 납재 페이스트의 용융상태, 웨팅(wetting)상태, 솔더링부의 단면 형상, 단면조직등을 조사하였다.

### 4. 실험 결과 및 고찰

#### 4.1 적심성(Wettability)

납재(solder)의 패드상 또는 리드상에서의 적심성은 모세관 유동(capillary flow)과 함께 솔더링

(soldering) 성능을 결정하는 아주 중요한 인자이다. 따라서, 패드 상에서 페이스트납재만을 바르고 QFP100을 올리지 않고 페이스트를 레이저 빔으로 용융시켜 레이저 출력, 조사시간(scanning time)에 따른 납재의 적심성을 조사하였다.

실험 결과는 그림 3과 같이 레이저 빔의 출력과 조사시간에 따라 그 적심성이 다르다. 일반적으로 dewetting의 원인으로는 피접합재의 오염, 산화막제거 불충분, 피접합재의 가열 불충분등이 있다[14]. 본 실험에서는 솔더링전 패드를 세척하였고, 페이스트 납재중에 플럭스(flux)가 함유되어 있기 때문에, 피접합재의 오염이나 산화막제거 불충분에 의한 dewetting은 없을 것으로 판단된다. 그리고 그림 3에서 wetting과 dewetting의 영역이 나누어지는 경향을 볼 때, 빔의 조사 시간과 출력의 곱이 적을 때 dewetting이 일어나므로 입열 에너지가 부족할 때 dewetting이 발생할 수 있음을 알 수 있다.

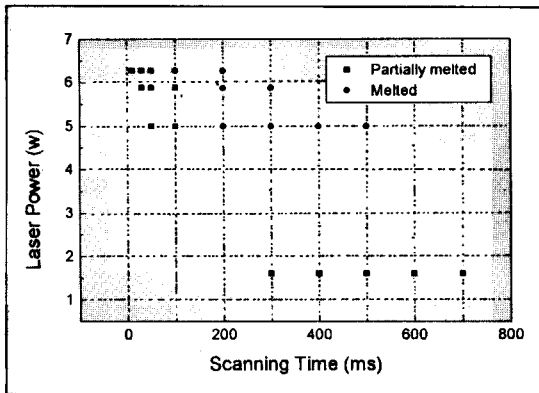


그림 3. 레이저 출력 및 조사 시간에 따른 패드 (pad) 위 Sn-37Pb solder paste 의 용융

레이저 출력 5W 및 5.9W일 때에는 200ms 이상, 6.3W일 때는 100ms 이상일때 납재는 완전히 용융되었다. 그러나 출력 1.6W의 경우 800ms까지 조사시간을 증가시켜도 납재는 완전히 용융되지 않았다. 이는 빔의 조사속도가 느려져 입사된 빔의 에너지가 패드를 따라 전도되어 손실되는 효과가 커지므로, 납재를 효율적으로 용융시키지 못하기

때문이다. 또 레이저의 출력이 조사속도에 비해 너무 클 경우에는, 페이스트가 순간적으로 가열되어 내부 잔류 휘발성 성분등이 폭발적으로 팽창하므로 주위에 솔더 볼들이 형성되어 결과가 좋지 못하다.

그림 4는 납재는 용융되었으나 피접합재(패드)가 납재의 용점(soldering 온도)이상 가열되지 않아 웨팅불량, 즉 dewetting이 일어나는 전형적인 예라고 볼 수 있다. 그림 5에서는 균일하지 못한 웨팅상태를 볼 수 있으며, 불균일한 웨팅은 부분 웨팅(partial wetting)으로 간주하였다.



그림 4. 패드(pad) 위 Sn-37Pb solder paste의 레이저 조사후 형상 (1.6W, 300ms)

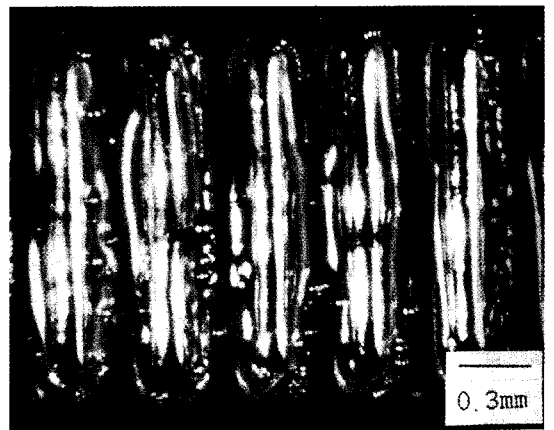


그림 5. 패드(pad) 위 Sn-37Pb solder paste의 레이저 조사후 형상 (5W, 300ms)

레이저를 이용한 솔더링(soldering)의 경우 공정 특성상, 패드 상에서 납재의 웨팅(wetting)시험을 할 때 납재가 패드보다 먼저 가열되는 것은 피할 수 없는 일이다. 다만, 리드를 세팅한 상태에서 솔더링할 때는, QFP측의 리드는 먼저 가열되어 문제가 없으나, 이 경우에도 패드는 납재보다 나중에 가열되므로 웨팅 불량률 유발할 소지가 있다. 이러한 문제점들에 대해, 페이스트 납재를 도포한 상태에서 예열을 행할 때, 패드가 사전에 충분히 예열되게 하는 등의 대처 방안을 마련해야 할 것으로 사료되나, 완전한 해결은 어려운 것으로 판단된다.

#### 4.2 리드(lead)의 솔더링

그림 6은 패드 위에 Sn-37Pb 페이스트 납재를 도포한 다음, QFP를 setting한 상태에서 리드를 레이저로 조사한 결과 사진이다.

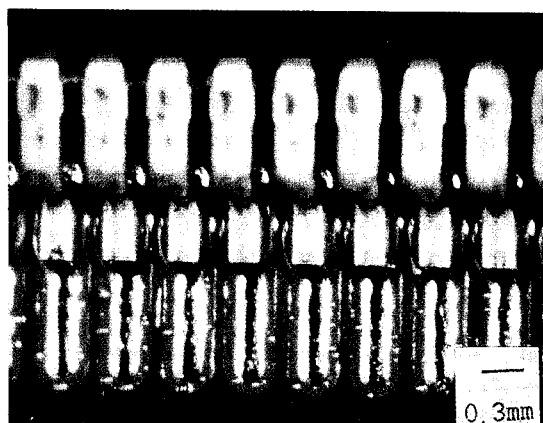


그림 6. 레이저 솔더링 접합 형상(Sn-37Pb solder paste, 5.9W, 400 ms)

그림 7은 시편에 대해 레이저 출력과 조사시간에 따른 납재의 웨팅 여부를 나타낸 것이다.

레이저 출력 5W 및 5.9W일 때 400ms 이상에서 납재는 완전히 웨팅되었다. 또, 레이저 출력 2.9W일 때 200ms 이하, 5W 및 5.9W일 때 100ms 이하에서 납재는 dewetting되었으며, 웨팅영역과 dewet-

ting영역 사이에 partial wetting영역이 존재하였다.

결국, QFP의 외관상 양호한 레이저 솔더링부를 얻기 위해서는 그림 7의 웨팅영역의 조건으로 솔더링해야 할 것이다.

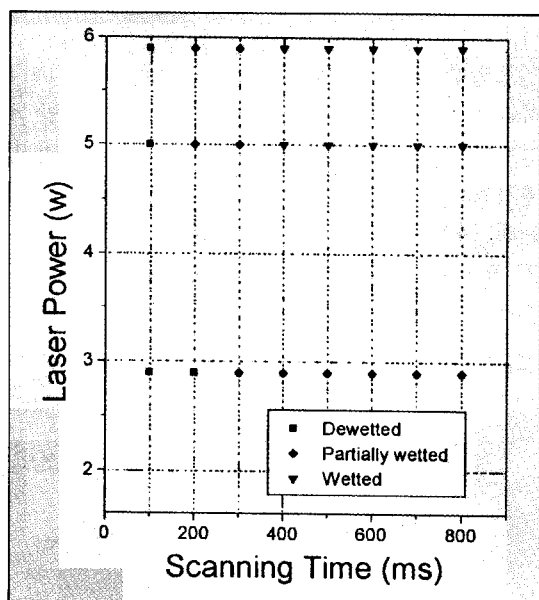


그림 7. 레이저 출력 및 조사 시간에 따른 lead/solder/pad 접합부에서의 Sn-37Pb solder paste의 웨팅(wetting)

#### 4.3 Soldering부 단면 및 계면 분석

그림 8은 Sn-37Pb 납재로 리드와 패드를 솔더링한 부분의 단면 사진을 보인 것이다. 이때 레이저 출력은 2.9W, 빔 조사시간은 700ms이다. 솔더링된 리드 선단의 외관은 약간의 부분 웨팅(partial wetting)이 보였으나, 솔더링 단면부는 만곡형의 형상을 보이며, 이것은 우수한 솔더링부의 전형적인 형상이다. 또, 접합부 단면은 기공 등의 결함이 없는 양호한 상태를 보이고 있다. 솔더링부 단면에 기공이 나타나는 시편(예: 2.9W, 400ms 및 600ms 등)도 있었으나, 레이저 출력 또는 조사시간과 뚜렷한 관련을 찾기는 어려웠다. 솔더링부의 기공과 같은 결함은 접합부 신뢰성에 큰 영향

을 미치므로 추후 이에 관한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

그림 9는 Sn-37Pb를 납재로 사용한 경우, 레이저 출력은 3~5.9W범위에서 변화시키고, 빔 조사 시간을 100~800ms 사이에서 변화시킬 때, 리드쪽 접합계면에서의 솔더링부 길이변화를 보인 것이다.

동일한 조사시간일 때 레이저 출력이 증가됨에 따라 솔더링부의 길이가 대체로 증가됨을 알 수 있다. 이러한 경향은 레이저 출력 증가에 따라 납재가 리드부에 웨팅되는 정도가 증가함을 의미하는데, 웨팅증가의 원인은 레이저 출력 증가에 따른 입열량의 증가로 납재의 유동이나 웨팅성이 증가된 때문인 것으로 사료된다.



그림 8. 솔더링(soldering) 접합 부위의 단면 (2.9W, 700ms, Sn-37Pb solder)

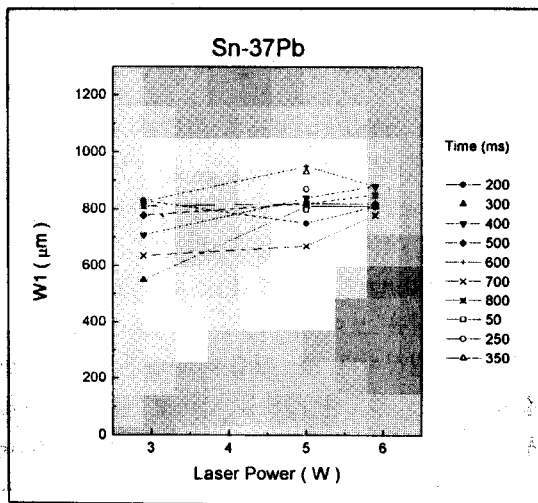


그림 9. 레이저 출력 및 조사시간에 따른 리드(lead)의 솔더링 접합 길이

## 5. 결론

레이저 솔더링 실험을 위해 레이저빔을 원하는 위치로 전송하고 출력을 필요에 따라 on/off 변조(modulation)할 수 있는 시스템을 구성하였으며 이를 이용하여 레이저 솔더링 실험을 수행하였다.

Sn-37Pb 및 Sn-3.5Ag 페이스트를 납재로 사용하여 QFP(Quad Flat Package) 리드(lead)를 Nd:YAG 레이저로 솔더링(soldering)한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Sn-37Pb를 납재로 사용하고 레이저 출력이 5W, 5.9W인 경우, 레이저 빔 조사시간을 각각 400ms이상으로 하였을 때 납재는 웨팅되었으며, 리드와 패드간에 만곡형의 양호한 솔더링 접합부의 외관을 얻을 수 있었다.

레이저 빔의 조사 속도가 출력에 비해 너무 느린 경우 패드를 따라 손실되는 에너지의 효과가 커지기 때문에 솔더를 효율적으로 용융시키지 못한다. 그리고 조사 속도에 비해 빔 출력이 큰 경우 국부가열에 의해 페이스트내의 휘발성 성분등이[1] 폭발적으로 팽창하므로 주위에 솔더볼이 튀어 결과가 좋지 않다. 따라서 좋은 레이저 솔더링 결과를 얻기 위해서 적정 출력과 적정 조사 속도가 필요하다.

실제 생산라인의 적용을 위해서는 레이저 솔더링 속도의 개선이 필요하다. 일본의 경우에는 솔더 페이스트의 사용대신 솔더를 리드와 패드에 도금한후 레이저를 이용하여 빠르게 레이저 솔더링 작업을 하였다는 보고가[9] 있으며 이에 대한 검토와 연구가 필요하다.

## 참고 문헌

1. R. P. Prasad, *Surface Mount Technology Principles and Practice*, Van Nostrand Reinhold, New Yourk, (1989)
2. M. Totani et, al., "Design of 0.35mm pitch QFP lead and its assembly technology",

- IEEE Trans. on Compo., pack., and manu. tech.-B, 18(1995), 3, p.456
3. P. Jain, "296 lead fine pitch (0.4mm) thin plastic QFP package with TAB interconnect", IEEE Trans. on Compo., pack., and manu. tech.-B, 18(1995), 3, p.463
  4. 임형철, 장석원, "리플로 납땜에서 플라스틱 패키지의 신뢰성", 대한기계학회지, 제 36권, 제 10호, p. 921, (1996)
  5. D. U. Chang, "An analytical model for laser reflow soldering of an electronic component", Weld. J., (1987), 11
  6. T. J. Glynn et. al., "Reflow soldering of fine-pitch devices using a Nd:YAG laser", SPIE Vol. 1598. Lasers in microelectronic manufacturing (1991), p. 200
  7. A. Adachi et. al., "Fluxless soldering with laser for assembly of TCP", ICALEO(1995), p. 35
  8. P. Spletter, "Gold-to-Gold TAB ILB with a Laser", IEEE Trans. on Compo., pack., and manu. tech.-B, 17(1994), 4, p554
  9. 村上, 星之内, "TCP實裝用 レーザはんだ付技術", 日本溶接學會紙, 63 (1994), 3, p. 190
  10. *User manual for XY scan head series*, General Scanning Inc. 1991
  11. *Reference manual for XY scan head series*, General Scanning Inc. 1991
  12. J. R. Weisz, "Software calibration of scan system distortions", SPIE vol. 1454, p. 265, (1991)
  13. J. S. Ehrmann, "Optics for vector scanning", SPIE vol. 1454, p. 245, (1991)
  14. 高塩외, 實用セラミックス接合とはイテクロウ付, S.G.C., (1987)