

研究論文

저잔사 플럭스를 사용한 플로우 솔더링부의 젖음성 및 결함거동에 관한 연구

최명기*·이창열*·정재필**·서창제*·신영의***

A Study on Wettability and Defects Behavior of Flow-soldered Joint using Low Residue Flux

M. K. Choi*, C. Y. Lee*, J. P. Jung**, C. J. Shur* and Y. E. Shin***

Key words : Low residue flux(저잔사 플럭스), Wettability test(젖음성 시험), Preheating temperature(예열온도), Conveyor speed(이송속도), Wetting time(젖음시간), Wetting force(젖음력), Defect behavior (결함거동), Icicle defect(고드름 결함), Bridge defect(브릿지 결함)

Abstract

Effects of non-cleaning and cleaning fluxes on the wetting properties and defects at flow soldered joints were investigated.

Non-cleaning flux (R-type of 3.3%solid content) and cleaning flux (RMA-type of 15%solid content) were used. Wetting test was accomplished by wetting balance method with changing surface state of wetting specimen, Cu. Sn-37wt%Pb solder was used for wetting test and flow soldering.

As experimental results, the wetting time for vertical force from the surface tension being zero was mainly affected by surface state of the wetting specimen. Non-cleaning flux had a good wettability compared with cleaning flux. In case of non-cleaning flux, conveyor speed had a great affection to defects of bridge, icicle, and poor solder.

※ 1998년 8월 29일 접수

* 정희원, 성균관대학교 금속/재료공학부

** 정희원, 서울시립대학교 재료공학과

*** 정희원, 중앙대학교 기계설계공학과

1. 서 론

전자 부품의 솔더링(soldering)은 접합 대상부의 형상 및 치수가 미세·미소하기 때문에 접합속도가 빠르고 접합공정의 작은 변수들이 접합부의 특성에 영향을 미친다. 최근에는 전자기기의 소형화, 경량화, 고기능화 추세에 따라 반도체 및 전자 부품의 제조·실장기술이 고밀도화, 미세화로 급속히 진행되고 있으며, 이에 대응하는 솔더링 기술개발이 절실히 요구되고 있다.¹⁾

플로우 솔더링(flow soldering)은 텔레비전, 비디오 등의 가전 제품에서 PCB(Printed Circuit Board) 기판과 소자 접속으로 가장 널리 사용되고 있으며, 반도체 및 전자부품의 제조 공정에 있어서 매우 중요한 접합공정이다.^{2,3)} 국내에서 플로우 솔더링은 그 활용도와 역할이 지대함에도 불구하고, 이에 관한 기초연구는 미진한 것이 현실이다.^{4,5)}

일반적으로, 솔더링(soldering)공정은 접합하고자 하는 재료표면의 산화피막을 제거하여 접합성을 좋게 하기 위해서 플럭스(flux)를 사용하며, 솔더링 후 플럭스의 잔류물(잔사)이 남으면 신뢰성에 나쁜 영향을 주게되므로 이를 제거해야 한다.^{6,7)} 이러한 잔사를 제거하기 위해 세정제로서 사용해진 CFC(Chloro Fluoro Carbon)가 지구의 오존층을 파괴하는 환경문제를 야기시키므로, 고형분이 적게 함유되어 있고 활성력이 약한 저잔사 플럭스를 사용하여 솔더링 후 세정을 필요로 하지 않는 무세정 솔더링 기술에 대한 연구가 현재 활발히 진행되고 있다.⁸⁻¹¹⁾

따라서, 본 연구는 세정이 필요한 플럭스와 무세정 저잔사 플럭스를 사용하여, 플로우 솔더링부의 젖음성 실험(wettability test)를 실시하고, 이를 통하여 솔더 접합부의 특성을 조사 검토하였다. 또한, 이를 기초로 하여 솔더 접합부에 크게 영향을 미치는 것으로 사료되는 예열온도(preheating temperature) 및 이송속도(conveyor speed)의 변화에 따른 접합부의 결합거동을 연구하였다.

2. 실험방법

2.1 젖음성 실험(Wettability test)

본 실험에 사용한 플럭스는 세정을 요구하는 것(플럭스 A)과 세정을 요구하지 않는 것-무세정용

저잔사 플럭스(플럭스 B)-의 두 종류를 사용하였다. 플럭스 A는 고형분이 15%이고, 플럭스 B는 고형분이 3.3%인 저잔사계이다. 이것을 사용하여 젖음성 실험을 행하였으며, 실험에 사용된 플럭스의 물성은 Table 1과 같다.

Table 1 Physical properties of flux

Type	Specific gravity (25℃)	Solid content (%)	Cleaning method
Flux A	0.814	15%	Solvent/Semialqueous
Flux B	0.794	3.3%	No clean

젖음성 측정용 시편은 Cu박판을 IPC(The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits Standard)-TM-650규격에 따라 60×25×0.5t(mm) 크기로 제작하였다. 시편의 표면상태 변화에 따라 젖음성 평가를 위해 ① 사포 #400으로 연마한 시편(Cu(polished)), ② 연마하지 않은 시편(Cu(non-polished)), ③ 산화시킨 시편(Cu(oxidized)), ④ Sn-37wt%Pb솔더를 도금[Cu(Sn-Pb plated)]한 시편을 준비하였다. 준비된 시편은 표면을 이소프로필알코올(IPA)로 세척한 후 젖음성 실험을 행하였다. 측정방법은 메니스코프법(meniscograph method)을 이용하였다.¹²⁻¹⁴⁾ 본 실험에 이용한 메니스코프법의 개략도와 젖음곡선(wetting curve)을 각각 Fig. 1 과 Fig. 2에 나타내고 있다.

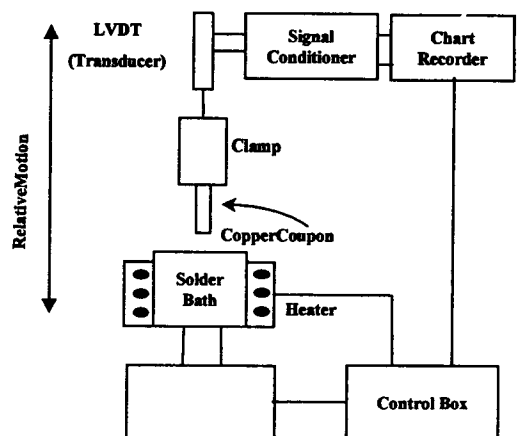


Fig. 1 Schematic illustration of Meniscograph method apparatus

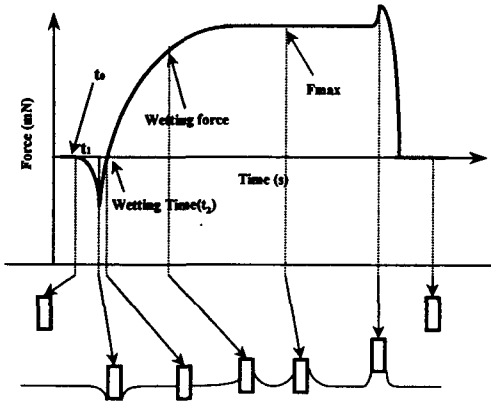


Fig. 2 Wetting balance curve

젖음성 실험조건은 Table 2에 나타낸 바와 같다. 즉, 솔더 (solder)는 Sn-37wt%Pb공정합금을 사용했고, 납조의 온도는 516K, 침적시간은 5초c, 침적깊이는 2mm, 침적속도는 10mm/초로 하여, 젖음시간 (t_w)과 최대젖음력 (F_{max}) 등을 측정하였다.

Table 2. The experiment conditions for wetting test

Solder	Sn-37wt%Pb
Temperature of solder bath	516K
Immersion time	5sec
Immersion depth	2mm
Immersion speed	10mm/s
Sensor	20mN

2.2 솔더링 실험

2.2.1 사용재료 및 솔더링 장비

본 실험에서 솔더는, Sn-37wt%Pb공정 합금(용융점 456K)을 사용하였다. 기판은 에폭시 계열의 FR-4를 사용하였고, 리드는 Cu에 Sn이 도금된 것이다. 기판(PCB) 홀(hole)의 직경은 1.0mm, 리드의 직경은 0.65mm로 하였다. 솔더링전 기판과 리드는 알코올로 세정하고 건조하였다. 실험에 사용한 플럭스는 젖음성 실험과 동일한 고형분이 15% 포함된 세정용 플럭스 A와 고형분이 3.3%인 무세정용 저잔사 플럭스 B를 사용하였다.

본 실험에 사용한 플로우 솔더링 장비(flow soldering machine)의 정면도와 일괄적인 솔더링 공정도를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다.

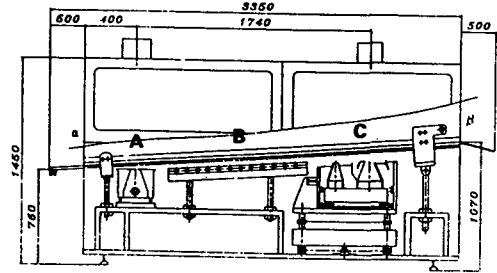


Fig. 3 Configuration of flow soldering machine

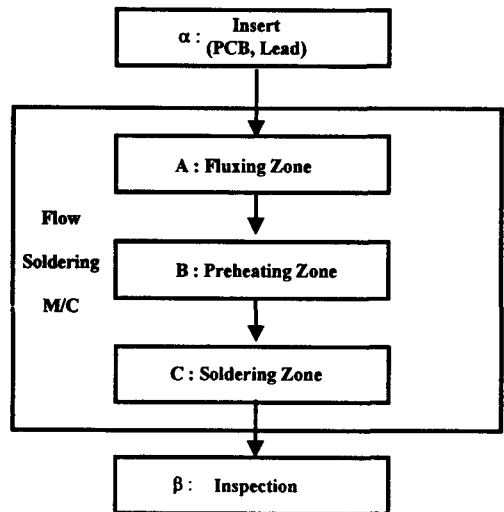


Fig. 4 Flow chart for flow soldering process

2.2.2 솔더링조건

플로우 솔더링 조건은 솔더 접합부의 결합에 큰 영향을 준다고 사료되는 기관의 이송속도 (conveyor speed)와 예열온도 (preheating temperature)를 접합변수로 하였다.¹⁵⁾(Table 3 참조) 즉 이송속도는 0.3m/min~2.0m/min범위에서, 예열온도는 323~413K범위에서 변화시켰다. 그리고 납조의 온도는 523K, 레일각도는 5°, 웨이브 높이는 8mm로 고정시켜 플로우 솔더링을 실시하였다.

2.3 솔더접합부의 외관 및 결합검사

솔더 접합부의 외관 및 결합검사는 기관과 리드에 형성된 필렛 (fillet)의 형상을 보고 판단하는 육안 검사방법을 행하였다. 육안 검사기준은 다음과 같

Table 3. The experiment conditions for flow soldering machine

Solder	Sn-37wt%Pb
Temperature of solder bath	523K
Rail angle	5°
Wave height	8mm
Conveyor speed	0.3~2.0m/min
Preheating temperature	323~413K

다. 과납 결함(excess solder defect)은 필렛각도가 45°이상, 미납 결함(poor solder defect)인 경우는 필렛각도가 15°이하 일 때를 기준으로 하였다.¹⁶⁾

고드름 결함(icicle defect)과 브리지 결함(bridge defect)은 그 형상을 육안으로 보고 쉽게 판정 할 수 있다.

3 실험결과 및 고찰

3.1 젖음성 시험

3.1.1 젖음시간(t_w)

젖음시간(t_w)은 납조의 용융솔더가 시편상에 적셔지면서, 시편과 접한 솔더표면이 수평으로 되는 시간을 말한다.¹⁷⁾ 이점은 부력과 용융 솔더의 표면장력이 평형상태가 되는 것으로 젖음성을 결정하는 중요한 포인트중의 하나이다.

Cu시편의 표면상태에 따라, 세정을 요하는 플럭스 A와 세정을 요하지 않는 저잔사 플럭스 B에 대하여 얻어진 젖음성 시험결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내고 있다.

Fig. 5에서, Cu시편의 표면에 Sn-37wt%Pb로 도금한 것과 사포#400으로 연마한 시편의 젖음시간(t_w)이 0.3, 0.5초 정도로 매우 양호함을 보여 주고 있다. 그러나 표면을 연마하지 않은 시편과 산화시킨 시편은 젖음시간(t_w)이 약 1.5, 2초로 상대적으로 늦게 젖음(wetting)이 일어나는 것을 알 수 있다.

표면을 연마한 시편의 경우, 표면의 산화피막이 제거되고, 미세한 연마선이 모세관으로 작용하여 젖음성의 향상을 가져온 것으로 사료된다. Sn-37wt%Pb도금 시편의 경우는 용융솔더와 도금된 솔더가 동일재료이기 때문에 친화력으로 쉽게 적

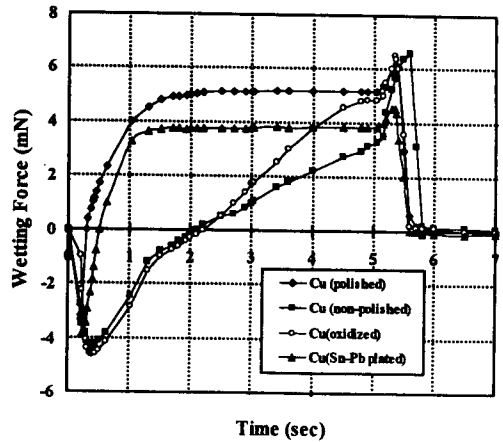


Fig. 5 Wetting balance curve by meniscograph method (Flux A)

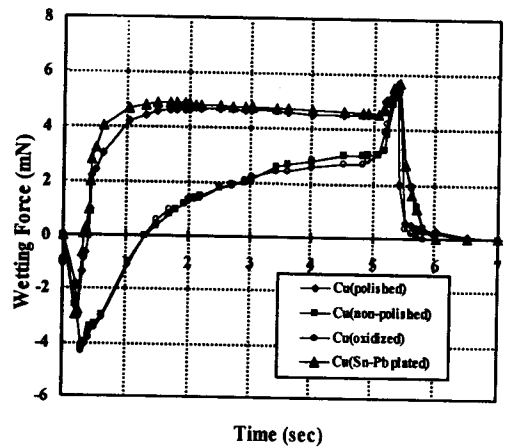


Fig. 6 Wetting balance curve by meniscograph method (Flux B)

셔져서 젖음시간이 빨라졌다고 사료된다. 플로우 솔더링시 기관상의 부품과 용융된 솔더가 접촉되는 시간은 보통 2~4초이다.¹⁷⁾ 이보다 접촉시간이 길어지면 전자부품이 열손상을 받기 쉽고, 짧아지면 접합시간이 불충분하다. 2~4초의 접촉시간 동안 용융된 솔더는 리드와 기관상의 패턴을 적시고, 모세관 현상으로 기관의 홀(hole)로 완전히 빨려 올라가야 하며, 불필요한 솔더는 브리지(bridge)나 고드름(icicle)을 일으키지 않게 납조로 되돌아 와야 한다. 따라서, 짧은 시간에 솔더가 리드등 접합 예정부에 적셔져야 하는데, 본 연구 결

과중, 표면을 연마한 Cu시편과 Sn-37wt%Pb도금 시편은 젖음시간이 0.5초 이내로 적절한 젖음성을 가졌다고 볼 수 있다. 반면 Cu시편 표면이 산화되었거나 연마하지 않은 시편은 젖음시간에만 2초가 소요되어 너무 늦고, 젖음력의 증가정도도 느리므로 양호한 솔더 접합부를 얻기에는 부적절한 것임을 알 수 있었다.

Fig. 6은, 세정을 요구하지 않는 저잔사 플럭스 B에 대하여 얻어진 젖음성 실험결과이다. 전체적으로는 세정용 플럭스 A와 유사하나, 플럭스 A에 비해 젖음시간(t_w)이 약간 길고, 젖음력(wetting force)의 지속성이 미소하게 감소함을 알 수 있었다. 이것은 세정용 플럭스 A에 비해 플럭스 B가 저잔사로서 고형분이 매우 적기 때문이라고 사료된다.

Fig. 7은, Cu시편 표면상태에 따른 젖음시간(t_w)을 플럭스 A, B에 대하여 나타낸 것이다. 젖음시간(t_w)은 결국 플럭스(flux) 보다 모재의 표면상태에 더욱 의존하고, 무세정용 저잔사 플럭스도 양호한 젖음시간을 가지고 있음을 본 연구 결과로 확인할 수 있다.

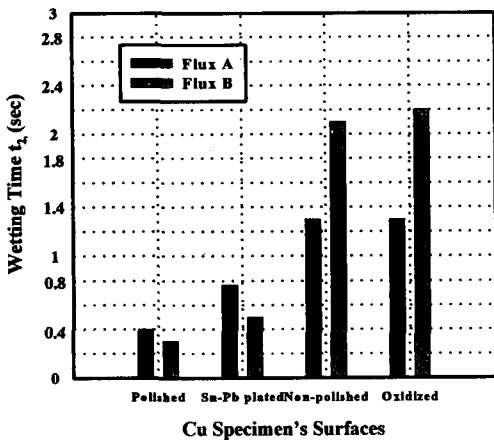


Fig. 7 Relationship between wetting time and Cu specimen's surfaces

3. 1. 2 최대 젖음력 (Fmax)

Photo 1은 젖음성 시험시, 세정용 플럭스와 무세정용 저잔사 플럭스를 사용하여, 표면 상태가 각각 다른 Cu시편을 솔더에 침적 시켰을 때, 시편을 타고 올라간 솔더의 높이를 촬영한 것이다. Sn-37wt%Pb로 도금한 Cu시편이 솔더가 가장 높이 올

라갔고, 연마한 Cu시편, 연마하지 않은 Cu시편, 산화 시킨 Cu시편 순으로 점차 작게 올라갔다. 이것을 이용하여, 최대 젖음력(Fmax)과 솔더가 올라간 높이(H(mm))와의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. 이것으로부터, 결국 최대 젖음력(Fmax)이 증가할수록 솔더가 타고 올라간 높이(H(mm))도 증가하는 결과를 얻었다.

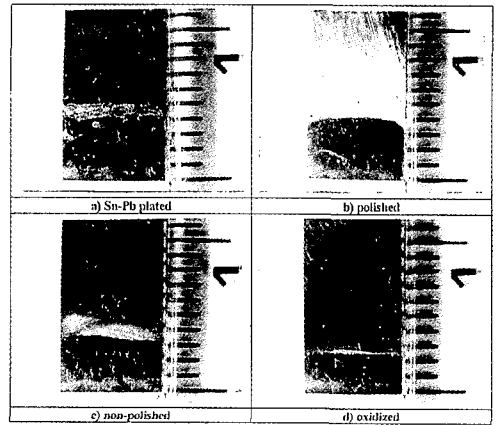


Photo 1 Micrograph of specimen surfaces wetted by Sn-Pb (63-37wt%)

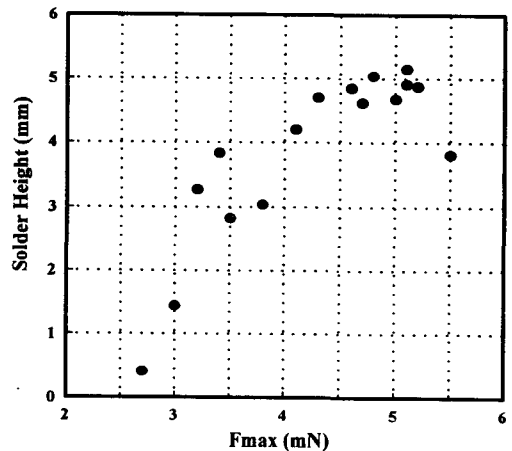


Fig. 8 Effect of base metal on Fmax

3. 2 솔더링부의 결합

3. 2. 1 솔더링부의 결합형상

Photo 2는 본 실험에서 얻은 솔더 접합부의 필렛형

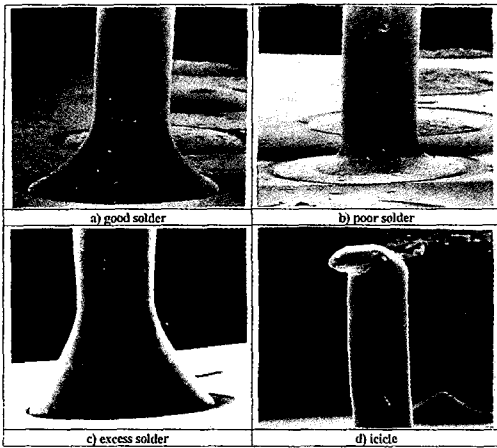


Photo 2 SEM of defects in soldering process

상과 각종 결함에 대한 것을 주사전자현미경(SEM)으로 촬영한 사진이다. Photo 2.a는 양호한 필렛형상이다. Photo 2.b는 미납결함(poor solder defect), Photo 2.c는 과납결함(excess solder defect), Photo 2.d는 고드름결함(icicle defect)을 보인 것이다. 각 결함에 대하여는 아래에 상술한다.

3. 2. 2 고드름 결함(Icicle defect)

고드름 결함(icicle defect)은 일반적으로, 리드가 납조에서 이탈되는 순간 솔더가 산화되어 생기는 결함으로서, 솔더 필렛(solder fillet)을 형성시키는 솔더의 표면장력보다 기판과 솔더웨이브의 상대가속도 차이가 주는 힘이 더 크게 될 때 생긴다.¹⁸⁾

Fig. 9는 세정용 플럭스 A에 대하여 이송속도와 고드름 결함과의 관계를 나타낸 것으로, 고드름 결함은 이송속도가 0.3m/min에서 1.0m/min으로 될 때까지 점점 작아져서 이송속도가 1.0m/min에서 가장 적게 발생하였으며, 이송속도가 1.0m/min이상으로 증가할 때 고드름 결함은 다시 점점 많아졌다. 그 원인으로 이송속도가 1.0m/min이하일 경우, 이송속도가 너무 느려서 플럭스 열화현상이 발생하여 플럭스가 제 기능을 발휘하지 못했고, 반대로 이송속도 1.0m/min 이상에서는 이송속도가 너무 빨라져서 플럭스가 정상적으로 기능을 발휘할 수 있는 활성화온도의 부족이 생긴 것으로 보인다. 그 결과, 기판이 납조에 들어가서 솔더링 될 때, 즉 솔더가 납조에서 이탈되는 순간 플럭스의 산화물 제거 능력 부족으로 솔더가 산화되어 리드 끝

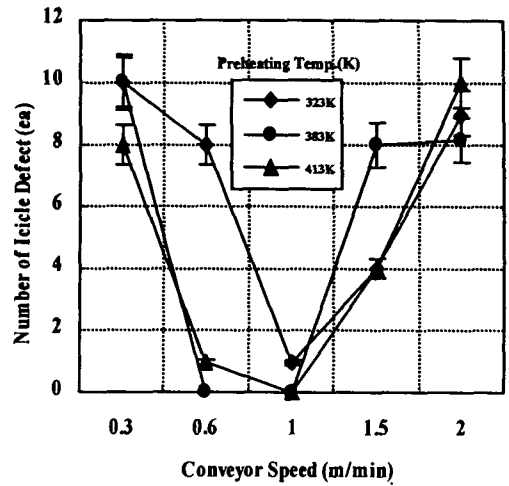


Fig. 9 Relationship between conveyor speed and icicle defect (flux A)

부위에 고드름 결함이 발생되었다고 사료된다.

Fig. 10은 무세정용 저장사 플럭스 B에 대하여 이송속도와 고드름 결함과의 관계를 나타낸 것이다. 이송속도가 0.3m/min에서 2.0m/min로 증가함에 따라 고드름 결함은 점차 감소하였으며, 특히 세정용 플럭스에 비해 이송속도 1.0m/min 이상에서는 고드름 결함이 발생하지 않았다. 결국 본 연구에서, 고드름 결함은 예열 온도보다는 이

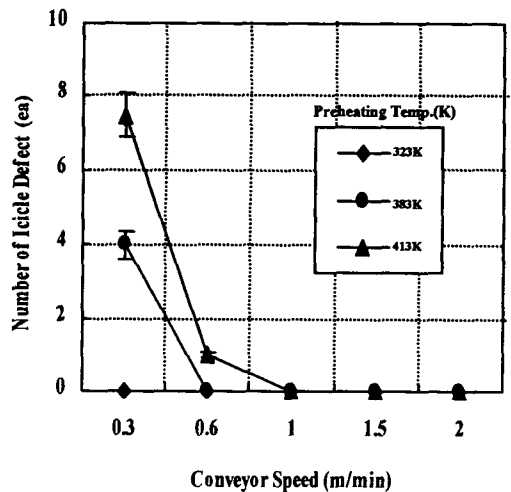


Fig. 10 Relationship between conveyor speed and icicle defect (flux B)

이송속도에 좌우되며, 세정용 플럭스 A에서는 이송속도가 1.0m/min에서 가장 적게 발생하였으며, 무세정 저잔사 플럭스 B에서는 0.6m/min이상에서 가장 적게 발생함을 확인할 수 있었다.

3.2.3 미납 결합(Poor solder defect)

미납 결합(poor solder defect)은 Photo 2. b에서 보여주는 것처럼 솔더의 젖음력(wetting force)이 약해서 완전한 필렛(fillet)을 형성하지 못한 경우에 발생한다.¹⁹⁾

특히, 기판에 고전류가 흐르는 제품이나 내진성(자동차 전장품) 또는 내습성이 요구되는 기판 즉, 고신뢰성 제품을 제조하는데 있어서 미납결합의 방지는 아주 중요한 문제라고 할수 있다.²⁰⁾

Fig. 11은, 세정용 플럭스 A에 대해서 이송속도와 미납결합과의 관계를 나타낸 것이다. 미납결합은 1.0m/min로 될 때 상대적으로 적게 발생하였다.

Fig. 12는, 무세정용 저잔사 플럭스 B에 대하여 이송속도와 미납결합과의 관계를 나타낸 것이다. 앞의 세정용 플럭스와 달리, 이송속도와 예열온도의 영향을 크게 받지 않고 미납결합이 그다지 발생하지 않았다.

이송속도 및 예열 온도 변화에 따른 미납결합의 변화 원인은 명확히 밝히지 못하였다. 이에 관해서는 금후, 보다 깊이 있는 연구가 필요하다. 다만, 플로우 솔더링시 리드에 부착된 상대적으로 저온의 솔더가 고온의 납조로 흐르는 현상이 있

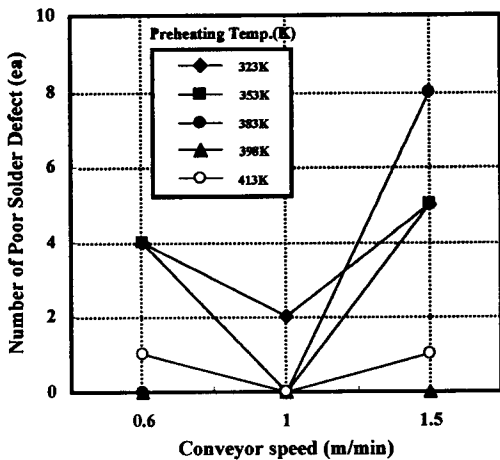


Fig. 11 Relationship between conveyor speed and poor solder defect (flux A)

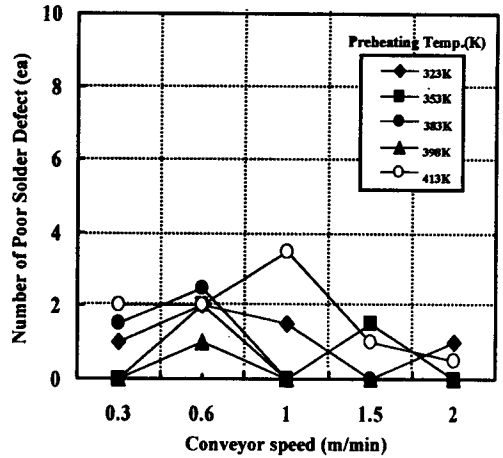


Fig. 12 Relationship between conveyor speed and poor solder defect (flux B)

며, 이 현상이 심할 경우 리드 중의 솔더 부착량이 점점 감소되어 미납결합이 생성 될 수 있다는 보고가 있다.^{20, 21)}

3.2.4 브리지 결함(bridge defect)

Fig. 13은 무세정용 저잔사 플럭스에 대하여 기판의 이송속도(conveyor speed)와 브리지 결함(bridge defect)과의 관계를 나타낸 것이다. 브리지 결함은 이송속도가 0.3m/min에서 2.0m/min으로 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 예열온도

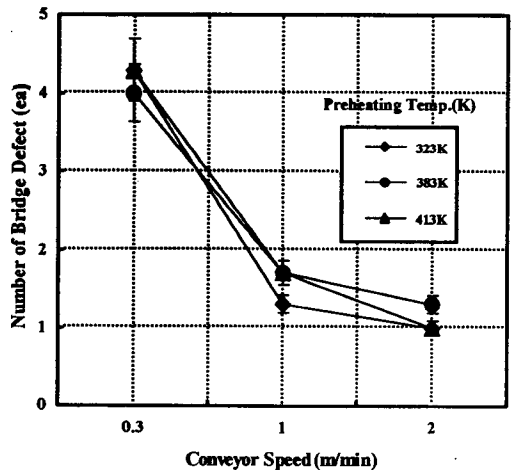


Fig. 13 Relationship between conveyor speed and bridge defect (flux B)

(preheating temperature)에는 거의 영향을 받지 않았다. 이송속도 증가에 따라 브리지 결함이 감소하는 원인은 다음과 같은 것으로 사료된다. 즉, 이송속도가 증가하며 브리지가 고드름화 하기 때문에 브리지 결함이 감소되는 하나의 원인이 된다.¹⁸⁾ 또 다른 원인으로서는 기판이 용융솔더와 접촉되는 순간 강한 솔더 웨이브(wave)에 의해 플럭스의 고형분이 쓸려 내려간다. 이로 인해 리드 및 기판에 필렛을 형성시키는데 필요한 플럭스량이 부족하여 브리지 결함이 발생하기 쉽다.

Fig. 13의 경우, 이송속도가 빠르면 기판(PCB)이 웨이브(wave)에 닿는 시간이 감소하게 되므로 그만큼 플럭스가 쓸려 내려가는 시간이 짧아져서 브리지 결함이 감소될 수 있다고 사료된다. 그러나, 이송속도가 빨라지면 웨이브가 기판에 부딪히는 충격에너지는 그만큼 커지게 되는데, 이것이 브리지 결함에 미치는 영향을 명확히 밝히지 못하였다.

4. 결 론

세정용 플럭스 A와 무세정용 저잔사 플럭스 B를 사용하여 젖음성 실험을 행하고, 예열온도, 기판의 이송속도를 접합변수로 하여 플로우 솔더링부의 결함거동을 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 젖음성 시험(wettability test) 결과, 젖음시간(t_w)은 표면을 연마한 Cu시편과 Sn-37wt%Pb로 도금한 시편의 경우, 0.3~0.5초 정도로 매우 양호한 젖음시간을 보였으며, 표면을 연마하지 않은 시편과 산화시킨 시편은 약 1.5~2초로 부적절한 젖음시간이 관찰되었다. 젖음시간은 플럭스보다 모재(Cu시편)의 표면상태에 더욱 의존하고, 무세정용 저잔사 플럭스도 양호한 젖음시간을 가지고 있음이 확인되었다.

2. 젖음 곡선의 최대 젖음력(Fmax)이 증가함에 따라 솔더가 시편을 적시며 올라간 높이[H(mm)]도 증가하는 경향을 보였다.

3. 고드름 결함(ice defect)은 기판의 이송속도에 많은 영향을 받았다. 세정용 플럭스의 경우 이송속도가 1.0m/min일 때 고드름 결함이 가장 적게 발생하였으며, 무세정용 플럭스의 경우 이송속도 1.0~2.0m/min에서 고드름 결함이 발생하지 않았다.

4. 브릿지 결함(bridge defect)은 기판의 이송속도가 0.3m/min에서 2.0m/min으로 증가할수록 현저히 감소되는 경향을 보였고, 예열온도의 영향은 미소하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지원으로 (주)일특엔지니어링과 함께 수행한 공업기반 기술사업의 연구 결과중 일부임을 밝힌다.

참 고 문 헌

- 황선효, 서창제, 정재필, 신영의, N₂ 무세정 wave soldering system 개발, 통상산업부 연구보고서, (1997)
- Pault T. Vianco, The Present Triumphs and Future Problems with Wave Soldering, Welding Journal, 10 (1993) pp. 39-44
- D. A. Elliott, Wave Soldering Concerns for Surface Mount Assemblies, Circuit world Vol. 15 No. 4, (1989) pp. 25-27
- 최명기, 서창제, 정재필, 신영의, Solder 접합부의 결함거동 및 접합부의 특성에 관한 연구 추 계용접학회발표논문, (1997)
- 장인철, 저잔사 플럭스를 사용한 웨이브 솔더링에 관한 연구, 중앙대 석사학위 논문, (1997)
- 宮田 修: 脱フロン化をめざすんだ付技術, 溶接學會誌, 第62卷, (1993), 第7號, pp. 535-538
- 藤堂安人: 脱フロン, ファインピッチへ突き進む, 實裝技術, 日經ニューマテリアル, (1992). 5. 1 1, pp. 12-24
- 濱井和雄: フロン洗淨の技術を比較, 水洗淨と無洗淨が有望, 日經エレクトロニクス, (1991). 12, PP 62-68
- 川勝一付: 無洗淨はんだ付技術の現況とクリーンソルダリング, 電子材料, (1991). 12, pp. 62-68
- 川口尙文 他: 對應は早まる一方ね, 基板の無洗淨比フロンレス洗淨, 表面實裝技術,

- (1992). 3, pp. 1-46
11. 田一彦 他 : 基板の無洗淨比/フロンレス洗淨の實用化と導入効果を深る, 表面實裝技術, (1993). 5, pp. 1-48
 12. 標準マイクロソルダリグ技術, 日刊工業新聞社, pp. 96-105
 13. Kwoka, M. A. Mullenix, P. D : The asosiation of solderability testing with board level soldering performance automatic optical inspection, 40th Electronic Components and Technolgy Confernce New York, IEEE, (1990), pp. 498-500
 14. 川口黃之補, 小嶋光夫, 前園明一, 長居 浩 : ハング付け 濡れ速度實驗機の研究開發, までりあ, 第 34 卷, 第 4 號, (1995), pp. 498-500
 15. The edit depart, The trend of Technolgy in non cleaning soldering, The Electronic Parts & Components Monthly, (1993), pp. 152-155
 16. 佐左木 : はんだ付性の評價法と實驗裝置ジョイテック, (1990), pp. 34-42
 17. 日本溶接學會 : 標準マイクロソルダリこづ技術, 日刊工業新聞社, 1992, p. 24
 18. Keeler. R : Defects in Wave Soldered through-hole-connections, Elect. Pack. and Prod., (1990). July, p. 52
 19. 木村昌博, フィレットアップフローソルダリングマシン : Fillet up Flow Soldering Machine, 3rd Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics (1997). 7, pp. 231-236
 20. 竹本正 : はんだ付, 第1回, 溶接技術, (1988). 8, pp. 100-108
 21. 竹本正 : はんだ付, 第2回, 溶接技術, (1988). 9, pp. 116-123