

## No-Clean Process의 최근동향 (III)

노 경 호

한국과학기술연구원 CFC 대체기술센터/박사

### 7. 무세정공정에 사용되는 물질의 조건

무세정공정을 평가하기 위해서는 사용되는 물질과 공정의 조건을 검토해야 한다. 물질에 대한 평가는 flux 또는 paste에 대한 적합성 여부를 판단하는 것 뿐만 아니라 납땜 접합부의 상태, 신뢰성, solder mask와의 반응성, 부식성, 외관 등의 여러가지 요소 등을 종합적으로 고려해야 한다. 공정에 대한 평가는 납땜후의 기판을 검사하여 알 수 있다.

#### 1) 물질의 선정

무세정 공정에 대한 분석은 사용되는 flux 또는 paste를 검사하는 것이 가장 기본이다. 예비검사로서 문제가 되는 flux와 solder paste가 부품의 납땜에 잘되도록 하는 것을 우선 결정하는 것이다. 따라서 가능성이 적은 물질들은 사전에 예비검사에 의하여 탈락시켜서 이후의 검사의 횟수를 줄이게 된다. 물질선정의 다음 단계는 flux, paste 또는 잔사가 PCB에 미치는 영향을 알아보기 위해서 여러 가지 표준방법을 시행한다. 적합하지 않은 물질을 골라내기 위해

서 다양한 시험방법이 동원된다.

시험방법과 결과는 적용되는 분야에 따라서 달라지게 된다. 그러

**물질에 대한 평가는 flux 또는 paste에 대한 적합성 여부를 판단하는 것 뿐만 아니라 납땜 접합부의 상태, 신뢰성, solder mask와의 반응성, 부식성, 외관 등의 여러가지 요소 등을 종합적으로 고려해야 한다.**

나 다음의 다섯가지는 품질검사를 위해서 가장 기본적으로 검사해야 한다.

- Copper mirror test
- Silver chromate
- 부식 검사
- 표면절연저항(SIR)
- Electromigration
- Flux 또는 paste가 우수한 성질을 갖기 위해서는 위의 각 시험방법에서 우수한 결과를 갖고 있어야 한다.

#### (1) Copper mirror test

이 방법은 단기간 flux의 부식성을 알아보기 위한 방법이다. 특

히 flux에 의하여 구리가 제거된 수준을 결정하는데 이용된다. 실험이 끝나게 되면 도포되지 않는 유리판과 비교하여 flux가 구리판의 부식을 어느 정도 야기시키는가를 알 수 있다. 시험판에 구리가 완전히 제거되면 이 flux는 사용하지 못하게 되어 불합격이 된다.

#### (2) Silver chromate

이 방법은 flux내에 halide(염소 또는 브로마이드)의 존재를 결정하는 방법이다. 시험 결과의 판정은 육안으로 색상변화가 있는지를 관찰하게 된다. halide가 있게 되면 색상이 흰색 또는 노랑색이던 흰색으로 변하게 된다.

#### (3) 부식검사

이 검사는 납땜후 공정에 남아 있는 flux 잔사의 부식성을 결정하기 위한 시험 방법이다. 위의 두가지 시험방법은 flux 그 자체의 화학적 특성을 평가하는 것이고 부식성 검사는 납땜후에 남아 있는 flux 잔사가 부식에 미치는 영향을 보는 것이다. 가혹한 온도와 습도 조건하에서 flux 잔사의 부식성을 평가하는데 유용하다. 실험결과를 분석하기 위해서 20배율로 확대하여 관찰한다. 녹색색으로 변색되면 부식이 생긴 것이다. 그러나 이외

의 색깔은 반드시 부식을 의미하지는 않는다.

#### (4) 표면절연저항

표면절연저항은 flux 또는 paste의 장시간의 전기적인 신뢰도를 결정하기 위해서 측정한다. 실험결과 값을 기준 값과 비교하여 너무 낮은 SIR 값은 장시간 사용하면 short에 의한 회로에 이상이 생길 수 있다는 것을 의미한다. IPC에서는 85℃와 85% 상대습도의 조건에서 1, 4, 7일 동안 절연저항을 측정하였고 4, 7일 동안 측정된 값을 비교하였다. Bellcore 시험에서는 35℃와 90% 상대습도의 조건에서 1, 4일 동안 측정하였고 4일동안 측정된 결과를 flux 또는 paste를 분류하는데 사용하였다. IPC 시험방법이 가부의 명확한 표면절연저항 값을 설정하지 않은데 비해서 Bellcore에서는 설정하였다. 시험판의 0.050 in. spacing인 pattern인 경우에는 최소  $1 \times 10^6$  megohm이 되어야 한다. IPC-B-25 board(0.0125 on. spacing)이 사용되면 최소한  $2 \times 10^6$  megohm이 되어야 한다.

#### (5) Electromigration

이 시험방법은 Bellcore document TR-NWT-00078, issue 3에 언급되어 있다. 시험이 완료되면 시험판은 랩프를 뒤에서 비추는 조건에서 10배율로 확대하여 육안으로 관찰한다. conductor spacing의 20% 이상을 줄이지 않는다면 이 제품은 합격이 된다. 부식이 심하게 생기면 불합격이지만 색상이 약간 변하면 사용할 수 있다.

#### 2) 공정의 조건

무세정 납땜공정은 다음 요소들

에 의해서 영향을 받는다.

- 납땜성
- 품질
- 외관
- 시험성
- 반복성

단일 flux가 위의 모든 요소에 우수한 결과를 얻기가 힘들기 때문에 임의의 공정에서 최적의 flux를 선정함에 있어서는 위의 요소들에 대한 서로의 상관관계를 인지해야 한다.

#### (1) 납땜성

납땜성이란 flux가 납땜 접합부

**납땜공정의 변수들을 올바르게 조절하고 관찰하는 경우에 기존 flux 또는 paste를 무세정 flux 또는 paste로 대체하는 경우에는 큰 문제가 되지 않는다.**

의 형성에 얼마나 도움을 주는가에 관한 것이다. 납땜공정의 변수들을 올바르게 조절하고 관찰하는 경우에 기존 flux 또는 paste를 무세정 flux 또는 paste로 대체하는 경우에는 큰 문제가 되지 않는다. 기관에 납땜되는 부품의 납땜성은 flux 또는 paste에 크게 좌우된다. 기관이 청결하고 전반적인 납땜성을 유지하게 하기 위해서는 기관 그 자체는 물론 모든 부품들이 청결한 상태가 유지되어야 한다. 무세정 공정에서 사용되는 flux의 고형분이 감소되기 때문에 부품의 납땜이전에 깨끗한 상태로 인해서

기관에 우수한 납땜성을 제공하게 된다. 또한 부품공급업자에게 깨끗한 부품을 제공하도록 분명히 확인을 해야한다.

#### (2) 품질

납땜된 기관의 품질은 불량률의 척도로서 무세정 wave 또는 paste 납땜공정에서 가장 중요하게 고려되어 져야 한다. bridge, skip, webbing 등이 주의깊게 관찰되어야 한다.

#### (3) 외관

납땜후의 기관에 대한 전반적인 외관은 무세정의 flux를 선정함에 있어서 중요하게 고려되어야 한다. 외관이 기관의 신뢰도 또는 품질에 영향을 미치지 않지만 일부 제조업자는 외관이 미려하지 않은데서 오는 불만족으로 무세정 flux로 전환하지 않는 주된 요인이다. 고고형분 무세정 flux의 경우에는 특히 미국에서는 외관에 좋지 않은 영향을 끼친다. 그러나 유럽에서는 큰 불만 없이 널리 사용되고 있다. 무세정 flux를 사용하면 기관에 눈에 띄는 정도의 잔사가 남아 있지만 좋은 flux를 선정하면 기관의 신뢰도와 성능에 영향을 미치지 않는다. 기관에 적용하는 flux의 양을 조절하여 최종 잔사의 양에 영향을 준다. 따라서 적절한 방법으로 flux를 적용하면 잔사의 양을 최소화시킬 수 있다.

#### (4) 시험성

시험성은 조립과 납땜공정후에 기관의 전기적 성능 특성을 정확하게 테스트할 수 있는 능력을 의미한다. 이는 때로 pin-test fixturing을 사용하는 경우에 납땜접합부의 청결도에 의존한다.

#### (5) 반복성

일정한 공정의 조건에서 같은 품질을 가진 기관이 규칙적으로 생산되는 것이 반복성으로서 납땜공정에서 효율성을 유지하는데 필수적이다. 규칙적으로 변하는 납땜 공정에서는 조업변수를 조절하고 공정을 재검사하기 위해서 간혹 생산을 중단할 필요가 생긴다. 기존 납땜공정과 비교하여서 무세정 flux를 사용하는 경우에서 주로 작은 공정이나 부품의 감도가 예민해서 자주 관찰을 해야하는 경우에는 반복성이 간혹 힘들기도 한다.

## 8. 무세정 공정의 경제성

무세정공정의 가장 명백한 경제적인 이득은 세정공정을 사용하지 않는 것이다. 세정장치의 투자비, 설치공간, 물질 및 폐수의 처리비용 등이 들지 않게 된다.

### 1) 무세정 Wave Solering

#### (1) 대기 중에서의 무세정 납땜 공정

무세정 flux를 장치변환없이 직접적으로 기존의 flux로 대체할 수 있다. 이러한 경우에는 세정제와 세정장치가 불필요하기 때문에 별도의 투자비가 없게 된다. 제조업자가 기존의 wave soldering 장치에 분사 flux를 설치하고자 하는 경우에는 약 \$4,500~\$20,000의 장치 투자비가 소요된다. 분사 flux를 사용하게 되면 flux를 기관에 조절하여 적용하기 때문에 flux의 양을 절약할 수 있다. 예를 들면 분사 flux로 바꾸어서 68%까지 flux를 절약하였다. 뿐만 아니라 분사 flux를 사용하여 flux thinner의 사용량도 줄일 수

있다.

#### (2) 장치의 개조

조절된 분위기 하에서 무세정 wave soldering은 기존 장치에 질소를 유입하도록 후드 또는 다른 방법에 의하여 개조하여 사용할 수 있다. 후드의 종류에 따라서 기존 장치를 개조하는 고정 투자비는 질소 후드를 설치하는데 \$10,000~\$30,000가 소요되며 낮은 가격은 납땜부에만 질소 후드를 설치하는 경우이고 예열부와 납땜부까지 설치하면 가격이 높아지게 된다. 질소를 납땜장치에 유입하는데 파이

**무세정 flux를 장치변환없이 직접적으로 기존의 flux로 대체할 수 있다. 이러한 경우에는 세정제와 세정 장치가 불필요하기 때문에 별도의 투자비가 없게 된다.**

프의 설치비용이 추가로 든다. 1피트당 \$15~\$30이 소요되어서 거리에 따라 비용이 가감된다. 질소 구입비용도 고려해야 하는데 납땜 장치의 작동시간과 면적에 의존하게 된다. 통상적으로 소모되는 질소의 양은 시간당 1,500~2,000ft<sup>3</sup>이고 산업용 질소의 가격은 100ft<sup>3</sup>당 \$0.12~0.15이다. 일부 잘 설계된 개조 시스템에서는 소모되는 질소의 양이 300~600ft<sup>3</sup>/hr로 대폭 낮아졌다. 조절된 분위기하와 무세정 wave soldering 장치에서 기존 장치를 개조하여 생기는 이득은 flux 또는 납땜의 사용량의 절

감뿐만 아니라 세정공정에 소용되는 경비를 제할 수 있다. 몇 가지 실례를 들면 분사 flux의 조절된 분위기를 사용하여 flux와 thinner의 사용량이 50~70%까지 가능하며 게다가 납땜의 사용량도 효율적인 납땜으로 인해서 50%까지 줄일 수 있다. 기존의 납땜 장치에 소요되는 경비의 명세는 그림. 2에 나타나 있다.

#### (3) 새 장치의 구입

조절된 분위기하에서 wave soldering으로 특별히 설계된 새 장치를 구입하는 것은 기존의 장치를 개조하는 것보다 상당한 경비가 들게 된다. 이전에 언급한 바와 같이 open-tunnel과 sealed-tunnel 장치를 구입할 수 있는데 전자는 \$80,000~300,000이 소요된다. 가격의 차이가 큰 것은 선택사항이 다양하기 때문인데 이는 분사 flux module, 여분의 예열부, 컴퓨터 제어방식, 산소분석기, bar code scanner가 포함된다. Open-tunnel 장치에서 질소의 사용량은 평균 700~2400 ft<sup>3</sup>/hr이다. sealed-tunnel 장치는 open-tunnel 장치보다 비싸다.

open-tunnel 장치와는 달리 완전히 밀폐된 장치는 거의 상용화되어 있지 않다. \$300,000가 소요되는 한 장치에는 분사 flux module, 예열부, 납땜부 및 출입부의 진공실로 구성되어 있다. 추가적으로 산소분석기와 bar code scanner가 부착되어 \$30,000의 추가비용이 소요된다. 이 장치에서 질소 사용량은 100~700 ft<sup>3</sup>/hr이다. open-tunnel과 sealed-tunnel 장치에서 flux의 사용량은 최고 70%까지 납땜은 최고 50%

까지 절약할 수 있다.

## 2) 무세정 reflow soldering

기존의 무세정 reflow soldering 장치를 무세정공정으로 하는데 가장 경제적인 방법은 기존 paste를 사용하며 세정공정을 사용하지 않는 것이다. 이 경우에는 추가 부담이 없고 세정장비의 구입과 운영비에 소모되는 비용을 절감할 수 있다. 이러한 방법에 의해서 만족할 만한 결과를 얻지 못하면 저잔사 paste를 구입하게 되어 비용이 늘어나게 된다. 저잔사 paste의 가격은 소량 생산으로 비싸다. 게다가 저전사용 stencil이 필요하게 된다.

### (1) 장치의 개조

기존의 reflow 오븐을 개조하여 질소가 오븐내의 납땀부에 국한시킬 수 있다. 이러한 개조방법에는 장치가 밀폐되도록 하고 질소 파이프의 설치하는 것이 포함된다. 오븐의 크기에 따라서 개조비용은 \$20,000~100,000까지 소요된다. 일반적으로 오븐을 조절된 분위기로 개조하는데 일주일 정도 시일이 필요하다. 개조된 오븐 약 2,400 ft<sup>3</sup>/hr의 질소가 사용되며 산소농도는 500ppm이하로 줄어들게 된다. 평균적으로 작업장에서의 산소농도는 작업자의 안전을 위해서 충분히 유지시켜야 한다.

### (2) 새 장비의 구입

기존장치에서 적절하게 질소를 밀폐하지 못하면 질소 전용의 오븐을 구입해야 한다. 이러한 오븐들은 조절된 분위기를 만들도록 특별히 제작되어서 낮은 산소 농도를 유지시키면서 질소의 소모량을 줄일 수 있도록 한다. 오븐의 가격은

\$75,000~\$175,000이며 개략적인 질소 사용량은 2,000 ft<sup>3</sup>/hr이고 산소 농도는 20ppm보다 낮다.

## 9. 환경 및 안전문제

여러 가지 무세정 공정을 평가할 때는 환경, 인체에 미치는 영향 및 안전에 관한 문제를 심각하게 고려해야 한다. 이들은 휘발성 유기용매(VOC), 폐기물 처리, 작업자의 안전 등이다. 어떠한 공정을 사용하든 간에 CFC 113 또는 1, 1, 1 TCE는 오존층 파괴물질이기

**이들 물질은 스모그를 형성하게 된다. 기존의 납땀 및 세정공정에서를 비교하면 무세정 납땀공정에서는 결과적으로 VOC의 방출을 현격히 줄여준다.**

때문에 꼭 제거되어야 한다. 또한 지구 온난화에도 관계되는 물질이기 때문에 더욱 사용해서는 안된다. 다른 환경 및 안전문제는 선택한 공정에 따라 의존하게 된다.

### 1) 환경문제

#### (1) 휘발성 유기용매

휘발성 유기용매는 납땀공정 동안에 상온에서 대기 속으로 방출된다. 이들 물질은 스모그를 형성하게 된다. 기존의 납땀 및 세정공정에서를 비교하면 무세정 납땀공정에서는 결과적으로 VOC의 방출을 현격히 줄여준다. 고형분이

0.5~5.0의 저잔사 flux를 사용하면 고형분이 40%인 기존의 flux를 사용하는 것보다 VOC의 방출이 증가하게 된다. 왜냐하면 저고형분의 나머지는 1%가 활성화제와 나머지는 주로 IPA 등의 알코올로 구성되어 있다. 그러나 CFC 113과 1, 1, 1 TCE를 사용하지 않게 되어 전반적인 VOC의 방출이 줄어들게 된다. 뿐만 아니라 조절된 분위기와 분무 flux를 이용하면 50%의 flux의 사용량이 작아져서 이로 인한 VOC의 방출이 줄어들게 된다. VOC의 순수한 감소는 flux에 있는 고형분과 제거된 세정공정에 따라 차이가 있다.

#### (2) 폐기물처리

미 EPA에서는 납땀찌꺼기를 resource conservation and recovery Act에서 유해한 폐기물로 분류하고 있다. 기존의 wave soldering 장치와 비교하여서 무세정 flux를 사용하면 부산물로 생기는 납땀찌꺼기의 양은 거의 변화가 없다. 그러나 조절된 분위기 하에서는 납땀공정동안에 낮은 산소농도 때문에 결과적으로 납땀찌꺼기가 적게 생겨서 폐기물의 양이 줄어들게 된다. 뿐만 아니라 세정공정이 없어지게 되어서 폐기물의 처리가 훨씬 줄어들게 된다.

### 2) 안전문제

무세정공정에는 작업자의 건강과 안전에 영향을 미치는 몇 가지 요소가 있다. 이 중에는 조절된 분위기 하에서 생기는 formic acid, 알코올이 많이 함유된 flux에 장기간 노출되거나 희박한 산소농도 등이다.

#### (1) Formic acid

이 산은 현재 소수의 조절된 분위기 하에서 납땀을 하는 장치에 환원제로 사용되며 간혹 엄격한 납땀기준이 있는 곳에서 사용된다. 이 물질은 작업자에게 심각한 해를 끼칠 수 있기 때문에 미국의 OSHA에서는 강제적인 허용노출농도를 5ppm으로 결정하였다. formic acid는 매우 조심스럽게 취급하는 것이 중요하다. 흘리게 되면 인근 0 있는 사람들은 즉시 대피를 해야 하며 몇시간 동안 작업을 중지해야 한다. formic acid는 그 자체의 위험성 뿐만 아니라 metal formates가 formic acid를 사용하는 납땀공정중에 부산물로 생기기도 한다. 이러한 유해한 폐기물 때문에 작업자들은 정기적으로 납땀장치를 세정해야 한다. formic acid를 사용하는 공정에서는 안전 shower, 눈 세척장비, 호흡 장비가 설치되어야 한다.

(2) Flux에 노출

분무 flux가 사용되는 생산라인에서는 flux의 과도한 분무가 후두 내에 있도록 주의를 기울여야 한다. 과도한 flux에서 생기는 연기는 두통과 구토 뿐만 아니라 심장 발작과 폐에 해를 끼칠 수 있다. 분무 flux에는 일반적으로 타이머와 센서가 부착되어서 기판이 도착하는 경우 어느 스위치를 켜야 하는지 기판이 fluxing 지역을 떠날때 어느 스위치를 꺼야 하는지 알 수 있어서 과도한 분무와 flux 노출에 의한 위험성을 줄여준다. 액상 flux에는 알코올 성분이 많기 때문에 반복적이고 오랜 접촉으로 인한 눈과 피부에 심각한 자극을 주게 된다. 이러한 위험성을 예방하기 위해서 보호용 장갑과 안전 안경을 착용하는 것이 바람직하다. 어떠한 flux 적용방법이 사용되었던 간에 무세정 flux를 이용하는 생산라인의 작업자들은 냄새 때문에 불편함을 경험했을 것이다.

무세정 flux에서 알코올 성분이 많으면 강한 냄새를 일으키기 때문에 적절한 작업장에서의 환기설비는 작업자의 안전과 안락함을 위해서 설치하는 것이 필요하다.

(3) 낮은 산소농도

작업자의 안전에 관한 문제는 조절된 분위기에서 사용된 장비에서 생긴다. 적절하게 조절되지 않으면 질소로 인해서 산소가 결핍되고 장치부근에서 작업하는 사람에게서는 잠재적인 위험성이 생길 소지가 있다. 작업자들은 질소 분위기가 유지된 장치 속으로 머리를 집어 넣는 것이 위험하다는 것을 인지해야 한다. 이러한 납땀장치를 사용하는 경우 사전에 장치 제조업자 뿐만 아니라 질소 공급업자와도 질소의 사용과 취급과 관련된 위험성을 사전에 협의를 해야 한다. 마지막으로 이러한 지역에서는 적절한 환기설비를 갖추는 것이 바람직하다.

그림. 1 Composition of Traditional and Low-Solids Flux

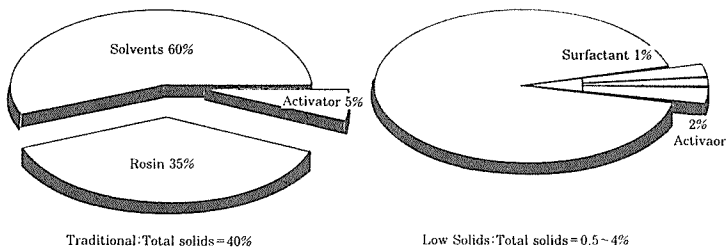


그림. 2 Total Process Material Cost Break down for a Traditional Soldering Process

