

## 솔더페이스트로 솔더링 후 잔류 플럭스 오염물에 대한 준수계 세정제의 금속치구를 이용한 세정성능 평가방법 연구

이동기<sup>†</sup>

한국화학시험연구원 신뢰성평가본부 고분자재료팀  
407-817 인천시 서구 가좌3동 539-8

(2008년 5월 28일 접수; 2008년 6월 18일 채택)

## A Study on the Evaluation Methods of Residual Flux Cleaning Ability by Alternative Semi-Aqueous Cleaners Using Metal Test Tools After Soldering with Solder Paste

Dong-Kee Lee<sup>†</sup>

Polymer Materials Team, Reliability Assessment Headquarter,  
Korea Testing and Research Institute  
539-8 Gajwa-3-dong, Seo-gu, Inchon 407-817, Korea

(Received for review May 28, 2008; Revision accepted June 18, 2008)

### 요 약

본 연구에서는 솔더페이스트(solder paste)로 솔더링후 표면에 잔류하는 플럭스(flux)의 효과적인 세정성능 평가방법 개발을 목적으로 하였다. 솔더링시 플럭스의 퍼짐오차를 줄이기 위해 본 연구에서 고안한 금속치구를 이용하여 1,1,1-TCE 및 플럭스 제거용 몇 가지 대표 준수계 대체세정제에 대하여 세정시간에 따른 플럭스 제거율을 무게측정법으로 측정, 비교하였다. 세정시간 변화에 따른 각 세정제의 세정효율을 측정한 결과 측정값들의 상대표준편차(RSD)가 약 4% 이하로 data의 신뢰성이 확인되었다. 따라서 솔더페이스트로 솔더링후 대체세정제의 잔류플럭스의 세정성능 평가시험에 본 연구에서 적용한 금속치구(metal test tool)를 이용한 평가방법이 유력한 방법으로 적용가능할 것으로 판단된다. 그리고 이 평가방법을 적용한 결과 현재 상용화 되어 있는 우수하다고 알려진 몇 가지 대표 준수계 대체세정제 중 ST100SX와 750H가 고효율 플럭스에 대한 세정력이 우수한 성능을 나타냈으나 기존의 1,1,1-TCE에 비해서는 현저히 떨어짐을 확인할 수 있었다.

**주제어** : 준수계 세정제, 플럭스, 세정성능, 1,1,1-TCE, 대체 세정제

**Abstract** : In this study, in order to develop evaluation method of the cleaning efficiency of residual flux which remains on the surface after soldering with solder paste, a specially designed metal tool is used to reduce spread uncertainty of flux while soldering. Using this tool, the measurement of cleaning efficiency of flux after soldering for some typical alternative semi-aqueous cleaners and 1,1,1-TCE by weighing method was conducted. As the test result of cleaning efficiency for each cleaner at several different cleaning times, the precision of the data is confirmed to within about 4% relative standard deviation (RSD) range. So, it is considered that this would be a good evaluation method for evaluating the cleaning efficiency of the residual flux which remains after solder paste soldering in the alternative cleaning. The results of this test method shows that the cleaning efficiency of ST 100SX and Neozal 750H in the cleaning of residual flux was better than other semi-aqueous cleaners, but its cleaning efficiency was clearly inferior to 1,1,1-TCE.

**Key words** : Semi-aqueous cleaner, Flux, Cleaning efficiency, 1,1,1-TCE, Alternative cleaner

<sup>†</sup> E-mail : ldkbr@ktr.or.kr

## 1. 서 론

세정분야에 광범위하게 사용되어 온 Chlorofluorocarbon-113 (CFC-113)과 1,1,1-Trichloroethane (1,1,1-TCE)이 오존층 파괴물질로서 사용이 규제됨에 따라 선진국(OECD 가입국)은 95년 말에 이미 전폐하였으나, 한국은 96년에 OECD에 가입함에 따라 개발도상국과 함께 개도국 규제 일정에 따르게 되었다. 따라서 CFC 류는 1995~97년 3개 년 평균 소비량 기준으로 2004년 말까지 50% 감축, 2009년 말까지 전폐하여야 하며, 1,1,1-TCE는 2001년 소비량을 기준으로 2005년 말까지 56.9% 삭감하여야 하고, 2014년 말에는 생산 및 사용이 전면 금지되어야 한다[1-2]. 따라서 이의 대체를 위해 다양한 대체세정제 개발, 시판되고 있으나[3], 현재까지 개발된 세정제가 기존의 CFC나 1,1,1-TCE처럼 안정된 가격으로 광범위한 분야에 우수한 세정력을 나타내는 대체세정제는 아직까지 개발되어 있지 않은 상태이다. 따라서 규제 세정제를 대체하기 위하여 시판되는 대체세정제 중 피세정물의 특성 및 제조공정에 따라 세정공정에 맞는 세정제를 스크리닝하여 오염물에 대한 세정성능 평가를 통해 작업성 및 경제성 검토를 거치게 된다[4]. 물론 환경유해성에 대한 검토가 선행되어야 함은 두말할 나위가 없다.

세정제의 세정성능 평가방법은 오염물의 종류 및 세정공정에 따라 다르며, lab과 현장(field)에 따라 다르게 된다. Lab 테스트는 field 테스트 전에 선행되어야 할 단계이다. 오일에 대한 세정성능 평가방법[5-13]과 플럭스에 대한 성능평가방법[11-18]이 몇 가지 소개되고 있으며 대부분 오염물을 도포 처리하여 세정한 후 무게측정법으로 세정효율을 산출하고 있다. 플럭스는 솔더링을 위해 솔더페이스트에 혼합되어 사용되는 경우와 액상플럭스가 직접 사용되는 두 가지 경우로 사용방법이 구별되는데 각 경우에 따라 사용 플럭스의 조성 및 물성이 다르다.

본 연구에서는 솔더페이스트로 솔더링 시 전기 전자부품의 솔더링 후 잔류 플럭스의 세정성능 평가방법에 대하여 연구하였다. 솔더링후 잔류 플럭스의 세정성능 평가는 JIS Z 3284 및 MIL-STD 2000A[19]에서는 솔더를 용융시키는 과정인 리플로 후 프린트 배선판 위에 잔류한 이온성 물질량을 비저항값을 측정함으로써 세척성능을 평가하고 있으나, 이는 솔더링 후 잔류플럭스에 대한 세정성능 비교시험법이라기 보다는 세정 후 제품(시편)의 청정도를 측정하는 개념이 강한 시험법이다. 일본 산업세정협회에서 발간한 “세정공정에서의 세정성능 평가기술 조사” 책자[20]에서 소개하고 있는 동판을 이용한 솔더링 방식의 잔류플럭스 세정성능 평가법도 일본에서 많이 사용되고 있으나, 솔더링시 플럭스가 퍼지는 면적이 매번 다르기 때문에 오차범위가 크다.

또한 Lee et al.[11-17]에 의한 플럭스 세정성 평가법이 소개되고 있으나 리플로 공정이 생략되어 실제 상황과는 차이가 있다. IPC(Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits)에서 규정한 IPC-TR-580[20] 방법은 각 세정제의 field test에 적합한 방법이나 세정공정(또는 세정장치)까지 포함하고, 그 결과를 표면의 잔류이온량으로 나타내므로 방법이 매우 복잡하며, 또한 세정 후 청정도 측정의 개념이 강하고, 세정

제마다 특성이 다름에 따라 적용 세정공정이 다르기 때문에 비교세정시험법으로 적용하기 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 솔더페이스트로 솔더링시 실제 솔더링 할 때의 조건과 유사하면서 간편하고, 시험오차가 적은 솔더링 후 잔류 플럭스에 대한 준수계 대체세정제의 세정성능 비교 평가법 개발을 목적으로 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. Flux 및 세정액의 선정

#### 2.1.1. Flux의 선정

현재 국내에서 세정을 필요로 하는 플럭스에 대하여 조사한 결과, 세정을 할 경우는 활성이 강한 플럭스를 사용하는 경우(통신기기 등에 사용하는 hybrid integrated circuit (HIC) 기판 등)이며, 정밀세정을 요하는 부품이나 printed circuit board (PCB) 기판 자체를 판매용 상품으로 할 때이다. HIC 및 PCB 기판에는 주로 솔더페이스트가 사용되고 있으며 솔더페이스트용 플럭스는 로진계가 많이 사용되고 있다. 로진계 플럭스를 구성하는 성분들은 abietic acid나 palmic acid 등 약 7~8가지 성분이며 솔더파우더를 제외한 이러한 구성성분의 약 50%는 첨가제로 구성되어 있다. 즉 전체 함량을 100%라고 하면, 대략 솔더파우더가 90%, 로진 5%, 첨가제 5%로 구성된다고 보면 된다. 솔더파우더는 고효성 플럭스용으로는 Sn 63%-Pb 37% 조성의 제품을 일반적으로 사용한다. 따라서 플럭스의 세정성능시험을 할 때에는 실제 솔더링할 때 솔더가 용융되면서 각각의 성분들이 상호작용하기 때문에 그런 환경을 고려하여 동일한 솔더페이스트 완제품으로 솔더링 과정을 거쳐 시험하는 것이 타당할 것으로 본다. 현재 국내에서 시판되는 솔더페이스트는 알파메탈, 동화다무라, 고오키상에이가 시장점유율이 가장 크며, 그 밖에 센즈, 알미트, 리온헨다 등이 있다. 따라서 위의 대표제품(고활성 플럭스용) 중 시장점유율이 큰 알파메탈사 제품을 입수하여 납땀 후 잔류 플럭스에 대한 준수계 대체세정제의 세정성능 테스트를 하였다. 사용한 솔더페이스트는 알파메탈사의 고효성 플럭스 제품인 RMA 390DH3이며 조성은 Table 1에 나타내었다.

#### 2.1.2 세정액의 선정

선정된 세정제는 1,1,1-TCE의 경우 시약급과 실제 field에

Table 1. Specification of solder paste used in this study

	Composition (%)	CAS No.
Pb	54.5	7439-92-1
Sn	31.7	7440-31-5
Ag	1.8	7440-22-4
Mineral spirits	< 1.0	64742-88-7
Rosin	7~8	8052-10-6
Diethyleneglycol-dibuthylether	2~3	112-72-2

**Table 2. The physical properties of some alternative semi-aqueous cleaners**

Cleaner	ST-100SX	710M	750H	Neozol 750H2	Neozol 950	Test method
Surface tension <sup>a</sup> (dyne/cm)	34.9	35.1	29.5	30.8	34.0	KS M 2709
Density <sup>a</sup> (g/cm)	0.960	0.998	0.954	0.843	0.958	KS M 0004
Viscosity <sup>a</sup> (cP)	8.84	3.03	8.89	8.29	7.87	KS M 5000
pH <sup>a</sup>	6.37	9.12	9.44	6.85	5.02	KS M 0011
Moisture content (%)	4.8780	71.765	8.5642	9.5622	12.054	KS M 0010
COD <sup>b</sup> (ppm)	3200	1110	2660	3850	3520	Standard Method 5220D

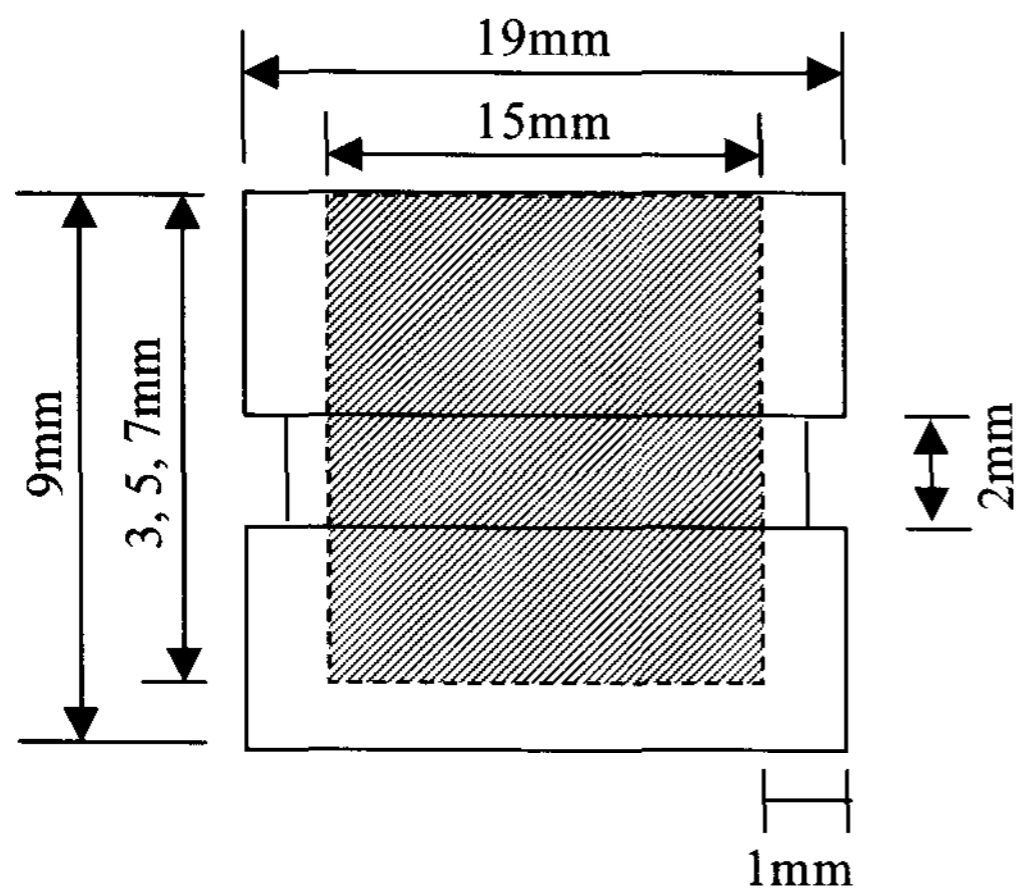
<sup>a</sup> Measuring temperature was 25°C.

<sup>b</sup> COD was measured at a concentration of 0.1% of each cleaner diluted with pure water.

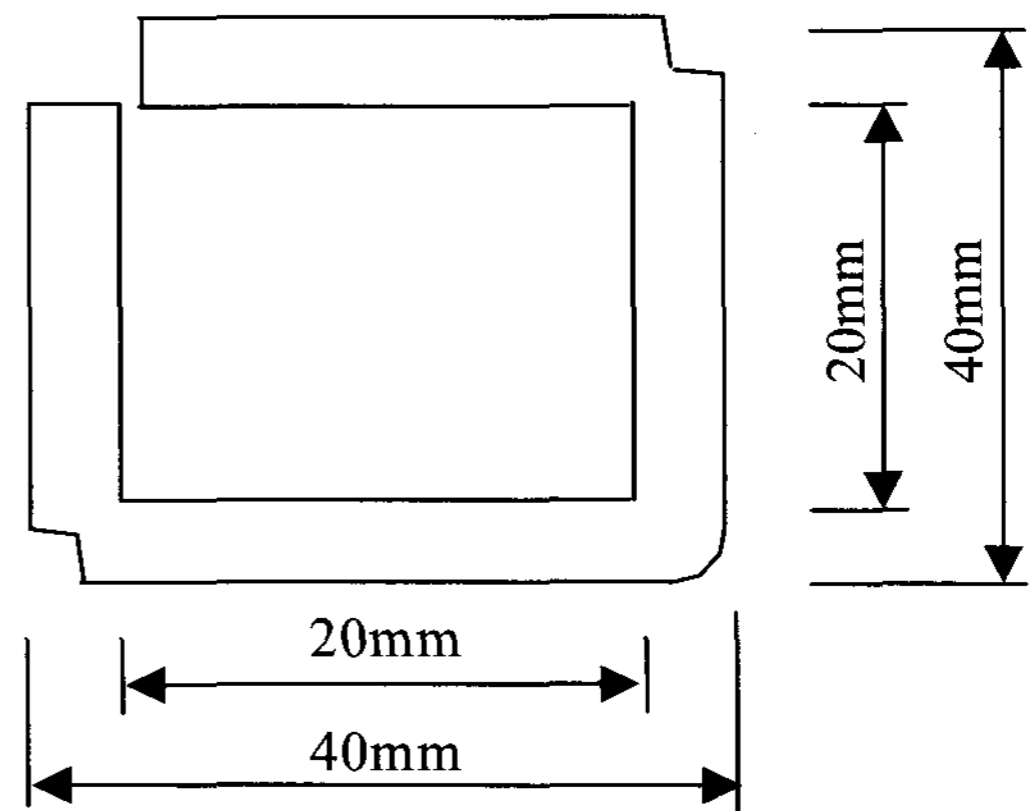
서 사용 중인 공업용을 사용하였고, 순수계 대체세정제로는 국내에서 시판되는 유일한 순수계 세정제로 limonene oil이 주 성분인 NEOZOL-750H2, NEOZOL-950과 일본에서 가장 많이 판매되는 일본 제품으로 글리콜 에테르계가 주 성분인 파인알과 ST-100SX, 크린스루 710M, 크린스루 750H를 사용하였다. 위 입수 세정제 물성측정값은 Table 2와 같다.

**2.2. 시험 치구의 제작 및 적용**

플릭스의 퍼짐 면적에 의한 오차를 줄이기 위해 Figure 1과 같은 형상 및 크기의 Cu재질의 치구를 제작하였으며, 리플로시 치구와 용융 솔더페이스트와의 접착성을 높이기 위해 치구 내부를 진공 크롬도금 처리하였다. Figure 2는 시험치구를 고정하기 위한 장치이며, Figure 3은 솔더링 전후의 치구 내부 모습을 보여주는 것이다. 금속치구  $\phi 15\text{ mm}$ (내경)  $\times 3\text{ mm}$ (깊이)와  $\phi 15\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 는 솔더링 시 깊이가 너무 얇아 솔더페이스트 리플로시 솔더페이스트 내에 포함된 용제가 증발할 때 솔더페이스트와 함께 뿜처럼 부풀었다가 터져 꺼질 때 솔더페이스트 파편이 튀어 나가거나 치구 표면 위 가장자리에 묻는

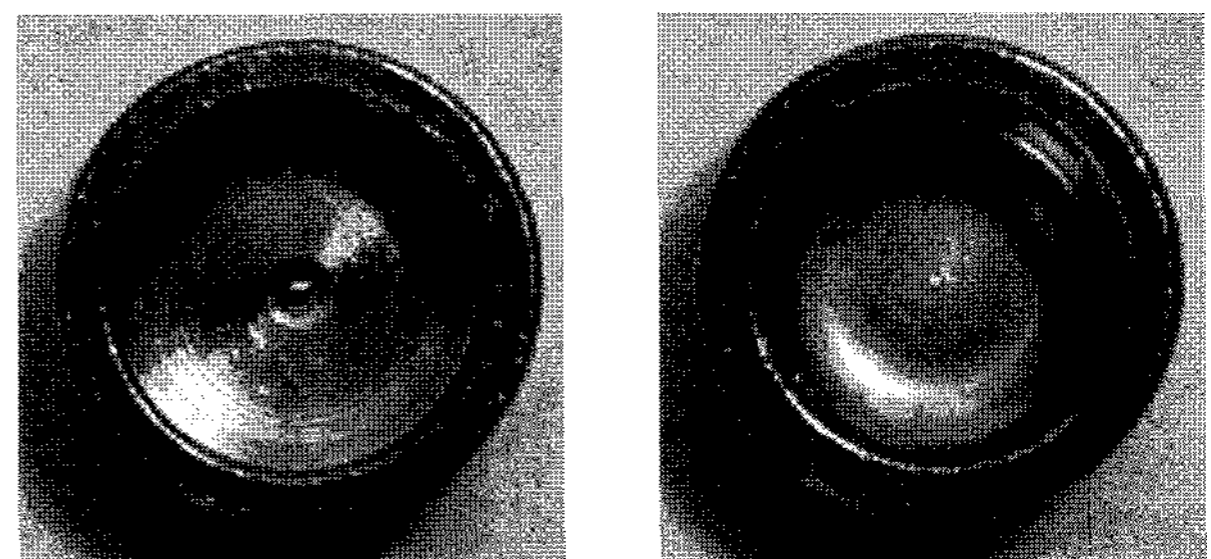


**Figure 1. The cross-sectional view of metal tool used in soldering.**



**Figure 2. The top view of round glass rod used in this experiment.**

현상이 가끔 발생하였기 때문에 사용을 배제하였다. 치구  $\phi 15\text{ mm} \times 7\text{ mm}$ 는 그러한 현상이 없어 비교평가시험에 적용하였다. 원형 금속치구에서는 솔더링시 솔더가 원형으로 고루 퍼지나 사각형의 경우에는 모서리 부분으로 솔더가 퍼지지 않거나 모서리 부분에 용융된 플릭스가 고이는 현상이 발생하여 잔류 플릭스 측정값의 편차가 커질 수 있기 때문에 이를 고려하여 치구를 원형으로 제작하였다. 세정성능 평가를 위해 금속치구



(a) Before soldering (b) After soldering

**Figure 3. The photographs taken from the top of the metal tool before and after soldering.**

를 사용하여 교반 시 치구가 불규칙하게 움직이는 것을 방지하기 위하여 금속치구 및 툴 비이커(tall beaker)의 지름을 고려하여 Figure 2와 같은 유리 사각대를 제작 사용하였다.

2.3. 시험 과정

2.2에서 제작한 치구를 사용하여 솔더페이스트를 230℃에서 용융시킨 후 시험 세정액 및 유리사각대가 들어있는 툴 비이커에 넣고 60℃에서 일정시간 교반시킨 후 증류수로 린스하고 건조시켜 플럭스 제거율을 구하였다. 세정시간 결정은 예비 테스트를 거쳐 플럭스 제거율을 고려하여 그래프 특성이 나타나도록 10분 또는 20분 간격으로 20~70분 사이에서 측정하였으며, 1,1,1-TCE의 경우 세정력이 월등하여 1, 3, 5, 10분 세정했을 때의 세정력을 측정하였다. 시험과정은 다음과 같다.

- ① 2.2에서 제작한 치구에 솔더페이스트 일정량(약 1g)을 넣고, 230℃로 설정된 hot plate 위에서 리플로시켜 뿔납이 고르게 퍼졌을 때 즉시 hot plate로부터 격리시키고, 데시케이터에서 방냉시킨 후 시험편의 무게(A)를 측정한다.
- ② 300 ml의 툴 비이커에 2.2에서 제작한 유리사각대를 넣고, 시험할 세정액을 일정량 채운 후, 미리 일정한 온도(60℃)로 유지된 항온교반수조에 담그고, 시험액의 온도를 동일하게 맞춘다.
- ③ ①에서 제작한 시험편을 세정액이 담긴 ②의 툴 비이커의 사각대 안에 각각 넣고, 60℃에서 150 rpm으로 일정시간 교반한다.
- ④ 치구를 꺼내어 증류수로 충분히 린스하고 100±5℃에서 건조시켜 수분을 날려 보낸다.
- ⑤ 데시케이터에서 방냉 후 중량(B)를 측정한다.
- ⑥ Methylene Chloride (MC) 산액에 침적하여 충분히 초음파 세정(주파수 28kHz 이상) 및 린스하여 잔류 플럭스를 완전히 제거한다.
- ⑦ 건조시켜 중량(C)를 측정한다.
- ⑧ 아래 식을 이용하여 플럭스 제거율(%)을 산출한다.  
플럭스 제거율(%) = (A-B) × 100 / (A-C)

2.4. 솔더링 및 시료의 균질성

치구에 솔더페이스트를 투입한 후 230℃로 가열하여 서서히 뿔납이 형성되어 100초가 되었을 때 고르게 분포되었으며, 이 시간을 세정시험을 위한 솔더페이스트 시험편 제조시간으로 결정하였다. 2.2의 시험과정에 따라 솔더페이스트를 솔더링한 후 MC로 추출하여 솔더페이스트에 함유된 플럭스 함유량을 ⑧의 산출식에 따라 산출한 결과 Table 1의 제조사 규격과 유사하게 약 10.1~10.2%의 균일한 함량을 나타내었다 (Table 3).

3. 결과 및 검토

3.1. 각 세정제의 세정시간 변화에 따른 플럭스 제거율

일정 세정시간별로 각각의 세정제에 대하여 각각 3회 시험하여 측정한 세정제별 세정시간에 대한 플럭스 제거율(각각 및 평균)을 Figures 4~11 및 Table 4에 나타내었다. 측정결과, 3

Table 3. The flux content in solder paste

Test Item	Solder paste weight (g)	Solder		Flux content (%)
		weight (g)	content (%)	
No. 1	1.0291	0.9248	89.86	10.14
No. 2	1.0374	0.9317	89.81	10.19
No. 3	1.0327	0.9277	89.83	10.17
No. 4	1.0250	0.9214	89.89	10.11
No. 5	1.0366	0.9325	89.95	10.05

회 측정값들은 서로 크게 벗어나지 않음에 따라 세정시간에 따른 신뢰성 있는 세정성능 그래프를 얻을 수 있었다. 각 세정제별 세정시간에 따른 플럭스 제거율 패턴은 주성분이 글리콜 에테르계로 비유수분리형인 ST-100SX와 710M은 시간에 따라 직선으로 제거율이 증가하는 반면, 주성분이 limonene oil로 유수분리형인 750H2, 750H 및 950은 플럭스 제거율이 일정시간 세정 후 더 증가하는 패턴을 보였다. 이것은 세정제 조성물간의 phase equilibrium 및 온도 상승에 따라 유수분리성을 갖는 비이온 계면활성제 polyoxyethylene alkyl ether의 작용 등에 기인하는 것으로 추측된다[22-23]. 또한, 결과에 의하면 비교 순수계 대체 세정제들의 세정성능이 40분 또는 50분대에 100% 세정이 이루어지는데 반해 1,1,1-TCE는 3분이내에 100%세정이 이루어짐에 따라 상용화된 순수계 세정제들의 세정력이 1,1,1-TCE에 비해 현저히 떨어짐을 그래프에서 명확하게 확인할 수 있었다. 그리고 1,1,1-TCE의 경우 시약급의 세정력이 공업용에 비해 1분간 세정시 약 20%정도 우수한 성능을 나타냈으며 모두 3분이내에 100%세정이 되는 매우 우수한 성능을 나타내었다.

위 결과로 볼 때, 상용화된 순수계 대체 세정제의 솔더페이스트 솔더링 후 잔류 플럭스 세정력이 기존의 1,1,1-TCE에 비해 현저히 떨어지므로 이들 대체 세정제를 실제 현장에 적용하기

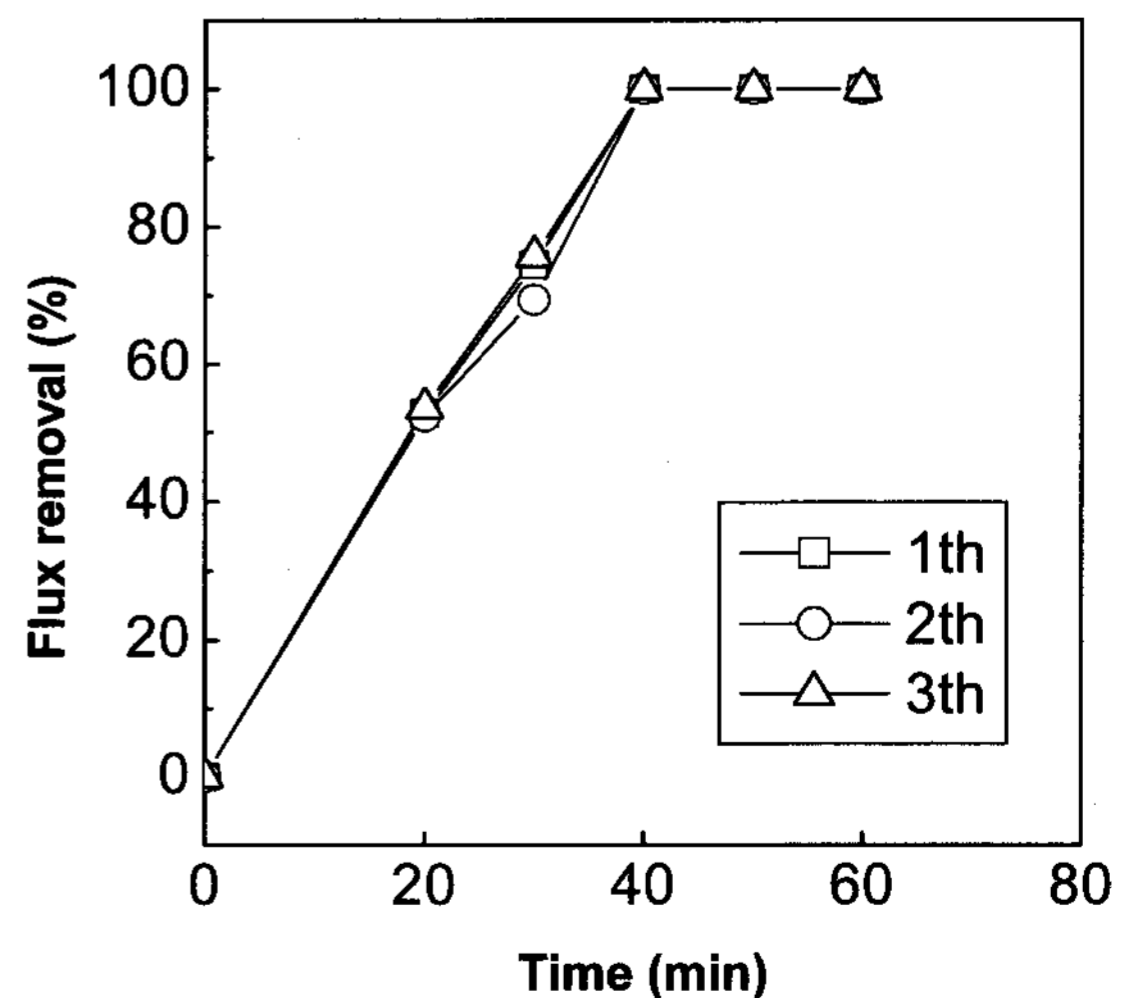
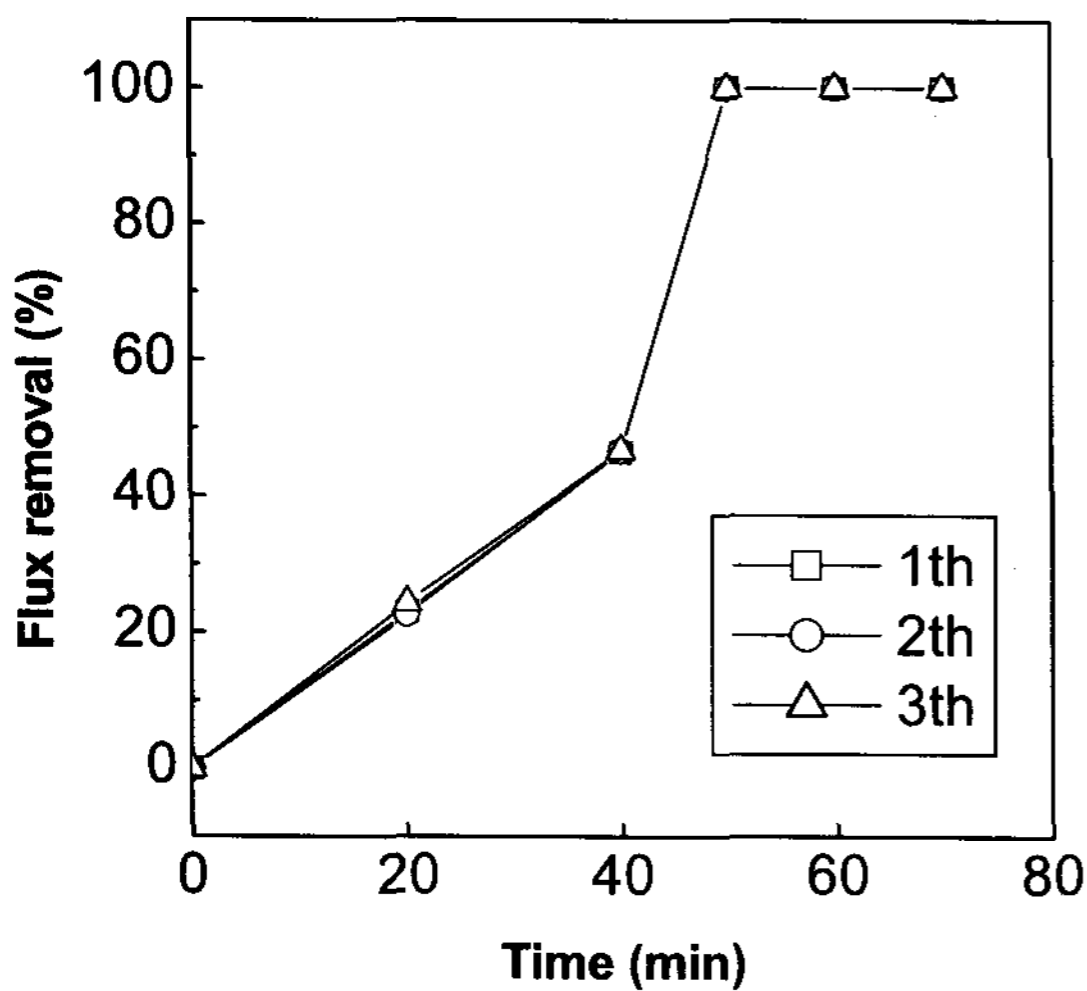


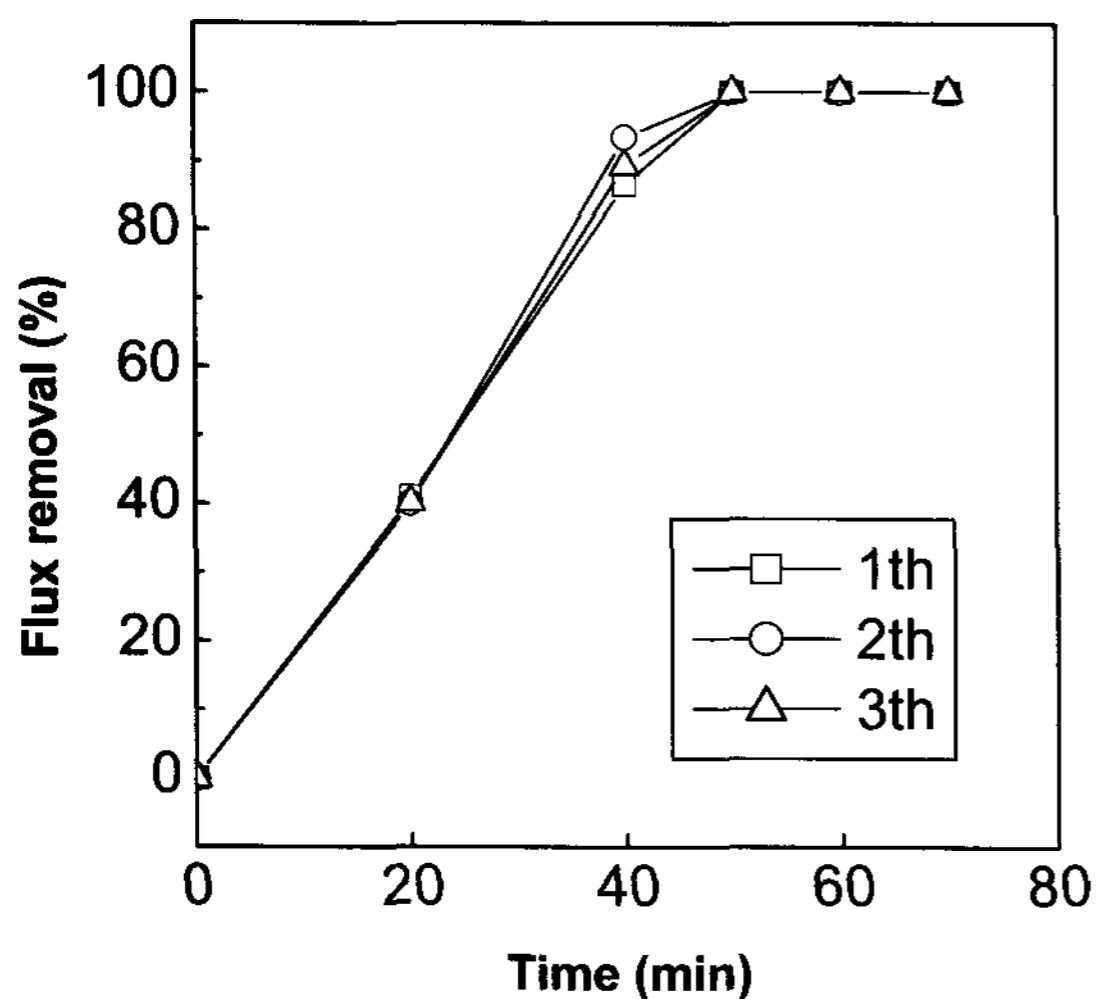
Figure 4. The flux removal rate for ST-100SX as a function of cleaning time.

**Table 4. The cleaning efficiencies measured for semi-aqueous cleaners and 1,1,1-TCE at different cleaning times**

Cleaning time (min)	Cleaners	Cleaning efficiency (%)						
		ST100SX	750H2	710M	750H	950	1,1,1-TCE (Reagent grade)	1,1,1-TCE (Commercial grade)
1		-	-	-	-	-	83.7	68.8
3		-	-	-	-	-	100	100
5		-	-	-	-	-	100	100
10		-	-	-	-	-	100	100
20		53.9	23.3	40.4	42.7	16.8	-	-
30		73.2	-	-	99.1	60.3	-	-
40		100	46.6	87.8	100	99.4	-	-
50		100	100	100	100	100	-	-
60		100	100	100	100	100	-	-
70		100	-	-	-	100	-	-



**Figure 5. The flux removal rate for neozol-750H2 as a function of cleaning time.**

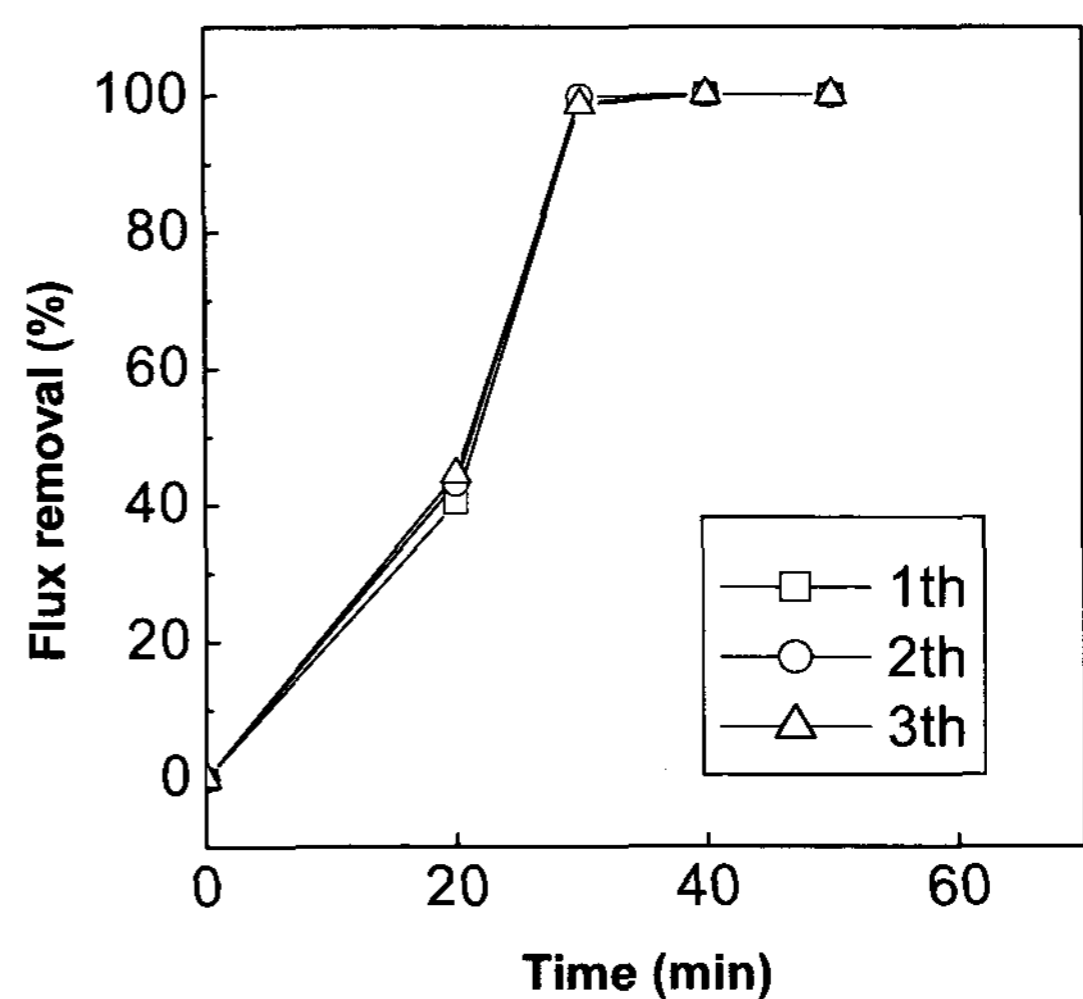


**Figure 6. The flux removal rate for 710M as a function of cleaning time.**

위해서는 효과적인 새로운 세정방법의 개발 및 세정조수를 대폭 늘리는 등의 세정공정 개발이 반드시 필요할 것으로 판단된다.

3.2. 각 세정제의 시간대별 세정효율 측정값의 RSD값

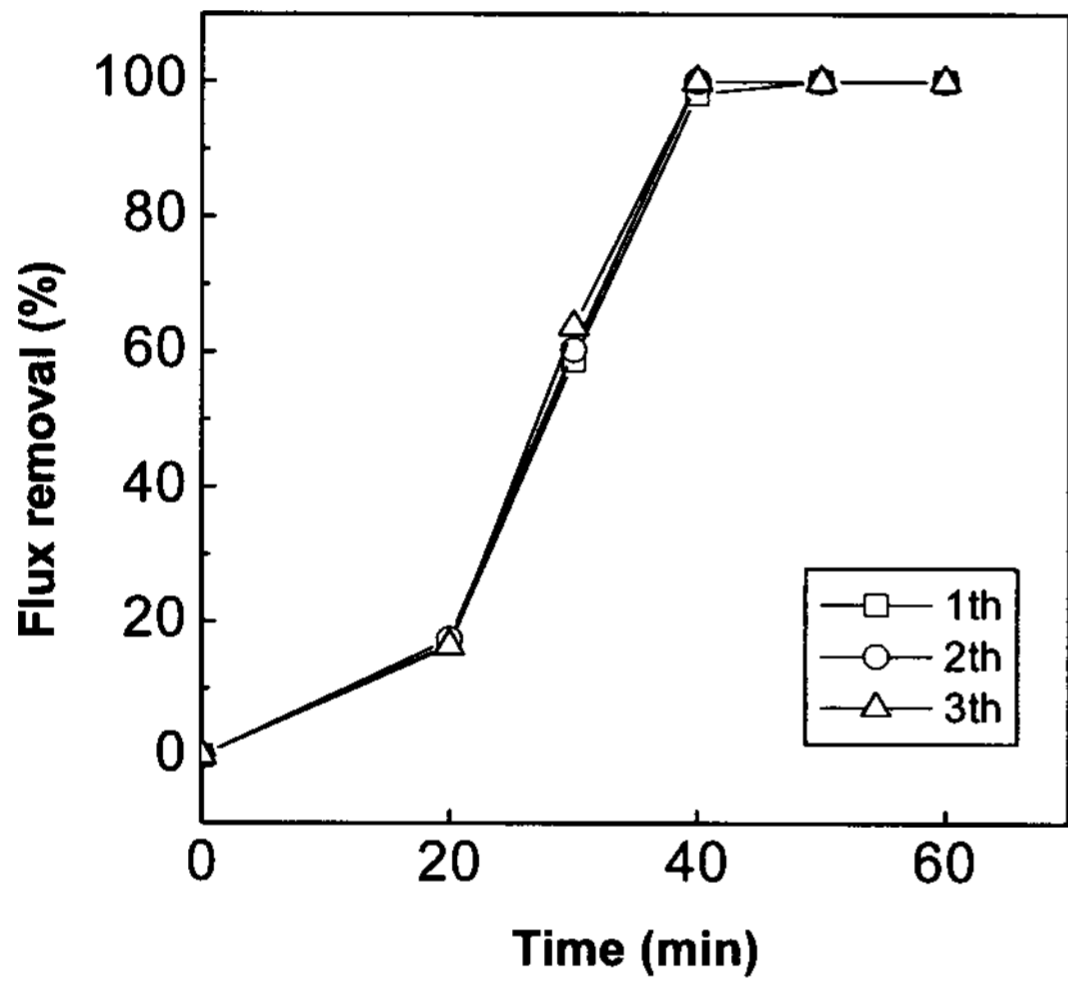
3.1의 측정결과에 대한 각 세정제의 세정시간별 세정효율 측정값의 RSD 값은 Table 5에 나타냈다. 치구를 이용하여 각 세정제에 대한 플럭스 세정율을 각 3회 시험결과 전반적으로 RSD 값은 약 4%대 이하로 매우 우수함에 따라 솔더페이스트 솔더링 후 잔류 플럭스 세정성능 평가방법에 본 방법이 적용가능 할 것으로 판단된다. 20~40분의 RSD 값이 40분대 이후에 비해 상대적으로 매우 높게 나타났다. 이것은 본 시험조건에서 이 시간대가 오염물(잔류플럭스)과 세정액과의 반응이 가장 활발한 시점으로 세정이 종료단계인 40분대 이후에 비해 편차가 큰 것으로 해석된다. 시험치구의 내용적을 크게 하여 시험시료의 양을 늘리면 시험 소요시간은 늘어나나 RSD 값은 상대적으로 그만큼 낮아질 것으로 예상된다. 그리고 1,1,1-TCE는 3분,



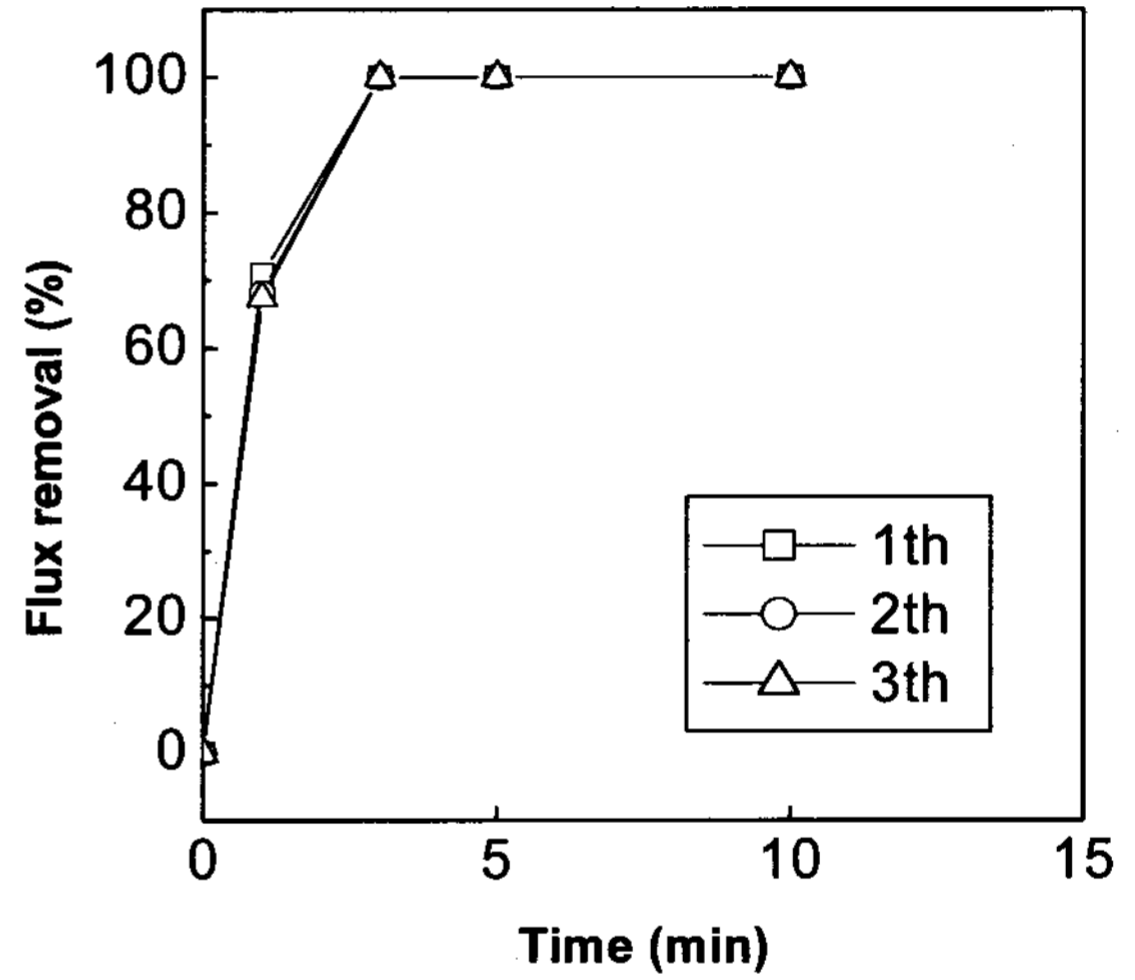
**Figure 7. The flux removal rate for 750H as a function of cleaning time.**

**Table 5. RSD of cleaning efficiency measured for several semi-aqueous cleaners and 1,1,1-TCE at different cleaning times**

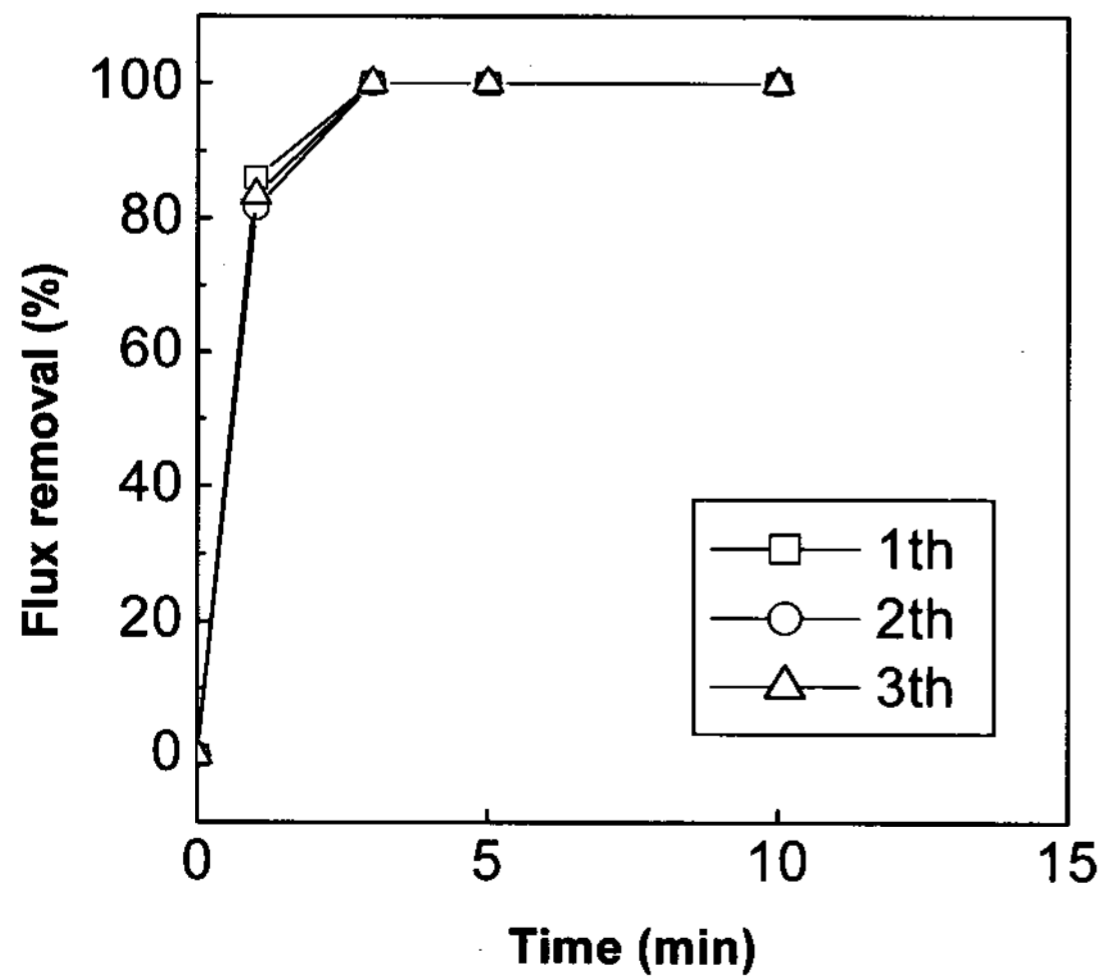
Cleaners Cleaning time (min)	RSD (%)						
	ST100SX	750H2	710M	750H	950	1,1,1-TCE (Reagent grade)	1,1,1-TCE (Commercial grade)
1	-	-	-	-	-	2.20	2.15
3	-	-	-	-	-	0	0
5	-	-	-	-	-	0	0
10	-	-	-	-	-	0	0
20	0.96	3.94	1.07	4.02	2.62	-	-
30	3.76	-	-	0.50	2.01	-	-
40	0	0.23	1.32	0	0.84	-	-
50	0	0	0	0	0	-	-
60	0	0	0	0	0	-	-
70	0	-	-	-	0	-	-



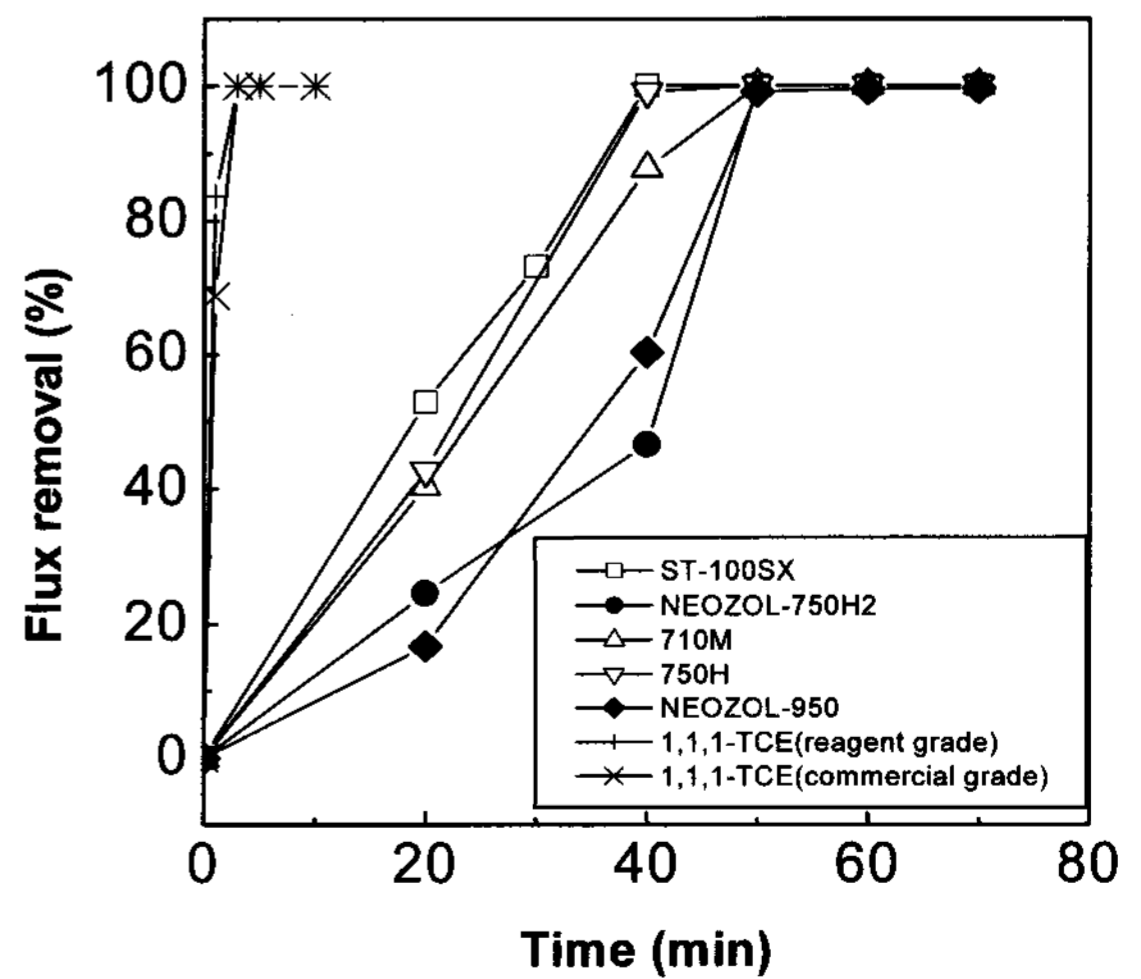
**Figure 8. The flux removal rate for neozol-950 as a function of cleaning time.**



**Figure 10. The flux removal rate for commercial grade 1,1,1-TCE as a function of cleaning time.**



**Figure 9. The flux removal rate for reagent grade 1,1,1-TCE as a function of cleaning time.**



**Figure 11. The average flux removal rate for each cleaner as a function of cleaning time.**

ST100SX 와 750H는 40분, 그 외 시험대상 세정제로는 50분 이후에 100% 세정이 이루어져 각 3회 측정된 잔류 플럭스 함량이 제로가 됨에 따라 RSD값도 제로를 나타내었다.

#### 4. 결 론

플럭스 세정용 몇 가지 준수계 대체세정제에 대해 시험치구를 이용하여 솔더링후 잔류 플럭스의 세정성능을 초음파를 사용하지 않고 항온 교반시켜 무게측정법으로 각각의 세정제에 대해 일정시간별로 각각 3회씩 시험측정한 결과, 세정효율 측정값의 RSD가 대략 4% 이하로서 기존 방법에 비해 편차가 상대적으로 작고 방법이 간단하여 솔더링 후 잔류 플럭스의 세정 성능 비교시험에 적용이 용이할 것으로 판단된다. 또한 현재 상용화되어 있는 플럭스세정용 몇 가지 대표적인 준수계 대체세정제들의 잔류플럭스 세정력이 비교 시험결과 기존의 1,1,1-TCE에 비해서는 현저히 떨어짐을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. Korea Specialty Chemical Industry Association, "The Trends of Supply and Demand for the Ozone Depletion Substances," 2002 Technical Seminar for the Replacement of Ozone Depleting Materials, 7 (2002).
2. Ministry of Commerce, Industry and Energy, Chemicals & Biotechnology Industries Division, The Law Data Book for Protection of Ozone Layer, Korea Specialty Chemical Industry Association, 1996, p.107.
3. Japan Industrial Conference on Cleaning, Handbook of Commercial Cleaners, Daily News Co. of Chemical Engineering Press, Tokyo, Japan, 1999, p.262.
4. Supporting Corporation of Small & Medium Industrial Company, "Field Guidance Manual for Replacement of Freon and Ethane," Japan, 1997.
5. Kim, H. S., and Bae, J. H., "Evaluation of Cleaning Ability of Aqueous Cleaning Agents According to Their Additives," *Clean Technol.*, **12**(1), 1-9 (2006).
6. Jung, Y. A., Hwang, Y. H., and Row, K. H., "Comparison of Cleaning Performance of 1,1,1-TCE and Its Alternatives," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **6**(6), 1201-1208 (1995).
7. Kang, Y. S., Yun, Y. G., Lee, J. H., and Nam, K. D., "Phase Behavior and Detergency of Methoxy Polyoxyethylene Dodecanoate," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **9**(3), 413-418 (1998).
8. Sullival, D., and Sahatjian, K. A., "Evaluation of Laboratory Tests to Determine the Effectiveness of Chemical Surface Washing Agents," Oil Spill Conference, 511 (1993).
9. Ro, Y. C., Lee, S. Y., Yun, Y. K., and Nam, K. D., "Detergency Performance of Sodium Monoglycerol  $\alpha$ -Sulfonated Alkanonates," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **5**(5), 795-800 (1994).
10. Park, H. S., Im, W. B., and Ahn, C. I., "Preparation of Alkaline Degreasing Agent for Steel and Test of its Degreasing Power," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **6**(5), 910-916 (1995).
11. Shin, M. C., Lee, H. Y., and Bae, J. H., "A Study on Cleanliness Evaluation of Aqueous/Semi-Aqueous Cleaning Agents," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **11**(8), 825-834 (2000).
12. Jung, Y. W., Lee, H. Y. and Bae, J. H. "Influencing Factors on Cleaning Ability in the Formulated Hydrocarbon-based Cleaning Agents", *Clean Technol.*, **13**(2), 143-150 (2007).
13. Jung, Y. W., Lee, H. Y., Lee, M. J., Song, A. R., and Bae, J. H. "Formulation of Alternative Non-Aqueous Cleaning Agents to Chlorofluorocarbon Compounds for Cleaning Flux, Solder and Grease," *Clean Technol.*, **12**(4), 250-258 (2006).
14. Bae, J. H., and Shin, M. C., "A Study on Cleanliness Evaluation Methods of Industrial Cleaning Agents and Their Field Applications," *Clean Technol.*, **5**(1), 1-12 (1999).
15. Annual Book of ASTM Standards, ASTM G-122, U.S.A., 1996.
16. Lee, Y. Y., and Row, K. H., "Comparison of Cleaning Performance of CFC-113 and HCFC 225 ca/cb Cleaning Solvents," *Chem. Ind. Technol.*, **11**(4), 258-266 (1993).
17. Row, K. H., Choi, D. K., and Lee, Y. Y., "Comparison of Cleaning Performance of CFC-113 and the Alternatives," *Anal. Sci. Technol.*, **6**(5), 521-530 (1993).
18. Lee, H. Y., Han, J. Y., Lee, M. J., Park, B. D., Han, S. W., Lee, D. K., and Park, S. W., "Effect of Formulation Conditions of Microemulsion-Type Semi-Aqueous Cleaning Agent on Its Physical Properties and Cleanliness Performance," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **14**(2), 142-151 (2003).
19. Department of Defense, "Cleanliness Test Methods," MIL-STD 2000A, U.S.A., 1995.
20. Global Engineering Documents, IPC-TR-580, Colorado, U.S.A., 1989.
21. Japan Industrial Conference on Cleaning, Research Data Book on the Cleaning Performance Evaluation Technology in the Cleaning Process, Japan, 1997.
22. Park, B. D., Lee, M. J., Han, J. W., Lee, J. K., Lee, D. K., Han, S. W., Park, S. W., Lee, H. Y., and Bae, J. H., "Evaluation of Cleanliness and Physical Properties of Semi-Aqueous Cleaning Agents," *Hwahak Konghak*, **40**(1), 106-113 (2002).
23. Lim, J. C., "Phase Equilibrium, Dynamic Behavior and Detergency in Systems Containing Hard Surface Soils and Nonionic Surfactant," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **6**(4), 610-617 (1995).