

# 계수형 데이터의 계량화를 통한 SMD Wave Soldering 공정의 최적화 사례

## 조성하

경남 창원시 성주동 42번지 삼성테크윈(주) 제1사업장  
전화) 055-260-5743 email) jopo,[cho@samsung.com](mailto:cho@samsung.com)

## 권혁무

부산시 남구 용당동 산 100, 부경대학교 시스템경영공학과  
전화) 051-620-1549 email) [iehmkwon@pknu.ac.kr](mailto:iehmkwon@pknu.ac.kr)

### Abstract

본 연구는 U사의 SMD Wave Soldering 공정을 최적화하기 위해 납땜에 관련된 PCB의 여러 계수형 특성들을 종합하여 계량화한 후 분석한 사례이다. SMD Wave Soldering 공정은 PCB 불량률의 80% 이상을 결정하는 중요 공정으로 SMD 작업 불량률으로 인한 재작업 등 각종 문제점들을 내포하고 있다. 그러나 검사 결과 미납, 냉납, 과납, 쇼트 등의 발생 건수 형태의 계수형 데이터가 집계되어 이를 체계적으로 분석하여 공정을 개선하는데 어려움이 있어 불량 유형별로 보다 세분화된 평가표를 작성하여 먼저 데이터를 계량화한 후 이를 기초로 공정 개선을 실시하였다.

### 1. 서론

PCB 제조 공정을 구성하는 중요 공정의 하나인 납땜 공정은 인쇄 회로 기판 위에 여러 종류의 필요 부품들을 탑재하여 부품과 기판의 회로를 연결시켜 주는 공정이다. 공정 품질은 작업 후 부품의 실장 상태, 회로의 연결 상태, L/W 부착 상태 등 주로 외관에 의존하는 품질특성과 성능에 의해 결정되는 품질특성으로 구분된다. 여기서 개선하고자 하는 특성은 외관품질에 관련된 것으로 검사 결과 주로 계수형 데이터가 얻어지고 있다.

본 연구에서 대상으로 하고 있는 U사에서는 PCB 조립 공정 불량률의 80% 이상이 납땜 불량률로 SMD(Surface Mount Device) Wave Soldering 공정을 시급히 개선할 필요가 있었다. 그러나 공정의 개선을 위해 데이터를 분석할 때 주어진 계수형 데이터로는 체계적인 해석과 원인 분석을 할 수가 없었다. 또한 개선을 위한 실험을 설계하고 실험 데이터를 해석할 경우에도

계수형 데이터로서는 정보가 극히 제한적이라 유효한 정보로 활용하기 어려웠다.

이에 따라 본 연구에서는 납땜의 불량 유형별로 평가항목을 세분화하고 각 평가항목별로 불량률의 등급을 여러 등급으로 구분하여 평가표를 작성하였다. 이렇게 세분화된 평가표를 근거로 하여 각 부품의 외관 품질특성을 계량화하여 분석하였다. 개선을 위한 실험은 다구찌 방법을 적용하였다.

### 2. 불량 유형의 분석 및 계량화

먼저 불량 발생 유형을 종합적으로 분석하기 위해 각종 SMT 납땜 불량 유형에 대한 정보를 사진 촬영 및 그림을 이용하여 수집하였다. 수집된 데이터를 항목별로 분류하여 파레토 분석을 실시한 결과 미납이 전체 불량률의 44%, 냉납 22%, 과납 19%, 쇼트 14% 순이었다. (그림 1) 그러나 이와 같은 계수형 데이터로는 개선을 위한 체계적인 분석에 한계가 있으므로 사진촬영 및 그림 데이터를 이용하여 세분화된 평가표를 작성하고 이를 바탕으로 검사 결과 데이터를 계량화할 수 있도록 하였다.

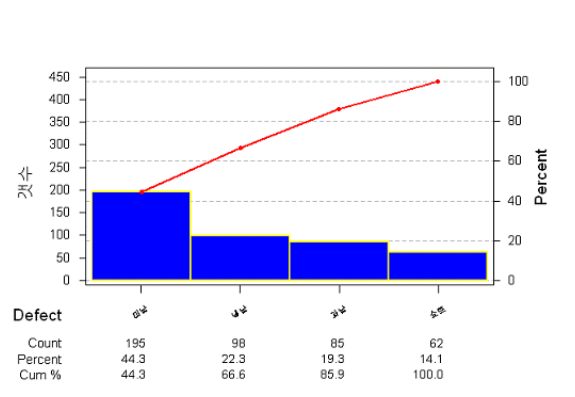


그림 1. 납땜불량 유형별 파레토 분석 결과  
PCB 조립품의 품질 평가항목은 크게 걸모양, 탑재상태, 납땜 상태, L/W 부착상

태, 부품 상태, 성능으로 분류되고 앞의 3개 항목을 다시 세분하여 총 18개 항목을 평가한다. 표 1은 이들 각 항목별 상태를 사진 촬영 및 그림을 이용하여 10개 등급으로 분류하여 점수를 부여한 것이다.

하나의 PCB 조립품에 대해 평가된 품질특성을 계량화할 때, 여기서는 18개 항목 각각의 평가결과에 대해 기하 평균을 취하였다. 각 평가 등급에서 1점은 정상이거나 양호한 상태를 의미하므로 이렇게 계량화된 품질 특성 값은 작을수록(1에 가까울수록) 좋다고 할 수 있다. 예를 들어 패턴쇼트 3, 패턴단선 1, 패턴상태 1, 레지스트도포 2, 납땜퍼짐성 2, 세척상태 1, 결품 1, 극성바뀜 1, 틀어짐 2, 정위치 이탈 1, 오탑 1,

미납 1, 냉납 1, 쇼트 1, 광택도 1, L/W부착 상태 1, 부품 상태 1, 성능 1인 PCB 조립품의 계량화된 품질특성 평가 결과는

$\frac{1}{(24)^{18}} = 1.1931$  이 된다. 각 평가항목별 합격기준에 대해서도 같은 방법을 적용하면 계량화된 규격 값을 얻을 수 있고, 검사 결과 데이터를 바탕으로 공정능력분석 및 예상 불량률 추정 등이 가능할 뿐 아니라 실험 측정 및 데이터 수집과 해석에도 응용할 수 있다.

공정을 개선하기 전에 취해진 PCB 조립품 표본을 취하여 공정능력을 분석한 결과 공정불량률은 11817ppm 정도인 것으로 추정되었다.

표 1. PCB 조립품 불량 유형 분석표

No.	구분	평가항목	등급										합격기준
			1	2	3	4	5	28	29	30	31	32	
1	결 모 양	패턴쇼트											4
2		패턴단선											3
3		패턴상태											3
4		레지스트도포											2
5		납땜퍼짐성											3
6		세척상태	양호	부분얼룩 (비기능)				부분얼룩 (패턴부)	전체 얼룩				2
7	결 재 상 태	결품	없음				L/W결품	계측기미 검출부품 결품	계측기 검출부품 결품			1	
8		극성바뀜	없음				내온관 극성바뀜	LBD 극성바뀜	TRIGGER 극성바뀜			1	
9		틀어짐											5
10		정위치이탈											2
11		오탑	없음	뒤집어짐				1EA	2 EA	3 EA이상			2
12		건 상 태	미납										
13	냉납												2
14	쇼트												2
15	광택도		평택	무광				부식광					2
16	L/W부착상태												3
17	부품상태	정상					크랙	파손				2	
18	성능검사	GOOD										NG	1

### 3. 실험의 설계와 분석

SMD Wave Soldering 공정의 개선을 위해 먼저 공정품질에 영향을 줄 수 있는 요인들을 도출하였다. 관계자들이 함께 모

여 브레인스토밍으로 도출하되 먼저 공정 품질 전체 관련하여 특성요인도를 작성하고, 다음으로 특히 불량률이 빈번하게 발생하고 있는 미납 요인에 대해 집중적으로 원인을 추구하였다. 도출된 요인들에 대하여

XY매트릭스, FMEA 등의 도구를 활용하여 중요도를 체계적으로 평가하여 1차 중요 요인들을 선별하고, 수집된 데이터를 바탕으로 통계적인 유의성을 분석하여 실질적인 중요 인자들을 선별한 결과 납조 높이, 1, 2차 납조온도, FLUX 비중, 1, 2차 예열온도, 컨베이어 속도 등 7개 인자가 최종 선정되었다.

실험 방법은 교대 근무, 원재료 로트 간 산포 등의 피할 수 없는 잡음 요인이 있으므로 다구찌 방법을 채용하기로 하였다. 제어인자 간 교호작용의 효과를 최대한 고르게 분산시켜 의미 있는 데이터를 확보하기 위해  $L_{13}(2^1 \times 3^7)$  직교배열표를 사용하였다. 각 실험인자의 수준은 현재 적용되고 있는 공정의 조건과 기술적인 지식을 토대로 표 2와 같이 결정하였다. 잡음인자의 수준은 현재 진행되는 제어 불가능한 작업들의 조건상 서로 많이 상이하리라고 생각되는 조건들을 결합하여 2수준으로 정하였다.

표 2. 제어인자와 수준

인 자		수 준		
		-1	0	1
A	납조높이	0	0.5	
B	납조온도 1차	255	265	275
C	납조온도 2차	255	265	275
D	FLUX 비중	0.820	0.823	0.826
E	예열온도 1차	55	65	75
F	예열온도 2차	78	88	98
G	컨베이어속도	3초	5초	7초

데이터는 불량 항목별로 수집하고 불량 유형 분석표에 의거 원 데이터를 계량화하여 미납, 과납, 냉납, 쇼트에 대해 먼저 분석한 후 전체에 대해 분석하였다. 계량화된 데이터를 기준으로 할 때, 각 잡음 수준에 대해 5개씩 얻었으며 따라서 실험 결과 총 180개 데이터가 얻어졌다. 표 3은 불량항목 중 미납 관련하여 계량화된 데이터를 기초로 계산된 SN비를  $L_{13}(2^1 \times 3^7)$  직교배열표의 표준배열 순서에 따라 보여주고 있다.

표 4는 미납 관련하여 분산분석을 실시한 결과로서, 미납에 주로 영향을 주는 인자는 C인자(납조온도 2차)와 E인자(예열온도 1차)임을 알 수 있다.

표 3. 실험 결과 (SN비)

실험조건	데이터		SN비
	잡음 N0	잡음 N1	
1	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-8.45

2	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-5.80
3	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-4.47
4	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-6.02
5	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-12.60
6	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-11.34
7	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-9.34
8	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-10.93
9	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-11.40
10	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-3.42
11	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-10.93
12	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-10.09
13	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-3.42
14	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-10.33
15	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-11.07
16	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-5.31
17	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-3.42
18	$y_1, \dots, y_5$	$y_1, \dots, y_5$	-11.76

표 4의 분산분석 결과를 바탕으로 C, E 두 인자를 제외한 나머지 인자들을 오차항으로 하여 가설검정을 실시하고, 두 인자의 총변동에 대한 기여율을 계산한 결과 표 5와 같다.

표 4. 분산분석표 (미납)

요인	SS	DF	MS
A	6.219	1	6.219
B	12.396	2	6.198
C	52.546	2	26.273
D	4.716	2	2.358
E	45.863	2	22.932
F	3.511	2	1.755
G	17.399	2	8.700
오차	42.960	4	10.740
계	185.610	17	

표 5. 납조(2차) 및 예열(1차)온도의 기여율

요인	SS	DF	MS	F0	SS'	p(%)
C	52.546	2	26.273	3.92	39.13	21.08
E	45.863	2	22.932	3.42	32.45	17.48
오차	87.201	13	6.708			61.44
계	185.61	17				100

이와 같은 방법으로 과납, 냉납, 쇼트 및 전체에 대해 분석하였다. 공정의 개선을 위해 각 항목에 독자적으로 영향을 주고 있는 인자에 대해서는 개별 분석 결과에 의거 최적화하고, 공통으로 영향을 주는 인자에 대해서는 각 전체적인 평가 지표를 최적화하는 방향으로 조건을 설정하였다.

설정된 최적 조건에 따라 확인실험을 실시하여 얻어진 데이터를 바탕으로 SN비를 계산한 결과 -4.88db로서 추정 95% 신뢰구간 -7.24 ~ -2.31db에 포함되므로 재현성이 있는 것으로 판단되어 공정 조건을 이 조건으로 표준화하기로 하였다. 표 6은 제어인자의 표준화된 조건 및 관리 기준을 함께 보여주고 있다.

표 6. 제어인자의 표준 조건 및 관리 기준

제어 인자	표준 조건	관리 기준
납조높이	0.25	±0.05
납조온도 1차	255℃	±0.5
납조온도 2차	255℃	±0.5
FLUX 비중	0.826	±0.001
예열온도 1차	65℃	±0.5
예열온도 2차	88℃	±0.1
컨베이어 속도	5m/분	±0.1

개선 성과의 지속적인 유지관리를 위하여 작업지도를 제정하는 한편 PM 점검시트를 작성하여 체계적인 관리가 이루어질 수 있도록 조치하였다. 사후 관리 과정에서 얻어진 데이터를 이용하여 공정능력을 분석하고 공정불량률을 계산한 결과 개선 전에 비해 현저하게 감소하였다. 표 7은 개선 전후를 비교한 결과이다.

표 7. 개선 전후 불량률 비교

	개선 전	개선 후
공정 불량	11817 ppm	2122 ppm
출하 불량	5714 ppm	792 ppm

#### 4. 결론

본 연구에서는 계수형 품질 데이터를 종합하여 계량형 데이터로 변환한 후 분석한 사례를 보여 주고 있다. 계수형 데이터를 계량형으로 변환하는 방법은 과학적으로 입증된 논리적인 근거를 바탕으로 하지 않고 경험과 직관에 의해 타당하다고 판단되는 방식을 채용하였다. 그럼에도 불구하고 불량원인의 체계적인 분석과 개선을 위한 실험에 유용한 수단이 되었으며 분석 결과는 상당히 의미 있는 결과를 보여 주었다.

향후 계수형 데이터를 계량화하기 위한 여러 가지 합리적인 방법을 발굴하고 각 방법들의 장단점을 비교하여, 주어진 계수형 데이터를 계량화하는데 참고할 수 있는 적절한 지침을 제공할 수 있는 연구가 기대된다.

#### 참고문헌

1. 배도선, 류문찬, 권영일, 윤원영, 김상부, 홍성훈, 최인수(2000), *최신 통계적 품질 관리*, 영지문화사.
2. 삼성 6시그마아카데미(2003), *삼성 6시그마 DMAIC*, 삼성테크윈 6시그마아카데미.
3. Ranjit K. Roy(2001), *Design of Experiments using the Taguchi Approach*, John Wiley & Sons, Inc.
4. William Y. Fowlkes and Clyde M. Creveling(1995), *Engineering Methods for Robust Product Design*, Addison-Wesley Publishing Company.