

■ 연구보고

치수인자를 이용한 특수 인쇄 배선기판의 품질향상에 관한 연구

전영호

홍익대학교 산업공학과

A Study on the Quality Improvement of Special Printed Wire Board Using Scale Factor

Young Ho Chun

Dept. of Industrial Engineering, Hong Ik University

Abstract

A study of improvement of printing accuracy of special PCB has been carried out by applying the corrected data of laminate dimensional variation to real products. The result of this study improved the accuracy of product by decreasing the deviation between design specifications and end products. This paper will be useful when PCB manufacturers using paper phenol laminates make preparation for customer's needs, more complicated specifications. And so, it will be successful for image renovation of any company by assuring the reliabilities to customers.

1. 서론

현대의 전자산업은 경·박·단·소화 추세로 인하여 부품은 점차 고밀도화 되고, 전자 기기의 기능은 다기능화 되고 있다. 이와 같이 전자기기의 성능 향상이 급속히 이루어지는 이유는 전자기기에 대한 소비자의 욕구를 충족시키기 위해 반도체 소자를 위시한 각종 전자 부품의 진보와 실장 기술의 발전에 기인하고 있다. 즉 전자 기기의 성능을 향상시키기 위한 소형화 및 고속처리 실현으로 반도체 소자의 고집적화, 수동 부품류의 소형화 및 칩화는 상당히 진전되었고, 부품의 탑재에 관련된 실장기술은 더욱 진보되고 있다. 칩적

도의 증가와 폐케이지의 다핀화로 리드 피치가 작게 됨으로써 단위 면적당 기능의 집적이 향상 되어, 배선량과 배선 밀도 등이 급격히 증가되고 있다[5]. 이러한 기능의 향상은 전자 부품중 가장 핵심이라고 할 수 있는 인쇄 배선기판(PWB : Printed Wiring Board)의 기술 발전이 가져온 결과라고 볼 수 있다. 인쇄 배선기판이란 전기 절연성 기판 표면에 도체 회로를 도전성 재료로 형성 고착한 것으로 고도의 전자 회로인 경우에는 화학적, 전기적 특성뿐만 아니라 물리적인 특성까지 요구되고 있다[3].

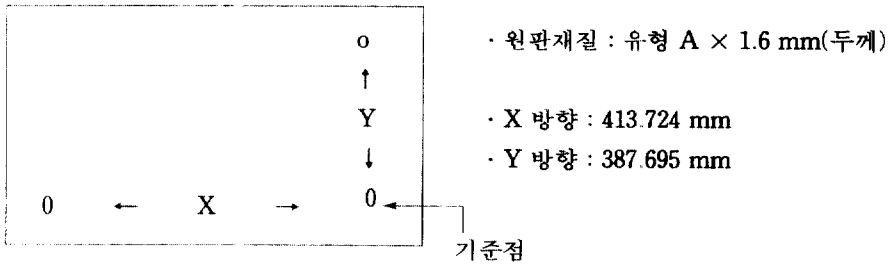
인쇄 배선기판에 부품 실장시, 부품을 접속하는 패드와 표면실장 소자의 풋 프린트의 미세화로 인하여 인쇄 배선기판의 휨, 비틀림의 방지와 납땀성, 내열성 향상이 요구되고 있다. 또한 회로의 미세화로 동장 적층판(CCL : Copper Clad Laminate)의 치수 안정성도 중요한 문제로 대두되고 있는 실정이다. 따라서 새로운 실장 기술에 대처하기 위해서는 기초 원자재인 동장 적층판의 개선이 필요하며, 각종 부품을 접속하고 부착시키는 인쇄 배선기판의 미세한 결함으로 인한 막대한 손실을 사전에 방지하기 위해서는 인쇄 배선기판의 설계 기법과 제조 공정상의 기술 개발이 매우 필요한 실정이다. 그러나 아직까지 개개의 단위 공정에 대한 기술 향상은 매우 미흡한 실정이며[3, 4], 특히, 특수 인쇄 배선기판 제조시 동장 적층판은 온도 및 습기로 인하여 치수 변화를 유발시켜 제품의 품질에 많은 영향을 미치고 있다. 즉, 고온 과정을 여러 번 거치면서 동장 적층판내 미경화된 수지의 재경화로 수축이 발생하고, 수분 흡수로 팽창이 발생하는 현상이 반복되고 있는 실정이다. 이러한 동장 적층판 치수 변화로 인쇄 배선기판 제조업체에서는 솔더 마스크의 인쇄 풀림 불량 및 최종제품의 홀(Hole) 터짐이 발생하고, 조립업체에서는 부품 자동 삽입시 미삽, 오삽 등의 불량과 납땀 불량이 발생하고 있는 실정이다[3, 6].

따라서 본 연구에서는 동장 적층판의 치수 변화로 야기된 품질 문제를 근본적으로 해결하기 위해, 일본 공업 규격의 인쇄 회로기판 통칙인 JIS C 5010을 근거로 하여 인쇄 회로기판의 기준 홀간 허용차 범위의 목표치를 국제적으로 인정되고 있는 CLASS III와 동일한 $\pm 50 \mu\text{m}$ 로 설정하였다. 이와 같은 목표를 달성하기 위해 본 연구에서는 현장에서의 실험을 통해 인쇄 회로기판의 제조 공정별 치수 변화율을 정밀도가 $1 \mu\text{m}$ 인 2 차원 측정기로 측정된 후 변화율에 따른 보정값을 양산 필름에 적용시켜, 개선 전후의 효과를 품질 비용을 기준으로 비교하였다.

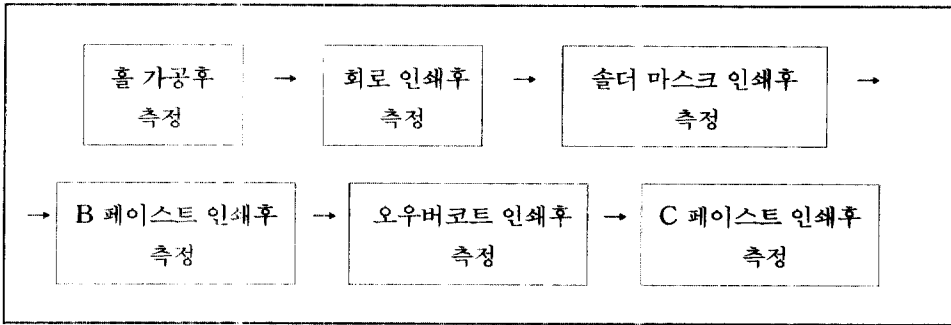
2. 연구방법

동장 적층판은 재질에 따라 치수 변화율이 다소 다르므로, 현재 가장 많이 사용되는 유형 A를 본 실험에 적용하였다. 실험을 위한 시료는 양산에 사용중인 유형 A와 같은 원판을 <그림1>과 같은 작업 등분 크기로 35 판넬을 준비하여 재단하였다.

인쇄 배선기판 제조시 동장 적층판의 치수 변화율이 크다고 예상되는 6개 공정에 대하여 정도가 $1 \mu\text{m}$ 인 ONOSOKKI, TN 951인 2 차원 측정기를 사용하여, <그림 1>의 기준 점을 중심으로 X, Y 축 거리를 <그림2>의 공정 진행순으로 각각 치수 변화율을 측정하였다.



< 그림1 > 동장 적층판의 작업 등분 크기



< 그림2 > 치수 변화율 측정 공정 순서

측정된 치수 변화율 자료는 <표 1>과 같다. 인쇄 배선기판의 제조 공정에 있어 동장적층판의 치수 변화량은 설계치와 대비하여 사전에 계산하여 설정된 비례 계수인 치수인자를 본 연구에 적용 실험하였다. 따라서 설계치와 같이 인쇄 배선기판을 제조하기 때문에 치수인자가 정확히 설정되지 않으면 인쇄상의 변화가 발생된다. 따라서 각 제조 공정의 유형 A의 동장 적층판에 대한 치수 변화량을 실측하고 그 자료를 설계치와 대비하여 양산 필름을 보정하기 위하여, 식(1)로 치수 인자를 계산하고, 식(2)로 필름 제작시 자료를 입력하여 보정치를 계산하였다.

$$S_F = \beta / \alpha \times 100(\%) \tag{1}$$

S_F : 치수 인자 (Scale Factor)

β : 공정 투입 후 재료의 X, Y 축의 실측치

α : 공정 투입 전 재료의 X, Y 축의 실측치

각 공정에 필요한 필름의 치수 보정치

$$= |S_F| - |필름 보정이 필요한 전공정의 \% 값| \tag{2}$$

공정진행에 따라 X축, Y축 각각의 길이 변화에 대한 유의성을 검정해 본 결과는 <표 2>와 같다. <표 2>에서 보는 바와 같이 공정중 회로 인쇄 후에 슬더 마스크 인쇄 공정중에 변화율과 슬더 마스크 인쇄 후에 B 페이스트 인쇄 공정중에 변화율이 5% 유의수준에서

(표 1) 각 공정별로 측정된 X, Y 축의 실측치

(단위 : mm)

측정 시료 번호	홀기공후		회로 인쇄후		슬더 마스크 인쇄후		B 페이스트 인쇄후		오우버 코트 인쇄후		C 페이스트 인쇄후	
	X축	Y축	X축	Y축	X축	Y축	X축	Y축	X축	Y축	X축	Y축
1	413.709	387.687	413.706	387.664	413.669	387.647	413.476	387.438	413.447	387.438	413.579	387.422
2	413.706	387.689	413.719	387.663	413.682	387.671	413.515	387.480	413.587	387.480	413.500	387.420
3	413.708	387.679	413.706	387.662	413.674	387.645	413.487	387.467	413.523	387.467	413.553	387.476
4	413.743	387.702	413.745	387.710	413.705	387.654	413.500	387.468	413.525	387.468	413.524	387.417
5	413.741	387.705	413.742	387.739	413.714	387.665	413.512	387.466	413.534	387.466	413.519	387.470
6	413.732	387.702	413.748	387.708	413.703	387.675	413.539	387.485	413.562	387.485	413.604	387.435
7	413.723	387.690	413.741	387.701	413.697	387.650	413.461	387.432	413.424	387.432	413.523	387.428
8	413.725	387.691	413.726	387.661	413.699	387.653	413.500	387.438	413.569	387.438	413.493	387.415
9	413.735	387.701	413.431	387.715	413.691	387.641	413.462	387.422	413.431	387.422	413.560	387.419
10	413.721	387.700	413.735	387.669	413.693	387.660	413.504	387.481	413.569	387.481	413.570	387.496
11	413.739	387.703	413.740	387.717	413.712	387.663	413.510	387.464	413.532	387.464	413.537	387.498
12	413.711	387.689	413.708	387.656	413.701	387.649	413.481	387.440	413.449	387.440	413.531	387.414
13	413.721	387.688	413.739	387.659	413.695	387.648	413.459	387.430	413.472	387.430	413.501	387.446
14	413.723	387.698	413.729	387.657	413.692	387.655	413.495	387.457	413.566	387.457	413.559	387.439
15	413.734	387.704	413.750	387.720	413.705	387.677	413.541	387.487	413.564	387.487	413.576	387.427
16	413.733	387.699	413.729	387.713	413.689	387.639	413.460	387.420	413.429	387.420	413.538	387.417
17	413.724	387.695	413.730	387.668	413.693	387.656	413.496	387.458	413.567	387.458	413.580	387.440
18	413.745	387.704	413.747	387.722	413.707	387.656	413.502	387.470	413.527	387.470	413.536	387.429
19	413.706	387.677	413.704	387.660	413.672	387.643	413.485	387.465	413.521	387.465	413.561	387.434
20	413.743	387.707	413.744	387.731	413.716	387.667	413.514	387.468	413.536	387.468	413.531	387.432
21	413.720	387.691	413.726	387.664	413.689	387.652	413.492	387.454	413.513	387.454	413.559	387.436
22	413.707	387.685	413.704	387.662	413.697	387.645	413.477	387.436	413.495	387.436	413.567	387.470
23	413.708	387.691	413.721	387.675	413.684	387.673	413.517	387.482	413.539	387.482	413.512	387.482
24	413.730	387.700	413.746	387.726	413.701	387.673	413.573	387.483	413.560	387.483	413.592	387.463
25	413.722	387.699	413.728	387.666	413.691	387.654	413.494	387.456	413.515	387.460	413.511	387.498
26	413.725	387.692	413.743	387.713	413.699	387.652	413.463	387.434	413.426	387.434	413.515	387.450
27	413.741	387.700	413.743	387.678	413.703	387.652	413.498	387.466	413.573	387.466	413.582	387.465
28	413.737	387.703	413.733	387.727	413.694	387.643	413.464	387.424	413.835	387.424	413.552	387.411
29	413.723	387.689	413.724	387.669	413.697	387.651	413.498	387.366	413.517	387.436	413.501	387.443
30	413.721	387.692	413.727	387.675	413.690	387.653	413.493	387.461	413.514	387.455	413.559	387.497
31	413.710	387.681	413.708	387.664	413.676	387.647	413.689	387.469	413.525	387.469	413.565	387.478
32	413.704	387.687	413.717	387.661	413.680	387.669	413.513	387.478	413.535	387.478	413.508	387.498
33	413.723	387.705	413.737	387.721	413.695	387.662	413.506	387.483	413.521	387.483	413.562	387.498
34	413.727	387.693	413.728	387.683	413.701	387.655	413.502	387.440	413.521	387.440	413.505	387.417
35	413.719	387.701	413.733	387.687	413.691	387.658	413.502	387.479	413.517	387.479	413.558	387.494
평균	413.724	387.695	413.721	387.688	413.694	387.656	413.502	387.456	413.527	387.458	413.544	387.451
변화율	0	0	-0.001%	-0.002%	-0.007%	-0.010%	-0.054%	-0.062%	-0.048%	-0.061%	-0.044%	-0.063%
X,Y평균 변화율	0% (기준점)		-0.001% (P)		-0.009% (M)		-0.058% (S)		-0.055%		-0.054%	

유의한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 이들 공정시에 보정율을 적용하였다.

즉, 홀 가공시와 회로 인쇄시의 자료는 치수 변화율이 가장 큰 B 페이스트 인쇄후 동장 적층판의 수축율은 평균 $S_f\%$ 발생될 것으로 예상하여 이러한 수치만큼 양산 필름을 확대하여 공정상의 원판 수축량을 보정한다. 또한 <표 1>에서 B 페이스트 인쇄후 X, Y 평균 변화율을 S 로 나타내고 그 절대값을 $|S|$ 라 하였으며, 회로 인쇄후 X, Y 평균 변화율을 P 로 나타내고, 그 절대값을 $|P|$ 라고 하였다. 그리고 솔더 마스크 인쇄후 X, Y 평균 변화율을 M 으로 나타내고, 그 절대값을 $|M|$ 으로 표기하였다. 따라서 치수인자 산출공식은 식(3)-(6)과 같다.

$$\text{홀 가공시 치수인자} = |S| \tag{3}$$

인쇄 회로용 필름은 홀을 중심으로 인쇄를 해야 하므로 홀 가공 자료와 동일한 자료를 입력시켰다. 즉,

$$\text{회로 인쇄시 치수인자} = |S| \tag{4}$$

그리고 회로 인쇄가 완료된 상태에서의 수축율은 평균 $P\%$ 축소됨에 따라 솔더 마스크 인쇄용 필름의 치수 보정치는 $|S| - |P|$ 가 된다.

$$\text{솔더 마스크 인쇄시의 치수인자} = |S| - |P| \tag{5}$$

솔더 마스크 인쇄가 완료된 상태에서의 수축율은 평균 $M\%$ 축소됨에 따라 B 페이스트 인쇄용 필름의 치수 보정치는 $|S| - |M|$ 을 적용하였다. 이때 실험상 주의를 요하는 것은 필름 보정시 원 필름은 고정밀도의 대형 카메라를 사용하여 진행되므로 보정전 반드시 CAD 자료와의 일치 여부를 확인한 후 진행하였다.

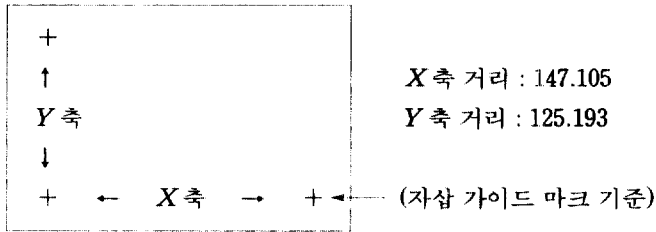
$$\text{B 페이스트 인쇄시의 치수인자} = |S| - |M| \tag{6}$$

< 표 2 > 각 공정에서 변화율 검정 결과

공정간의 변화율	X 축, Y 축	검정통계량(T)	P 값
홀 가공과 회로 인쇄회로간의 변화율	X 축	0.3257	0.7466
	Y 축	1.9554	0.0588
회로 인쇄와 솔더 마스크 인쇄간의 변화율	X 축	3.1324	0.0036*
	Y 축	7.1435	0.0001*
솔더마스크 인쇄와 B 페이스트 인쇄간의 변화율	X 축	26.5283	0.0001*
	Y 축	58.4410	0.0001*
B 페이스트 인쇄와 오우버 코트 인쇄간의 변화율	X 축	-1.9431	0.0603
	Y 축	-0.9653	0.3412
오우버 코트 인쇄와 C 페이스트 인쇄간의 변화율	X 축	-1.3645	0.1814
	Y 축	1.4880	0.1459

3. 분석

〈표 1〉의 자료를 사용하여 산정한 치수인자를 적용한 보정 필름으로 실제 양산 공정과 동일하게 30 판넬의 제품을 투입하여, 각 공정별 제품의 인쇄 정도 및 최종 제품에 대하여 2 차원 측정기로 실측하여 설계 사양과 비교하였다. 최종 제품에 대한 측정 위치는 〈그림 4〉와 같으며, 실측치는 〈표 3〉과 같다.



〈그림 4〉 인쇄 회로기판상 마크 측정 위치

〈표 3〉 최종제품 실측치

(단위: mm)

번호	구 분	Y축 거리		X축 거리	
		거 리	편 차	거 리	편 차
1	원 필름	125.193	0	147.105	0
2	기존 양산품	125.141	-0.052	147.011	-0.094
3	보정된 제품	125.197	+0.004	147.134	+0.029

최종 제품에 대한 실측치를 양산에 적용하여 품질 비용 절감 효과를 구해 본 결과는 〈표 4〉와 같으며, 앞으로 인쇄 배선기판의 수요가 점차 증가될 것이므로 원가면에서 현재보다 더 커다란 성과가 있을 것으로 생각된다.

4. 결론

치수인자를 이용한 특수 인쇄배선 기판의 품질향상에 관한 연구는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 동장 적층판에 치수인자를 적용하여 인쇄 배선기판을 제조할 경우 현저하게 제품의 품질을 향상시킬 수 있었다.

2) 설계사양과 실제품간의 편차를 감소시켜 제품의 정밀도를 대폭 향상시킬 수 있었다. 즉 기존방법으로 제조한 인쇄 배선기판의 경우 X축으로 $-52\mu\text{m}$, Y축으로 $-94\mu\text{m}$

〈 표 4 〉 개선 전후의 품질비용 비교

항 목	개 선 전	개 선 후	비 고
불량율	3 %	1.5 %	간접 불량 포함
불량 손실금	11,000,000원 1. 제품 1개당가격 (C) : 1,160원/개 2. 월간 총생산량 (N) : 316,092개/월 3. 불량율: 3% 4. 불량손실금액 (F) : 11,000,000원 $F = N \times 0.03 \times C$ = 11,000,000원	5,800,000원 1. 예방비 (P) : 256,700원 1)계측기사용료:81,720원/월 97,000,000원/대 \times 0.369 =35,793,000원/년간감가상각액 4,086원/시간 \times 20 시간 =81,720원/월 2)인건비: 170,000원/인 1,700,000원/월 \times 10 % = 170,000원 3)재료비: ₩ 5,000/월 2. 손실비 (F) : 5,500,000원 $F = N \times 0.015 \times C$ = 5,500,000원 3. 개선후 불량 손실금 $P + F = 5,756,720$ 원	0.369 : 정율법에 의한 상각율 월간사용시간 = 20 시간 소모품류
개선후 효과금액	11,000,000원 - 5,800,000원 = 5,200,000원		
업체불만 접수	월 2건 이상	없음	고객만족 100 %

수축이 발생하여 여러가지 불량을 초래 했으나, 개선방법으로 양산한 결과 X 축으로 +4 μ m, Y 축으로 +29 μ m로써 JIS C 5010의 기준 홀간 허용차 범위인 $\pm 50\mu$ m를 만족하는 결과를 보여 주었다.

3) 공정에서 발생하는 동장적층판의 치수 변화로 인한 불량 손실금액은 월간 1,100 만원이었으나, 치수인자를 이용하여 치수변화를 줄임으로써 불량 손실 금액을 50%이상 감소시킬 수 있었다.

4) 솔더 마스크 인쇄불량 및 홀 터짐으로 인하여 업체에서 월 2 건이상 손해 배상 요구가 제기되었으나, 본 실험 결과를 적용한 이후는 고객의 불만을 모두 해소시킬 수 있었다.

따라서 본 연구 결과는 동장 적층판을 사용하는 인쇄 배선기판 제조 업체가 고객의 설계 사양의 강화에 대비하려 할 때 업체 공정 특성에 적합하게 이용 할 수 있고, 또한 고객의

생산자에 대한 신뢰성 확보로 기업의 이미지 쇄신에도 많은 도움이 되리라 판단된다.

추후 연구방향으로는 동장 적층판의 TMA(Thermal Mechanical Analysis) 자료와 실제 인쇄 배선기판 공정중에서 나타나는 수축 팽창률을 비교 시험 연구하고자 한다.

참고문헌

- [1] Coombs, C. F. Jr. (1984), *Printed Circuit Handbook*, McGraw-Hill.
- [2] Priest, J. W. (1988), *Engineering Design for Producibility and Reliability*, Marcel Dekker Inc.
- [3] 伊藤(1992), 「프린트 配線 技術 讀本」, 日刊 工業 新聞社.
- [4] ミマツデータシステム(1986), 「最新の高密度プリント配線板 技術」, pp. 39-56.
- [5] JISハンドブック(1993), 「프린트 配線板 JIS C5010」.
- [6] 日本 工業新聞社(1993), 「表面 實裝 技術」, pp. 77-80.
- [7] 植草原三(1991), 「機器 部品の壽命と超加速試験法」, 日刊工業新聞社, pp. 99-120.
- [8] 工業調査會(1985), 「多層 프린트 配線板 키-워드 100」, pp. 199-203.