

무연솔더 페이스트 기계적 시험법 규격화 (I)

- 칩부품 접합부 전단시험 -

박재현·이종현·안용식

Standardization of Mechanical Test Method for Lead-Free Solder Paste

- Shear Test Method for Chip Joint -

Jai-Hyun Park, Jong-Hyun Lee and Yong-Sik Ahn

1. 서론

정보통신의 급속한 발전은 휴대전화, 노트북 컴퓨터, 개인휴대 정보 단말기 등으로 대표되는 전자기기의 소형경량화, 고기능화, 고속화, 복합화가 한층 요구되고 있다. 더불어 유럽연합 환경규제의 대표적인 예인 WEEE 및 RoHS 지령 등으로 솔더페이스트의 무연화 추진 및 확대는 가속화 될 것으로 보인다. 이런 상황에서 특히 무연솔더 페이스트 기계적 특성평가에 대한 표준화규격이 제정되어야 하지만 아직까지 실제 산업현장에서 적용할 수 있는 표준화된 규격은 거의 없는 실정이다. 다만 일본규격인 JIS(Japanese Industrial Standard) 에서 최초로 2003년에 무연솔더 페이스트 접합부의 QFP(Quad Flat Packs) 부품에 대한 당김 시험 및 칩(Chip)부품의 전단시험방법에 대해 표준화된 시험방법을 제시하고 있다¹⁾. 하지만 이시험의 경우 솔더페이스트 비교시험등을 위한 기판제작등의 표준이나 절차등이 없고 시험시료의 수, 지그형상에 있어 미비한 점등이 있어 이를보완한 새로운 시험규격을 제시하고자 하였다. 시험후에는 KS 규격제정을 위한 시험절차서의 작성 및 시험소간 비교시험인 RRT(Round Robin Test)를 실시하여 시험방법상에 있어 문제점등의 이상유무를 확인하였다²⁾.

2. 시험재료 및 방법

2.1 시험시료 및 접합부 제조

사용된 전단시험용 칩부품은 2×1.27×0.6mm 규격의 2012 MLCC(Multy Layer Ceramic Capacitor) 이고 Au 패드(Pad)를 가지는 기판(PCB)의 크기는

50×100mm를 사용하였다. 사용된 MLCC 칩과 기판의 자세한 데이터는 Table 1과 Fig. 1에 제시하였다.

솔더페이스트는 RMA(Rosin Mildedly Activated) 형태 플럭스가 함유된 Sn-3.0Ag-0.5Cu 조성의 무연 솔더 페이스트를 사용하였다. 접합에 필요한 리플로우(reflow)는 예열구간이 150-180℃에서 110~120초, 솔더링 가열구간은 217℃이상에서 40초, 피크온도는 245℃에서 4초간으로 하였다.

2.2 시험방법

전단시험을 위한 시편을 각 조건별 10개 씩 모두 40

Table 1 Specification of materials used for tests

구분		
package		MLCC
Lead	Plating material	100Sn
	Plating thickness	3~4μm
PCB 기판	재질	PCB(Print Circuit Board) FR-4
	두께	0.8mm
	표면처리	Ni : 2.54~7μm Au : 0.7μm이하

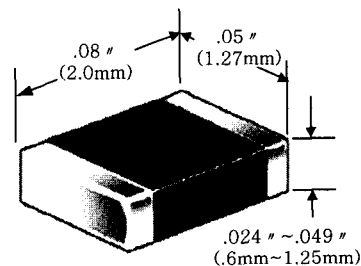


Fig. 1 Dimension of 2012 Chip

개를 제작후 제작된 시편 중 엑스선(X-Ray) 검사결과 기공(porosity)이 적고 양호한 상태의 시료만을 전단시험 하였고 다음의 4가지 변수에 의해서 시험하였다.

2.2.1 시험회수의 영향

최적 시험회수를 결정하기 위하여 국내외적으로 통용되고 있는 전단지그 위치 및 속도를 참조하여 시험을 실시하였으며, 전단시험에서는 1mm폭의 길이를 가지는 직사각형 단면을 가진 지그를 사용하였다. 전단 하중을 가하기 직전의 지그 위치는 기판표면으로부터 10 μ m 가 되도록 조절하였다. 전단속도는 10 mm/min이었으며, 시험용 시편의 수는 30개로 하였다. 전단강도값은 전체 누적평균값을 사용하였다. 누적 평균값의 경우 실제 시험결과와 횡수가 많을수록 이상적인 평균값에 도달하기 쉬우나 본 연구에서는 최대 30회의 시험을 실시하여 30회에 대한 표준편차값을 구하였고 이값을 이용하여 전체 측정값의 분포가 통계학적인 정규분포를 따른다고 가정할 때 각 시험횟수에서 측정치에 대한 95% 신뢰구간을 구하여 적절한 측정횟수를 분석하였다³⁾.

2.2.2 지그 형상의 영향

지그의 형상이 전단강도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 5가지 형태의 지그를 제작하였다. Fig. 2(a)는 전단 지그의 전단하중 방향과 위치를 나타내고 있다.

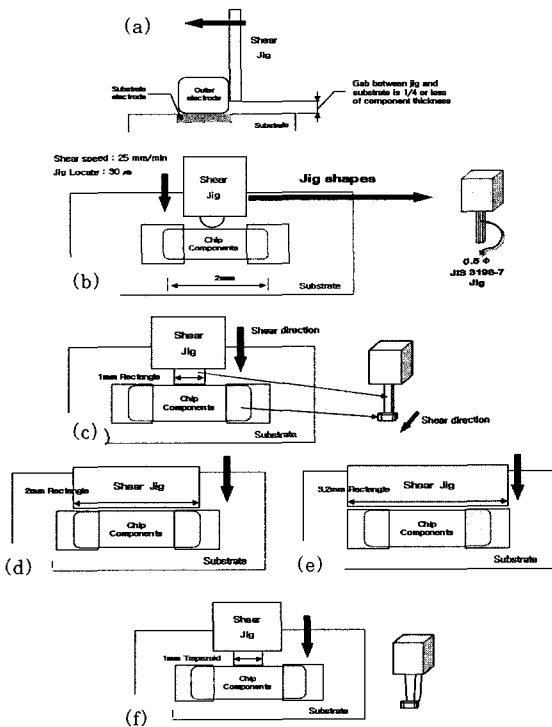


Fig. 2 Conventional shear test methods(a) and the various jig shapes (b)-(f)

Fig. 2(c), (d), (e)의 1mm, 2mm, 3.2mm 직사각형 지그는 시편과 접촉하는 전단지그의 폭을 다르게 설계한 것이며, 모든 지그의 종축 길이는 8mm이다. Fig. 2(f)의 사다리꼴 형은 지그의 종축을 사다리꼴로 제작한 것이다. Fig. 2(b)의 0.5mm ϕ 돌출형 지그는 JIS Z 3198-7의 시험조건이다. 전단 시험 횡수는 각 지그별로 15회씩 실시하여 누적 평균값을 비교하였다. 전단 시험 시의 지그 속도는 25mm/min, 전단 하중을 가하기 위한 지그의 위치는 지그의 단면이 기판으로부터 칩까지 30 μ m의 높이가 되도록 일정하게 유지하였다.

2.2.3 시험 속도의 영향

전단시험 속도변화에 따른 강도의 변화를 측정하기 위해 다음과 같은 조건으로 실험하였다. 전단 지그의 속도는 2~60 mm/min의 조건에서 시험하였다. 기타 시험조건으로 2mm 직사각형의 지그를 사용하였고 지그 위치는 기판의 바닥으로부터 30 μ m로 고정하여 각각의 조건별로 15회씩 측정하였다.

2.2.4 전단 지그 높이의 영향

지그 위치(높이)의 변화에 따른 강도의 변화 여부를 측정하기 위해 기판 바닥으로부터 각각 10, 30, 50, 110, 170, 380 μ m, 지점에서 조건별로 시험하였다. 기타 시험조건으로 2mm 직사각형의 지그를 사용하였고 전단속도는 25 mm/min로 고정하여 각각의 조건별로 15회씩 측정하였다.

2.2.5 시험절차서 작성 및 RRT

시험후 최적조건을 근거로 규격화를 위해 한국공업규격서(KS) 작성방법인 KS A 0001⁴⁾에 근거하여 시험절차서를 작성하였으며 이를 바탕으로 시험방법에 대한 검증을 위해 슬더페이스트 수요기업 2곳 및 시험평가기관 1곳을 선정 RRT(round robin test)를 하였다.

3 시험결과 및 고찰

3.1 시험회수의 영향

시험결과 Fig. 3(a)에서 나타내는 바와 같이 전단강도의 편차가 어느 정도 발생하고 있다. 이와 같이 강도값의 편차가 나타나는 이유는 슬더링시 기판과 부품간의 슬더 젖음면적이 약간씩 차이가 나기 때문이며 이는 횡단면 관찰에서도 쉽게 확인된다. 30회 측정 후 표준편차값(S)을 구해본 결과 679g 이었으며, 강도값의 누적평균 및 평균값에 대한 95% 신뢰구간은 아래 Fig.

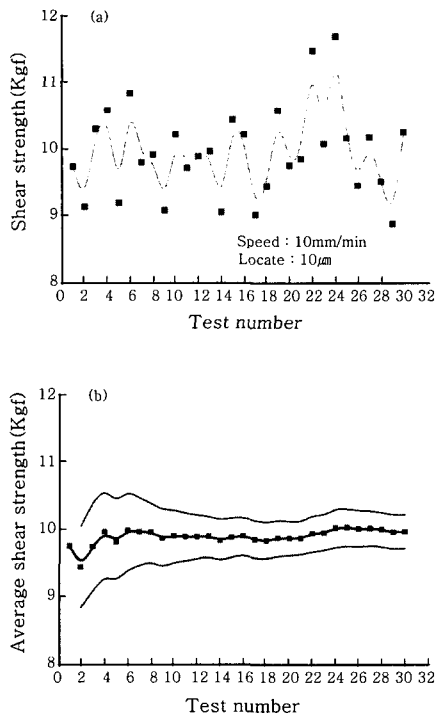


Fig. 3 Variation of (a) shear strength and (b) accumulative average shear strength

3.(b)에서와 같이 나타난다. Fig. 3에서 평균값의 아래 위 실선으로 나타낸 신뢰구간의 폭은 시험횟수가 증가함에 따라 감소하며 시험 횟수가 15회를 넘으면 누적평균값의 변화가 거의 없어지고 신뢰구간의 폭이 $\pm 260g$ 이하가 된다. 이 후 각 시험조건에서 전단강도의 크기를 비교할 때 전단강도의 크기 차이가 500g 이하이면 유사한 값으로 인정할 수 있는 정도가 되며 신뢰구간의 폭이 $\pm 260g$ 이하가 되었다면 시험결과 값으로서 어느 정도 신뢰할 수 있다고 생각된다. 따라서 솔더 접합부의 전단강도 시험 시 동일 조건에서 15회 정도 시험한 후 누적평균값을 계산하면 전단강도 값으로서 대표성을 가질 수 있다고 생각된다.

3.2 지그형상의 영향

지그는 일본 JIS의 표준규격에 규정되어 있는 0.5mm ϕ 돌출형 지그(Fig. 2(b))를 포함하여 총 5가지를 사용하여 각 조건별로 15회씩 시험하였다. 시험결과 전단강도의 크기는 1mm 사다리꼴 < 0.5mm ϕ 돌출형 < 3.2mm 직사각형 < 1mm 직사각형 < 2mm 직사각형 지그의 순으로 나타났다(Fig. 4). 이중 0.5mm ϕ 돌출형 지그는 JIS 규격에 정해진 표준형이지만 실제 시험한 결과 본 시험에서 사용한 칩 부품의 경우 작은 돌출부에 의한 응력집중에 의해 세라믹부품의 파괴가 종종 발생하여 시험조건으로는 부적합하였다. 시험

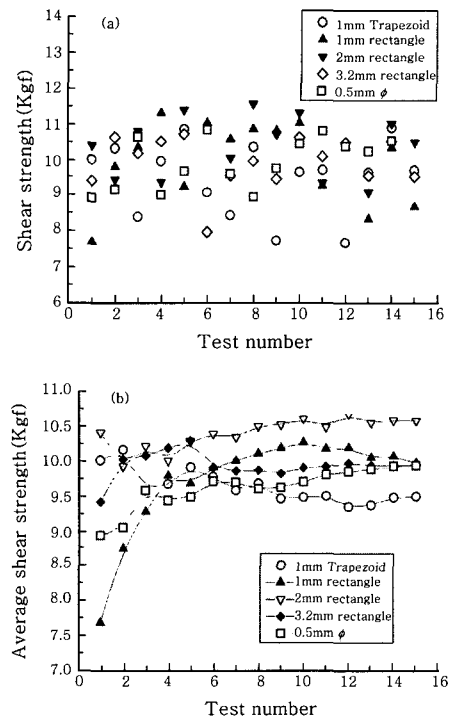


Fig. 4 Variation of (a) shear strength and (b) accumulative average shear strength tested with various shapes of shear jigs

전 예상으로는 기관위의 Au 패드에 부품과 접합된 솔더가 모두 포함되는 3.2mm 직사각형의 지그가 가장 높은 강도를 얻을 것이라 판단하였으나 실험결과 2012 칩 부분만 접촉하는 2mm 직사각형의 지그를 사용하였을 때 가장 높은 강도를 나타내었다.

3.3 시험속도의 영향

Fig. 5는 전단 속도를 2~60 mm/min로 하여 칩을 전단 시켰을 때의 누적평균 강도 값을 보여주고 있다. JIS 규격에서는 시험속도를 5~20mm/min로 규정하고 있다¹⁾. 그러나 본시험결과에서 볼때 시험속도는 최

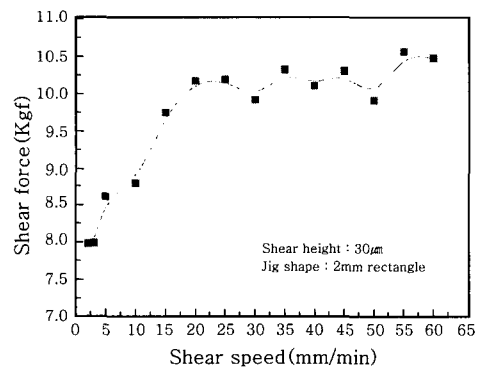


Fig. 5 Variation of accumulative average shear strength with shear speeds

소한 20mm/min 이상인 경우에 비교적 높은강도에서 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다. 파면분석시 시험 속도가 45mm/min 이상이면 솔더 접합부와 칩이 깨끗이 분리되지 않고 칩 부품의 파괴가 발생하는 현상이 발생하여 솔더 조인트의 강도를 측정하기에는 적합하지 않은 것을 확인하였다. 따라서 비교적 안정된 파단형상 및 최적강도를 유지할 수 있는 시험조건은 20~40 mm/min 범위이다.

3.4 지그높이의 영향

전단 위치의 표준화에 관한 조건을 제시하기 위해 다양한 지그 위치에서 전단 시험을 실시하였다. 본 연구에서는 JIS 규격 조건인 기판에서 부품까지의 높이가 1/4 미만인 지점과 기타의 위치에서 시험한 결과, 지그 위치에 따른 전단 강도는 Fig. 6에서 나타내는 바와 같이 15회씩 측정된 평균 강도 값이 30 μ m, 50 μ m, 110 μ m, 170 μ m에서 거의 일정하게 측정되었으나 시험도중 칩의 파단 시 170 μ m(칩높이의 1/4 위치 초과 지점)의 경우 전단된 파단면에서 칩의 세라믹 부분과 Sn 도금층이 남아있었다. 이것의 원인은 부품과 지그가 접촉하는 면적의 축소로 인한 응력집중으로 부품 외벽으로부터 크랙이 형성되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 지그 위치가 너무 낮은 10 μ m의 경우 누적 평균 강도가 가장 낮게 측정되었으며, 이것의 원인은 지그가 부품보다 낮은 위치에 놓임으로써 솔더 접합부위가 먼저 파단되기 때문으로 지그의 위치가 높아질수록 탄성변형 저항성이 증가하는 것으로 판단된다. Fig. 6에서 각 시험회수별 강도의 누적평균분포를 살펴보면 170 μ m일 때의 강도가 가장 높은 수치를 나타내지만 실제로 칩의 세라믹 부위가 파괴되면서 측정되는 값이므로 의미가 없었다. 실제 JIS Z 3198-7의 전단시험에 관한 규격에는 시험시 지그의 높이가 부품의 1/4위치를 초과하지 못하는 것으로 명시되어 있는데 종합적으로 볼때 지나

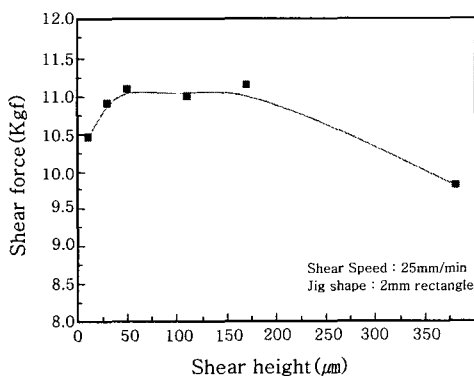


Fig. 6 Variation of accumulative average shear strength with jig heights

치게 지그의 위치가 낮아지지만 않는다면 부품의 1/4 위치 이하가 적당한 것으로 판단된다.

3.5 시험절차서의 작성 및 RRT

이상의 결과를 토대로 하여 시험절차서를 작성하였다. 시험절차서는 적용범위를 포함하는 총 7개의 항목이 포함되어 있으며 Table 2는 항목 및 내용을 정리한 결과를 나타내고 있다.

규격서에 대한 검증등 시험 재현성을 위해 시험시간 비교시험인 RRT(Round Robin Test)를 실시하였다. 총 3곳의 시험소에서 시험이 진행되었다. 우선 각 시험소간 평균 전단강도를 비교해보면 가장 낮은 값을 나타내는 A 시험소와 가장 큰 전단강도 값을 나타낸 B 시험소간의 차이는 1.083N에 불과한 것으로 나타나 측정소간 차이가 적음을 알 수 있었다. B 시험소의 경우 표준편차가 4.860N으로 다른 시험소에 비해 높았고 Fig. 7과 같이 분산도 타 시험소에 비해 큰 것으로 나타났지만 전체적인 분포를 고려하면 시험소간의 차이는 크지 않음을 알 수 있다.

Fig. 8은 전단강도 값의 실제 분포를 나타내며 65N에서 70N 사이에 집중적으로 분포함을 볼 수 있다. 전단시험시 측정된 값이 동일한 것으로 볼 수 있는지의 여부를 판단하기 위해 통계프로그램인 미니텝을⁵⁾ 이용 신뢰수준 95%에서 일원분산분석(ANOVA)을 하였다. 분산분석시 통계적 가설의 유의수준(Level of significance)에 대한 판단기준인 P값(P-Value)가 0.05 이상이면 시험소 3곳의 값들이 동일하다고 판단할 수 있는데 측정 결과 기준이 되는 0.05 보다 큰 0.398로서 시험소간

Table 2 Summary of shear test specification

1. 적용범위	각종 전기, 전자 및 통신기기 등의 배선의 기계적, 전기적 접속 및 그 부품제조, 제작에 사용되는 무연솔더 페이스트 접합부의 칩 부품 전단 시험법에 대해 규정
2. 인용규격	RS D 0026 무연솔더페이스트 신뢰성규격등
3. 용어	각종 용어 정의
4. 접합부 시료제조 및 샘플링	4.1 원소재 샘플링 4.1.1 솔더 페이스트의 샘플링 4.1.2 접합에 사용되는 시편의 표준 4.2 접합부제조 4.3 접합부 시료샘플링 및 형상
5. 시험방법	5.1 시험장비 장비는 지그 및 센서, 현미경, 스테이지등으로 구성, 시험속도 및 위치조절이 가능할 것 5.2 시험조건 시험속도는 20-40mm/min, 시험지그위치는 칩 부품높이의 1/4, 지그현상은 직사각형으로 전단 방향 칩부품폭과 동일할것, 시표수는 15
6. 고장기준 및 해석	고장기준은 본딩패드가 PCB에서 분리, 칩부품 파단시는 재시험.
7. 시험보고서	보고서에 포함되어야 되는 사항 언급

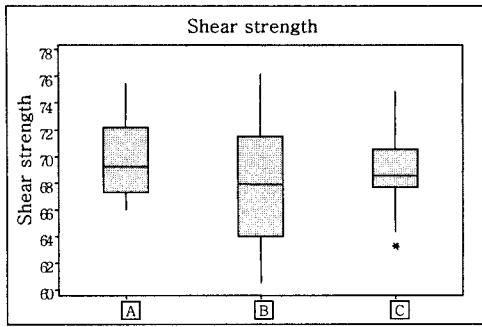


Fig. 7 Box plot of test results for different institutes

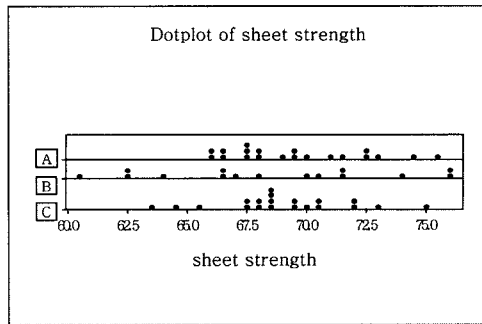


Fig. 8 Dot plot test results for different institutes

차이가 없음을 알수 있다. 동일한 측정량에 대한 연속적인 측정결과 사이의 근접도를 나타내는 재현성(reproducibility, R*) 차이를 구하면 다음과 같다.

$$R^* = \frac{R}{m} \times 100 = \frac{0.255}{69} \times 100 = 0.37\%$$

R: 시험소 간의 표준오차

m: 시험소에 대한 측정값의 평균

즉, 시험소간 측정 결과는 99.63% 유사성을 갖게 된다. 동일 측정 조건하에서 동일한 측정량에 대한 연속적인 측정결과 사이의 근접도인 반복성(Repeatability, r*)의 차이는 다음과 같다.

$$r^* = \frac{r}{m} \times 100 = \frac{0.468}{69.049} \times 100 = 0.68\%$$

r: 측정 샘플간의 표준오차

m: 측정 샘플의 평균

즉, 전체 전단시험 결과에 대한 반복성은 99.32%로 매우 높게 나타났다. 이상과 같이 전단시험법은 시험소 간의 측정결과값을 비교해 볼 때 통계적으로 유의하지 않은것으로 나타났다. 따라서 본 시험법에 따라 무연솔더 페이스트 접합부의 기계적인 특성을 평가할 경우 규격으로서의 정확도 및 정밀도를 보장할 수

있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

무연솔더 페이스트 칩부품에 대한 전단 시험의 규격 제정을 위한 시험 및 RRT(Round Robin Test)결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 최적 시험회수를 결정하기위해 30회까지 강도를 측정후 누적평균을 계산하고 표준편차 및 95% 신뢰구간을 계산한 결과 최소 15회 이상 측정하여 평균값을 나타내는 것이 필요하다.

2) JIS 규격의 0.5mmφ 들출형 지그를 포함 총5종의 지그형상에 대한 시험결과 2mm 직사각형 지그의 경우 칩부품 자체의 파괴가 없고 일정하게 분포된 가장 높은 강도를 나타내는 최적의 지그임을 확인하였다.

3) 시험시 전단 지그의 위치는 기판바닥으로부터 부품높이의 1/4 미만이어야 하며 이값 이상이면 강도값이 저하하게 된다.

4) 시험속도는 20mm/min 이하가 되면 강도값이 낮게 나타나고, 파단면이 건전하면서도 일정하게 높은 강도값을 유지하는 최적의 시험구간은 20-40mm/min이다.

5) 최적시험조건을 도출후 시험절차서를 작성하였으며 시험절차서는 적용범위, 접합부시료제조 및 샘플링, 시험방법등 총 7개 항목을 포함하고 있다.

6) 시험절차서에 대한 검증을 위해 3개기관으로부터 동일한 조건으로 시험을 실시하였으며 통계적 처리결과 차이가 유의하지 않아 규격으로서의 정확도 및 정밀도가 높음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. JSA :JIS Z 3198 Test methods for lead free solders (2003)
2. 박재현 : 무연솔더 페이스트 기계적 특성평가방법 표준화 연구 보고서, 2006 (in Korean)
3. J.K.Choi, J.H.Park, Y.S.Ahn : Standardization of Shear Test Method for Lead-Free Solder Paste Chip Joint (I), J. of Kor. Inst. Met. & Mater., 44-6 (2006), 367-372 (in Korean)
4. 기술표준원 : KS A 0001, 규격서의 서식 및 작성방법, 2007 ((in Korean)
5. Eretec.Inc. : Minitab Korean Version 14



• 박재현(朴宰顯)
 • 1963년생
 • 포항산업과학연구원 신뢰성평가실
 • 솔더링/브레이징 신뢰성평가
 • e-mail: pjhyun@rist.re.kr



- 안용식(安龍植)
- 1959년생
- 부경대학교 신소재공학부
- 금속강도 신뢰성평가
- e-mail: ysahn@pknu.ac.kr



- 이종현(李宗炫)
- 1959년생
- 기술표준원 소재나노표준팀
- 금속재료분야 표준화
- e-mail: leejh@kats.go.kr