

가변 구속상자를 이용한 점-표면배정방법에 의한 표면실장 솔더페이스트의 삼차원 해석 및 검사

신동원*

3-D Analysis and Inspection of Surface Mounted Solder Pastes by Point-to-Surface Assignment Method Using Variable Bounding Box

Dong Won Shin*

ABSTRACT

This work presents a method of point to surface assignment for 3D metrology of solder pastes on PCB. A bounding box enclosing the solder paste tightly on all sides is introduced to avoid incorrect assignment. The shape of bounding box for solder paste brick is variable according to geometry of measured points. The surface geometry of bounding box is obtained by using five peaks selected in the histogram of normalized gradient vectors. By using the bounding box enclosing the solder pastes, the task of point-to-surface assignment has been successfully conducted, then geometrical features are obtained through the task of surface fitting.

Key Words : Metrology(측정학), Inspection(검사), Point Cloud(점구름), Solder Pastes(솔더페이스트), Histogram(히스토그램), Gradient(기울기), Bounding Box(구속상자), Surface Fitting(표면맞춤)

1. 서론

최근에 많은 인쇄회로기판(PCB)는 고밀도의 조립성능을 가지는 표면실장형이다. 이러한 PCB 위에 스크린인쇄기가 솔더페이스트를 인쇄한 후에 다양한 IC 부품들이 솔더페이스트의 점착력을 통해 PCB 위에 고정되게 된다. 이후 부품이 실장된 채로 PCB 는 고열의 리플로우(Reflow) 공정을 거치게 되고 납은 용해와 응결을 통해 PCB 와 부품들을 견고하게 고정하게 된다.

PCB 조립라인에서는 다양한 형태의 불량이 생기게 마련인데, 여기에는 납인쇄결합, 부품장착결합, 납접합결합 등이 있다. 일반적으로 이러한 결

합들을 검사하는데 머신비전을 이용한 영상처리기술이 많이 사용되어 왔고 다양한 검사장비들이 개발되어 여러 생산라인에 적용되었다.¹ 그러나 머신비전을 이용한 검사기술은 조명문제와 카메라 고유의 2 차원적 성질 때문에 그 용도에 있어 한계가 있다. 즉 조명에 의한 빛의 반사량의 밝기정보를 가지고 검사하는 머신비전에서 3 차원 정보를 검사하기 위해서는 특수한 조명기술과 복잡한 영상처리기술이 필요로 하고 이나마 항상 신뢰성이 있는 검사결과를 가져다 주는 것은 아니다. 본 연구에서 대상으로 하는 솔더페이스트는 3 차원의 형상을 가지고 있고 더욱이 색깔이 거의 흑색에 가까우므로 조명의 효과를 기대하기가 어렵다.

✉ 2002년 7월 24일 접수
* 금오공과대학교 기계공학부

최근 비접촉식으로 물체의 3 차원 데이터를 획득하는 장치가 개발되어 많은 관심을 끌고 있다. CMM (Coordinate Measuring Machine)과 같은 접촉식의 측정장비는 많은 점을 측정하기에는 프로브의 이동시간이 많이 소요되는 반면 비접촉식 측정장비는 한번에 많은 점들의 위치데이터를 획득할 수 있고 접촉식으로 불가능한 복잡한 기하학적 형상에 대하여 위치정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 이들은 광학과 삼각법을 이용한 방식이 주종을 이루고 있으며 광원을 레이저 혹은 백색광을 사용하느냐에 따라 매우 많은 종류가 있고 개개마다 다양한 정밀도와 측정속도를 가지고 있다. 사용자는 대상물의 측정 정밀도에 따라서 적합한 3 차원 획득장치를 선택하여야 한다.²

이러한 3 차원 측정장비의 공통점은 임의의 좌표계에 대하여 (x, y, z) 의 위치벡터를 구하는 것이고 이 측정데이터의 검사 및 분석과정은 하드웨어와는 별도로 실행할 수 있다.² 최근에는 이런 측정된 점구름으로부터 중요한 기하학적 정보를 추출하고 해석하는 연구가 활발히 진행되고 있다.⁴

현재 시장에는 3 차원 스캐너를 이용한 솔더페이스트의 검사장비가 있기는 하나, 단순한 체적검사 정도의 수준에 머물고 있다.⁵ 이에 본 연구는 3-D 측정학(Metrology)을 이용하여 솔더페이스트의 다양한 항목의 검사 및 분석을 행하였다. 솔더페이스트의 불량은 면적, 체적, 위상기하(Topology), 표면형상 등에서 부적합한 형태로 나타난다. 면적 오차는 상위면(Top Surface)의 실제면적의 오차로 정의되고, 체적오차는 실제 체적에서의 오차로 정의된다. 위상기하오차는 상위면의 z 값의 오차로서, z 값의 평균값, 최대값, 최소값, 표준편차 등을 포함한다. 표면형상오차는 상위면이 기울기가 없는 기준 평면으로부터 얼마만큼 벗어나있는가의 양이다. 이들 결함들은 미납, 부품정렬오차 등을 유발하여 불량의 PCB 조립을 초래할 수 있다. 예를 들어, 체적의 부족은 약한(weak) 납접합을 야기할 수 있고, 부품의 리드가 장착되는 두개의 솔더페이스트 간에 최대 z 값이 다르면 리플로우 과정에서 부품이 한쪽으로 기울어지는 현상이 발생할 수 있다.

솔더페이스트로부터 3 차원 스캐닝 장비가 획득한 3 차원의 점들은 그 개수가 매우 많아 흔히 점구름(Point Cloud)이라고 불리운다. 이러한 점구

름은 벽돌과 같이 생긴 솔더페이스트의 모양을 나타내고는 있지만 단순한 점들의 모임일 뿐, 어느 점들이 어느 표면에 속해있는지, 각 표면의 면적은 얼마인지, 상위면의 기울기는 얼마인지 등의 중요한 기하학적 정보는 포함하고 있지 않다. 최근에 3 차원의 점들을 해석하여 유용한 데이터를 알아내는 3D 측정학에 대하여 많은 연구가 행해지고 있다.

이러한 3D 측정학은 등록(Registration), 점-표면배정(Point-to-Surface Assignment), 표면맞춤(Surface Fitting)과 최종적으로 기하학적 인자를 구하는 과정으로 구분되어 있다.² 등록작업이란 측정점들의 좌표를 기준모델의 좌표계와 맞춰주는 작업이다. 일반적으로 장비에서 측정된 좌표값은 장비마다 임의로 설정해놓기 때문에 기준모델의 좌표계에 정렬시키는 과정은 반드시 필요하다. 좌표계가 기준모델과 정렬이 되었다라든가 측정점들은 단순히 3 차원점들의 집합에 불과하므로 어느 점이 어느 표면에 속해있는지에 대하여는 알 수가 없다. 이러한 것을 알기 위해 기준모델의 어느 표면에 측정점들이 해당하는가를 배정해주는 작업이 점-표면배정 작업이다. 해당표면에 배정된 측정점들을 이용하여 표면맞춤을 적용하면 측정점들로 이루어진 표면의 기하학적 정보에 대하여 알 수 있다. 이러한 일련의 작업 모두 측정점들을 3 차원 CAD 모델과 같은 기준모델과 비교해석함으로써 행하여진다.^{2,3}

그동안 측정점과 모델간의 등록에 대한 많은 연구들이 행해졌고^{3,6,7} 특히 Besl 과 McKay⁸ 는 ICP(Iterative Closest Point)라는 개념을 도입한 등록 방법을 제시하였다. Ristic 과 Brujic⁹ 은 NURBS 곡면을 검사하는 데 있어서 실제적인 요구조건에 대하여 언급하였다. Andre² 은 3D 측정학의 체계적인 방법을 실제적으로 구현하였다.

본 논문은 솔더페이스트에 대한 점-표면배정 작업에 대하여 집중적으로 거론한다. 한 점에 대한 배정작업은 기준모델의 해당하는 표면을 찾는 것이다. 만약 측정된 좌표값들이 기준모델의 좌표값과 근접해 있다면 모든 측정점들은 기준모델의 해당표면으로 손쉽게 배정될 것이다. 그러나 측정 좌표값들이 기준모델의 좌표값과 상당한 차이를 가진다면 어떤 점들은 잘못된 표면으로 배정될 수 있다. 이러한 잘못된 배정의 문제를 해결하기 위해 솔더페이스트를 모든 면에서 밀착하여 둘러싸

는 구속상자(Bounding Box)라는 새로운 개념을 도입하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 점-표면배정문제를 몇 개의 예와 함께 설명하였고 이어서 기울기(Gradient) 벡터의 히스토그램을 이용하여 구속상자를 구축하는 방법에 대하여 설명한다. 마지막으로 이러한 절차를 이용하여 점-표면배정 작업을 실행하였다.

2. 점-표면 배정에서의 문제점

표면실장 PCB 에 인쇄된 솔더페이스트의 이상적인 형태는 보통 그림 1 과 같이 육면체의 벽돌 모양이다. 이 육면체의 6 개의 면 중에서 바닥면은 PCB 의 면과 동일하므로 고려대상에서 제외한다.

이상적인 형태의 솔더페이스트의 각면은 수학적으로 (1)과 같이 평면의 방정식으로 표현할 수 있다. 실제의 솔더페이스트의 측정값들은 이러한 수학적 모델과 비교평가 되어진다.

$$\{a_i | a_1x + a_2y + a_3z + a_4 = 0, x \in R, y \in R, z \in R\} \quad (1)$$

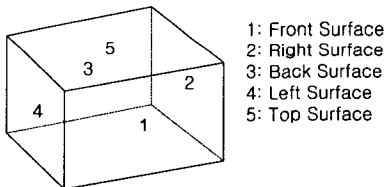


Fig. 1 Geometric form of ideal solder paste brick

솔더페이스트의 측정점들이 스캐닝장비로부터 획득되어진 후 이러한 점들은 3D 측정학을 이용하여 해석되어질 수 있다. 일반적으로 3D 측정학의 첫번째 과정은 측정된 점들을 기준모델이 좌표계와 정렬시키는 등록 작업이다. 대개의 솔더 검사장비는 서보모터를 이용한 자체 정렬장치를 가지고 있기 때문에 본 연구는 측정점들의 등록작업은 고려하지 않는다.

다음 과정은 측정점들을 기준모델의 해당 표면으로 배정해주는 작업이다. 이러한 점-표면배정 작업은 측정데이터의 한 점으로부터 기하학적인 수직거리가 가장 가까운 기준모델의 표면을 찾아 배정하는 작업으로 모든 측정점들이 기준모델의 한 표면으로 배정이 된다.

그림 2 와 같이 측정좌표값들이 기준모델의 좌표값과 매우 근접해 있다고 하자. 그림에서 바깥의 실선으로 이루어진 박스가 기준모델이고 내부의 점으로 된 박스가 측정점 구름이다. 이러한 형상을 View A 에서 바라보면 그림 3 과 같은 2 차원의 그림이 구하여 진다. 여기에서도 역시 실선은 기준모델의 각 면을 나타내고 점선은 측정점들을 의미한다. 이어서 점-표면배정 작업이 이들 점들에 적용되면 Section I 에 있는 모든 점들은 1st surface 로, Section II 는 2nd surface 로, section III 는 3rd surface 로, Section IV 는 4th surface 로 배정되어진다. 결과적으로 배정작업에서 모든 Section 에 있는 점들은 적합한 표면으로 맞게 배정되어진다.

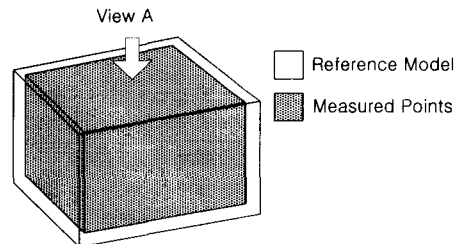


Fig. 2 Reference model and measured points when measured geometry is close to reference geometry

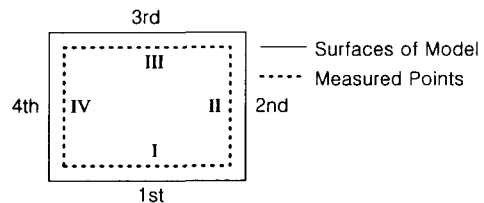


Fig. 3 Model surfaces and points in 2D when measured geometry is close to reference geometry

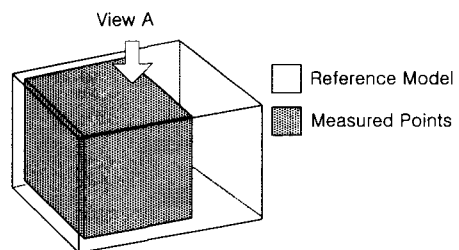


Fig. 4 Reference model and measured points when measured geometry differs from target geometry

다음 예는 그림 4 와 같이 측정좌표값들이 기준모델의 좌표값과 상당히 차이가 있는 경우이다. 이를 View A 에서 바라보면 2 차원의 형상을 그림 5 와 같이 구할 수 있다. 그림 5 에서 Section II 에 있는 점 A 로부터 2nd 와 3rd surface 까지 거리를 각각 L_2 , L_3 라고 한다. 점 A 는 실제적 기하학적인 관점으로 보면 2nd surface 에 배정이 되어야 하지만, 점-표면배정 알고리즘에서는 L_3 가 L_2 보다 작기 때문에 점 A 는 3rd surface 로 배정이 된다. Section I, II, III, IV 에 있는 점들에 대하여 행해진 표면배정 작업이 최종 결과를 도시하면 그림 6(a)와 같다. Section II 에 있는 일부의 점들은 1st 와 3rd surface 로 잘못 배정이 되는 결과가 나온다. 이러한 부정확한 배정결과를 이용하여 최소사승맞춤(least squares fitting)을 하면 그림 6(b)에 나온 것과 같이 잘못된 표면맞춤 결과를 초래한다.

실제적인 검사라인에서 그림 4 와 같이 기준모델과 측정 데이터 간에 큰 차이가 발생할 수 있다. 이러한 경우 기존의 배정작업은 부정확한 배정과 아울러 부정확한 표면맞춤 결과를 초래한다. 그렇다면 이렇게 잘못된 배정이 발생하는 원인은 무엇인가? 그것은 측정데이터들은 임의의 변동가능한 값으로 들어오는 반면 기준모델의 형상은 늘 고정되어 있다는 점이다.

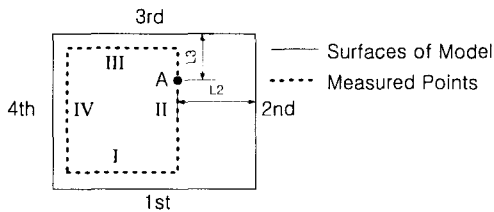
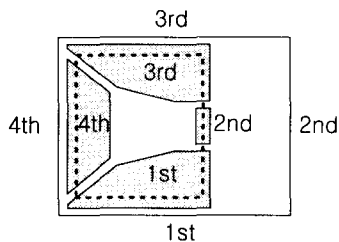
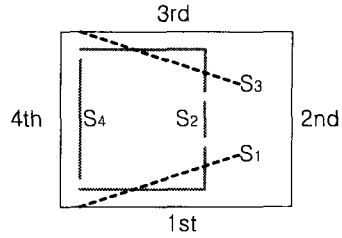


Fig. 5 Model surfaces and points in 2D when measured geometry differs from reference geometry



(a) Incorrect alignment



(b) Incorrect surface fit

Fig. 6 Results when measured geometry differs from reference geometry

만약에 점-표면배정 작업 시에 다양한 측정데이터 따라서 기준모델의 형상 및 크기가 유연성 있게 변한다면 이러한 부정확한 배정은 발생하지 않을 것이다. 여기서 주의할 점은 기준모델의 기하학적 구조가 육면체라는 사실은 변하지 않는다. 즉, 기준모델의 표면의 기울기, 크기 같은 것은 측정데이터에 따라서 탄력적으로 변할 수는 있으나 모델의 기하학적 구조가 4 면체나 5 면체가 되지는 않는다. 지금부터 이러한 측정데이터에 따라 변하는 기준모델을 통상의 “기준모델”과 구분하기 위하여 “가변모델”이라고 호칭한다. 가변모델의 특징을 정리하면 다음과 같다.

1. 가변모델은 3D 측정학에서 점-표면배정 작업에서만 사용한다.
2. 가변모델은 다양한 측정데이터에 따라 유연하게 크기와 형상을 바꿀 수 있다.
3. 가변모델은 기준모델의 기하학적구조를 같이 한다.

그림 5 에서 기준모델의 2nd Surface 가 Section II 에 있는 점들이 있는 좌측방향으로 가깝게 이동하여 가변모델을 구성한다면 Section II 에 있는 모든 점들에 대한 배정은 이동한 2nd Surface 로 잘 이루어질 것이다.

3. 구속상자

솔더페이스트의 측정데이터에 따라 변화하는 가변모델을 만들기 위해서 솔더페이스트의 모든 면을 밀착하여 둘러싸는 구속상자라는 새로운 개념을 제시한다. 구속상자의 모양은 실제 솔더페이스트의 모양과 매우 흡사한 박스형태로 각 면은 평면의 형태를 가진다. 구속상자의 크기는 측정점

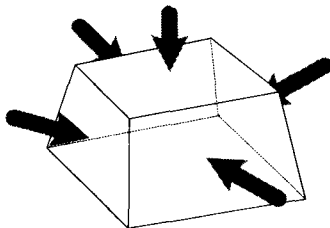
에 따라 크거나 작게 조절될 수 있다. 이러한 구속상자를 가변모델로 정하여 점-표면배정 작업을 행하면 부정확한 배정문제는 더 이상 발생하지 않는다.

솔더페이스트의 모든면을 가능한 한 밀착하여 둘러싸는 구속상자를 구성하기 위해서는 구속상자의 5 개의 평면의 방정식을 구해야 한다(바닥면은 PCB 면과 동일하므로 고려하지 않는다). 구속상자의 각 평면의 방정식을 구하기 위해서는 평면을 지나는 한 점과 평면의 법선벡터를 알아야 한다. 솔더페이스트의 측정점에 대한 법선벡터의 집합 (N_p)은 기울기 벡터로부터 구할 수 있고, 구속상자의 5 개의 평면에 해당하는 법선벡터의 집합(N_s)를 구하기 위해서는 N_p 에서 5 개의 대표법선벡터 N_s 를 분류추출해야 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 측정점들의 기울기 벡터에 대한 히스토그램을 이용하여 5 개의 대표적인 그룹을 분류하고 이로부터 구속상자의 각 평면의 법선벡터와 지나는 한 점을 구한다.

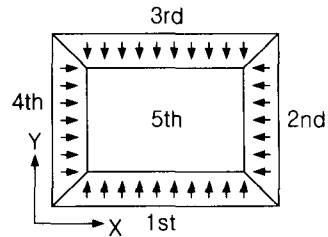
3.1 측정점의 기울기 벡터

솔더페이스트의 측정점들의 모양이 박스형태일 때 각 평면의 법선벡터를 구하면 그림 7(a)와 같이 5 개의 분명한 값들로 구분이 되고, 기울기 벡터의 경우에도 마찬가지이다. 여기서 기울기 벡터 $[G_x, G_y]$ 는 점의 z 값의 x 와 y 에 대한 일차미분값으로 계산한다.

반면 솔더페이스트가 곡면의 또는 울퉁불퉁한 표면을 가지고 있다면 기울기 벡터가 많은 서로 다른 값들을 가지게 되나 점구름의 모양이 여전히 육면체의 형태를 띠고 있다면 이들 기울기 벡터들 역시 5 개의 대표적인 그룹으로 분류가 될 것이다. 따라서 실제 점구름의 다양한 기울기 벡터들을 분류하는 작업이 이어서 행해져야 한다.



(a) normal vectors



(b) gradient vectors

Fig. 7 Categories of normal and gradient vectors of solder paste

3.2 기울기 벡터의 히스토그램

측정점들의 기울기 벡터를 시각적으로 분류하기 위해서 그림 8 과 같이 기울기 벡터의 x, y 값을 이용하여 2 차원 히스토그램을 사용한다. 히스토그램의 x 축과 y 축은 각각 측정점의 기울기 벡터의 x 성분(G_x), y 성분(G_y)으로 구성되어 있고, z 축은 같은 기울기 벡터 값을 가지는 점들의 개수이다. 실제 기울기 벡터값은 광범위의 실수에 해당하므로 이들 모두를 히스토그램 축에 표시하기란 상당히 힘들다. 따라서 실수의 기울기 벡터 $[G_x, G_y]$ 를 [1 N]의 범위내에서 정규화된 정수의 벡터 $[X_k, Y_k]$ 로 변환하는 작업이 필요하다. 여기서 정규화라 함은 계산상의 일관성을 유지하기 위하여 임의의 크기를 가지는 기울기 벡터를 일정크기의 벡터로 변환한 것을 의미한다.

측정점 $x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} (i=1, \dots, m, j=1, \dots, n)$ 에 대한 기울기 벡터를 $[G_x, G_y]$ 라고 하면, G_x 와 G_y 를 [1 N]의 범위를 가지는 X_k 와 Y_k 로 정규화하는 매핑함수는 식(2)와 같다. 여기서 $\max G_x$ 와 $\min G_x$ 는 G_x 의 최대, 최소값에 해당하고, G_y 의 경우에도 마찬가지이다. round 함수는 어떤 실수값의 가장 가까운 정수를 구하는 함수이다.

$$X_k = \text{round} \left(\frac{N-1}{\max G_x - \min G_x} (G_x - \min G_x) + 1 \right)$$

for $1 \leq X_k \leq N$

$$Y_k = \text{round} \left(\frac{N-1}{\max G_y - \min G_y} (G_y - \min G_y) + 1 \right),$$

for $1 \leq Y_k \leq N$

측정점들이 그림 7 과 같이 단순한 평면의 형태로 구성되어 있을 때 기울기 벡터값은 단지 5

개이고 이를 히스토그램에 도시하면 그림 8 와 같다. 상위면인 5th surface 의 기울기 벡터값은 [0,0]에 해당하고 이를 정규화하면 그림 8 에서와 같이 히스토그램 평면의 중앙인 [(N+1)/2, (N+1)/2]에 위치하게 된다. 1st surface 의 기울기 벡터값은 [0,maxG_y]이고 이를 정규화하면 [(N+1)/2,N]에 위치하게 된다. 다른 surface 의 기울기 벡터에 대한 결과 역시 그림 8 에 도시되어 있다.

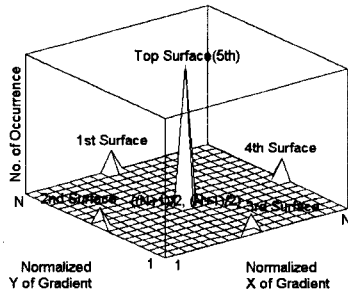


Fig. 8 Two dimensional histogram of normalized gradient within a range of [1, N]

히스토그램의 z 좌표값인 Z_k 는 한 솔더페이스트의 측정점들에 대하여 같은 정규 기울기 값을 갖는 점들의 개수(빈도)를 의미한다. 이후에 편의상 $[X_k, Y_k]$ 에 대한 Z_k 를 $Histo(X_k, Y_k)$ 로 놓는다.

한 솔더페이스트의 측정점들 $[x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}]$ ($i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$)에 대하여 기울기 벡터를 구한 후에, 기울기의 집합 $[Gx_{ij}, Gy_{ij}]$ ($i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$)에 식(2)를 적용하여 히스토그램의 각 좌표값 X_k, Y_k, Z_k 및 기타 주요값들을 구하는 과정은 다음과 같다.

1. $[Gx_{ij}, Gy_{ij}]$ 에 식(2)를 적용하여 $[X_k, Y_k]$ 를 구한다.
2. $Histo(X_k, Y_k) = Histo(X_k, Y_k) + 1$ 하여 $Histo(X_k, Y_k)$ 값을 한 개씩 증가시킨다.
3. $HistoGradientSum(X_k, Y_k) = HistoGradientSum(X_k, Y_k) + [Gx_{ij}, Gy_{ij}]$ 하여 $[X_k, Y_k]$ 의 실제 Gradient 값을 $HistoGradientSum(X_k, Y_k)$ 라는 행렬에 축적저장한다.
4. $HistoPointSum(X_k, Y_k) = HistoPointSum(X_k, Y_k) + [x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}]$ 하여 $[X_k, Y_k]$ 의 점좌표값을 $HistoPointSum(X_k, Y_k)$ 라는 행렬에 축적저장한다.

한 솔더페이스트의 모든 기울기에 대하여 계

산이 완료되면 $HistoGradientSum(X_k, Y_k)$ 를 $Histo(X_k, Y_k)$ 로 나누어주어 $HistoGradient(X_k, Y_k)$ 을 구하여 $[X_k, Y_k]$ 에 해당하는 실제 Gradient 값들의 평균을 구하고, $HistoPointSum(X_k, Y_k)$ 을 $Histo(X_k, Y_k)$ 로 나누어주어 $HistoPoint(X_k, Y_k)$ 을 구하여 $[X_k, Y_k]$ 에 해당하는 점좌표값들의 평균을 구한다.

그림 9 와 같이 상위면이 포물선모양의 곡면인 솔더페이스트에 대하여 다양한 N 값을 가지고 식(2)를 적용하여 얻어진 히스토그램을 도시하면 그림 10 과 같다. N 값이 커질수록 히스토그램안에서 많은 정점들이 발견되는 것을 볼 수 있다. 큰 값의 N 의 히스토그램에서 산재되어 있는 울퉁불퉁한 많은 정점들로부터 5 개의 구속상자의 각면을 나타내는 5 개의 분명한 정점을 분류해내기란 매우 어려운 일이다. 그림 10 에 보여진 히스토그램 중에서 5 개의 정점을 가장 잘 보여주고 있는 경우는 $N=3, N=5$, 그리고 $N=7$ 인 경우이다. 이들 작은 크기의 히스토그램들은 5 개의 분명한 정점을 보여줄 뿐만 아니라 메모리 및 계산시간에서 장점이 있다. $N=2$ 인 경우에는 히스토그램 행렬의 요소의 개수가 4 에 불과하므로 5 개의 정점을 보여주기에는 불충분하다. $N=3$ 인 경우에는 행렬요소의 개수가 9 이므로 5 개의 정점을 나타낼 수 있으나 정점과 정점사이에 계곡(Valley)을 보여줄 수가 없어서 시각적으로 정점간의 구분을 뚜렷하게 해주지 못한다. $N=5$ 인 경우에는 5 개의 정점을 나타낼 수 있는 만큼 행렬요소의 크기도 충분하고 정점간에 뚜렷한 구분을 보여줄 수 있다. $N=7$ 인 경우에는 정점의 구분효과가 $N=5$ 인 경우와 유사하나 행렬요소의 개수가 2 배만큼 커진만큼 계산시간이 2 배로 증가한다. 따라서 $N=5$ 인 경우가 히스토그램에서 5 개의 정점을 표시하고 분류하기에 가장 적합한 크기라고 볼 수 있다.

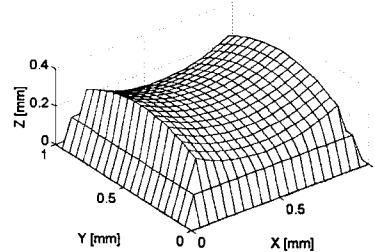


Fig. 9 Solder paste with parabolic surface at top side (size of 21 by 21)

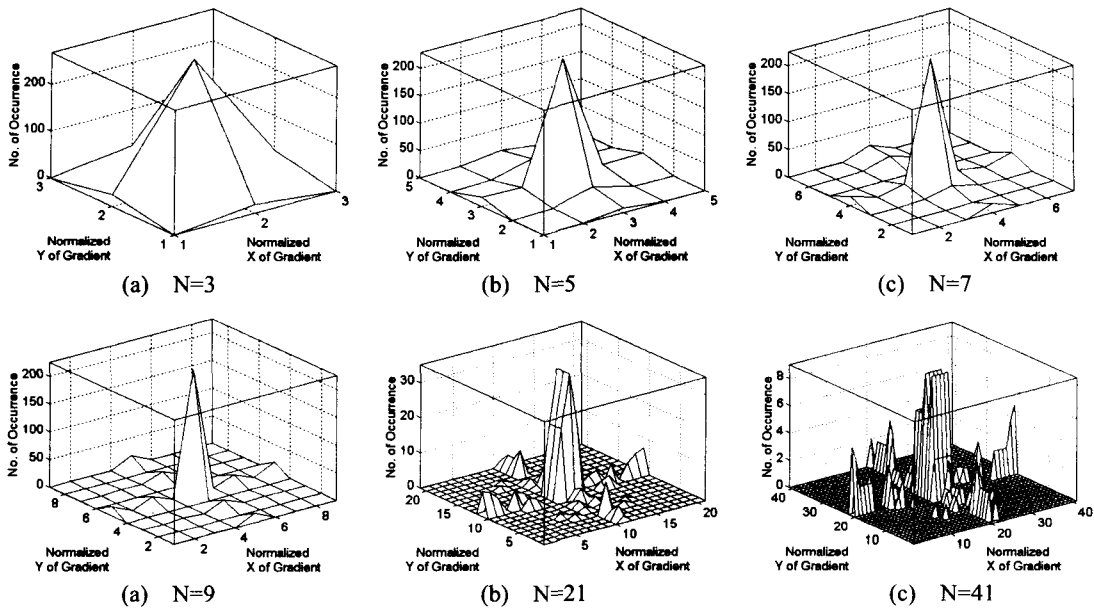


Fig. 10 Histograms with varying N

3.3 히스토그램 행렬을 이용한 정점의 분류

전절에 기술한 방법을 이용하여 다양한 모양을 가지는 솔더페이스트에 대한 히스토그램을 구한 후 그림 11에 도시하였다. 이러한 예들은 솔더페이스트의 가능한 모든 형상을 고려해서 컴퓨터에서 만들어 낸 데이터로 x,y 간격은 50 μ m 이고, (x,y,z)의 단순 조합형태로 이루어진 ascii 포맷이다.

솔더페이스트의 각 표면에 해당하는 히스토그램상의 정점은 "o"로 나타내었다. 이들 그림에서 공통적으로 알 수 있는 사실은 솔더페이스트의 옆면에 해당하는 4 개의 정점은 항상 히스토그램의 가장자리를 따라서 위치한다는 점이다. 이는 솔더페이스트의 옆면의 기울기 크기는 항상 상위면의 기울기 크기보다 크다는 사실로부터 유추할 수 있다.

그림 11(a)-(d)의 히스토그램들은 앞에서 다루었던 것과 유사한 형태의 것들이다. 솔더페이스트의 옆면에 대한 4 개의 정점은 히스토그램평면의 가장자리를 따라서 대칭적인 형태로 "o"로 표시되어 있고 상위면에 해당하는 가장 높은 정점은 히스토그램의 중앙에서 "o"로 표시되어 있다.

그림 11(e)을 보면 z 축을 따라서 45도 회전한 형태의 모양으로 이 솔더페이스트의 옆면에 대한 4 개의 정점 역시 히스토그램평면의 가장자리를 따라서 위치하고 있고 상위면에 대한 정점은 역시 가운데에 위치한다.

그림 11(f)은 상위면의 면적이 기존의 것보다 작은 형태로 정점들의 위치는 상기의 예와 비슷하나 상위면의 정점의 높이가 다른 것에 비해 낮다. 그러나 히스토그램의 가장자리부분을 제외한 영역에서는 상위면의 정점이 가장 높은 것을 알 수 있다.

그림 11(g)은 상위면이 경사를 가진 것으로 옆면의 정점은 다른 예와 동일하나 상위면의 정점의 위치가 가운데서 우측으로 이동되어 있는 것을 알 수 있다.

그림 11(h)는 가장 일반적인 형태를 가진 솔더페이스트로서 상면이 각도를 가졌을 뿐만 아니라 z 축을 중심으로 약간 회전해 있는 모습이다. 옆면에 대한 정점이 다른 예와 달리 비대칭적으로 히스토그램평면을 따라서 분포되어 있는 것을 볼 수 있고, 상위면의 정점도 약간 왼쪽으로 이동해 있다.

그림 11(h)에서 흥미로운 사실은 히스토그램 평면의 가장자리를 따라서 같은 높이를 가지는 정점이 P 와 Q 로 2 개가 발생한다는 점이다. 따라서 이 경우에 P 와 Q 중에서 어느것이 진정한 4 번째로 큰 정점인가를 결정해야 한다. 이 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 해당요소의 4-이웃(해당요소의 위,아래,좌,우 방향의 요소)의 합의 크기를 이용하였다. 일반적으로 히스토그램에서 가운데 있는 요소가 크면 4-이웃의 크기도 같이 커지는

경향이 있다. 이는 표면의 기울기가 연속적으로 변하고 있다면 기울기에 해당하는 점들의 개수도 연속적으로 변한다는 사실로부터 유추할 수 있다. 따라서 4-이웃의 크기가 크다면 가운데 요소 역시 클 가능성이 있는 것이다. 따라서 같은 크기를 가지는 P, Q 라고 할지라도 4-이웃의 평균크기에 따라서 재정렬될 수 있다. 그림 11(h)에서는 점 P 가 Q 보다 4-이웃의 크기가 큰 관계로 정점으로 선택 되어졌다.

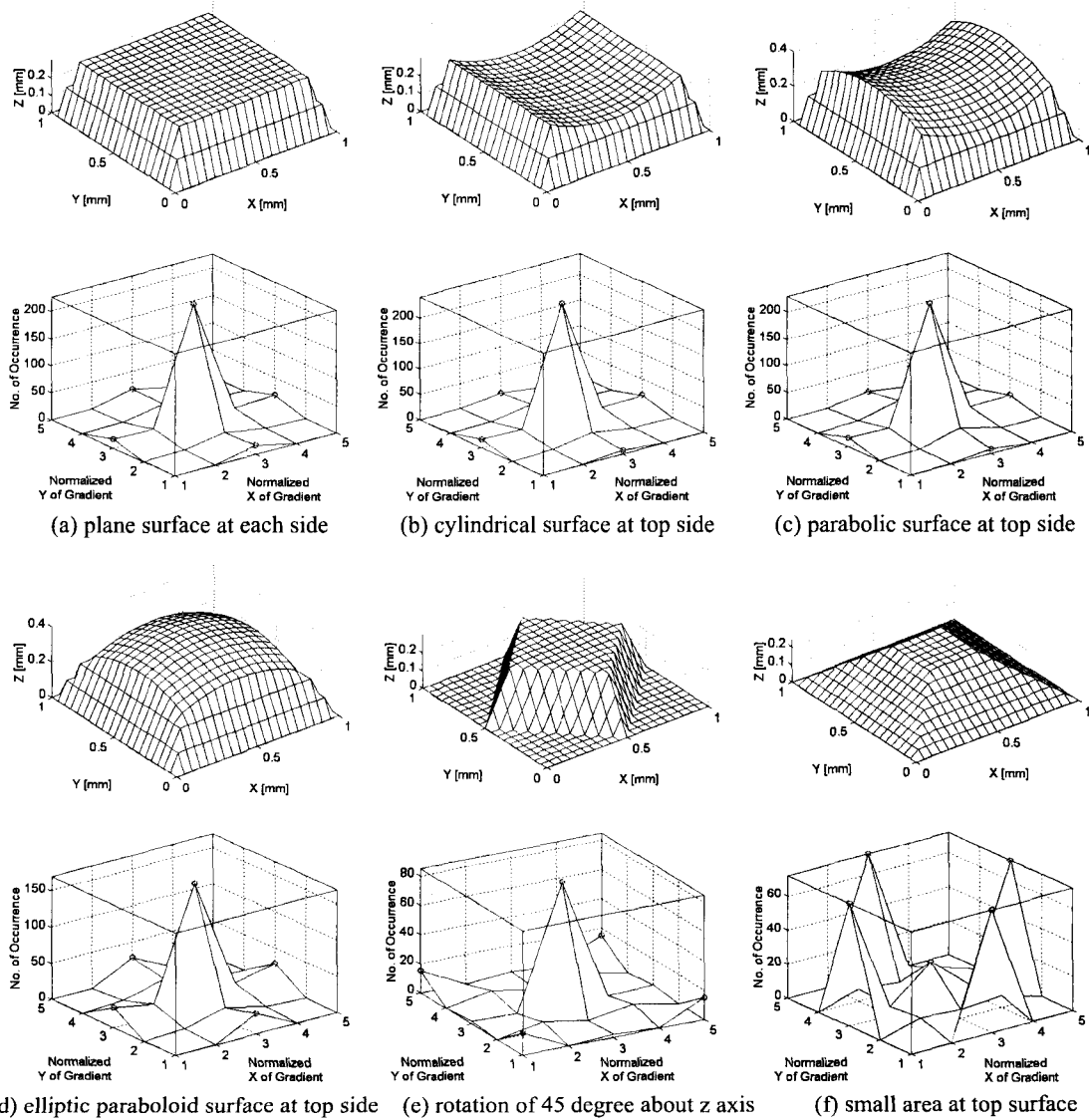


Fig. 11 Five peaks in the histogram for several shapes of solder pastes

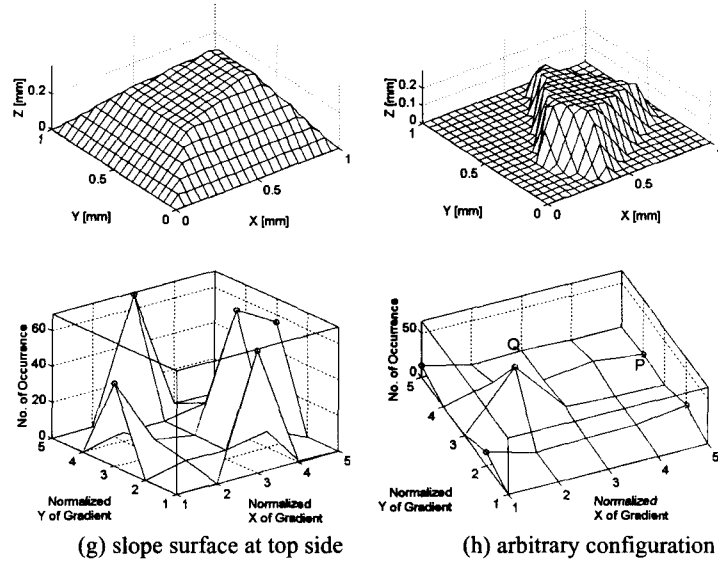


Fig. 11 Five peaks in the histogram for several shapes of solder pastes(Continued)

결과적으로 히스토그램을 나타내는 행렬 $Histo(X_k, Y_k)$ 에서 5 개의 정점을 찾는 과정을 요약하면 다음과 같다.

1. 히스토그램 행렬의 가장자리를 따라서 가장 큰 4 개의 요소를 찾는다. 만약에 4 번째로 큰 요소가 2 개 이상 존재한다면 4-이웃의 평균크기를 이용하여 재정렬하여 4 번째의 큰 요소를 찾는다. 이렇게 찾은 4 개의 요소가 솔더페이스트의 4 개의 옆면에 해당하는 4 개의 정점이다.
2. 히스토그램 행렬의 가장자리를 제외한 중앙의 영역에서 가장 큰 요소를 찾는다. 이것이 상위면에 해당하는 정점에 해당한다

3.4 구속상자의 구축

상기에서 구한 각 정점에 대한 기울기 값인 $HistoGradient(X_k, Y_k)$ 을 이용하면 구속상자의 평면의 대표법선벡터를 구할 수 있다. 즉 기울기 벡터 $HistoGradient(X_k, Y_k) = [Gx_k, Gy_k]$ 에 z 성분인 -1 값을 추가하면 $[Gx_k, Gy_k, -1]$ 이 되고 이는 구속상자의 평면의 법선벡터가 된다. 또한 각 정점에 대한 점 좌표 값인 $HistoPoint(X_k, Y_k)$ 은 구속상자의 평면의 지나는 점이 된다. 이렇게 구한 법선벡터와 지나는 점을 이용하면 구속상자의 평면을 방정식을 구

할 수 있다.

그림 12 는 히스토그램의 정점에 대한 법선벡터와 지나는 점의 정보를 이용하여 형성한 구속상자에 대한 그림이다. 그림에서 굵은 실선이 구속상자이며 간혹 측정점의 메쉬(mesh)와의 간섭에 의해서 선이 나타나지 않은 모습을 볼 수 있다. 그림에서와 같이 구속상자는 솔더페이스트의 모든 면에서 밀착하여 감싸고 있는 형태를 취하고 있어서 측정점의 형상을 아주 흡사하게 닮은 꼴로 나타난다. 즉, 구속상자는 측정점의 기하학적인 정보의 많은 부분을 담고 있고, 솔더페이스트의 모양에 따라 그 형상을 탄력적으로 바꾸며 대응하고 있는 것을 알 수 있다.

여기서 한가지 유의할 점은 가변구속상자의 구축을 단순히 측정점의 각 좌표값의 최대값으로 하게 되면 여유있게 둘러싸는 구속상자가 된다. 이는 그림 11 의 여러 예에서 쉽게 확인할 수 있다. 이렇게 되면 구속상자를 이용한 점-표면 배정작업시 해당점들이 옳지 않은 표면으로 배정이 되어 이후의 분석과정에 오류가 발생하게 된다.

4. 구속상자를 이용한 점-표면 배정

이렇게 구한 구속상자를 이용하여 점-표면배정

작업을 행한 결과를 그림 13(a)에 도시하였다. 배정이 완료된 점에는 해당면의 번호를 붙여 놓았다. 그림에서처럼 여러 개의 솔더페이스트의 모든 점이 맞는 표면으로 잘 배정이 되어 있음을 확인 할 수 있다. 점-표면배정 작업이 완료되었으면 다음

으로 표면맞춤 작업을 행하고 이어서 기하학적 형상정보를 구하는 작업을 그림 13(b)에 도시하였다. 작업자는 이러한 기하학적인 형상정보에 다양한 조건을 적용하여 솔더페이스트의 양불량검사를 행 할 수 있다.

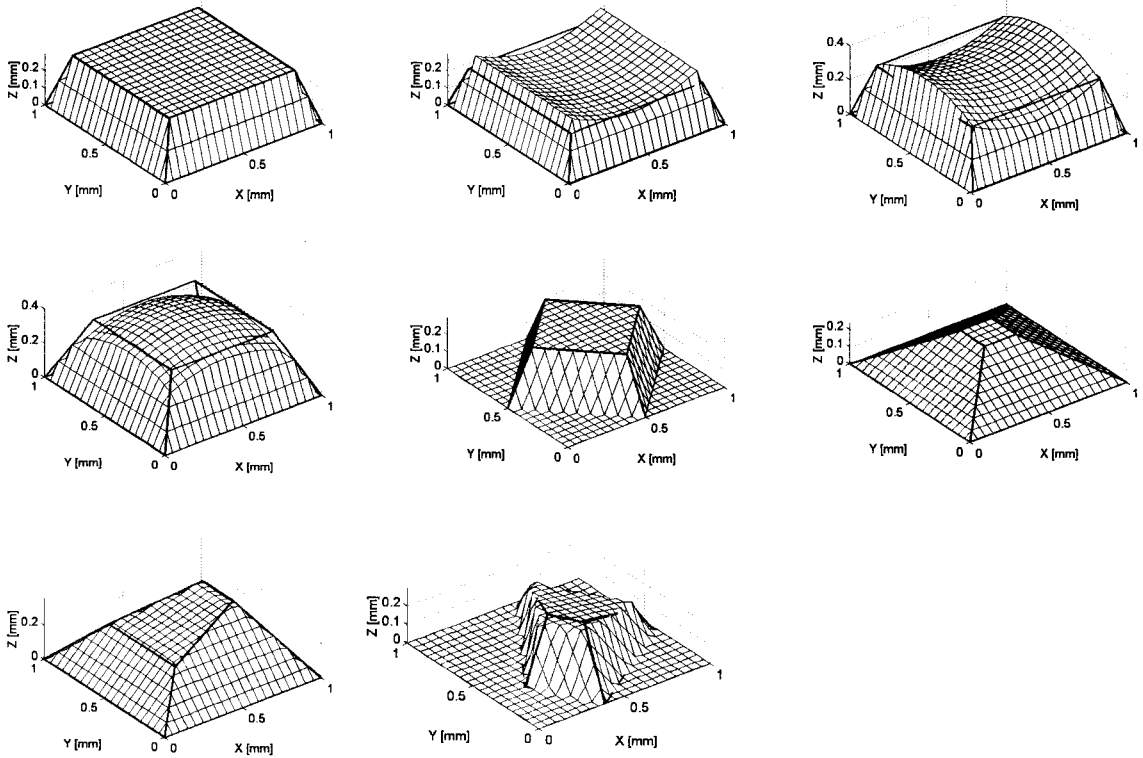
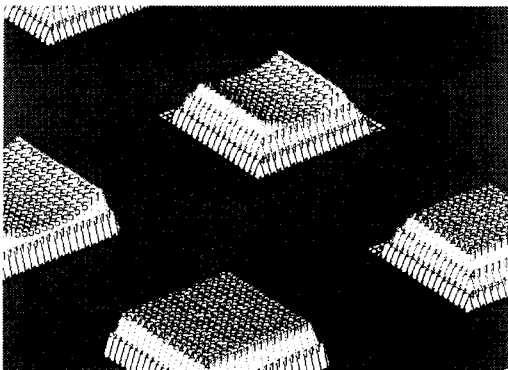
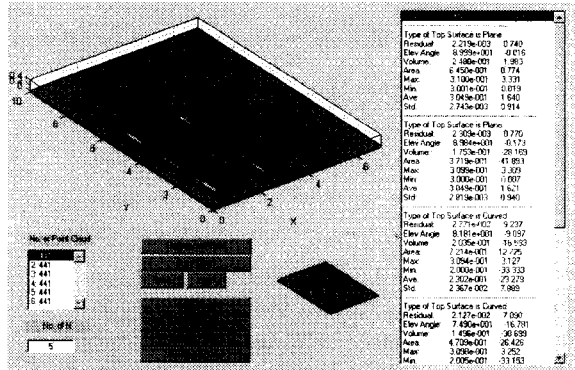


Fig. 12 Bounding boxes for several shapes of solder pastes



(a) Points assigned to surfaces



(b) geometric features

Fig. 13 Point to surface assignment and geometric feature

5. 결론

본 연구는 PCB 의 솔더페이스트의 기하학적 특징을 검사하기 위한 3D 측정학에 대하여 연구하였다. 3D 측정학의 점-표면배정 작업 시에 기준 모델과 측정점 간에 차이가 많이 차이 많이 날 때 어떤 점들은 잘못된 표면으로 배정될 수 있다. 이에 본 연구는 솔더페이스트를 모든 면에서 밀착하여 둘러쌀 수 있는 구속상자의 개념을 도입하였고 점-표면배정 작업시에 기존의 기준모델 대신에 이를 이용하였다. 이러한 구속상자를 구하기 위하여 측정점들에 대한 정규 기술기 벡터를 구하였고 이를 이용하여 히스토그램을 구하였고 히스토그램에서 5 개의 정점을 분류하는 알고리즘은 개발하였다. 최종적으로 구한 5 개의 정점에 대한 히스토그램 행렬값을 이용하여 구속상자의 각 평면의 방정식을 구하였다. 다양한 솔더페이스트 형상에 대하여 이러한 구속상자를 적용하여 점-표면배정 작업의 성능을 확인하였다.

본 연구는 임의의 모양을 가지는 Box 형상의 6 면체에 대하여 언급하였으나 상면이 있는 기타의 다면체에 대하여도 쉽게 적용이 가능하다. 또한 이와 유사한 형상을 가지는 MEMS(Micro electro mechanical System) 요소의 측정하여 형상을 분석하는 데에도 사용할 수 있다.

후 기

이 논문은 한국과학재단의 해외 Post-doc. 연수 지원비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Teoh, E. K., Mital, D. P., Lee, B. W., Wee, L. K., "Automated visual inspection of surface mount PCBs," IECON'90, pp. 576-580, 1990.
2. Andre A. Claudet, "Analysis of Three Dimensional Measurement Data and CAD Models," Ph.D. Dissertation, Georgia Institute of Tech., 2001.
3. Tucker, Thomas M., "A New Methods for Parametric Surface Registration," Ph.D. Dissertation, Georgia Institute of Technology, 2000.
4. 허성민, 최재원, 이석희, "자유 곡면 생성을 통한 역공학 적용에 관한 연구," 한국정밀공학회

지, 제 18 권, 제 10 호, pp. 168-177, 2001.

5. SVS 8300SPI Solder Paste Inspection System Data Sheet, GSI Lumonics, 2002.
6. Gunnarsson, Kristjan T. and Prinz, Friedrich B., "CAD Model Based Localization of Parts in Manufacturing," IEEE Computer, Vol. 20, No. 8, pp. 66-74, 1987.
7. Sahoo, K. C. and Menq, Chia-Hsiang, "Localization of 3D Objects Having Complex Sculptured Surfaces Using Tactile Sensing and Surface Description," Journal of Engineering for Industry, Vol. 113, 1991.
8. Besl P., McKay, N., "A Method for Registration of 3-D Shapes," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, No. 2, pp. 239-256, Feb. 1992.
9. Ristic, M. and Brujic, D., "A Framework for Non-Contact Measurement and Analysis of NURBS Surfaces," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 14, No. 3, pp. 210-219, 1998.