

## 표면실장장비에서 PCB 비선형 변형 대응을 위한 4 점 피두셜 보정 방법

장창수\*, 김영준\*, 김재옥\*

### A Calibration Method Using Four Fiducials Applicable to Nonlinear Displacement of PCBs on SMT Devices

Changsoo Jang\*, Yungjoon Kim\*, Jaeok Kim\*

#### ABSTRACT

A new position correction method using four fiducials as reference points was developed and examined. It was aimed to calibrate nonlinear deformation by numerous error sources. A correlation for correction was derived from the geometric relationship between four fiducials and chip position. Compared with three points method, it exhibited more accurate correction, especially for inner area of a quadrilateral composed of four fiducial points. Its accuracy was found to be increased as fiducials moves outwardly within a printed circuit board (PCB) and/or as they form more rectangle-like shape. As for arbitrarily nonlinear deformation, this method can be applied using more than five fiducials. In this case, local-area calibration is carried out by sectioning a board area into several rectangular areas.

**Key Words** : Surface mount technology (표면실장기술), Fiducial (피두셜), Placement position and angle (실장위치 및 실장각)

#### 기호설명

$\alpha, \beta$  = distance ratio from one point to another

$\theta$  = mounting angle of a chip

$x, y$  = position in Cartesian coordinate

#### 1. 서론

표면실장장치의 가장 중요한 성능변수는 전자 소자를 얼마나 빨리, 그리고 얼마나 정확히 PCB 기판 위에 위치시켜 놓는가 하는 것이다. 갈수록 전자기기의 소형화가 가속되면서 정확성 측면이

강조되어 가고 있다. 특히, 휴대폰 등에 장착되어 지는 0201 등의 초소형 칩을 정확히 실장하기 위해서는 기존보다 더 정밀한 제어를 필요로 한다.

표면실장장비 자체의 오차 요인으로는 구동부 레일의 유격, 스테이지의 자중 및 열에 의한 변형, 구동 직후의 미세한 진동 등이 있다. 한편, 이송되어 오는 기판 쪽에서도 위치 정렬 오차, 열변형, PCB 제작 오차, 기판 들뜸 등의 오차 요인이 발생한다. 이러한 오차 요인들을 극복하고 수 내지 수십  $\mu\text{m}$  이내의 정확성을 유지하기 위해서 적용하는 방법이 기준점인 피두셜의 위치를 광학적으로 측정해서 실장되어야 할 칩의 상대적 위치를

☞ 2002년 2월 18일 접수  
\* 삼성테크윈 정밀기기연구소

계산해 내는 방법이다. Ray<sup>(1)</sup>는 표면실장장비 자체의 오차요인에 대한 다양한 테스트를 통해 실장 오차에 가장 큰 영향을 미치는 요인이 피두설의 위치라는 사실을 발표하였다.

갈수록 정확성에 대한 요구가 커지면서 기준으로 삼는 피두설 점이 초기의 1 점 방식에서 현재는 3 점 방식까지 와 있는 상황이다. 3 점 방식은 이동, 회전, 인장/수축, 전단 변형(shear deformation)까지를 포함하는 좌표계 대 좌표계 변환이 가능하다. 일반적으로 카메라 렌즈의 굴곡에 의한 화상 변형을 보정하는 방식으로 응용되고 있다<sup>(2)</sup>. 반면, 실제 기관 제작, 이송 및 장착 과정, 표면실장장비 자체의 비선형성 등의 요인으로 인한 비선형 변형을 대응할 수 없기 때문에 과다한 변형이 있는 기관의 경우 실장 오류가 발생할 수 있다. 실제로 100×200mm 기관에서 0.12mm 까지 위치 오차가 발생되어 있는 기관이 조립을 위해 장비 내로 수송되어 오기도 한다.

본 논문에서는 이러한 비선형 변형을 보정하기 위한 방법으로 기준점을 4 점으로 한 방법에 대해 논의하고자 한다. 선형 대응이 아니기 때문에 기존의 좌표계 대 좌표계 변환이 불가능하다. 따라서 기하학적 접근법을 사용하였으며, 기존의 3 점 방식과 정확성 비교를 수행하였다.

### 2.4 점 피두설 방식에서 칩의 위치 보정

Fig. 1 은 4 점 피두설 시스템에서 임의의 칩 위치 관계를 보여주고 있다. 네 개의 피두설이 이루는 사각형에 대해 칩 위치가 내부에 있는  $P(x, y)$ 의 경우는 내삽함으로써( $\alpha, \beta$ ), 외부인  $P'(x, y)$ 의 경우는 외삽함으로써( $\alpha', \beta'$ ) 양 쪽 모두에 대해 식 (1)과 같은 동일한 관계식을 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{cases} \alpha[(1-\beta)x_2 + \beta x_3] + (1-\alpha)[(1-\beta)x_1 + \beta x_4] \\ \alpha[(1-\beta)y_2 + \beta y_3] + (1-\alpha)[(1-\beta)y_1 + \beta y_4] \end{cases} \quad (1)$$

CAD 상의 피두설과 실제 측정된 피두설의 위치를 다음과 같이 표기하기로 한다.

$$\begin{aligned} &P1(x_1, y_1), P2(x_2, y_2), P3(x_3, y_3), P4(x_4, y_4) \\ &\tilde{P}1(\tilde{x}_1, \tilde{y}_1), \tilde{P}2(\tilde{x}_2, \tilde{y}_2), \tilde{P}3(\tilde{x}_3, \tilde{y}_3), \tilde{P}4(\tilde{x}_4, \tilde{y}_4) \end{aligned}$$

마찬가지로 CAD 상의 칩의 위치와 실제 실장 되어야 할 위치도 각각  $P(x, y)$ ,  $\tilde{P}(\tilde{x}, \tilde{y})$ 로 표현하

면 식 (1)로부터 구해진  $\alpha, \beta$ 값으로부터 보정된 실장 위치는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} \alpha[(1-\beta)\tilde{x}_2 + \beta\tilde{x}_3] + (1-\alpha)[(1-\beta)\tilde{x}_1 + \beta\tilde{x}_4] \\ \alpha[(1-\beta)\tilde{y}_2 + \beta\tilde{y}_3] + (1-\alpha)[(1-\beta)\tilde{y}_1 + \beta\tilde{y}_4] \end{cases} \quad (2)$$

칩 장착각( $\theta$ )의 경우 미소 면적을 놓고 볼 때, 변형 후의 평행 축을 기준으로 한 각  $\tilde{\theta}$ 은 식 (3)과 같이 표현된다(Fig. 2). 또한 각 축에 대한 편미분은 식 (4)와 같이 구해진다. 식에서 아래첨자는 표시된  $x$  또는  $y$ 가 변화되지 않는 상태에서의 미분값을 의미한다.

$$\tan \tilde{\theta} = \frac{\left(\frac{\partial \tilde{y}}{\partial x}\right) \cos \theta + \left(\frac{\partial \tilde{y}}{\partial y}\right) \sin \theta}{\left(\frac{\partial \tilde{x}}{\partial x}\right) \cos \theta + \left(\frac{\partial \tilde{x}}{\partial y}\right) \sin \theta} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \tilde{x}}{\partial x} & \frac{\partial \tilde{x}}{\partial y} \\ \frac{\partial \tilde{y}}{\partial x} & \frac{\partial \tilde{y}}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \tilde{x}}{\partial \alpha} \left(\frac{d\alpha}{d\beta}\right)_x + \frac{\partial \tilde{x}}{\partial \beta} & \frac{\partial \tilde{x}}{\partial \alpha} \left(\frac{d\alpha}{d\beta}\right)_y + \frac{\partial \tilde{x}}{\partial \beta} \\ \frac{\partial \tilde{y}}{\partial \alpha} \left(\frac{d\alpha}{d\beta}\right)_x + \frac{\partial \tilde{y}}{\partial \beta} & \frac{\partial \tilde{y}}{\partial \alpha} \left(\frac{d\alpha}{d\beta}\right)_y + \frac{\partial \tilde{y}}{\partial \beta} \\ \frac{\partial \tilde{y}}{\partial \alpha} \left(\frac{d\alpha}{d\beta}\right)_x + \frac{\partial \tilde{y}}{\partial \beta} & \frac{\partial \tilde{y}}{\partial \alpha} \left(\frac{d\alpha}{d\beta}\right)_y + \frac{\partial \tilde{y}}{\partial \beta} \\ \frac{\partial \tilde{x}}{\partial \alpha} \left(\frac{d\alpha}{d\beta}\right)_x + \frac{\partial \tilde{x}}{\partial \beta} & \frac{\partial \tilde{x}}{\partial \alpha} \left(\frac{d\alpha}{d\beta}\right)_y + \frac{\partial \tilde{x}}{\partial \beta} \end{bmatrix} \quad (4)$$

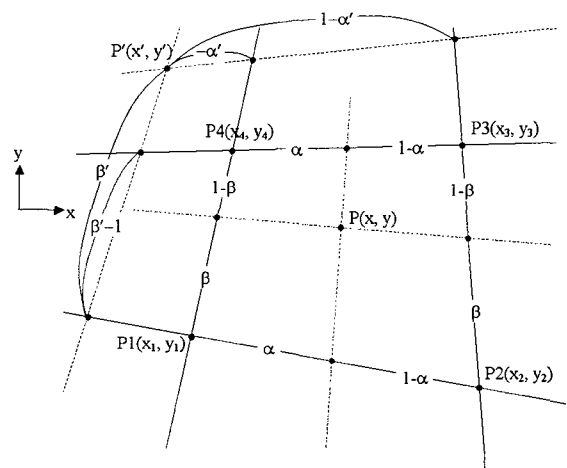


Fig. 1 Relation between four fiducial positions and arbitrary interior and exterior chip positions

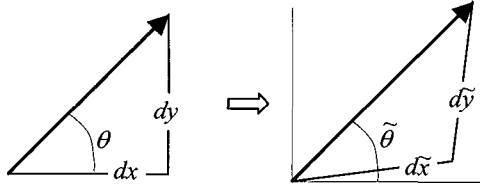


Fig. 2 Change of initial chip mount angle by deflection

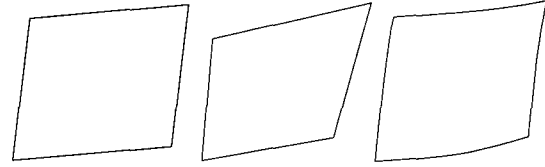


Fig. 3 Deformation of a square by each error generation equation (left: Case 1, center: Case 2, right: Case 3)

### 3. 적용 및 3 점 방식과의 비교

정확성 평가 및 비교를 위해 세 가지의 오차 생성 함수를 적용한 100×100mm 기판의 변형에 대해 적용해 보았다. 오차 생성함수는 다음과 같다. 각 축당 최대 0.15mm 변형되는 것으로 설정하였으며, 이 때 각 상수값은 a=1.0005, b=0.00001, c=0.000005, d=1.001 이 된다.

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}(x, y) \\ \tilde{y}(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ax + by \\ cy + dx \end{bmatrix} \quad \text{for Case 1} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}(x, y) \\ \tilde{y}(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ax + bxy \\ cxy + dy \end{bmatrix} \quad \text{for Case 2} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}(x, y) \\ \tilde{y}(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ax + by^2 \\ cx^2 + dy \end{bmatrix} \quad \text{for Case 3} \quad (7)$$

Case 1 은 인장/수축과 전단 변형이 들어간 전형적인 선형 변형을 모사했으며, Case 2 는 가장 간단한 비선형 형태로서 사각형 면이 임의의 다른 형태의 사각형 평면으로 변형되는 상황을 모사하였다. Case 3 은 가장 일반적인 임의의 비선형 변형 형태의 하나이다. 정사각형 기판이 각각의 경우에 변형된 형태가 Fig. 3 에 Case 2 와 3 의 보정되지 않은 상태에서의 error 가 Fig. 4 에 나타나 있다.

피두설의 위치는 세 가지 경우를 적용하였다. 첫번째는 임의의 4 점을 사용하였으며, 두번째는 기판 외곽의 4 점, 세번째는 기판 내부의 직사각형 형태를 이루는 4 점이였다. 피두설과 위치 보정이 수행된 점들의 위치가 Fig. 5 에 나타나 있다.

#### 3.1 Case 1

이론적으로 선형 변형에 대해서는 3 점이나 4 점이나 모두 잘 맞게 되어 있다. 실제로 3 점 방식과 4 점 방식 모두 정확한 결과를 나타내었다.

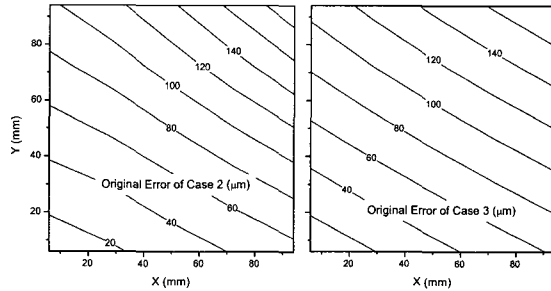


Fig. 4 Original position errors generated by test functions for Case 2 and Case 3

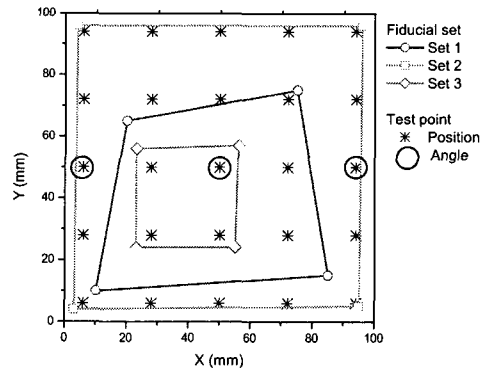


Fig. 5 Setup plot for test showing fiducial sets and test points for position/angle correction

#### 3.2 Case 2

Fig. 6 은 피두설 set 1 에 대한 보정 결과를 보여주고 있다. 3 점 방식의 경우 4 점 중 우측 상부 점을 제외한 나머지 세 점을 기준으로 계산을 수행하였다. 결과로부터 전 영역에서 4 점 방식이 15μm 이내로 더 정확하게 보정하고 있음을 알 수 있다. 이론적으로 4 점 방식은 Case 2 에서와 같은 변형에 대해 정확하게 보정해 줄 수 있다. 생성된 오차는 피두설 set 1 의 형태와 관계되어 있으며, 특히 외삽이 이루어진 외곽 쪽의 오차가 크게 나타났다.

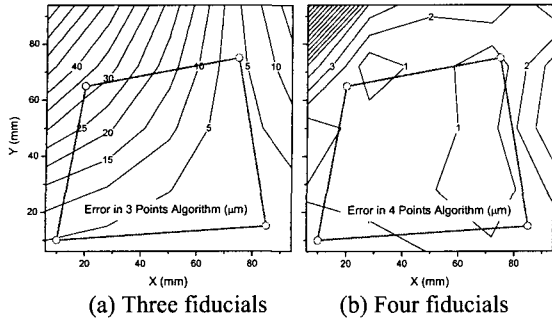


Fig. 6 Position errors after correction with fiducial set 1

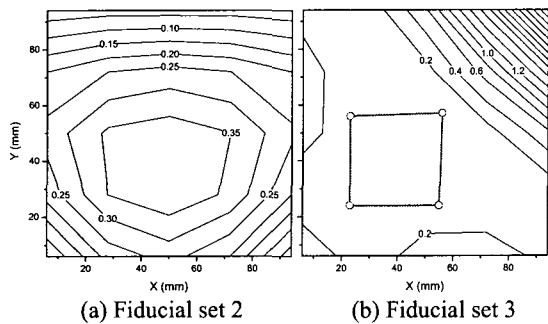
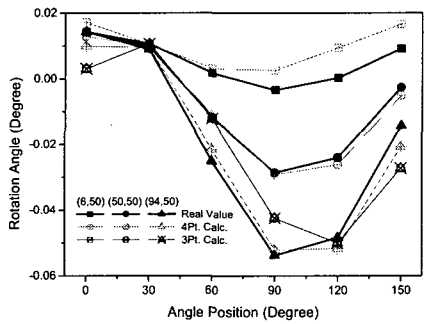
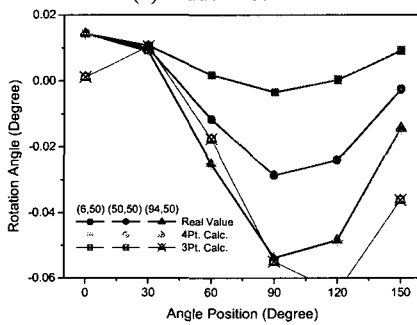


Fig. 7 Position errors after correction with fiducial sets 2 and 3 using 4 points method



(a) Fiducial set 1



(b) Fiducial set 2

Fig. 8 Angle errors after correction

피두설을 외곽으로 위치한 set 2 의 경우  $0.4\mu\text{m}$  이내의 정확성을 보이며 모든 위치에서 잘 보정해주는 것으로 나타났다(Fig. 7). 한편, 위치를 내부에 둔 상태에서 직사각형의 형태와 비슷하게 피두설들을 배치한 set 3 의 경우도 set 1 보다 월등히 좋은 보정 특성을 보여주었다. 이로부터 4 점 방식을 적용할 때, 가급적 외곽에 피두설을 잡고, 또 4 점이 이루는 사각형이 가급적 직사각형과 비슷한 형태가 되게 하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 각도 보정 결과에서도 동일하게 나타났다(Fig. 8).

### 3.3 Case 3

Fig. 9 은 피두설 set 1 에서의 보정결과를 보여주고 있다. 앞에서와 마찬가지로 피두설 사각형 외부에서는 오차가 증폭되어지며, 오히려 3 점 방식에서보다 더 큰 것으로 나타났다. 피두설 set 2 를 이용했을 경우 전 범위에서 근소한 차이기는 하지만 3 점보다 좋은 결과를 나타내었다(Fig. 10). 각의 경우도 비슷한 경향을 나타내었다(Fig. 11).

이와 같은 비선형 변형의 경우 4 점 방식은 현격한 장점을 보이지는 않지만, Case 2 에서와 같이

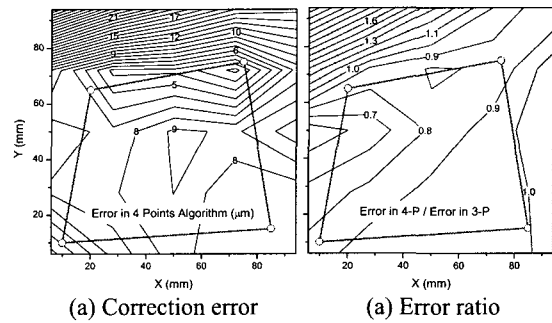


Fig. 9 Correction errors in Case 3 with fiducial set 1

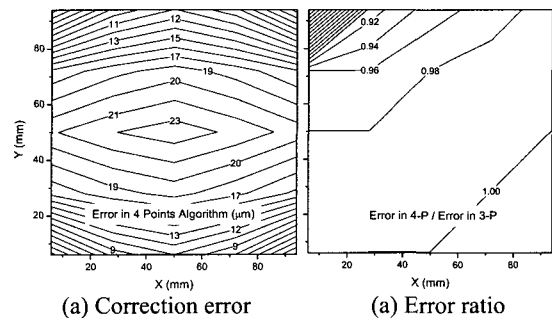


Fig. 10 Correction errors in Case 3 with fiducial set 2

치우친 부분에서 3 점 방식이 보여줄 수 없는 보정기능이 있기 때문에 피두설 사각형 내부에서 보다 정확한 결과를 나타낸다. 임의의 비선형 변형의 경우 피두설을 5 점 이상 설정하여, 여러 피두설 사각형을 만들고 지역적인(local) 보정을 함으로써 정확성을 높여줄 수 있다. 즉, 4 점 방식은 기준으로 삼는 피두설의 개수를 증가시킬수록 더 정확한 결과를 얻을 수 있게 해준다.

Fig. 12 는 6 점 피두설에서의 지역적인 보정 설정을 보여주고 있다. 바로 사각 평면이 형성되지 않는 피두설 수의 경우 “가상” 피두설을 추가로 설정하여 역시 동일한 보정방법을 적용할 수 있다.

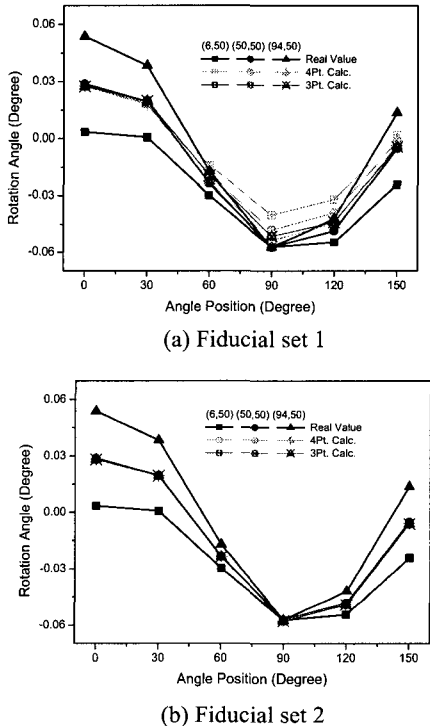


Fig. 11 Angle errors after correction

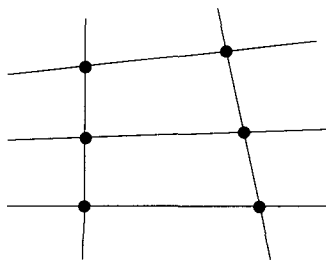


Fig. 12 Example of local correction: 6 fiducial points

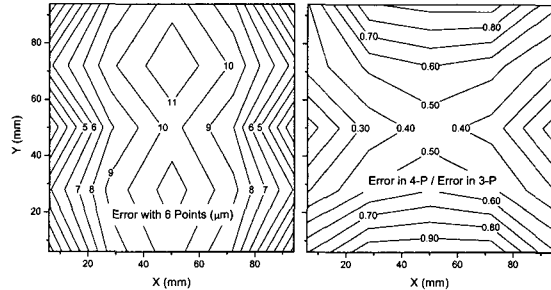


Fig. 13 Correction errors in Case 3 with 6 fiducials

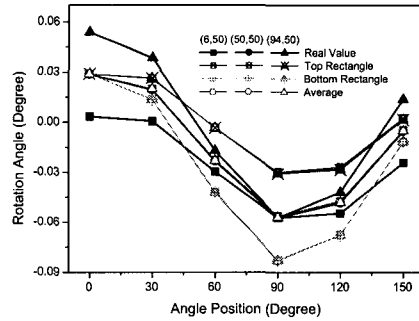


Fig. 14 Angle errors in Case 3 with 6 fiducials

Fig. 13 은 피두설 set 2 에 두 점을 더 추가하여 보정한 결과를 보여주고 있다. 특히 점이 추가된 중앙부에서 50% 이상 정확도가 향상되어 있는 것을 볼 수 있다. 반면, 각도 측면에서는 향상된 측면이 없는 것으로 나타났다(Fig. 14). 오히려, 중앙부에서는 더 부정확한 결과를 보였으며, 두 사각형 결과의 평균값이 기존의 4 점 방식과 동일한 결과를 나타내었다. 이것은 테스트 점들이 상하 사각형이 만나는 곳에 위치하기 때문이다. 따라서 이러한 지역적인 보정을 할 때 사각형 간 경계 부근에서 각도 계산 과정에서 주의가 요망되어짐을 알 수 있다.

#### 4. 결론

표면실장장비에서 선형 오차 요인만을 보정해 줄 수 있는 3 점 피두설 방식 대신 4 점 피두설 방식을 개발 하였다. 이의 테스트를 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 피두설이 이루는 사각형 내부의 점에 대하여 기존의 3 점 방식보다 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 피두설을 설정할 때 가급적 기

판의 외곽에 위치하도록 하는 것이 바람직하다.

2. 기관의 외곽에 피두설을 위치하기가 어려운 경우라도 피두설 사각형의 형태가 직사각형에 가까우면 상당한 정확성을 확보할 수 있다.
3. 복잡한 비선형 변형의 경우 5 점 이상의 피두설을 기준으로 하여 지역적으로 4 점 방법을 적용함으로써 정확성을 제고할 수 있다. 단, 이 경우 위치 보정은 정확성이 향상되지만, 각도 보정 측면에서는 경계면에서 주의가 요구된다.

### 참고문헌

1. Ray, R., "Placement of Surface Mount Components: Machine Accuracy and Performance Modeling," IEEE Conf. Systems, Man and Cybernetics, Vol. 2, pp. 1746-1752, 1995.
2. 안정호, "두 보정면과 사교좌표 매핑을 이용한 카메라 보정법," 한국 정밀공학회지, 제 16 권, 제 7 호, pp. 119-124, 1999.