한국소성가공학회 2003년도 춘계학술대회 논문집 pp.270~273

박판성형 변형률 측정 오차보정에 관한 연구

한병엽* · 차지혜* · 금영탁**

Study on the Error Compensation in Strain Measurement of Sheet Metal Forming

B. Y. Han, J. H. Cha and Y. T. Keum

Abstract

The strain measurement of the panel in the sheet metal forming is essential work which provides experimental data needed to die design, process design, and product inspection. To measure efficiently the complex geometry strain, the 3-dimensional automative strain measurement system, which has high accuracy in theory, but has some 3~5% errors in practice, is often used. The object of this study is to develop the error compensation technology to eliminate the strain errors resulted when formed panels are measured using an automated strain measurement system. To achieve the study object, the position error calibration method correcting coordinates of the grid node recognized by a camera using error functions is suggested. Then the position errors were found by calculating the difference in the position of the cube node between real coordinates and measured coordinates in terms of node coordinates and the error calibration equations were derived by regressing the position errors. In order to show the validation of the suggested position error calibration method, finite element analysis and current calibration method was performed for the initial-blankformed.

Key Words : Sheet Metal Forming, Strain Error Compensation, Strain Measurement, Position Error Calibration

1. 서 론

박판성형에 있어서 판재의 변형률 측정은 금형 설계, 공정설계, 제품 검사 등에 필요한 실험적 자료를 얻는데 필수적인 작업이라 할 수 있다. 현재 가장 널리 보급되어 있는 3차원 변형률 측정장치는 이론적으로는 고정도의 측정이 가능하나 3차원 좌표를 정확히 측정하는 것이 용이하지 않고, 대형판재의 경우 변형률을 측정하는데 막대한 시간과 노력이 필요한 점 등 측정상의 문제점을 안고 있다. 비접촉식 혹은 광학식 3차원 측정기술은 지

* 한양대학교 일반대학원
** 한양대학교 기계공학부

난 수십 년간 국내외에서 지속적으로 고안, 개선되어져 왔다. R.Y.Tsai[1]는 TV카메라를 이용한 머신비전의 3차원 카메라 보정법을 제안하였으며, 비교적 정확하여 오늘날에도 많이 사용되고 있다.

Lee[2][3]등은 화상처리를 이용해 변형률을 자동적으로 얻는 기술을 개발하여 측정시스템을 상용화하였으며, 상용화 된 자동변형률 측정시스템의 결과를 FEM해석과 비교하여 타당성을 검증하였다. 김영수, 김형종[4] 등은 화상처리법을 이용하여 곡면변형률 측정의 알고리즘을 제안 및 변형률 측정 시스템을 구축하였다. 본 연구에서는 비전센서의 여러 가지 대내외적 요인으로 인해 발생하는 변형률오차의 보정을 위해 표준측정큐브를 제작하여, 여러 가지 변수를 주어 변형률을 측정할 때 영향을 미치는 인자들을 알아보고, 주 영향인자들을 변수로하여 나온 실험데이터를 바탕으로 위치보정식을 제안하고 그 타당성을 검증하였다.

2. 변형률 측정

2.1 자동변형률 측정장치

본 연구에 사용 된 자동변형률 측정장치(Automated Strain Analysis and Measurement Environment)는 Camsys사의 Advanced Table 모델로 소성 변형이 일어난 부분의 표면 변형률을 측정하여 변형률 분포도 및 각 노드에 해당하는 좌표를 나타내어 준다.

2.2 변형률 오차 영향인자

2.2.1 합성각도

Fig 2.1은 합성각도에 따라 여러 조건에서 주변형률의 측정 결과를 나타낸 것이며, 합성각도는 카메라에서 받아들인 두 이미지의 사이 각을 말한다.

실험결과에 의해 이러한 합성각도와 주변형률과의 관계는 식(2.1)과 같은 형태로 표현할 수 있다.

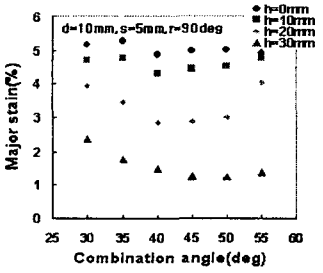

Fig 2.1 Major strain associated with combination angle in various camera height conditions

$$\varepsilon_{major} = a_0(c + a_1)^2 + a_2 \tag{2.1}$$

여기서 c 는 두 이미지의 합성각도이고, a_0, a_1, a_2 는 각각 상수이다.

2.2.2 카메라 높이

Fig 2.2는 카메라 높이에 따라 여러 조건에서 주변형률의 측정 결과를 나타낸 것이다. 여기서 카메라 높이는 카메라가 수직으로 시편 쪽으로 이동한 거리이며, 실험 데이터를 바탕으로 변형률과 카메라 높이와의 관계는 식(2.2)와 같은 형태로 표시할 수 있다.

$$\varepsilon_{major} = b_0 h + b_1 \tag{2.2}$$

여기서 h 는 카메라 높이이고, b_0, b_1, b_2 는 각각 상수이다.

2.2.3 카메라와의 거리

Fig 2.3은 카메라 거리를 고려하여 주변형률의 측정 결과를 나타낸 것이다. 여기서 카메라 거리는 카메라가 시편 쪽으로 수평으로 이동한 거리이며, 실험 데이터에 의하여 카메라 거리와 변형률과의 관계는 식(2.3)과 같은 형태로 표현할 수 있다.

$$\varepsilon_{major} = c_0 d + c_1 \tag{2.3}$$

여기서 d 는 카메라 이동거리, c_0, c_1 는 각각 상수이다.

2.2.4 회전테이블의 회전각도

Fig 2.4는 회전테이블의 회전각도를 고려하여 주변형률을 측정한 결과이다. 여기서 회전각도란 회전테이블을

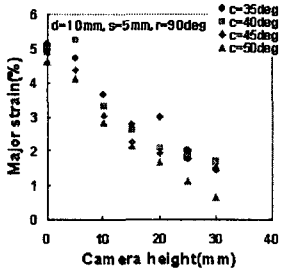

Fig 2.2 Major strain associated with camera height in various combination angle conditions

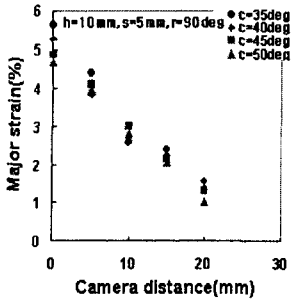

Fig 2.3 Major strain associated with camera distance in various combination angle conditions

이동시킨 각도이다. 실험데이터에 의하여 식(2.4)는 회전테이블의 회전각도와 변형률의 관계를 나타낸 식이다.

$$\varepsilon_{major} = e_0(r+e_1)^2 + e_2 \tag{2.4}$$

여기서 r 은 회전테이블의 회전각도, e_0, e_1, e_2 는 각각 상수이다.

2.2.5 영향인자 종합

위 실험에서 변수로 둔 인자들이 변형률에 미치는 영향력을 알아보기 위해 각각의 인자들을 다중회귀법(multiple regression)을 사용하여 식(2.5)와 같이 수식화 하였다.

$$f(x) = 0.0001349c^2 - 0.183c - 0.732h - 1.4707d - 2.4273r^2 + 0.156r + 0.257 \tag{2.5}$$

여기서 c 는 합성각도, h 는 카메라 높이, d 는 카메라 이동거리, r 은 회전테이블의 회전각도이다.

위 수식에서도 알 수 있듯이 4개의 인자 중에서도 카메라 높이, 카메라 이동거리, 회전테이블의 회전각도가변형률에 큰 영향을 미치는 인자라고 생각되어 구하고자

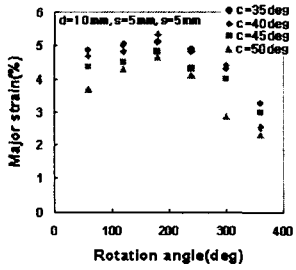

Fig 2.4 Major strain associated with rotation angle in various combination angle conditions

하는 위치오차 보정식의 보정인자로 사용하였다.

3. 위치오차보정

3.1 오차측정

각각의 오차 측정은 첫 번째 경우로 합성각도를 일정하게 두고 카메라 이동거리, 회전테이블의 회전각도를 고려한 오차분포를 측정하였고, 두번째 경우로 회전테이블의 회전각도를 일정하게 두고 카메라 높이, 카메라 이동거리를 고려한 오차분포를 측정하였다. 마지막으로 카메라 이동거리를 일정하게 두고 카메라 높이, 회전테이블의 회전각도를 고려한 오차분포를 측정하였다. 여기서 오차는 자동변형률 측정장치로부터 인식된 각축의 좌표와 임의로 지정한 축 좌표의 차이 값으로 정의하였다.

3.2 위치오차 보정식

좌표에 따른 오차함수는 식(3.1), 식(3.2), 식(3.3)과 같이 각각 나타낼 수 있다.

$$f(x) = -2.408\times10^{-7}r^2 + 9.4\times10^{-5}r + 2.48\times10^{-5}h^2 - 1.184\times10^{-3}h + 2.1\times10^{-5}d^2 - 5.932\times10^{-4}d + 0.003418 \tag{3.1}$$

$$f(y) = -1.236\times10^{-7}r^2 + 5.9\times10^{-5}r + 2.67\times10^{-5}h^2 - 1.42\times10^{-3}h + 2.57\times10^{-5}d^2 - 2.38\times10^{-3}d + 0.003642 \tag{3.2}$$

$$f(z) = -5.67\times10^{-8}r^2 + 3.38\times10^{-5}r + 1.75\times10^{-5}h^2 - 3.06\times10^{-4}h + 2.42\times10^{-4}d^2 + 3.73\times10^{-3}d - 0.0198 \tag{3.3}$$

여기서 h 는 카메라 높이, d 는 카메라 이동거리, r 은 회전테이블의 회전각도이다. 따라서 위치보정식은 자동변형률 측정장치로부터 계측된 좌표와 오차함수의 합으로 나타낼 수 있다.

3.3 검증

3.3.1 초기블랭크

Fig 3.1은 초기블랭크의 주변형률을 나타낸 것이며, Fig 3.2와 Fig 3.3은 초기블랭크의 주변형률과 부변형률을 실제측정치, 유한요소 해석결과, 자동변형률 측정장치 그리고 보정식에 의해 구해진 변형률을 비교한 것이다. 주변형률에서는 보정식에 의해 계산된 변형률이 자동변형률 측정장치에 의해 측정된 변형률보다 평균 2.8% 낮게 유한요소 해석결과 및 실제측정치보다 평균 0.67% 높게 측정이 되었으며, 부변형률에서 보정식에 의해 계

산된 변형률은 자동변형률 측정장치의 측정치보다 평균 2.91% 낮게, 유한요소 해석결과 및 실제측정치보다 평균 0.381% 높게 측정이 되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 자동변형률 측정장치를 사용하여 변형률을 측정했을 때 나타나는 오차를 보정하기 위하여 위치보정식을 제안하고 여러 시편에 적용하여 그 타당성을 검증하였다. 이러한 일련의 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 합성각도, 카메라 이동거리, 카메라 높이, 그리드 크기, 회전테이블의 회전각도를 고려하여 변형률을 측정한 결과, 카메라 이동거리, 카메라 높이, 회전테이블의 회전각도가 비교적 변형률에 영향력을 크게 미치는 인자라는것을 알 수 있었다.

(2) 카메라 이동거리, 카메라 높이, 회전테이블의 회전각도 중 한 변수를 고정시키고 나머지 두 변수를 고려했을 때 측정대상물의 임의로 지정한 좌표계와 자동변형률 측정장치로부터 인식된 좌표계의 차이 값을 오차로 정의하여 각각 x, y, z좌표로 각각 나누어 측정하였다.

(3) 위치보정식은 자동변형률 측정장치로부터 인식된 물체의 좌표와 카메라 거리, 카메라 높이, 회전테이블의 회전각도를 고려한 오차함수의 합으로 나타낼 수 있다.

(4) 여러 시편에 위치보정식을 적용하여 비교한 결과 유한요소 해석결과에 근접하였고, 자동변형률 측정장치로부터 구해진 변형률보다 오차가 현저히 줄어들었음을 알 수가 있었다.

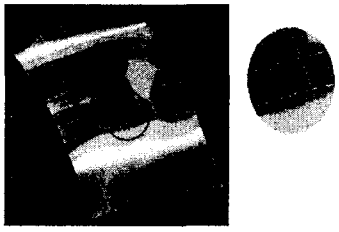

Fig 3.1 Major strain distribution of the initial blank

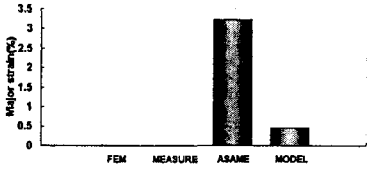

Fig 3.2 Comparison of major strain among FEM analysis, measurement, ASAME, and current model

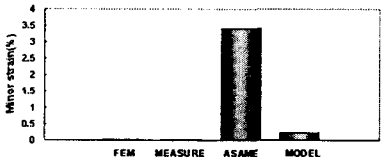

Fig 3.3 Comparison of minor strain among FEM analysis, measurement, ASAME, and curren model

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구 센터 지원금에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

(1) Roger Y. Tsai, 1987, "A Veratile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No. 4, pp. 323~344

(4) Manthey, D. W., R. M. Pearce, and D. Lee, , 1995, "Portable 3D Data Acquisition Technology for Computer Image Generation Visual Databases", Final Report for SBIR Phase I Contract No. N61339-94-C-0058, Naval Air Warfare Center Training Systems Division (NAWCTSD)

(5) Manthey, D.W., E.M. Hitchcock, D.A. Prinn, and D. Lee, 1997, "Innovations in Video Acquisition and Processing Methods for Visual Databases", Proceedings of the 19th Annual Interservice/Industry Training Systems and Education Conference, pp. 543~553.

(6) 김영수, 김형종, 1997, "화상처리법을 이용한 곡면변형률 측정에 관한 연구(II), 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 142~146