

# 고해상도 화상처리를 통한 자동 변형률 측정의 정확도와 편의성 개선

김형종<sup>#</sup>, 최선철<sup>1</sup>

## Improvement of the Accuracy and Conveniency in Automated Strain Measurement through High-Resolution Image Processing

H. J. Kim and S. C. Choi

### Abstract

An automated surface-strain measurement system, named ASIAS, was developed by using the image processing and stereo vision techniques in the previous studies by the corresponding author and his coworkers. This system has been upgraded mainly to improve the accuracy through image enhancement, sub-pixel measurement, surface smoothing, etc., since the first version was released. The present study has still more improved the convenience of users as well as the accuracy of measurement by processing high resolution images 8 mega pixels or more which can be easily obtained from a portable digital steal camera. It is proved that high resolution image processing greatly decreases the measurement error and gives strain data without considerable deterioration of accuracy even when the deformed grids to be measured and the master grids for camera calibration are captured together in the same image, making the whole process of strain measurement much simpler.

**Key Words** : automated strain measurement(자동 변형률 측정), stereo vision(스테레오비전), high resolution image processing(고해상도 화상처리), 화소미만단위 측정(sub-pixel measurement)

### 1. 서론

컴퓨터 화상처리와 스테레오 비전 기술을 이용한 곡면변형률 자동 측정법은 Vogel 등<sup>[1]</sup>에 의하여 처음으로 개발된 이래 지속적으로 보급·발전되어 왔다. 특히, 판재성형과 관련하여 성형성을 고려한 제품 개발, 금형 및 공정 개발, 유한요소법을 이용한 성형공정해석 결과의 검증, 제품 검사 등에 활용되고 있다.

1990년대 초 미국에서 ASAME<sup>[2]</sup>라는 상품명으로 최초의 자동변형률측정시스템이 상용화되어 국내에도 상당수 도입·활용된 바 있으며, 최근에는 사용자 편의성이 강조된 독일의 ARGUS<sup>[3]</sup> 제

품이 국내외 시장을 넓혀가고 있다. 국내에서는 아직 상용화 단계까지 개발된 제품은 없으나, 지난 10년간 자동변형률측정시스템 개발을 위한 연구는 꾸준히 지속되어왔다<sup>[4-8]</sup>. 그러나 이러한 국내외의 연구개발 노력에도 불구하고, 측정 결과의 정확도와 정밀도에 영향을 미치는 시스템 내·외부적 오차 요인들과 격자망의 인쇄 상태(선명도) 및 성형 후 열화(금형과의 접촉에 따른 격자 파손) 문제 등 아직 개선의 여지가 많은 실정이다.

본 연구팀은 선행 연구에서 ASIAS (Automated Surface Information Analysis System)<sup>[5]</sup>를 자체 개발한 바 있으며, 이후 변형률 측정의 정확도 향상에 초점을 맞추어 화소미만단위(sub-pixel) 측정, 곡면

<sup>1</sup> 강원대학교 대학원

<sup>#</sup> 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부,

khjong@kangwon.ac.kr

평활화(surface smoothing), 적응요소세분화(adaptive mesh refinement) 등의 알고리즘을 고안·적용하였고<sup>[6]</sup>, 또한 중·대형 판재성형 제품 등의 측정을 위하여 화상조립(image assembling) 및 전체오차최소화(global error minimization) 등의 기능을 추가함으로써 시스템을 개선해왔다<sup>[7,8]</sup>. 정확도 개선을 위한 알고리즘들은 저해상도(640×480 pixel) CCD 화상을 가지고도 상당히 높은 정확도 향상 효과를 보여주고 있으나, 해상능력의 근본적인 한계 때문에 크기가 작고 형상이 간단한 성형제품도 전체 영역을 한꺼번에 신뢰할 만한 정확도로 측정하는 것은 어려웠으며, 중·대형 제품의 경우 영상을 획득하고 처리하는 과정이 많은 시간과 노력을 필요로 하여 관심 있는 특정 영역만 국부적으로 측정하는 것이 보통이었다. 이러한 문제점은 전체오차최소화 알고리즘을 통하여 여러 측정 영역을 조합하는 방법으로 해결할 수 있지만 그만큼 작업의 효율성이 떨어지게 된다.

본 연구에서는 화상 획득의 어려운 점들을 보완하고 정확도를 극대화하기 위하여 8 Mpixel 이상의 고해상도 화상을 처리하는 방법을 고안·구현하고, 이를 적용한 결과와 기존의 저해상도 방식에 의한 결과를 정확도 측면에서 비교·평가하였다. 고해상도 화상처리를 통하여 직접적인 정확도 향상과 측정영역 증대 효과를 입증할 수 있었으며, 무엇보다도 휴대용 디지털 카메라로부터 간편하게 찍은 화상으로도 비교적 정확한 변형률 측정이 가능하게 됨으로써 본 시스템의 정확도와 편의성이 획기적으로 향상되었음을 확인하였다.

## 2. 알고리즘

### 2.1 화상처리

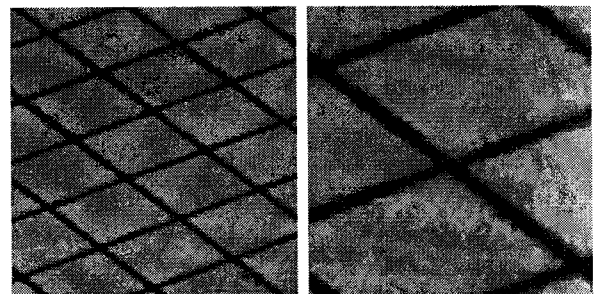
촬영한 화상으로부터 격자선을 추출하여 변형률을 측정하는 작업의 효율성은 전반적인 화상처리능력에 크게 좌우된다. 변형된 판재의 격자선 유지 상태에 따라 바뀌며, 특히 판재표면의 방향 변화에 따라 카메라에서 촬영한 화상의 밝기 또한 크게 변하므로 국부적인 밝기 차이에 무관한 격자선 추출방법이 요구된다.

선행된 연구에서 이러한 문제를 개선하고자 이치화에 사용되는 역치(threshold) 값을 고정하지 않

고 국부화상의 평균밝기에 따라 변하는 가변 역치를 사용하여 격자선 정보의 손상이 없는 적응 이치화 방법을 적용함으로써 보다 향상된 화상처리 능력을 보여준 바 있다<sup>[5]</sup>. 적응 이치화 방법은 식(1)과 같은 형태의 저역필터커널  $M(i, j)$  을 사용하여 원 화상을 컨벌루션(convolution) 하였다.

$$\frac{1}{N \times N} [M_{N \times N}], \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N M(i, j) = 1 \quad (1)$$

이 때 필터커널의 크기인  $N \times N$  에서  $N$  이 커질수록 넓은 범위에 걸쳐 평균값을 계산하므로, 급격한 변화성분인 화상의 윤곽부분이 상대적으로 손상되는 문제가 있어 십자형태의 격자점이 평균화 과정에 의해 손상되지 않도록 수정된 필터커널을 사용하였다. 기존의 저해상도(640×480)에서는 수정된 필터커널이 7×7 크기로 적응 이치화를 하였으나, Fig. 1 에서 보는 바와 같이 고해상도(3264×2448)의 화상을 처리할 경우 필터커널의 크기를 확장시켜야 될 필요성이 있어 최대 49×49 크기까지 처리할 수 있도록 알고리즘을 수정하였다. 적응 이치화 과정은 원 화상에 대하여 미리 설계된 저역필터의 커널을 사용하여 지역화상의 평균값을 구한다. 이 평균값을 이용하여 원 화상을 역치 처리하면 이진 화상이 얻어지게 되는데, 과도한 화상잡음 때문에 역치 처리 후에도 남아있는 고립점들은 메디안필터를 이용하여 깨끗이 제거한다. 이 부분 또한 기존 3×3 크기를 최대 10×10 크기까지 처리가 가능하도록 수정하였다.



(a) Low resolution

(b) High resolution

Fig. 1 Thickness of the grid lines (100×100 pixel)

### 3. 실험 및 오차 분석

#### 3.1 해상도에 따른 오차

해상도에 따른 측정오차를 비교하기 위하여 카메라 보정용 블록을 대상으로 저·중·고 해상도의 3 가지 화상을 획득하였다. 화소미만단위 측정 알고리즘은 오차 수준을 1/10 정도로 감소시키는 효과<sup>[6]</sup>가 있으므로 적용 전·후로 나누어서 비교하였다.

Fig. 2 에 해상도에 따른 주변형률 분포를 나타내었다. 보정용 블록 면은  $5(\pm 0.01)\text{mm}$  크기의 정사각형 격자가 새겨져 있고, 이 평면의 변형률은 0 으로 간주할 수 있다. Fig. 3 에는 각 해상도에 따른 평균오차와 최대오차를 비교하였다. 해상도가 높아질수록 오차가 점점 감소하며, 고해상도의 경우 저해상도에 비하여 평균오차와 최대오차가 모두 약 1/5 정도로 감소하였다. 저해상도의 경우 선행 연구<sup>[6]</sup> 결과보다 오차가 높게 나타났는데 이는 측정 영역이 4 배 이상 증가 하였기 때문이다. Fig. 2 와 Fig. 3 의 결과로 볼 때 해상도가 높아질수록 정확도가 향상됨을 알 수 있다.

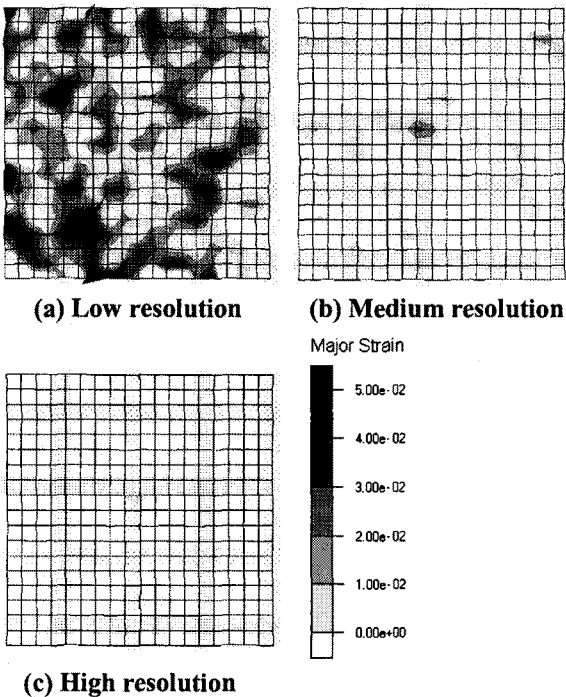


Fig. 2 Distribution of major strain of an undeformed sheet (before sub-pixel measurement)

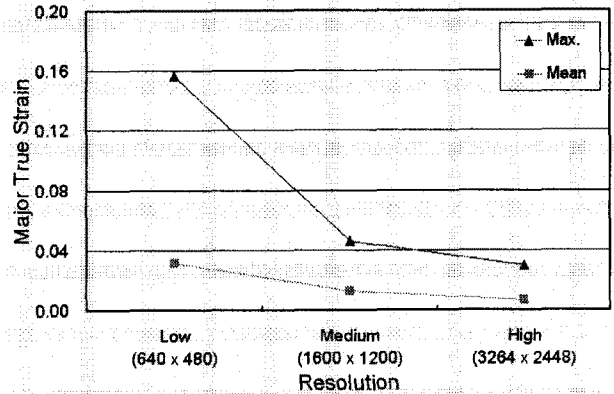


Fig. 3 Comparison of the errors (before sub-pixel measurement)

#### 3.2 화소미만단위 측정

오차 감소 효과가 있는 화소미만단위 측정 알고리즘을 적용하였을 때 해상도에 따른 오차를 평가하기 위하여 Fig. 2 에서 사용한 화상에 이 알고리즘을 적용하였다. Fig. 4 는 해상도에 따른 주변형률 분포를 나타낸 그림이며, Fig. 5 는 그 평균오차와 최대오차를 그래프로 비교한 것이다. 앞의 결과와 마찬가지로 해상도가 높아질수록 평균오차 및 최대오차는 감소하였지만, 중해상도와 고해상도의 경우 평균오차는 미소한 차이를 보였다. 이로부터 저해상도에서 측정 오차를 줄이기 위하여 고안했던 화소미만단위 측정 알고리즘이 중·고 해상도의 경우에도 오차를 줄이는 효과가 있다는 사실을 확인할 수 있다.

### 4. 응용

중전의 자동곡면정보분석시스템의 화상 획득 및 측정 방식은 보정용 블록을 이용하여 측정하고자 하는 영역을 2 대의 CCD 카메라로 촬영한 후, 임의의 절대 좌표계에 대한 카메라 좌표계의 위치와 방향을 결정하여 컴퓨터 화상좌표와 절대 좌표와의 관계를 구한다. 이어서 위치와 초점을 고정한 채로 보정용 블록 대신에 측정하고자 하는 대상의 화상을 얻고 앞서의 좌표관계를 이용하여 3 차원 좌표를 계산한다. 이와 같은 방법은 저해상도만 처리할 수 있는 기존의 한계에서 최대의 효과를 가져왔다. 하지만 본 연구에서 고해상도 처리 방법이 가능해짐으로써 1 대의 카메라

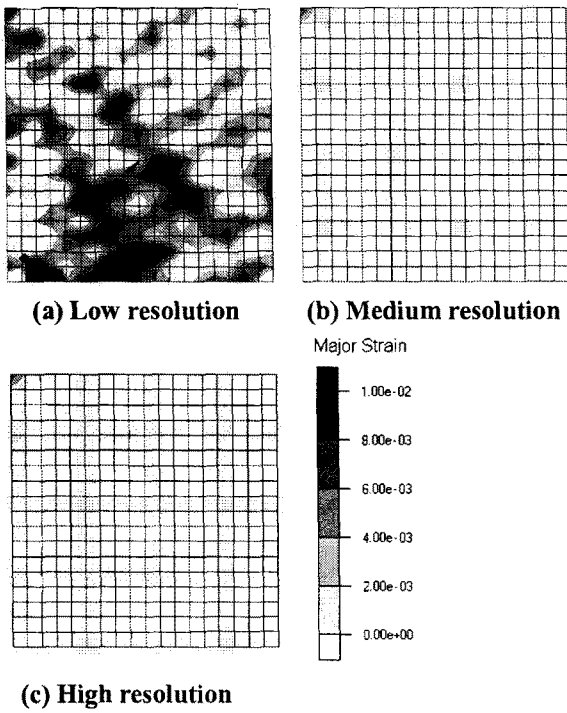


Fig. 4 Distribution of major strain of an undeformed sheet (after sub-pixel measurement)

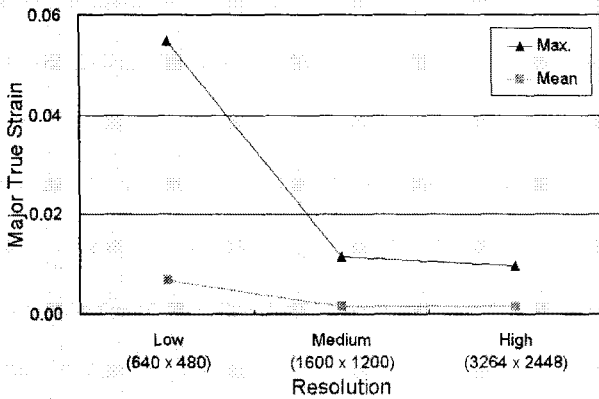
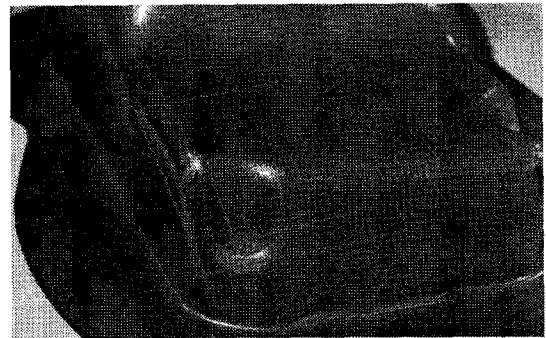


Fig. 5 Comparison of the errors (after sub-pixel measurement)

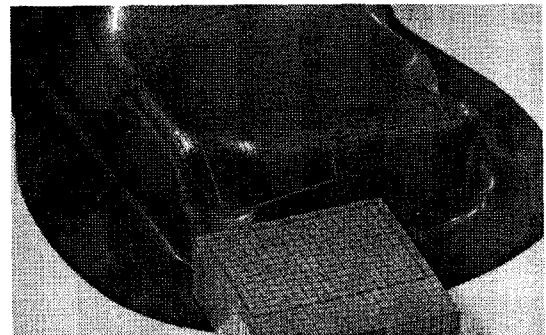
로 보정용 블록과 측정용 시편을 같이 놓고 찍을 수 있기에 측정의 정확도 증가와 더불어 화상 획득의 편의성 또한 획기적으로 향상되었다. 이와 같은 방법은 본 알고리즘이 보정면 상에 있지 않은 점들의 3 차원 좌표 측정에도 좋은 결과를 주는 것으로 확인된 바 있어<sup>[6]</sup> 가능하게 된 것이다. 이후의 측정 영상은 모두 고해상도를 사용하였다.

Fig. 6(a)는 보정용 블록과 측정 대상을 따로 찍는 기존 측정 방식을 사용하여 오일팬의 한쪽 모서리를 2 대의 디지털 카메라로부터 촬영한 사진이다. 실선은 측정부위, 즉 시편의 3 차원 좌표 계산 영역을 나타내며, 점선은 해당 그림은 없지만 카메라 보정용 블록의 위치를 표시한 것이다. (b)는 1 대의 카메라만을 이용하는 방식으로 보정용 블록과 측정용 시편을 함께 놓고 촬영한 화상에 카메라 보정 영역(점선)과 측정 영역(실선)을 나타낸 것이다. (a), (b)는 측정 영역은 같지만 가장 큰 차이점은 평면 화상에서의 보정면 위치가 측정 영역과 일치하는가 하는 점이다. Fig. 7(a)와 (b)는 각각 Fig. 6(a)와 (b)의 방법으로 측정한 주변형률 분포를 나타낸 것이다. 일부 경계 부분에서 약간의 차이가 보이지만 전반적으로 거의 비슷하게 분포하는 것을 알 수 있다.

Fig. 8(a), (b)는 3×3 mm 격자를 입힌 변형 전 판재를 보정용 블록 대신에 사용하여 Fig. 6(a), (b)에서와 동일한 방식으로 측정한 사진이며, 실선과

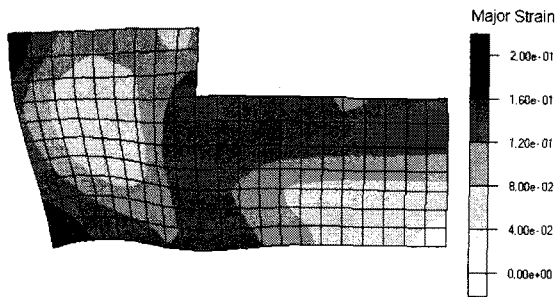


(a) Object and calibration block separately

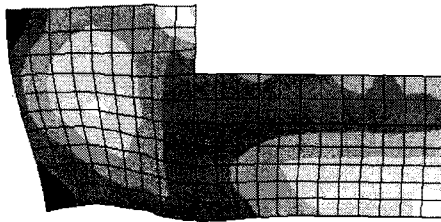


(b) Object and calibration block together

Fig. 6 Image of an oil pan to be measured using a specially fabricated calibration block

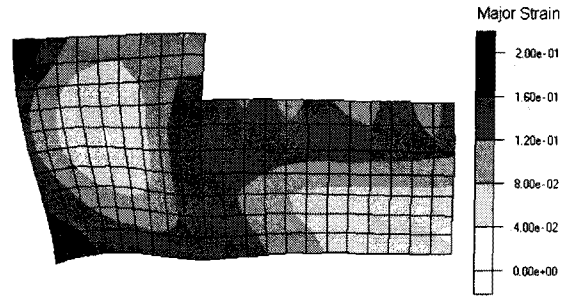


(a) Object and calibration block separately

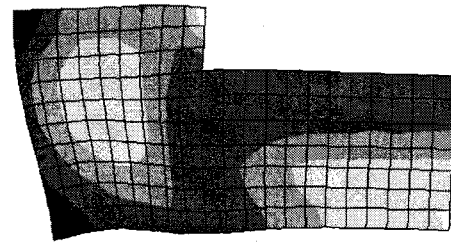


(b) Object and calibration block together

Fig. 7 Major strain distribution using a calibration block



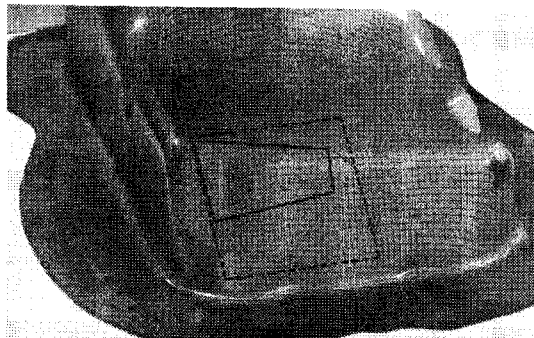
(a) Object and calibration block separately



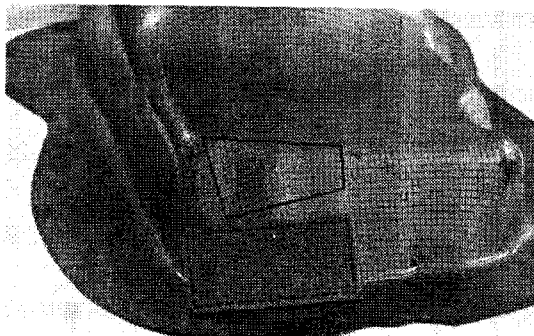
(b) Object and calibration block together

Fig. 9 Major strain distribution using a girded sheet

점선도 각각 Fig. 6 에서 설명한 것과 같은 영역을 나타낸다. Fig. 9(a), (b)는 이 방법으로 측정된 주변 형률 분포를 비교한 것이다. 마찬가지로 일부 경계 부분을 제외한 대부분의 영역에서 비슷한 양상을 보이고 있다. 결국 Fig. 7(a), (b) 및 Fig. 9(a), (b) 등 4 가지 경우가 모두 비슷한 분포를 나타내는 이러한 결과로 볼 때, 고해상도 화상처리 기술을 적용함으로써 보정용 블록을 측정 대상과 같은 화상에 함께 촬영하거나, 특별히 제작된 보정용 블록이 아니더라도 변형 전 판재와 같은 격자가 새겨진 대체물을 사용하여도 정확도의 큰 훼손 없이 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.



(a) Object and calibration block separately



(b) Object and calibration block together

Fig. 8 Image of an oil pan to be measured using a undeformed blank with etched grids

## 5. 결론

(1) 선행 연구에서 화상처리기술을 응용하여 3 차원 형상 및 곡면변형률을 측정할 수 있도록 개발했던 자동곡면정보분석시스템의 기능을 8 Mpixel 이상의 고해상도 화상까지 처리할 수 있게 개선하였다. 이로 인하여 변형률 측정의 정확도와 사용자의 편의성이 크게 향상되어 활용성이 증대되었다.

(2) 화상의 해상도가 기존의  $640 \times 480$  pixel (저

해상도)에서  $3264 \times 2448$  pixel (고해상도)로 증가할 경우, 변형률 측정의 평균오차와 최대오차는 1/5 정도로 대폭 감소하였다. 화소미만단위 측정 알고리즘을 적용한 경우에도 해상도가 높아질수록 오차는 감소하지만 고해상도로 갈수록 그 감소폭이 줄어드는 결과를 보였다.

(3) 고해상도 화상처리 기술을 적용함으로써 특별히 제작된 회전/직선 이송장치나 카메라 보정용 블록이 없이도 기존 시스템 이상으로 우수한 측정 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 정밀한 격자가 인쇄된 종이, 플라스틱, 철판 등 카메라 보정용 매개체만 있다면 보정용 블록을 측정대상과 같은 화상에 촬영하는 방식을 사용함으로써 언제 어디서나 화상 획득과 측정이 가능함을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. H. Vogel and D., Lee, 1989, "An Automated Two-View Method for Determining Strain Distributions on Deformed Surfaces", J. of Material Shaping Tech., Vol. 6, No. 4, pp. 205~216.
- [2] Camsys Inc., <http://www.asametech.com>.
- [3] GOM mbH., <http://www.gom.com>.
- [4] 황창원, 김낙수, 1997, "화상처리기법을 이용한 판재의 변형률 측정(I)", 한국소성가공학회 춘계학술대회논문집, pp. 207~212
- [5] 한상준, 김영수, 김형중, 오수익, 1998, "화상처리법을 이용한 곡면변형률 측정 시스템의 개발", 한국소성가공학회지, 제 7 권, 제 6 호, pp. 575~585.
- [6] 김두수, 김형중, 1999, "비전을 이용한 곡면변형률 측정법의 정확도 및 정밀도 향상에 관한 연구", 한국소성가공학회지, 제 8 권, 제 3 호, pp. 294~305
- [7] 김형중, 김두수, 2000, "중·대형 판재성형 제품의 곡면변형률 측정을 위한 스테레오 비전 시스템의 개선", 한국소성가공학회지, 제 9 권, 제 4 호, pp. 404~412.
- [8] 김형중, 2000, "판재 변형률 자동측정시스템의 발전", 한국소성가공학회, 2000 춘계학술대회논문집, pp. 129~133.