

## 형태 인식 기술을 이용한 판재의 홀 확장성 평가 시스템 개발

장승현\* · 김찬일\*\* · 양승한\* · 김영석\*†

\* 경북대학교 기계공학부, \*\* 경북대학교 기계연구소

### Development of Hole Expansion Test for Sheet Materials Using Pattern-Recognition Technique

Seung Hyun Jang\*, Chan Il Kim\*\*, Seung Han Yang\*\*\* and Young Suk Kim\*\*\*\*†

\* Dept. of Mechanical Engineering, Kyungpook Nat'l Univ.,

\*\* Institute of Mechanical Engineering Technology, Kyungpook Nat'l Univ.

(Received May 29, 2012 ; Revised October 12, 2012 ; Accepted October 16, 2012)

**Key Words:** Pattern Recognition Technique(형태 인식 기술), Image Processing Technique(영상 처리 기술), Hole Expansion Test(홀 확장성 평가), Hole Expansion Ratio(HER, 홀 확장비)

**초록:** 오늘날 자동차 산업에서 가장 대두되고 있는 충돌 안전성과 배기가스의 감축을 위해서 dual phase 강, ferrite bainite 강 등의 고강도 강판이 개발 되었다. 이러한 강재는 주로 차체 구조부에 적용되며, 적용시에 차체 구조부가 가져야 하는 강도와 디자인 적인 측면에서 사용자의 요구에 맞추기 위하여 홀 플랜징 가공이 자주 사용된다. 이때 재료의 성형성을 알아보기 위한 홀 확장성 평가가 수행된다. 홀 확장실험에서는 크랙 생성 전후의 하중의 차이가 매우 작기 때문에, 단축 인장 시험에서와 같이 하중의 변화로 크랙 발생 유무를 판단하기가 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 기존의 홀 확장성 평가에서 사람의 눈으로 크랙의 발생 유무를 판단하는 방법의 부정확성을 보완하기 위해 CCD 카메라를 이용하여 크랙의 발생 유무를 판단하는 시스템을 개발하였다.

**Abstract:** Nowadays, one of the most interested area of automobile industry is the production of vehicle which has collision safety and ability to produce less amount of CO<sub>2</sub>. The achievement of such a dual performance is done by choosing the materials like dual phase steel, ferrite bainite steel, etc. These steels have been used in automotive chassis and body parts, and also used to be formed by hole flanging to meet the goal of strength and design requirement. The formability of sheet material was experimented by hole expansion test and the judgement relies on human eye and his experience. This manual judgement involves many errors and large deviation. This paper develops the automatic crack recognition system which finds a crack based on CCD image to complement the problem of the current method depending on human's sense.

- 기호설명 -

HER : 홀 확장비

D<sub>0</sub> : 초기 홀의 내경

D<sub>f</sub> : 최종 확장된 홀의 내경

#### 1. 서론

최근 지구 온난화 및 환경문제가 대두되면서 자동차 산업에서는 친환경적인 자동차를 생산하기 위해 적은 배기가스를 배출하는 기술 개발에

많은 노력을 기울이고 있다. 또한 승객의 안전성 확보를 위해 여러 국가에서는 각종 충돌 법규의 강화와 안전한 차량을 선호하는 고객이 많아짐에 따라 높은 강도의 부품으로 구성된 자동차 차체 제조기술 개발이 요구되고 있다.<sup>(1)</sup> 이에 따라 더 가볍고 더 튼튼한 재료를 사용하여 경량화를 이룸과 동시에 안전성을 확보하기 위한 노력이 경주되고 있다. 소개적인 측면에서는 알루미늄, 타이타늄 그리고 마그네슘과 같은 높은 비 강도를 가진 비철금속을 적용한 연구가 진행되고 있으며, 고강도 강을 적용한 연구가 진행되고 있다. 하지만 비철금속의 높은 비용으로 인해 비교적 저렴하고 높은 강도를 지닌 고강도 강을 활용하

† Corresponding Author, caekim@knu.ac.kr

는 방안에 관심이 확대되고 있다. 특히 자동차 새시 부품은 노면진동을 전달하고, 엔진을 지지하며, 충돌 시 운전자와 승객의 안전을 제공하는 대표적인 보안부품이며 최근 경량화 요구 증대에 따라 소재 및 구조적 변화를 통해 많은 개선이 진행되고 있으며, 특히 고강도 강을 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(2)</sup> 고강도 강을 적용한 부품 개발에 대한 연구는 소재 개발 외에도 성형성 및 용접 등에 대한 기술 개발이 동시에 이루어져야 된다.

국내 철 금속 새시 부품은 주로 SAPH계열의 열연강판을 주종으로 사용하였으나, 현재 개발 중인 철 금속 소재는 서브프레임에 신율을 보완한 DP강(Dual Phase Steel, 590MPa)을 암에는 홀 확장성을 보완한 FB강(Ferrite Bainite Steel, 540MPa/590MPa)을 점진적으로 사용하고 있다. 국내외에서 이와 같은 경향을 보이며 해외의 선진 업체에서는 자동차 새시 및 다양한 부품에 고강도강을 적용한 사례가 점점 늘어나고 있는 실정이다.<sup>(3)</sup>

자동차 새시 부품 암(Arm)류의 제작 과정에 있어 구멍 확장 공정으로 제조되는 플랜지(Flange) 부 및 버링(Burring)부는 암의 피로 능력과 차량 안전에 많은 영향을 미치는 부분이다. 판재 성형 공정 중 하나인 홀 플랜징(Hole Flanging) 성형은 구멍을 확장시키면서 구멍 주위에 플랜지를 만들어 구멍 주위의 강도 및 설계상의 목표를 충족시키기 위한 공정 중 하나이다. 홀 플랜징 성형의 경우와 같이 구멍을 확장시키는 공정의 경우에 재료의 성형을 고려하기 위하여 구멍 확장 실험(Hole Expansion Test)을 수행하여 구멍 확장비(Hole Expansion Ratio, HER)를 측정하게 된다.<sup>(4)</sup> 현재 국내에서는 POSCO와 HMC에서 사용하는 방식이 있으며, 본 연구에서는 ISO 16630의 규격인 HMC 방법으로 연구를 진행하였다.

종래 판재의 홀 확장비를 평가하는 방법으로는 일정 크기의 홀을 가진 시편을 확장시켜 가면서 홀 주위에서 파단 발생 유무를 육안으로 확인하는 방법이 널리 사용된다. 그러나 이 방법은 실험자의 육안과 주관적인 판정에 의존하기 때문에 실험 결과의 신뢰도와 재현성의 문제를 내포하고 있어 실험 자동화에 대한 필요성이 제기되고 있다. 하나의 방안으로 홀 주위에서 크랙 발생 시에 펀치에 가해지는 하중의 변화를 인식하여 자

동적으로 실험 장치를 멈춤으로써 HER을 평가하는 방법이 대안이 될 수 있다. 하지만 홀 확장 실험에서는 홀 주위에 크랙이 발생하여도 펀치에 가해지는 하중의 변화는 미미하여 하중의 급격한 변화를 이용하는 방법은 현실적이지 못하다. 이를 보완하기 위한 방법으로 새로운 홀 확장 실험법 또는 유한요소해석을 응용하는 방법 등 다양한 방법이 시도되고 있다.<sup>(5-11)</sup>

본 연구에서는 홀 확장 실험에서 시편의 파단 평가를 사람의 시각에 의존하지 않고 영상 처리 기술을 기반을 둔 형태 인식 기술을 통해 파단의 유무를 판단하여 신뢰도 높은 결과를 얻을 수 있는 자동화 기술을 개발하였다. 이는 시편에 가공한 정원의 홀이 크랙이 발생한 순간부터 진원이 아니게 되는 것을 기준으로 실험을 하는 과정을 영상 장치로부터 입력 받아 시편의 상태를 판별하고 컴퓨터로 시험기를 제어하는 것이다. 또한, 자동화 시스템으로부터 얻은 데이터를 기존의 사람이 측정한 데이터와 비교하였다.

## 2. 홀 확장성 평가 방법

### 2.1 홀 확장성 평가 시스템

Fig. 1은 HMC 방법의 홀 확장 실험의 개략도를 나타낸 것이다. 홀 확장 실험에서는 직경이 10mm로 펀칭 가공된 홀을 갖는 시편을 상형 다리와 하형 블랭크 홀더 사이에 삽입한 후 다이 면에서 재료의 유동이 없도록 강하게 압착한 다음에 정점 각도가 60°인 원뿔 형태의 펀치를 상승시켜 홀을 확장해 나간다. 이때 시편의 내부 홀의 중심과 원뿔 펀치의 정점이 일치하도록 정렬해야 하며 펀칭에 의해 준비한 시편의 파단면의 버(burr)가 펀치의 진입방향의 반대쪽에 오도록 하여 파단이 쉽게 발생하도록 하여야 한다.

펀치 상승에 따라 홀 주위의 크랙이 발생하였을 때의 홀 크기와 처음의 홀 크기의 비를 홀 확

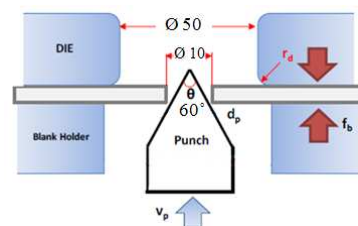


Fig. 1 Schematic view of hole expansion test

장비(Hole Expansion Ratio, HER)라 한다.

$$HER = \frac{D_f - D_0}{D_0} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서  $D_0$ 는 초기 홀의 내경이고  $D_f$ 는 최종 확장 홀의 내경이다.

반복되는 실험과 영상 처리 시 시편과 펀치의 구분을 뚜렷이 하고자 펀치표면에 TiN코팅을 하였다. TiN코팅은 가장 대중화 되고 일반적인 코팅 기술로써 뛰어난 내마모성과 내식성을 가진다. 이에 펀칭이나 포밍과 같은 다양한 제조 공정에 사용되는 금형과 공구 등에 폭넓게 이용되고 있는 코팅으로 황금색의 색상을 띠는 것이 특징이며 막의 경도는 2000~2500(Hv), 마찰계수는 0.7이다.<sup>(12)</sup>

영상 획득을 위해 시험기 상부에 CCD카메라를 설치하였으며, CCD카메라 주위에 고휘도 LED를 설치하여 조명으로 활용하였다. Fig. 2는 본 연구에서 개발된 홀 확장성 평가 시스템의 사진이다.

### 2.2 Canny 에지 검출기를 통한 영상 처리

홀 확장 실험에서의 영상 처리 과정은 영상 획득, 잡음(노이즈)제거를 위한 전처리, 대상의 윤곽선 추출 및 균집화, 형태 인식 순으로 이루어진다.

영상 처리를 위하여 Visual C++와 OpenCV<sup>(13)</sup>의 라이브러리를 사용하였으며, 윈도우 환경에서의 추출된 최종 영상을 통해 크랙 발생 여부를 판단

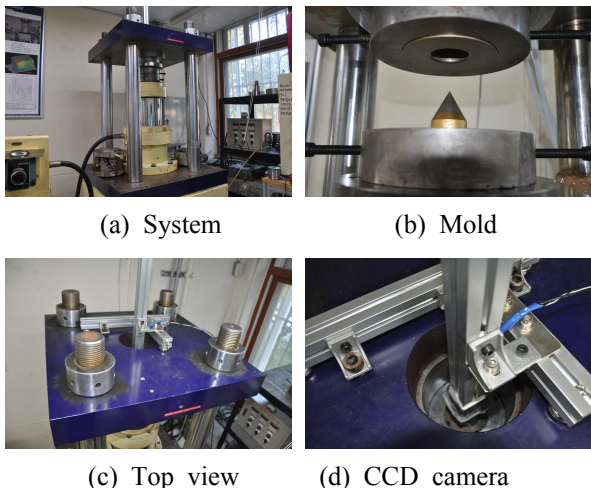
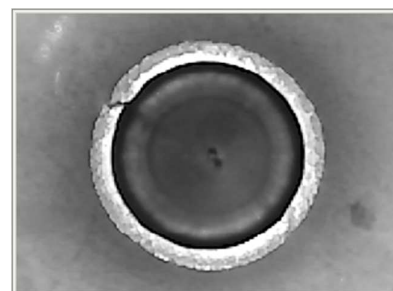


Fig. 2 Hole expansion tester

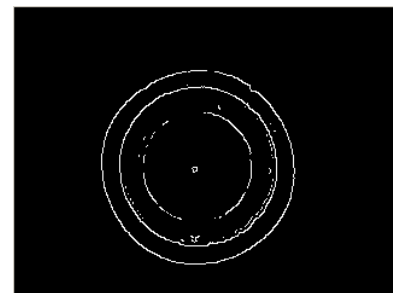
하게 되고, 크랙 발생으로 판단 될 경우에는 시험기를 제어하여 자동으로 시험기를 멈추게 한다.

형태 인식에 필요한 영상 획득을 위해 시험기 상부에 설치된 CCD 카메라로부터 영상을 획득한다. C언어의 Timer를 이용하여 0.1초에 한 프레임의 받도록 설정하였다.

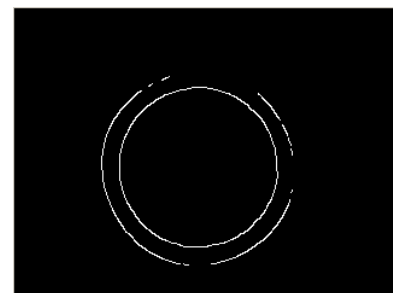
이렇게 획득한 영상으로부터 특징적인 형태를 인식하기 위하여 Canny 에지 검출기<sup>(14)</sup>를 사용하였다. Fig. 3은 CCD카메라로부터 얻어진 영상이 처리되는 일련의 과정을 보여준다. 먼저 카메라로부터 얻어진 영상을 그레이 스케일로 변환한다. 이는 RGB영상의 경우 3개의 채널 값을 가지고 있어 밝기 비교가 부적합하기 때문이다. 이로부터 윤곽선을 추출할 경우 그림 (b)와 같이 잡음이 포함된 영상을 얻을 수 있다.



(a) Gray-scale image



(b) Edge detection without Gaussian filtering



(c) Edge detection with Gaussian filtering

Fig. 3 Process of the Canny edge detection

여기서 가장 안쪽의 원은 공구의 형상, 가운데 원은 홀 확장된 시편의 내측 부분, 가장 바깥쪽 원은 홀 확장된 시편의 외측 부분, 기타 포인트 들은 잡음 영역을 나타낸다. 여기서 우리가 필요로 하는 시편의 영상만을 얻기 위하여 가우시안 필터링을 수행하여 그림 (c)와 같은 시편만의 영상을 얻을 수 있다.

2.3 특징 추출

잡음에 의한 윤곽선은 관심부위인 시편에 존재하는 홀의 윤곽선을 인식하고 그 이외의 부위를 삭제하는 것으로 제거한다. 이 방법은 원하는 관심부위의 윤곽선 영상을 원으로 가정하고 가상의 중심과 가상의 반지름을 구하여 이 원의 반지름보다 크거나 작은 부위는 모두 삭제하는 방법을 사용한다.

시험기 상부에 CCD 카메라를 설치할 때 시편의 홀이 영상의 가운데 부분 근처에 위치하도록 설치를 하였기 때문에 영상의 가운데 부분에 임의의 중심을 정한다. 이 임의의 중심으로부터 -x 방향, x방향, -y방향, y방향 그리고 그 사이 각을 잇는 45°기울기의 ±방향으로 윤곽선을 탐색한다. 이때 45°기울기 방향으로 탐색할 경우 윤곽선 사이의 틈을 지날 경우 인식을 못하는 상황이 발생

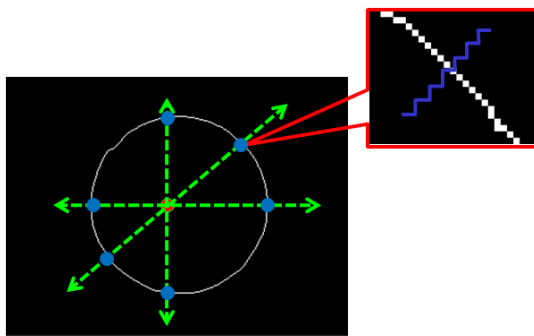
하기 때문에 이 방향으로의 끝은 직선이 아닌 x축으로 한 칸 y축으로 한 칸을 탐색하는 계단 모양으로 탐색한다.

이렇게 얻어진 6개의 점들 중 서로 인접하지 않는 3개의 점들을 이용하여 가상의 원의 중심과 반지름을 각각 구하여 평균으로 윤곽선을 대신하는 원을 만든다.

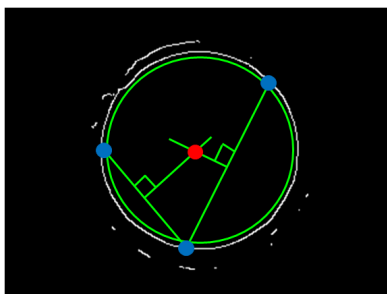
Fig. 4(a)는 가상의 중심을 찾는 방향과 계단 모양으로 탐색하게 되는 45°기울기 방향을 보여주고, (b)는 가상의 중심을 찾기 위한 방법을 보여준다.

가상의 원이 만들어지게 되면 원의 중심에서 평균 반지름  $R_m$ (Pixel 수,  $Px$ )을 기준으로 반경이  $R_m+5Px$  이상  $R_m-2Px$  이하의 영역을 삭제하는 방법으로, 관심 부위 이외의 윤곽선을 모두 삭제하도록 한다.

Fig. 3(c)에서처럼 Canny 에지 검출기를 통하여 얻어진 영상은 2개의 원으로 구성되어 진다. 여기서 우리가 관심을 가지고 봐야하는 원은 내측의 원이다. 이는 2.1절에서 언급한 바와 같이 전술한 홀 확장성 실험 방법에서 버의 방향이 편치의 진입 방향과 반대로 가도록 시편을 위치시켜, 실험 중 크랙은 버 부분인 바깥쪽 원으로부터 내측 원으로 진전되기 때문이다. 통상적으로 홀 확장성 실험에서 크랙의 발생으로 시험을 중단하는

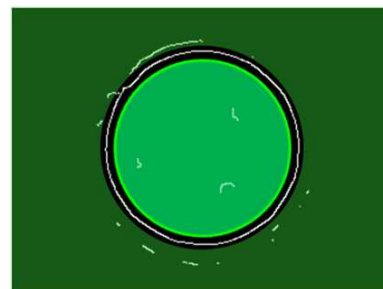


(a) Choosing direction of any 6 points

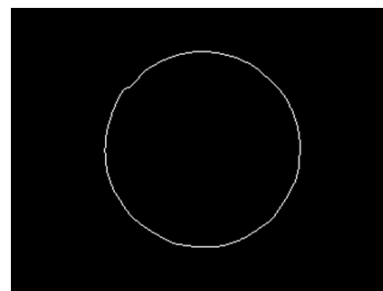


(b) Finding center using 3 points

Fig. 4 Detection of outline and center



(a) Section of deletion



(b) Result image

Fig. 5 The final step of image processing

경우 크랙이 내측 원에 도달하였을 때를 기준으로 하므로, 영상에서 내측 원의 어긋남을 검사하게 된다. 따라서 여기에서 정한  $5Px$ 과  $2Px$ 은 정수로 표현되는 이미지의 좌표 여건과 시편의 외부에는 크랙이 발생하여 원의 형상이 변하지만 시편 내부로 도달하지 않아 최종적으로 크랙이 발생하지 않을 가능성을 고려하여 결정한 크기이다.

Fig. 5는 가상의 원으로 관심 부위 이외의 영역인 부분을 녹색으로 표시하고 삭제되는 영역을 나타내고 있다.

2.4 형태 인식

본 연구인 형태 인식 기술을 이용한 판재의 홀 확장성 평가 시스템 개발은 정원으로 만들어진 시편의 홀은 실험을 통해 점점 확장이 되지만 크랙 발생 후 홀의 모양은 일반적으로 진원이 아니게 되는 것에서 착안하여 개발하였다.

영상 처리 과정을 통해 얻어진 관심 부위인 판재에 존재하는 홀의 모양을 나타내는 윤곽선을 이용하여 원주 상의 각 위치에서 구한 곡률  $\Delta k(1/\rho)$  또는 반지름의 차이  $\Delta r$ 을 측정하여 크랙 발생 유무를 판별한다. 본 연구에서는  $\Delta r$ 을 측정하는 방법을 이용하였으며, 크랙이 발생하게 되면 크랙을 따라 윤곽선이 생성되고 크랙 부위의 윤곽선은 생성된 가상의 원 중심으로부터 거리가 멀어짐을 이용하였다. 평균 반지름과 비교할 때  $\Delta r = 2Px$  이상의 차이를 보이는 지점은 크랙이 발생한 것으로 보았다. 이는 동종의 시편으로 반복 실험을 한 결과  $\Delta r = 1Px$ 로 설정하였을 때는 크랙이 완전히 생성되지 않았는데도 불구하고 시험이 종료된 경우가 존재하였으며,  $\Delta r = 3Px$ 로 설정하였을 경우는 크랙이 재료 깊이 방향으로 상당히 진전되었음을 볼 수 있었다.

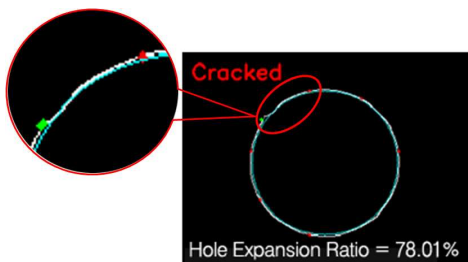


Fig. 6 Result of crack judgement

따라서  $\Delta r = 2Px$ 는 현재 홀 확장성 평가에서는 크랙의 판단을 사람의 시각에 의존하고 정확한 수치의 판단 기준이 없으며, 본 연구에서 영상 처리의 기본 단위가 정수일 뿐만 아니라 영상 장치 자체에도 왜곡이 있다고 가정했을 경우 실험의 결과를 가장 잘 보여줄 수 있는 수치로 판단되었다. 또한 평가 기준이 다양한 소재별 상대적인 비율임을 감안하여 동일한 수치에서의 실험은 홀 확장성 평가 의도에 부합함에 결정하였다.

Fig. 6은 위의 수치를 적용하여 실험 중 크랙이 발생한 것으로 평가되는 부위가 본 프로그램에서 녹색으로 인식되어 지는 것을 나타낸다.

결과적으로 홀 확장비는 최초 실험을 시작할 때 윤곽선을 통해 얻어진 반지름과 크랙이 발생했을 때 반지름의 비를 이용하여 구할 수 있다.

3. 실험 방법

본 연구에서 개발한 형태 인식 기술을 이용한 홀 확장성 평가 프로그램을 활용하여 홀 확장성 평가 실험을 진행하였다.

3.1 제원

홀 확장성 평가 실험은 기초구멍 직경이 10mm로 하고 시편 크기는 가로 세로 각각 135mm로 하였다. 다이 모서리 반경은 5mm, 다이 내경은 50mm, 펀치 원추각도는 60°, 펀치 상승 속도는 10mm/min, 블랭크 홀더 하중은 10ton으로 실험을 수행 하였다.

3.2 시편의 종류

본 연구에 사용되는 영상 처리 기술은 소재의 표면이나 상태에 따라 인식물의 결과가 달라질 수 있음에 다양한 소재에 대한 실험을 위하여 SAPH440, FB540, FB590 및 DP590의 4강종과 알루미늄 6021을 준비하였다.

Table 1 Tensile properties of tested materials

Materials	t (mm)	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	n	R <sub>m</sub>
SAPH440	2.3	350	441	29	0.119	1.07
FB540	2.3	490	543	25	0.125	0.98
FB590	2.9	530	615	21	0.107	0.93
DP590	2.3	450	685	26	0.183	1.04

Table 1은 각 강종에 대한 인장특성을 나타낸다.<sup>(5)</sup> 여기서  $YS$ ,  $TS$ ,  $El$ ,  $n$ ,  $R_m$  는 각각 항복강도, 인장강도, 파단 연신률, 가공경화지수, 랭크포드가 정의한 평균 이방성계수이다.

3.3 실험 준비

본 연구에서 제작한 프로그램의 작동 환경은 Windows XP이며 제작에 사용된 언어는 Microsoft Visual Studio 2005 .net C++에서 제작하였다. 사용된 CCD 카메라는 30만화소의 일반적인 웹캠을 사용하였다.

프로그램을 실행하기에 앞서 준비된 시편을 시험기 중앙에 위치하고 블랭크를 상승시켜 실험준비를 완료 한다.

Fig. 7은 실행된 프로그램의 화면이다. 실행된 프로그램의 좌측 하단부의 입력영상 버튼은 CCD 카메라로부터 받은 영상을 보여주는 화면을 생성시켜준다. 전처리 영상 버튼은 입력받은 영상으로부터 전 처리된 영상을 보여주는 화면을 생성시켜준다. 영상조절 및 설정 버튼은 영상 처리과정에 필요한 가우시안 필터 및 캐니 에지 검출에 사용되는 임계값을 변경시킬 수 있으며 크랙 판별 조건인  $\Delta r$ 의 값을 변경시킬 수 있는 화면을 생성시켜준다. 이 버튼들은 실행 도중 언제든지 클릭하여 생성시킬 수 있으며, 다시 클릭하는 방법으로 닫을 수 있다.

프로그램의 하단부에 존재하는 결과폴더 버튼은 실험결과가 저장되는 폴더를 열어주는 역할을 하고, 초기화 버튼은 실험 도중 문제가 발생하였을 때, 시험기를 정지시키고 프로그램의 상태를 초기화 하여 준다.



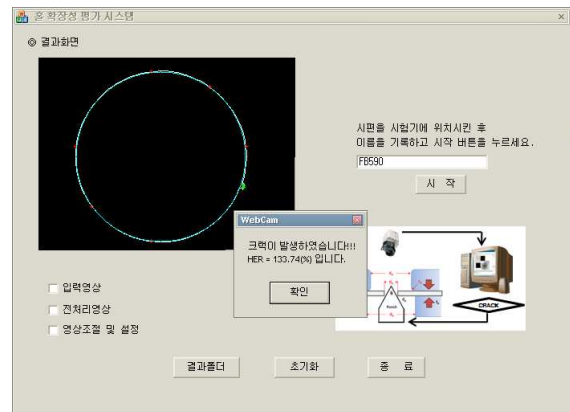
Fig. 7 Screen shot of hole expansion test program before the test

3.4 프로그램의 작동 및 실험

실험을 실시하기 위해 우측 중앙부에서 시편의 이름을 입력하고 ‘시작’ 버튼을 클릭하게 되면 자동적으로 시험기의 펀치가 가동이 되고 결과 화면에는 인식된 시편 홀의 윤곽선과 중심과 반지름을 측정하기 위한 붉은색의 6개점으로 생성된 가상의 푸른색 원이 나타난다.

시편에 크랙이 발생한 것으로 추정이 되는 부위가 발생하면 그 부위에 녹색으로 표시가 되고 시험기는 자동적으로 멈추게 된다. 이때 시편의 영상과 판별에 사용된 윤곽선 영상 그리고 홀 확장비는 하드디스크의 ‘HER’ 폴더의 실험한 날짜 폴더에 자동적으로 저장이 된다.

Fig. 8 (a)는 FB540 시험편에서 크랙이 발생하여 그 결과가 기록된 화면이며, (b)는 이때의 시편의 사진이다. 그림에 표시된 부분에서 크랙이 발생함을 알 수 있다.



(a) Screen shot of result on test program



(b) Specimen

Fig. 8 Image of hole expansion test program and specimen after the test

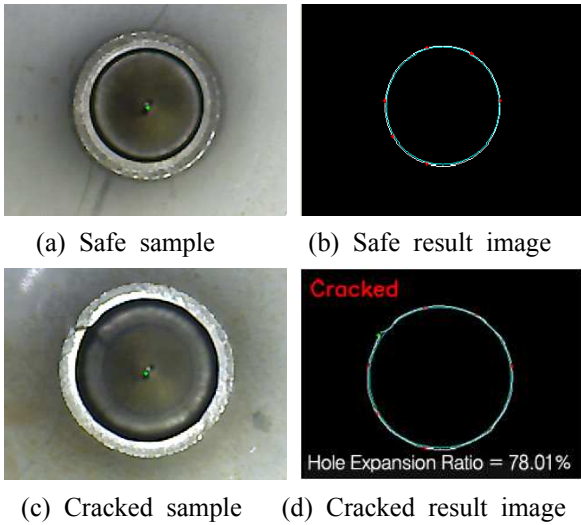


Fig. 9 Comparison between safe and cracked sample

#### 4. 실험 결과

##### 4.1 정지영상 결과

실제 홀 확장 실험 장치에 적용하기에 앞서 다른 홀 확장 실험에 사용된 시편을 이용하여 본 연구에서 개발한 프로그램이 올바르게 작동되는지 실험한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 개발한 기술은 식별 조건에 따라 크랙을 판별 할 뿐만 아니라 초기의 홀 직경과 홀 확장 후의 직경을 측정하여 홀 확장비를 자동으로 계산한다.

##### 4.2 시험기에 적용한 결과

시험기와 본 연구에서 개발한 프로그램과의 연동을 위하여 National Instruments사의 NI cDAQ-9172 데이터 수집 장치를 이용하였다.

Table 2는 사람의 시각에 의해 판단한 결과 (manual)<sup>(5)</sup>와 본 비전 프로그램을 이용한 결과 (program)의 비교를 보여준다. 그림에서 FB590(L), DP590(L)와 SAPH440(L)는 기초 구멍의 가공 시에 Laser를 사용한 것이며, FB540과 Al6021의 경우는 펀칭 가공을 한 경우이다. 본 연구에서는 펀치의 상승에 따라 고정된 CCD 카메라와 측정할 시편의 위치가 가까워짐에 따른 실제보다 더 크게 확장비가 측정되는 문제점을 해결하기 위해 프로그램 내부에서 거리에 따른 일정 비율을 보정해 주었다. 보정에는 FB590(L) 판재로 홀을 가공한 경우를 기준으로 보정하였다. 그 결과 사용자의 시각에 의한 판단과 본 연구에서 개발한 비전 프로그램을 이용한 판단은 ±10% 정도의 차이는 발생하나 대체적으로 잘 일치하는 결과를 나

Table 2 Results of HER between manual and program

Materials	Manual <sup>(5)</sup>	Program	Error(%)
FB590(L)	143.1	133.74	6.45
FB540	121.8	119.17	2.16
DP590(L)	116.4	104.43	10.28
SAPH440(L)	135.2	137.41	-1.63
AL6021	-	56.46	-

타내었다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 홀 확장 실험의 신뢰도를 높이기 위하여 영상 처리 기술을 이용한 판재의 홀 확장성 평가 기술을 개발하였다. 형태 인식 기술을 이용하여 시편 홀의 윤곽선을 인식하여 크랙 발생 유무를 판별하는 방법을 이용하였고, 평가에 사용된 소재는 SAPH440, FB540, FB590, DP590의 4가지 강종과 Al6021을 사용하여 실험을 진행 하였으며 다음과 같은 결과를 확인 할 수 있다.

(1) 영상 처리 기술을 기반을 둔 형태 인식 기술을 홀 확장 시험에 적용하여 자동화 할 수 있다.

(2) 사람의 시력과 감에 의존하여 발생할 수 있는 실험의 오차를 컴퓨터 계산을 통한 정량적인 판단으로 줄일 수 있다.

(3) 영상 처리 기술을 응용하여 다양한 산업 현장이나 연구 분야에 접목하여 활용할 수 있다.

한편 영상 처리에 의한 평가의 자동화 기술에 있어서 아직까지 다음과 같은 문제점들이 상존하고 있어 지속적인 연구가 필요하다.

1) 홀 확장 실험 중에 펀치 상승에 따른 카메라의 초점이 바뀌어 영상 획득이 어렵다. 이에 대한 대책으로 자동 초점 조절 방법을 이용하거나 시편의 상승에 따라 동조하는 카메라 위치 조절기능을 이용하여 선명한 영상을 획득할 필요가 있다.

2) 실험 중 발생하는 시험기의 진동이 결과에 영향을 미칠 수 있다.

3) 영상 처리는 주변의 밝기에 민감하게 반응하는 문제점이 있다.

4) 시편의 재질에 따라 인식률이 달라질 수 있어 영상 처리를 이용한 홀 확장 실험을 위해 시편 표면에 색을 입히는 방법 등을 이용하여 인식률을 높일 필요성이 있다.

본 연구 결과를 바탕으로 사람의 시력과 감에 의존함으로써 발생하던 오차를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 신뢰성 높은 홀 확장성 평가에 일조할 수 있기를 기대한다.

## 후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소지원사업으로 수행된 연구임(2012-0005856). 논문 저자는 영상 처리의 형태 인식 기술에 관하여 유익한 조언으로 도움을 주신 최일 박사(경북대학교 기계연구소)에게 감사함.

## 참고문헌

- (1) Lee, W. S., Kwon, T. W., Cho, Y. R. and Kim, D. U., 2004, "Development of Automotive Chassis Parts by Application of Hot Rolled High Strength Steel," *Proceeding of the KSAE Conference*, pp. 1476~1481.
- (2) Shimizu T., Funakawa Y. and Kaneko S., 2004, "High Strength Steel Sheets for Automobile Suspension and Chassis Use - High Strength Hot Rolled Steel Sheets with Excellent Press Formability and Durability for Critical Safety Parts," *JFE Technical Report*, No. 4, pp. 25~31.
- (3) Schwich, V., Hirschmanner, F. and Jaroni, U., 2005, "Innovative Steel Sheets and Products for Applications in Vehicles," *International conference on Steels in Cars and Trucks*, pp. 1~8.
- (4) Konieczny, A. A. and Henderson, T., 2007, "Product Design Considerations for AHSS Displaying Lower Formability Limits in Stamping-With Sheared Edge Stretching," *U.S. Steel Corporation, Great Designs in Steel Seminar*.
- (5) Park, J. K., Park, B. C. and Kim, Y. S., 2010, "A Study of Automobile Product Design Using Hole Expansion Testing of High Strength Steels," *Proceeding of the KSTP Conference*, pp. 282~287.
- (6) Dunkelmeier, M., Karelava, A., Kremaszky, C. and Werner, E., 2009, "Instrumented Hole Expansion Test," *Proceeding of International Doctoral Seminar*, pp. 411~419.
- (7) Takuda, H., Mori, K., Fujimoto, H. and Hatta, N., 1999, "Prediction of Forming Limit in Bore-Expanding of Sheet Metals Using Ductile Fracture Criterion," *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 92, No. 93, pp. 433~438.
- (8) Soderberg, M., 2006, "Finite Element Simulation of Punching," Master Thesis of Luleå University of Technology, Sweden.
- (9) Mole, N. and Stok, B., 2009, "Finite Element Simulation of Sheet Fine Blanking Process," *International Journal of Material Forming*, Vol. 2, No. 1, pp. 551-554.
- (10) Hatanaka, N., Yamaguchi, K., Takakura, N. and Iizuka, T., 2003, "Simulation of Sheared Edge Formation Process in Blanking of Sheet Metals," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 140, No. 1~3, pp. 628~634.
- (11) Picart, P., Lemiale, V., Touache, A. and Chambert, J., 2005, "Numerical Simulation of the Sheet Metal Blanking Process," *VIII International Conference on Computation Plasticity, CIMNE, Barcelona*, pp. 1~4.
- (12) Kim, K. H., 1994, Coating and Mechanical Properties of TiN on the Steel Tools by Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition, KOSEF 931-0800-018-1.
- (13) Bradski, C. and Kaebler, A., 2008, Learning OpenCV, O'Reilly Media, California.
- (14) Canny, J., 1986, "A Computational Approach to Edge Detection," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 8, No. 6, pp. 679~698.