

## 변형률속도를 고려한 DP590의 성형한계도

김석봉<sup>†</sup> · 안광현\* · 하지웅\* · 박충희\* · 허훈\* · 복현호\*\* · 문만빈\*\*

### Forming Limit Diagram of DP590 considering the Strain Rate

Seokbong Kim, Kwanghyun Ahn, Jiwoong Ha, Chunghee Park, Hoon Huh, Hyunho Bok and Manbeen Moon

**Key Words :** Forming Limit Diagram(성형한계도), Strain Rate(변형률속도), DP590

#### 1. 서론

성형한계도(forming limit diagram; FLD)는 박판성형 시 성형의 성공여부를 판단할 수 있게 해주는 중요한 기준을 제시해 준다. 성형한계도란 파단을 유발하는 판면상의 임계 최대 주변형률 및 최소 주변형률의 값을 최대 및 최소 주변형률 평면상에 도시한 것이다. 지금까지의 성형한계에 관한 연구에서 금속판재의 가공경화 특성이 상온에서 변형률속도에 거의 영향을 받지 않는 것으로 취급해왔기 때문에 수에서 수백/s의 높은 변형률속도에서 성형되는 실제의 성형공정에 있어서는 기존의 성형한계 이론과 많은 차이를 보인다. 따라서 실제의 성형공정에 있어서는 변형률속도를 고려한 성형한계에 관한 연구를 통하여 박판금속의 성형성 평가가 요구된다.

본 연구에서는 변형률속도를 고려한 DP590의 단축인장시험을 통하여 동적 인장특성 및 성형성을 평가한다. 정적 및 고속 성형한계도를 얻기 위하여 U<sup>TM</sup> 및 고속충돌시험기를 사용하여 편치-장출성형 시험을 수행한다. 이를 통하여 변형률속도가 박판의 성형성에 미치는 영향을 고찰한다.

#### 2. 동적 인장시험을 통한 성형성 평가

DP590(1.2t)에 대하여 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100/s의 변형률속도 범위에서 정적 및 고속재료시험기를 사용하여 박판의 인장실험을 수행하였다. 항복

비의 단조증가와 가공경화지수의 단조감소는 DP590의 성형성이 변형률속도 증가에 따라 점차 감소함을 의미한다. 균일연신율은 변형률속도 증가에 따라 거의 변화가 없으나 파단연신율은 0.1, 1/s까지 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보인다.

정적 및 동적 인장시험을 수행하여 변형률속도에 대한 DP590의  $r$  값을 측정하였다. 본 연구에서는 동적 인장 시에 표점부의 폭 및 길이방향 변형률을 동시에 측정하여야 하므로 고속카메라를 사용하여 표점부 내의 그리드 변형을 측정하였다. 시편의 인장에 따른  $r$  값은 변형률에 따라 선형으로 근사 될 수 있음을 확인하였다. RD, DD, TD에 대해서 얻은  $r$  값은 0.1/s까지 감소하다 다시 증가하는 경향을 보이거나 정적에 비하여 동적인장 시 성형성이 크게 향상되지는 않는다. 이는 항복비, 가공경화지수 및 연신율의 경향과 일치하지 않으며 단축인장시험에서 하나의 물성으로 DP590의 성형성을 평가하기 무리가 있음을 보여준다.

#### 3. 고속 성형한계도

##### 3.1 시험조건 및 장비

DP590의 정적 및 고속 조건에서 성형성을 평가하기 위하여 20 mm/min, 10m/sec의 성형속도로 직경 100 mm의 반구형 편치를 이용한 장출시험을 수행하였다. 시편의 형상은 폭 20, 40, 60, 80, 100 mm의 모래시계(hourglass)형과 한 변이 200 mm인 정사각형이 있다. RD 방향으로 강판에서 채취되었으며 성형한계도 측정을 위하여 직경 5 mm의 원형 그리드를 에칭하였다. 성형한계도의 인장-압축영역을 얻기 위한 시험에서는 테프론(teflon)과 플라스틱인(plasticine)을 사용하여 윤활조건을 동일하게 사용하였으며 시편 폭만 20~100 mm로 달리하였다. 성형한계도의 중앙 및 인장-인장 영역에서

<sup>†</sup> 회원, KAIST, 기계항공시스템학부  
E-mail : ksb79@kaist.ac.kr  
TEL : (042)350-3262 FAX : (042)350-3287

\* KAIST, 기계항공시스템학부

\*\* 현대하이스코(주), 기술연구소

는 정사각형 시편을 이용하여 마찰조건을 달리하였다. 이때 무윤활, 테프론, 테프론+바세린, 테프론+플라스티신 순으로 마찰계수를 감소시켜 등이축에 가까운 변형을 얻었다.

정적 성형한계시험은 블랭크홀더 프레임을 장착한 UTM 을 사용하였으며 고속성형한계시험은 고속성형지그가 장착된 고속충돌시험기를 사용하였다. 고속성형지그는 Fig. 1 와 같으며 다이, 홀더, 펀치부로 구성된다. 고속충돌시험기의 대차가 목표속도로 발사되어 펀치부헤드와 충돌하게 되고 대차는 펀치부와 함께 고속으로 이동하여 시편을 변형시키게 된다. 정적 성형한계 시험에서 얻은 각 시편에서의 한계동 높이를 시편의 파단시점이라 가정하고 다양한 두께의 우레탄 스톱퍼를 사용하여 펀치의 스트로크를 조절하였다.

### 3.2 정적 및 고속성형한계 평가

정적 성형한계 시험의 성형속도는 20 mm/min 이며 블랭크홀더 프레임을 장착한 UTM 을 사용하였다. 일반적으로 차체용 부재의 박판 성형공정 시 부재의 크기 및 생산성을 고려하여 1~6 m/s 의 속도로 성형이 수행된다. 이때 부재에 발생하는 변형률속도는 성형될 국부적으로 차이를 보이나 일반적으로 수에서 수백/s 의 변형률속도 분포를 보인다. 이 변형률속도 영역에서 강판의 성형성이 증가 또는 감소하는 경향을 알아보는 것이 본 연구의 목적이므로 이를 고려하여 10 m/s 의 성형속도를 결정하였다. 직경 100 mm 의 반구형 펀치로 W200(dry) 조건에서 성형해석을 수행하면 성형속도가 10 m/s 일 때 펀치 스트로크 40 mm 에서 약 100/s 의 변형률속도가 발생한다.

시험은 파단이 일어나는 시간까지 계속되며, 파괴가 일어나는 순간을 포착하기 위하여 네킹과 파괴가 일어난 부분의 변형된 타원 격자를 측정하여 최대 주변형률과 최소 주변형률을 구한다. 측정된 격자는 Success, Neck, Fracture 로 분류되며 마일라 필름을 이용하여 타원으로 변형된 원형격자의 장축 및 단축 변형량을 측정하여 주변형률을 얻었다. 측정결과들은 시편의 폭과 윤활방법에 따라 성형한계도를 Fig. 2 와 같이 도시하였다. 네킹이 발생한 격자를 기준으로 상계 및 하계 성형한계선을 작성할 수 있으며 사이의 영역을 성형한계밴드로 정의로 할 수 있다. 정적과 고속에서의 성형한계도를 비교하면 고속 성형한계 영역은 정적에 비하여 좁으며 하단부에 분포한다. 고속으로 성형이 이루어 질 때 정적에 비하여 취성이 더 발달하여 성형한계가 작아지는것으로 판단되며 이러한 경향은 단축인장시험에서 얻은 변형률속도 증가에 따

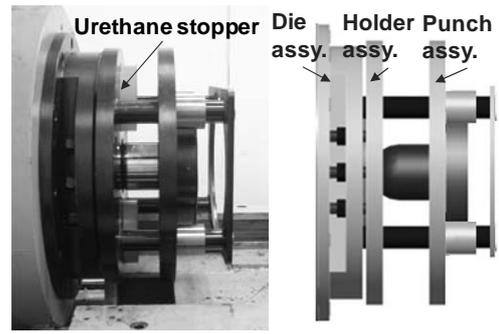


Fig. 1 High speed forming jig

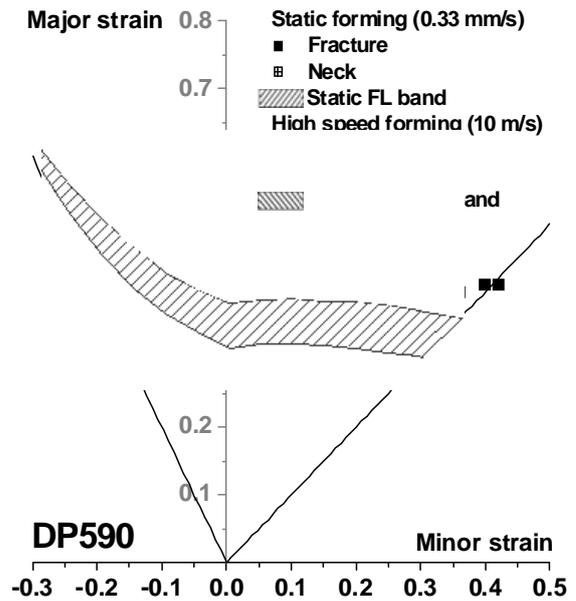


Fig. 2 Static and high speed forming limit diagram

라 성형성이 감소하는 경향과 유사하다. 결국 DP590 의 경우 정적으로 성형을 진행하였을 때 성형성이 향상될 수 있음을 의미한다.

## 4. 결론

DP590 에 대하여 인장시험을 통하여 하중방향에 따른 동적물성 및 r-값의 변화를 고찰하였고, 10 m/s 의 펀치속도에 대한 고속 성형한계시험과 정적 성형한계시험 결과와 비교하여 변형률속도 증가에 따른 DP590 의 성형성을 평가하였다. 파단연신율은 변형률속도가 증가함에 따라 0.1/s 까지 감소하였다가 다시 증가하여 정적에서의 값과 유사하거나 조금 증가하는 값을 가지며 r-값은 정적에 비하여 동적인장 시 크게 향상되지는 않는다. DP590 의 정적 및 고속 성형한계도를 도시하였으며 이때 고속 성형한계 영역은 정적에 비하여 비교적 좁으며 하단부에 분포한다.