

# Tailor Welded Blanks를 이용한 S-rail의 성형

진병희\*, 조홍수\*\*, 오수익\*\*\*, June K. Lee\*\*\*\*

\* 인덕전문대학, \*\*현대자동차연구소, \*\*\* 서울대학교, \*\*\*\* Ohio State University

## S-rail Stamping of Tailor Welded Blanks

Byunghee Jeon\*, Hung-Soo Cho\*\*, Soo Ik Oh\*\*\*, June K. Lee\*\*\*\*

\* Induk Institute of Technology, \*\*Hyundai Motor Company, \*\*\*Seoul National University, \*\*\*\* the Ohio State University

### Abstract

In this study, the forming behavior of Tailor welded HS and IF steel s-rail stamping is analyzed by experiments and simulations. According to the results, uniform strain distribution in the formed part is most important to prevent springback and wrinkle formation. For that purpose, it is most effective to distribute uniformly the contact pressure of blank and blank holder.

Key Words : Tailor welded Blank, S-rail, Springback, Contact Pressure

### 1. 서론

현재 자동차의 발전 추세는 고성능화, 고속화, 고안전화로 되고 있으며 이에 따라 자동차의 각종 부품도 소형, 경량화로 발전되는 추세이며, 일본 및 구미의 자동차 업계에서는 국제 경쟁력 강화를 위하여 구조 개편이 급속도로 진행되고 있다. 이와 같은 구미 및 일본의 자동차 업계의 변화에 대응해야 하는 국내의 부품업체가 현재 직면하고 있는 환경은 매우 어려운 형편에 처하고 있다. 따라서, 급속도로 진행되고 있는 부품업체의 구조 개편 과정에서 우위를 점하기 위하여는 독자적인 설계 및 금형설계 능력을 확보하여야 한다.

Tailor Welded Blank(TWB)는 레이저 용접에 의하여 두께 및 특성이 서로 다른 판재를 용접한 후 스탬핑하여 보다 강하고 가벼운 제품의 설계 및 제작하는 기술이며, 현재 자동차 업계가 직면하고 있는 경량화 및 고품질(안전성 및 내식성) 확보에 대한 사회적 욕구를 충족시키면서 가격 경쟁력이 있는 자동차를 생산하기 위한 기술로서 일본, 미국, 유럽을 중심으로 최근에 널리 사용하고 있는 기술이다.

본연구에서는 TWB를 이용한 승용차용 프레스 부품중의 하나인 S-rail을 선정하여 공정감소 및 에너지 흡수효과 증대에 기인할 수 있는 차체의 설계 및 생산기술을 확보하고자 한다.

### 2. Tailored Blank를 이용한 S-rail의 성형

본 연구의 S-rail을 성형하기 위한 성형조건은 펀치속도 5mm/sec, 최대 펀치높이 37mm, 블랭크 가압력 200kN으로 선정을 하였고, 다이 와 펀치 사이의 간극은 1.2 mm로 하였다. 블랭크의 각 지점에 A부터 J까지 위치를 설정하였고, IE를 연결하는 직선상에 동일두께 동일소재, 이형두께 이형재료를 레이저 용접하여 성형 후의 기계적 특성을 파악을 위하여 실험과 시뮬레이션을 병행하였다. 그 외에 선정모델은 펀치, 다이형상, 변형후의 형상정의, 운할 조건은 NUMISHEET '96과같이 동일하게 하였으며 마찰계수는 0.1로 실험 값을 사용하였으며, 사용재료는 Draw Quality Mild Steel(IF)과 High Strength Steel(HS)를 실험하였다. 두께가 0.9 mm인 HS 와 1.0 mm 인 IF steel 의 인장시험에서 사용된 응력-변형률 곡선은  $\sigma = K \epsilon^n (d\epsilon/dt)^m$  을 사용하였으며 각종 물리량들은 다음과 같다.

$$\text{IF Steel} : \sigma = 526 \epsilon^{0.232} (d\epsilon/dt)^{0.015}$$

$$\text{HS Steel} : \sigma = 734 \epsilon^{0.156} (d\epsilon/dt)^{0.008}$$

### 2.1 S-rail의 실험

본 실험에서는 최대하중 100 ton 복동식 프레스를 이용하여 성형시험을 하였다. 시험 시편으로는 HS 와 IF를 용접한 HSIF와 IF 와 HS를 용접한 IFHS의 두종류를 시험하였다. Fig.2에서 보이듯이 블랭크의 IE 선을 용접하였을 경우 영역 EFHI의 소재가 HS, 영역 ACEI의 소재가 IF인 경우에는 HSIF로 표기하여 모델명을 결정하였다. 실험 시에 블랭크와 금형사이의 접촉상태를 파악하기 위하여 블랭크를 세팅 한 다음 블랭크 가압력을 가하였을 때 접촉압력 분포는 블랭크 홀더의 두께에 따라 달라지므로 설계 시에 블랭크 홀더의 두께결정에 세심한 주의가 요구된다고 할 수 있다. 본 실험에서는 이미 설계된 금형과 블랭크 사이의 접촉압력 분포를 파악하기 위하여 high press sensitivity film을 이용하여 측정을 한 것이며, Fig. 2 에 그 결과를 나타내었다.

실험결과 블랭크의 네 모서리부분에서 접촉압력이 집중되었으며, 중앙부분에는 낮은 접촉압력이 나타났음을 보여준다. 이러한 결과는 블랭크에 가압력을 가하였을 때 블랭크가 탄성변형을하여 블랭크와 다이 사이에 많은 부분이 접촉하지 않았음을 나타낸다. 특히, 다이를 지지하는 네 지지점(A, C, F, H)을 기준으로 높은 접촉압력이 나타났음을 알 수 있었고, A 와 F 부근의 영역에서 가장높은 압력이 나타난 것은 다이를 지지하는 지지 점에서 블랭크까지의 거리가 가까워 탄성변형량이 적게 나타났기 때문이다. 블랭크 홀더의 탄성변형은 접촉압력에 많은 영향을 주고, 접촉압력이 낮은 부분의 블랭크는 높은 부분보다 성형도중에 소재의 이동이 원활하므로 균일 신장이 되지 않을 뿐아니라 주름을 유발 할 가능성이 많다. 또한, 다이의 탄성변형은 성형정도를 저하시킬 뿐아니라, TWB를 이용한 금형설계시에 블랭크 가압력, 비드형상, 계단형 다이등의 기존 설계인자를 재검립하여야 한다는 것을 알 수 있다.

Photo 1과 2는 실험결과를 나타내며 각각 선DC와 IJ의 각 중심점을 연결하는 부분에 용접을 하여 용접부가 중앙에 위치하는 경우의 HSIF 와 IFHS를 보인 것이다. 이 경우에는 HS 나 IF를 용접하여 얻어진 결과와 유사한 일치를 보이고 있어 용접선의 이동이 적은 경우에는 기존의 금형을 사용하여 성형을 할 수 있음을 보이고 있다. NUMISHEET '96에서 발표된 해석 및 실험결과 보듯이 블랭크 가압력과 소재의 변화와는 관계없이 I 부분에서 S-rail의 벽면과 윗면에서 크고 작은 주름이 발생되었음을 알 수 있었다. 그리하여 레이저 용접부가 주름에 어떠한 영향을 끼치는가를 파악하고, 두께가 서로 다른 경우 용접선 근처에서의 변형률 분포 및 용접선의 이동량을 측정하기 위하여 용접부의 위치를 IE 선상에 두었다.

동일소재를 용접한 블랭크를 실험한 결과 주름은 용접부 근처에서 높이가 현저히 감소되었고 그 크기가 작아졌으며, 용접이 되지 않은 상태에서는 2개의 주름이 발생하였으나 HS 와 IF를 용접한 후의 성형에서는 1개로 줄어들었다. 뿐만 아니라 용접부에서는 주름이 나타나지 않았고 주변으로 이동되어갔음을 알 수 있었으며, 레이저 용접은 열 영향을 받는 면적은 작으나(4mm 정도) 용접부에서의 경화는 상당히 컸음을 알 수 있었다. 이러한 결과를 고려하여 볼 때 레이저 용접부 주위에는 열영향으로 인하여 경화가 되었으며 이로 인하여 주름의 억제 및 증대효과가 나타날 수 있으므로 열영향부의 물리적 성질을 자세히 파악하여 이를 이용하여 유한요소 해석시의 기초자료로 활용하여야 한다. 용접부위의 정확한 물성치의 파악은 유한요소해석 결과중 스프링백 량, 주름의 위치 및 용접선의 이동량에 많은 지대한 영향을 줄수가 있으므로 유한요소해석에 세심한 주의가 요구된다고 할 수 있다.

## 2.2 S-rail의 유한요소해석

단일 소재를 이용한 성형해석에서는 블랭크 와 다이를 강체로 모델링을하여 PAM STAMP를 이용하여 해석을 하였으나 블랭크에 가해지는 접촉압력이 현저한 차이가 나타났다. 그리하여 본 연구에서는 실험결과(접촉압력)를 바탕으로 두께(0.5 inch)가 비교적 얇으나 경계면에서 실제 물리적 현상을 잘 표현할 수 있는 3-D solid 요소, 다이는 3-D solid 요소, 펀치는 쉘요소, 소재는 쉘요소를 사용하여 모델링 하였으며, 이들을 조합한 요소들은 Fig. 3에 나타내었다.

변위 경계조건으로는 다이는 x, y, z 방향의 모든 방향의 변위 및 회전을 구속하였고, 블랭크 가압력은 두께방향으로 하나의 요소를 사용하였으므로 실린더가 장착되는 부분의 두께방향의 3절점 중앙에 위치한 절점에 z를 구속하였고, 이외의 블랭크 홀더가 프레스와 체결되는 부분은 강체로 가정을 하였다. 소재의 상하면은 접촉요소를

사용하여 프레스로부터 가해지는 힘이 블랭크 가압력으로 나타나 실제의 접촉압력 분포가 얻어지도록 하였을 뿐 아니라 펀치로부터 전달되는 펀치력이 접촉압력에 영향을 받을 수 있도록 모델링 하였다. 하중 경계조건으로는 블랭크 가압력(200kN)이 마스터 실린더에서 가해지는 것으로 입력을 하였다. 일반적으로 성형과정은 소재가 대부분이 압력을 받아 가공이 되므로 압력 현상을 잘 표현할 수 있는 두께방향으로 8개의 적분점을 가진 요소를 선정하여 계산을 하였다.

성형소재는 두께가 서로 다른 HS(0.9mm)와 IF(1.0mm)를 용접하였으므로 가공시에 두께차이로 인하여 블랭크 홀더와 소재사이에 0.1mm 정도의 간극이 발생된다. 본 모델의 경우 블랭크 홀더의 탄성변형으로 인하여 펀치가 조금진행 후 소재와 블랭크는 접촉을 하게되지만 HS의 가압력은 IF에 비하여 현저히 작으므로 HS에서 많은 미끄럼이 발생되며 이러한 현상을 Fig. 4에 나타내었다. 이러한 문제점이 발생되지 않도록 하기 위하여 얇은 소재의 과도한 미끄럼이 발생되지 않도록 하는 금형설계 방법이 절실히 요구되고 있으며, 유한요소 해석 시에도 효율적인 해법을 찾기위한 방안이 필요하다.

본 해석결과 블랭크의 I 부근의 벽부분과 윗면에서 주름이 발생하였고, 주름은 용접이 되지 않은 블랭크에 비하여 좌측으로 이동되었다. 이는 용접으로 인하여 블랭크가 경화되어 강도가 높아졌기 때문이라고 생각된다. Fig. 7에 보이듯이 minor strain이 큰 부분과 실험에서 나타난 주름의 위치가 일치함을 알 수 있고, 이 부분은 해석결과에서 성형한계도(FLD)에서 최소주변형률 부분에서 주름이 발생할 가능성이 높다는 것을 알 수 있다.

### 3. 결과 및 토론

#### 3.1 용접선 이동

(가) 동일소재(HSHS, IFIF)를 레이저 용접하여 성형한 결과 용접선은 I 부분을 제외하고 양(+)의 방향으로 이동되었다. 이러한 현상은 A, C, F, H 부분에서의 접촉압력이 다른 부분보다 높게 나타났기 때문이다. 특히, 용접선은 A,C의 영향보다는 F,H부분의 영향을 많이 받기 때문에 소재의 이동이 양(y-axis, +)으로 나타난 것으로 생각된다.

(나) IFHS를 용접하여 성형을 한 경우에도 IF가 HS보다 두께가 두꺼우므로 접촉압력이 ACEF보다 EFHI의 접촉압력이 높아 EFHI의 소재 이동이 적게 나타났다.

(다) HS와 IF steel을 용접하여 성형을 하였을 때에는 기존 (가), (나)의 경우와는 달리 용접선의 이동이 다르게 나타났다. 이는 두께가 두꺼운 부분이 얇은 부분보다 접촉압력이 높게 나타나서 소재의 이동을 제한하기 때문이다.

TWB를 이용한 소재를 성형하기 위한 금형을 설계하기 위하여는 블랭크 홀더와 접촉하는 금형내부의 압력을 고르게 설계하여 소재의 국부적인 신장이 발생하지 않도록 하여 부품의 강도를 저하시키는 일이 없도록 하여야 한다.

#### 3.2 IE의 단면

(가) IFHS는 EFHI(IF)의 I 부분에서 접촉압력이 현저히 크고, ACEI(HS)부분은 두께가 얇으나 블랭크의 변형으로 인하여 넓은 부분이 접촉하고 있기 때문에 실험결과 좌측 평면부분의 길이 20mm, 우측 평면부분의 길이 22mm가 나타났다. 해석결과는 좌측 23mm, 우측 28mm로서 성형 후 S-rail의 형상이 거의 대칭이 됨을 알 수 있었다.

(나) HSIF는 EFHI(HS)부분이 IF steel보다 두께가 0.1mm가 얇기 때문에 접촉영역이 IFHS에 비하여 현저히 적어 HS steel이 회전과 미끄럼이 비교적 용이하다. 그리하여 실험결과는 좌측 평면부의 길이가 15mm, 우측 평면부의 길이 29mm이고 해석결과는 좌측 25mm, 우측 25mm가 나타났다.

(다) 실험과 해석에서 차이가 나타난 것은 해석에서 블랭크와 소재, 소재와 다이, 소재와 펀치에서 접촉하고 있는 영역이 실제 실험조건과 다르기 때문이다. 특히, 헬요소를 사용하여 모델링을 한 경우로서 중심면이 일치하지 않았기 때문에 실제 접촉영역과 다르게 나타난 것으로 생각된다.

균일 신장된 제품을 생산하기 위하여는 블랭크가 성형 도중에 회전이나 미끄럼이 적

게 생기도록 하여야 한다. 이를 위하여는 블랭크가 성형 도중에 화전이나 미끄럼이 큰 부분에 두꺼운 블랭크가 배치되도록 금형설계를 하는 것이 좋고, IFHS가 HSIF 보다 균일 신장 측면에서 볼 때 우수하다는 것을 알 수 있었다.

### 3.3 펀치 하중과 변위

(가) 실험결과 HSIF 와 IFHS 가 모두 해석결과 보다 높게 나타났다. 이는 실제 다이와 소재, 소재와 블랭크 홀더의 접촉면적이 다르게 나타나고 이로 인한 마찰력의 크기가 다르기 때문에 얻어진 결과라고 생각된다.

(나) IFHS 인 경우에도 실험과 해석의 결과가 30 %, HSIF 인 경우에는 25 % 정도가 차이가 나는 것은 IF는 항상 블랭크와 다이가 접촉을 하고 있으나 HS steel인 경우에는 두께가 IF steel에 비하여 얇기 때문에 간극(0.1mm)이 발생된다. 특히, 실제 실험에서는 블랭크 홀더 (두께 0.5") 가 탄성변형을하여 블랭크와의 접촉영역이 넓게 나타났다. 해석에서 실제보다 좁게 평가된 것이라 생각된다.

(다) IFHS는 IF 부분(영역 EFHI)이 접촉을 하고 있고, HS 부분은 A와 C 영역만 접촉을 하여, HSIF 보다는 좁은 영역의 접촉면적이 나타나기 때문에 실험결과와 많은 차이(5% 정도)가 남을 알 수 있었다.

해석시에 용접부분의 정확한 모델링과 블랭크 홀더의 영향을 과약하여야 한다. 이를 위하여는 블랭크 홀더의 두께가 두꺼워야 하고, 소재와 다이 및 소재와 금형사이의 접촉영역을 넓게 하기 위하여는 비이드나 계단형의 금형을 설계하여야 한다.

## 4. 결 론

TWB를 이용한 S-rail을 성형한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(가) 성형된 제품에서 특정한 부분에서 변형률이 집중되지 않도록 하기 위하여는 블랭크 와 다이 가 접촉하는 부분에서 접촉압력이 균일하게 유지될 수 있도록 하여야 한다.

(나) HSIF 와 IFHS를 성형하였을 때 스프링백 과 뒤틀림이 트리밍 후의 소재형상에 따라 달라진다. 그러므로 정확한 제품을 생산하기 위하여는 재료, 두께, 용접부의 위치, 블랭크 가압력 등을 미리 파악을 하여야 한다.

(다) 변형률을 고르게 분포하도록 하기 위하여 블랭크 가압력을 조절하는 연구가 많다. 특히 HSIF 와 IFHS를 성형을 한 결과 HSIF가 IFHS에 비하여 비교적 고른 변형률 분포를 얻을 수 있었다. 이러한 결과를 검토하여 볼 때 비교적 균일한 변형률을 가진 제품을 생산하기 위하여는 HSIF, 제품의 精度面에서 볼 때 IFHS가 우수하기 때문에 금형설계 시에 소재선택 및 용접부분의 위치에 따른 비드의 크기 및 위치선정, 계단형 다이 등을 고려하여야 한다.

## References

- [1] K. J. Weinmann, "Development of a Computer-Controlled Drawbead Simulator for Sheet Metal Forming", CIRP Vol.43, 1994.1.
- [2] K. Siegert " CNC Hydraulic Multipoint Blankholder System for Sheet Metal Forming Process" CIRP Vol.42, 1993.1.
- [3] J. K. Baysore " Laser Blank Welding Cost Saving Case Study". Utilas, Blank Welding Technologies, 1993.
- [4] K. Mikame "Applications of Laser Material Processing in Toyota Motor Corporation", Toyota Motor Corporation, 1993 .1.
- [5] F. A. DiPietro " Laser Applied to Body-In-White" IBEC,1993.
- [6] N. Nakagawa, S. Ikura and F. Natsumi, "Finite Element Simulation of Stamping a Laser - Welded Blank", SAE Technical Paper, 930522.1.
- [7] M. F. Shi and K. M. Pickett, "Formability Issues in the Application of Tailor Welded Blank Sheets" SAE Technical Paper, 930278.



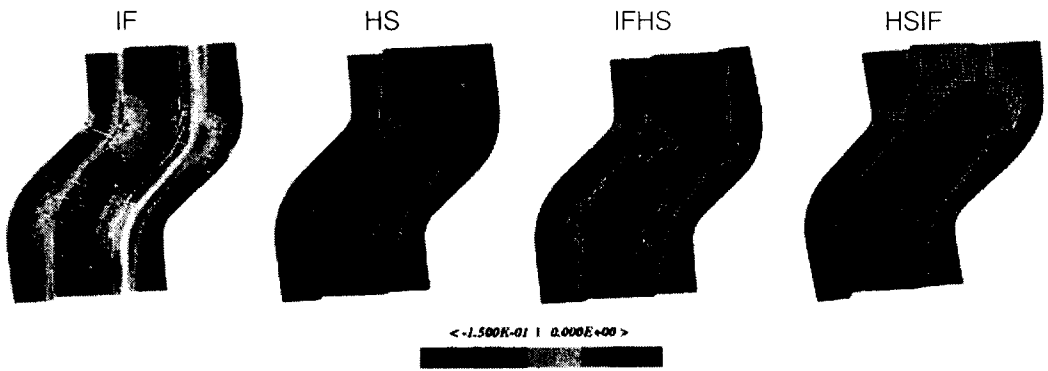


Fig. 6 Minor Strain Distribution of S-rail

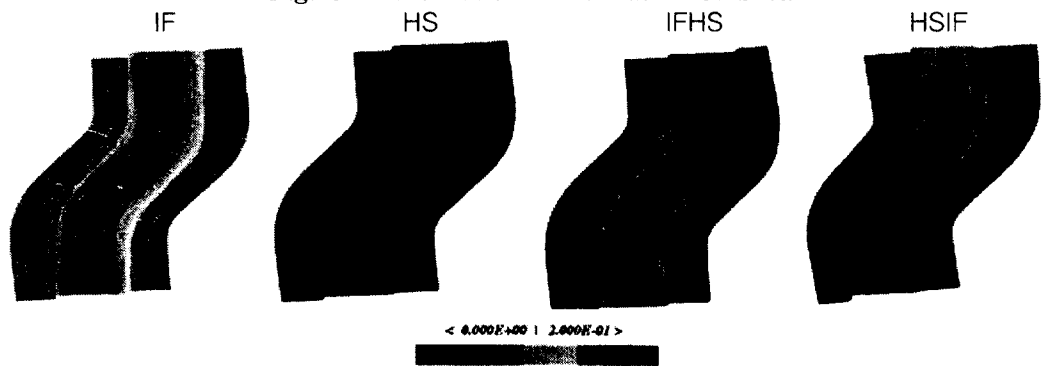


Fig. 7 Major Strain Distribution of S-rail

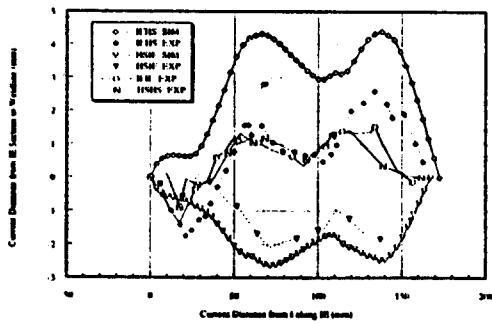


Fig. 8 Weldline Movement

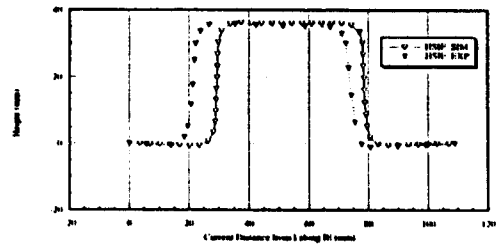


Fig. 9 Corss Section of IE (HSIF)

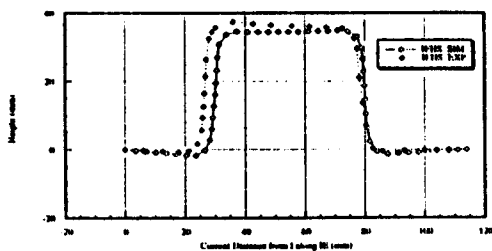


Fig. 10 Corss Section of IE(IFHS)

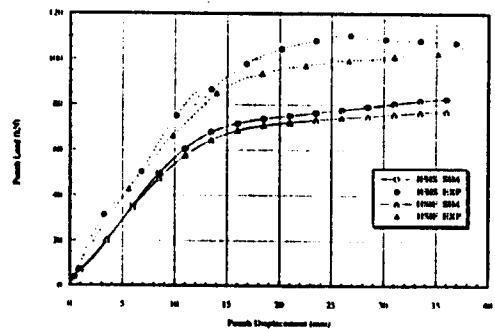


Fig. 11 Punch Load Vs. Punch Displacement