

## 레이저 용접 테일러드 블랭크 신장 플랜지의 성형 최적화

인정제\* · 안덕찬\*\* · 이경돈\*\*

(2001년 2월 13일 접수)

## Optimization of Stretch Flange Forming of Laser Welded Tailored Blank

J. J. Yin, D. C. Ahn and K. D. Lee

### Abstract

Laser welded tailored blanks(TB) are increasingly used in automotive parts. Among these, TB side panel has forming difficulties in stretch flanging areas such as front and center pillar lower region. To avoid splits in the stretch flanging areas, proper design of blank shape and drawbeads are essential. In this study, the forming simulation is carried out to investigate the influences of blank shape and drawbeads on stretch flange formability of different thickness TB. And an optimization procedure including the effects of both the blank design and drawbeads is presented. The optimization procedure proposed in this study is expected to be effectively used in blank and die design of TB side panel.

**Key Words :** Laser Welded Blank, Stretch Flange Forming, Optimization, Side Panel

### 1. 서 론

테일러드 블랭크(Tailored Blank, TB)기술은 차체 제작을 위한 각종 철판 패널을 마치 양복을 제단하는 것과 같이 다양한 재질과 두께의 철판을 필요한 모양대로 절단하여 용접한 후 프레스 성형을 하는 일련의 공정을 말한다. TB기술은 1980년대 소개된 이래 차체 중량감소, 재료 수율 향상과 금형수 감소 등을 통한 비용절감 및 강성, 충돌성능 등의 차체 안전도 향상을 동시에 꾀할 수 있어 선진 자동차 회사를 중심으로 TB를 적용한 차체 부품이 늘어나고 있는 추세이다.<sup>(1~2)</sup> TB 기술은 세

계의 철강회사가 연합하여 추진하여 1998년에 완료된 ULSAB (Ultra Light Steel Automotive Body) 프로젝트에서 TB기술을 중심으로 한 생산기술과 이들의 장점을 최대한 이용하여 최적 설계된 초경량 철강차체를 선보임에 따라 급격히 확대될 전망이다.<sup>(3)</sup> 국내의 자동차회사에서도 이를 적용하기 위한 준비를 진행하여 왔고<sup>(4~5)</sup> 이를 적용한 승용차가 최근 출시되고 있다.

TB를 이용한 대표적인 차체 부품으로는 도어 인너 패널, 사이드 패널, 프론트 사이드 멤버 등이 있는데, 이 중 사이드 패널은 부분적으로 강도, 두께, 재질이 다른 철판을 선택하여 제작할 수 있으므로 보강재 생략에 따

\* 인덕대학 컴퓨터응용기계제조  
\*\* 고등기술연구원

른 부품수 및 금형수 감소, 부식성능 향상, 차체강성 및 충돌성능 향상이라는 TB 적용시의 다양한 이점을 모두 가지고 있는 부품이다.<sup>(6)</sup>

그러나 사이드 패널은 차체 전체의 강성 및 충돌 성능에 지대한 영향을 주는 부품이므로 다른 부품에 비해 설계가 어려울 뿐만 아니라 부품 성형 시에도 TB의 두께 및 강도 차이에 따라 주름이나 파단이 심하게 발생하는 경우가 많다. 이중 센터 필라 하단부 등에서 이종두께 TB가 신장 플랜지 성형될 때 발생하는 파단은 가장 대응하기가 어려운 성형결함이다. 이러한 이종두께 TB 신장플랜지 성형시의 파단은 용접선 위치, 블랭크의 두께 및 강도차이, 블랭크 형상 뿐만 아니라 블랭크 유입량을 조절하기 위한 드로비드 등과 밀접한 관련이 있으나 이들 인자들이 파단에 주는 영향이 서로 복잡하게 얹혀있어 현장 트라이 아웃시 해결이 어려운 문제이다.

TB의 신장플랜지 성형에 대한 가이드 라인으로 동종 두께 이종강도<sup>(6)</sup>, 동종재질 이종두께<sup>(7)</sup>에 대하여 용접선 위치 및 블랭크 형상이 파단에 미치는 영향이 보고된 바 있으나 실제 부품의 현장 트라이 아웃 지침으로 활용되기 위해서는 드로비드의 영향까지 고려한 연구가 필요하다.

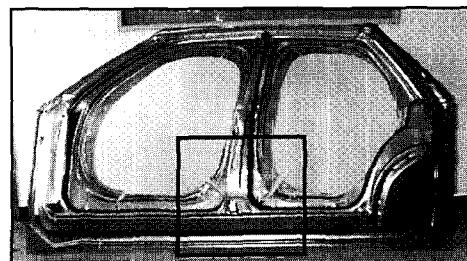
본 연구에서는 TB 신장플랜지 성형시 파단에 미치는 블랭크 및 금형설계 인자들의 영향을 분석하고 드로비드의 영향까지 포함하여 최적의 성형조건을 구하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 신장 플랜지 성형 모델

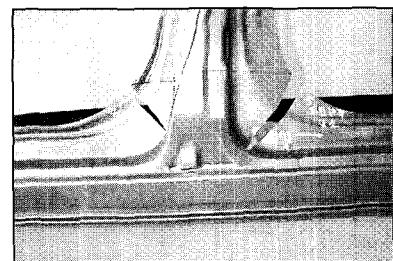
### 2.1 신장 플랜지 성형의 문제점

사이드 패널 성형시 신장 플랜지 변형은 Fig. 1(a)와 같이 패널의 프론트 필라(front pillar) 하부, 센터 필라(center pillar) 하부 등의 성형에서 나타나는 전형적인 모드로서 원호 형상의 블랭크가 금형 내부로 유입됨에 따라 원주 방향의 신장을 받는 변형모드이다. 이종두께 TB를 이용한 사이드 패널 제작시 용접선이 신장 플랜지 원호 중간에 위치할 경우, Fig. 1(b) 와 같이 두께차에 의해 박판부에 변형이 집중되어 파단이 발생되며, 따라서 이부분의 성형성을 확보할 수 있는 적절한 블랭크 형상과 드로비드의 설계가 필요하다.

이러한 TB 신장 플랜지부의 블랭크 설계를 효과적으로 수행하기 위해 드로비드가 없는 경우에 대하여, 블랭크 형상에 대한 TB 신장 플랜지 설계 가이드가 제시된 바 있다.<sup>(7)</sup> Fig. 2에 이 결과를 나타내었는데 용접선 위치를 블랭크 코너 반경으로 나눈 값 즉,  $h/R_0$ 이 커질수록



(a)



(b)

Fig. 1 Splits in the stretch flanging area of TB side panel (a) drawn TB side panel (b) close up view of the B-pillar lower split zone

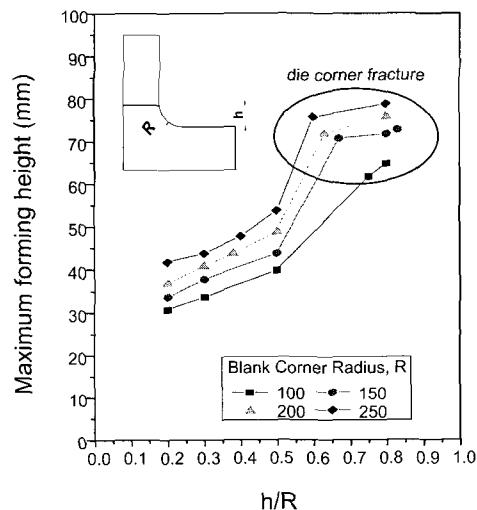


Fig. 2 Maximum forming height with respect to the blank corner radius and weld line position<sup>(7)</sup>

최대 성형 높이가 증가하여 성형성 확보에 유리함을 알 수 있다. 그러나 실제 사이드 패널의 성형시에는 드로비드가 존재하므로 블랭크 형상뿐만 아니라 드로비드의 영향까지 고려한 성형조건의 설정이 필요하다.

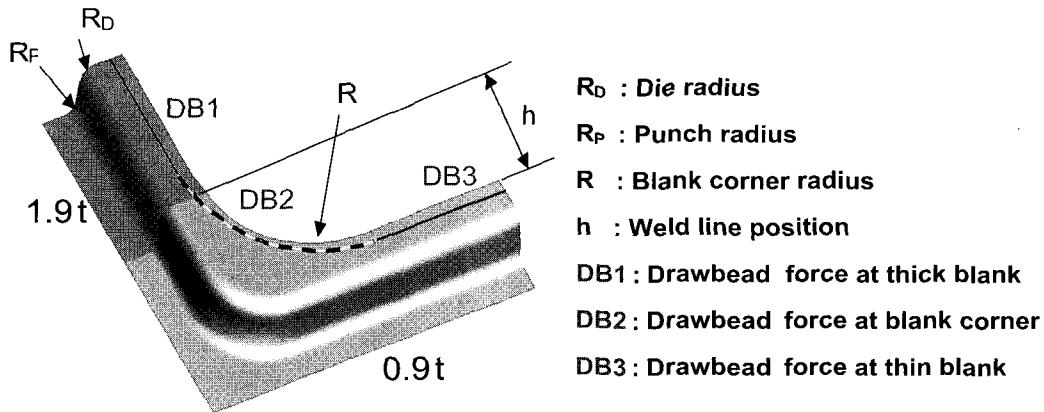


Fig. 3 Simplified stretch flange model of TB side panel

## 2.2 신장 플랜지 모델 설정

신장플랜지 성형의 주요 설계인자들을 Fig. 3에, 금형의 유한요소 모델을 Fig. 4에 나타내었다. 금형은 편치, 다이, 블랭크 홀더로 구성되며 블랭크 홀딩력은 100kN, 공구와 소재간의 마찰 계수는 0.15로 가정하였다.

프레스 공정은 더블 액션이며, 성형깊이는 65mm로 하였다. 블랭크는 1.9mm 와 0.9mm의 이중두께 TB로 구성되는 것으로 가정하였고 각 블랭크의 기계적 성질을 Table 1에 나타내었다.

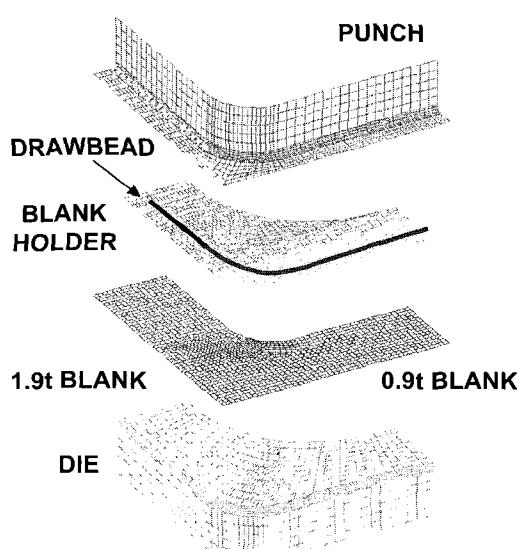


Fig. 4 Finite element model for the stretch flange forming simulation

Table 1 Mechanical properties of blanks

Material	Blank #1	Blank #2
Thickness (mm)	0.9	1.9
Density (kg/mm <sup>3</sup> )	7.8e-06	7.8e-06
Young's modulus, E (GPa)	210	210
Poisson ratio, $\nu$	0.3	0.3
Hardening coefficient, K (MPa)	514.4	497.2
Offset strain, $\varepsilon_0$	0.00704	0.01195
Hardening exponent, n	0.231	0.209
Lankford coeff. for normal anisotropy, R	1.434	1.378

## 3. 신장플랜지 성형의 영향 인자 분석

### 3.1 블랭크 코너 반경의 영향

먼저 블랭크 코너 반경 R이 TB 신장 플랜지 성형성에 미치는 영향을 검토하기 위해 후판 직선부 드로비드력 DB1, 박판 원호부 드로비드력 DB2, 박판 직선부 드로비드력 DB3은 없는 것으로 가정하고, 용접선 위치 h는 100mm로 고정하였다.

Fig. 5에 블랭크 코너 반경 R에 따른 최대 두께감소율의 변화를 나타내었다.

Fig. 5를 보면 R이 작은 경우에는 코너의 수직 벽 균방에서 파단이 발생하나 R이 점차 증가함에 따라 일부분의 최대 두께감소율이 낮아져 성형성이 개선되는 경향을 보인다. R이 계속 증가되어  $h/R$ 값이 작아지면 용접

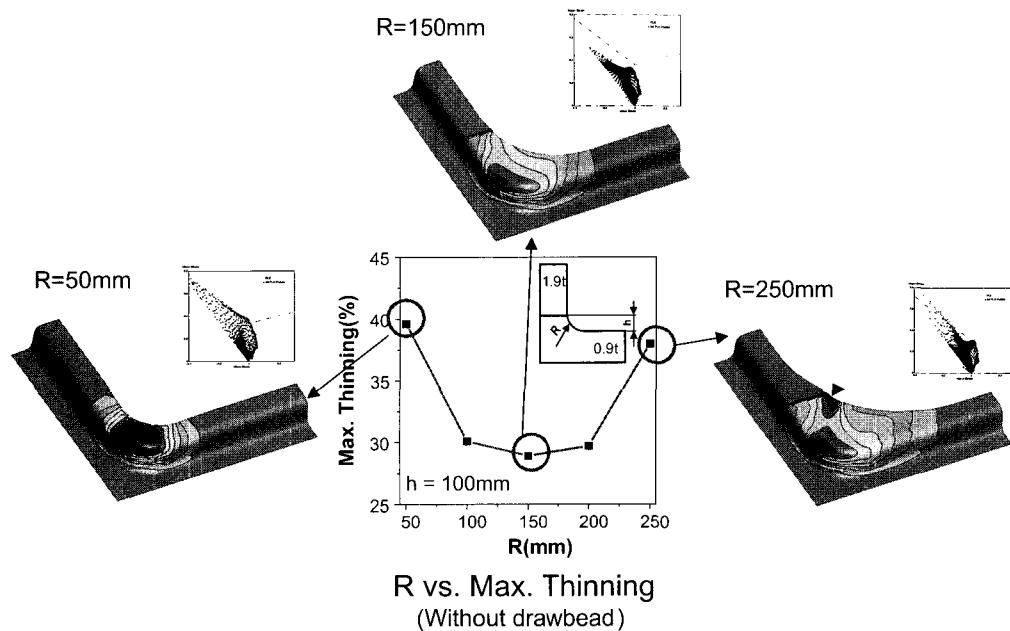


Fig. 5 Formability of TB stretch flange with respect to the blank corner radius

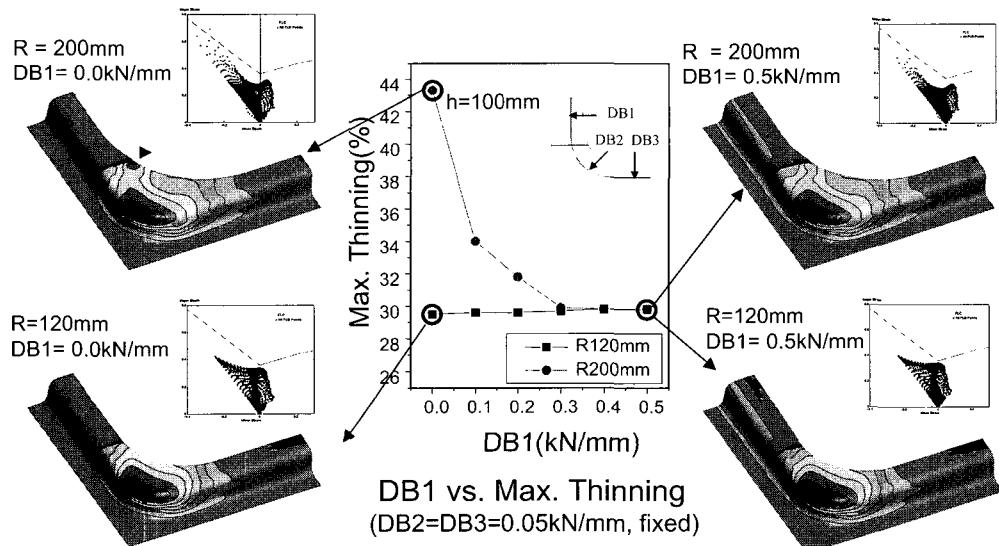


Fig. 6 Formability of TB stretch flange with respect to the drawbead forces on thick blank

선 가장자리 플랜지부에 변형이 집중되어 성형성이 다시 나빠지는 것을 알 수 있다. 이로부터 주어진 용접선 위치에 대하여 성형성을 최적으로 하는 블랭크 코너반경이 존재함을 알 수 있다.

### 3.2 드로비드의 영향

다음으로 드로비드 구속력이 신장플랜지 성형성에 미치는 영향을 검토하였다. 설계인자로는 Fig. 3에서 후판 직선부 드로비드 DB1, 박판 원호부 드로비드 DB2, 박판

직선부 드로비드 DB3을 선택하였다. 용접선 위치  $h$ 는 100mm로 고정하였다.

Fig. 6은 박판 원호부 드로비드 구속력 DB2와 박판 직선부 드로비드 구속력 DB3이 0.05kN/mm로 고정되었을 때, 후판 드로비드 구속력 DB1에 대한 성형성의 변화를 나타낸 것이다.  $R$ 이 120mm인 경우, 후판 드로비드 구속력의 변화에 대하여 최대 두께감소율의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.  $R$ 이 200mm인 경우는 후판 드로비드 구속력이 작을 때는 용접선 가장자리에 두께감소가 크게 나타나나 후판 드로비드 구속력이 커짐에 따라 블랭크 유입이 억제되면서 최대 두께감소율이 점점 감소하는 경향을 보여준다.

Fig. 7은 후판 드로비드 구속력 DB1이 0.3kN/mm로 고정되었을 때, 박판 원호부 드로비드 구속력 DB2와 박판 직선부 드로비드 구속력 DB3에 대한 성형성의 변화를 나타낸 것이다.

블랭크 코너 반경이 120mm인 경우, 박판부 드로비드 구속력 DB2와 DB3을 줄이면 최대 두께감소율이 선형적으로 감소하는 경향을 나타낸다. 블랭크 코너 반경이 200mm인 경우, 박판 드로비드 DB2와 DB3의 구속력이 작아지면 플랜지에서 파단이 발생되었으며, 구속력이 커지면 파단 발생위치가 코너 수직벽 쪽으로 이동하는 현상을 나타내었다.

이상의 결과를 정리하면, 블랭크 코너 반경 크기에 따라 드로비드 구속력은 성형에 다른 영향을 미친다. 즉,  $h/R$ 값이 충분히 커서 코너 수직벽 파단이 발생될 경우

최대 두께감소율은 드로비드 구속력에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었으며,  $h/R$ 값이 작은 경우에는 드로비드 구속력에 따라 플랜지 파단 또는 코너 수직벽 파단이 발생되었다.

이상과 같이 신장 플랜지 성형은 설계인자들이 성형 결과에 미치는 영향이 복잡하여 최적의 성형조건을 간단히 찾아내기가 어려우므로 최적화 기법을 활용하여 최적의 블랭크 및 금형 설계안을 찾는 것이 바람직하다.

#### 4. 성형 최적화 기법

##### 4.1 성형 최적화 과정

일반적으로 설계변수에 대한 최적화 과정은 다음과 같은 목적함수의 최소화로 표현된다.

$$\begin{aligned} & \text{minimize } f(\chi) \\ & \text{subject to } g_i(\chi) \leq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $\chi$ 는 설계변수이며,  $f(\chi)$ 는 최소화 하고자 하는 목적함수이며  $g_i(\chi)$ 는 제한조건이다. 이와 같은 제한조건을 갖는 최적화 문제의 해법은 벌칙함수(penalty function)나 라그랑지 승수(Lagrange multiplier)를 이용하는 방법과, 경사도투영법(gradient projection method) 유용방향법(feasible direction method) 등이 있다.<sup>(8)</sup>

본 연구에서는 최적화 소프트웨어로 상용 최적화 프로그램인 PAM-OPT를 이용하였다. 이 최적화 소프트웨어

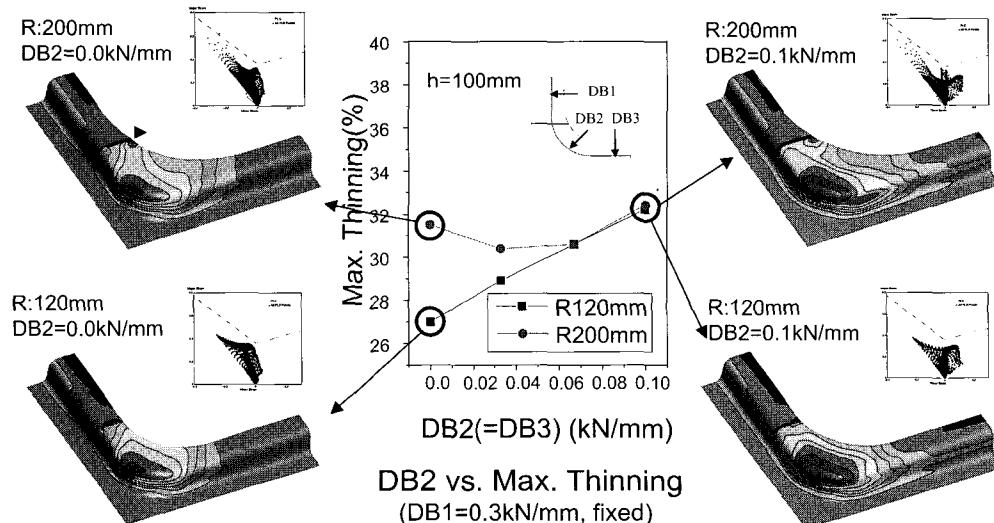


Fig. 7 Formability of TB stretch flange with respect to the drawbead forces on thin blank

는 augmented Lagrangian 방법으로 정식화되었으며 목적함수 및 구속함수를 선형 또는 고차의 다항식으로 근사하여 최적 해를 찾도록 함으로써 최소한의 계산으로 해를 찾을 수 있는 장점을 가지고 있다.<sup>(9~11)</sup>

PAM-OPT를 이용한 최적화 수행과정을 Fig. 8에 나타내었다. 먼저 설계인자의 초기 값이 입력되어 PAM-OPT가 실행되면, 설계 변수 값들이 인터페이스 프로그램을 통해서 성형해석 입력파일로 변환되고 이 입력파일을 가지고 PAM-STAMP를 구동하여 성형해석이 수행된다. 해석종료 후, 다시 인터페이스 프로그램에 의하여 목적함수나 구속함수 값 계산에 필요한 데이터가 추출되고 그 결과로부터 목적함수 값과 구속함수 값이 계산된다. 계산된 목적함수 값과 구속함수 값은 PAM-OPT로 입력되어 사용자가 미리 정해놓은 기준에 따라 최적화 진행 여부를 판단한다.

최적화된 설계인자 값들이 요구조건을 만족시키지 못하거나 추가적인 최적화가 필요하다고 판단되면 PAM-OPT에서 다음 설계변수 값을 출력하고 앞서 언급한 과정을 반복하여 수행하게 된다. 최적화 조건들이 만족되면 최종 설계변수 값이 출력되고 작업이 종료된다.

#### 4.2 인터페이스 프로그램 구성

PAM-OPT를 이용하여 최적화를 수행하기 위해서는 사용자가 사용 목적에 맞게 적절한 인터페이스 프로그램을 작성하는 것이 필요하다. 본 연구에서 신장플랜지 성형최적화를 위하여 작성된 인터페이스 프로그램들을 Table 2에 나타내었다. 이를 프로그램은 FORTRAN 77 및 unix shell script로 작성되었다.

PAM-OPT를 실행하면 지정된 unix shell script가 실행되며, shell script내의 명령어 순서에 따라 순차적으로 세부 인터페이스 프로그램들이 실행된다.

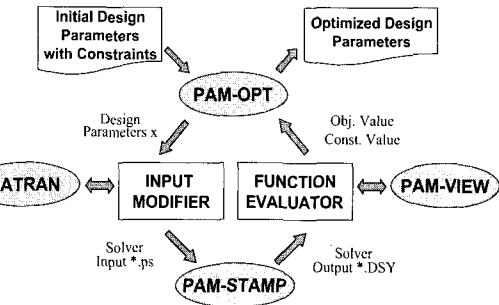


Fig. 8 Stamping process optimization using PAM-OPT

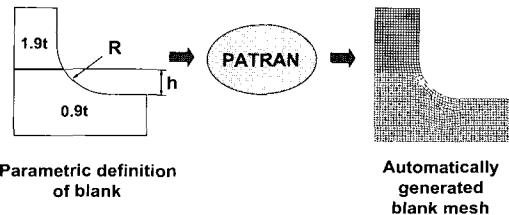


Fig. 9 Automatic blank mesh generation using PATRAN

먼저, 주어진 용접선 높이  $h$  및 블랭크 반경  $R$ 에 대하여 블랭크 메쉬를 자동 생성하도록 PATRAN의 PCL(PATRAN Command Language) 파일을 만들어주는 프로그램(BLANK)을 작성하였고, 이를 이용하여 Fig. 9와 같이 PATRAN을 배치 모드(batch mode)로 실행하여 블랭크 유한요소 모델을 생성한다.

생성된 블랭크 모델과 공정변수를 PAM-STAMP 입력파일로 변환한 다음(INPUTMOD), PAM-STAMP를 구동하여 성형해석을 수행한다. 성형해석후 후처리 프로그램인 PAM-VIEW를 배치 모드로 실행시켜 필요한 성

Table 2 Implemented interface programs

Program	Functions	Input	Output
BLANK	Generation of PATRAN batch file for automeshing of blank	Blank design parameters	PATRAN PCL file
INPUTMOD	Modification of analysis input file (drawbead forces, blank holding force, blank thickness)	Process design parameters and blank mesh	Analysis input file
FUNCTION	Evaluation of objective function using forming analysis results	Analysis results (ASCII)	Objective function value
CONSTRAINT	Evaluation of constraint function using forming analysis results	Analysis results (ASCII)	Constraint function value
PRINTOUT	Print out objective and constraint function values with PAM-OPT format	Design parameters and function value	Design parameters and function value

형해석 결과를 ASCII 형태로 저장한 다음, 이 ASCII 테이터로부터 목적함수값을 구한다.(FUNCTION) 구속함수값도 동일한 방법으로 계산한다.(CONSTRAINT) 설계변수값과 목적함수값 및 구속함수값을 PAM-OPT 양식에 맞게 출력한다.(PRINTOUT) 성형해석 결과로부터 계산된 목적함수값과 구속함수값을 PAM-OPT에서 읽어들여 만족여부를 판단하고 필요한 경우 최적화 과정을 계속 수행하게 된다.

## 5. 신장플랜지 성형 최적화

이상과 같은 성형최적화 기법을 이용하여 이중두께 TB의 신장 플랜지 성형시 용접선 위치와 블랭크 형상이 정해진 경우 파단 발생을 최소화하기 위해 드로비드 구속력을 최적화 하는 문제와 가장 일반적인 경우인 용접선의 위치가 제품설계안으로 정해진 경우 블랭크 형상 및 드로비드 구속력을 동시에 최적화 하는 문제를 수행하였다.

### 5.1 드로비드 구속력 최적화

Fig. 3의 신장 플랜지 모델에서 용접선의 위치  $h$ 가 100mm로 고정되었을 때, 블랭크 코너반경  $R$ 이 각각 120, 150, 200, 250mm인 경우에 대하여 드로비드 구속력에 대한 성형최적화를 수행하였다. 성형성의 양부 판단기준을 블랭크의 두께감소율로 정하고 목적함수는 “성형 후 모든 블랭크 요소 중 최대 두께감소율”로 정의하였다. 이상의 최적화 문제는 아래와 같이 쓸 수 있다.

design parameters : DB1, DB2, DB3

objective function :  $f = \text{Max} ((t_0 - t)/t_0)$

design parameter bounds :

$$0 \leq DB1 \leq 0.5kN/mm$$

$$0 \leq DB2 \leq 0.1kN/mm$$

$$0 \leq DB3 \leq 0.2kN/mm$$

여기서  $t_0$ 는 블랭크 요소의 초기 두께,  $t$ 는 성형후 블랭크 요소의 두께로서, 상기 목적함수  $f$ 는 두께감소율의 최대값이 된다.

블랭크의 반경이 120, 150, 200, 250mm일 때, 드로비드 구속력에 대한 성형최적화 결과를 Table 3에 정리하였다. 최적화 계산시 드로비드 구속력 DB1, DB2, DB3의 초기치는 각각 0.25, 0.05, 0.15kN/mm로 하였다.

Fig. 10은 블랭크 반경이 150mm일 때, 최적화 전후의 성형결과를 비교한 것으로 최적화시 드로비드 구속력 DB1, DB2, DB3이 각각 0.207, 0.0, 0.151kN/mm로 수렴되었다. 최적화후 DB3은 거의 변화되지 않았으며, DB2는 0kN/mm으로 수렴되어 박판 원호부의 구속력이 모두 제거된 것을 알 수 있다. 드로비드 구속력의 조절로 신장 플랜지 코너 수직벽의 최대 두께감소율이 초기 29.4%에서 27%로 감소되었다. Fig. 10에서 최적화 전후의 성형한계도를 살펴보면 박판 원호부 영역의 드로비드 구속력이 제거되어 B부분(코너 수직벽 부위)의 두께감소가 줄어들고 A부분(플랜지부)의 두께감소가 증가한 것을 볼 수 있다.

Fig. 11은 블랭크 반경이 250mm일 때, 최적화 전후의 성형결과를 나타낸 것인데, 최적화후 후판측 드로비드구속력이 상한값인 0.5kN/mm까지 증가되면서 플랜지 두께감소가 줄어들었다.

Table 3 Optimization results for the drawbead forces (weld line position  $h=100\text{mm}$ )

Blank corner radius, R (mm)	Initial				Optimized			
	DB1 (kN/mm)	DB2 (kN/mm)	DB3 (kN/mm)	Max. Thinning (%)	DB1 (kN/mm)	DB2 (kN/mm)	DB3 (kN/mm)	Max. Thinning (%)
120	0.25	0.05	0.15	29.7	0.221	0	0.151	27.1
150	0.25	0.05	0.15	29.4	0.207	0	0.151	27.0
200	0.25	0.05	0.15	30.7	0.5	0.0053	0.152	28.0
250	0.25	0.05	0.15	32.2	0.5	0.039	0.155	29.8

\* Blank element size : 5mm

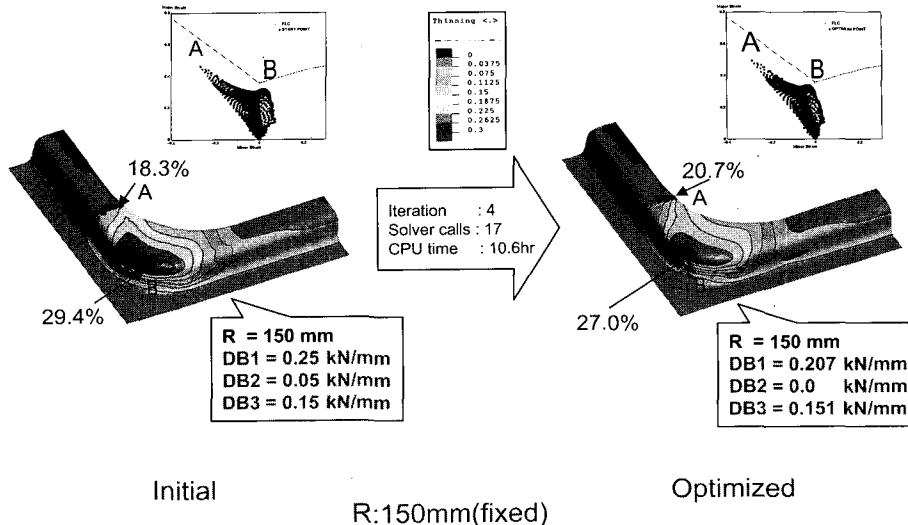
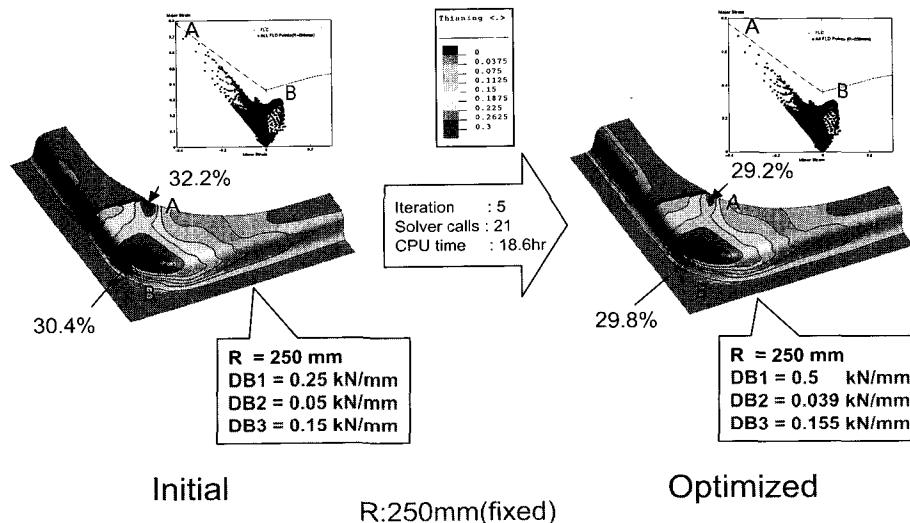
Fig. 10 Formability optimization with respect to the drawbead forces ( $R=150\text{mm}$ )Fig. 11 Formability optimization with respect to the drawbead forces ( $R=250\text{mm}$ )

Fig. 12는 블랭크 반경이 120mm와 250mm인 경우에 대하여 성형최적화 후 두께감소를 분포를 비교하여 나타낸 것이다.  $R$ 이 250mm인 경우는 용접선이 블랭크 코너 반경부에 위치하여, 플랜지에서 파단이 발생하게 되며, 박판 원호부 드로비드 구속력 DB2가 증가하여 플랜지 파단을 억제하는 방향으로 최적화가 진행되었지만 코너 수직벽 부근 B의 두께감소율 역시 증가하므로 이렇게

$h/R$ 값이 상대적으로 낮은 경우는 성형성을 개선시키는데 한계가 있음을 나타낸다.

**5.2 블랭크 형상 및 드로비드 구속력의 동시최적화**  
고정된 용접선 위치  $h$ 에 대하여 블랭크 반경  $R$ 과 드로비드 구속력을 동시에 고려하여 신장플랜지 성형 최적화를 수행하였다. 최적화 문제는 다음과 같이 정하였다.

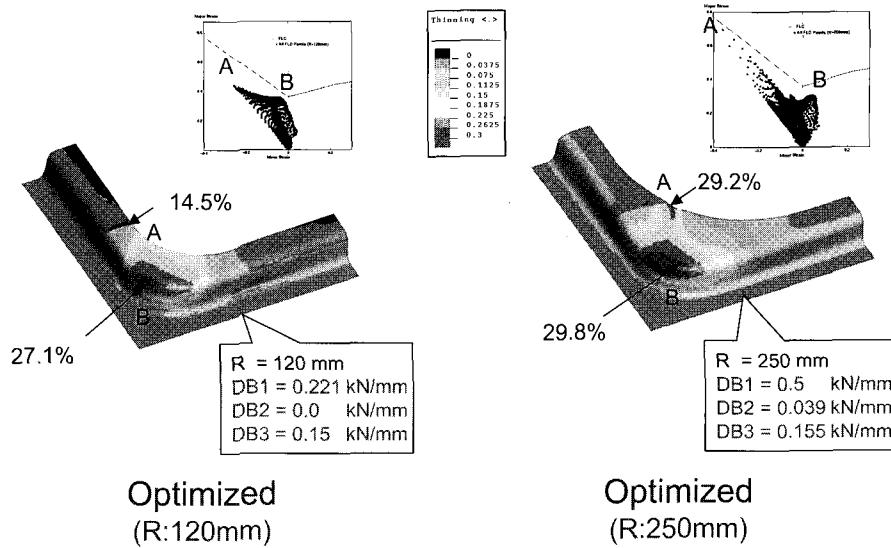


Fig. 12 Comparison of optimized drawbead forces for  $R=120\text{mm}$  and  $R=250\text{mm}$

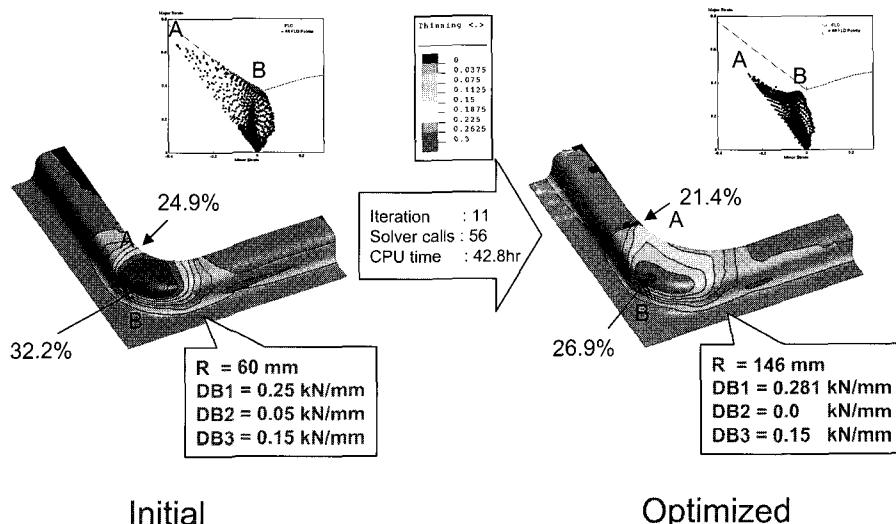


Fig. 13 Simultaneous optimization of the drawbead forces and blank corner radius

design parameters :  $R$ ,  $DB1$ ,  $DB2$ ,  $DB3$

objective function :  $f = \text{Max} ((t_0 - t)/t_0)$

design parameter bounds :

$$30\text{mm} \leq R \leq 300\text{mm}$$

$$0 \leq DB1 \leq 0.5 \text{ kN/mm}$$

$$0 \leq DB2 \leq 0.1 \text{ kN/mm}$$

$$0.1 \leq DB3 \leq 0.2 \text{ kN/mm}$$

최적화 전후의 두께감소율 분포를 Fig. 13에 나타내었다. 최적해를 얻기까지 11회의 반복계산이 수행되어 최대 두께감소율이 32.2%에서 26.9%로 개선되었다. 블랭크 코너 반경  $R$ 은 60mm에서 145.5mm로  $DB1$ 은 0.25kN/mm에서 0.281kN/mm로  $DB2$ 는 0.05kN/mm에서 0kN/mm로,  $DB3$ 는 0.15kN/mm에서 0.151kN/mm로 변화가 거의 없었다.(Table 4 참조) 특이한 것은 박판 원호부  $DB2$ 의 드로비드값이 0kN/mm로 수렴되어 성형성 개

선을 위해서는 이부분의 드로비드가 제거되어야 함을 나타낸다.

최적화 과정중 각 인자값의 변화를 Fig. 14에서 살펴볼 수 있다. Fig. 14에서 최적화후 초기 설계값에서 많이 변한 인자는 블랭크 코너 반경, 박판 원호부 드로비드였으며, 이들 인자가 성형성에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

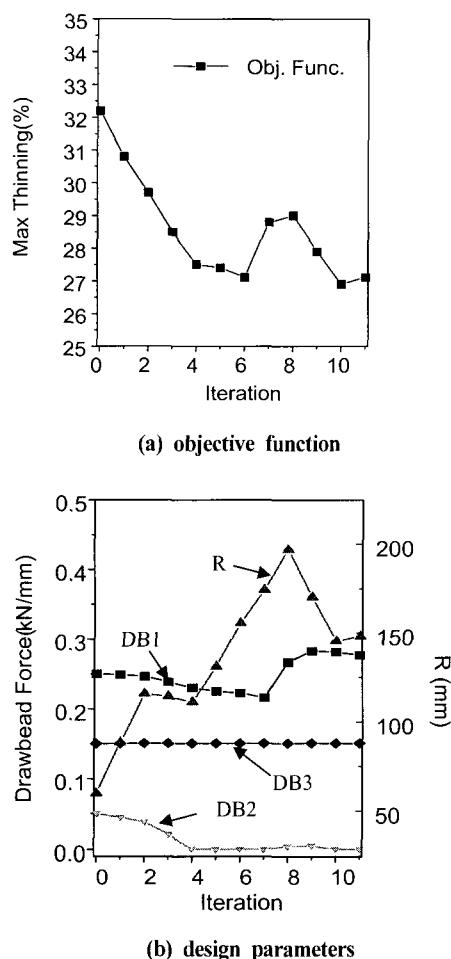


Fig. 14 Iteration history of the drawbead forces and blank corner radius

Table 4 Optimization results for the drawbead forces and blank corner radius (weld line position  $h=100\text{mm}$ )

	R (mm)	DB1 (kN/mm)	DB2 (kN/mm)	DB3 (kN/mm)	Max. Thin. (%)
Initial	60	0.25	0.05	0.15	32.2
Optimized	145.5	0.281	0.0	0.151	26.9

## 6. 결 론

본 연구에서는 이종 두께 TB 신장플랜지 성형시 파단에 미치는 블랭크 및 금형설계 인자들의 영향을 분석하였고 최적설계안을 구하기 위한 방안을 제시하여 블랭크 형상 및 드로비드 구속력에 대한 최적화 해석을 수행하였다. 이상의 연구로 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 이종두께 TB 신장 플랜지 성형시 가장 유의한 인자는 블랭크 코너 반경과 박판 원호부 드로비드였으며 최적의 성형성 확보를 위해서는 블랭크의  $h/R$ 값을 적절히 크게 설계하고, 박판 원호부의 드로비드 구속력을 작게하여야 한다.

(2) 한편, 후판 직선부 드로비드와 박판 직선부 드로비드가 성형성에 미치는 영향은 적지만, 스프링백을 방지하기 위해서는 적절한 구속력을 갖도록 드로비드 설계를 하는 것이 좋다. 따라서 향후에는 본 연구에서 제시된 성형성 최적화 뿐만 아니라 TB 성형시 요구되는 형상동결성까지 동시에 고려한 성형최적화에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서 제시된 성형최적화 기법을 사이드 패널의 블랭크 및 금형설계에 활용하는 경우 현장 트라이에 소요되는 공수를 대폭 절감할 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- Kiyoshi Nonomura, Kenji Tamada, Norio Ohno, 1997, "Stamping Engineering For Body Weight Reduction", Proceeding of IBEC-Automotive Body Assembly & Manufacturing, Vol.29, pp.17~25.
- Jean-Martin, Van der Hoeven., 1994, "Stamping of tailor made blank", IBEC 94, pp.52~59.
- PORSCHE, 1999, ULSAB Final Report.
- 최이천, 유동진, 전기찬, 1996, "테일러드 블랭크를 이용한 도어인너 개발에 관한 연구" 한국 자동차공학회 추계학술대회 논문집, pp.545~550.
- 김현영, 신용승, 김관희, 조원석, 1998, "레이저 용접 차체의 성형해석과 금형설계" 한국 소성가공학회지, Vol. 7, pp.382~392.
- Norihiko Nakagawa, Shin Ikura, Fumiaki Natsumi, Noritoshi Iwata, 1993, " Finite Element Simulation of Stamping a Laser-Welded Blank", SAE Technical Paper, No. 930522, pp.189~197.
- 인정제, 안덕찬, 최익현, 이경돈, 유순영, 이영국, 1997, "성형해석을 이용한 테일러드 블랭크 사이드 아우터 패널의 블랭크 및 금형설계", 한국자동차공

레이저 용접 테일러드 블랭크 신장 플랜지의 성형 최적화

- 학회, 97추계학술대회 논문집, pp.1149~1155.
- (8) J. S. Arora, 1989, Introduction to Optimization Design, McGraw-Hill, New York.
- (9) L. T. Kisielewicz, P. Guyon, E. Haug, K. Ando, 1997, "Automatic Mathematical Optimization of Sheet Metal Forming Processes", The Proceedings of HANPAM'97 PAM Users Conference in Korea,
- pp.219~227.
- (10) L. Taupin, P. Guyon, Park Chun Dal, 1997, "Optimization of the Tool Geometry in a Stamping Process", The Proceedings of HANPAM'97 PAM Users Conference in Korea, pp.205~216.
- (11) PAM-OPT<sup>TM</sup> Reference Manual©.
- (12) PAM-STAMP<sup>TM</sup> Solver Reference Manual