

< 기술논문 >

# 차체판넬 스탬핑공정에서 성형해석을 통한 재질선택에 관한 연구

정동원<sup>†</sup> · 황재신<sup>\*</sup> · 문원섭<sup>\*\*</sup> · 이찬호<sup>\*\*\*</sup> · 유호영<sup>\*\*\*\*</sup>  
(2004년 8월 4일 접수, 2004년 12월 17일 심사완료)

## A Study of Selecting Material for Forming Analysis in Auto-Body Panel Stamping Process

Dong Won Jung, Jae Sin Hwang, Won Sub Moon, Chan Ho Lee and Ho Young You

**Key Words:** Finite Element Method(유한요소법), Auto-Body Panel Stamping(차체판넬 스탬핑), Tool Planing(공법계획), Design Optimization(최적설계)

### Abstract

Finite element method is very effective method to simulate the forming processes with good prediction of the deformation behaviour. For the finite element modeling of sheet metal forming the accurate tool model is required. Due to the geometrical complexity of real-size part stamping tools it is hard to make FE model for real-size auto-body stamping parts. In this paper, it was focussed on the drawability factors on auto-body panel stamping by AUTOFORM with using tool planing alloy to reduce law price as well as high precision from Design Optimization of die. According to this study, the results of simulation will give engineers good information to access the Design Optimization of die.

### 1. 서론

#### 기호설명

- $\theta, \beta$ : 절점 좌표계(convected coordinates)
- $\beta$ : 법선벡터
- $G_{\alpha\beta}, g_{\alpha\beta}$ : 행렬텐서
- $G^{\alpha\beta}, g^{\alpha\beta}$ : 역행렬
- $e_a, e^a$ : 기본벡터와 그 역벡터
- $\varepsilon$ : 라그랑지안 변형률 텐서(Lagrangian strain tensor)
- $L^{\alpha\beta\gamma}$ : 구성텐서성분

박판 금속성형은 금속 판재를 이용하여 다양하고, 비교적 복잡한 형상의 제품을 만드는 것으로서 저렴한 소재, 제품의 높은 비강도, 대량 생산성 등의 큰 장점으로 인해서 현대 산업에 폭넓게 적용되어지고 있는 분야이다. 하지만 대부분의 박판 성형물은 제조과정 중에 커다란 소성 변형을 수반하게 되어 판재의 파단, 형상불량 등의 가공 결함이 발생하게 된다. 따라서 우수한 박판 성형물을 얻기 위해서는 합리적인 가공공정의 설계가 필수적이라 할 수 있다.<sup>(1~4)</sup>

Fig. 1과 같이 금형제작 과정은 차체부품의 최적설계를 위한 제품을 솔루션 한 후, 제품상태에서 전개할 수 있는 최적의 공정계획, 제품물, 생산라인 LOAD'G조건, 성형성확보 방안 등을 제안한 다음 성형해석을 위한 제품 필렛팅, 다이모델링을 3차원으로 모델링한다. 다음으로 해석시스템을 직접 수행함으로써 실제 트라이아웃 상황에

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 제주대학교 기계공학과  
E-mail : jdwcheju@cheju.ac.kr  
TEL : (064)754-3625 FAX : (064)754-3886

<sup>\*</sup> 제주대학교 대학원 기계공학과

<sup>\*\*</sup> (주)Dicart

<sup>\*\*\*</sup> (주)AutoForm Engineering Korea

<sup>\*\*\*\*</sup> 울산과학기술대학교 기계공학부

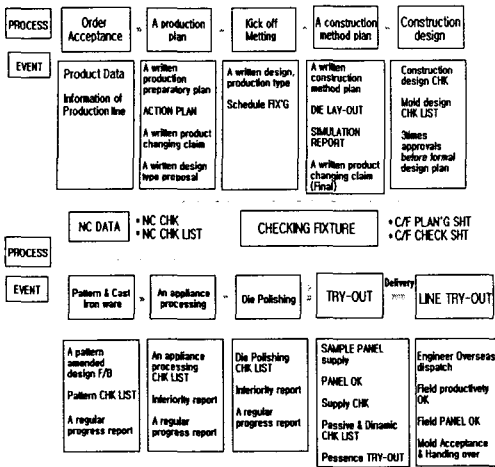


Fig. 1 Metallic mould manufacture process

2. 본 론

법과 성형 시뮬레이션을 이용하는 두 가지 방법이 있다. 그러나 현재로서는 경험에 의한 설계가 지배적이며, 향후에는 성형 시뮬레이션으로 점차 변경 될 것으로 예상된다. 이러한 두 방법은 모두 수정과 검토 반복 작업이 이루어진다. 따라서 레이아웃의 변경에 따라, 금형 설계의 변경이 신속히 이루어져야한다.<sup>(5-10)</sup>

본 논문에서는 실제 산업현장에서 사용되는 차체판넬 스탬핑 공정의 유한 요소 해석에 있어서 중요한 과정의 하나인 금형형상의 모델링과 관련하여 성형해석을 통한 재질을 선택하고자 한다. 해석결과로부터 본 재질선택의 최적화와 실제 산업현장에서의 적용가능성 및 타당성을 검토하고자 한다.

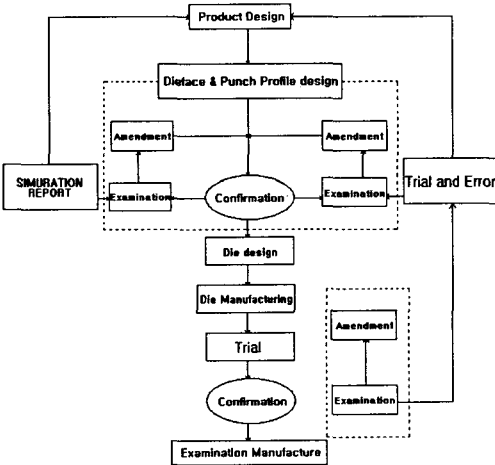


Fig. 2 Flow chart for die manufacturing

서 발생하는 모든 변수들을 데이터 입력 시 고려하여 실제상황에 최대한 근접한 가상 트라이아웃을 구현할 수 있게 한 다음 초기공법계획에 성형 해석시스템의 해석결과에 대한 기술적 대응방안을 사전에 반영함으로써 최적 다이 레이아웃을 완성한다.

금형제작 과정과 마찬가지로 차체 판넬의 설계 제작 과정을 Fig. 2에서 살펴보면, 제품도가 완성된 후에 펀치 프로파일과 다이 페이스를 얻기 위해서는 경험에 의한 데이터베이스를 이용하는 방

2.1 탄소성 구성방정식

변형된 물체는 Fig. 3과 같이 3차원 공간에서 고려해 볼 수 있다. 단계적 과정(step-by-step procedure)으로 비정상상태 변형을 해석하는데 있어, 시간  $t_0$ 에서  $t_0 + \Delta t$ 까지 1 스텝 동안의 변형을 고려하였다. Fig. 1에서  $\theta^1$ 과  $\theta^2$ 축을 박판표면의 절점 좌표계(convected coordinates)를 나타내고,  $\theta^3$ 축은 박판표면에 법선방향으로 주어진다.  $G_{\alpha\beta}$ 와  $g_{\alpha\beta}$ 는 변형전과 변형 후 형상의 행렬텐서를 나타내고,  $G^{\alpha\beta}$ 와  $g^{\alpha\beta}$ 는 각각의 역행렬을 나타낸다. 변형전의 형상에서 기본 벡터(base vector)들은  $E_\alpha$ 와 그 역인  $E^\alpha$ 로 나타내었다. 마찬가지로, 변형된 물체에서의 기본 벡터들은  $e_\alpha$ 와 그 역인  $e^\alpha$ 로 표시하였다.

$$E_\alpha = \frac{\partial X}{\partial \theta^\alpha}, \quad e_\alpha = \frac{\partial x}{\partial \theta^\alpha} \tag{1}$$

$$G_{\alpha\beta} = E_\alpha \cdot E_\beta, \quad g^{\alpha\beta} = e_\alpha \cdot e_\beta \tag{2}$$

$$E^{\alpha\beta} = G^{\alpha\beta} E_\beta, \quad e^\alpha = g^{\alpha\beta} e_\beta \tag{3}$$

변형전의 형상에서 변위벡터  $u$ 는

$$u = u^\alpha E_\alpha = u_\alpha E^\alpha = u_1 E^1 \tag{4}$$

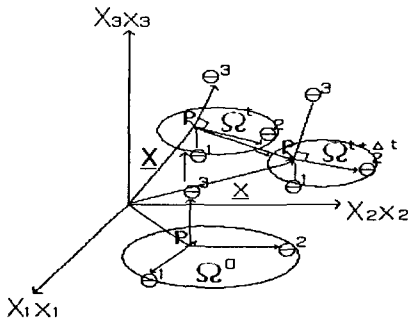


Fig. 3 Polar coordinates system of transformation process

여기에서  $u = G^{ab} u_{\beta}$ 이다. 그리스 지수들은 질점좌표계를, 라틴 지수들은 직교 카티션 좌표계 (rectangular Cartesian coordinates)를 나타낸다. 질점좌표계에서 라그랑지안 변형률 텐서(Lagrangian strain tensor)  $\epsilon$ 는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$\epsilon = \epsilon_{\alpha\beta} E^{\alpha} E^{\beta} = \epsilon^{\alpha\beta} E_{\alpha} E_{\beta} \tag{5}$$

$$\epsilon_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} (g_{\alpha\beta} - G_{\alpha\beta}) = \frac{1}{2} (u_{\alpha\beta} + u_{\beta,\alpha} + u^{\gamma}_{,\alpha} u_{\gamma,\beta}) \tag{6}$$

여기에서 콤마는 변형되지 않은 행렬에 관하여 공변 미분(covariant differentiation)을 나타낸다. 라그랑지안 응력텐서를 선형부와 비선형부로 나누면, 아래의 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_{\alpha\beta} = e_{\alpha\beta} + n_{\alpha\beta} \tag{7}$$

여기서,  $e_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} (u_{\alpha,\beta} + u_{\beta,\alpha}),$

$$n_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} \gamma_{,\alpha} u_{\gamma,\beta}$$

대변형(large deformation)을 고려한 개정 라그랑지안 방정식(Updated Lagrangian equation)은 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\int_{V_0} \Delta S^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV + \int_{V_0} \tau^{\alpha\beta} u^k_{,\alpha} \delta u^k_{,\beta} dV$$

$$= \int_{S_1^{(t_0+\Delta t)}} \delta u_i dS - \int_{V_0} \tau^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV \tag{8}$$

식 (8)의 자세한 유도과정은 Shin과 Yang<sup>(11)</sup>의 논문 부록에 수록되어 있다. 또한 구성방정식이 2차 Piola-Kirchhoff 응력증분과 라그랑지안 변형률과의 관계식으로 주어졌다면,

$$\Delta S^{\alpha\beta} = L^{\alpha\beta\gamma\rho} e_{\gamma\rho} \tag{9}$$

식 (9)에 관한 자세한 수식화도 Shin과 Yang<sup>(11)</sup>의 논문 부록에 수록되어 있고, Hill의 이방성 항복함수(anisotropic yield function)를 만족하는 정상 상태이고 일관성을 유지하는 구성텐서의 성분  $L^{\alpha\beta\gamma\rho}$ 은 기존의 논문<sup>(12-13)</sup>에 잘 언급되어 있다. 위의 식 (8)과 (9)를 결합하여 정리하면 탄소성 재료에 대한 최종적인 개정된 라그랑지안 방정식을 얻을 수가 있다.

$$\int_{V_0} L^{\alpha\beta\gamma\rho} e_{\alpha\beta} \delta e_{\gamma\rho} dV + \int_{V_0} \tau^{\alpha\beta} \frac{\partial u_i}{\partial \theta^{\alpha}} \cdot \frac{\partial u_i}{\partial \theta^{\beta}} dV = \int_{S_1^{(t_0+\Delta t)}} \delta u_i dS - \int_{V_0} \tau^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV \tag{10}$$

2차 Piola-Kirchhoff 응력 텐서의 성분들은 질점좌표계에서의 Kirchhoff 응력텐서 성분과 같으므로 응력 적분과정은 질점좌표계로 변형을 묘사하였을 경우가 다른 좌표계와 비교해 볼 때 매우 간단함을 알 수 있다. 변위증분(displacement increment)들의 근사값은 식 (10)을 사용하여 계산되고  $t_0 + \Delta t$ 시간에 해당하는 응력성분은 식 (9)를 사용하여 구할 수 있다.

$$(S^{\alpha\beta})^{(t_0+\Delta t)} = (S^{\alpha\beta})^{t_0} + \Delta S^{\alpha\beta} \tag{11}$$

$$(\tau^{\alpha\beta})^{(t_0+\Delta t)} = (S^{\alpha\beta})^{(t_0+\Delta t)} \tag{12}$$

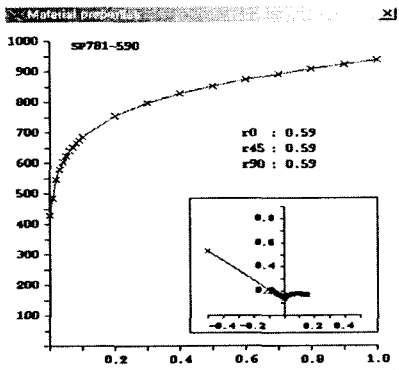
또한 변형하는 물체가 금속일 경우 일반적으로 비압축성이라고 가정하여도 무방하므로 Kirchhoff 응력텐서  $\tau$ 는 Cauchy 응력텐서  $\sigma$ 와 같다고 놓을 수 있다. 이상상태를 진단하고, 선삭뿐만 아니라 다른 기계가공신호에의 적용에 대한 가능성을 제시하고자 한다.

3. 성형해석결과

3.1 SP781-590성형해석

Fig. 4를 보면 두께감소로 인하여 부적합한 곳

Table 1 The first input condition



Model : QW
P/Name : REF SILL OTR-R/L
Application : AutoForm(B/H+DR)
Material : SP781-590
R-values : 0.59
Poisson's ratio : 0.3
Young's modulus : $2.1 \times 10^5$ Mpa
Thickness : 1.6
Binder Pressure : 90 TON
Drawing Pressure : 1060 TON
Blank Size : 1995mm X 390mm

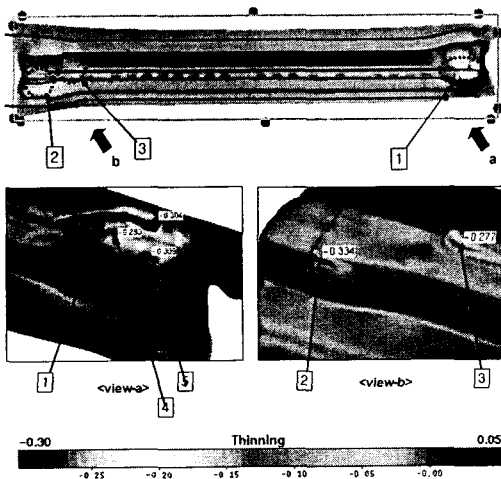


Fig. 4 Thickness reduction

은 3부분이 있었다. 3부분을 상세하게 나타낸 결과 <view-a>부분의 <1>부분에서는 두께감소가 50% 이상이였으며, 하사점 60mm에서 파단(25%)이 일어났으며, <4>부분에서는 하사점 55mm에서 29.3% 이상의 두께감소로 파단(25%)이 일어나기 시작하였다. 추가적으로 <5>부분에서는 두께감소가 30.9% 이상이였으며, 하사점 1mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작하였다. <view-b>부분의 <2>부분에서는 두께감소가 33.4% 이상이였고, 하사점 1mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작하였으며, <3>부분에서의 두께감소는 27.7% 이상이였고, 하사점 0.5mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작하였다.

Fig. 5와 같이 주름이 발생하는 부분은 1부분이며 하사점 3mm에서부터 생기고 있다. 현재 주름이 발생하는 부분은 다른 판넬과의 매칭 포인트 부분이라서 주름을 완화시켜야 정확한 체결이 가능하다.

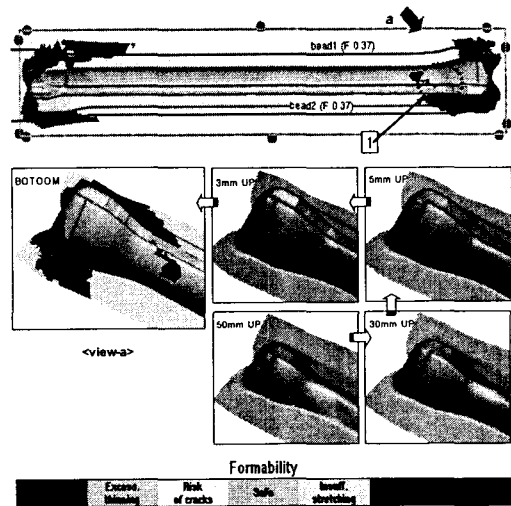


Fig. 5 Wrinkling

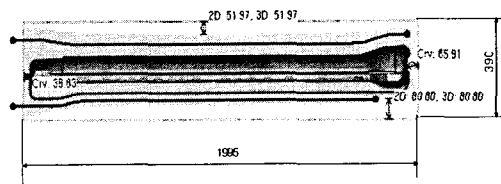
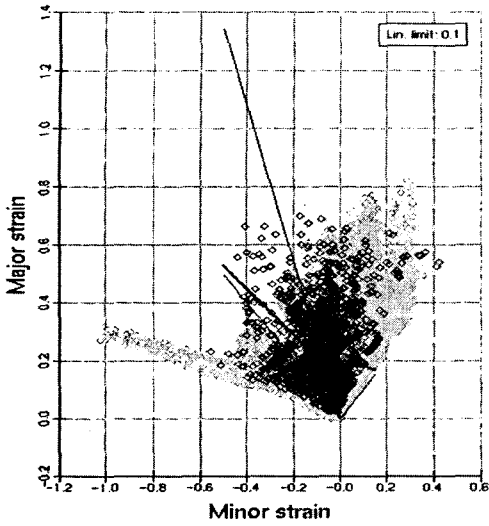


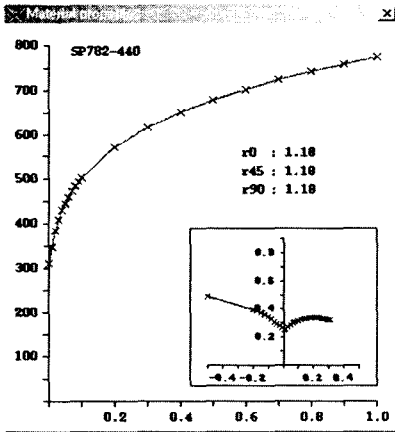
Fig. 6 Blank size & metal flow



Forming Limit Diagram

Fig. 7 Forming limit diagram distribution chart

Table 2 The second input condition



Model : QW
P/Name : REF SILL OTR-R/L
Application : AutoForm(B/H+DR)
Material : SP782-440
R-values : 1.18
Poisson's ratio : 0.3
Young's modulus : $2.1 \times 10^5$ Mpa
Thickness : 1.8
Binder Pressure : 70 TON
Drawing Pressure : 1000 TON
Blank Size : 1970mm X 350mm

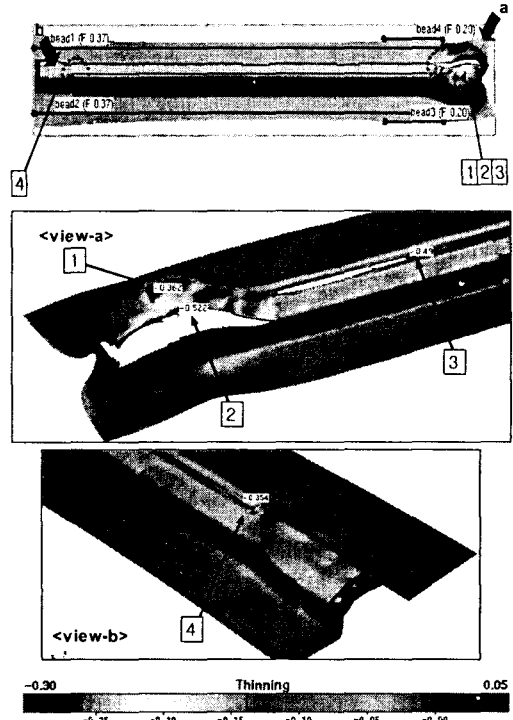


Fig. 8 Thickness reduction

Fig. 7은 SP780-590 재질로 REF SILL OTR-R/L 차체판넬의 성형완료 후의 성형한계곡선을 나타낸 것이다.

본 결과는 초기단계에서 성형해석을 한 결과이며, 재질이 정해지지 않은 상태에서 가해석한 결과들이며, 판넬의 최적의 재질을 선택하기 위한 해석들이다.

3.2 SP782-440 1.8t 성형해석

가해석한 결과를 통하여 차체 판넬을 제작하는데 적합한 재질들 중에서 하나를 선택하여 성형해석 한 결과이며 블랭크사이즈가 성형완료 후 불필요하게 남아서, 2차 조건에서 블랭크사이즈를 줄이고, 파단과 주름을 완화시키기 위해 바인더 압력과 드로잉 압력을 각각 감소시켜 해석하였다.

Fig. 8을 보면 두께감소로 인한 부적합한 곳은 4부분이 있었으며 4부분을 상세하게 나타낸 결과 <view-a>부분 <1>부분에서는 두께감소는 36.2% 이상이며 하사점 81mm에서 파단(25%)이 일어나기

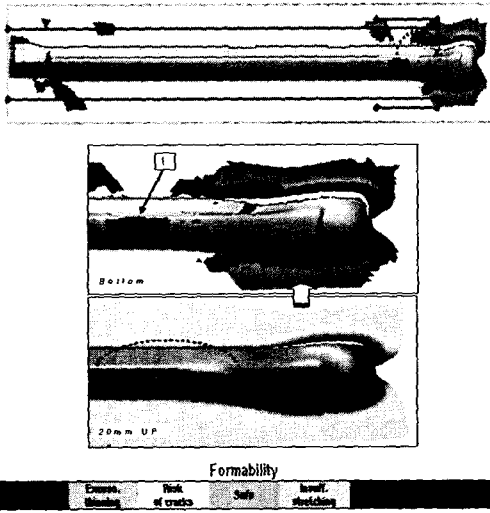


Fig. 9 Wrinkling

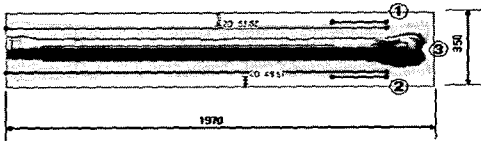


Fig. 10 Blank size & metal flow

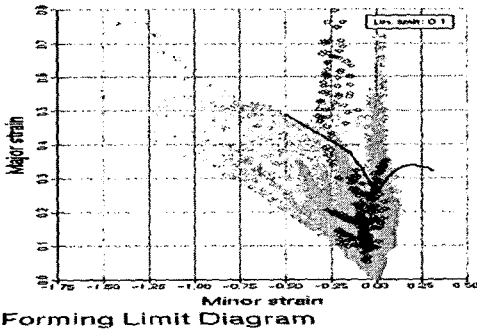
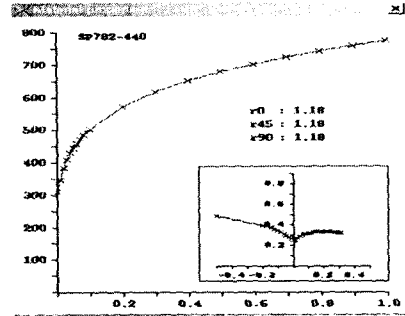


Fig. 11 Forming limit diagram distribution chart

시작하였고, <2>부분에서는 두께감소는 50% 이상이며 하사점 81mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작하였다. 마찬가지로 <3>부분에서도 두께감소가 50% 이상 감소하였으며 하사점 2mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작하였다. <view-b>에서의 <4>부분에서는 두께감소가 35.4% 이상이며 하사점 1mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작하였다.

주름이 발생하는 부분은 1부분이며, 하사점 20mm에서부터 생겼으며, Fig. 9에서 보는 바와 같이 파단으로 인한 주름이 심해지고 있었다.

Table 3 The third input condition



Model : QW  
 P/Name : REF SILL OTR-R/L  
 Application : AutoForm(B/H+DR)  
 Material : SP782-440  
 R-values : 1.18  
 Poisson's ratio : 0.3  
 Young's modulus :  $2.1 \times 10^5$  Mpa  
 Thickness : 2.0  
 Binder Pressure : 70 TON  
 Drawing Pressure : 1000 TON  
 Blank Size : 1970mm X 350mm

Fig. 10에서는 판넬이 어떤 형태와 방식으로 오브드로우가 되고 있는지를 원인을 찾아 해결방안을 찾기 위한 메탈프로우를 보여주고 있다. ①, ②, ③으로 표시된 부분을 볼 때, 다른 부분을 제외한 ①에서 파단이 일어났다. 이런 결과가 각각 다른 두께와 재질에서는 어떤 현상이 일어나는지를 알아보기 위해 3, 4, 5차를 해 보았다.

Fig. 11에서 성형 한계곡선을 이용하여 성형성을 평가하여 보았다.

### 3.3 SP782-440 2.0t 성형해석

SP782-440 1.8t에서 성형해석결과, 두께감소율에서 심각한 크랙이 발생하고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 성형성 문제를 해결하고자 두께를 1.8t에서 2.0t로 변경하여 다시 해석한 결과이다.

Fig. 12를 보면 SP782-440 1.8t와 마찬가지로 두께감소로 인한 부적합한 곳은 4부분이 있다. 4부분을 상세하게 나타낸 결과 <view-a>부분 <1>부분에서는 두께감소는 35.8% 이상이며 하사점 78mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다. <2>부분에서는 두께감소는 50% 이상이며 하사점 55mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다. 추가적으로 <3>

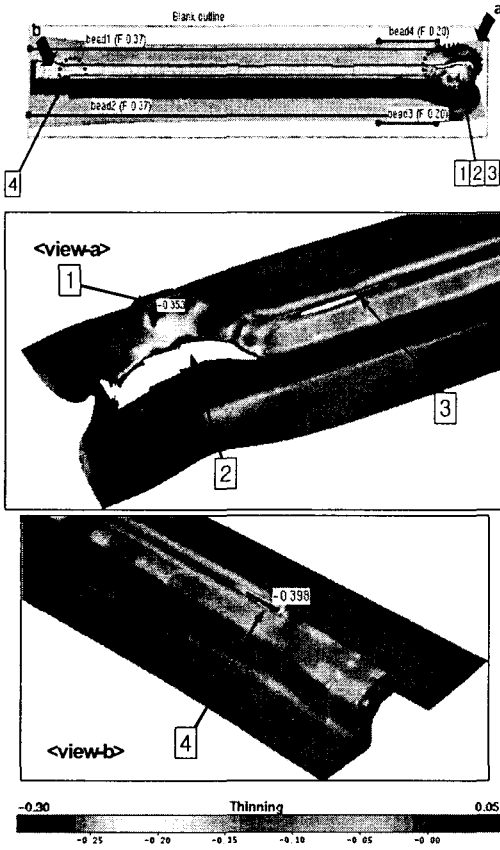


Fig. 12 Thickness reduction

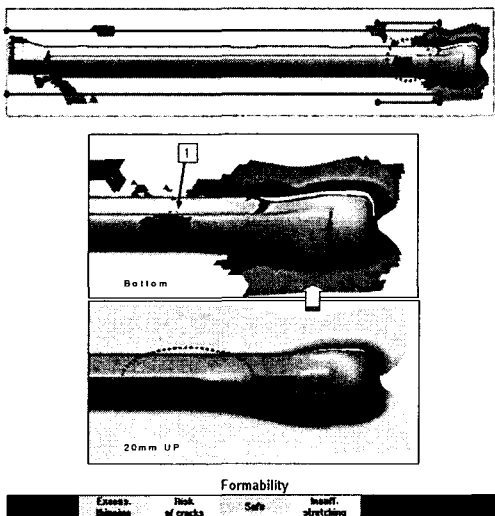


Fig. 13 Wrinkling

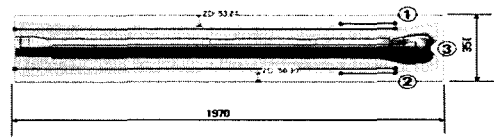


Fig. 14 Blank size & metal flow

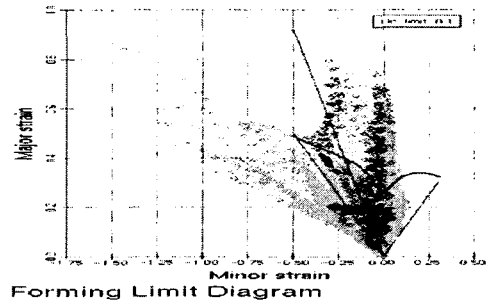
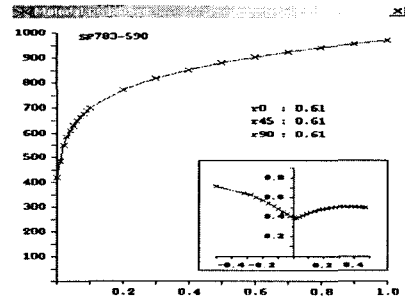


Fig. 15 Forming limit diagram distribution chart

Table 4 The 4th input condition



Model = QW  
 P/Name= REF SILL OTR-R/L  
 Application = AutoForm(B/H+DR)  
 Material = SP783-590  
 R-values : 0.61  
 Poisson's ratio : 0.3  
 Young's modulus :  $2.1 \times 10^5$  Mpa  
 Thickness = 1.8  
 Binder Pressure = 70 TON  
 Drawing Pressure = 1000 TON  
 Blank Size : 1970mm X 350mm

부분에서도 마찬가지로 두께감소가 50% 이상이며 하사점 2mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다.

<view-b>에서 <4>부분에서는 두께감소는 39.8%

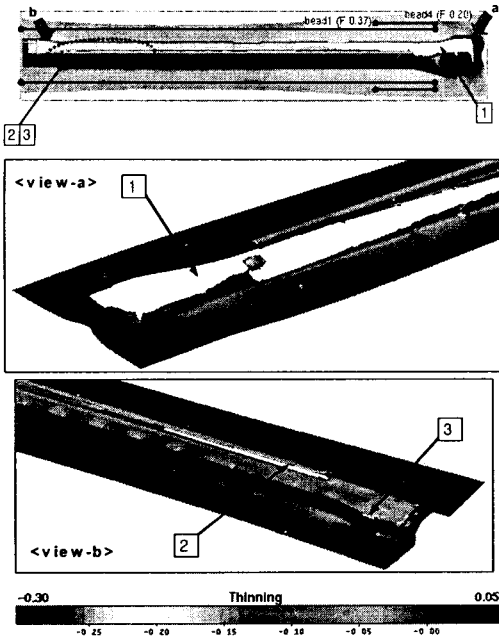


Fig. 16 Thickness reduction

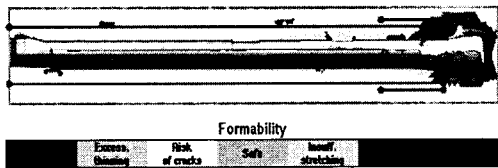


Fig. 17 Wrinkling

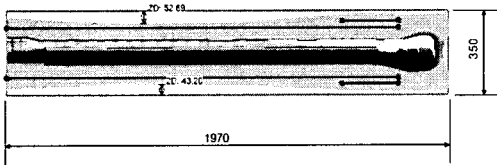


Fig. 18 Blank Size & Metal Flow

이상이며 하사점 1mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다.

Fig. 13과 같이 주름이 발생하는 부분은 1부분이며 하사점 20mm에서부터 생기고 있으며, 여전히 파단과 주름이 문제가 되었다. 재질의 변경이 바람직할 것으로 짐작되었다.

두께를 변경하여 성형해석 한 결과 1.8t에서보다 파단은 완화되었지만 판넬에는 심각한 문제로

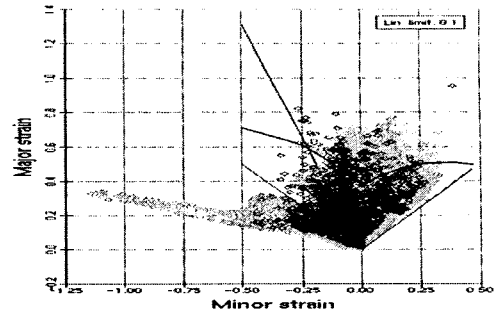
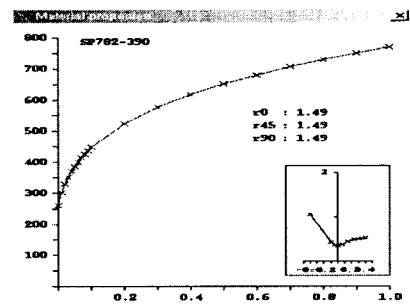


Fig. 19 Forming limit diagram distribution chart

Table 5 The 5th input condition



Model = QW  
 P/Name= REF SILL OTR-R/L  
 Application = AutoForm(B/H+DR)  
 Material = SP782-390  
 R-values : 1.49  
 Poisson's ratio : 0.3  
 Young's modulus :  $2.1 \times 10^5$  Mpa  
 Thickness = 1.8t  
 Binder Pressure = 70 TON  
 Drawing Pressure = 1000 TON  
 Blank Size : 1970mm X 350mm

작용할 가능성이 있으므로 재질의 변경이 바람직하다는 것을 알 수가 있었다. Fig. 14와 같이 메탈프로우를 볼 때 두께 1.8t과 같은 ①부분에서 문제가 되는 것을 볼 수가 있었다.

Fig. 15에서는 성형성에 문제가 되는 것을 성형한계곡선을 보고 알 수 있다.

3.4 SP783-590 1.8t 성형해석

Fig. 16을 보면 두께감소로 인한 부적합한 곳은 3부분이 있으며, 3부분을 상세하게 나타낸 결과



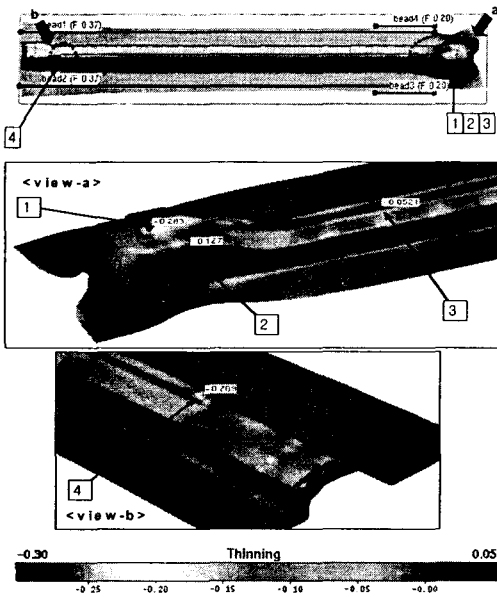


Fig. 20 Thickness reduction

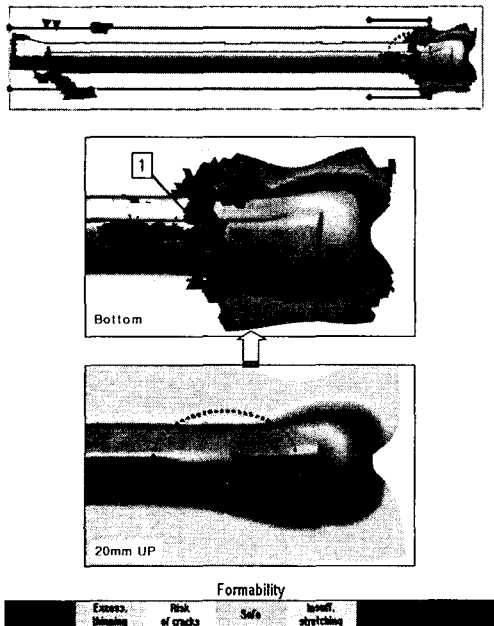


Fig. 21 Wrinkling

<view-a>부분의 <1>부분에서는 두께감소가 50% 이상이며 하사점 90mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작하였으며, <2>부분에서도 두께감소가 50%이

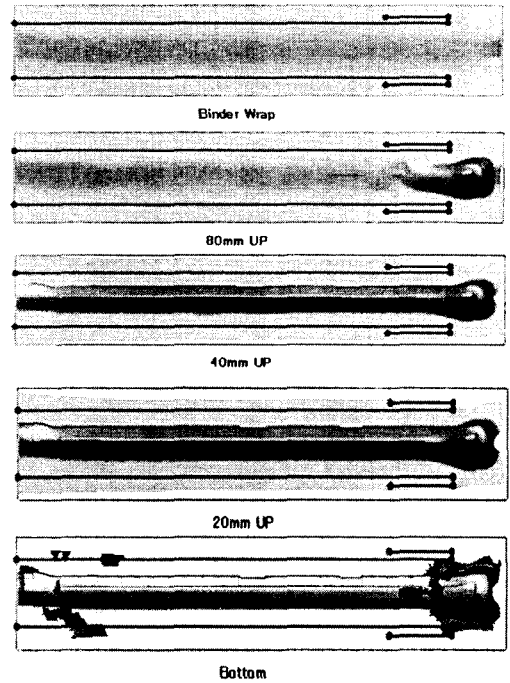


Fig. 22 Step picture(Press View)

상으로, 하사점 25mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작하였다. <view-b>에서의 <3>부분에서는 두께감소가 50%이상이며, 하사점 3mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작하였다. 다른 재질과 마찬가지로 크랙이 문제가 되었다.

Fig. 17에서는 국부적인 파단으로 인해 주름의 경향을 파악할 수가 없다.

파단으로 인해 오브드로우를 파악할 수 없었으며, REF SILL OTR-R/L 차체판넬의 재질로는 부적합하다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 19에서도 SP782-440의 성형한계곡선과 마찬가지로 좋지 않은 결과가 나왔다.

### 3.5 SP782-390 1.8t 성형해석

Fig. 20을 보면 두께감소로 인하여 성형 부적합한 곳은 4부분이며, 4부분을 상세하게 나타낸 결과 <view-a>부분 <1>부분에서는 두께감소가 28.3% 이상이며 하사점 80mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작하고 <2>부분에서는 두께감소가 12.7%로 파단(25%)이 일어나지 않았다. <3>부분에서도 두께감소는 5.21%이며 파단(25%)이 일어나지 않았다. 그리고 <view-b>에서 <4>부분에서도 두께감소가 20.7%로 파단(25%)이 일어나지 않

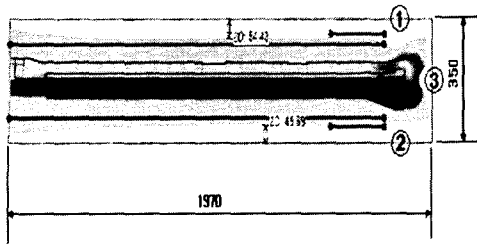


Fig. 23 Blank size & metal flow

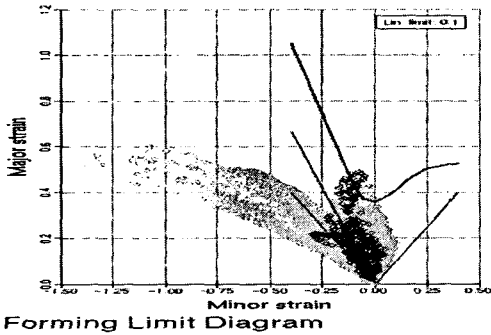


Fig. 24 Forming limit diagram distribution chart

았다.

이와 같은 결과로 REF SILL OTR-R/L 차체판넬에서 SP782-390 재료를 사용한다면 이상적인 결과를 얻을 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 하지만 <1>부분에서 파단이 일어날 가능성이 있으므로 파단을 개선하기 위한 공법개발이 필요하다.

Fig. 21과 같이 주름이 발생하는 부분은 1부분이며 하사점 20mm에서 주름이 나타났으며, 주름이 매칭 포인트 부분에 문제를 주기 때문에 공법개발이 필요하다. 즉, 판넬의 적합한 재질로 변경하였지만 매칭부분에서의 주름문제를 해결하지 못하였으므로 새로운 공정계획을 세워 문제를 해결해야만 한다는 것을 도출할 수 있었다.

Fig. 22에서 펀치행정에 따른 판넬의 성형 과정을 나타낸 결과로, 파단으로 인해 주름에 까지 문제를 주고 있는 것을 알 수 있었다. 본 성형해석은 탄소성구성방정식에 의한 탄소성해석으로 미소한 탄성변형까지 고려된 정밀한 해석결과이다.

Fig. 23에서 보는 바와 같이 지금까지 성형해석

한 결과들 중에서 가장 이상적으로 성형이 되었으며, 주름과 두께의 각각 한부분에서 문제가 되어 있는 부분은 공법개발이나 금형의 형상깊이의 조절로 해결해야 하는 것을 REF SILL OTR-R/L 차체판넬의 최적의 재질을 선택하는 과정에서 알 수 있었다.

Fig. 24의 성형한계곡선은 이상적으로 잘 분포되었다.

여러 가지 재질을 REF SILL OTR-R/L 차체판넬에 적용하여 가장 적합한 재질을 선택할 수 있었으며, 재질의 변경으로도 해결되지 않는 문제들은 공정개발이 필요함을 알 수 있었다.

#### 4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 실제 산업현장에서 사용되고 있는 차체 판넬의 스탬핑 공정에서의 최적의 금형설계를 위한 재질의 선택을 두께감소율과 주름경향의 성형해석을 통하여 최적의 재질을 선택하였다. 본 연구로 인해 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 성형성을 개선하기 위해 재질의 변경이 필요하다라는 것을 성형해석을 통해 검증하였다.
- (2) 기존의 방법보다 차체판넬을 제작하기에 가장 적합한 재질을 선택할 수 있는 가능성을 보여 주었으며, 재질의 변경으로도 개선되지 못하는 부분은 공정개선을 하여 성형성의 문제를 해결해야 한다는 것을 알 수 있었다.
- (3) 이러한 성형 해석결과들을 바탕으로 새로운 공정개발을 하여 최적의 금형을 제작하여 실제로 REF SILL OTR-R/L 차체 판넬 시제품을 통하여 실용성의 검증이 필요하다.

#### 참고문헌

- (1) Jung, H.S. and Lee, S.S., 2002, "Automatic Design Supporting System for Automobile Stamping Tool," *Journal of KSPE*, Vol. 19, No. 8, pp. 194~202.
- (2) Jung, D.W., Ahn, D.G., Yang, D.Y. and Lee, J.H., 1995, "Sectional Forming Analysis of Automobile Sheet Metal Parts by Using Rigid-plastic Explicit Finite Element Method," *Journal of KSAE*, Vol. 3, No. 3, pp. 19~28.
- (3) Jung, D. W. and Yang, K. B., 2000,

- “Comparative Investigation into Membrane, Shell and Continuum Elements for the Rigid-Plastic Finite Element Analysis of 2-Dimensional Sheet Metal Forming Problems,” *J. Materials Processing Technology*, Vol. 104, No. 3, pp. 185~190.
- (4) Jung, D. W., Yoo, D. J. and Yang, D. Y. 1995, “A Dynamic Explicit/Rigid-Plastic Finite Element Formulation and Its Application to Sheet Metal Forming Processes,” *Engineering Computations*, Vol. 12, pp. 707~722.
- (5) Jung, D. W., Song, I. S. and Yang, D. Y. 1995, “An Improved Method for Application of Blank Holding Force Considering Sheet Thickness in Deep Drawing Simulation of Planar Anisotropic Sheet,” *J. Materials Processing Technology*, Vol. 52, pp. 472~488.
- (6) Jung, D. W., Yoo, D. J. and Yang, D. Y. 1995, “A Dynamic Explicit/Rigid-Plastic Finite Element Formulation and Its Application to Sheet Metal Forming Processes,” *Engineering Computations*, Vol. 12, pp. 707~722.
- (7) Lee, H. S., Jung, D. W., Jung, J. H. and Im, S. Y. 1994, “Finite element analysis of lateral buckling for beam structures,” *Computers & Structures*, Vol. 53, pp. 1357~1371.
- (8) Jung, D. W. and Yang, D. Y. 1998, “Step-Wise Combined Implicit-Explicit Finite-Element Simulation of Auto-Body Stamping Processes,” *J. Materials Processing Technology*, Vol. 83, pp. 245~260.
- (9) Jung, D. W., 1998, “Study of Dynamic Explicit Analysis in Sheet Metal Forming Processes Using Faster Punch Velocity and Mass Scaling Scheme,” *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 7, No. 4, pp. 479~490.
- (10) Kim, Y. S. and Jung, D. W., 1998, “A Study on Deformation Characteristics of the Plane Strain Punch Stretching Test,” *Int. J. of KSME*, Vol. 12, No. 4, pp. 544~552.
- (11) Wang, N. M. and Tang, S. C., 1988, “Analysis of Bending Effects in Sheet Forming Operations,” *Int. J. for Num Mech in Engng.*, Vol. 25, pp. 253~367.
- (12) Mattiason, K., 1985, “Numerical Simulation of Stretching Processes,” *SIMOP-I, Editor Lange. K., Proc. of the 1. Int. Workshop, Stuttgart*, pp. 170~213.
- (13) Wang, N. M. and Budiansky, B., 1978, “Analysis of Sheet Metal Stamping by a Finite Element Method,” *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 45, pp. 73~82.