

Front Side Member 차체판넬의 성형성에 관한 연구

고창성^{*}, 정동원

제주대학교 공과대학 첨단기술연구소^{*}
제주대학교 기계에너지시스템공학부

요 약

본 연구는 차동차 Front Side Member의 성형성을 알기 위해 수행되었다. 스탬핑 공정을 분석하기 위해 정적 내연적 유한요소법이 적용된 Auto-Form 소프트웨어를 효과적으로 적용하여보았다. 수식화된 방정식이 유효성과 가능성을 확인하기위해 해석을 수행하여 결과를 알아 보고 설계의 개선점을 제시하였다. 마지막으로 front side member의 스탬핑 공정의 해석 결과를 단계별로 보여주고 그 결과를 고찰해 보았다.

Key Words : static implicit finite element method(정적-내연적 유한요소방법), forming limit diagram(성형한계곡선), Auto-Form(오토폼)

1. 서 론

박판 금속 성형은 금속 판재를 이용하여 다량의 형상의 제품을 만드는 것으로 경제적인 측면에서는 가공 중에 소재의 손실이 적고 가공시간이 짧아 낮은 가격으로 대량생산이 가능하고 제품 측면에서는 무게에 비해 강도가 높고 표면 특성이 우수한 장점으로 인해 자동차산업, 항공산업, 전자부품산업과 주방용품 산업 등에서 폭 넓게 적용되고 있다. 하지만 박판 성형은 드로잉, 스트레칭, 굽힘, 아이어닝 및 이들의 조합으로 구성된 복잡한 변형 모드 및 재료 자체의 특성 등으로 인하여 가공 결함이 발생하게 된다.

복잡하고 불규칙적인 곡선 형상들과 박판과 다 사이의 비교적 큰 상대적인 변위 등의 실질적인 산업 현장 문제들을 해석하기 위하여 보다

신뢰성 있고 경제적인 해석방법이 요구되고 이런 효율적인 알고리즘을 개발하기 위해선 많은 노력을 필요로 하고 있다. 해의 효율성과 강건성(robustness)은 매우 중요한 요인이다[1~2].

이를 시뮬레이션 하기 위해서 세 가지 종류의 정적-내연적(Static Implicit, SI), 정적-외연적(Static Explicit, SE) 그리고 동적-외연적(Dynamic Explicit, DE) 방법 등이 쓰인다. 세계적으로, LS-DYNA3DPAM-STAMP, ABAQUS/Explicit, RADIOSS, 등의 외연적(Explicit) 소프트웨어들이 활발히 쓰여지고 있는데, 이는 판재성형에 필수적으로 존재하는 접촉문제를 비교적 수월히 해결하며, 대형, 복잡한 문제를 비교적 단시간 내에 풀 수 있기 때문이다. 유럽의 일부 자동차회사에서 쓰여 지는 것으로 스위스의 Kubli교수가 개발

한 Autoform은 내연적 방법임에도 불구하고 급힘을 고려하는 박막요소와 적응자동요소생성 (adaptive automatic mesh generation) 기술을 첨가하여 상당히 정확히 단시간 내에 해석할 수 있는 장점을 가지고 있다.[3] 적응 자동요소 생성 기술은 판재금형 같이 넓고 부분적으로 작은 홈이나 필렛반경이 존재하는 문제에 있어서, 적응자동요소 생성 기술이 없는 경우에는 처음에서부터 이들을 묘사하기 위하여 작은 격자들을 사용할 필요성이 있는데 이를 감소시켜 해석시간의 상당한 단축을 가져오기 때문에 외연적 프로그램에도 첨가하는 것이 매우 바람직하다.

본 연구에서는 정적-내연적 유한요소방법을 이용한 Autoform 소프트웨어를 사용하여 Front Side Member의 차체 판넬의 성형성과 현장적용성에 대해 알아보하고자 한다.

II. 이론해석

변형된 물체는 Fig.1.과 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 고려하자. Fig. 1.에서 θ^1 과 θ^2 축을 박판표면의 질점 좌표계(convected coordinates)를 나타내고, θ^3 축은 박판표면에 법선방향으로 주어진다. $G_{\alpha\beta}$ 와 $g_{\alpha\beta}$ 는 변형전과 변형 후 형상의 행렬 텐서를 나타내고, $G^{\alpha\beta}$ 와 $g^{\alpha\beta}$ 는 각각의 역행렬을 나타낸다. 변형전의 형상에서 기본 벡터 (base vector)들은 E_α 와 그 역인 E^α 로 나타내었다. 마찬가지로, 변형된 물체에서의 기본 벡터들은 e_α 와 그 역인 e^α 로 표시하였다.

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

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

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

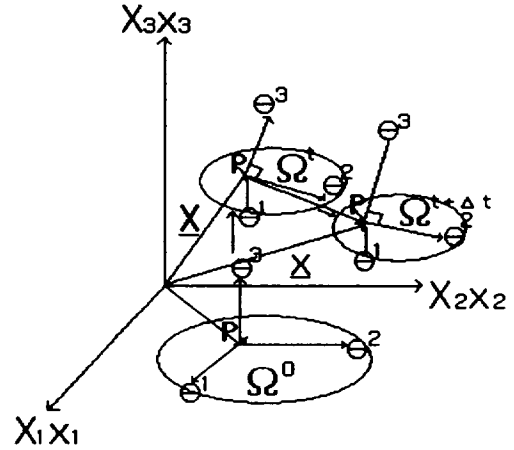


Fig. 1. Polar coordinates system of transformation process

변형전의 형상에서 변위벡터 u 는

$$u = u^\alpha E_\alpha = u_\alpha E^\alpha = u_1 E^1 \quad (4)$$

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

$$\epsilon = \epsilon_{\alpha\beta} E^\alpha E^\beta = \epsilon^{\alpha\beta} E_\alpha E_\beta \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{\alpha\beta} &= \frac{1}{2} (g_{\alpha\beta} - G_{\alpha\beta}) = \\ &= \frac{1}{2} (u_{\alpha,\beta} + u_{\beta,\alpha} + u_{\gamma,\alpha} u_{\gamma,\beta}) \\ &= \frac{1}{2} (u_{\alpha\beta} + u_{\beta,\alpha} + u_{\gamma,\alpha} u_{\gamma,\beta}) \end{aligned} \quad (6)$$

여기에서 콤마는 변형되지 않은 행렬에 관하여 공변미분(covariant differentiation)을 나타낸다. 라그랑지언 응력텐서를 선형부와 비선형부로 나누면, 아래의 (7)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_{\alpha\beta} = e_{\alpha\beta} + \eta_{\alpha\beta} \quad (7)$$

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

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

대변형(large deformation)을 고려한 개정 라그랑지언 방정식(updated Lagrangian equation)은 아래식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\int_{V^0} \Delta S^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV + \int_{V^0} \tau^{\alpha\beta} u^k_{,\alpha} \delta u^k_{,\beta} dV = \int_{S_i^t} t_1^{(t_0 + \Delta t)} \delta u_i dS - \int_{V^0} \tau^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV \quad (8)$$

(8)식의 자세한 유도과정은 Shim과 Yang [4]의 논문 부록에 수록되어 있다. 또한 구성 방정식이 2차 Piola-Kirchhoff 응력증분과 Lagrangian 변형율과의 관계식으로 주어졌다면,

$$\Delta S^{\alpha\beta} = L^{\alpha\beta\gamma\rho} e_{\gamma\rho} \quad (9)$$

식(9)에 관한 자세한 수식화도 Shim과 Yang[4]의 논문 부록에 수록되어 있고, Hill의 이방성 항복함수(anisotropic yield function)를 만족하는 정상상태이고 일관성을 유지하는 구성텐서의 성분 $L^{\alpha\beta\gamma\rho}$ 은 기존의 논문[5,6]에 잘 언급되어 있다. 위의 (8)과 (9)

식을 결합하여 정리하면 탄소성 재료에 대한 최종적인 개정된 Lagrangian 방정식을 얻을 수가 있다.

$$\int_{V^0} L^{\alpha\beta\gamma\rho} e_{\alpha\beta} \delta e_{\gamma\rho} dV + \int_{V^0} \tau^{\alpha\beta} \frac{\partial u_i}{\partial \theta^\alpha} \cdot \frac{\partial u_i}{\partial \theta^\beta} dV = \int_{S_i^t} t_1^{(t_0 + \Delta t)} \delta u_i dS - \int_{V^0} \tau^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV \quad (10)$$

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 (10)식을 사용하여 계산되고 $t_0 + \Delta t$ 시간에 상당하는 응력성분은 (9)식을 사용하여 구할 수 있다.

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

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

또한 변형하는 물체가 금속일 경우 일반적으로 비압축성이라고 가정하여도 무방하므로 Kirchhoff 응력텐서 τ 는 Cauchy 응력텐서 σ 와 같다고 놓을 수 있다.

III. 성형해석결과

위에서 수식화 된 결과에 따라 3차원 성형 해석을 수행하였다.

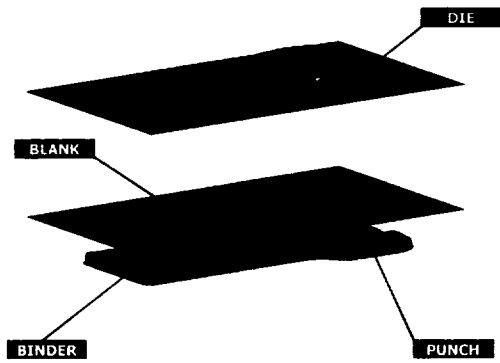


Fig. 2. Tool setting

Fig. 2 는 차체 판넬의 성형성을 알아보기 위한 시뮬레이션으로서 펀치형상, 바인더, 블랭크, 금형형상을 나타낸다.

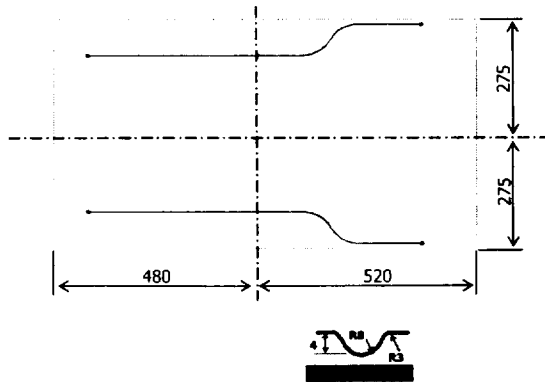


Fig. 3. Blank & Bead section geometry

Fig. 3은 Blank 와 Bead 의 형상을 보여주고 있다. 비드는 높이가 4mm이고, 반지름이 3mm, 8mm의 형상을 하고 있다.

Table 1. Input Condition

Material	SPCC
Thickness	1.6t
Cushion Stroke	120mm
Cushion Pressure	70ton
Friction Coefficient	0.15

Table 1에 나와 있는 입력 조건으로 성형 해

석을 수행하여 그 결과를 알아보았다.



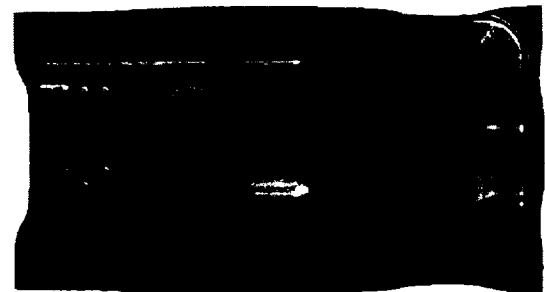
(a) At 30mm to the lowest point



(b) At 10mm to the lowest point



(c) At 5mm to the lowest point



(c) At the lowest point

Fig. 4. Each punch stroke forming process

Fig. 4는 해석 범위에서 행정별 하사점 30mm전, 하사점 10mm 전, 하사점 5mm 전, 하사점 최종 결과로 성형 해석 하였으며, 그 결과 파단은 발생하지 않았다.

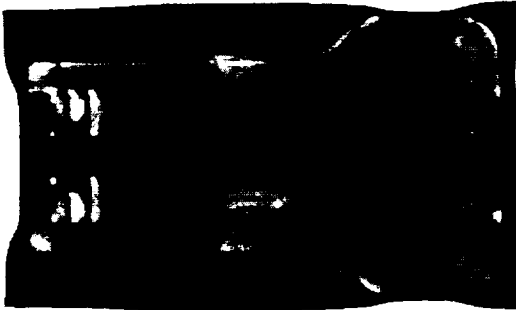


Fig. 5. Thining Contour

Fig. 5는 두께 분포를 나타낸다. 골곡이 있는 부위에서 급격히 두께가 감소함을 알 수 있다.

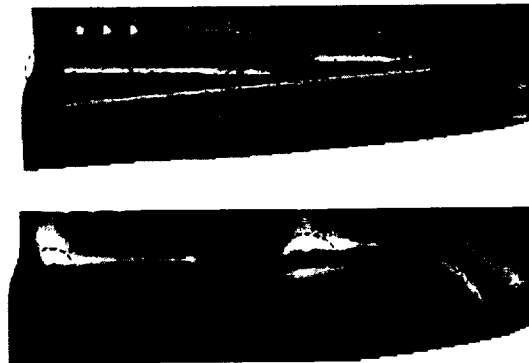


Fig. 6. Thining Contour

Fig. 6는 두께 분포를 보다 확대해서 나타내었다. 1-1 부분과 1-3 부분은 최대 두께비가 20%로 네킹이 일어날 수 있는 부분이다. 1-2 부분은 최대 두께비가 20%이하로 파단이 일어날 수 있는 부분이다. 따라서 이 두 부분에 대한 개선이 요구 되어 진다.

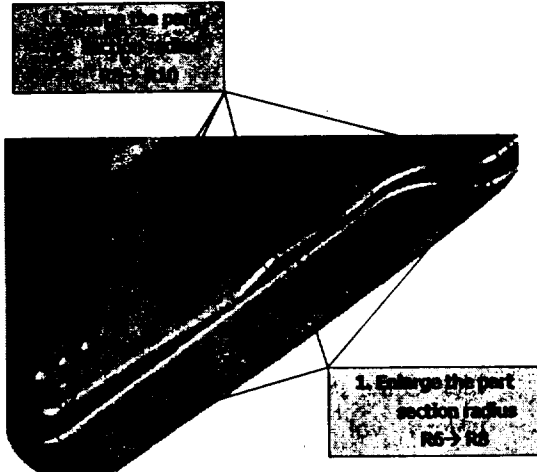


Fig. 7. Requests of part change

Fig. 7은 개선이 요구되어 지는 부분의 변경안을 나타낸다. 전반적으로 각 파트의 반지름을 증가시키는 경향으로 개선되면 문제가 해결 되어질 것으로 판단된다.

IV. 결론 및 고찰

본 연구에서는 Front Side Member의 차체 판넬에 대하여 성형 해석을 수행하여 그 결과를 분석하고 개선안을 고찰해 보았다. 그 결과는 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

1. Front Side Member의 성형 해석 결과 두 군데가 최대 두께비가 20% 가량으로 네킹이 발생할 가능성이 존재하고 한 군데가 최대 두께비가 20%이하로 파단 가능성이 존재 하였다.
2. 성형 해석 결과를 개선하기 위하여 각 파트의 반지름을 증가시키는 방향으로 개선안을 제안 하였다.

V. 참고문헌

1. D. Y. Yang, D. W. Jung, I. S. Song, D. J. Yoo and J. H. Lee, Comparative investigation into implicit, explicit and iterative implicit/explicit, schemes for the simulation of sheet-metal forming process, *J. of Materials Processing Technology*, vol. 50, pp39-53, 1995
2. D. W. Jung, D. J. Yoo and D. Y. Yang, A dynamic explicit/rigid-plastic finite element formulation and its application to sheet metal forming processes, *Engineering Computations*, Vol.12, pp.707-722, 1995
3. 이재석, 가상실험기술, 충북대학교 건설기술 연구소, pp.4-5, 1999
4. H. B. Shim, D. Y. Yang, An Elastic-Plastic Finite Element Analysis on Hydrostatic Bulging of Rectangular Diaphragms by using Layered Degenerated Shell Element, *Int. J. Mech. SDI.*, Vol. 32, pp.49-64, 1990
5. N. M. Wang, S. C. Tang, Analysis of Bending Effects in Sheet Forming Operations, *Int. J. for Num. Mech. in Engng.*, Vol.25, pp.253- 367, 1988
6. K. Mattiason, Numerical Simulation of Stretching Processes, *Int. workshop, Stuttgart*, pp.170-213, 1985

A Study of Formability for Auto-body Panel of Front Side Member

Chang-Seong Ko^{*}, Dong-Won Jung

Research Institute of Advanced Technology Cheju National University, Jeju-Do. 690-756, Korea^{*}
Graduate School, Cheju National University, Jeju-Do. 690-756 Korea

ABSTRACT

This study was conducted in order to know formability of Front Side Member. The static implicit finite element method is applied effectively to analyze stamping processes from using AutoForm software. Analysis results examining possibility and validity of the formulation are presented, and also the guide line of design is suggested. Further, the simulated results for front side member stamping processes are shown and discussed.