

유한요소법 이론을 이용한 Back 판넬 해석에 관한 연구

안현길*, 정동원*

제주대학교 대학원*

제주대학교 기계에너지시스템공학부

요 약

정적-내연적 유한요소법은, 성형공정이 포함하는 전체의 Back 판넬 스템핑 공정 분석에 효과적으로 적용된다. 복잡하고 큰 사이즈의 Back 판넬은, 오토 폼이라고 불리는 상용의 프로그램을 사용해서 해석되었다. 오토 폼 소프트웨어의 가능성과 타당성을 시험하고 최적설계변수를 찾기 위한 해석결과들이 본 논문에서 제시되고 있다. 또한, 전체의 Back 판넬 스템핑 공정을 위한 성형해석된 결과들이 제시되고 논의되었다. 해석기술의 적용은 원가절감, 경량화 및 차량강도 개선 때문에 자동차 산업에서 특히 적용이 되어 지고 있다.

Key Words : static implicit finite element method (정적-내연적 유한요소방법), auto-body panel stamping (차체판넬 스템핑), forming stage(성형단계), Auto-Form (오토폼)

1. 서 론

박판성형 공정은 가공 중에 소재의 손실이 적고 가공시간이 짧아 낮은 가격으로 대량생산이 가능하며, 무게에 비해 강도가 높고 표면특성이 우수한 장점이 있으므로 자동차산업, 항공산업, 전자부품산업과 주방용품산업 등에서 중요한 제조공정 중의 하나이며 박판성형은 드로잉, 스트레칭, 굽힘, 아이어닝 및 이들의 조합으로 구성된 복잡한 변형모드를 포함하고 있을 뿐만 아니라, 재료 자체의 성형성(formability), 이방성(anisotropy)등의 기계적 성질이나, 두께의 불 균일, 공구각부의 조합, 표면 및 윤활 상태, 성형속도 등이 변형에 영향을 미치기 때문에 그 물리적 현상을 정량적으로 파악하기는 매우 어려우므로 복잡하고 불규칙적인 곡선형

상들 과 박판과 다이 사이의 비교적 큰 상대적인 변위 등의 실질적인 산업현장 부제들을 해석하기 위하여 보다 신뢰성 있고 경제적인 해석방법이 요구되고 이런 효율적인 알고리즘을 개발하기 위해선 아직도 많은 노력이 필요하다. 해의 효율성과 강건성(efficiency and robustness)은 매우 중요한 요인이다.[1,2]

일반적으로 박판성형 공정은 준정적(Quasi-static)과정으로서 공구나 재료의 관성효과는 무시할 수 있는데, 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-DYNA3D, PAM-STAMP, ABAQUS/Explicit, RADIOSS, 등의 외연적(Explicit) 소프트웨어들이 활발

히 쓰여지고 있는데, 이는 판재성형에 필수적으로, 존재하는 접촉문제를 비교적 수월히 해결하며, 대형, 복잡한 문제를 비교적 단시간 내에 풀 수 있기 때문이다. 내연적(Implicit) 소프트웨어로서 유럽의 일부 자동차회사에서 쓰여 지는 것으로 스위스의 Kubli교수가 개발한 Autoform이 있는데 내연적 방법임에도 불구하고 굽힘을 고려하는 박막요소와 적응자동요소생성(adaptive automatic mesh generation) 기술을 첨가하여 상당히 정확히 단시간 내에 해석할 수 있는 장점을 가지고 있다. [3] 적응자동요소 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 프레스금형 성형해석 시스템인 Auto-form 프로그램을 사용하여 전체 스텝핑공정을 복잡하고 어려운 대형 차체판넬을 유한요소해석 하였으며 현장적용의 가능성과 타당성을 검토하여 보았다.

II. 본 론

변형된 물체는 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 절점 좌표계(convected coordinates)를 나타내고, θ^3 축은 박판표면에 법선방향으로 주어진다. $G_{\alpha\beta}$ 와 $g_{\alpha\beta}$ 는 변형전

과 변형 후 형상의 행렬텐서를 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.

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

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

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

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 절점좌표계를, 라틴 지수들은 직교 카티션 좌표계(rectangular Cartesian coordinates)를 나타낸다. 절점좌표계에서 라그랑지언 변형율 텐서(Lagrangian strain tensor) ϵ 는 다음과 같이 표시될 수 있다.

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

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

여기에서 콤마는 변형되지 않은 행렬에 관하여 공변 미분(covariant differentiation)을 나타낸다. 라그랑지언 응력텐서를 선형부와 비선형부로 나누면, 아래의 (7)식과 같이 나타

낼 수 있다.

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

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.

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

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

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

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 라그랑지언 방정식을 얻을 수가 있다.

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

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. 성형결과 해석

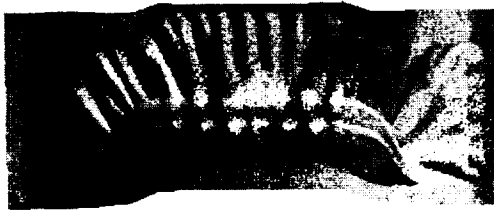
위에서 수식화 된 결과에 따라 3차원 성형 해석을 수행하였으며, 해석에 사용된 입력조건은 Fig. 1과 같다.

Analysis Model : LZ-F/L Part
 Analysis P/Name : PNL Back
 Forming Method : Single Action Press
 Blank Matter : SGARC35 0.75T
 Blank Size : 1730 x 575
 Blank Holding strength : 70 Ton
 Analysis scope : OP10 Draw Process Analysis

Fig. 1. Input condition



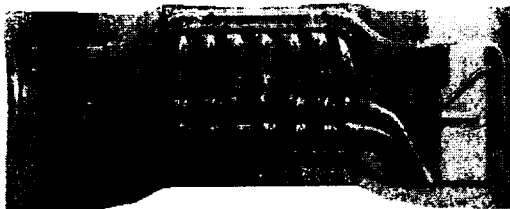
(a) Early binding result



(b) Before lower post point 20mm



(c) Before lower post point 10mm



(d) The final results of lowest point

Fig. 2. Each punch stroke forming process

Fig. 2 에서 펀치행정(STROKE)별 성형과정을 초기 Binding, 하사점 20mm전, 하사점10mm 전, 하사점 최종결과로 4차 성형해석 하였다.

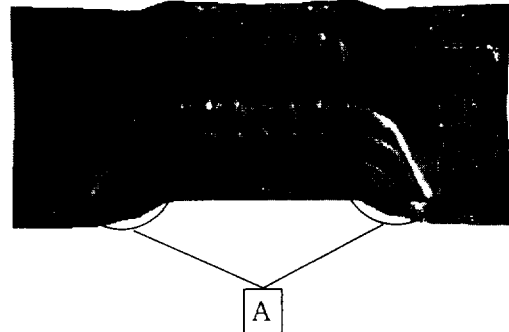


Fig. 3. The thickness reduction rate distribution

Fig 3은 펀치 행정별 결과 후, 두께 분포도를 나타내고 있으며 A구간에서 알 수 있듯이 각 코너부위에서 두께가 감소되어 파단 가능성을 보여주고 있다. 현 상태에서는 제품R의 변경이나 Over Draw의 적용이 필요할 것으로 보인다. 또한 소재유입을 증가 시킬수록 제품 품질은 저하 된다.

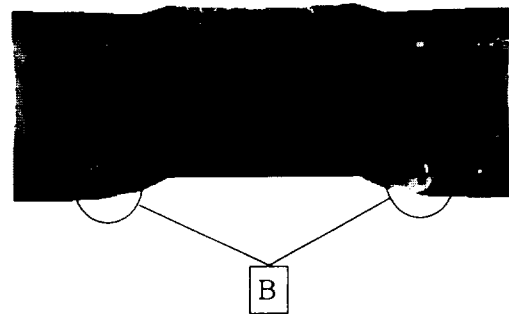


Fig. 4. Wrinkles tendency distribution

Fig. 4는 B구간과 같이 부분적으로 주름이 발생하여 가형상이 나타나고 있는 것을 볼 수 있다.

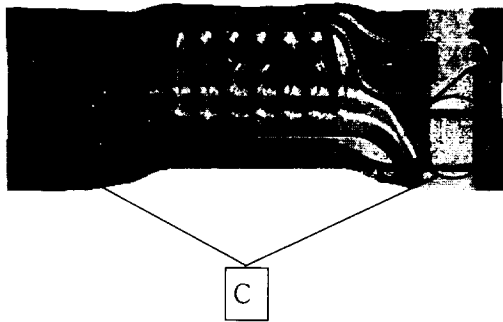


Fig. 5. Formability distribution

Fig. 5는 전체적인 성형성 분포도를 보여주고 있다. 외곽에서의 주름구간과, 스트레칭이 필요한 구간은 트리밍작업으로 제거될 것으로 보이나 C구간과 같이 제품형상의 스트레칭이 필요한 부분이 생겨 제품 내에 충분한 신율이 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

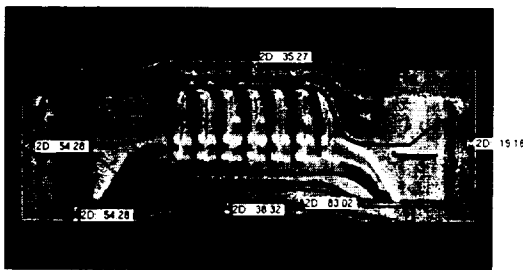


Fig. 6. Inflow of manufacture

Fig. 6은 Blank에서 최종Blank까지의 거리 유입량을 나타내고 있다.

IV. 결론

본 연구에서 Back판넬을 유한요소해석 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 파단은 각 코너부위에서 일어났으며 제품R의 변경이나 Over Draw의 적용이 필요할 것으로 나타났다.

2. 부분적으로 주름이 발생하여 가형상이 나타났으며, 모서리부위에서 주름발생 가능성이 보여 졌다.
3. 제품 내에 충분한 신율이 발생하지 못하여 Draw Bead 추가시켜 그에 대한 보안이 필요하였다.

참고문헌

- [1] 이재석, 1999, 가상실험기술, 충북대학교 건설기술 연구소, pp.4-5
- [2] 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
- [3] Mattiason, K., 1985, Numerical Simulation of Stretching Processes, SIMO P-I, Editor Lange, K., Proc. of the 1. Int. Workshop, Stuttgart, pp.170-213
- [4] Shim, H. B., Yang, D. Y., 1990, 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
- [5] Wang, N. M., Tang, S. C., 1988, Analysis of Bending Effects in Sheet Forming Operations, Int. J. for Num. Mech. in Engng., voi.25, pp.253-367
- [6] Yang, D. Y., Jung, D. W., Song, I. S., Yoo, D. J. and Lee, J. H., 1995, Comparative investigation

into implicit, explicit and iterative
implicit/explicit, schemes for the
simulation of sheet-metal forming

process, J. Materials Processing
Technology, vol. 50, pp39-53

A Study of Analyzing Back Panel Using Finite Element Method Theory

Hyun-Gil Ahn^{*}, Dong-Won Jung

Graduate School, Cheju National University, Jeju-Do, 690-756, Korea^{*}
Faculty of Mechanical, Energy and Mechatronics Engineering, Res. Inst. of Adv.
Cheju National University, Jeju-Do, 690-756 Korea

ABSTRACT

The static implicit finite element method is applied effectively to analyze total back panel stamping processes, which include the forming stage. Complicated and abnormal large size back panel was analyzed by using commercial program called Auto-form. Analysis results examining possibility and validity of the Auto-form software and the factor study are presented. Further, the simulated results for the total back panel stamping processes are shown and discussed. Its application is being increased especially in the automotive industrial area for the cost reduction, weight saving, and improvement of strength.