

One-Step 이론을 이용한 Roof 판넬 해석에 관한 3차 연구

정 동 원* · 안 현 길**

목 차

I. 서 론	III. 성형결과 해석
II. 본 론	IV. 결 론

I. 서 론

오늘날에는 단순한 접촉면의 미소 변화가 있는 박판 성형 공정을 수치적으로 정확하게 사전 예측하는 것이 가능해졌다. 복잡하고 불규칙적인 곡선형상 들과 박판과 다이 사이의 비교적 큰 상대적인 변위 실질적인 산업현장 문제들을 해석하기 위하여 보다 신뢰성 있고 경제적인 해석 방법이 요구되고 이런 효율적인 알고리즘을 개발하기 위해선 아직도 많은 노력이 필요하다.

박판성형 공정은 가공 중에 소재의 손실이 적고 가공시간이 짧아 낮은 가격으로 대량생산이 가능하며, 무게에 비해 강도가 높고 표면특성이 우수한 장점이 있으므로 자동차산업, 항공산업, 전자부품산업과 주방용품 산업 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 불균일, 공구각부의 조합, 표면 및 윤활 상태, 성형속도 등이 변형에 영향을 미치기 때문에 그 물리적 현상을 정량적으로 파악하기는 매우 어려우므로 복잡하고 불규칙적인 곡선형상들 과 박판과 다이 사이의 비교적 큰 상대적인 변위 등의 실질적인 산업현장 문제들을 해석하기 위하여 보다 신뢰성 있고 경제적인 해석방법이 요구되고 이런 효율적인 알고리즘을 개발하기 위해선 아직도 많은 노력이 필요하다. 해의 효율성과 강건성(robustness)은 매우 중요한 요인이다.[1,2]

* 제주대학교 기계에너지생산공학부 교수

** 제주대학교 기계공학과 대학원

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 활발히 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 Kubli 교수가 개발한 Autoform이 있는데 내연적 방법임에도 불구하고 굽힘을 고려하는 박막요소와 적응 자동요소생성(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 Autoform 프로그램을 사용하여 2차 해석결과 [8]에서 나타난 문제점을 보완하기 위해 Bead의 사각을 적용시키고 부분Bead높이를 수정하여 그 결과를 알아보고자 한다.

II. 본 론

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 절점 좌표계(convected coordinates)를 나타내고, θ^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_α 와 그 역인 E^α 로 나타내었다. 마찬가지로, 변형된 물체에서의 기본 벡터들은 e_α 와 그 역인 e^α 로 표시하였다.

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

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

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

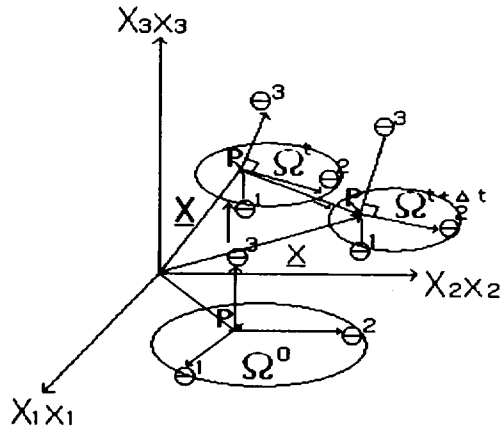


Fig. 1 변형과정의 극좌표시스템

변형전의 형상에서 변위벡터 u 는

$$u = u^a E_a = u_a E^a = u_1 E^1 \tag{4}$$

여기에서 $u = G^{ab} u_b$ 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.

$$\varepsilon = \varepsilon_{ab} E^a E^b = \varepsilon^{ab} E_a E_b \tag{5}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ab} &= \frac{1}{2} (g_{ab} - G_{ab}) = \\ &= \frac{1}{2} (u_{a,b} + u_{b,a} + u_{\gamma,a} u_{\gamma,b}) \\ &= \frac{1}{2} (u_{ab} + u_{ba} + u^{\gamma}_{,\alpha} u_{\gamma,\beta}) \end{aligned} \tag{6}$$

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

$$\varepsilon_{ab} = e_{ab} + n_{ab} \tag{7}$$

여기서, $e_{ab} = \frac{1}{2} (u_{a,b} + u_{b,a})$

$$\tau_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} \epsilon_{\alpha\beta} u_{\nu,\beta}$$

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

$$\begin{aligned} & \int_{V_0} \Delta S^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV + \int_{V_0} \tau^{\alpha\beta} u^{\nu, \alpha} \delta u^{\nu, \beta} dV \\ & = \int_{S_0^i} t_1^{(t_0+\Delta t)} \delta u_i dS - \int_{V_0} \tau^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV \end{aligned} \quad (8)$$

(8)식의 자세한 유도과정은 Shin과 Yang [4]의 논문 부록에 수록되어 있다. 또한 구성방정식이 2차 Piola-Kirchhoff 응력증분과 라그랑지언 변형율과의 관계식으로 주어졌다면,

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

식(9)에 관한 자세한 수식화도 Shin과 Yang[4]의 논문 부록에 수록되어 있고, Hill의 이방성 항복함수(anisotropic yield function)를 만족하는 정상상태이고 일관성을 유지하는 구성텐서의 성분 $L^{\alpha\beta\nu\rho}$ 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.

$$\begin{aligned} & \int_{V_0} L^{\alpha\beta\nu\rho} e_{\alpha\beta} \delta e_{\nu\rho} dV + \int_{V_0} \tau^{\alpha\beta} \frac{\partial u_i}{\partial \theta^\alpha} \cdot \frac{\partial u_i}{\partial \theta^\beta} dV \\ & = \int_{S_0^i} t_1^{(t_0+\Delta t)} \delta u_i dS - \int_{V_0} \tau^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV \end{aligned} \quad (10)$$

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.

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

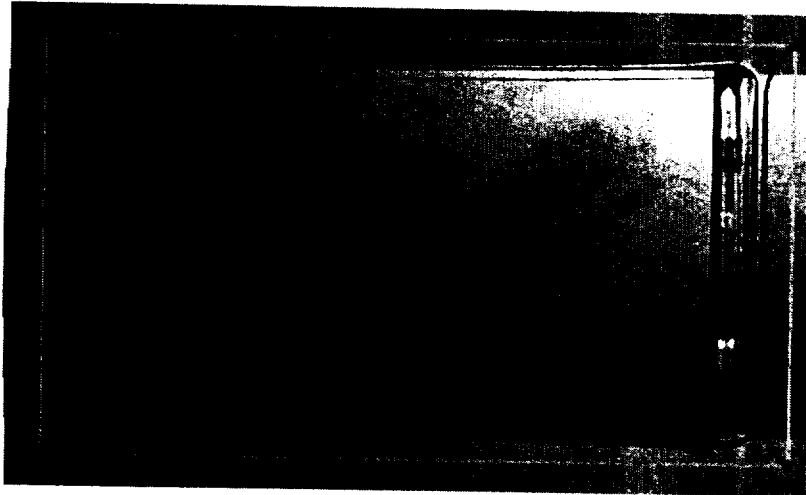
$$(\tau^{\alpha\beta})^{(t_0+\Delta t)} = (\tau^{\alpha\beta})^{(t_0+\Delta t)} \quad (12)$$

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 성형해석을 수행하였다. 해석에 사용된 재료는 다음과 같다.



Material	: SPCD
Thickness	: 0.7 t
Cushion Stroke	: 150 mm
Cushion 입력	: 130 ton
Blank Size	: 도면 참조
Draw Bead	: 사각 Bead (R3, H4)

Fig. 2 INPUT 조건

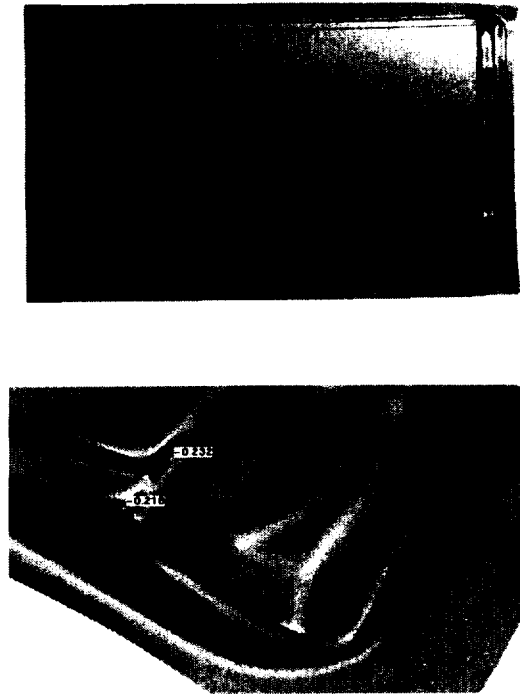
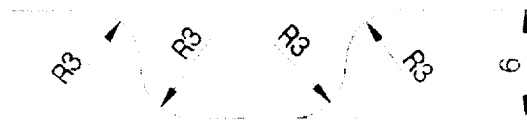
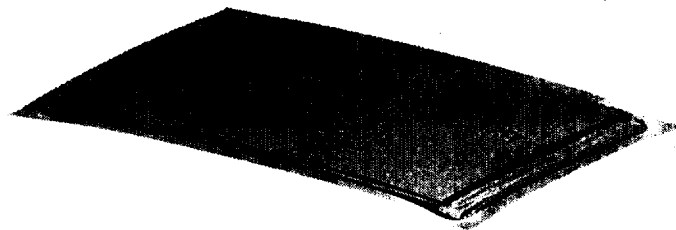
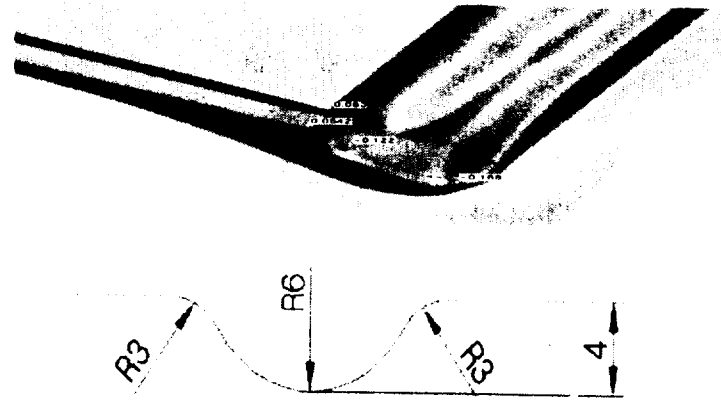


Fig. 3 2차 성형해석에서의 두께 감소율

2차성형결과[8]에서 나타난 파단은 A부위에서 나타나고 1차 성형결과[7]보다 약 16% 좋아 짐을 볼 수 있으며 소재유입을 증가 시킬 경우 제품품질을 저하 시킨다.



Bead 사각 적용



Bead 높이수정

Fig. 4 3차 성형해석에서의 두께 감소율

1, 2차 해석결과[7, 8]보다 좋아짐을 볼 수 있으며, 소재유입을 증가 시킬 경우 제품품질이 저하된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 프레스 금형 성형해석 상용프로그램인 Autoform을 사용하여 2차 해석결과[7]에서 나타난 문제점을 보완하였다. 보완방법으로는 Bead의 사각을 적용시키고 부분Bead높이를 수정하였으며, 그 결과 1, 2차 해석결과 [7, 8]보다 많은 보완이 이루어졌다. 또한 파단 해소를 위한 소재 유입을 늘이면 제품의 주름경향은 더욱 강해지므로 파단 감소를 위한 소재유입량은 늘리는 것은 바람직하지 못하다는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 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.
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. 이재석, 1999, 가상실험기술, 충북대학교 건설기술 연구소, pp.4-5.
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., vol.25, pp.253-367.
6. Mattiason, K., 1985, Numerical Simulation of Stretching Processes, SIMO P-I, Editor Lange. K., Proc. of the 1. Int. Workshop, Stuttgart, pp.170-213.
7. 정동원, 안현길. 2004. "One-Step 이론을 이용한 Roof 판넬 해석에 관한 1차 연구(First-Step Study of Analyzing Roof Panel Using One-Step Theory)",
해양과 환경연구소 심사 중.
8. 정동원, 안현길. 2004. "One-Step 이론을 이용한 Roof 판넬 해석에 관한 2차 연구 (Second-Step Study of Analyzing Roof Panel Using One-Step Theory)",
첨단기술 연구소 심사 중.