

정적-내연적 이론을 이용한 Cowl Top Otr 판넬 해석에 관한 연구

정 동 원* · 안 현 길** · 고 형 훈** · 문 원 섭***

A Study of Analyzing Cowl Top Otr Panel Using Static-Implicit Theory

Dong-Won Jung* · Hyun-Gil Ahn** · Hyung-Hoon Ko** · Won-Seob Moon***

ABSTRACT

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

Key Words : Static-Implicit finite element method, auto-body panel stamping, forming stage, AutoForm

1. 서 론

박판 금속성형은 금속 판재를 이용하여 다양하고, 비교적 복잡한 형상의 제품을 만드는 것으로써 저렴한 소재, 제품의 높은 비강도, 대량 생산성 등의 큰

장점으로 인해서 현대 산업에 폭 넓게 적용되어지고 있는 분야이다. 하지만 대부분의 박판 성형물은 제조 공정 중에 커다란 소성변형을 수반하게 되어 판재의 파단, 형상불량 등의 가공결함이 발생하게 된다.

복잡하고 불규칙적인 곡선 형상들과 박판과 다이 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(efficiency and robustness)은 매우 중요한 요인이다[1,2].

일반적으로 박판성형 공정은 준정적(quasi-static)

* 제주대학교 기계·에너지·메카트로닉스학부, 첨단기술연구소
Faculty of Mechanical, Energy & Mechatronics Eng., Res. Inst. of Adv. Tech., Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 대학원
Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

*** (주)Dieart
DIEART CO., LTD.

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 쓰이고 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 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 매우 경제적인 해석작업이 가능하도록 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 벡

터들은 e_α 와 그 역인 e^α 로 표시하였다.

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

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

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

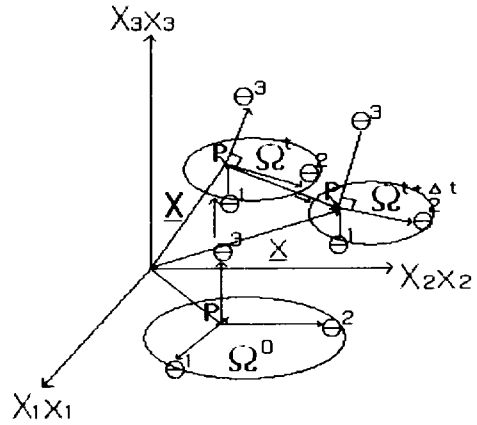


Fig. 1 Polar coordinates system of transformation process.

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 기호들은 절점 좌표계를, 라틴 기호들은 직교 카티션 좌표계(rectangular cartesian coordinates)를 나타낸다. 절점좌표계에서 라그랑지안 변형을 텐서(lagrangian strain tensor) ϵ 는 다음과 같이 표시될 수 있다.

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

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

여기에서 콤마는 변형되지 않은 행렬에 관하여 공변미분(covariant differentiation)을 나타낸다. 라그랑지안 응력텐서를 선형부와 비선형부로 나누면, 아래의

(7)식과 같이 나타낼 수 있다.

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

$$\begin{aligned} \text{여기서, } e_{\alpha\beta} &= \frac{1}{2} (u_{\alpha,\beta} + u_{\beta,\alpha}), \\ \eta_{\alpha\beta} &= \frac{1}{2} \gamma_{\gamma,\alpha} u_{\gamma,\beta} \end{aligned}$$

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

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

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 $L^{\alpha\beta\gamma\rho}$ 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 경우

가 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.

본 연구에서는 Autoform 프로그램을 사용하여 Cowl Top Otr 판넬을 성형해석 하였으며 해석된 결과에 따른 문제점과 해결방안을 살펴보았다.

III. 성형결과 해석

위에서 수식화 된 결과에 따라 3차원 성형해석을 수행하였으며, 해석에 사용된 입력조건은 다음과 같다.

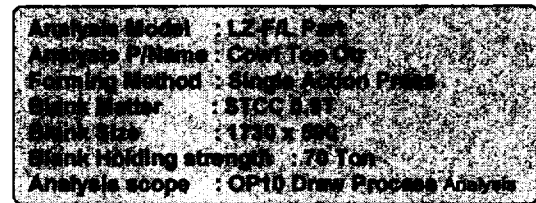


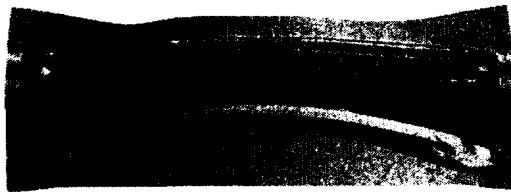
Fig. 2 Input condition.



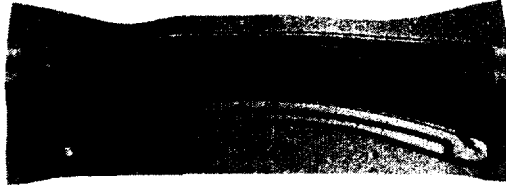
(a) Early binding result



(b) Before lower post point 20mm



(c) Before lower post point 10mm



(d) Before lower post point 0mm

Fig. 3 Deformed shape of each punch stroke.

Fig. 3 에서 펀치행정(STROKE)별 성형과정을 초기 Binding, 하사점 20mm전, 하사점10mm전, 하사점0mm 전으로 나누어 변형형상을 살펴보았다.

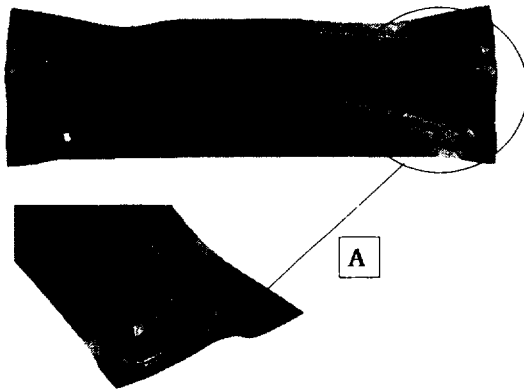


Fig. 4 The thinning distribution.

Fig. 4의 A와 같이 하사점0mm의 변형상태에서 부분적으로 파단이 생기며, 현 상태에서는 제품R의 변형이나 Over Draw의 적용이 필요할 것으로 판단되어진다.



Fig. 5 Formability distribution.

Fig. 5는 파단 발생이 제품의 모서리 부위에서 발생하는 것을 보여주고 있으며 현 공법의 가장 큰 문제점은 B구간과 같이 제품 내에 충분한 신율이 발생하지 않아 제품의 강성이 부족할 가능성이 높아 이에 대한 대책이 필요하다.

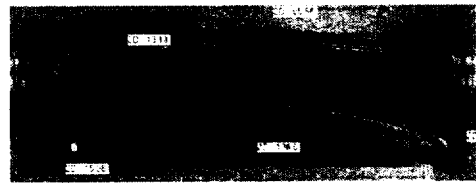


Fig. 6 Inflow of manufacture.

Fig. 6은 블랭크에서 최종블랭크까지의 거리 유입량을 나타내고 있으며, 하단부에서는 유입량이 작아 트리밍공정 후 버려지는 소재량이 많아 초기 블랭크형상에 대한 수정이 필요할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서 Cowl Top Otr 판넬을 성형해석 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 파단은 각 코너부위에서 일어났으며 제품R의 변형이나 Over Draw의 적용이 필요할 것으로 나타났다.
2. 부분적으로 주름의 발생가능성을 보여주고 있으며 특히 외곽 다이페이스부위에서 높은 주름발생 가능성이 보여 졌다.

3. 제품 하단부에 충분한 신율이 발생하지 못하여 Draw Bead 추가와 초기블랭크의 수정이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) D. Y. Yang, D. W. Jung, I. S. Song, D. J. Yoo and J. H. Lee, 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) D. W. Jung, D. J. Yoo, and D. Y. Yang, 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) H. B. Shim, D. Y. Yang, 1990, An elastic-plastic finite element analysis is on hydrostatic bulging of rectangular diaphragms by using layered degenerated Shell Element, Int. J. Mech. SDI., vol. 32, pp.49-64.
- 5) N. M. Wang, S. C. Tang, 1988, Analysis of bending effects in sheet forming operations, Int. J. for Num. Mech. in Eng., vol.25, pp.253-367.
- 6) K. Mattiaso, 1985, Numerical simulation of stretching processes, SIMOP-I, Editor Lange. K., Proc, of the 1. Int. Workshop, Stuttgart, pp.170-213.