

탄소성 정적해석시 해에 미치는 여러 인자들의 비교연구

윤용석*, 박종진**

A Comparative Study on Elastic-Plastic-Static Analysis of Sheet Metal Forming

Y.S.Yoon and J.J.Park

Abstract

A series of parametric study was performed for the investigation of the influence of several analysis parameters to the solution behavior in the elastic-plastic-static analysis of sheet metal forming. The parameters taken into the consideration in the present study are finite element, mesh distribution and numerical integration scheme. The elastic-plastic-static analysis was performed for two cases: deflection by a point force bending by a punch. Results obtained with different selections of the parameters were compared with each other, experimental measurements and analytical solutions.

Key Words : sheet metal forming, finite element method, elastic-plastic analysis, static analysis, mesh distribution, integration scheme

1. 서 론

판재성형시 사용된 금형과 공정조건이 알맞지 않으면 성형된 부품이 주름, 파괴, 부정확한 치수 등에 의한 결함을 갖게 된다. 일반적으로 금형과 공정조건은 경험이 많은 성형전문가에 의하여 몇 번에 걸친 시행착오를 거쳐서 완성된다. 최근에는 시행착오를 최소화하고 금형과 공정조건을 최적화하기 위하여 유한요소 해석기술을 많이 응용하고 있다. 하지만 판재성형에 대한 유한요소 해석 기술은 사용된 변형해석이론에 따라 결과가 다르게 나타난다^[1-3].

본 연구에서는 상용 ABAQUS의 탄소성 정적해석 프로그램^[4]을 이용하여 요소의 종류, 요소망 구성, 수치 적분에 따른 해석결과와 차이를 비교하고 분석하였다. 먼저 평면변형률 조건과 축대칭 조건 하에서 집중하중에 의한 굽힘을 해석하고 이론결과와 비교하였으며, 그리고 평면변형률 조건하에

서 펀치에 의한 굽힘을 해석하고 실험결과와 비교하였다.

2. 집중하중에 의한 굽힘 해석

판재는 aluminum-killed steel이며, 두께는 1.5mm, 길이는 200mm, 탄성계수는 211GPa, 포아송비는 0.3이다. 초기 항복강도는 91.3MPa이고 유동응력식은 $\sigma = 513 \epsilon^{0.223}$ (MPa)이다. 평면변형률 조건으로 가정하였으며, 변형이 좌우대칭이므로 판재의 오른쪽 반을 해석하였다. 탄성 해석에서는 1.2N/mm, 탄소성 해석에서는 200N/mm의 하중을 판재의 중심부에 가하였다. 해석결과를 비교하기 위하여 다음과 같은 양단지지 보의 처짐식^[5]을 이용하였다.

$$y_{\max} = \frac{Pl^3}{192EI}$$

여기서 P 는 하중, l 은 판재길이, E 는 탄성계수, 그리고 I 는 단면 2차 모멘트를 의미한다. 해석에 사용된 요소 및 요소망 구성은 Table 1에 나타내었으며 4절점 요소는 정규적분과 감차적

* ATES 연구원

** 홍익대학교 기계공학과

분으로 나누어서 수행하였다.

Fig.1(a)에는 탄성변형에서 판재 중심부의 처짐량을 도시하였다. 3절점-삼각형 요소를 사용한 경우에는 요소의 과대강도 현상이 나타났으며 두께 방향으로 요소층을 증가시켜도 결과가 향상되지 않는 것을 볼 수 있다. 4절점-사변형-1요소층-감차적분의 경우는 이론해와 큰 차이를 보이고 있으나 두께 방향의 요소층이 증가할수록 이론해에 접근하고 있다. 4절점-사변형-1요소층-정규요소, 4절점-사변형-4요소층-감차적분, 6절점-삼각형, 4절점-셸 요소가 이론해에 비교적 근사한 결과를 나타냈다.

Fig.1(b)에는 탄소성변형에서의 판재 중심부의 처짐량(w_{max})과 탄성회복 후 중심부의 처짐량(w'_{max})을 도시하였다. 3절점-삼각형 요소를 제외하고는 각 경우간의 처짐의 차이가 작았으며, 두께 방향으로의 요소층의 증가도 차이가 나타나지 않았다. 하지만 4절점-사변형-1요소층-감차적분의 경우는 탄성회복량이 다른 경우에 비하여 크게 나타났다.

3. 편치에 의한 굽힘 해석

판재굽힘은 몇 가지 난점을 포함하고 있으며, 대표적인 것이 탄성복원 현상이다. 본 연구에서는 알루미늄 합금 2024-T3와 AISI 1010의 두 가지 재료에 대하여 편치에 의한 굽힘시 발생하는 탄성회복량을 분석하였다. 해석에 사용된 판재는 두께가 2.5mm, 길이는 200mm, 편치반경은 6.25mm, 다이반경은 12.5mm이다. 평면변형률로 가정하였고 해석결과를 비교하기 위하여 참고문헌^[6]의 실험결과를 이용하였다. 재료의 물성치는 Table 2에 나타내었다. Fig.2에 굽힘시와 편치제거시의 변형을 도시하였다.

Fig.3에는 정규적분과 감차적분을 사용하였을 경우에 해석결과의 차이를 도시하였다. 4절점-1요소층-감차적분의 경우는 굽힘강성이 낮기 때문에 실제의 굽힘 현상을 제대로 표현하지 못하는 것으로 판단된다. Fig.4 에는 굽힘각에 대한 탄성회복각을 실험결과와 비교하였는데 4절점-1요소층-정규적분을 사용한 경우가 좋은 결과를 보였으며, 4요소층 및 셸 요소의 경우도 양호한 결과를 나타내었다. 그러나 4절점-1요소층-감차적분의 경우는 굽힘시 발생한 응력이 항복강도보다

작게 평가되어 편치제거시 원상태로 완전히 탄성회복되었다. 탄성회복량은 항복강도와 탄성계수에 의존하므로 해석결과로 나타난 것과 같이 강이 알루미늄 합금보다 작은 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 판재성형의 정적 유한요소 해석시 요소의 종류, 요소망 구성, 수치적분 방법이 해석결과에 미치는 영향을 비교하고 분석하였다. 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 요약할 수 있다.

(1) 4절점-1요소층-감차적분의 경우는 집중하중에 의한 변형해석시 과도한 처짐을 보였으며 탄성회복시에도 다른 경우에 비하여 과대하게 나타났다. 그러나 요소층을 증가시킨 4절점-4요소층-감차적분의 경우는 양호한 결과를 보였다. 4절점 요소는 인장이 주 모드인 경우에는 요소층의 증가나 적분방법에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 따라서 인장이 주 모드인 경우에는 4절점-1요소층-감차적분의 경우가 효율적이며 양호한 결과를 나타낼 것으로 판단된다.

(2) 굽힘이 많이 발생하는 변형을 해석할 경우에는 1요소층-감차적분은 정확하지 못하며, 1요소층-정규적분의 경우는 약간 부정확한 것으로 나타났다. 따라서 굽힘변형 해석의 정확도를 향상시키기 위해서는 두께방향으로의 요소층의 수를 증가시켜야 한다.

(3) 3절점-삼각형 요소는 모두 과대강도 현상을 나타냈으며 이론결과 및 실험결과와의 차이가 매우 크게 나타났다. 그러므로 판재성형 해석에는 3절점-삼각형 요소가 바람직하지 않다. 반면에 6절점-삼각형 요소와 셸 요소의 해석결과는 모든 해석에서 양호한 결과를 나타내었다. 특히 셸 요소는 인장과 굽힘, 탄성과 탄소성 변형해석에서 모두 양호한 결과를 나타내었으며 해석에 사용된 시간도 연속체 요소에 비하여 매우 작았다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

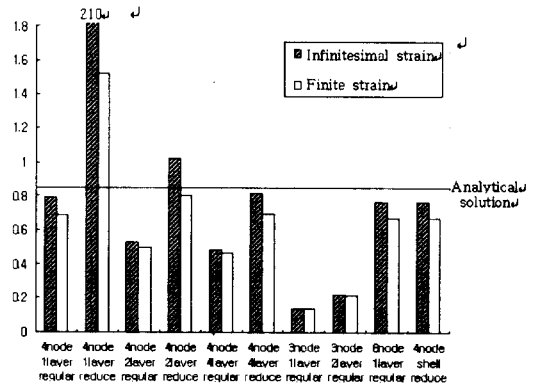
- [1] D. Y. Yang, D. W. Jung, I. S. Song, D. J. Yoo and J. H. Lee, 1993, "Comparative investigation into implicit, explicit and iterative implicit/explicit schemes for simulation of sheet metal forming processes," Proc. NUMISHEET'93, pp.35-52, 1993
- [2] M. Kawka and A. Makinouchi, "Finite element simulation of sheet metal forming processes by simultaneous use of membrane, shell and solid elements," Proc. NUMIFORM'92, pp.491-496, 1992
- [3] E. Nakamachi, 1993, "Sheet forming process characterization by static-explicit anisotropic elastic-plastic finite element simulation," Proc. NUMISHEET'93, pp.109-123, 1993
- [4] Hibbit, Karlsson & Sorensen, ABAQUS Theory Manual, Rev.5.5
- [5] S. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, "Theory of Plate and Shells," McGraw-Hill International Editions, pp.63-69, 1997
- [6] 부산대학교, ERC/NSDM 최종보고서, "금속판재를 이용한 정밀성형에 대한 연구," 1997

Table 1. Selections of mesh, element and integration scheme

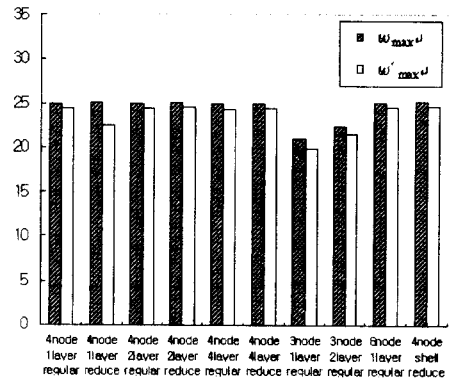
$l \times t \times w$	Element	Integration
$50 \times 1(2,4) \times 1$	4-node bilinear quadrilateral	regular
$50 \times 1(2,4) \times 1$	4 node bilinear quadrilateral	reduced
$100 \times 1(2) \times 1$	3 node linear triangle	regular
$100 \times 1 \times 1$	6-node quadratic triangle	regular
$20 \times 1 \times 1$	4 node linear shell	reduced

Table 2. Material properties of Al-2024-T6 and AISI-1010

	Al-2024-T6	AISI-1010
Young's modulus(GPa)	87	200
Poisson's ratio	0.33	0.33
Yield stress(MPa)	281	146
Flow stress(MPa)	$\bar{\sigma} = 879.5 (0.0001 + \bar{\epsilon})^{0.2}$	$\bar{\sigma} = 715.2 \bar{\epsilon}^{0.22}$



(a) Elastic Deformation



(b) Elastic-Plastic Deformation

Fig.1 Deflection at the center under plane strain condition (mm)

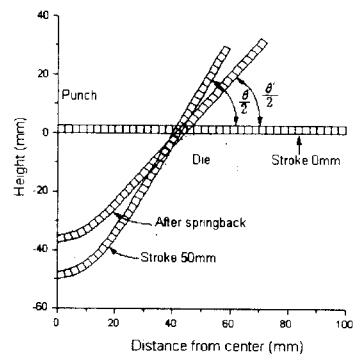


Fig.2 Schematic drawing of deformed shapes for loading and unloading

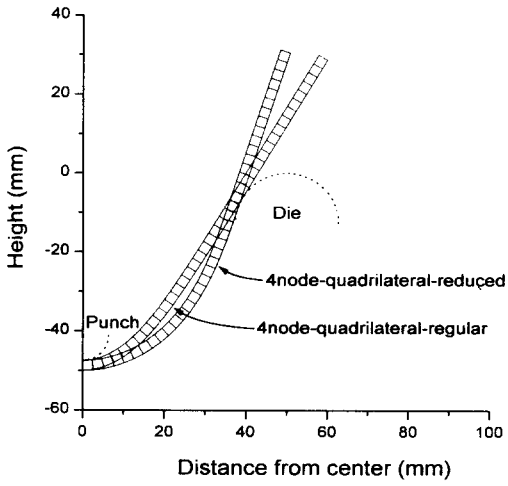
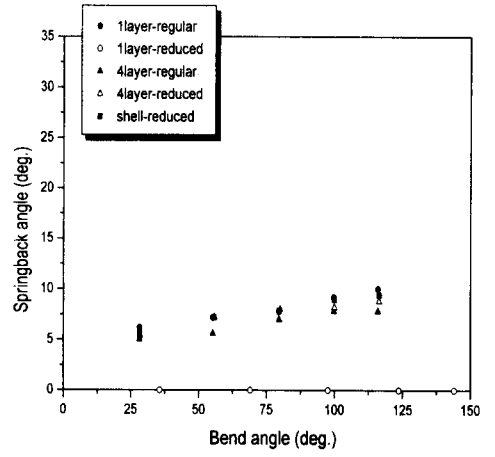
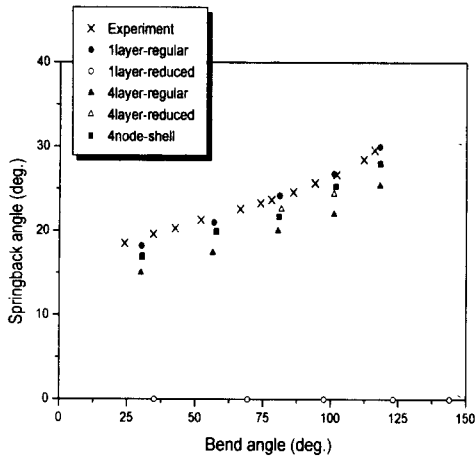


Fig.3 Comparison of deformed shape regular integration with reduced integration



(b) AISI-1010

Fig.4 Comparison of predicted springback angle for bend angle with experimental measurement



(a) Al-2024-T3