

중공 각재의 프레스 굽힘 변형 특성

이효영¹, 김기성², 허관도[#]

A Characteristics of Bending Deformation in Hollow Rectangular Tube by Press Die

H. Y. Lee, K. S. Kim, K. D. Hur

Abstract

In the recent years the using of low-density material such as high-strength Al alloy on the various industries is becoming light-weight. High strength and hollow Al alloy is good material for stiffness and recycling. Therefore the advanced manufacturing technology with Al alloy is continuously required in many industrial fields. In this study simplified hollow rectangular section of Al alloy is analyzed by FE analysis. Bending stress is affected punching and rotating of wing-die. The analysis of press bending is preformed at first. The elastic recovery value of component and stress distribution acting from the result of the bending angle of three types were obtained. The designed processes were analyzed by the commercial FE code, Deform-3D. Forming dies for each process were designed and prototypes were manufactured by the verified forming process. Some of the important features of design parameters in the press bending were reviewed.

Key Words: Al(알루미늄), Extruded profile(압출재), Press bending(굽힘 가공), Light weight(경량화), Elastic recovery(탄성회복), Wing-die(윙-다이)

1. 서 론

최근 여러 산업분야에는 경량화를 목적으로 알루미늄 소재의 사용이 증가하고 있다. 특히 연비 향상을 위해 알루미늄 차체를 적극 지향하는 자동차, 항공 산업분야에서 활발한 연구가 진행중에 있다. 기존의 차체 경량화를 위한 일반적인 방법에는 냉연강판을 판재성형 후 용접하거나 알루미늄 압출재(Extruded profile)를 직접 성형하여 프레임 개발하는 방법 등이 있었다. 냉연강판을 이용한 성형방법은 중량대비 강성이 높은 이점이 있으나 재활용에서 어려운 점이 있다. 반면 고강도 알루미늄 중공 압출재의 경우는 강성이 높으

며 80%이상 재활용이 가능하여 매년 증가하고 있는 추세이다. 이러한 알루미늄 압출재에 대한 실험 및 해석을 통해 국부 좌굴, 주름 및 처짐 등의 결함 제거 및 방지를 위한 연구가 현재 이루어지고 있다.

본 연구에서는 차체에 사용되는 프레임을 단순화한 알루미늄 중공 각재에 프레스 밴딩을 적용하여 펀치의 굽힘각에 따라 발생하는 소재의 변형특성에 대한 연구를 수행하였다. 모든 공정을 유한요소해석코드인 DEFORM-3D를 이용하여 성형해석 하였으며 윙-다이(wing-die)에 의해 회전하도록 구성된 금형에서 압출재의 굽힘 각도에 따른 굽힘 변형특성을 변형률과 변위에 대해 비교 검토한 후 탄성회복을 예측하고자 하였다.

1. 동의대학교 기계공학과 일반대학원

2. 동의대학교 기계공학과

교신저자: 동의대학교 기계공학과

E-mail: kdhur@deu.ac.kr

2. 실험장치 및 금형설계

2.1 알루미늄 압출재

해석에 사용된 알루미늄 압출재는 Al 6063을 선택하였다. 해석에 사용된 유한요소는 중공 각재로 두 개의 작업평면을 축 대칭으로 갖는 전체 1/4 크기의 단순화된 모델만을 사용하였다. 해석 모델의 단면 치수와 형상은 Fig. 1과 같다.

2.2 금형 구조

굽힘 실험에 사용되는 금형모델은 3차원 CAD 시스템에서 설계하고 파일 변환하여 DEFORM-3D에 입력하였다.

Fig. 2에는 펀치의 굽힘 각도에 따른 윙-다이의 접촉관계를 2차원 형상으로 나타낸 것이다. 펀치는 10°, 20°, 30°의 세 가지 모델을 설정하였으며 각각의 모델은 모두 동일한 이동속도로 소재를 가압하게 된다. 금형은 굽힘부를 중심으로 일정한 반경을 유지한 채 설계되었다. 이것은 고정된 원지름을 활용함과 동시에 펀치에 의한 회전점과의 간섭을 피하기 위함이다. 이후 펀치는 윙-다이의 회전과 함께 경사면에서 접하는 시점까지 수직 이동하게 된다.

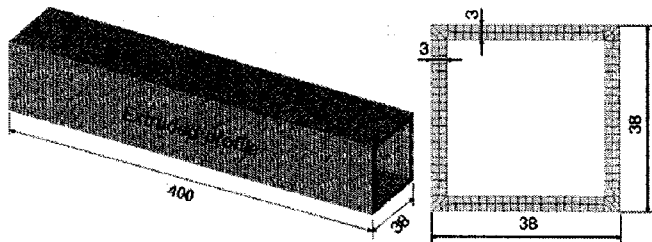


Fig. 1 Dimension of the hallow rectangular tube

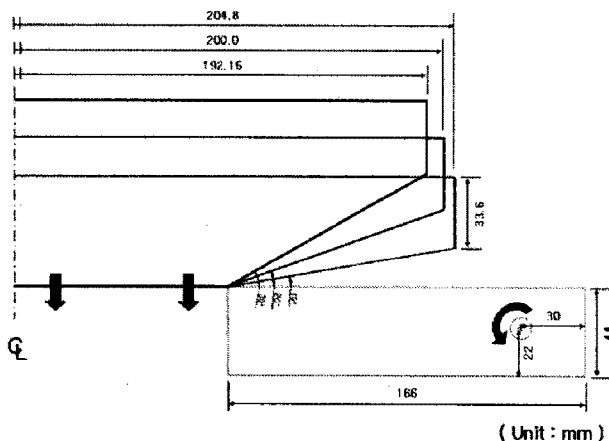


Fig. 2 Schematic diagram for bending deformation

3 공정 검토와 성형해석

3.1 굽힘성형 실험

Fig. 3은 굽힘성형 해석을 하기 위한 전체적인 금형 형상을 나타내고 있다. 그림과 같이 중앙부 펀치와 홀더가 수직으로 이동하여 소재를 밀게 되면 소재는 다시 양쪽 윙-다이를 밀고 윙-다이는 원지로 고정되어 있으므로 펀치의 이동과 윙-다이의 회전에 의해 압출소재를 굽힘 성형한다. 이때 중앙부 펀치의 수직 가압속도 및 이동거리를 구하고 이에 따른 윙-다이 회전 각속도를 구하는 것이 가장 중요하다. 특히 급격한 회전을 방지하기 위해서 실제 금형에는 스프링 등을 이용하여 지지하게 되고 중앙부 펀치의 이동량에 따라 윙-다이가 펀치에 접촉하여 이동하게 된다.

비선형 해석상에서 이러한 접촉관계를 고려하기 위해 펀치의 이동속도에 따른 윙-다이의 이동 각속도를 계산 후 윙-다이의 강제 회전조건으로 설정하였다.

Table 1의 알루미늄 재료는 성형해석에 사용된 재료 물성치로써 굽힘 변형 후 재료의 변형량이나 파손 등을 비교 판단하는데 활용하고자 한 것이다.

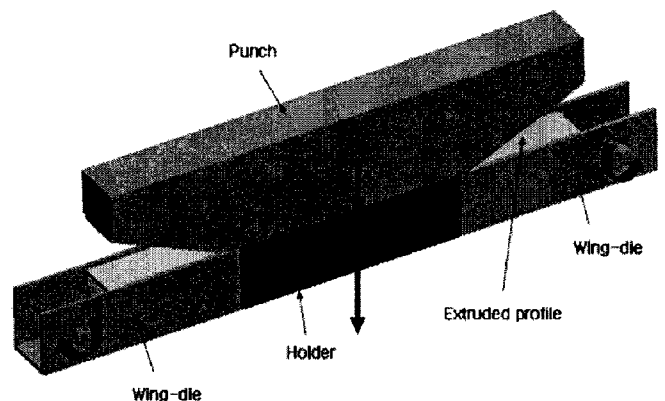


Fig. 3 Wing-die press bending

Table 1 Mechanical properties of Al 6063

Materials	Range	Unit
Modulus of Elasticity	68.9	MPa
Poisson's ratio	0.33	-
Ultimate Tensile Strength	89.6	MPa
Tensile Yield Strength	48.3	MPa

3.2 굽힘각에 따른 변형 해석

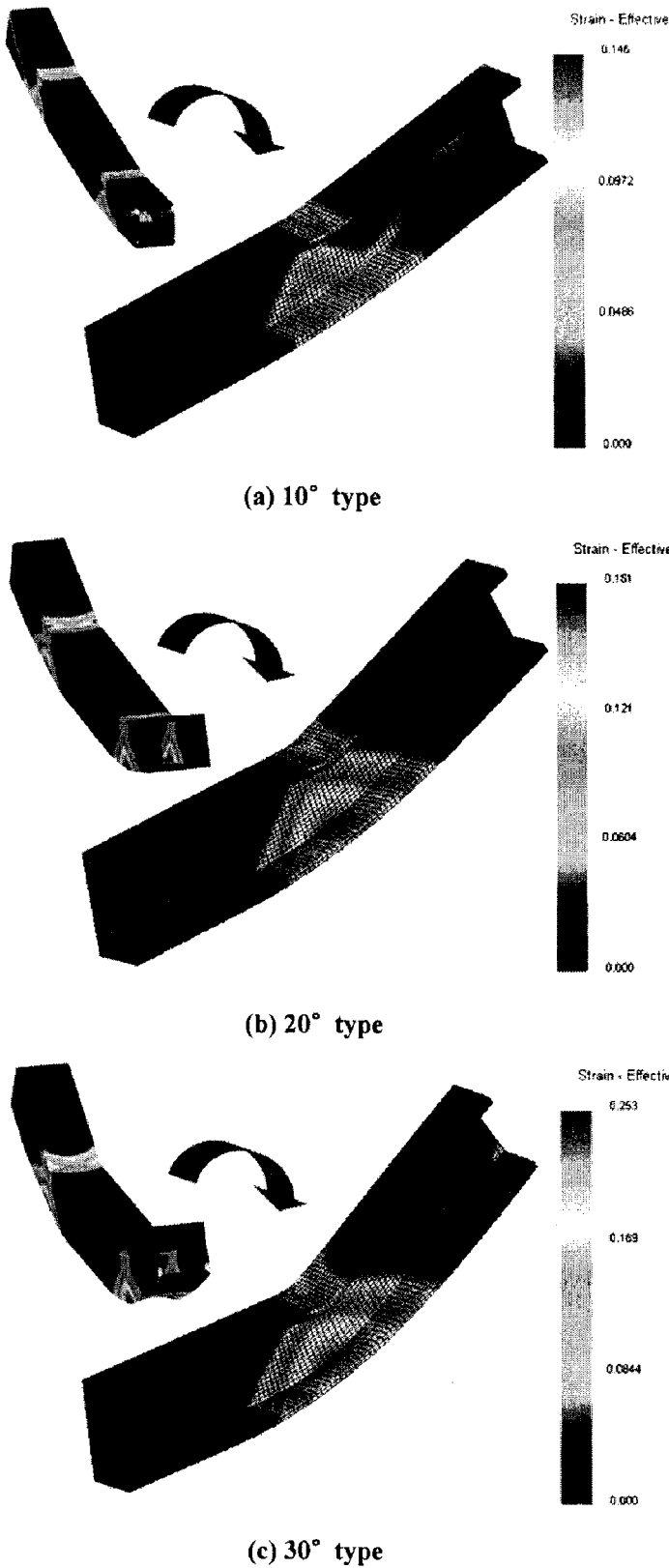


Fig. 4 Distribution of the Effective strain by the wing-die bending process

Fig. 4는 굽힘 각도에 따른 유효변형률을 나타낸다. 소재의 변형은 펀치의 굽힘부를 중심으로 주변에 고르게 발생하며 소재의 전체적인 변형보다는 굽힘부에서만 변형을 나타내는 것을 볼 수 있다. 특히 최대 굽힘각인 30° 일 때 유효변형률의 최대값이 0.253 정도로 낮은 상태임을 알 수 있다. 바깥쪽은 소재가 인장되면서 중공 소재 안쪽으로 소재가 함몰되기도 한다. 변형되는 영역이 작고 변형부 외의 치수 변화가 작으므로 제품의 치수 정밀도가 높다.

Fig. 5는 각 굽힘에 따른 탄성 회복량을 scale 1의 형태로 알아본 것이다. 각각의 변위는 최대 10° 일 때 0.704 mm, 20° 일 때 0.895 mm, 30° 일 때 0.99 mm로 나타난다.

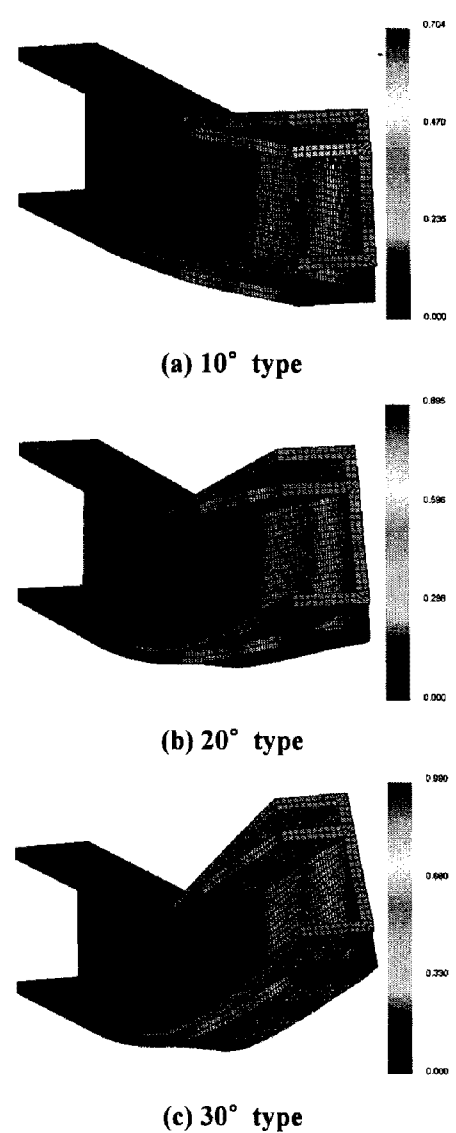


Fig. 5 Distribution of the Displacement by the wing-die bending process

4. 결과 및 고찰

Table 2 Result value of simulation

Elastic recovery	Simulation results	Bending degrees		
		10°	20°	30°
Before	Effective strain	0.146	0.181	0.253
	Effective stress	71.7	74.1	81.4
After	Displacement	0.704	0.895	0.99
	Plastic Strain	0.146	0.181	0.253
	Elastic Strain	0	0	0
	Effective stress	53.8	55.4	52.1

Fig. 5에 나타난 탄성회복의 해석결과 굽힘각이 커질수록 탄성회복에 따른 변형량은 커짐을 알 수 있다. 편치와 원-다이의 단순 굽힘은 직접적인 가압성형이 아닌 소재를 안내하는 역할을 함으로써 소재에 집중하중을 부여하지 않기 때문에 제품의 표면 결함이나 국부적인 결함의 발생을 방지하게 되는 것이다.

Table 2는 유한요소해석에 의한 중공 각재의 성형 결과값이다. 이 경우 탄성회복 구간에 속하는 세 가지 굽힘 조건들은 다소 선형적인 양상을 보인다. 이와 관련하여 다항회귀분석을 통해 각 굽힘각에 따른 변형량을 일반화 하는 식을 만들 수 있다. 실제로 굽히고자 하는 각도를 탄성회복을 고려하여 예측할 수 가 있으며 다음과 같은 식으로 제안하였다.

$$y = A + B * x$$

이 때, x는 굽힘각, y는 변형량을 나타내며 A는 value 0.429, error 0.05801 B는 value 0.1427, error 0.01367 이다. 굽힘 최종단계에서의 탄성회복 후 Elastic Strain 이 0 값을 나타내는 것은 탄성회복이 되었음을 나타낸다.

최초의 굽힘각 설정은 세 가지 경우로 제한하였는데 이것은 굽힘각 30° 를 기점으로 성형 후 소재의 극한강도 이상의 응력값이 발생하였고 원-다이 편치의 상당한 스트로크(stroke) 발생과 함께 구조상 충분한 접합이 이루어 질 수 없었음을 밝힌다.

5. 결론

본 연구에서는 알루미늄 중공 각재의 프레스 굽힘에 따른 소재의 변형특성에 대해서 연구를 수행하였다. 이와 관련하여 다음과 같은 결론을 내렸다.

(1) 원-다이에 의한 굽힘 성형결과 굽힘부 변형이 안정적이며 좌굴 정도가 낮음을 알 수 있다.

(2) 해석을 통해 얻은 데이터를 이용하여 탄성회복을 고려한 일반식을 제안할 수 있으며, 성형하고자 하는 굽힘각을 예측할 수 있으리라 기대된다.

(3) 본 연구결과인 중공 각재의 굽힘 변형 특성해석을 제품개발 등에 도입한다면 개발기간과 비용절감이 가능하리라 판단된다.

후 기

본 논문은 2007 학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(2007AA164).

참 고 문 헌

- [1] Vollertsen, F., Sprenger, A., Kraus, J. and Arnet, H., 1990, "Extrusion, Channel, and Profile Bending: a Review," J. Mater. Process. Technol., Vol. 87, pp. 1~27.
- [2] Welo, T. and Paulsen, F., 1996, "Application of numerical simulation in the bending of aluminum-alloy profiles," J. Mater. Process. Technol., Vol. 58, pp. 149~154.
- [3] Paulsen, F. and Welo, T., 2001, "Cross-sectional deformations of rectangular hollow sections in bending: Part I - experiments," Int. J. of Mech. Sci., Vol. 43, pp. 109~129.
- [4] Paulsen, F. and Welo, T., 2001, "Cross-sectional deformations of rectangular hollow sections in bending: Part II - analytical models," Int. J. of Mech. Sci., Vol. 43, pp. 131~152.
- [5] Paulsen, F., Welo, T. and Søvik, O. P., 2001, "A Design Method for Rectangular Hollow Section in Bending," J. Mater. Process. Technol., Vol. 113, pp. 699~704.