

굽힘 성형을 위한 금속 샌드위치 판재의 내부구조재 개발

성대용¹, 정창균¹, 윤석준¹, 심도식¹, 양동열[#], 이상훈², 안동규²

The Development of Inner Structure of Metallic Sandwich Plates for Bending

D. Y. Seong, C. G. Jung, S. J. Yoon, D. S. Shim, D. Y. Yang, S. H. Lee, D. G. Ahn

Abstract

Metallic sandwich plates are ultra-light materials with not only high strength and stiffness but also multifunctional. Inner dimpled shell structure can be fabricated by piecewise sectional forming process, and then bonded with same material face sheets by resistance welding. Tests have shown that sandwich plates with dimpled shell structure subject to bending have more collapse load, energy absorption and deflection before collapse than other types of sandwich plates. Consequently, inner dimpled shell structure can improve formability of sandwich plates for bending.

Key Words : Metallic sandwich plates(금속 샌드위치 판재), Inner structure(내부구조), Bending(굽힘 성형)

1. 서 론

금속 샌드위치 판재는 메탈 폼(metal foam)구조, 트러스 구조, 벌집구조, 직조금속 망구조, 딴플 구조 등의 다양한 내부구조 상하 양면에 표면판재를 저항용접이나 접착제로 접합한 경량 고강도/고강성 판재이다[1]. 특히 직조금속와 트러스형 내부구조 금속 샌드위치 판재는 무게 대비 강도/강성 측면에서 많은 이점을 가지고 있다. 그러나 탄성 결함 후 바로 붕괴하는 특성을 가지고 있어 샌드위치 판재의 굽힘 성형에 불리한 내부구조이다. 따라서 본 연구에서는 표면판재가 항복된 후 내부구조가 하중을 지탱하여 붕괴하기까지 변형량을 개선함으로써 굽힘에 의한 성형성을 높이기 위해 면재의 내부구조인 딴플형 내부구조를 제작하고 성형 가능성을 제시하고자 한다.

2. 딴플형 내부구조 샌드위치 판재의 제작

2.1 내부구조 제작공정

이론적 최적화 결과[2] 상하 동일 반경의 반구형 딴플이 굽힘 하중에 대한 최적형상이므로 반구형 딴플 내부구조를 제조하기 위하여 구분적 구획성형(Piecewise Sectional Forming)기법의 개념을 일부 원용하여 금형(40mm X 40mm)을 제작하였다 [3]. 구분적 구획성형은 금형 보다 큰 박판재료를 성형하기 위해 성형위치를 단계별로 변경하면서 성형하는 공정으로 작은 크기의 펀치와 다이 금형으로 원하는 크기의 시편을 성형하는 방법이다. 따라서 가로 40mm, 세로 40mm 넓이에 미세패턴이 가공된 금형으로 시편의 위치를 변경하면서 Fig. 1 와 같이 여러 단계로 성형하여 3 점 굽힘 시편(20mm X 160mm) 또는 충격시편(120mm X 120mm)등의 원하는 넓이에 내부구조를 복제 할 수 있다.

1. 한국과학기술원 기계공학과

2. 조선대학교 기계공학과

교신저자: 한국과학기술원 기계공학과, dyyang@kaist.ac.kr

설계변경을 고려하여 간의 펀치와 다이의 교체가 가능하도록 가이드 금형에서 펀치와 다이를 따로 설계하여 분리 및 장착이 용이하도록 하였다. 펀치보다 넓은 크기의 시편에 내부구조를 복제하기 위하여 성형된 시편 끝 부분을 다이의 패턴과 일치시켜 다음 단계의 성형을 위한 위치를 제어하였으며 마찰을 최소화하기 위하여 WD-40 윤활제를 사용하였다. 제작된 내부구조는 프레스를 통해 성형되어 두께편차가 3%이내의 정밀도를 가지며 롤 금형을 이용할 경우 대면적 내부구조를 대량생산 할 수 있다는 장점이 있다.

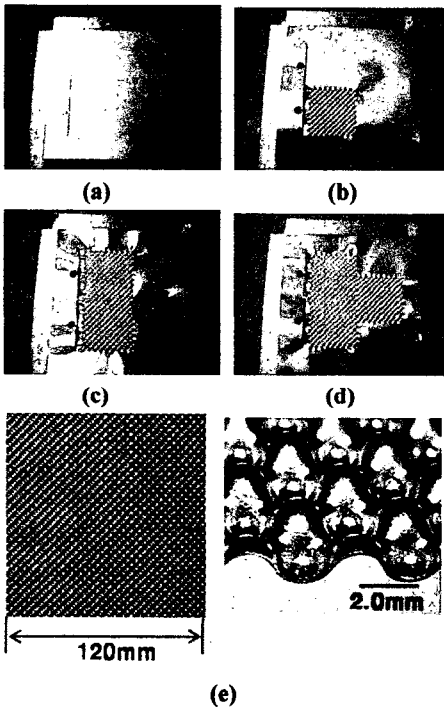


Fig. 1 Piecewise sectional forming process; a) Initial specimen b) 1st forming c) 2nd forming d) 3rd forming e) Inner dimpled shell structure

2.2 접합공정

박판을 성형하여 내부구조를 제작하고 내부구조 상하양면에 표면판재를 다점저항용접으로 접합하여 뒹플형 내부구조 금속 샌드위치 판재를 제작할 수 있다. 다점 저항용접은 표면판재와 내부구조에 접점이 판재의 폭 방향으로 이루는 선을 기준으로 용접하고 다음 접촉 선까지 시편을 이동하여 순차적으로 접합하는 공정이다. 샌드위치 판재의 두께는 용접 스톱퍼(Stopper)의 높이에

의하여 결정되며 전극이 시편에 압력을 가해도 내부 구조가 형태를 유지하면서 소성변형을 해야 하고 표면판재와 내부구조의 두께 차가 크면 얇은 두께를 가지는 재료가 녹는 현상이 발생한다.

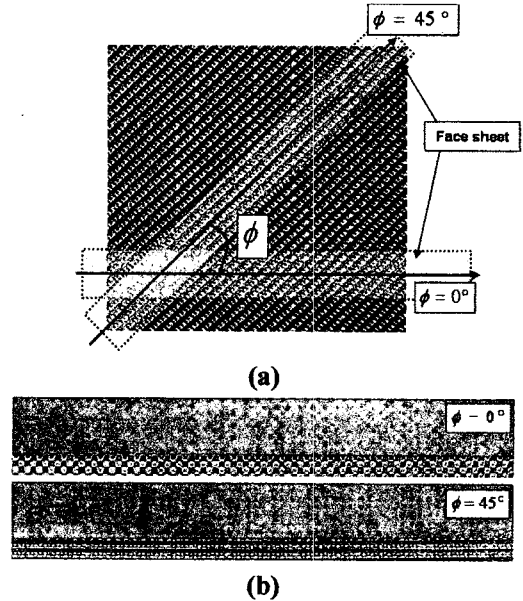


Fig. 2 Sandwich plates with inner dimpled shell structure a) Definition of pattern angle (ϕ) b) Specimens of 3-point bending test (20mm X 160mm)

내부구조에 표면판재를 접합할 때 표면판재와 접합되는 내부구조의 방향을 Fig. 2 와 같이 패턴 각도(ϕ)로 정의하였는데 상하 뒹플이 연결되는 방향을 0° 로 정의하였다. 정적 굽힘 실험시편은 패턴 각도 0° 와 45° , 샌드위치 판재의 두께 2.5mm와 2.2mm 총 4가지 종류의 시편을 제작하였다. 여기서 2.5mm 두께의 샌드위치 판재는 내부 뒹플 판재의 재료로 0.3t를 사용하였고 2.2mm의 샌드위치 판재는 0.2t의 내부 박판을 사용하였다. 이는 표면판재를 0.3t로 고정하고 최적의 용접변수를 찾기 위해 용접 스톱퍼와의 관계에서 결정된 재료 두께이다. 재료는 스테인리스 스틸(SUS 304)을 사용하였고 탄성계수(E)는 180GPa이고 단축인장 항복응력(σ_y) 283MPa로 측정되었다. 그리고 제작된 시편들의 두께편차가 시편내 3%, 시편간 7%이내의 정밀도를 가졌다.

3 굽힘에 의한 성형 가능성

3.1 굽힘 특성 분석

딴플형 금속 샌드위치 판재가 굽힘 하중을 받을 때 탄소성 굽힘 거동과 굽힘 성형 가능성을 파악하기 위해 3점 굽힘 실험을 수행하였다. 실험은 표준 실험장치인 INSTRON 5583장치를 이용하였으며, ASTM E270 규격[4]에 따라 직경이 25.4mm인 펀치와 다이를 이용하였으며 다이 간격(Span Length)은 120mm의 조건으로 실험을 실시하였고 펀치의 압하량을 5mm/min로 30mm까지 설정하였다. 제작된 샌드위치 판재는 모두 표면판재항복에 의해 파손이 발생하였고 소성현지의 발생시점에서 붕괴되었다. 2.5mm의 패턴각도 45° 샌드위치 판재의 경우만 붕괴 후 하중이 급격하게 감소하는 현상이 발생하였고 나머지의 경우 붕괴 후 내부구조가 하중을 어느 정도 지탱하는 현상을 보였다. 이는 패턴각도 45°의 경우 딴플 간의 간격이 0°에 비해 커서 표면판재가 딴플 사이로 밀려들어가는 좌굴이 발생하기 때문이다. 그러나 2.2mm의 샌드위치 판재의 경우 용접시 전극의 압력에 의해 반구형 딴플이 컵형상으로 소성변형하여 딴플간의 간격이 좁아져서 좌굴을 억제한 것으로 판단된다. 패턴각도 0°가 붕괴하중이 크고 붕괴까지의 최대 처짐량이 길어 많은 변형에너지를 흡수할 수 있으므로 굽힘 하중에 대한 샌드위치 빔으로써 보다 안전하고 굽힘에 의한 성형에 유리한 샌드위치 판재의 내부구조라 판단된다. 그리고, 주어진 실험조건에서 최대 268mm의 임계 곡률반경을 가진다.

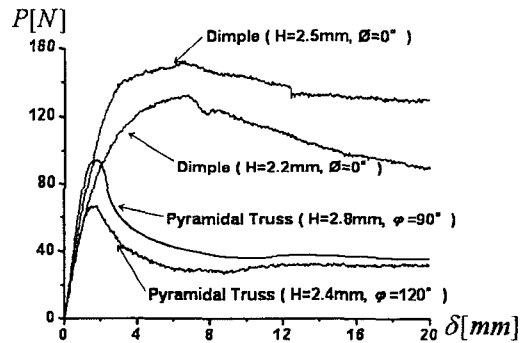
3.2 선재의 내부구조 샌드위치 판재와 비교

굽힘 하중을 받는 딴플형 샌드위치 판재를 피라미드형 트러스 내부구조 샌드위치 판재와 직조 금속망을 내부구조로 하는 금속 샌드위치 판재와 Fig. 3 과 같이 비교하고 정량적 굽힘 특성은 Table 1에 표기하였다. 비교 대상의 샌드위치 판재는 모두 폭 20mm, 길이 160mm, 표면판재의 두께 0.3t, 양단 지지점간 거리(span length) 120mm의 동일 재료와 실험조건이다. φ 는 트러스형 샌드위치 판재의 클림핑 각도이고 직조금속망의 직조배열 각도는 패턴각도(\varnothing)와 동일 기호를 사용하였다. 딴플형 샌드위치 판재는 트러스나 직조금속 내부구조 샌드위치 판재보다 붕괴하중이 크고 붕괴하

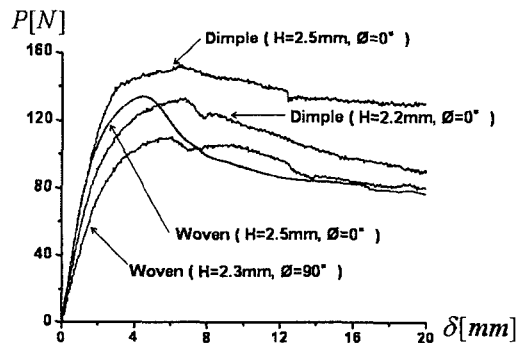
기까지 많은 에너지를 흡수할 수 있다.

Table 1 Comparison of bending characteristics of dimple type sandwich plates with other types

type	H[mm]	W(g)	δ_{max}	P_p	e/W
			[mm]	[N]	[Nm/kg]
Truss	2.8	19.8	1.62	94.1	10.6
	2.4	18.9	1.57	66.5	3.54
Textile	2.5	22.2	4.55	133	19.8
	2.3	22.5	6.04	110	21.2
Dimple	2.5	20.9	6.46	143	36.1
	2.2	21.0	6.79	120	



(a)



(b)

Fig. 3 Comparison of bending response of dimple type sandwich plates with other types; a) sandwich plates with pyramidal truss core[5] b) sandwich plates with textile core[6]

면재의 딩플 내부구조가 표면판재항복에 의한 초기 파손발생 후 붕괴까지의 하중을 지탱하는 반면에 선재의 트러스나 직조금속 내부구조는 표면판재의 항복 후 하중을 지탱하지 못하고 바로 붕괴한 것으로 판단된다. 그리고, 트러스 샌드위치 판재는 1120mm, 직조금속 샌드위치 판재는 300mm의 임계곡률반경을 가진 반면에 딩플 내부구조는 임계곡률반경이 270mm로 굽힘에 의한 성형에 유리한 것으로 측정되었다.

3.3 굽힘 성형

딩플형 내부구조 금속 샌드위치 빔을 3점 굽힘 조건에서 표면판재항복과 붕괴사이의 영역에서 Fig. 4 와 같이 굽힘 성형을 할 수 있다. 부드러운 곡률을 얻기 위해 양단 지지점간의 거리를 40mm로 줄이고 시편을 10등분하여 순차적으로 임계곡률한계까지 성형하였으나 스프링백의 영향으로 약 330mm의 곡률반경으로 성형되었다. 따라서 다이 간격, 펀치 압하량과 스프링백 등 공정변수에 따른 곡률분포의 분석이 필요하며 대면적 내부구조 제작과 접합공정을 통해 샌드위치 판재의 일반적인 형상을 굽힘 가공을 할 수 있을 것으로 기대된다.

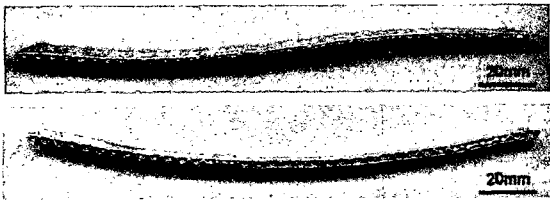


Fig. 4 Deformed shapes of sandwich plates with inner dimpled shell structure

4. 결론

본 연구는 정밀도 높은 내부구조의 제작과 굽힘 성형을 위한 딩플형 내부구조재 금속 샌드위치 판재를 제작하고 굽힘 특성을 분석하여 굽힘 성형 가능성을 입증하였다. 이상의 연구 결과를 다음과 같이 정리하였다.

- (1) 국부적 구획성형기법을 원용하여 시편보다 작은 금형으로 원하는 사이즈의 딩플형 내부구조를 복제하였고 다점 저항용점을 통해 시편내

두께편차 3%이내의 정밀도 높은 샌드위치 판재를 제작하였다.

- (2) 딩플형 내부구조는 피라미드형 트러스보다 무게는 약 10% 무거우나 붕괴하중은 약 2 배, 단위 질량당 변형에너지는 약 9 배정도 개선할 수 있다. 또한, 직조금속 내부구조보다 붕괴하중은 7.5%, 단위 질량당 변형에너지는 63% 개선하여 샌드위치 빔의 안전한 내부구조이다.
- (3) 딩플형 내부구조는 직조금속 보다 약 10%, 트러스 보다 400% 정도의 임계곡률반경이 개선되어 굽힘 성형에 유리한 구조임을 입증하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 국책연구개발사업인 마이크로 첨단복제 생산시스템 개발 연구결과치의 일부이며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] Waldley, H. N. G., 2003, "Fabrication and structural performance of periodic cellular metal sandwich structures," *Compos. Sci. Technol.*, Vol. 63, pp. 2331~2343
- [2] Seong, D. Y. Jung, C. G., Yoon, S. J., Yang, D. Y., 2005, "Optimal Design of Metallic Sandwich Plates with Inner Dimpled Shell Subjected to 3-Point Bending," *Conference of KSPE*, spring, pp. 702~705
- [3] Li, M. Z., Cai, Z. Y., Sui, Z., Yan, Q. G., 2002, "Multi-point forming technology for sheet metal," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 129, pp. 333~338
- [4] ASTM, 1995, "Standard test method for semi-guided bend test for ductility of metallic materials," E270
- [5] Jung, C. G., Yoon, S. J., Yang D. Y., Lee, S. M., Na, S. J., Lee, S. H., Ahn D. G., 2005, "Fabrication and Static Bending Test in Ultra Light Inner Structured and Bonded(ISB) Panel Containing Repeated Inner Pyramidal Structure," *KSPE*, Vol. 22, No. 6, pp.175~182
- [6] Ahn, D. G., Lee, S. H., Kim, M. S., Hahn, G. Y., Jung, C. G., Yang, D. Y., 2004, "Investigation into characteristics of bending stiffness and failure for ISB panel," *Conference of KSPE*, autumn, pp. 1274~1277