

# 두 방향 주름구조를 내부구조로 하는 금속 샌드위치 판재의 제작 및 성형

성대용<sup>1</sup>, 정창균<sup>1</sup>, 심도식<sup>1</sup>, 양동열<sup>#</sup>, 김지용<sup>2</sup>, 김종호<sup>2</sup>, 정완진<sup>2</sup>

## Fabrication and forming of metallic sandwich plates with bi-directional corrugated inner structure

D. Y. Seong, C. G. Jung, D. S. Shim, D.-Y. Yang, J. Y. Kim, J. H. Kim, W. J. Chung

### Abstract

Metallic sandwich plates with bi-directional inner structure are important new structures for forming applications. Bi-directional corrugated inner structures with less than 25% of relative density are fabricated by piecewise sectional forming process and then bonded with two face sheets by adhesive bonding. Drawing and U-bending experiments have performed and shown that the radius of curvature of sandwich plates is 75mm and sandwich plates are bended 90 degrees without collapse of inner structures. Bi-directional inner structures are suggested to improve formability of sandwich plates for bending and drawing.

**Key Words** : Metallic Sandwich Plates (금속 샌드위치 판재), bi-directional corrugated structure(두 방향 주름 구조), Formability(성형성), bending(굽힘 성형), drawing(드로잉 성형)

### 1. 서론

금속 샌드위치 판재는 상하 면의 표면판재 사이에 메탈 폼, 허니콤, 트러스, 직조금속 등 다양한 형태의 내부구조가 3 차원 공간구조를 형성하는 고강도, 고강성, 고내충격성의 경량판재이다. 또한 방음, 방열, 전차파 차폐, 유로채널 등 고기능성 판재로 활용 가능하다[1~4]. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 금속 샌드위치 판재는 낮은 성형성으로 인하여 응용 및 적용 범위가 제한되고 있다[5].

금속 샌드위치 판재의 성형에 관한 연구는 Mohr가 내부구조의 상대공간밀도와 전단강도의 관계를 규명하여 성형시 전단력에 의한 결함을 막기 위한 샌드위치 판재의 디자인 맵을 작성한 연구[5]가 있

으며 내부구조가 없는 접합판재의 전단 가공시 발생하는 현상을 공정변수에 따라 기술한 연구가 있다[6~7]. 그리고, 딴플형 내부구조 금속 샌드위치 판재의 특정방향으로 저곡률 굽힘 성형한 연구[8]는 있으나 내부구조의 형상과 설계에 따른 성형특성 분석에 관한 연구, 구조체를 내부구조로 하는 금속 샌드위치 판재의 성형성을 정량적 비교와 평가에 관한 체계적인 연구는 미흡한 실정이다.

금속 샌드위치 판재를 성형하기 위해서는 새로운 공정개발과 성형에 유리한 내부구조의 설계에 관한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 금속 샌드위치 판재의 성형을 위해 Fig.1 과 같은 두 방향 주름형 내부구조 금속 샌드위치 판재를 개발하고 U-bending, 원형 drawing 실험을 통해 성형 가능성을 평가하고자 한다.

1. 한국과학기술원 기계공학과

2. 서울산업대학교 기계공학과

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

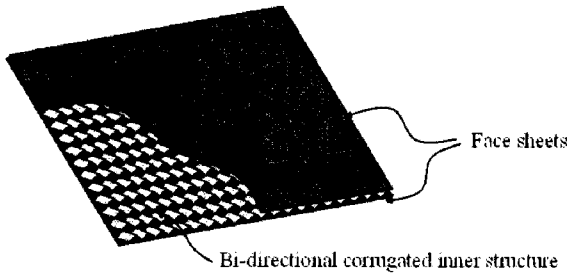


Fig. 1 Sandwich plates with bi-directional corrugated inner structure

## 2. 두 방향 주름구조의 제작

### 2.1 두 방향 주름구조

본 연구에 사용되는 두 방향 주름구조 금속 샌드위치 판재의 개념도를 Fig. 2 에 나타내었다.

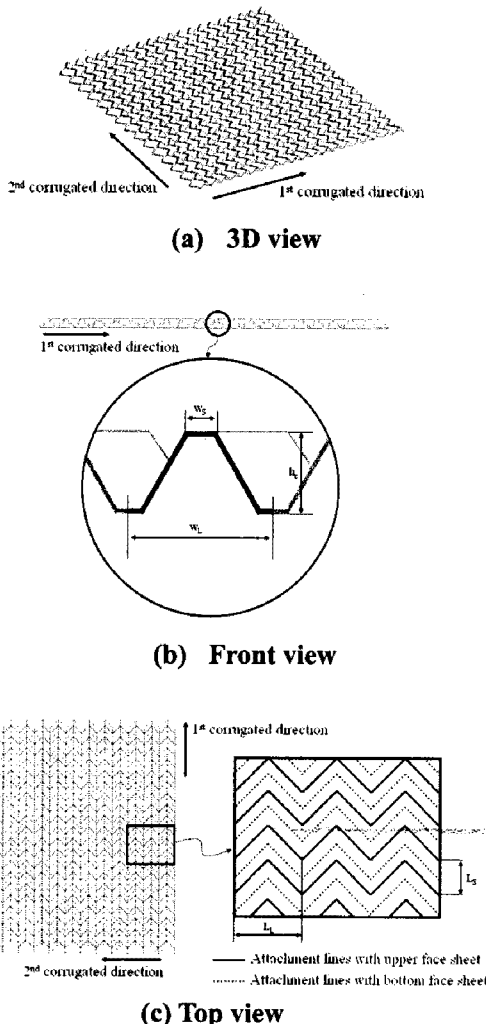


Fig. 2 Bi-directional corrugated inner structure

두 방향 주름형 내부구조의 단면형상은 굽힘하중과 전단력에 대하여 최적화된 한 방향 주름형 내부구조의 형상을 인용하여 설계하였다[9]. 그리고 Fig. 2 의 평면도에서 첫 번째 단위 주름길이 ( $L_S$ )와 두 번째 단위 주름길이( $L_L$ )는 임의의 방향으로 굽힘 하중을 받을 때 표면판재의 좌굴을 억제하여 표면판재가 내부구조 사이로 밀려드는 것을 방지하기 위한 설계 값이다. 또한, 내부구조의 이방성을 최소화하기 위해 서로 수직인 두 주름 방향이 만드는 평면에서 첫 번째 주름 방향을 패턴각도  $0^\circ$ , 두 번째 주름 방향을 패턴각도  $90^\circ$  라고 정의했을 때, 패턴각도  $0^\circ$ 에서 대칭면이 존재하도록 설계하고 패턴각도  $45^\circ$ 와  $135^\circ$ 의 형상을 동일하게 설계하였다. 구체적인 설계 수치는 Table 1 에 표기하였고 표면판재는 두께 0.5mm, 내부구조 재료판재는 두께 0.4mm의 일반 냉연강판을 이용하였다.

Table 1 Dimensions of inner structure

$H_C$	$W_L$	$W_S$	$L_S$	$L_L$
1.8mm	4.5mm	0.5mm	6.3mm	9.33mm

### 2.2 샌드위치 판재의 제작

두 방향 주름형 내부구조를 제작하기 위해 Fig.3 과 같은 구분적 구획 성형기법을 이용하였다 [10]. 구분적 구획 성형기법은 넓이  $160 \times 160$ mm의 대면적 내부구조를 성형하기 위해 시편보다 작은  $160 \times 40$ mm의 펀치와 다이로 구분적으로 5 번에 걸쳐 성형하는 공정으로 성형된 패턴과 동일한 형상의 패턴이 가공된 형상 게이지를 이용하여 위치제어를 한다. 그리고, 0.4mm의 일반 냉연강판의 성형하중은 40ton이다.

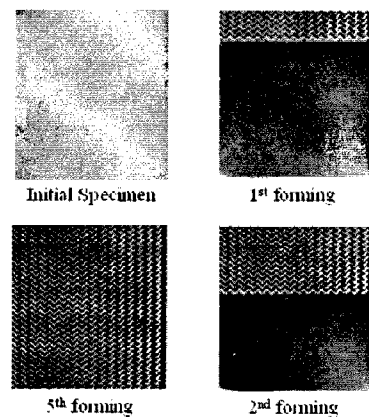


Fig. 3 Piecewise sectional forming process

제작된 내부구조를 접착제로 표면판재와 접합하여 160 × 160 × 2.8mm 의 대면적 시편을 제작하였다.

### 3. 샌드위치 판재의 성형

#### 3.1 원형 drawing 실험

원형 drawing 실험을 위해 직경 100mm, 두께 2.8mm 의 원형 시편을 제작하여 75mm 의 곡률을 가진 펀치로 펀치 압하량 10mm 까지 성형하였다. 성형 결과를 Fig. 4 에 나타내었는데 펀치 압하량 10mm 까지 내부구조의 붕괴, 표면판재의 좌굴이나 접합결함 없이 성형이 가능한 것을 알 수 있다. 그러나 표면판재가 내부구조와 접합되어 있는 부분과 접합되지 않은 부분의 변형량의 차이로 표면 거칠기와 두께편차가 다소 나빠지는 것을 정성적으로 판단할 수 있었다.

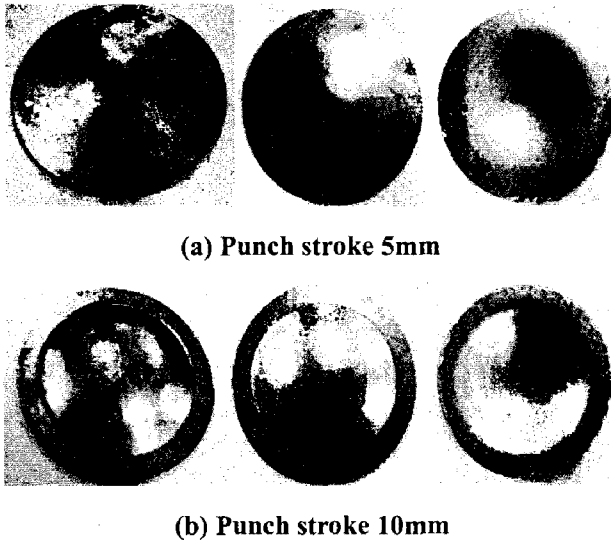


Fig. 4 Drawing of sandwich plates with bi-directional corrugated inner structure.

drawing 성형에서 샌드위치 판재의 재료유입 여부를 판단하기 위해 동일조건인 시편과 펀치로 Fig. 5 와 같이 인장성형실험을 수행하였다. 그 결과 드로우 비드 (draw bead)의 영향으로 재료의 유입이 차단된 인장성형에서 표면조도가 더 나빠지는 것을 정성적으로 판단 할 수 있었다. 따라서 drawing 성형시 금속 샌드위치 판재의 재료유입이 어느 정도 허용되고 인장성형보다는 drawing 성형이 금속 샌드위치 판재의 성형에 유리하다고 판단된다.

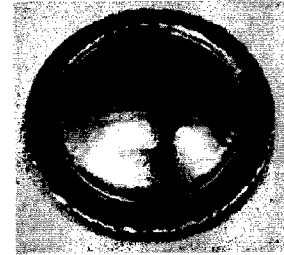


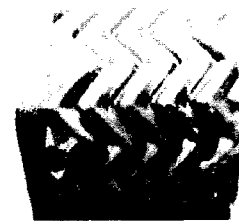
Fig. 5 Stretch forming of sandwich plates with bi-directional corrugated inner structure. (Punch stroke 10mm)

#### 3.2 U-bending 실험

두 방향 주름형 내부구조 금속샌드위치 판재의 굽힘 성형 특성을 분석하기 위해 U-bending 실험을 실시한 시편을 Fig. 6 에 나타내었다. 펀치압하량 30mm, 다이와 펀치간격(clear length) 3mm, 다이 폭 70mm 의 조건에서 실험하였다. 실험결과 패턴 각도 0°와 90° 두 가지 경우 모두 펀치압하량 30mm 까지 내부구조붕괴, 표면판재좌굴이나 접합결함은 발생하지 않았다. 따라서 표면판재와 선 접촉으로 접합된 두방향 주름형 내부구조가 표면판재의 좌굴을 방지하고 접합강도를 높인 것으로 보이며 굽힘성형이 가능한 금속 샌드위치 판재의 내부구조이다.



(a) Bended sandwich plates



(b) Inner structure after bending

Fig. 6 U-bending of sandwich plates with bi-directional corrugated inner structure.

금속 샌드위치 판재의 구조물로의 응용 및 적용 가능성을 확인하기 위해 한 변이 160mm 인 정사각형 시편의 중앙에 직경 120mm 의 원형 구멍을 전단 가공하여 90° 까지 굽혀 보았다. 그 결과 Fig. 7 과 같이 성형결합 없이 굽힘 성형되었고 성형된 금속 샌드위치 판재로 활용 가능성을 보였다.

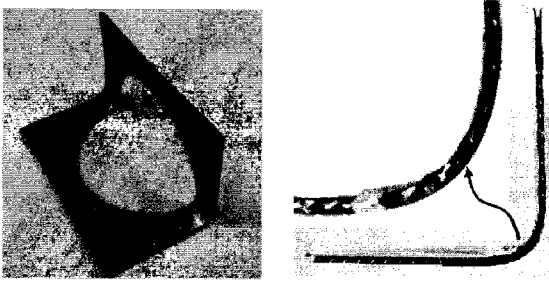


Fig. 7 90° bending test of sandwich structure

#### 4. 결론

금속 샌드위치 판재의 성형성을 높이기 위해 두 방향 주름구조를 내부구조로 하는 금속 샌드위치 판재를 제작하였다. 그리고 제작된 샌드위치 판재의 기초 성형가능성 실험을 실시하였다. 이상의 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 임의의 방향의 굽힘 성형시 표면판재의 좌굴을 방지할 수 있고 표면판재와 선 접촉하여 접합강도는 높이는 두 방향 주름형 내부구조를 제안하였다.

(2) 구분적 구획 성형기법을 이용하여 내부구조를 제작하고 접착제로 표면판재와 접합하여 160 × 160 × 2.8mm 크기의 두 방향 주름구조를 내부구조로 하는 금속 샌드위치 판재를 제작하였다.

(3) 두 방향 주름형 샌드위치 판재는 곡률반경 75mm 로 drawing 성형이 가능하고 결합 없이 90° 굽힘 성형이 가능하다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부의 차세대신기술개발사업인 마이크로 첨단복재 생산시스템 개발 연구결과 의 일부이며 이에 감사 드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [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] Wicks, N., Hutchinson, J. W., 2001, Optimal truss plates, *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 38, pp. 5165-5183.
- [3] Zok, F. W., Rathbun, H. J., Wei, Z., Evans, A. G., 2003, Design of metallic textile core sandwich panels, *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 40, pp. 5707-5722.
- [4] M. F. Ashby, 2000, "Metal Foam: A Design Guide", Butterworth Heinemann, Boston.
- [5] D. Mohr, 2005, "On the role of shear strength in sandwich sheet forming" *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 42, pp. 1491-1512.
- [6] 김지용, 김종호, 정완진, 2005, "샌드위치 강판의 전단가공에 있어서 전단면에 미치는 금형설계변수의 영향," 한국소성가공학회지, 제 14 권 제 1 호, pp. 37~42.
- [7] 김지용, 김종호, 정완진, 양동열, 2005, 접합판재의 전단변형거동에 관한 연구, "한국소성가공학회지," 제 14 권 제 3 호, pp. 257~262.
- [8] 성대용, 정창균, 윤석준, 심도식, 양동열, 이상훈, 안동규, 2005, "굽힘성형을 위한 금속 샌드위치 판재의 내부구조재 개발," 한국소성가공학회지, accepted.
- [9] L. Valdevit, J.W. Hutchinson, A.G. Evans, 2004, "Structurally optimized sandwich panels with prismatic cores," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 41, pp. 5105-5124.
- [10] M. Z. Li, Z. Y. Cai, Z. Sui, Q. G. Yan, 2002, "Multi-point forming technology for sheet metal," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 129, pp. 333~338.