

피라미드형 내부구조재를 가지는 중공형 접합판재의 성형특성에 관한 연구

김지용¹ · 길해영² · 조기철¹ · 김종호[#] · 정완진²

A Study on the Forming Characteristic of Inner Pyramid Structure Bonded Sheet Metal

J. Y. Kim, H. Y. Kil, G. C. Cho, J. H. Kim, W. J. Chung

Abstract

The inner-structure bonded(ISB) sheet metal is defined as a composite sheet metal which has middle layer of truss-structure between two skin sheets. The characteristics such as ultra-light weight, high rigidity, high strength, etc are required especially for automobile parts. The characteristic of ISB sheet metal depends on inner-structure pattern or method of bonding. Pyramid type of crimped expanded metal is used for inner-structure and both of resistance welding and adhesive bonding are applied to make a specimen. As a result of compression test, it is appeared that forming limit is 10% reduction in thickness under a load of 8kgf per unit element(one inner-structure). In case of uniaxial tensile test the non-uniform surface integrity rather than the buckling of inner-structure happened at a load of 450kgf, which indicates elongation of 7.2% and thickness reduction of 13%. The eye-inspection method was applied to examine the defects occurring on the specimen during stretch forming. In case of biaxial stretch forming only the non-uniform deformation on the surface of a skin sheet could be observed. The forming limit in stretching of ISB sheet metal with the hemi-spherical punch of 150mm in diameter was 3mm in forming depth and 5% reduction in thickness.

Key Words : Forming Characteristic, Inner Structure Bonded Sheet Metal, Pyramid Structure, Crimped Expanded Metal, Resistance Welding, Compression, Tensile, Stretch forming

1. 서 론

최근 산업구조의 다양화와 더불어 다품종 소량생산의 시대를 맞이하여 다양한 기능을 요구하는 제품들이 늘어나고 있다. 특히, 인간의 삶의 질과 관련된 요구들이 증가되면서 그에 따른 기술개발 및 연구 또한 활발히 이루어지고 있다. 그에 따라 경량화 및 비강성, 비강도를 높이기 위해 특정형상의 미세패턴 구조재를 내부재로 가지는 미세 구조 접합판재의 개발이 진행되고 있다.[1]

내부에 미세 구조를 가지는 접합판재는 에너지 문제와 각종 환경 규제를 극복할 수 있는 초경량, 고강성, 고내충격성, 고강도를 가지는 첨단 신소재 개발이며, 선진국에서도 아직 초보 연구만이 이루어져 있어, 국내 개발시 핵심, 원천기술의 확보를 비롯하여 개발 과정에서 얻어지는 첨단 초경량 기능성 소재의 개발, 구조물 개발, 판재 접합 기술의 개발 등을 통하여 자동차, 항공, 철도, 중공업 등 관련 산업의 부품 생산에 폭넓게 적용할 수 있고, 그에 따라 국내 산업에의 파급 효과

1. 서울산업대학교 산업대학원 정밀기계공학과

2. 서울산업대학교 금형설계학과

교신저자 : 서울산업대학교 금형설계학과

E-mail : jhkim365@snut.ac.kr

또한 클 것으로 예상되는 분야이기도 하다. 이러한 내부구조재를 가지는 중공형 접합판재의 연구 동향을 살펴보면 Wicks[2]등은 트러스형 샌드위치 강판의 굽힘 하중을 정의하고, 이론적으로 최적화 하였으며, 유사 모델 샌드위치 강판과 굽힘 특성을 비교하였다. Zok[3]등은 내부재가 트러스형 샌드위치 강판의 특성을 분석하였고, Deshpande[4]는 트러스 내부구조를 갖는 샌드위치 판재의 4 가지 파단 모드에 대하여 상계해와 3 점 굽힘 실험 결과를 비교하여 붕괴메커니즘지도를 작성하였다. Jung[5,6]등은 내부구조재가 익스펜디드 메탈인 미세 구조 접합판재의 제작기술과 굽힘 특성에 대한 연구와 내부재가 우븐메탈인 미세 구조 접합판재의 제작기술과 기계적 특성에 대한 연구를 수행하였다. Ahn[7]등은 미세 구조 접합판재의 굽힘과 파단 특성에 내부재가 미치는 영향에 관하여 연구하였다. 그러나 이러한 연구들은 소재의 제작이나 기계적 성질에 대한 것들이 대부분이다. 따라서 본 연구는 내부에 피라미드 형태의 내부 구조재를 가지는 중공형 접합판재의 성형특성을 분석하고자 하였다.

2. 실험소재 및 실험방법

2.1 실험소재

2.1.1 ISB 판재의 정의

중공형 접합판재는 상하판 사이의 내부에 구조 패턴을 가지는 구조물을 삽입하여 접합한 것으로 본 연구에서는 이러한 접합판재를 Inner-structure bonded sheet metal로 명명하였으며, 약자로 ISB 판재로 칭하였다. Fig. 1은 중공형 접합판재의 기본 개념을 도식화 한 것이다.

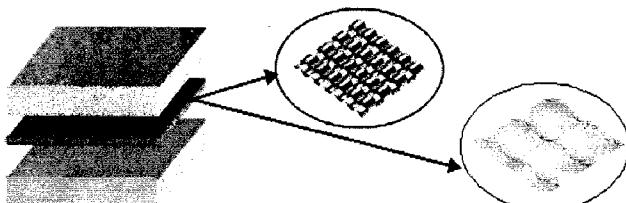


Fig. 1 Fundamental shapes of inner-structure bonded sheet metal

2.1.2 실험용 ISB 판재의 재원

본 연구에 사용한 ISB 판재의 재원은 Table 1과 같다. 외부재는 스테인리스, 내부구조재는 냉

연강판을 이용한 크림프드 익스펜디드 메탈 90°인 ISB 판재를 사용하였다. Fig. 2와 같은 형상의 크림프드 익스펜디드 메탈을 사용한 ISB 판재를 선택한 이유는 질량감소는 255%, 질량당 강성은 44.4% 향상되었지만,[1] 내부의 공간이 가장 크기 때문에 성형성은 가장 취약할 것으로 판단되었기 때문이다.

Table 1 Type of ISB sheet metal

Type of bonding	Skin Sheet	Type of inner metal	Thickness
Resistance welding	STS304 (0.3mm)	Crimped Expanded Metal	2.85 mm

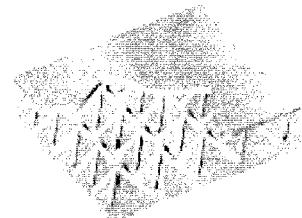


Fig. 2 ISB sheet metal

2.1.3 실험시편

1) 압축실험

시편은 내부구조재가 크림프드 익스펜디드 메탈이고, 저항용접된 ISB 판재를 사용하였다. 시편의 크기는 19mm × 31mm이고, 내부구조재의 피라미드수는 18개로 하였다.

2) 인장실험

본 연구의 인장실험은 물성치 추출이 아닌 성형성을 파악하기 위한 기준을 분석하기 위하여 행하였다. 인장실험시 클램핑에 의한 변형을 방지하기 위하여 에폭시 수지(epoxy resin)와 데브콘(devcon)을 각각 9 : 1의 비율로 혼합하여 클램핑부를 충진하였다. 충진부를 제외한 시편의 크기는 19mm × 31mm로 압축실험용 시편과 동일한 형상을 가지도록 하였다.

3) 인장성형실험

시편의 크기는 폭 30mm 길이 120mm이고 비드(bead)가 설치되는 부분은 홀딩력에 의한 초기 변형을 막기 위해 인장실험과 동일하게 에폭시와 데브콘을 9 : 1로 혼합하여 충진하였다. Fig. 3은 인장성형시편의 형상을 나타낸 것이고, Fig. 4는 인장성형실험용 금형치수를 나타낸 것이다.

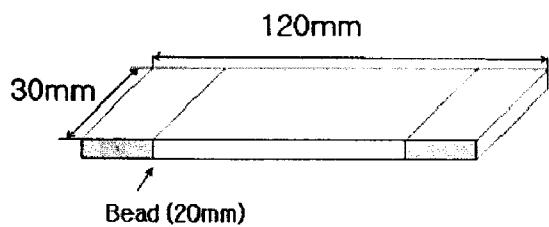


Fig. 3 Specimen for stretch forming test

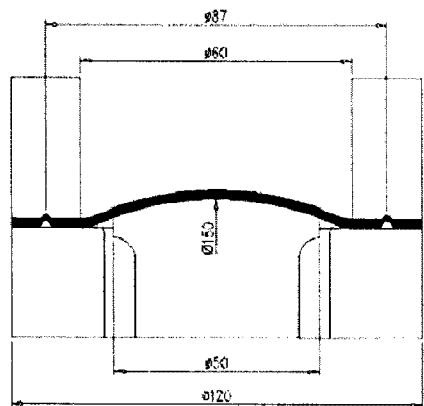


Fig. 4 Tooling design for stretch forming test

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축실험 결과

ISB 판재의 압축실험결과 Fig.5 와 같은 변위-하중 선도를 구할 수 있었다. ISB 판재의 압축하중은 변위-하중선도에서 보듯이 2 개의 변곡점이 존재하였다. 압축력이 가해지면서 증가하던 하중은 Position 1 을 지나면서 하강한다. 따라서 Position 1 이 내부구조재에 변형이 발생될 것으로 예상되었으며, 동시에 견딜 수 있는 최대 하중 지점일 것으로 판단하였다. Position 2 를 지나면 상, 하 외부재와 내부구조재가 완전히 압착되어 하중이 증가하게 된다. Fig. 6 은 하중에 의한 내부구조재의 변형을 정확하게 알아보기 위해서 특정 하중 위치별로 ISB 판재의 상판을 성형연마하여 제거한 후 내부구조재를 관찰하였다. 변위-하중선도와 하중 위치별 내부구조재를 관찰한 결과 Position 1 이후에서 내부구조재가 좌굴된 것을 확인할 수 있었다. Position 1 에서의 결과를 정리하면 내부구조재(피라미드형상) 1 개가 견딜 수 있는 하중은 8kgf 이고, 이때의 압축량은 0.25mm 로 두께 변형률은 약 10%이다.

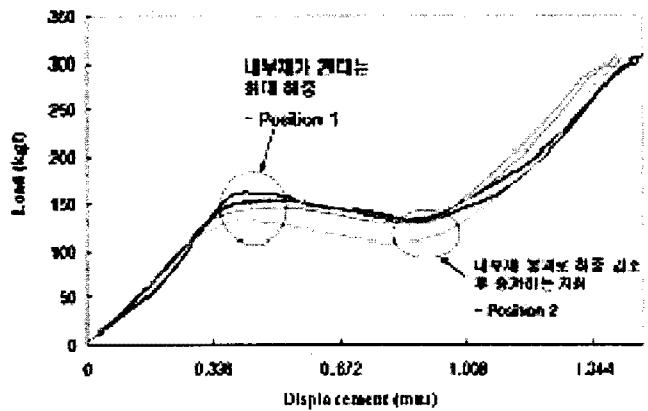


Fig. 5 Load-displacement curve in compression test

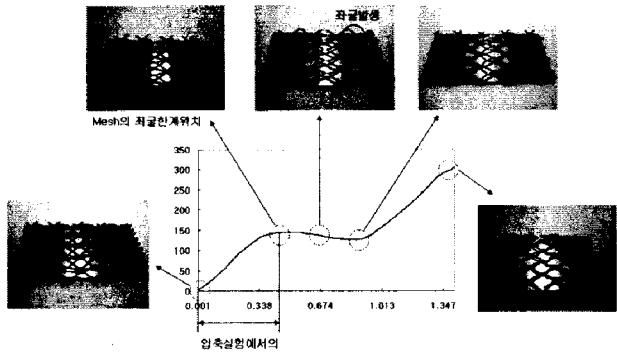


Fig. 6 Deformation progress of inner-structure in compression test

3.2 인장실험 결과

Fig. 7 은 하중별 연신률을 나타낸 것이다., ISB 판재의 경우 일반강판과 달리 단면적의 정확한 계산이 어렵기 때문에 응력이 아닌 하중에 따른 연신률과 외부재과 내부구조재의 변형 정도를 분석하였다. 시편의 폭이 19mm(내부재의 개수 : 18 개)일 때 하중 500kgf 이상에서 연신율이 급격히 증가되었고, 파단이 발생한 600kgf 일 때 최대 연신율은 23%였다. 이를 바탕으로 하여 압축실험과 마찬가지로 인장이 내부구조재에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 외부재를 제거한 후 내부구조재의 형상과 외부재의 형상을 비교, 분석한 것이 Table 6 이다. 연신율이 급격히 증가하는 하중 500kgf 일 때 외부재에 용접점을 중심으로 하여 굴곡이 발생하였고, 하중 550kgf 에서는 불균일 변형이 발생하여 부분적으로 두께가 급격히 줄어드는 현상과 반대로 두께가 오히려 증가하는 현상이 동시에 발생하였다. 그러나 내부구조재의 경우는 인장력에 의한 변형은 발생하였으나, 파단이나 좌굴은 발생하지 않았다. 따라서 인장시 성형한계를 외부재에 굴곡이 발생하기 직전의 하중 450kgf 일 때로

설정하였다. 하중이 450kgf 일때 두께감소율을 측정한 결과 연신율 7.2%, 두께감소율은 13.5%로 나타났다.

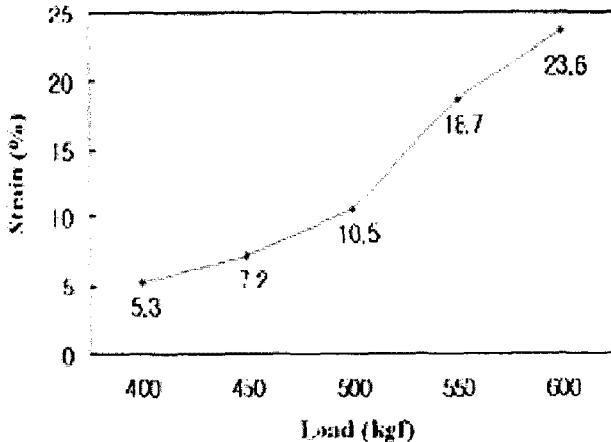


Fig. 7 Load-strain curve in tensile test

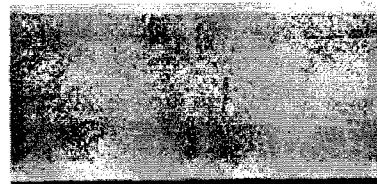
Table 6 Deformation change of skin sheet and inner-structure in tensile test

하중(kgf)	외부재	내부구조재	두께 감소율	비고
400			9.8%	
450			13.6%	
500			21.0%	외부재 에 굴곡
550			14.5%	풀균일 변형
600			32.3%	외부재 파단

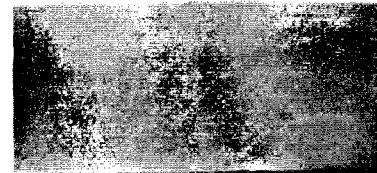
3.3 인장성형결과

ISB 판재의 인장성형성을 평가하기 위해 외부재의 판단, 내부재의 변형, 소재의 두께변화, 내부재 유무에 따른 단차 등의 실험을 해보았으나 모두 정량적인 결과를 얻어낼 수 없었다. 따라서 육안검사를 통해 소재의 인장성형성을 평가하였다. Fig. 8은 육안 검사를 통한 ISB 판재의 성형한계를 파악한 자료이다. 정확한 육안검사를 위해 시편

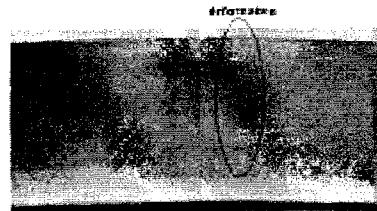
표면의 용접 흔적을 제거하는 경면 처리 후 인장성형을 하였다. 성형깊이 3mm 일때부터 내부구조재의 첨단부에 의한 격임 형태의 굴곡이 발생되는 것을 확인할 수 있었다. 육안검사를 통한 성형깊이는 2~3mm 전후로 판단되며, 이때의 두께감소율은 약 5%인 것으로 측정되었다.



(a) Forming depth = 0mm



(b) Forming depth = 1.5mm



(c) Forming depth = 3mm

Fig. 8 Observation of surface integrity during stretch forming

4. 결 론

본 연구에서는 경량화, 비강성, 비강도, 내충격성 향상을 목적으로 개발중인 특정패턴의 내부구조재를 가지는 접합판재(ISB 판재)의 성형특성에 대해 조사하였다.

(1) 단순압축실험의 결과 ISB 판재를 구성하는 내부구조재 중 피라미드 1 개가 지탱할 수 있는 하중은 약 8kgf 이고, 이때의 압축량은 0.25mm로 이는 총두께의 10%에 해당된다.

(2) 인장시험에서 내부구조재의 변형보다는 외부재의 변형이 먼저 발생하였다. 외부재의 변형이 발생되는 시점을 조사한 결과, 폭 19mm 인 시편이 하중 450kgf 일때, 연신률 7.2%, 두께감소율은 13%인 것으로 나타났다.

(3) 인장성형성은 표면의 굴곡상태를 육안검사로 평가한 결과 저항용접된 ISB 판재의 성형깊이는 3mm이며, 이때 소재의 두께 감소율은 5%인 것으로 나타났다.

(4) ISB 판재의 성형성은 위의 실험으로 부터 압축에 의한 압축 두께 감소율 10% 및 인장에 의한 외부재 표면의 외관불량을 성형한계 기준으로 나타낼 수 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 국책연구개발사업인 마이크로 첨단복제 생산시스템 개발 연구결과의 일부이며, 실험을 위한 시편제작에 도움을 주신 한국과학기술원의 양동열 박사님 산하 컴퓨터원 용정형가공 연구실의 박사과정 정찬균, 성대용씨와 나석주 박사님 산하 레이저 및 플라즈마 응용 연구실의 박사과정 김진범씨 등 참여하신 모든 분들께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1]. 양동열, 나석주, 유중돈, 김종호, 정완진 외 36 명, 2004, 마이크로 첨단복제 생산시스템 개발 한국과학기술원, 중간 보고서.
- [2]. N. Wicks, J. W. Hutchinson, "Performance of

sandwich plates with truss cores", Mechanics of Materials, Vol.36, pp.739~751, 2004

- [3]. F. W. Zok, S. A. Waltner, Z. Wei, H. J. Rathbun, R. M. McMeeking, A. G. Evans, "A protocol for characterizing the structural performance of metallic sandwich panels : application to pyramidal truss cores", International Journal of Solids and Structures, Vol. 40, pp.6249~6271, 2004
- [4]. V. S. Deshpande, N. A. Fleck, "Collapse of truss core sandwich beams in 3-point bending", International Journal of Solids and Structure, Vol.38, pp.6275~6305, 2001
- [5]. 정창균, 윤석준, 성대용, 양동열, 안동규, “피라미드 구조를 가지는 초경량 금속내부구조 접합판재의 제작 및 특성 평가”, 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 483~486, 2004
- [6]. 정창균, 윤석준, 양동열, 이상민, 나석주, 이상훈, 안동규, “수직방향 직조 금속망을 이용한 초경량 금속 내부구조 접합판재의 제작 및 특성에 관한 기초 연구” 한국정밀공학회지, 제 22 권, 제 5 호, pp.152~158, 2005
- [7]. 안동규, 이상훈, 김민수, 한길영, 정창균, 양동열, “ISB 판넬의 굽힘강성 및 파단특성에 관한 연구”, 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp.1274~1277, 2004