

피라미드 구조를 가지는 초경량 금속 내부구조 접합판재의 제작 및 특성평가

정창균*, 윤석준, 성대용, 양동열(KAIST, 기계공학과), 안동규(조선대학교, 기계공학과).

Fabrication and Static Bending Test in Ultra Light Inner Structured and Bonded(ISB) Panel Containing Repeated Inner Pyramidal Structure

Chang Gyun Jung*, Seok-Joon Yoon, Dae-Yong, Sung, Dong-Yol Yang and Dong-Gyu Ahn

ABSTRACT

Inner structured and bonded panel, or ISB Panel, as a kind of sandwich type panel, has metallic inner structures which have low relative density, because of their dimensional shape of metal between a pair of metal skin sheets or face sheets. In this work, ISB panels and inner structures formed as repeated pyramidal shapes are introduced. Pyramidal structures are formed easily with expanded metal sheet by the crimping process. Three kinds of pyramidal structures are made and used to fabricate test specimen. Through the multi-point electrical resistance welding, inner structures are bonded with skin sheet. 3-point bending tests are carried out to measure the bending stiffness of ISB panel and experimental results are discussed.

Key Words : Ultra light inner structured and bonded panel(초경량의 내부구조 접합판재), Pyramidal structure(피라미드 구조), Expanded metal(익스텐디드 금속)

1. 서론

최근 제품의 경량화에 대한 요구 및 고기능성 제품의 필요성에 따라 다양한 형태의 초경량 구조재료 등이 연구되고 있다.

최근 초경량 구조재료의 한가지 방안으로 트러스 구조와 같은 규칙적인 3 차원 금속 구조를 이용한 샌드위치 형 판재를 개발하려는 연구가 활발히 수행되고 있다. 사면체(Tetrahedron), 피라미드(Pyramid), 직조금속망(Woven metal) 및 카고메(Kagome) 등 다양한 형상이 내부구조재료 이용되었으며 비강성 측면에서 매우 우수한 것으로 보고된다.[1]

본 연구에서는 이러한 샌드위치형 판재를 초경량의 내부구조 접합판재(Inner Structured and Bonded panel, ISB panel)라 명명하였으며 이를 간단히 ISB 판재로 칭하였다. 또한 본 연구는 산업재로서 활용이 용이하도록 두께가 1mm 이내인 ISB 판재를 대량생산하는 기술을 개발함을 연구의 최종 목표로 한다.

본 논문에서는 상기 연구 목적을 달성하기 위한 기초연구로서 상용재료를 간단히 가공하여 내부구조를 제작하고 접합하여 시제품을 제작하였다. 전체 제작 두께는 기초연구임을 감안하여 두께를 3mm 이내로 하였다.



Fig.1 The concept of ISB panel using pyramidal structures

2. 굽힘 강성

3 점 굽힘실험은 판재의 굽힘강성을 파악하기 위해 수행되는 가장 일반적인 실험 방법이다.

샌드위치 판재에서 단순지지보가 중앙에 집중 하중을 받을 때 전체 처짐량은 판재의 굽힘에 의한 처짐량과 내부구조재의 전단변형에 의한 처짐의 합이다.[2]

$$\delta = \delta_{normal} + \delta_{shear} = \frac{PL^3}{48E_f I} + \frac{PL}{4S} = \frac{PL^3}{48(EI)_{eq}} \quad (1)$$

$$EI = \frac{E_f t_f d^2}{2} \quad (2)$$

$$S = \frac{G_c d^2}{t_c} \quad (3)$$

$$d = t_f + t_c \quad (4)$$

여기서 P는 작용하중, L은 단순지지보 사이의 거리(스팬 길이), E는 탄성 계수, G는 전단 탄성 계수, t는 두께를 나타내며 아래첨자 f는 면재(face), c는 심재(core), eq는 동가값(equivalent value)을 의미한다.

(1)식으로부터 동가 굽힘강성은 다음과 같다.

$$(EI)_{eq} = \frac{PL^3}{48\delta} = \frac{L^3}{48} k_{eq} \quad (5)$$

$$k_{eq} = \frac{P}{\delta} \quad (6)$$

굽힘강성을 비교할 때에는 식 (5)와 식 (6) 모두를 이용해도 좋으나 (6)식의 경우 실험에서 얻어지는 인장-변위 선도의 기울기를 나타내므로 결과의 비교를 위해서 스프링 강성 값인 (6)식을 이용하는 것이 편리하며 본 논문에서도 굽힘강성을 스프링 강성 값으로 표현하였다.

3. 내부구조재의 제작

3.1 익스팬디드 메탈

익스팬디드 메탈(expanded metal)은 마름모꼴의 격자를 가지는 철망의 한 종류로 익스팬디드 메탈 혹은 메탈라스(metal lath)라고 불리며 주방용품, 건축재료, 필터 등으로 사용되는 매우 일반적인 재료이다.

본 연구에서는 단축의 길이가 약 4.5mm, 장축

의 길이가 약 6.9mm이며 원 재료의 두께 및 슬릿 폭이 0.5mm인 강재 익스팬디드 메탈을 이용하였다.

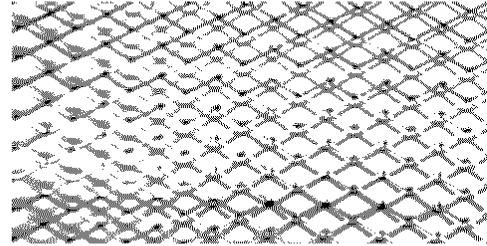


Fig. 2 The example of the expanded metal

3.2 피라미드 구조의 성형

ISB 판재의 내부 구조물은 다양한 형태가 될 수 있다. 본 연구에서는 다양한 내부구조 중 앞서 설명된 익스팬디드 메탈을 크림핑(crimping)하여 피라미드 형상의 내부구조를 제작하였다. Fig. 3에 익스팬디드 메탈을 크림핑하여 피라미드 구조를 성형하는 공정의 개략도를 나타내었다.

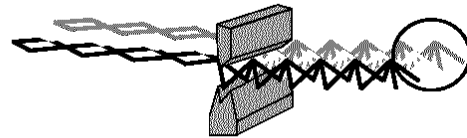


Fig. 3 The crimping process and pyramidal structures

제작된 피라미드 구조 중 90°, 120° 크림핑된 피라미드 구조를 Fig. 4에 나타내었다.

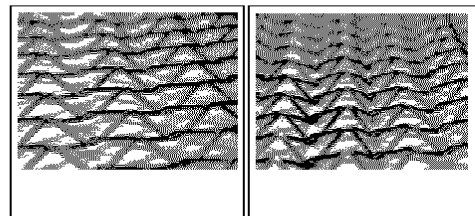


Fig 4 The example of pyramidal structures

4. ISB 판재의 제작 및 정적 굽힘시험

4.1 ISB 판재 제작

ISB 판재를 제작하기 위해서는 적절한 두께를 가지는 면재를 심재인 내부구조재와 접합해야 한다.

본 연구에서는 피라미드 구조의 꼭지점과 면재의 접촉에 의해 발생하는 접촉저항을 이용한 전기저항 다점용접을 이용하여 접합되었다.

전기저항 다점용접은 곡률을 가진 전극을 이용하여 동일 선상의 접점을 동시에 접합한다. 이는 대량생산을 염두에 둔 롤(roll) 전극을 이용한 고속 대량 용접장치의 근사 모델이다.

ISB 판재제작에 사용된 면재는 두께가 0.3mm 인 스테인레스 스틸(stainless steel)을 이용하였다.



Fig. 5 Multi points electrical resistance welding and shape of electrode.

4.2 정적 굽힘시험 시편의 제작

ISB 판재를 제작함에 있어 제작된 ISB 판재가 어느 정도의 기계적인 특성을 가지는지를 판단하기 위해 정적 시험인 3점 굽힘 시험을 수행하기 위한 시편을 제작하였다. 3가지의 크럼핑 각에 대하여 길이 200mm, 폭 방향으로 30mm 의 크기를 가지며 크럼핑 각도 별로 5개의 시편을 제작하였으며 3점 굽힘시험의 스패ん길이(span length)는 시편길이 200mm 에 대하여 160mm 를 가진다. 편치의 지름은 25.4mm 이며 INSTRON사의 표준 장치를 이용하였다.[3]

Table 1 Experiment condition

	Case 1	Case 2	Case 3
Size [mm]	200 x 30	200 x 30	200 x 30
Thickness [mm]	2.8	2.4	1.5
Mass [g]	37.11g	35.51g	34.72g
# of specimen	5	5	5



Fig. 6 Test specimen of ISB panel (length 200mm , width 30mm , total thickness 2.8mm)

3가지의 시험조건당 얻어진 5개의 시험결과 중 편차가 심하지 않은 3개의 결과를 평균하여 사용하였다.

5. 실험 결과

Fig. 7 에 3 점 굽힘시험의 하중-변위 선도를 나타내었다. 그래프에서 사각 박스 안의 1, 2, 3 은 크럼핑 각도가 각각 90°, 120°, 150° 임을 나타낸다.

하중-변위 선도에서 초기 선형구간을 가지면서 변위와 하중이 증가하다가 최고점에 이르러 하중이 급격히 떨어진 후 변위만 증가하는 현상을 나타낸다. 하중-변위곡선의 초기 선형부를 스프링 강성(k) 값으로 정의하고 이를 통해 강성을 비교한다. 또한 최대하중 값을 강도특성을 나타내는 값으로 평가하였다.

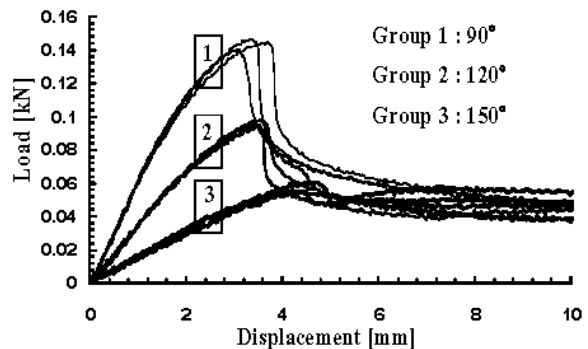


Fig. 7 Load-displacement curve of ISB panel

3 가지의 그룹에서 스프링 강성 값과 최대하중은 크럼핑각에 절대적인 영향을 받는다. 따라서 피라미드 형상의 내부구조재에서 크럼핑각은 ISB 판재의 특성을 결정 짓는 매우 중요한 인자임을 판단할 수 있다.

3 가지 실험의 선형구간내의 기울기는 실험 1, 2, 3 에 대하여 각각 58.6, 34.1, 15.6 kN/m 의 평균값을 가진다. 200mm x 30mm 의 크기를 가지는 1 종 냉연 강판 (탄성계수 180GPa, 밀도 7850kg/m³)[4]이 동일한 스프링 강성 값을 가질 때의 두께를 등가두께(t_e , equivalent thickness)라 정의하고, 등가두께를 가질 때 냉연강판의 질량 (m_{solid})를 계산함으로써 동일한 강성을 가지는 두 판재의 두께를 비교하여 경량화 정도를 비교해 보았다.

크기 200mm x 30mm 인 1 종 냉연강판이 실험 1, 2, 3 과 동일한 강성을 얻기 위해 냉연 1 종 강판의 두께(t_e)는 각각 2.23mm, 1.86mm, 1.44mm 이어야 한다. ISB 판재의 두께가 등가두께보다 두꺼울 수 있다. 그러나 이때 ISB 판재와 냉연 강판의 두께를 비교해 보면 ISB 판재의 질량이 37.1g ~ 34.7g 인데 반하여 등가두께를 가지는 냉연강판의 경우 질량은 105g ~ 67.6g 으로 모든 경우에 있어 질량이 반 이하로 감소했다. 정량적 비교를 위해 질량감소의 정도를 식 (7)과 같이 정의하였다.

$$R_m = \frac{m_{solid} - m_{ISB}}{m_{solid}} \times 100 \quad (7)$$

여기서 R_m 은 질량감소율(Reduction ratio)이다.

실험 1 의 경우 일반 강판을 쓰는 곳에 ISB 판재를 대체하면 굽힘 강성을 그대로 유지하면서도 질량을 64% 경량화 시킬 수 있다. 즉 질량을 반 이상 줄일 수 있다는 의미이다. 실험 1, 2, 3 에 대한 등가두께 및 두께비교 결과를 Table 3 에 나타내었다.

Table 2 Equivalent value of ISB panel

	t_e [mm]	m_{solid} [g]	m_{ISB} [g]	reduction rate [%]
Case 1	2.23	105	37.1	64.7
Case 2	1.86	87.8	35.5	59.6
Case 3	1.44	67.6	34.7	48.7

6. 결론

본 연구에서는 면재와 심재가 모두 금속인 샌드위치형 복합판재인 ISB 판재를 소개하였다. 상용 익스텐디드 금속을 크럼핑 공정을 통해 피라미드 구조로 성형한 후 이를 ISB 판재의 심재로 활용하여 다점 전기저항 용접을 통해 ISB 판재를 제작하고 정적 굽힘시험을 통해 간단히 그 기계적 특성을 평가하였다.

동일한 크기(200mm x 30mm)와 굽힘강성(스프링 강성, k)을 가지는 1 종 냉연 강판의 등가 두께는 ISB 판재의 두께보다 얇으나 그 두께는 두 배 이상으로 비강성이 매우 높다. 따라서 경량화 측면에서 매우 유리하다.

이상의 연구로부터 ISB 판재는 내부구조재의 향상에 따라 그 특성이 달라지며 따라서 필요한 목적에 맞도록 내부구조재가 설계 및 제작될 수 있는 다기능 초경량 판재로서 매우 높은 가능성을 가짐을 확인할 수 있다.

후 기

이 논문은 과학기술부의 국책연구개발사업인 마이크로 첨단복제생산 시스템 개발사업결과의 일부이며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Wadley, H. N. G., Fleck, N. A. A., Evans, A.G., "Fabrication and structural performance of periodic cellular metal sandwich structures," Composites Science and Technology, Vol. 63, Issue 16, pp. 2331-2343, 2003
2. Zenkert, D., "The handbook of Sandwich Construction," EMAS publishing, 1997
3. ASTM E270 "Standard test method for semi-guided bend test for ductility of metallic materials," 1995
4. Ahn, D. G., Lee, S. H., Kim, M. S., Hahn, G. Y., Jung, C.G., Yang, D. Y., "Mechanical properties of CSP 1N sheet metal and development of a tensile test method for woven wire structured materials," Proceedings of the KSPE Spring annual meeting 2004, pp 977~980