

ISB 판넬의 굽힘강성 및 파단특성에 관한 연구

안동규*(조선대 기계공학과), 이상훈(조선대 대학원), 김민수(조선대 대학원),
한길영(조선대 기계공학과), 정창균(KAIST 대학원), 양동열(KAIST 기계공학과)

Investigation into characteristics of bending stiffness and failure for ISB panel

D. G. Ahn(Mecha. Eng. Dept. CSU), S. H. Lee(Graduate School. CSU), M. S. Kim(Graduate School. CSU), G. Y. Hahn(Mecha. Eng. Dept. CSU), C. G. Jung(Graduate School. KAIST), D. Y. Yang(Mecha. Eng. Dept. KAIST)

ABSTRACT

The objective of this research work is to investigate into characteristics of bending stiffness and failure for the ISB ultralightweight panel with internally structured material. The expanded metal with a pyramid shape and woven metal are employed as an internally structured material. In order to investigate the characteristics, the specific stiffness and failure map are estimated using the results of three-points bending test. From the results of the experiment, the influence of design parameters of ISB panel on the specific stiffness and failure mode has been found. In addition, it has been shown that ISB panel with expanded metal is prefer to that with woven metal from the view point of optimal design for ISB panel.

Key Words : ISB panel(ISB 판재), Expanded Metal(익스텐디드 금속), Woven Metal(금속 망형 구조체), Bending Stiffness(굽힘강성), Failure characteristics(파단특성)

1. 서론

최근 에너지 효율증대와 대기오염을 감소시키기 위한 방안으로 자동차/항공기/선박등 수송기계 분야에서는 초경량/고강도/고내충격성을 갖는 기능성 재료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.¹ 초경량/고강도/고내충격성을 갖는 기능성 재료에 대한 연구의 주요 사항으로 판재형의 재료 사이에 3차원 구조물 또는 폼 재료와 같은 다공성 재료를 삽입시켜 샌드위치 구조를 구성함으로써 재료의 상대 밀도를 현저히 감소시킴과 동시에 강성/강도/내충격성을 향상시키는 방법에 대한 연구가 전세계적으로 시작되고 있다.²

KOPP 등은 격자판재 개발시 내부구조체의 정적 기계적 물성 및 변형특성 분석을 위하여 내부구조체의 퍼포레이트 판재의 인장시험과 유한요소해석을 수행하였고, 익스텐디드 금속 판재를 내부구조체를 가진샌드위치 판재에 대하여서 인장시험을 수행한바 있다.² Wicks 등은 Kagome 구조를 가진 초경량 샌드위치 판재 개발에서 샌드위치 구조물의 3점 굽힘실험을 수행하여 설계변수의 파단특성 영향

성을 분석하고, 이것을 설계데이터로 활용하였다.^{3,4} Wadley 등은 크럼핑 내부구조물을 가진 샌드위치 판재에 대한 3점 굽힘실험을 수행하여 굽힘강성과 파단특성에 대한 연구를 수행하였다.⁵ Deshpande 는 트러스 내부구조를 갖는 샌드위치 판재의 4가지 파단모드에 대하여 상세해와 3점 굽힘실험 결과를 비교하여 붕괴 메커니즘 지도를 작성 하였다.⁶

최근 국내에서는 금속 피라미드 구조를 가지는 익스텐디드 금속(Expanded Metal)과 금속 망형 구조체(Woven Metal)를 내부구조체를 사용하여 0.5mm 이하의 금속 판재를 외판으로 사용하는 ISB(Internally Structured Bonded Panel)에 대한 연구가 시작되고 있다.^{7,8}

본 연구에서는 익스텐디드 금속과 금속 망형 구조체를 내부구조체로 가지며 스테인레스 판재를 외판으로 사용하는 ISB 판넬에 대한 굽힘강성과 파단특성에 대한 분석 및 고찰을 수행하였다. 굽힘강성과 파단특성 분석을 위하여 3점 굽힘실험을 수행하였으며, 설계변수의 굽힘강성과 파단지도(Failure Map) 영향성에 대한 연구를 수행 하였다.

2. 내부 미세구조체 특성 분석

2.1 피라미드 구조를 가진 익스펜디드 금속의 특성 분석

익스펜디드 금속은 마름모꼴의 격자를 가지는 철망의 한 종류로 익스펜디드 금속 혹은 메탈라스(Metal lath)라고 부른다. 익스펜디드 금속은 얇은 금속 박판을 슬릿(slit)한 후 슬릿된 방향으로 금속을 확장시켜 제조되는 철망의 한 형태로, 재료의 손실이 없고 공정이 자동화되어 대량생산되고 있다. 본 연구에서는 익스펜디드 금속을 Fig. 1 과 같이 금형으로 크럼핑각을 부여 피라미드 형성의 구조체를 생성 하였다. 이 크럼핑각을 변화 시킴으로써 샌드위치 구조물의 상대밀도를 제어한다

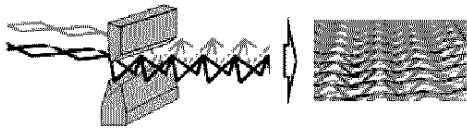


Fig. 1 Structure of expanded metal with pyramid shape

2.2 금속 망형 구조체의 특성 분석

금속 망형 구조체는 Fig. 2 와 같이 일 방향으로 정렬된 와이어 사이로 90° 방향으로 와이어가 지나가면서 직조되어 주직조 방향(0°)인 Weft 방향의 금속선 굽힘각이 부직조방향(90°) Wrap 방향의 금속선 굽힘각 보다 작게 되어 직조금속망에 하중 부가시 기하학적 이방성이 발생한다. 또한 직조금속망은 와이어간 접합이 이루어지지 않아 전단에 대한 저항 없이 전단력에 대하여 자유롭게 변형하는 특성을 지닌다.

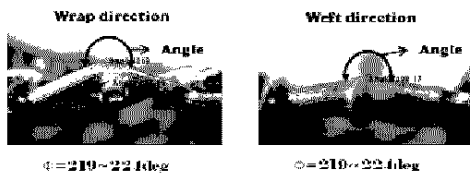


Fig. 2 Structure of woven metal

3. ISB 판넬의 굽힘시험

3.1 시편설계 및 제작

본 연구에 사용된 ISB 판넬은 익스펜디드 금속과 금속 망형 구조체를 내부구조체로 사용 하였다. 외 판은 0.3mm 의 스테인레스 판재를 사용 하였다. 익스펜디드 금속을 내부구조체로 가지는 ISB 판넬 시편의 경우 Fig. 3 과 같이 시편길이(L), 시편폭(W), 및 크럼핑각(θ)를 설계변수로 설정하였다. 시편길이는 160mm 와 200mm, 시편폭은 20mm 와 30mm, 크

럼핑각은 90°, 120°, 150° 로 하였다. 금속 망형 구조체를 내부구조체로 가지는 ISB 판넬 시편의 경우 금속 망상구조체의 직조방향과 부직조방향에 대하여 시편을 설계/제작 하였다. 시편규격은 ASTM E290-87, KSB 0803 에 근거하여 설계/제작 하였다.

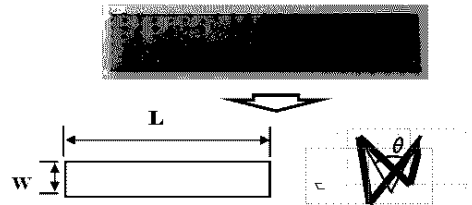


Fig. 3 Design parameters of specimen for ISB panel with expanded metal

3.2 실험 방법

ISB 판넬 시편의 3 점 굽힘실험은 Fig 4 와 같이 ASTM E290-87, KSB 0804 규격에 의거하여 INSTON 5583 에서 수행 하였다. 3 점 굽힘실험의 스패닝이는 시편길이 160mm 와 200mm 에 대하여 각각 120mm 와 160mm 를 가진다. 펀치의 지름은 25.4mm 이다. 펀치의 최대 행정(Stroke)은 25mm 이다.

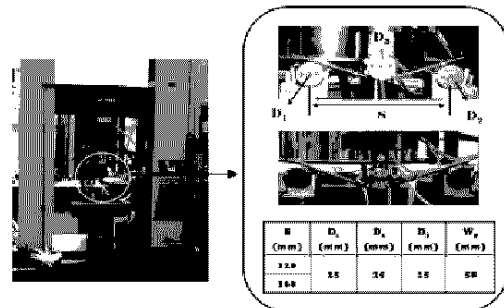


Fig. 4 Experimental set-up

4. 실험결과 및 고찰

4.1 익스펜디드 금속을 내부구조체로 가지는 ISB 판넬의 실험결과 및 고찰

4.1.1 굽힘강성 특성

Fig. 5 와 6 은 3 점 굽힘실험결과 산출된 하중-변위선도와 크럼핑각과 비강성 관계이다. Fig. 5 와 같이 피라미드 구조의 익스펜디드 금속 구조체의 크럼핑각이 증가할수록 최대하중은 현저히 감소하며, 최대하중에서 변위는 조금씩 증가함을 알 수 있다. Fig. 6 의 크럼핑각과 비강성(α_k)관계에서 크럼핑각이 증가할수록 다른 시편설계 변수에 관계없이 비강성이 감소함을 알 수 있으며, 크럼핑각과 비강성

은 강한 선형 관계가 형성됨을 알 수 있었다. 비강성의 정의는 식(1)과 같다. 특히, 크림핑각이 증가할수록 ISB 판넬 밀도가 증가하는 것을 고려하면 크림핑각이 적을수록 초경량/고강성의 재료를 제작할 수 있음을 알 수 있었다.

$$\alpha_{\kappa} = \frac{K_{eq}}{\rho g} = \frac{p_{max}}{\delta_{\alpha} \rho g} \quad (1)$$

여기서, P_{max} , δ_{α} , ρ , g 는 각각 최대하중, 최대하중에서의 변위, 밀도 및 중력가속도이다.

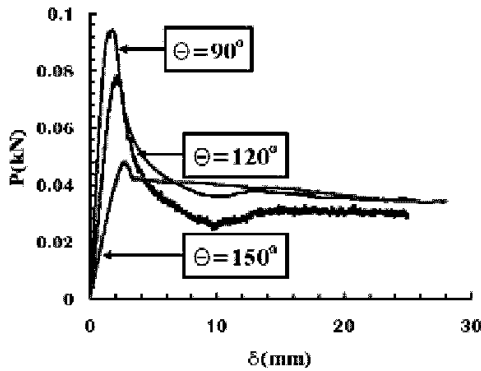


Fig. 5 Results of experiments (P-δ curve)

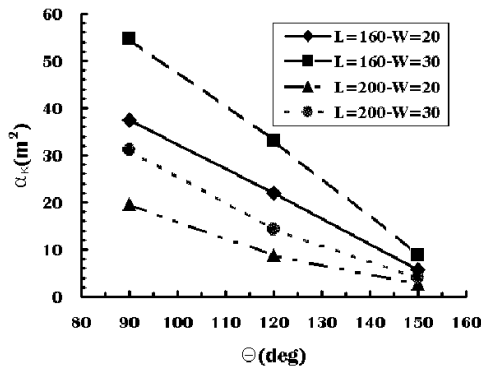


Fig. 6 Relationship between specific stiffness and crimping angle

4.1.2 파단특성 특성

피라미드 구조의 익스펜디드 구조체를 내부구조체로 가지는 ISB 판넬의 경우 Fig. 7 과 같이 중앙함몰과 표면박리의 두가지 파단모드가 발생함을 알 수 있었다. 특히, 크림핑각이 120° 일 경우는 시편 설계조건에 의하여 파단모드가 변경됨을 알 수 있었다. 크림핑각이 증가할수록 표면박리가 주 파단모드로 나타나는 이유는 상하 외판 사이의 간격이 좁아서 변형된 외판이 내부구조체 사이로 이동하지 못하고 외부로 밀려 나오기 때문인 것으로 사료된다. 또한, Fig. 7 과 같은 시편별 파단지로부터 시편의 상대밀도(Relative density)가 0.3 을 기준

으로 하여 파단모드가 중앙함몰에서 표면박리로 전이함을 알 수 있었다.

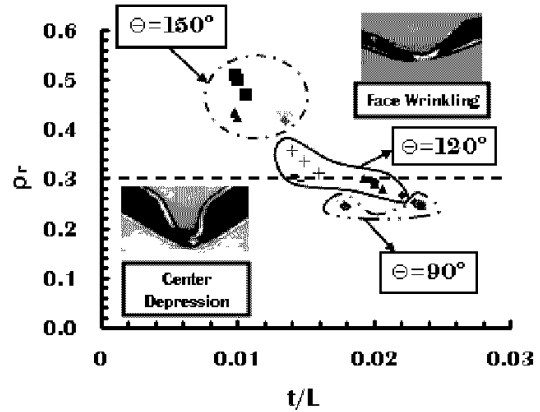


Fig. 7 Failure map of ISB panel with the expanded metal

4.2 금속 망형 구조물을 내부구조체로 가지는 ISB 판넬의 실험결과 및 고찰

4.2.1 굽힘강성 특성

Fig. 8 과 9 는 3 점 굽힘실험 결과 산출된 하중-변위 선도와 직조각과 비강성 관계이다.

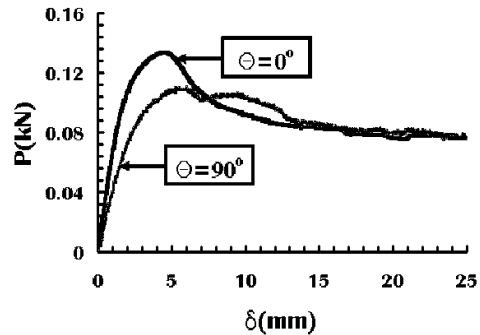


Fig. 8 Results of experiments (P-δ curve)

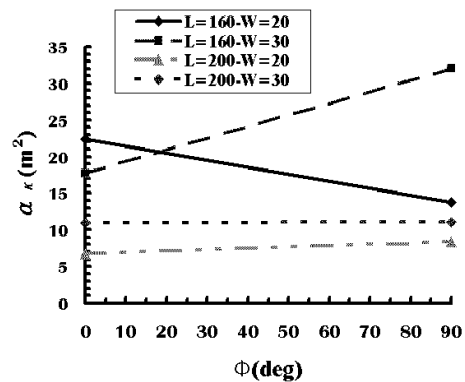


Fig. 9 Relationship between specific stiffness and material direction of woven metal

Fig. 8 과 같이 주직조 방향에서 최대 하중이 약간 높은 값을 가지나, 최대하중에서의 변위는 약간 감소함을 알 수 있었다. 그러나, 시편설계 변화시 Fig. 9 에서와 같이 직조 배열각과 비강성은 일정한 관계가 없음을 알 수 있었다.

4.2.2 파단 특성

금속 망형 구조체를 내부구조체로 가지는 ISB 판넬의 경우 Fig. 10 과 같이 시편조건에 관계없이 중심 외관함몰과 표면바리가 동시에 나타나는 한가지의 파단특성 및 파단모드를 나타내었다.

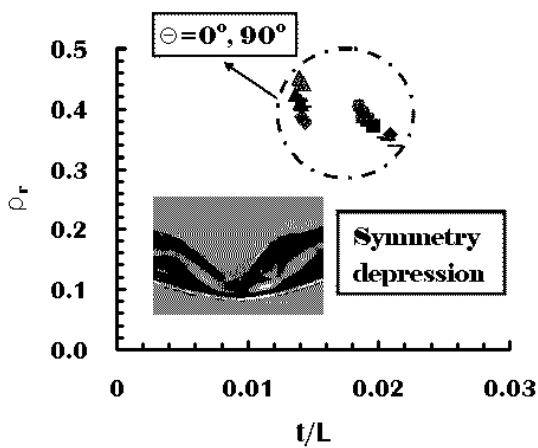


Fig. 10 Failure map of ISB panel with the woven metal

5. 결론

본 연구에서 피라미드 구조를 가진 익스펜디드 금속을 내부구조체로 가지는 ISB 판넬과 금속 망형 구조체를 내부구조체로 가지는 ISB 판넬의 굽힘강성 및 파단특성에 대하여 실험적 분석/고찰 하였다.

본 연구를 통하여 피라미드 구조를 가진 익스펜디드 금속과 금속 망형 구조체를 내부구조체로 가지는 ISB 판넬의 굽힘강성과 파단특성에 대한 정량적 데이터 취득과 평가를 할 수 있었다.

익스펜디드 금속을 내부구조체로 가진 ISB 판넬의 경우 크럼핑각이 상대밀도와 비강성 및 파단모드를 결정하는 주요 설계변수임을 알 수 있었다. 금속 망형 구조체를 내부구조체로 가진 ISB 판넬의 경우 금속 망형 구조체의 직조각이 비강성 및 파단모드를 결정하는 설계변수가 되지 못함을 알 수 있었다.

이 결과로부터 익스펜디드 금속을 내부구조체로 가진 ISB 판넬이 금속 망형 구조체를 내부구조체로 가진 ISB 판넬 보다 최적설계 관점에서 우수한 ISB 판넬 설계기법으로 사료된다.

후 기

본 연구는 과학기술부 핵심연구개발사업인 “마이크로 첨단복제 생산시스템개발사업” 연구결과의 일부이며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Evans, A. G., Hutchinson, J. W., and Ashby, M. F., "Multifunctionality of Cellular Metal Systems," *Progress in Materials Science*, Vol. 43, pp. 171 - 221, 1999.
2. Dilthey, U., Kopp, R., Hohmeier, P., Beiss, P., Figueredo, E. L., El-Magd, E., and Kranz, A., "Development of Porous Steel Structures for Steam Turbines," *Advanced Engineering Materials*, Vol. 3, No. 3, pp. 111 - 119, 2001.
3. Wich, N., Hutchison, J. W., "Optimal Truss Plates," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 38, pp. 5165 - 5183, 2001.
4. Wang, J., Evans, A. G., Dharmasena, K., and Wadley, H. N. G., "On the Performance of Truss Panels with Kagome Cores," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 40, pp. 6981 - 6988, 2003.
5. Wadley, H. N. G., Fleck, N. A., and Evans, A. G., "Fabrication and Structural Performance of Periodic Metal Sandwich Structures," *Composites Science and Technology*, Vol. 63, pp. 2331 - 2343, 2003.
6. Deshpande, V. S., Fleck, N. A., "Collapse of Truss Core Sandwich Beams in 3-Point Bending" *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 39, pp. 6275 - 6305, 2001.
7. 안동규, 이상훈, 김민수, 한길영, 정창균, 양동열, "CSP 1N 박판재료의 기계적 물성 및 Woven Wire 구조물 인장시험기법 개발에 관한 연구," 2004 년도 한국 정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 제 1 권, 제 1 호, pp. 977-980, 2004.
8. 정창균, 윤석준, 성대용, 양동열, 안동규, "초경량 내부구조 결합판재 제작을 위한 금속내부구조의 설계변수 분석," 2004 년도 한국 정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 제 1 권, 제 1 호, pp. 928-931, 2004.