

## 익스펜디드 금속을 내부 구조체로 가지는 ISB 판넬의 정적·동적 특성 분석

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

### Investigation into static and dynamic characteristics of ISB panels with the expanded metal as an internally structured material

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

#### ABSTRACT

The objective of this research work is to investigate into static and dynamic characteristics of ISB panels with the expanded metal as an internally structured material. In order to investigate static and dynamic characteristics of ISB panels, several experiments, the tensile test, three-point bending test and impact test, are carried out. From the results of the experiments, the mechanical properties, bending stiffness and impact absorption energy of the ISB panel have been obtained. In addition, it has been shown that the static and dynamic characteristics of ISB panel are highly dependent on the crimping angle of the pyramidal structure for the expanded metal.

**Key Words :** ISB panel(ISB 판넬), Expanded metal (익스펜디드 금속), Crimping angel (크림핑 각), Static characteristics (정적 특성), Dynamic characteristics (동적 특성)

#### 1. 서론

초경량/고강성/고내충격성을 갖는 초경량 금속 구조재(Ultralight weight structured material)는 에너지 효율 향상과 승객의 안전성 향상 및 대기오염 감소와 같은 장점이 있어 자동차/항공기/선박 등의 수송 기계 분야에서 최근 활발한 연구가 진행되고 있다.<sup>1</sup> 초경량 금속구조재의 경우 판재형 금속재료 내부에 3 차원 구조물 또는 폼 재료와 같은 다공성 재료를 삽입시켜 샌드위치 구조를 구성함으로써 재료의 상대밀도를 현저히 감소시킴과 동시에 강성/강도/내충격성을 향상 시키는 방법에 대한 연구가 전 세계적으로 시작되고 있다.<sup>2</sup>

KOPP 등은 격자판재(Grid sheet) 개발시 내부 구조인 직조망형 금속격자, 외판인 퍼포레이티드(Perforated sheet) 판재 및 직조 망형 금속격자와 퍼포레이티드 판재로 구성된 샌드위치 판재에 대하여

서 인장시험을 수행한 바 있다.<sup>2</sup> Chiras 등은 옥텟 트리스 (Octet truss) 구조물을 가지는 두꺼운 샌드위치 판넬에 대한 3 점 굽힘시험과 전단·압축시험을 수행하였다.<sup>3</sup> Zok 등은 크림핑 (Crimping) 공정을 통하여 제작된 피라미드형 트리스 구조물 코어를 내부 구조물로 가진 샌드위치 판재에 대한 고정형 3 점 굽힘시험을 수행하였다.<sup>4</sup> Wang 등은 Kagome 구조를 가진 샌드위치 판재에 대한 샌드위치 구조물의 압축시험, 전단시험 및 3 점 굽힘시험을 수행하여 설계변수의 파단특성 영향성을 분석하고, 이것을 설계데이터로 활용하였다.<sup>5</sup>

최근 국내에서는 두개의 금속 박판사이에 3 차원 금속 구조체를 대면적에 분포시킨 후, 판재와 구조체를 접합 또는 용접으로 연결시켜 재료의 무게를 현저히 감소시키는 반면 강도/강성/내충격성을 향상시키는 전체 두께 3mm 이하의 ISB 판재 (Internally structured bonded sheet) 개발에 대한 연구

가 수행되고 있다.<sup>6</sup> ISB 판재의 초기 설계/개발을 위하여 ISB 판재에 대한 기계적 물성과 변형특성에 대한 연구가 필수적이다.

본 연구에서는 익스펜디드 금속을 내부구조체로 가지며 스테인레스 판재를 외판으로 사용하는 ISB 판넬에 대한 인장·굽힘·충격시험을 통하여 정적·동적 특성을 분석 및 고찰 하였다.

## 2. ISB 판넬 제작 방법

파라미드 구조를 가진 익스펜디드 금속을 내부구조체로 가지는 ISB 판넬은 익스펜디드 금속을 크림핑하여 생성한 파라미드 구조체를 외판인 스테인레스 강판과 전기지향 용접과 애폭시 접착제로 접합하여 제작된다.

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 크림핑각을 부여하여 파라미드 형상의 구조체를 생성하였다. 이 크림핑각을 변화 시킴으로써 샌드위치 구조물의 상대밀도를 제어할 수 있다.

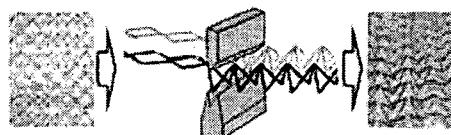


Fig. 1 Structure of expanded metal with pyramid shape

크림핑 공정을 통해 3 가지 형상의 파라미드 구조를 생산하였다. 본 연구에서는 크림핑각 90? 120? 150? 를 갖는 내부구조체에 대해 ISB 판재를 제작하였다.

## 3. 실험 방법

### 3.1 ISB 판넬 인장시험

ISB 판넬의 인장시험에 사용된 시편은 Fig. 3 과 같이 ASTM A370-03 의 박판재료 인장시편 규격을 응용하여 설계/제작하였다. 인장시편 설계시 크림핑각 (Crimping angle :  $\theta$ )을 설계변수로 선정하였다. ISB 판넬의 인장시편의 크림핑각은 90? 120? 150? 로 선정하였다. ISB 판넬의 인장시편은 내부구조체의 기하학적 형상 때문에 시편내부에 공간이 발생하게 된다. 이 공간 때문에 인장시험시 시편 그립부에 함몰이 발생할 수 있다. 이 함몰을 최소화하기 위하여 Fig. 2 과 같이 시편 그립부를 애폭시로

충진하였다.

ISB 판넬의 종단성계수, 포아송비, 비례한도, 항복응력은 2 축 스트레인게이지가 부착된 시편으로 측정 하였다. 인장강도, 최대변형율 및 응력-변형율 관계식은 연신율 측정기를 사용하여 측정하였다. 종단성 계수와 포화송비는 ASTM E111-82 에 기준하여 실험데이터를 이용한 선형회귀법으로 계산 하였다. 실험은 Fig. 3 와 같이 Instron 5583 에서 수행되었다.

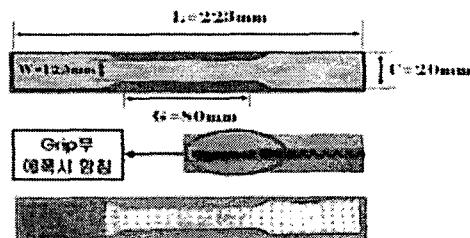


Fig. 2 Design of specimen for the tensile test of ISB panel with a pyramidal structures

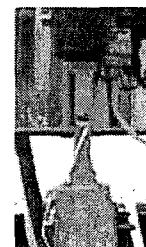


Fig. 3 Set-up of tensile tests for the ISB panel

### 3.2 ISB 판넬 굽힘시험

익스펜디드 금속을 내부구조체로 가지는 ISB 판넬의 굽힘강성 특성을 분석/고찰 하기 위하여 3 점굽힘시험을 수행하였다. 또한, ISB 판넬의 외판재료이며 ISB 판넬과 동일 두께를 가지는 스테인레스 판넬에 대한 비강성에 대해 비교 분석 하였다. ISB 판넬의 시편길이는 160 mm 와 200 mm, 시편폭은 20 mm, 30 mm, 크림핑각은 90? 120? 150? 로 하였다 시편규격은 ASTM E290-87, KSB 0803 에 근거하여 설계/제작 하였다.

ISB 판넬 시편의 3 점 굽힘실험은 ASTM E290-87 KSB 0804 규격에 의거하여 INSTRON 5583 에서 수행하였다. 3 점 굽힘시험의 스판길이는 시편길이 160 mm 와 200 mm 에 대하여 각각 120 mm 와 160 mm 를 가진다. 편치의 지름은 25.4 mm 이다.

### 3.3 ISB 판넬 충격시험

ISB 넬의 충격흡수에너지에 대한 분석/고찰하기 위하여 자유낙하 충격시험을 수행 하였다. 충격시험의 외판은 0.3 mm 의 스테인레스 강판을 사용 하였으며 내부구조체인 익스펜디드 금속과 애폭시 접

착재로 접합하여 제작하였다. ISB 판넬 충격시편의 크기는 120 mm (L) × 120 mm (W) 이며, 크림핑각을 설계 변수로 설정 하였다. 실험은 Fig. 5 와 같이 폼 기반 샌드위치 판재 및 복합재료 판재의 충격시험에 가장 많이 적용하는 낙하하중 (Drop weight) 방식 충격시험기법으로 실험을 수행 하였다.

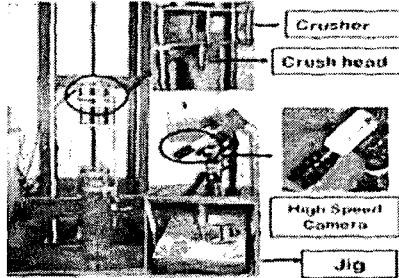


Fig. 5 Experimental set-up

#### 4. 실험 결과 및 고찰

##### 4.1 ISB 판넬 인장시험 결과

크림핑된 피라미드 구조체를 내부구조체로 가지는 ISB 판넬의 인장시험 결과는 Fig. 6 및 7 과 같다. 본 실험결과 ISB 판넬의 크림핑각이 증가할 수록 인장강도, 항복강도 및 최대변형율이 모두증가하는 것으로 나타났다. ISB 판넬의 비탄성계수, 비항복강도 및 비강도 값들이 매우 높게 나타남을 알 수 있었다. 이 결과로부터 ISB 판넬이 비항복강도, 비강성 측면에서 매우 우수한 기계적 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

또한, 스테인레스 강판의 인장시험 결과와 비교한 결과 ISB 판넬의 비탄성계수, 비항복강도 및 비강도 값들이 매우 높게 나타남을 알 수 있었다. 이 결과로부터 ISB 판넬이 비항복강도, 비강성 측면에서 매우 우수한 기계적 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

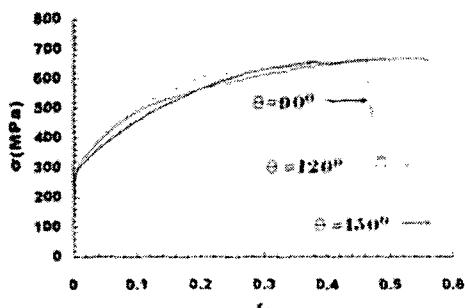


Fig. 6 Influence of the crimping angle on  $\sigma$  -  $\epsilon$  curve

##### 4.2 ISB 판넬 굽힘시험 결과

Fig. 8 은 피라미드 구조를 내부구조체로 가지는

ISB 판넬의 3 점 굽힘시험 결과 얻어진 시편폭당 비강성 관계를 나타내었다.

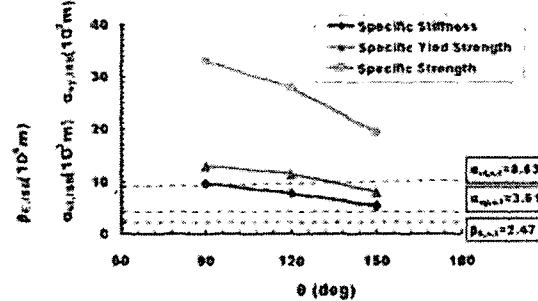


Fig. 7 Results of comparison of the specific modulus, specific strength and specific yield strength of ISB panel with those of stainless panel

익스펜디드 금속을 내부구조체로 가지는 ISB 판넬의 경우, 크림핑각이 증가할수록 거의 선형적으로 시편폭당 비강성이 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한, ISB 판넬과 동일 질량을 갖는 스테인레스 강판에 대하여 시편폭당 비강성을 비교한 결과 ISB 판넬이 우수한 시편폭당 비강성 특성을 보이는 것을 알 수 있었다.

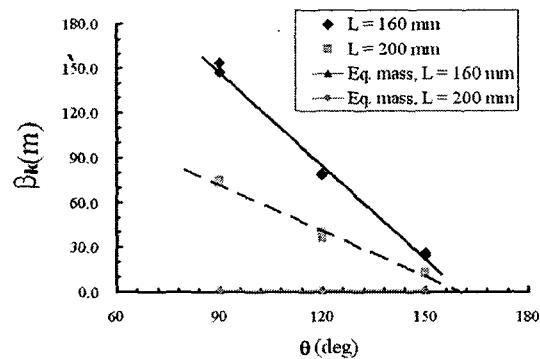


Fig. 8 Relationship between crimping angle and specific stiffness per unit width

##### 4.3 ISB 판넬 충격시험 결과

Fig. 9 와 10 은 크림핑각 120° 를 갖는 ISB 판넬의 충격 시험 결과를 나타낸다.

크림핑각 120° 를 갖는 ISB 판넬의 경우 입력 에너지 37.0 J 에서 상면 외판에 파손이 발생하였다. 이때, 흡수에너지 값은 30.7 J 이었다. 또한, 입력에너지 38.1 J 에서 하면 외판에 파손이 발생하였다. Fig. 9 와 같이 입력에너지 35.9 J 까지는 입력에너지 증가 시 충격에너지 흡수율이 88 % 까지 증가하다가 상면 외판 파손이 발생하는 37 J 에서는 흡수율이 82 % 로 급격히 감소하였다. 또한, 하면 외판

에 파손이 발생하는 시점에서는 충격에너지 흡수율이 78.1 %로 감소함을 알 수 있었다.

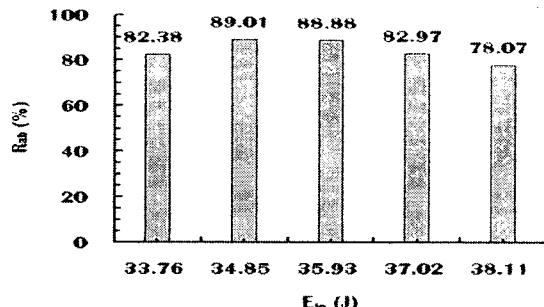


Fig. 9 Energy absorption rate of ISB panel according to the impact energy ( $\theta = 120^\circ$ )

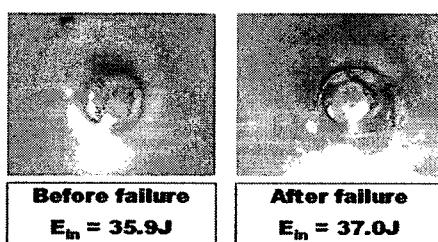


Fig. 10 Deformed shape of ISB panel in the vicinity of the critical impact energy ( $\theta = 120^\circ$ )

#### 4. 결론

본 연구에서 피라미드 구조를 내부구조체로 가지는 ISB 판넬에 대한 정적·동적 특성에 대하여 분석/고찰하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 피라미드 구조를 내부구조체로 가지는 ISB 판넬의 기계적 물성 및 비탄성계수, 비항복강도, 비강도에 대한 정량적 데이터 취득 및 평가를 할 수 있었다. 또한 ISB 판넬이 ISB 판넬의 외판 재료인 스테인레스 강판을 사용하는 재료보다 비항복강도, 비강도 측면에서 매우 우수한 기계적 성질을 나타냄을 알 수 있었다.

둘째, 3 점 굽힘시험을 통해 피라미드 구조를 내부구조체로 가지는 ISB 판넬에 대한 굽힘강성 특성 데이터를 취득 할 수 있었다. ISB 판넬이 동일체적/무게를 갖는 스테인레스 강판 보다 시편쪽당 비강성 측면에서 매우 효율적임을 알 수 있었다.

셋째, ISB 판넬의 충격흡수에너지 및 파단특성을 분석/고찰하였다. 크림핑각이 충격흡수에너지와 충격 파손형상에 미치는 영향을 평가할 수 있었다. 또한 임계 충격에너지 값은 산출할 수 있었다.

추후, 크림핑된 피라미드 구조체를 내부구조체

로 가지는 ISB 판넬에 대한 추가적 정적·동적 시험을 수행하여 ISB 판넬의 정적·동적 데이터 및 파손모드에 대한 통계적인 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

#### 후기

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

#### 참고문헌

- 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.
- Dilthey, U., Kopp, R., Hohmeier, P., Beiss, P., Figueiredo, 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.
- Chiras, S., Mumm, D. R., Evans, A. G., Wicks, N., Hutchinson, J. W., Dharamasena, K., Wadley, H. N. G. and Fitcher, S., "The Structural Performance of Near-optimized Truss Core Panels," International Journal of Solids and Structures, Vol. 39, pp. 4093-4115, 2002.
- Zok, F. W., Waltner, S. A., Wei, Z., Rathbun, H. J., McMeeking, R. M. and Evans, A. G., "Protocol of Characterizing the Structural Performance of Metallic Sandwich Panels: Application to Pyramidal Truss Cores," International Journal of Solids and Structures, Vol. 41, pp. 6249-6271, 2004.
- 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.
- 정창균, 윤석준, 성대용, 양동열, 안동규, "초경량 내부구조 접합판재 제작을 위한 금속내부구조의 설계변수 분석," 2004년도 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집 pp. 928-931, 2004.