

# 에폭시 접합된 ISB 판넬의 드로잉형 경계조건에서의 충격 에너지 흡수 특성

## Absorption Characteristics of Impact Energy of ISB Panel Joined with Epoxy in a Drawing Boundary Condition

\*#안동규<sup>1</sup>, 문경제<sup>2</sup>, 한길영<sup>1</sup>, 정창균<sup>3</sup>, 양동열<sup>4</sup>

\*#D. G. Ahn(smart@mail.chosun.ac.kr)<sup>1</sup>, G. J. Moon<sup>2</sup>, G. Y. Han<sup>1</sup>, C. G. Jung<sup>3</sup>, D. Y. Yang<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 조선대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 조선대학교 일반대학원 기계공학과, <sup>3</sup>KAIST 대학원 기계공학과, <sup>4</sup>KAIST 기계공학과

Key words : ISB Panel (ISB 판넬), Epoxy Joining (에폭시 접합), Absorption of Impact Energy (충격에너지 흡수)

### 1. 서론

초경량 고강성/고내충격성 재료 개발의 한가지 방향으로 금속 판재 내부에 3 차원 내부구조체를 가진 샌드위치형 초경량 재료 개발에 대한 연구가 국내외적으로 다양하게 수행되고 있다<sup>1</sup>. 초경량 샌드위치 판재의 경우 상하부 면재 (Skin sheet) 와 내부구조체가 접합과 용접등으로 결합하여 제작된다. 그러므로 내부구조체 특성 및 표면 판재와 내부구조체의 결합 방법에 따라 기계적 물성과 충격 특성이 결정될 수 있다. 피라미드형 내부구조체를 사용하는 금속 판재는 개방형 내부 구조를 가지고 있기 때문에 내부 공간 활용도를 높일 수 있으며, 상대 밀도 또한 현저히 감소시킬 수 있다<sup>2</sup>.

최근 국내에서도 이러한 초경량 샌드위치 판재 개발을 서두르고 있다. 현재 진행되고 있는 연구로써 면재 사이에 피라미드 구조, 트러스 구조, 딥플 구조 및 전단형 딥플 구조의 내부 구조체를 가지며 두께가 3 mm 인 ISB (Internally structured bonded) 판넬에 대한 개발을 들 수 있다.

내부구조체를 가진 초경량 샌드위치 판재의 경우 굽힘/인장/전단 등 정적 특성과 더불어 구조재 활용시 많이 나타날 수 있는 충격하중에 대한 재료의 반응 특성에 대한 연구가 필수적으로 요구된다. McShane 등은 사각형 허니콤 코어와 피라미드형 코어 및 알루미늄 폼 코어를 가진 원형 샌드위치 판재의 고정형 충격 시험과 유한요소해석을 수행하여 각 샌드위치 판재의 충격 특성을 분석하였다<sup>3</sup>. Jung 등은 트러스형 내부구조체를 가진 ISB 판넬에 대한 스트레칭형 경계조건과 직경 10 mm 의 충격 헤드를 이용한 충격 시험을 수행하여 판넬의 충격 특성을 분석하였다<sup>4</sup>.

본 연구에서는 에폭시로 접합된 피라미드형 내부구조체를 가진 ISB 판넬의 충격 특성에 대하여 분석/고찰 하였다. 직경 20 mm 의 충격 헤드를 가지는 드로잉형 충격 시험을 통하여 충격에너지 변화에 따른 ISB 판넬의 하중-변위 특성, 변형 특성, 에너지 흡수 특성 및 판넬과 내부구조체의 파손 특성 변화를 고찰하였다.

### 2. 실험 및 분석 방법

피라미드형 내부구조체를 가진 ISB 판넬에 대한 충격시험은 Fig. 1 과 같은 낙하하중 (Drop weight) 방식의 충격시험기를 사용하였다. 충격하중을 측정하기 위하여 충격 헤드 상부에 로드 셀 을 부착하였으며, 재료의 충격부 변위를 측정하기 위하여 구조물 왼쪽 모서리에 최대 변위가 75 mm 인 LVDT 를 장착하였다. 그리고 촬영 속도가 1/20,000 sec 인 고속카메라를 설치하여 충격 헤드와 시편의 접촉 후 변형을 촬영하였다. 충격헤드 무게와 타격부 직경은 각각 11.1 kg 과 20 mm 이다. 드로잉형 경계조건을 부가하기 위하여 Fig. 1 과 같은 충격시험 치구를 설계/제작 하였다.

시험 조건은 충격 에너지 37.0 J, 41.3 J 및 45.7 J 로 선정하였다.

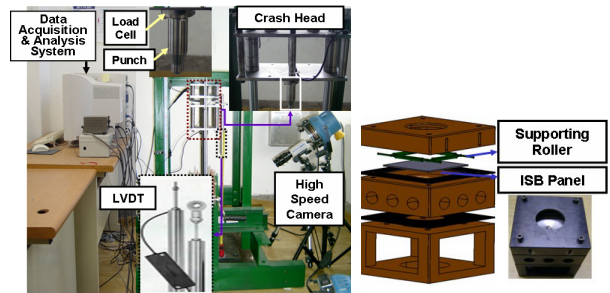


Fig. 1 Set-up and fixture for drawing type of impact tests

내부구조체를 가진 ISB 판넬의 드로잉형 충격 시험을 위한 시편은 익스펜디드 금속을 크리핑 (Crimping) 하여 피라미드형 내부 구조체를 생성한 후, 면재와 내부구조체를 YD-128 형과 KR-208 NBR 변성 타입 에폭시 (Epoxy) 를 6:4 로 혼합한 접착제를 이용한 접착하여 제작하였다<sup>4</sup>. 시편의 설계 조건은 Table 1 과 같다. 시편 크기는 120 mm × 120 mm 이며, 면재 두께 (t<sub>s</sub>) 와 크리핑 각 (θ) 은 각각 0.3 mm 와 90 ° 로 하였다. 가로 방향 (주 크리핑방향 : Major crimping direction) 및 세로 방향 (부 크리핑 방향 : Minor crimping direction) 의 단위 피라미드 형상 개수는 각각 27 개와 17 개 였다.

Table 1 Experimental Conditions

θ (°)	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	m (g)	ρ <sub>r</sub>
90	0.3	3.1	92.4	0.27

충격에너지 흡수율은 식(1) 과 같이 충격 흡수에너지 (E<sub>ab</sub>) 를 입력 충격 에너지 (E<sub>in</sub>) 로 나누어 산출하였다.

$$\chi = \frac{E_{ab}}{E_{in}} \times 100 \quad (1)$$

### 3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2 와 Table 2 는 에폭시로 접합된 ISB 판넬의 충격 시험 결과이다. Fig. 2 의 하중-처짐 선도와 Table 2 에서 충격에너지가 증가할수록 최대하중은 감소하며 최대변위는 증가하는 것을 알 수 있었다. 충격에너지 37.0 J 에서는 최대 하중 후 변위의 증가 없이 급격한 감소가 일어났다. 충격에너지 41.3 J 이상에서는 최대하중 발생 뒤 변위 증가와 하중감소가 일어난 후 변위 증가 없이 하중이 급격히 감소하는 형태를 나타내었다. 이것은 충격에너지 41.3 J 이상일 경우 시편의 접합 현상에 의한 로드셀과 시편의 접촉면적이 감소하여 하중이 감소하기 때문이다.

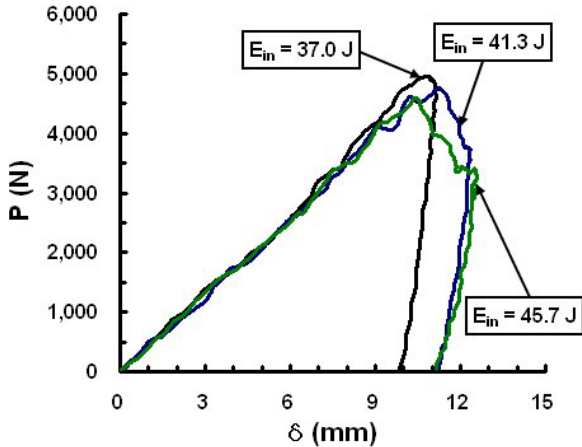


Fig. 2 Influence of the impact energy on P-δ curves

Table 2 Results of impact tests

$E_{in}$ (J)	$E_{ab}$ (J)	$\chi$ (%)	$P_{max}$ (N)	$\delta_{max}$ (mm)
37.0	32.0	81.6	4,951.5	11.2
41.3	32.6	78.8	4,754.2	12.4
45.7	34.1	74.7	4,582.0	12.6

충격에너지 흡수율은 충격에너지가 증가할수록 조금씩 감소하는 특성을 나타내었다. 이것은 충격에너지 41.3 J 이상에서는 시편의 접힘 현상으로 시편의 변형의 증가되어 로드셀에서 측정되는 하중값이 감소하기 때문이다. 본 실험범위에서 충격에너지 흡수율은 74.7-81.6 % 범위에 있는 것으로 나타났다.

Fig. 3 은 시편의 외관 파손 형상이다.

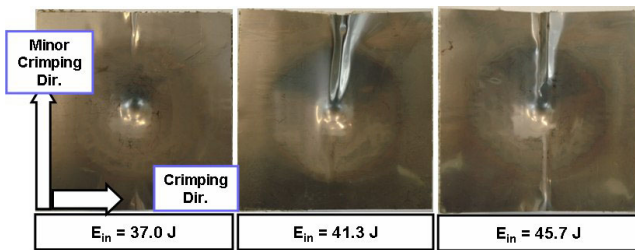


Fig. 3 (a) Deformed shapes

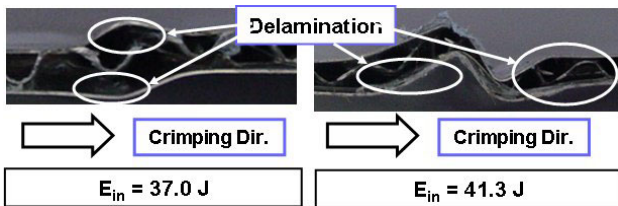


Fig. 3 (b) Delamination between skin sheets and inner structures

본 충격 시편의 파손 형상 분석 결과 Fig. 3 (a) 와 같이 충격에너지 37.0 J 에서는 중앙부 충격부가부의 함몰과 시편 가장자리부의 작은 접힘들만이 발생하였으나, 충격에너지 41.3 J 이상에서는 중앙부 충격부가부의 함몰과 중앙부 크리핑 골을 따라 지배적인 접힘 발생부가 생성되는 것을 알 수 있었다. 충격에너지 45.7 J 이상에서는 41.3 J 의 접힘 발생부와 대칭되는 영역에 주름이 발생하기 시작하는 것을 알 수 있었다. 접힘 발생은 충격에너지 크기에 관계없이 내부구조체 크리핑 방향에 수직한 부 크리핑 방향에서 나타남을 알 수 있었다. 또한, Fig. 3 (b) 와 같이 충격에너지의 크기에 관계없이 시편 상부 주름 방향부위에서는 내부구조체와 면재가 분리 되는 표면박리 현상이 나타남을 알 수

있었다.

Fig. 4 는 시편의 내부구조체 변형 형상이다. 시편의 내부구조체는 용접 시편과 동일 방법으로 측정하였다. Fig. 4 와 같이 충격 에너지가 증가하여도 내부구조체의 변형만 있을 뿐, 내부구조체의 파손은 발생하지 않는 것을 알 수 있었다. 또한, 충격에너지가 45.7 J 일때는 주름발생이 지배적으로 나타나는 상부 영역의 반대편 영역의 내부구조체도 접힘 현상에 의하여 변형하는 것을 알 수 있었다.

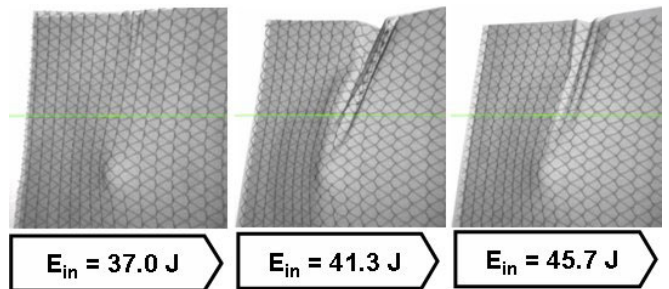


Fig. 4 Deformed shape of inner structures

#### 4. 결론

본 연구에서는 에폭시로 접합된 피라미드형 내부구조체를 가진 ISB 판넬의 충격 특성에 대하여 분석/고찰 하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

내부구조체와 면재가 에폭시로 접합된 ISB 판넬의 경우 시편의 파손모드가 시편의 중앙부 주 크리핑 방향의 접힘만이 발생하여 하중-처짐선도의 요동은 발생하지 않으나, 접힘 현상이 두드러지게 나타나는 충격에너지 41.3 J 부터는 최대하중이 감소하면서 최대 처짐이 증가하는 현상이 나타남을 알 수 있었다. 또한, 충격에너지 크기에 관계없이 접힘 현상이 발생하면 항상 내부구조체와 면재가 분리되는 표면 박리가 발생하며, 내부구조체의 파손은 발생하지 않는 것을 알 수 있었다.

#### 후기

이 연구는 “산업자원부 차세대 신기술 개발 사업 : 3 차원 형상의 금속 구조체를 가진 초경량 금속 샌드위치 판재 개발” 의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

#### 참고문헌

1. Zok, F. W., Waltner, S. A., Wei, Z., Rathbun, H. J., McMeeking, R. M. and Evans, A. G., "A Protocol of Characterizing the Structural Performance of Metallic Sandwich Panels : Application to Pyramidal Truss Cores," International Journal of Solids and Structures, **41**, 6249 - 6271, 2004.
2. Liu, J. S. and Lu, T. J., "Multi-objective and Multi-loading Optimization of Ultralight weight Materials," International Journal of Solids and Structures, **41**, 619 - 635, 2004.
3. McShane, G. J., Radford, D. D. and Deshpande, V. S., "The Response of Clamped Sandwich Plates with Lattice Cores Subjected to Shock Loading," European Journal of Mechanics A/Solids, **25**, 215 - 229, 2006.
4. Jung, C. C., Seong, D. Y., Yang, Kim, J. S. and Ahn, D. G., "Low Velocity Impact Behavior of Metallic Sandwich Plate with a Truss Core," Journal of Korea Society of Precision Engineering, **23**(10), 80 - 86, 2006.