

## 피라미드형 내부구조체를 가진 ISB 판넬의 접합형태에 따른 충격 특성 변화

안동규<sup>#</sup>, 문경제<sup>\*</sup>, 정창균<sup>\*\*</sup>, 양동열<sup>\*\*\*</sup>

### Variation of Impact Characteristics of ISB Panels with a Pyramidal Inner Structure According to Joining Technologies

Dong-Gyu Ahn<sup>#</sup>, Gyung-Jae Moon<sup>\*</sup>, Chang-Gyun Jung<sup>\*\*</sup> and Dong-Yol Yang<sup>\*\*\*</sup>

#### ABSTRACT

ISB (Inner structured and bonded) panel with a pyramidal inner structure is actively developing to reduce the weight and to improve the crashworthiness of the material. The objective of this paper is to investigate into the variation of impact characteristics of ISB panels with a pyramidal inner structure according to joining types between skin sheets and inner structures. Several drop impact tests have been performed. In order to examine the impact characteristics at a drawing condition, drawing type of experimental set-up has been proposed. From the results of the experiments, the influence of joining types between skin sheets and the inner structures on the characteristics of the deformation, the energy absorption and the failure has been quantitatively examined. In addition, it has been shown that maximum load decreased and the maximum displacement increases as the joining type changes from the bonding to the welding. The results of the observation of the specimen have been shown that major wrinkles form in the minor crimping direction irrespective of the joining types. Through the comparison of the experimental results for bonding and welding specimens, it has been shown that the absorption energy of the bonded specimen is nearly 1.3-1.5 times of the welded specimen at the same displacement.

**Key Words** : ISB panel (ISB 판넬), Pyramidal inner structure (피라미드형 내부구조), Impact characteristics (충격 특성), Joining Technology (접합 방법), Drawing type of impact tests (드로잉형 충격시험)

#### 기호설명

$\theta$  = crimping angle

$t_s$  = thickness of inner structure

$t$  = thickness of specimen

$m$  = mass of the impact head

$\rho_r$  = relative density

$m_{ISB}$  = mass of ISB panel

☞ 접수일: 2007년 4월 26일; 게재승인일: 2007년 7월 13일

# 교신저자: 조선대학교 기계공학과

E-mail: smart@mail.chosun.ac.kr Tel. (062) 230-7043

\* 조선대학교 기계공학과대학원

\*\* KAIST 기계공학과 대학원

\*\*\* KAIST 기계공학과

- $m_{solid}$  = mass of solid material
- $\rho_{ISB}$  = density of ISB panel
- $\rho_{solid}$  = density of solid material
- $E_{in}$  = input impact energy
- $g$  = acceleration of gravity
- $h$  = height of impact
- $E_{ab}$  = the absorbed energy by the ISB panel
- $P$  = force measured by impact head
- $\delta$  = vertical deflection of the specimen at contact area of impact head
- $\chi$  = absorption rate of impact energy
- $P_{max}$  = maximum force in force-deflection curves
- $\delta_{min,b}$  = maximum vertical deflection of the bonding specimen at contact area of impact head

## 1. 서론

최근 자동차/항공기/선박 등 수송기계 관련 산업군에서는 환경 규제 강화와 에너지 효율 증대가 가장 큰 기술적/사회적 관심사가 되고 있다.<sup>1</sup> 그러므로 자동차/선박 관련 산업에서는 저 에너지 사용을 통한 대기 오염 요인 감소와 승객의 안정성 향상 증대를 위하여 초경량 고강성/고내충격성 재료 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>2</sup> 이러한 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>3</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. 현재 국내외적으로 많이 연구되고 있는 내부구조체로서는 알루미늄 허니콤, 금속 폼, 경량 금속, 카코메 (Kagome) 구조물 및 트러스형 구조물 등이 있다.<sup>4,5</sup> 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>6</sup>

최근 국내에서도 이러한 초경량 샌드위치 판재 개발을 서두르고 있다. 현재 진행되고 있는 연구로써 면재 사이에 피라미드 구조, 트러스 구조, 덤플 구조 및 전단형 덤플 구조의 내부 구조체를 가지

며 두께가 3 mm 인 ISB (Internally structured bonded) 판넬에 대한 개발을 들 수 있다.<sup>7,9</sup>

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. 그러므로 초경량 샌드위치 판재의 충격 특성에 대한 연구가 다양하게 수행되고 있다.

Xue 등은 내부구조체로 피라미드 트러스 구조, 알루미늄 허니콤 구조 및 접합형 판재 (Folded plate) 를 가지는 빔 (Beam) 형 샌드위치 판넬에 대한 동적 반응을 해석하였다. Radford 등은 내부구조체로 코리게이트 (Corrugate) 형상, 알루미늄 폼 및 피라미드 구조체를 가진 빔 (Beam) 형 샌드위치 판재에 대한 고정형 경계조건에서의 충격 하중 부가시 처짐 특성에 대한 연구를 수행하였다.<sup>10</sup> Rathbun 등은 금속 허니콤 코어를 가지는 샌드위치 빔에 고정형 경계조건이 부가된 후 충격하중이 부가되었을 때 빔의 충격 특성을 시험과 유한요소 해석을 통하여 분석하였다.<sup>11</sup> Radford 등은 금속 접합 코어 (corrugated core) 및 피라미드형 코어를 가진 샌드위치 빔이 고정형 경계 조건에서 충격하중이 부가되었을 때 빔의 처짐 특성에 대하여 연구하였다.<sup>12</sup> 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>13</sup> Jung 등은 트러스형 내부구조체를 가진 ISB 판넬에 대한 스트레칭형 경계조건과 직경 10 mm 의 충격 헤드를 이용한 충격시험을 수행하여 판넬의 충격 특성을 분석하였다.<sup>14</sup>

본 연구에서는 피라미드형 내부구조체를 가진 ISB 판넬의 접합 조건에 따른 충격 특성 변화에 대하여 분석/고찰 하였다. 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

### 2.1 실험 방법

피라미드형 내부구조체를 가진 ISB 판넬에 대한 충격시험은 Fig. 1 과 같은 낙하하중 (Drop weight) 방식의 충격시험기를 사용하였다.

충격하중을 측정하기 위하여 충격 헤드 (Head) 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. 2 와 같은 충격시험 치구를 설계/제작 하였다. Fig. 2 의 치구내에 부착된 수직 이동이 자유로운 회전 지지 롤러에 의하여 시편이 치구 중심 부로 드로잉 될 때, 시편과 롤러사이에 마찰이 거의 발생하지 않도록 하였다. 또한 시편과 롤러 접촉에 의한 시편의 접촉부 수직 변형이 영향을 받지 않도록 설계 되었다. 치구내 드로잉부 직경은 80 mm 이다. 시험 조건은 충격 에너지 37.0 J, 41.3 J 및 45.7 J 로 선정하였다. 충격 실험에서 한가지 에너지 크기당 5 번의 실험을 수행하여, 최고/최저

데이터 두개를 제외한 3 번의 실험 결과를 평균하여 충격특성 데이터들을 도출하였다.

## 2.2 시편 설계 및 제작

피라미드형 내부구조체를 가진 ISB 판넬의 드로잉형 충격 시험을 위한 시편은 Fig. 3 과 같이 익스팬디드 금속을 크리핑 (Crimping) 하여 피라미드형 내부 구조체를 생성한 후, 면재와 내부구조체를 YD-128 형와 KR-208 NBR 변성 타입 에폭시 (Epoxy) 를 6:4 로 혼합한 접착제를 이용한 접착 및 다점 전기 저항 용접하여 제작하였다.<sup>7,14</sup> 시편의 설계 조건은 Fig. 4 및 Table 1 과 같다. 시편 크기는 120 mm × 120 mm 이며, 면재 두께와 크리핑 각은 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 개였다.

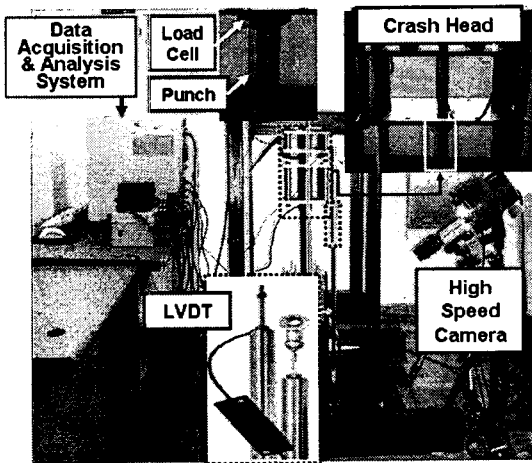


Fig. 1 Experimental set-up

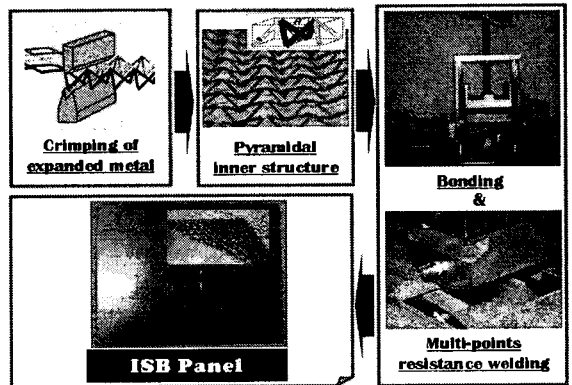


Fig. 3 Manufacturing process of specimen

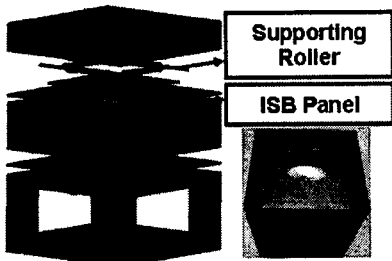


Fig. 2 Fixture for drawing type of impact tests

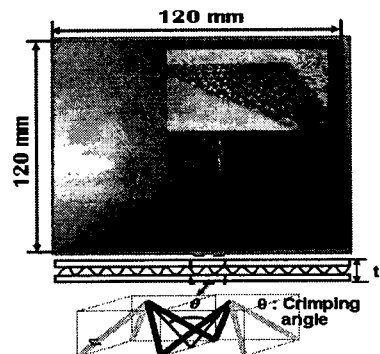


Fig. 4 Design of specimen

접합 시편과 용접시편의 상대 밀도는 각각 0.27 과 0.26 으로써, 용접 시편의 상대 밀도가 조금 큰 것으로 나타났다. 상대 밀도는 식 (1) 과 같이 ISB 판넬의 질량과 ISB 판넬과 동일한 최외곽 치수를 가진 SUS 304 판재의 가상 솔리드 질량의 비로써 계산하였다.<sup>8</sup>

Table 1 Experimental Conditions

Joining	$\theta$ (°)	$t_s$ (mm)	$t$ (mm)	$m$ (g)	$\rho_r$
Bonding	90	0.3	3.1	92.4	0.27
Welding	90	0.3	2.8	81.6	0.26

$$\rho_r = \frac{m_{ISB}}{m_{solid}} = \frac{\rho_{ISB}}{\rho_{solid}} \quad (1)$$

### 2.3 충격 특성 분석 방법

피라미드형 내부구조체를 가진 ISB 판넬의 충격 에너지 흡수 특성을 정량적으로 계산하기 위하여 충격 흡수 에너지 및 에너지 흡수율을 계산하였다.

입력 충격에너지는 식 (2) 와 같이 충격헤드의 최초 낙하 높이에서의 위치 에너지로 산출하였다. 낙하시 마찰에 의한 에너지 손실은 무시하였다. 시편에 의하여 흡수된 에너지는 시편이 관통되지 않는다는 가정하에 충격헤드에 측정된 하중이 최초 0 에서 일정값으로 상승하기 시작하는 시점에서 다음번 0 의 값으로 내려가기 전의 최대점까지의 시간영역에 대하여 하중-처짐 선도를 생성하여 식 (3) 과 같이 적분하여 계산하였다.

$$E_{in} = mgh \quad (2)$$

$$E_{ab} = \int Pd\delta \quad (3)$$

충격에너지 흡수율은 식(4) 와 같이 충격 흡수 에너지를 입력 충격 에너지로 나누어 산출하였다.

$$\chi = \frac{E_{ab}}{E_{in}} \times 100 \quad (4)$$

### 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 다점 저항 용접으로 용접된 ISB 판넬의 충격 시험 결과 및 고찰

#### 3.1.1 충격 에너지 흡수 특성

Fig. 5 와 Table 2 는 다점 저항 용접으로 용접된 시편의 낙하 충격 시험 결과이다.

Fig. 5 의 하중-처짐 선도를 고찰하면 최초 하중 정점 (Peak) 이 발생한 후, 3-4 회의 연속적인 하중 정점의 값이 나타나는 하중 요동 (Fluctuation) 이 발생하는 것을 알 수 있었다. 하중 요동시 최후의 정점하중을 제외하고는 각 정점 하중이 거의 유사한 값을 나타냄을 알 수 있었다. 이것은 충격헤드에 의하여 ISB 판넬에 충격에너지가 전달된 후 첫번째 하중 정점값 발생 시 ISB 판넬의 첫번째 접합 모드가 시작되어 로드셀이 부착된 충격헤드와 ISB 판넬의 접촉면적이 감소하면서 하중이 감소하게 되고, 첫번째 접합 모드가 계속 될수록 재료의 가공경화 현상에 의하여 하중이 다시 증가하며 이러한 현상이 2-3 회 반복하여 나타나기 때문이다. 즉, 하중-처짐 선도의 요동은 충격 에너지 부가시 시편의 국부 접합 현상에 의하여 발생되었다.

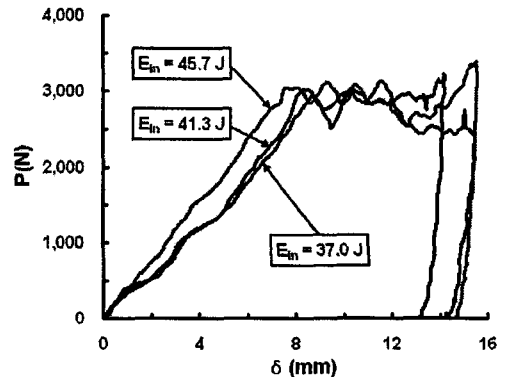


Fig. 5 Influence of the impact energy on P- $\delta$  curves (Welding specimen)

Table 2 Results of impact tests for welding specimens

h (cm)	$E_{in}$ (J)	$E_{ab}$ (J)	$\chi$ (%)	$P_{max}$ (N)	$\delta_{max}$ (mm)
34.0	37.0	28.0	75.8	3,174.5	14.3
38.0	41.3	31.0	75.0	3,120.7	15.5
42.0	45.7	33.1	72.9	3,384.4	15.6

Fig. 5 에서 하중의 첫번째 하중 정점은 충격 에너지가 증가할수록 적은 변위에서 나타나며, 하중 값은 조금씩 증가하는 것을 볼 수 있다. 그리고 첫번째 하중 정점 값과 첫번째 하중 정점과 두번째 정점 사이의 국소 하중 최소값의 차이가 충격 에너지가 증가할수록 감소하는 것을 알 수 있었다.

충격에너지 37.0 J 에서는 최후 하중 정점 직전에 나타나는 국소 하중 최소값이 앞서 나타난 국소 하중 최소값과 거의 유사한 값을 가지나, 충격 에너지 41.3 J 이상에서는 최후 하중 정점 직전에 나타나는 국소 하중 최소값이 앞서 나타난 국소 하중 최소값보다 상당히 감소하는 것을 알 수 있었다. Fig. 5 와 Table 2 에서는 충격에너지가 41.3 J 일 경우 충격에너지 37.0 J 보다 최대 처짐량은 약 1.2 mm 정도 증가하나 최대하중은 약 900 N 정도 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 충격에너지 45.7 J 에 대한 하중-처짐 곡선의 경우 충격에너지 41.3 J 의 하중-처짐 곡선의 패턴을 가지면서 최후 하중 정점 값 만 상승하는 형태를 나타내었다. 충격에너지 흡수율의 경우 충격에너지가 증가할수록 조금씩 감소하는 경향을 나타내었으며, 본 시험 범위에서는 72.9 - 75.8 % 의 충격에너지 흡수율을 나타내었다.

### 3.1.2 파손 특성

Fig. 6 은 드로잉형 낙하 충격시험 결과 취득된 용접 시편의 외관 파손 형상이다.

충격에너지 37.0 J 에서는 시편의 중앙부 함몰과 중앙부 부 크림핑 방향을 따른 시편의 접힘 현상이 지배적으로 나타났다. 그러나, 충격에너지는 41.3 J 이상에서 시편의 중앙부 함몰과 중앙부 부 크림핑 방향을 따른 시편의 접힘 뿐만 아니라, 시편의 중앙부 주 크림핑 방향으로의 접힘도 발생하기 시작하였다. 그 결과 Fig. 5 의 하중-처짐 선도에서 충격에너지 41.3 J 이상에서는 최후 하중 정점 직전에 나타나는 국소 하중 최소값이 앞서 나타난 국소 하중 최소값보다 상당히 감소한 것으로 사료된다. 충격에너지 45.7 J 에서는 시편의 중앙부 함몰과 중앙부 부 크림핑 방향을 따른 시편의 접힘 뿐만 아니라, 시편의 중앙부 부 크림핑 방향에 수직인 크림핑 방향으로의 접힘 또한 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다. 또한, 충격에너지 45.7 J 에서는 시편의 중앙부 주 크림핑 방향의 주름 발생부중 Fig. 6 과 같이 A 영역에서 면재와 내부구조체가 분

리되는 표면 박리 (Delamination) 가 발생하였다.

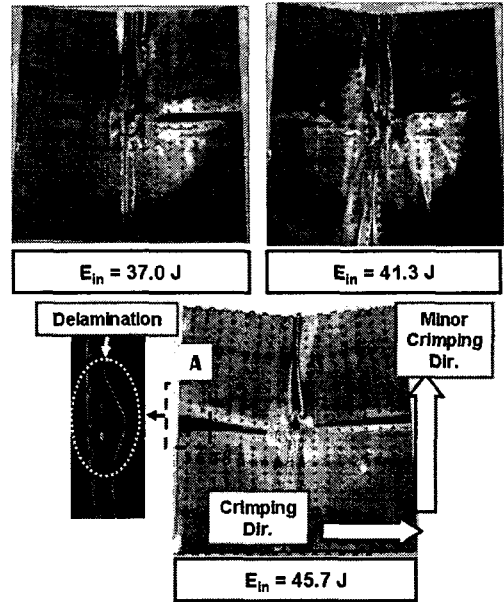


Fig. 6 Deformed shapes of welding specimens

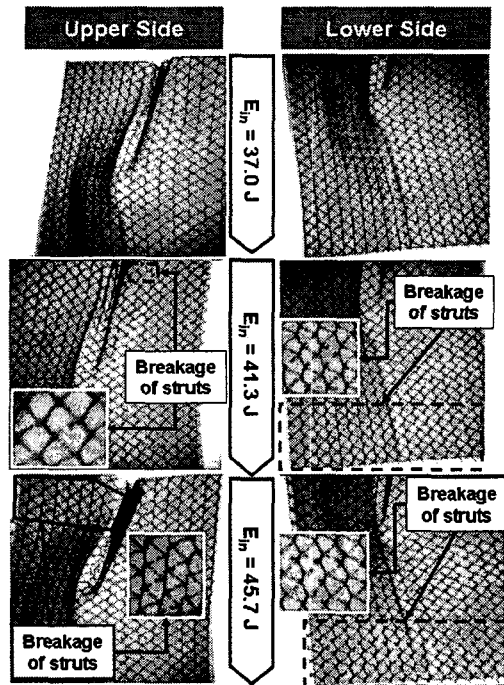


Fig. 7 Deformed shapes and failures of inner structures for welding specimens

Fig. 7 은 드로잉형 낙하 충격시험 결과 취득된 용접 시편의 내부구조체 파손 및 변형 형상을 나타낸다. 시편의 내부구조체는 동일 시마즈사의 SMX-225 Micro-focus XRAY CT 시스템을 이용하여 측정하였다. 시편의 내부구조체 분석 결과 충격에너지 37.0 J 에서는 내부구조체의 접합 현상만 나타났으나, 충격에너지 41.3 J 이상에서는 내부구조체의 접합과 내부구조체 파단의 두가지 현상이 나타났다. 충격에너지 41.3 J 에서는 주 접합 발생 부위의 반대 영역에서 많은 수의 내부구조체 지주(strut) 들의 파단이 일어나고 주 접합 발생 부분에서는 평균 1-2 개의 내부구조체 지주들만 파단이 발생하였다. 그러나 충격에너지 45.7 J 에서는 주 접합 발생 부위의 반대 영역과 주 접합 발생영역의 주위에서도 다수의 내부구조체 지주 파손이 발생함을 알 수 있었다.

### 3.2 에폭시로 접합된 ISB 판넬의 충격 시험 결과 및 고찰

#### 3.2.1 충격 에너지 흡수 특성

Fig. 8 과 Table 3 은 에폭시로 접합된 ISB 판넬의 충격시험 결과이다.

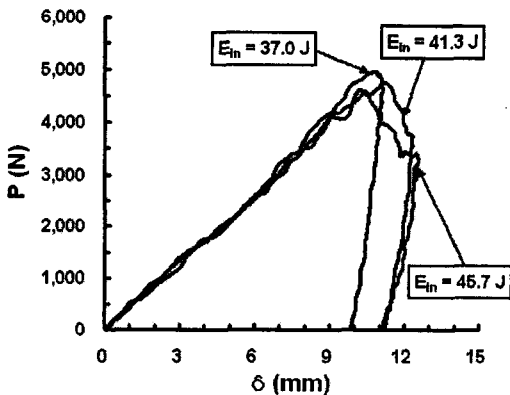


Fig. 8 Influence of the impact energy on P-δ curves (Bonding specimen)

Fig. 8 의 하중-처짐 선도와 Table 3 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 최대 하중 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. 접합 시편의 경우 Fig. 5 의 용접시편과 달리 하중-처짐 선도의 하중 요동이 발생하지 않는 것을 알 수 있었다. 이 현상은 접합시편의 경우 판넬의 중앙부 부 크리핑 방향으로 1 가지 접합만 나타나지만, 용접시편의 경우 중앙부 부 크리핑 방향으로 두번 이상 시편 접합이 발생함과 동시에 중앙부 크리핑 방향으로도 접합 현상이 발생함으로써 충격 헤드와 시편의 접촉면적이 계속적으로 변하게 되어 충격 헤드에 부착된 로드셀에서 측정되는 하중의 요동이 많이 발생되기 때문으로 사료된다.

Table 3 Results of impact tests for bonding specimens

h (cm)	$E_{in}$ (J)	$E_{ab}$ (J)	$\chi$ (%)	$P_{max}$ (N)	$\delta_{max}$ (mm)
34.0	37.0	32.0	81.6	4,951.5	11.2
38.0	41.3	32.6	78.8	4,754.2	12.4
42.0	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 접합 현상으로 시편의 변형이 증가되어 로드셀에서 측정되는 하중값이 감소하기 때문이다. 본 실험범위에서 충격에너지 흡수율은 74.7-81.6 % 범위에 있는 것으로 나타났다.

#### 3.2.2 파손 특성

Fig. 9 는 드로잉형 낙하 충격시험 결과 취득된 접합 시편의 외관 파손 형상이다.

본 충격 시편의 파손 형상 분석 결과 Fig. 9 (a) 와 같이 충격에너지 37.0 J 에서는 중앙부 충격부가부의 함몰과 시편 가장자리부의 작은 접합들만이 발생하였으나, 충격에너지 41.3 J 이상에서는 중앙부 충격부가부의 함몰과 중앙부 크리핑 골을 따라 지배적인 접합 발생부가 생성되는 것을 알 수 있었다. 충격에너지 45.7 J 이상에서는 41.3 J 의 접합 발생부와 대칭되는 영역에 주름이 발생하기 시작하는 것을 알 수 있었다. 접합 발생은 충격에

너지 크기에 관계없이 내부구조체 크림핑 방향에 수직한 부 크림핑 방향에서 나타남을 알 수 있었다. 또한, Fig. 9 (b) 와 같이 충격에너지의 크기에 관계없이 시편 상부 주름 방향부위에서는 내부구조체와 면재가 분리 되는 표면박리 현상이 나타남을 알 수 있었다.

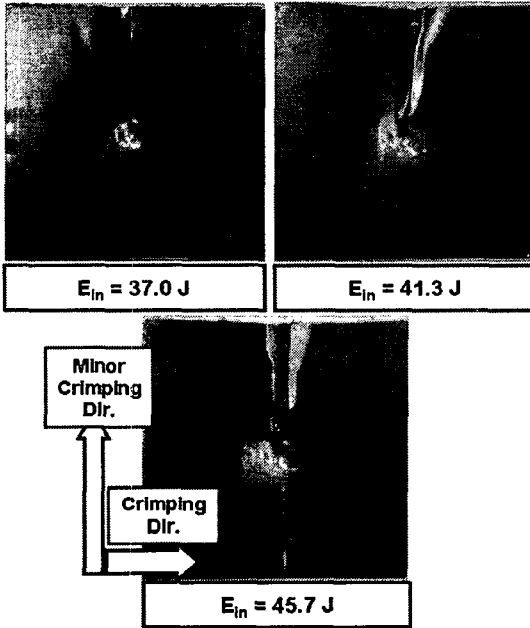


Fig. 9 (a) Deformed shapes of bonding specimens

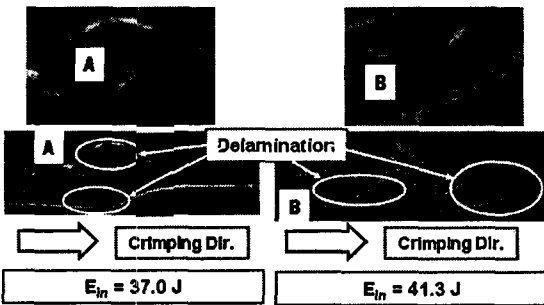


Fig. 9 (b) Delamination between skin sheets and inner structures

Fig. 10 은 드로잉형 낙하 충격시험 결과 취득된 접합 시편의 내부구조체 변형 형상이다. 시편의 내부구조체는 용접 시편과 동일 방법으로 측정하

였다. Fig. 10 과 같이 접합 시편의 경우 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.

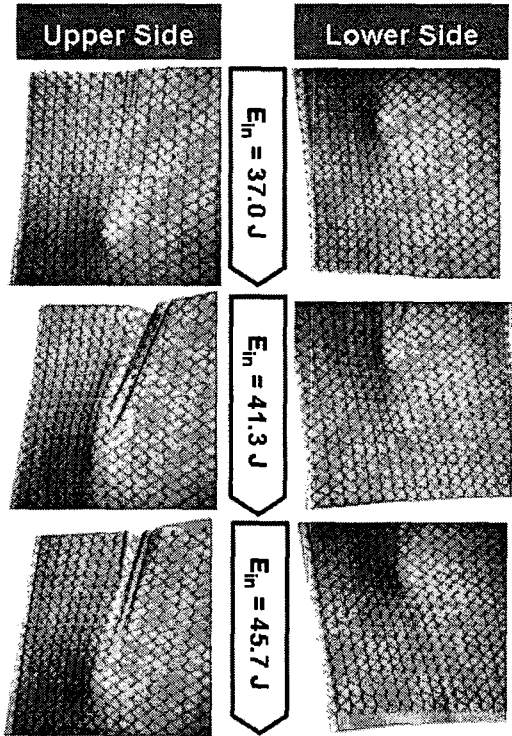


Fig. 10 Deformed shape of inner structures for bonding specimen

### 3.3 2 가지 시편의 충격 특성 에너지 흡수 및 파손 특성 비교

Fig. 11 은 드로잉형 충격시험 결과 얻어진 시편 접합 조건에 따른 충격에너지 흡수율 및 최대 처짐의 변화이다.

Fig. 11 (a) 에서 충격에너지가 37.0 J 에서는 접합 시편의 충격에너지 흡수율이 용접시편 보다 약 5.8 % 정도 높은 값을 보이나, 충격에너지가 증가할수록 점점 두가지 시편의 흡수율 차이가 감소하여 충격에너지 45.0 J 에서는 접합시편의 충격에너지 흡수율이 약 1.8 % 정도 밖에 높은 값을 가지

지 않음을 알 수 있었다. 이것은 접합시편의 경우 충격에너지가 증가할수록 시편의 표면 박리 영역이 증가하여 시편 내부로 전달되는 충격에너지량이 감소하기 때문으로 사료된다.

Fig. 11 (b) 을 고찰한 결과 접합시편이 용접시편에 비하여 최대 처짐 측면에서 약 20 % 정도 작게 나타남을 알 수 있었다. 이 결과로부터 접합시편이 용접시편보다 적은 변위에서 충격에너지를 흡수할 수 있음을 알 수 있었다.

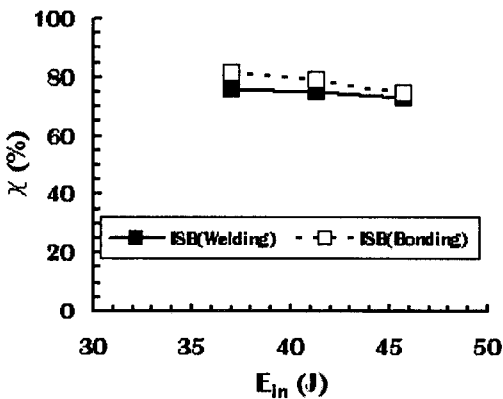


Fig. 11 (a) Influence of impact energy on the absorption rate of energy according to joining types

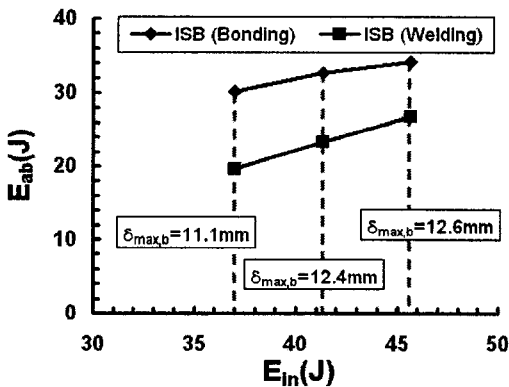


Fig. 11 (b) Influence of impact energy on the maximum deflection of the specimens according to joining types

Fig. 12 는 각 충격 에너지별 접합 시편의 최대 변위에 대한 접합 시편과 용접 시편의 충격 흡수 에너지를 비교한 결과이다. Fig. 12 에서 접합 시편

이 용접시편에 비하여 1.3 - 1.5 배 정도 많은 충격 에너지를 흡수하는 것을 알 수 있다.

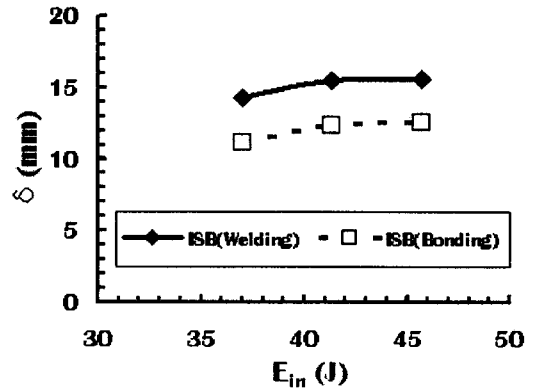


Fig. 12 Influence of impact energy on the maximum deflection of the specimens according to joining types

#### 4. 결론

본 연구에서는 피라미드형 내부구조체를 가진 ISB 판넬의 접합 조건에 따른 충격 특성 변화에 대하여 고찰 하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 다점 전기 저항 용접으로 내부구조체와 면재가 결합된 ISB 판넬의 경우 하중-처짐 선도의 경우 시편의 연속적인 접합 현상에 의하여 하중의 요동이 발생하며, 시편의 주요 파손 모드는 시편의 중앙부 함몰과 중앙부 주 크리핑 방향을 따른 시편의 접합임을 알 수 있었다. 또한, 충격 에너지 41.3 J 이상에서는 시편의 중앙부 주 크리핑 방향의 접합 현상과 시편 내부구조체의 파손이 시작됨을 알 수 있었다.

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



셋째, 용접시편과 접합시편에 대한 충격에너지 흡수율 및 최대 변위 비교를 통하여 접합 시편이 용접시편보다 약 20 % 정도의 변형을 적게 하면서도 높은 충격에너지 흡수율을 나타냄을 알 수 있었다. 또한, 각 충격 에너지별 접합 시편의 최대 변위에 대한 접합 시편과 용접 시편의 충격 흡수 에너지를 비교한 결과 접합 시편이 용접 시편 보다 1.3 - 1.5 배 정도 많은 충격 에너지를 흡수할 수 있음을 알 수 있었다.

추후, 본 충격 시험 결과를 바탕으로 각 시편의 충격 에너지 부가 과정에서의 변형/변형률분포 특성, 응력 분포 변화 특성 및 변형 에너지 분포 변화 등을 정량적으로 분석/고찰하기 위한 3 차원 유한요소해석을 계속적으로 수행할 예정이다.

### 참고문헌

- Schubert, E., Klassen, M., Zemer, I., Walz, C. and Sepold, G., "Light-weight Structures Produced by Laser Beam Joining for Future Applications in Automobile and Aerospace industry," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 115, Issue 1, pp. 2 - 8, 2001.
- Evans, A. G., Hutchinson, J. W. and Ashby, M. F., "Multifunctionality of Cellular Metal Systems," *Progress in Materials Science*, Vol. 43, Issue 3, pp. 171-221, 1999.
- 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*, Vol. 41, Issues 22-23, pp. 6249 - 6271, 2004.
- Wadley, H. N. G., "Cellular Metals Manufacturing," *Advanced Engineering Materials*, Vol. 43, Issue 10, pp. 726-733, 2002.
- Wang, A. and McMowel, D. L., "Optimization of a Metal Honeycomb Sandwich Beam-bar Subjected to Torsion and Bending," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 40, Issue 9, pp. 2085-2099, 2003.
- Liu, J. S. and Lu, T. J., "Multi-objective and Multi-loading Optimization of Ultralightweight Materials," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 41, Issues 3-4, pp. 619-635, 2004.
- Jung, C. C., Yoon, S. J., Yang, D. Y., Lee, S. M., Na, S. J., Lee, S. H. and Ahn, D. G., "Fabrication and Static Bending Test in Ultra Light Inner Structured and Bonded (ISB) Panel Containing Repeated Inner Pyramidal Structure," *Journal of the Korea Society for Precision Engineering*, Vol. 22, No. 7, pp. 175-182, 2005.
- Ahn, D. G., Lee, S. H., Kim, M. S., Han, G. Y., Jung, C. G. and Yang, D. Y., "Investigation into Characteristics of Bending Stiffness and Failure for ISB Panel," *Journal of the Korea Society for Precision Engineering*, Vol. 22, No. 9, pp. 162-172, 2005.
- Seong, D. Y., Jung, C. C., Yoon, S. J., Yang, D. Y., Lee, S. H. and Ahn, D. G., "Fabrication of Metallic Sandwich Plates with Inner Dimpled Shell Structures and Static Bending Test," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 30, No. 6, pp. 653-661, 2006.
- Xue, Z. and Hutchinson, J. W., "A Comparative Study of Impulse-resistant Metal Sandwich Plates," *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 30, Issue 10, pp. 1283-1306, 2004.
- Rathbun, H. J., Radford, D. D., Xue, Z., He, M. Y., Yang, J., Deshpande, V. S., Fleck, N. A., Hutchinson, J. W., Zok, F. W. and Evans, A. G., "Performance of Metallic Honeycomb-core Sandwich Beams under Shock Loading," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 43, Issue 10, pp. 1746-1763, 2006.
- Radford, D. D., Fleck, N. A. and Deshpande, V. S., "The Response of Clamped Sandwich Beams Subjected to Shock Loading," *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 32, Issue 6, pp. 968-987, 2006.
- 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*, Vol. 25, Issues 7-8, pp. 215-229, 2006.
- Jung, C. C., Seong, D. Y., Yang, D. Y., Kim, J. S. and Ahn, D. G., "Low Velocity Impact Behavior of Metallic Sandwich Plate with a Truss Core," *Journal of the Korea Society for Precision Engineering*, Vol. 23, No. 10, pp. 80-86, 2006.