

전단형 딴플 구조체를 가진 ISB 판재의 자유경계 조건에서의 충격특성 분석 A Study on Impact Characteristics of ISB Panel with Sheared Dimple Inner Structures for the Case of Free Boundary Conditions

#안동규¹, *남경흠², 한길영¹, 성대용³, 양동열⁴

#D. G. Ahn(smart@chosun.ac.kr)¹, *G. H. Nam², G. Y. Han¹, D. Y. Seong³, D. Y. Yang⁴

¹ 조선대학교 기계공학과, ² 조선대학교 대학원 기계공학과, ³ KAIST 대학원 기계공학과, ⁴ KAIST 기계공학과

Key words : Free boundary conditions, sheared dimple inner structures, analysis of impact characteristics, ISB panel

1. 서론

현재 에너지원의 부족 및 환경오염에 대한 규제 강화와 더불어 승객의 안전에 대한 관심이 높아짐에 따라 자동차/항공기/선박 및 철도차량 등 수송기계 개발에 있어 초경량/고내충격 재료에 대한 수요가 증대되고 있다. 국내외적으로 연구개발이 진행되고 있는 초경량 금속재료중의 하나로써 상하부의 면재와 내부구조체를 접합 또는 용접시킨 샌드위치형 판재를 들 수 있다¹.

국내에서 진행되고 있는 샌드위치형 판재의 연구로서 면재 사이에 피라미드 구조, 트러스 구조, 딴플 구조 및 전단형 딴플 구조의 내부 구조체를 가지며 두께는 3 mm 이하인 ISB (Internally structured bonded) 판재에 대한 개발을 들 수 있다².

내부구조체를 가진 초경량 샌드위치 판재를 자동차/항공기/선박 및 철도차량 등 수송기계에 적용하기 위해서는 굽힘/인장 등의 정적 특성과 충격 특성에 대한 연구가 필수적이다. Wadley 등은 허니콤 (Honeycomb), 피라미드 형태의 내부구조체를 가진 샌드위치 판재의 제조과정 및 FEM 을 통한 정적충격 특성에 대하여 연구를 수행하였다³. Ahn 등은 피라미드형 내부구조체를 가진 정사각형 ISB 판재의 접합형태에 따른 충격 특성 변화에 대하여 연구를 수행한 바 있다⁴.

본 연구에서는 전단형 딴플 구조체를 가진 ISB 판재에 대한 자유경계 조건에서의 충격하중 부가시 판재의 변형 특성에 대한 분석을 수행하였다. 또한, 자유 경계조건에서 충격 부가시 ISB 판재의 하중-처짐, 에너지 흡수 특성 및 외관과 내부 구조체의 변형 특성을 고찰하였으며, 또한 두께 1.7 mm 의 SPFC 780 재료와 ISB 판재의 충격 변형 특성을 비교/분석 하고자 한다.

2. ISB 판재 제작 방법 및 시편설계

Fig. 1 은 전단형 딴플 (Sheared dimple) 구조체를 가진 ISB 판재 제작과정을 나타낸다. 0.5 mm 두께의 연강 (Mild Steel)을 섹션성형 (Section forming) 하여 전단형 딴플구조의 내부구조체를 제작한다.

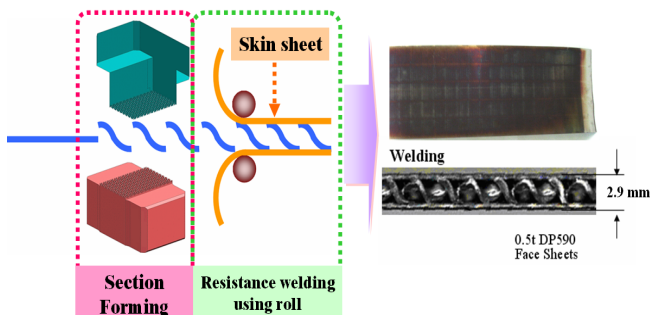


Fig. 1 Fabrication procedures of ISB panel

이 구조체를 0.5 mm 의 DP 590 강판과 롤형 전기저항 용접기에 서 용접해서 250 mm × 1,000 mm ISB 판재를 제작한다. 이 원판의 ISB 판재를 120 mm × 120 mm 로 절단하여 시편을 제작하였다. 시편의 평균 두께는 2.9 mm 였다.

3. 실험 방법

Fig. 2 는 자유경계 조건에서의 충격 특성 시험을 위한 개념도와 치구를 나타낸다. 본 시험에서는 낙하 하중식 충격 시험기를 사용하였다. 충격헤드의 무게는 11.12 kg 이며 노즈부 직경은 20 mm 와 40 mm 이다.

충격 후 발생하는 접촉하중은 충격헤드 상단부에 부착된 로드 셀로 측정하였으며, 시편의 처짐량은 충격헤드 모서리에 부착된 LVDT 로 측정하였다. 충격하중 및 처짐량은 마이크로 프로세서 기반의 데이터 저장장치에서 실시간 취득되며, 데이터 저장장치는 각 채널별 초당 10,000 개의 데이터를 취득할 수 있도록 제작되었다.

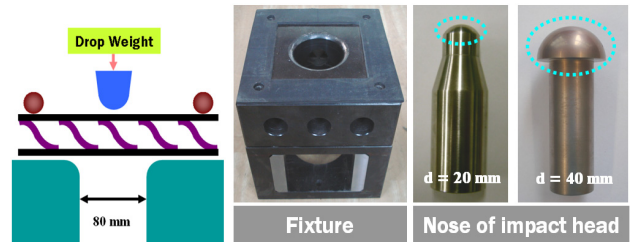


Fig. 2 Schematics and experimental set-up

실험에 사용된 입력 충격에너지 (E) 영역은 37.0 J - 109.8 J 이며, 시편에 의하여 흡수된 충격에너지 (E_{ab}) 는 로드셀과 LVDT 에서 취득된 접촉하중 (P) - 시편처짐 (δ) 선도를 적분하여 산출하였다.

4. 결과 및 고찰

Table 1 및 2 와 같이 최대 충격 하중의 경우 SPFC 780 판재가 ISB 판재보다 20 - 28 % 정도 크게 나타남을 알 수 있었다.

최대 변위의 경우 입력 충격 에너지 45.7 J 이하에서는 ISB 판재가 적음을 알 수 있었으나, 65.9 J 부터는 ISB 판재가 SPFC 780 판재보다 변형이 크게 나타남을 알 수 있었다. 이 현상은 입력 충격 에너지 45.7 J 이하에서는 Fig. 3 과 같이 내부 구조체가 그 형상을 유지하면서 변형이 되어 충격에너지를 흡수하나, 입력 충격에너지가 65.9 J 이상부터는 내부 구조체의 형상이 무너져 더 이상 충격하중 부가에 의한 충격에너지 흡수를 못하기 때문에 사료된다.

Table 1 Results of impact tests (Impact head diameter = 20 mm)

Specimen	E _{in} (J)	E _{ab,m} (J/g)	P _{max} (N)	δ _{max} (mm)
ISB	37.0	0.156	5,635.0	6.9
	45.7	0.193	6,411.6	8.0
	65.9	0.272	7,536.2	10.0
	109.8	0.428	9,907.8	13.0
SPFC 780	37.0	0.151	7,604.8	8.0
	45.7	0.172	8,398.6	8.4
	65.9	0.247	10,290.0	9.5
	109.8	0.417	13,484.0	11.9

Table 2 Results of impact tests (Impact head diameter = 40 mm)

Specimen	$E_{in}(J)$	$E_{ab,m}(J/g)$	$P_{max}(N)$	$\delta_{max}(mm)$
ISB	37.0	0.156	5,860.4	7.7
	45.7	0.193	6,526.8	8.5
	65.9	0.272	8,418.2	10.2
	109.8	0.428	10,809.4	12.6
SPFC 780	37.0	0.151	7,830.2	7.6
	45.7	0.172	9,084.6	8.8
	65.9	0.247	10,446.8	9.5
	109.8	0.417	13,925.8	11.9

또한 단위 무게 당 충격 흡수 에너지 ($E_{ab,m}$) 는 ISB 판재가 SPFC 780 판재 보다 5 % 정도 더 많이 흡수 할 수 있음을 알 수 있었다.

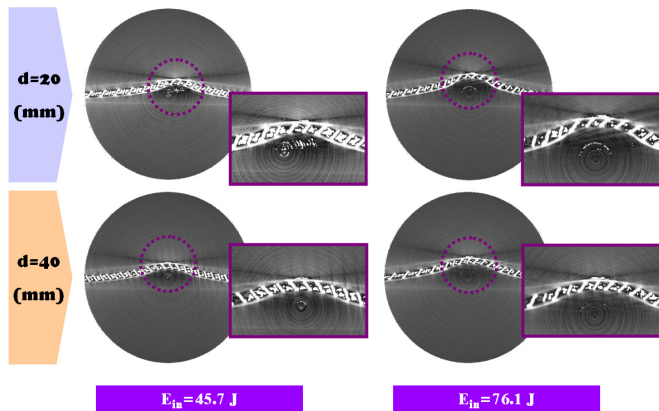


Fig. 3 Variation of deformed shape of inner structures according to impact energy

기존 시험평가 결과와 달리 본 시험 평가에서는 ISB 판재와 SPFC 780 판재의 고강도/저연신율 특성에 의하여 충격 헤드의 시편 타격 후 튀튀김 (Rebound) 되는 량의 격차가 심하였다. Fig. 4 와 같이 ISB 판재가 SPFC 780 판재보다 50 - 60 % 정도 적음을 알 수 있었다. 특히 튀튀김량이 많은 경우 충격하중이 증가하여 재료가 기계 부품이나 구조에 부착되었을 때, 기계 부품과 구조에 많은 량의 하중을 전달할 수 있어 충격 흡수 부재로서의 역할을 할 수 없게 된다. 그러므로 튀튀김량이 많은 경우 시편의 순수 충격 흡수 에너지량의 산출이 꼭 필요하다.

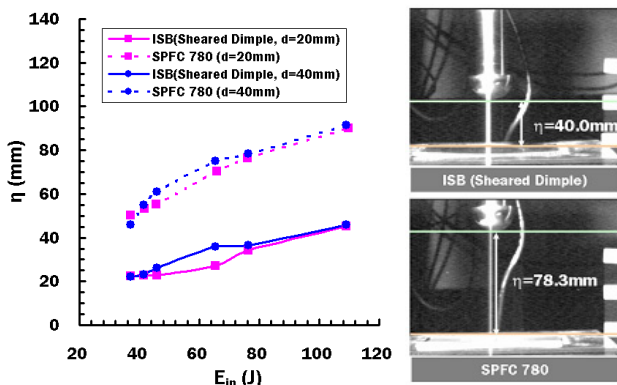


Fig. 4 Comparison of rebound of ISB panel and that of SPFC 780 sheet

Fig. 5 는 충격 흡수 에너지는 충격 과정에서 변형에 의하여 흡수된 에너지 (E_{ab}) 와 시편의 탄성 회복과정에서 충격 헤드로 돌려준 에너지 회복량을 차감한 시편의 순수 충격 흡수 에너지량 (E_{ap}) 을 나타내었다. 튀튀김 현상을 고려할 경우 ISB 판재는 SPFC 780 판재에 비해 최대 30 % 정도의 추가적인 단위 무게 당 순수 충격 에너지를 더 많이 흡수할 수 있음을 알 수 있었다.

이결과로부터 ISB 판재의 경우 외부 충격하중 부가시 부속 부재에 SPFC 780 판재보다 훨씬 적은 충격 에너지를 전달하는 것을 알 수 있었다.

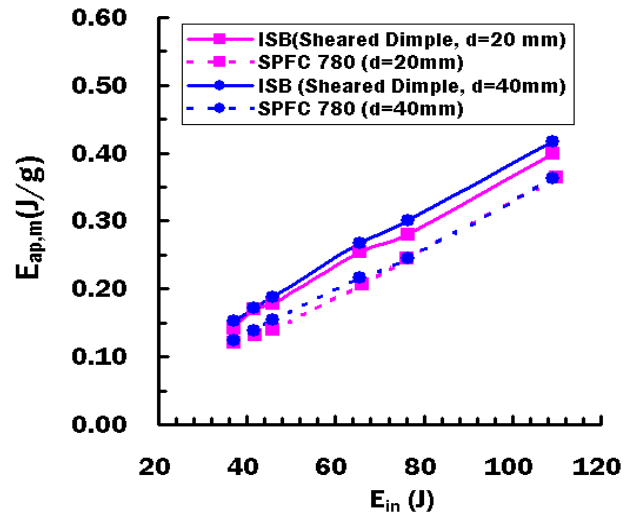


Fig. 5 Comparison of pure absorbed energy per weight of ISB panel and that of SPFC 780 sheet

5. 결론

본 연구에서는 내부에 전단형 딤플 (Sheared dimple) 구조체를 가진 ISB 판재에 대한 자유경계 조건의 충격 하중 부가시 판재의 충격하중, 변위, 에너지흡수특성, 변형률 및 튀튀김량에 대하여 분석/고찰하였다. 본 연구를 통하여 전단형 딤플 구조체를 가진 ISB 판재의 경우 자유경계 충격조건에서 내부 구조체가 함몰되기 전까지는 충격하중에 대한 저항 및 강성이 증가하나, 내부 구조체의 함몰 후에는 급격히 ISB 판재의 변형량이 증가함을 알 수 있었다. 또한 현재 상용 자동차의 범퍼 재료로 사용 되는 SPFC 780 재료와 전단형 딤플 구조체를 가진 ISB 판재의 자유경계 충격특성을 비교하여, 전단형 딤플 구조체를 가진 ISB 판재가 SPFC 780 판재보다 순수 충격 흡수 에너지를 30 % 정도 더 높은 수준으로 우수한 내충격 부재임을 확인하였다.

후기

본 논문은 “산업자원부 차세대 신기술 개발 사업 : 3 차원 형상의 금속 구조체를 가진 초경량 금속 샌드위치 판재 개발”의 연구 결과의 일부이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Yungwirth, C. J., Wadley, H. N. G. and O'Connor, J. H. "Impact response of sandwich plates with a pyramidal lattice core," International Journal of Impact Engineering, 35, 920 - 936, 2008.
2. Jung, C. G., 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 Korean Society for Precision Engineering, 23, 10, 80-87, 2006.
3. Wadley, H. N. G., Felck, N. A. and Evans, A. G. "Fabrication and structural performance of periodic cellular metal sandwich structures," Composites science and technology, 63, 2331 - 2343, 2003.
4. Ahn, D. G., Moon, G. J., Jung, C. C. and Yang, D. Y., "Variation of impact Characteristics of ISB Panels with a Pyramidal Inner Structure According to Joining Technologies," Journal of Korean Society for Precision Engineering, 24, 9, 110-118, 2007.