트러스형 내부 구조체를 가진 ISB 판넬의 스트레칭형 경계조건에 대한 저속 충격 특성 분석

안동규[1], *문경제[1] 김진석[1] 한길영 정창균[2] 양동열[2]
[1] 조선대학교 기계공학과, [2]한국과학기술원 기계공학과

Investigation of low-velocity impact characteristics of ISB panel with truss shapes as inner structures for the case of stretching boundary conditions

*D. G. Ahn[1], K. J. Moon[1], J. S. Kim[1], G. Y. Han[1], C. G. Jung[2], D. Y. Yang[2]
[1] Dept. of Mech. Eng., Chosun Univ., [2] Dept. of Mech. Eng. KAIST

Key words : ISB panel, Truss shapes, Low-velocity impact, Stretching boundary condition

1. 서론

초경량/고강성/고내충격성을 갖는 초경량 금속구조재 (Ultra-light weight structured material)는 에너지 효율 향상과 승객의 안전성 향상 및 대기오염 감소와 같은 장점이 있어 자동차/항공기/선박 등의 수송기계 분야에서 최근 활발한 연구가 진행되고 있다. [1] 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 전세계적으로 시작되고 있다. [2] 최근 국내에서는 금속 3 차원 구조물을 내부에 가지며 외판과 접합 또는 용접으로 연결시켜 전체 두께 3 mm 이하의 초경량 고강성/고강도/고내충격성 판재인 ISB 판넬에 대한 개발이 진행되고 있다. ISB 판넬의 특성 분석과 설계 데이터 확보를 위하여 관련 선행연구에서는 3 점 굽힘 시험을 통해 변형 특성, 강성비교 및 파단 특성을 분석한바 있다. [3]

본 논문에서는 스트레칭형 경계조건부가시 트러스형 내부 구조체를 가진 ISB 판넬의 충격 특성에 대하여 연구를 수행하였다. 또한, 충격 시험 결과 분석을 통하여 저속 충격 부가 시 ISB 판넬의 하중-변위, 에너지 흡수 특성 및 파단 특성을 비교/분석하였다.

2. ISB 판넬 제작 방법 및 시편설계

트러스형 내부 구조체를 가지는 ISB 판넬은 익스펜디드 금속을 크림핑하여 생성한 트러스형 구조체를 외판인 스테인레스 강판과 전기저항 용접하여 제작한다. 본 연구에서는 익스펜디드 금속을 Fig. 1 과 같이 금형으로 크림핑각 90° 를 부여하여 트러스형 내부 구조체를 생성하였다.

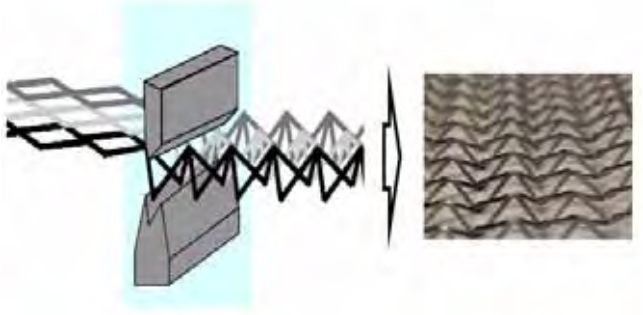

Fig. 1 Structures of expanded metal with truss shapes

ISB 판넬의 외판은 0.3 mm 의 스테인레스 강판을 사용하여 내부 구조체와 외판을 다점 전기 저항용접으로 접합하였다. ISB 판넬 충격시험 시 시편에 완벽한 스트레칭 조건 부여와 치구 압력에 의한 내부 구조체 함몰방지를 위해서 시편 가장자리로부터 시편 내부 쪽으로 각 5 mm 씩 에폭시를 함침시켜 시편을 제작하였다. ISB 판넬 충격시편의 크기는 120 mm (L) × 120 mm (W) 이며 크림핑각은 90° 로 설정하여 제작하였다.

3. 실험장치 및 방법

트러스형 내부 구조체를 가지는 ISB 판넬에 대한 저속 충격시험 시 Fig. 2 과 같은 낙하하중(Drop weight) 방식의 충격시험기를 사용하였다. 충격하중을 측정하기 위하여 충격 헤드(Head) 상부에 Load Cell 을 부착하였으며. 재료의 충격부 변위를 측정하기 위하여 구조물 왼쪽 모서리에 최대 변위가 75 mm 인 LVDT 를 장착하였다..

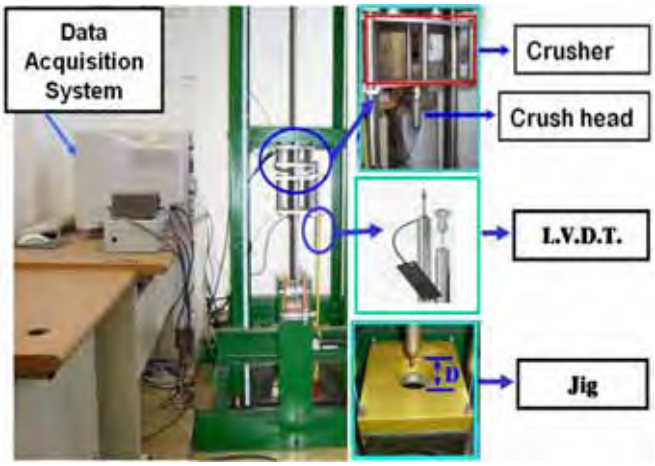

Fig. 2 Schematic diagram of drop weight impact tester

또한, 충격시험에 사용된 치구는 상판과 하판 사이에 고무를 첨가하고 고정구로 고정하여 치구의 중앙 원형부를 제외한 잔여부분은 고무에 부가되는 압력으로 완전 고정시켜 충격 헤드에 의한 중앙부 변형만을 유도하는 스트레칭 방식으로 실험을 수행하였다. 이 방식에 사용되는 충격 헤드의 무게는 11.1 kg 이며 직경은 20 mm 로 하였다. 충격높이는 340 mm 부터 420 mm 까지 20 mm 단위로 변화를 주며 실험을 수행하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

트러스형 내부 구조체를 가진 ISB 판넬의 스트레칭형 저속 충격시험 결과 Table 1 과 Fig. 3 과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 충격 에너지 흡수율 (χ) 은 식 (1) 과 같이 정의된다.

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

여기서, E_{in} 과 E_{ab} 는 각각 입력에너지와 흡수에너지이다.

Table 1 Results of impact tests

Specimen	H (cm)	E_{in} (J)	E_{ab} (J)	χ (%)	P_{max} (N)	δ_{max} (mm)
ISB(W)	34	36.99	30.64	82.83	4,847.24	11.89
	36	39.16	33.21	84.81	5,289.84	12.03
	38	41.34	33.66	81.42	5,398.20	12.22
	40	43.51	34.45	79.18	5,465.14	12.39
	42	45.69	35.08	76.78	5,642.14	12.50

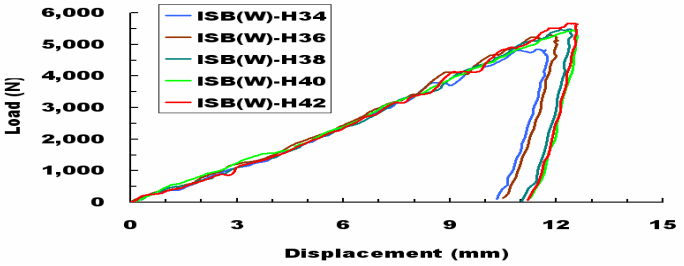

Fig. 3 (a) Results of impact tests (P-δ curves)

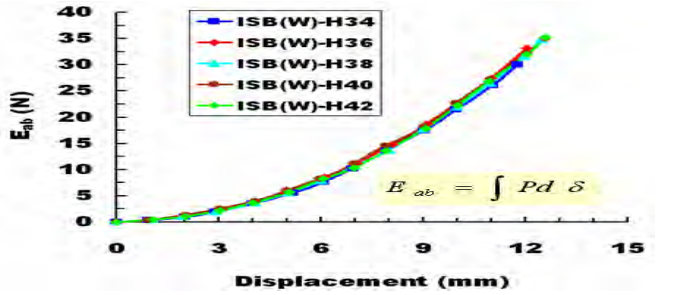

Fig. 3 (b) Results of impact tests (E-δ curves)

Table 1 과 Fig. 3 을 통해 입력에너지가 증가할수록 최대 하중과 최대 충격 흡수에너지가 증가함을 알 수 있었다. 그러나 입력에너지 39.16 J 이상에서는 입력에너지가 증가할수록 충격에너지 흡수율은 감소함을 알 수 있었다.

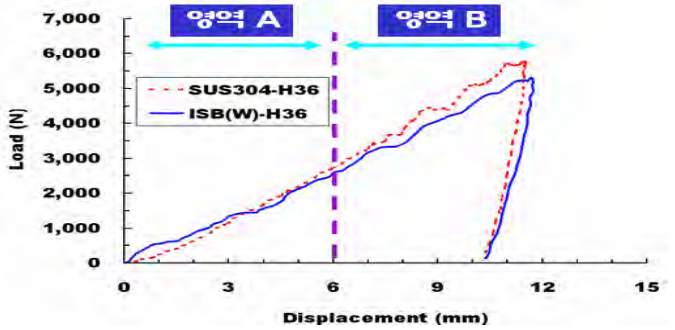

Fig. 4 Comparison of P-δ curve of ISB panel and that of SUS304 panel (E_{in}=39.16 J)

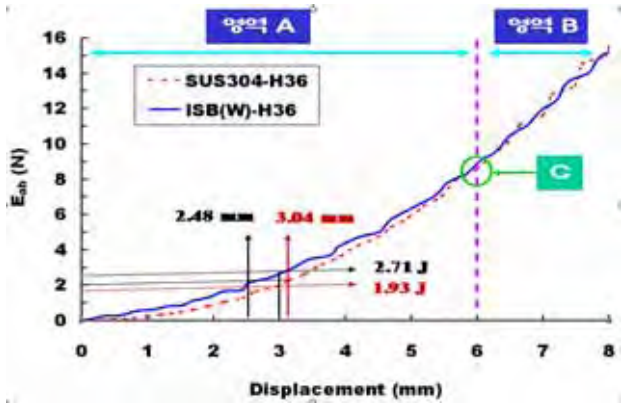

Fig. 5 Comparison of E-δ curve of ISB panel and that of SUS304 panel (E_{in}=39.16 J)

Fig. 4 와 Fig. 5 는 입력 에너지가 39.16 J 일 때 ISB 판넬과 두께가 0.7 mm 인 SUS304 판넬을 비교한 하중-변위 선도와 충격흡수에너지-변위 선도이다. 영역 A 에서는 ISB 판넬이 SUS304 판넬 보다 충격 흡수 능력이 뛰어난 것을 알 수 있었다. 하지만 B 영역에서는 SUS304 판넬이 ISB 판넬 보다 충격 흡수 능력이 더 높게 나타났다. 이 현상은 ISB 판넬의 내부 구조체가 변위 6 mm 까지는 소성변형이 되어 충격에너지를 흡수하나, 변위 6 mm 부터는 내부 구조체가 완전히 함몰되어 더 이상 소성변형을 할 수 없기 때문으로 사료된다. 또한, 내부 구조체의 함몰 후 내부 구조체로 분산되던 하중이 외판으로 집중되어 동일 하중에서도 ISB 판넬이 더 많이 변형하게 되기 때문에 B 영역에서 ISB 판넬의 충격흡수에너지가 감소하는 것으로 생각된다.

한편, 변위 3 mm 부근에서 동일 변위에 대한 충격흡수에너지를 비교한 결과 ISB 판넬이 SUS304 판넬 보다 약 40 % 높은 것으로 나타났다. 또한 2 J 의 동일 충격흡수에너지가 발생할 때 충격변형은 ISB 판넬이 2.48 mm 인 반면 SUS304 판넬은 3.04 mm 의 충격변형을 보여 같은 에너지를 흡수하면서도 변형은 SUS304 판넬의 81 % 정도로 변형량이 매우 작음을 알 수 있었다. 이는 ISB 판넬이 충격을 받을 때 상판을 통해 전달된 충격에너지가 내부 구조체로 전달되어 내부 구조체의 변형을 통해 충격 흡수율을 극대화하여 하판의 변형을 최소화 하기 때문으로 사료된다

5. 결론

본 연구에서는 스트레칭형 경계조건에서 트러스형 내부 구조체를 가진 ISB 판넬에 대한 저속 충격시험을 통하여 충격하중, 변위, 에너지 흡수특성 및 파단특성을 비교/분석하였다. 그 결과 ISB 판넬의 내부 구조체가 완전히 함몰되기 전에는 SUS304 판넬 보다 더 우수한 충격 흡수 능력을 보여주지만, 내부 구조체가 완전히 함몰된 이후에는 SUS304 판넬의 충격 흡수 능력이 더 우수한 것으로 나타났다. 또한 동일 변형량에 대한 충격 흡수에너지는 ISB 판넬이 SUS304 판넬 보다 약 40 % 정도 더 높고 충격 변형량은 81 % 수준으로 매우 우수한 충격부재임을 확인하였다. 추후, ISB 판넬의 저속 충격 시 내부 구조체의 변형 및 에너지 흡수 특성을 정량적으로 판단하기 위하여 3 차원 유한요소 해석을 수행할 예정이다.

후기

본 논문은 산업자원부의 차세대핵심기술개발사업인 마이크로 첨단복제 생산시스템 개발사업 결과의 일부이며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Wadley, H. N. G., Fleck, N. A. A., Evans, A.G., “Fabrication and structural performance of periodic cellular metal sandwich structures,” Composites Science and Technology, 63, 2331-2343, 2003
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, 3, 111 - 119, 2001
3. 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 Korean Society of Precision Engineering, 22, 162-172, 2005