

용접된 트러스형 샌드위치 판재의 자유단에서의 저속충격특성

Experimental Investigation into Low Velocity Impact Behavior of a Welded Metallic Sandwich Plate with a Truss Core under Free Boundary Condition

*정창균¹, 성대용¹, 양동열¹, 문경제², 안동규²

*C. G. Jung¹, D. Y. Seong¹, D. Y. Yang²(dyyang@kaist.ac.kr), K. J. Moon³, D. G. Ahn⁴

¹KAIST 기계항공시스템학부, ²조선대학교 기계공학과

Key words : metallic sandwich plate, pyramidal truss core, low velocity impact, energy absorption, crashworthiness

1. 서론

최근 금속면재(face sheet)와 저밀도 금속 혹은 금속구조를 심재(core)로 하는 금속 샌드위치 판재에 대한 관심이 증가하고 있다. 사용되는 심재로는 알루미늄 허니컴(honeycomb), 금속 폼(metal foam), 경량금속, 트러스형 구조물 등 매우 다양하다.¹⁻² Wick³ 등은 사면체 구조를 가지는 트러스를 내부에 가지는 트러스형 샌드위치 판재의 정적 특성을 비교 분석하여 트러스형 구조를 심재로 사용하는 금속 샌드위치 판재가 허니컴과 유사한 경량특성을 가짐을 보고하였다. 금속 샌드위치 판재의 또 하나의 특징은 경량화 목적을 만족시킴과 동시에 금속이 가지는 소성변형특성으로 인해 높은 에너지 흡수율을 가져, 경량 내충격부재로서 높은 가능성이 기대되고 있다는 점이다. 이에 다양한 조건의 충격특성 규명을 위한 연구가 진행되고 있다.⁴⁻⁵ 그러나 금속재의 충격거동은 속도에 따라 그 현상이 매우 다르다. 실제 내충격부재가 가장 적극적으로 채용되는 자동차 부품 중 범퍼 빔의 경우 8 km/h 또는 15km/h 의 저속상황에서의 충돌시험이 수행되고 있다. 본 연구에서는 트러스형 금속 샌드위치 판재가 저속에서 충격을 받을 때의 특성을 실험적 연구를 통해 고찰하여 내충격 재료로서의 트러스형 샌드위치 판재의 특성을 관찰하고자 한다. 이를 위해 경제성을 고려해 개발된 다점전기저항용접을 통해 시편을 제작하였고 충격에 대한 변형을 적극적으로 유도하기 위해 경계조건을 자유단으로 한 낙하충격방식의 저속충격에 대한 변형특성을 관찰하였으며 이를 유사무게를 가지는 일반판재와 비교 분석하였다.

2. 실험방법

트러스형 샌드위치 판재는 사각금속망을 절곡하여 만들어지는 피라미드 형상의 코어와 금속면재를 다점전기저항용접(multi-point resistance welding)을 이용하여 제작하였다. 본 연구에서는 곡률을 가지는 둥근 전극을 이용한 간이장치를 이용하여 순차용접을 통해 제작하였다. 절곡에 사용된 사각금속망은 상용 익스팬디드 메탈로 한 변의 길이가 약 4.5 mm 이고, 내각이 각각 54.6 ° 및 125.4 ° 이며 부재의 단면이 약 0.16 mm² 인 마름모가 연속적으로 배열된 형상을 가진다. 이를 90° 로 절곡하여 피라미드 구조를 제작하였다. 면재는 두께가 0.3 mm 인 스테인레스 강(SUS 304)을 사용하였다. 용접된 샌드위치 시편의 두께는 2.9 mm ~ 3.0 mm 이다. 시편의 크기는 한 변의 길이가 120 mm 인 정방향으로 제작되었다. 한편 샌드위치 판재의 충격특성을 비교하기 위해 샌드위치 판재의 이론적 무게가 가장 유사하도록 가로 및 세로의 길이가 120 mm 이며 두께가 0.7 mm 인 SUS 304 로 선정하여 동일한 방법으로 시험하였다.

트러스형 샌드위치 판재의 충격은 일정수준의 질량을 가진 중량낙하방식으로 수행하였다. 이것은 저속에 대한 충격을 가장 손쉽게 모사할 수 있는 방식이다. 시편의 끝단은 구속을 두지 않고 자유단(free boundary condition)으로

하였다. 이것은 시편의 파단을 유도하는 고정단(fixed boundary condition) 시험에 비해 시편 고유의 변형특성을 관찰하기가 쉽기 때문이다. 시험시편의 예를 Fig. 1 에 나타내었다.

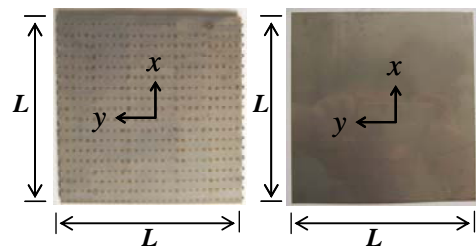


Fig. 1 Example of test specimens; left image is a sandwich plate and right image is a monocoque plate, respectively (L= 120 mm)

Table 1 Design of specimens

	Sandwich plate(S1)	Monocoque plate(M1)
Size [mm]	120 x 120	120 x 120
Thickness [mm]	Face sheet	0.3
	Truss core	0.4
	Total	3.0
Mass [kg]	0.080	0.079

실험장치의 개략적인 그림을 Fig. 2 에 나타내었다. 낙하추는 지름(D_{head})이 20 mm 인 반원형상이며 전체질량은 11.1 kg 이다. 낙하추에는 로드셀과 LVDT 를 장착하여 충격하중과 낙하추의 변위를 측정하도록 하였다. 시편을 받치는 다리의 경우 지름(H_{hole})이 80 mm 로서 충격된 시편이 빨리 들어갈 수 있도록 하였다.

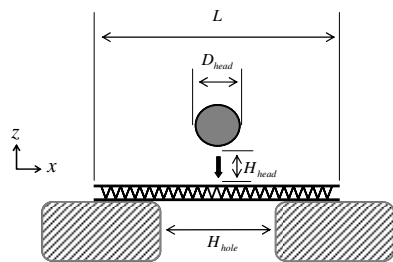


Fig. 2 Experimental set-up

3. 실험결과

충격시험 결과의 대표적인 변형형상을 Fig. 3 에 나타내었다. 충격 후 일반판재는 충격부의 변형이 편치방향으로 진행되는 반면 샌드위치 판재는 항복된 면재가 트러스 구

조 사이로 침투하며 변형이 평면으로 진행되는 경향을 보인다. 샌드위치 판재의 변형은 일반 판재의 약 85 % 수준으로 상당히 양호한 결과를 보였다.

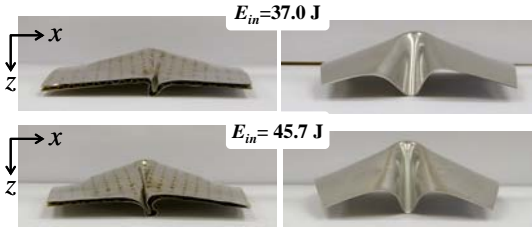


Fig. 3 Comparison of central deflection

하중-변형 특성을 관찰하기 위해 각각의 대표적인 하중-변위 선도의 예를 Fig. 4에 나타내었다. 초기에는 샌드위치 판재가 일반판재에 비해 우수한 하중특성을 보이다가 일정시점이 지난 후 이러한 현상은 역전이 되고 있음을 관찰할 수 있다. 샌드위치 판재는 최대하중 후 지속적인 하중지탱능력을 보여주고 있으나 일반판재의 경우 급격한 하중감소를 동반한다. 샌드위치 판재가 일반판재와 달리 초기항복 이후에도 지속적인 하중지탱능력을 유지하는 이유는 항복된 면재가 트러스 코어 사이로 침입한 이후 변형이 평면방향으로 전파되면서 면재와 면재가 서로 접촉하면서 변형을 저지하여 하중을 계속 지탱하기 때문으로 판단된다. 이러한 특성은 트러스형 샌드위치 판재로 이루어진 구조가 항복에 도달하더라도 어느 정도의 구조강성을 유지시킬 수 있는 특성을 가지고 있음을 나타내며, 안전을 우선시하는 구조재료에서 우수한 특성이 될 수 있다.

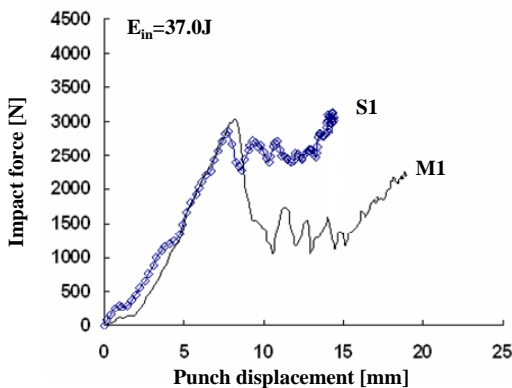


Fig. 4 Example of impact load-punch displacement curve. ($E_{in} = 37.0 \text{ J}$)

각 변위에 대한 충격에너지 흡수량을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Comparison of energy absorption; (S1-M1)

Displacement [mm]	E _{absorp} [J]		
	5.0	10.0	14.1
S1	4.3	16.4	28.1
M1	2.0	13.4	22.6
S1/M1	2.15	1.22	1.24

트러스형 샌드위치 판재의 충격흡수능력은 유사한 무게를 가지는 일반 판재에 비해 상당히 우수한 에너지 흡수능을 가지고 있음이 관찰되었다. 초기 변형량 5 mm 부근에서 에너지 흡수량은 2 배 이상의 차이를 보인다. 한편 면재 항복 후 최종변형까지의 샌드위치 판재의 에너지 흡수율은 유사무게의 샌드위치 판재에 비해 약 24 % 가 개선되었다.

샌드위치 판재의 충격특성을 보다 개선시키기 위해서는

면재의 소성좌굴에 의한 면재함몰을 막음으로써 더욱 개선될 수 있다. 이때 면재좌굴은 트러스 간의 간격에 영향을 크게 받는다. 따라서 면재의 함몰을 최대한 막을 수 있도록 트러스 심재의 크기 및 간격의 설계가 개선된다면 충격 흡수율은 더욱 개선될 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 트러스형 샌드위치 판재의 저속 충격거동을 규명하기 위하여 용접에 의해 제작된 트러스형 샌드위치 판재의 충격시험을 수행하였다. 이를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 트러스형 샌드위치 판재의 충격특성은 면재의 항복 및 함몰에 의해 지배적인 영향을 받으므로 이를 최소화 할 수 있는 설계가 필요하다.
- (2) 충격시 샌드위치 판재는 면재함몰이후 평면방향으로 변형이 전파되어 서로 접촉함으로써 항복 후에도 지속적인 하중지탱 능력을 보이며 이는 일반판재가 소재 항복 후 급격한 하중감소를 보이는 특성과 비교할 때 구조재료로서 우수한 특성을 가진다고 볼 수 있다.
- (3) 내충격성의 대표적인 특성치인 충격변형량의 경우 유사무게의 일반판재에 비해 약 85%의 변형량을 보여 우수한 내충격재료임을 확인하였다.
- (4) 샌드위치 판재는 면재항복 및 함몰 전까지 유사무게의 일반판재에 비해 대단히 우수한 에너지 흡수능력을 보였으며 함몰 이후에도 (2)와 같은 이유로 인해 지속적으로 충격을 흡수하여 최종 변형시까지 유사무게 대비 일반판재와 비교하여 10~20 % 이상의 에너지 흡수량의 개선특성을 보였다.

후기

본 논문은 산업자원부의 차세대핵심기술개발사업인 “3차원 형상의 금속 구조체를 가진 초경량 금속 샌드위치 판재 개발”의 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Ashby, M. F., Evans, A. G., Fleck, N. A., Gibson, L. J., Hutchinson, J. W. and Wadley, H. N. G., “Metal foams: a design guide,” Butterworth, pp. 113-149, 2000.
2. Jung, C. G., Yoon, S. J., Yang, D. Y., Lee, S. M., Na, S. J., Lee, S. H. and Ahn, D. G., “Fabrication and static bending Test on ultra light inner Structured and bonded (ISB) Panel containing repeated inner pyramidal structures,” J. Korea society of precision engineering, Vol. 22, pp. 175-182, 2004.
3. Wicks, N. and Hutchinson, J. W., “Optimal truss plates,” International journal of solids and structures, Vol. 38, pp. 5165-5183, 2001.
4. Radford, D. D., Fleck, N. A. and Deshpande, V. S., “The response of clamped sandwich beams subjected to shock,” International journal of impact engineering, Vol. 32, pp. 968-987, 2006.
5. Jung, C. G., Seong D. Y., Yang, D. Y., Kim J. S., Ahn, D. G., “Low velocity impact behavior of metallic sandwich plate with a truss core,” J. Korea society of precision engineering, Vol. 23, pp. 80-88, 2005