한국소성가공학회 2008년도 춘계학술대회 논문집 pp. 444~447

트러스형 샌드위치 판재에서 기계적 물성이 내충격성에 미치는 영향

정창균[1]· 성대용[1]· 양동열#· 안동규[2]

Effects of Mechanical Properties on Crashworthiness in Sandwich Plate with a Truss Core

C. G. Jung, D. Y. Seong, D. Y. Yang, D. G. Ahn

Abstract

A sandwich plate with a truss core is composed of two face sheets and a truss core between the face sheets. In this paper, a metallic sandwich plate with a pyramidal truss core is investigated numerically, for its deformation and energy absorption ability under dynamic loading. To find the effect of mechanical properties on crashworthiness in the sandwich plate with a pyramidal truss core, various pyramidal cores were simulated and investigated. It appears that relative density and shear modulus of a pyramidal truss core effect the change of energy absorption.

Key Words : mechanical properties, crashworthiness, sandwich plate, truss core

1. 서 론

탄소거래제도와 같은 이산화탄소 배출에 대한 적극적인 규제는 자동차 선박과 같은 운송기기 분야의 경량화를 촉진시키고 있다. 이중 샌드위치 판재는 대표적인 경량화 재료로 알려져 있으며 그 활용도 역시 증가하고 있다.[1]

최근에는 사면체, 피라미드, 카고메 구조와 같은 트러스 구조를 심재로 하는 트러스형 금속샌드위치 판재의 개발이 적극적으로 이루어지고 있다.[2-4] 이러한 트러스형 샌드위치 판재는 허니콤 구조와 유사한 경량특성을 가지고 있으면서도 개방형 구조로 인해 내부공간의 활용이 가능하여 경량특성뿐만 아니라, 능동냉각, 소음진동특성의 규명 등 다기능성 재료로서의 특성에 대한 연구가 상당부분 진행되고 있다.[5] 한편 샌드위치 판재의 가장 큰 단점이라고 할 수 있는 가격경쟁력을 확보하기 위한 연구도 수행되었는데, Jung 등은 연속적으로 피라미드형 샌드위치 판재를 제작할 수 있도록 하는 생산시스템을 고안하였다.[6]

이러한 트러스형 금속샌드위치 재료가 운송기기의 경량화 재료로 사용되기 위해서는 충돌에서의 안전성 역시 확보되어야 한다. 따라서 충돌특성을 규명하기 위한 연구 역시 진행되고 있으나 대부분의 경우 탄환, 폭발쇼크 등과 같은 고속의 충돌에 대한 연구가 주를 이루어 운송기기의 저속충격에 대한 연구는 드문 실정이다.[7-8] 이에 Jung 등은 낙하충격을 이용한 저속 충격에 대한 거동을 연구한 바 있다.[9]

본 논문의 내용은 트러스형 금속 샌드위치 판재를 대상으로 내충격성 향상을 위한 기초 연구이다. 이를 위해 피라미드형 트러스 구조를 심재로 가지는 금속 샌드위치 판재를 대상으로 하여 다양한 치수를 가지는 피라미드 트러스의 구조의 기계적 물성을 이론적으로 계산하였고 각 모델을 수치적 해석을 통해 충격흡수 특성을 관찰하였다.

1. KAIST 기계항공시스템학부 대학원
2.조선대학교 기계공학과
교신저자: KAIST 기계항공시스템학부, dyyang@kaist.ac.kr

2. 실험 및 해석

2.1 기계적 물성의 계산

Zok 와 Desponde 등은 익스팬디드 메탈을 크림핑하여 수십미리 이상의 피라미드 구조를 제작할 때의 피라미드 구조의 탄성계수 및 기계적 물성을 이론적으로 정리하였다.[10] 그러나 본 연구에서는 수 미리미터 이하의 미세 피라미드 구조를 제작하였고 유한요소모델 역시 면재와의 접점을 점이라 가정하고 Zok 등이 제안한 식을 수정하여 사용하였다. 기계적 물성을 계산하기 위한 피라미드 구조의 치수를 Fig. 1에 나타내었다.

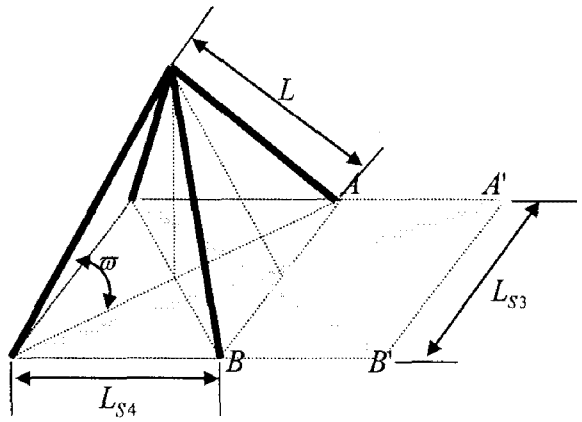

Fig. 1 Unit shell of the pyramidal truss

이때 피라미드형 내부구조를 가지는 샌드위치 판재의 트러스 심재의 상대밀도(ρ), 압축탄성계수(E_c) 및 전단탄성계수(G_c)는 아래와 같다.

$$\rho = \frac{4LA}{L_{s4}L_{s3}H_c} \tag{1}$$

$$E_c = E_s \cdot \sin^4 \varpi \cdot \rho \tag{2}$$

$$G_c = \frac{1}{8} E_s \cdot \sin^2 2\varpi \cdot \rho \tag{3}$$

여기서 H_c ,E_s 그리고 A는 각각 트러스 부재의 높이, 재료의 탄성계수 및 트러스 부재의 단면적을 나타낸다.

2.2 유한요소해석

다양한 형상의 피라미드형 샌드위치 판재가 소치적으로 모델링되어 유한요소해석 되었다. 해석의 효율성을 위해 면재는 shell 요소로 하였으며 심재를 구성하는 트러스 구조는 beam 요소를 이용하였다. 면재와 심재의 접합부는 완전히 접합되었다고 가정하였다. 해석시간의 단축을 위해 1/2 모델을 이용하여 해석하였다. 유한요소해석을 위한 모델링의 예를 Fig 2. 에 나타내었다.

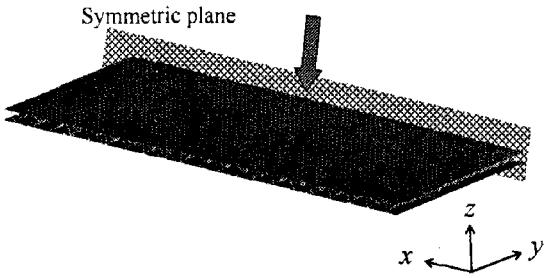

Fig. 2 (a) Numerical model of sandwich plate with a truss core

유한요소해석은 중량낙하방식의 충격시험을 모사하였다. 실제 Jung등은 중량낙하방식의 충격시험기를 제작하였다.[9] 본 연구의 유한요소해석은 이 실험을 모사한 것으로 중량이 약 11.1kg 이고 반구형인 충격편치를 점질량을 가진 반구형의 강체로 모델링 하였다. 피충격체인 샌드위치 판재는 내부구조의 형상에 따른 변형거동을 보다 자세히 관찰하기 위해 자유단(free boundary condition)으로 하였다. 이와 같은 조건을 Fig. 2(b) 에 나타내었다.

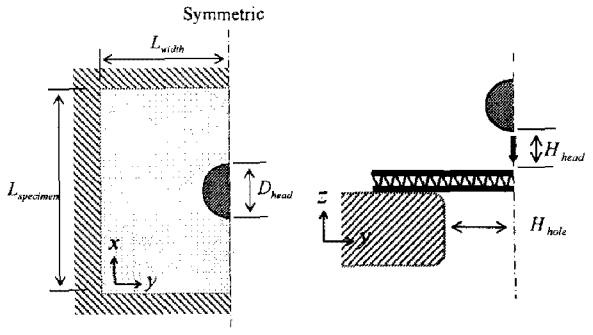

Fig. 2 (b) Impact conditions of numerical model

해석은 상용 프로그림인 ABAQUS(Explict)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

유한요소해석의 타당성을 검증하기 위해 실험적 결과와 비교치를 Fig. 3 에 나타내었다. 실험조건에 쓰인 시편을 모사한 유한요소 해석에서 실재 실험의 최대 하중의 범위를 벗어나지 않는 충격하중값을 얻을 수 있었다.

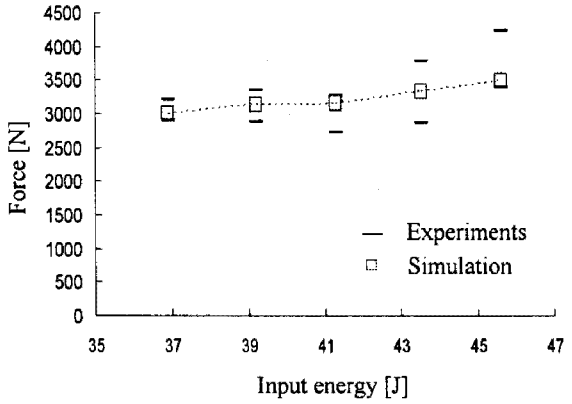

Fig. 3 Comparison of numerical and experimental results

샌드위치 트러스의 상대밀도에 따른 변형 형상을 Fig. 4에 나타내었다. 상대밀도가 감소할수록 면재의 주름발생량이 많아짐을 확인할 수 있는데 이는 상대밀도가 낮다는 것은 트러스의 부재간 간격이 넓어 내부의 공간이 많아 변형시 면재가 그 공간속으로 침투가 용이하기 때문이다.

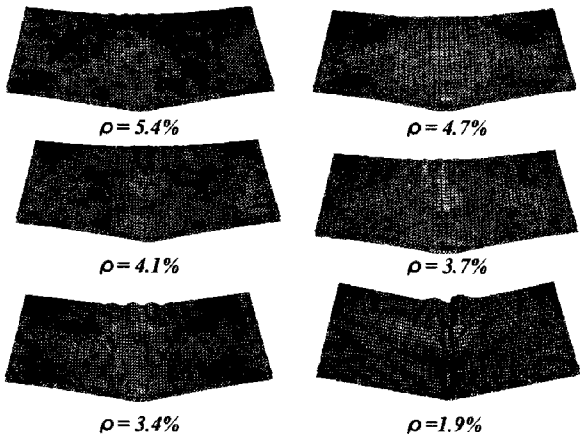

Fig. 4 Deformation shape of sandwich plate with a truss core for indicated relative density

한편 상대밀도에 따른 에너지흡수량의 변위 선도를 Fig. 5 에 나타내었다. 상대밀도가 4% 부근에서 에너지흡수량이 극격히 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보이고 있다. 심재의 적절한 공간이 면재의 변형을 유도하다가 일정수준이상이 되면 충격변형을 유발할 수 없기 때문에 변형이 발생하지 않아 충격량을 변형량으로 소화하지 못하기 때문으로 풀이된다. 상대밀도의 증가는 판재의 무게증가를 유발하기 때문에 내충격성의 향상을 위해서는 적절한 상대밀도를 가지는 내부구조재의 설계가 필요함을 확인하였다.

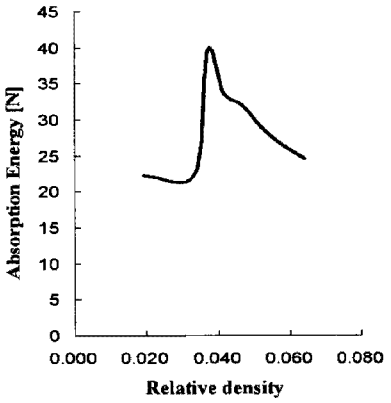

Fig. 5 Energy absorption curve as a function of relative density

유한요소 해석에서 길이의 비(L_{S3}/L_{S4})를 변화시키면 압축탄성계수와 전단탄성계수가 변화한다. 압축 및 전단 탄성계수의 변화에 따른 에너지 흡수량의 추이를 Fig. 6 에 나타내었다. 그림에서 관찰할 수 있듯 압축탄성계수에 대한 에너지 흡수량의 변화에서는 뚜렷한 상관관계를 찾을 수 없었다. 그러나 전단탄성계수의 경우 그 값이 증가하면 에너지 흡수율이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 펀치가 샌드위치 판재의 평면의 중앙을 가격할 때 내부구조재의 변형에 의한 충격에너지의 소산이 내부구조재의 전단변형기구에 의한 영향이 큼을 간접적으로 알려 주고 있다.

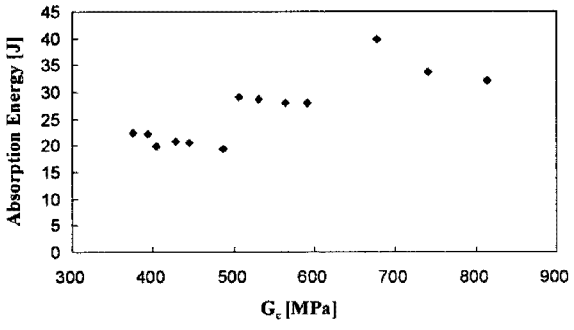

Fig. 6(a) Energy absorption as a function of E_c

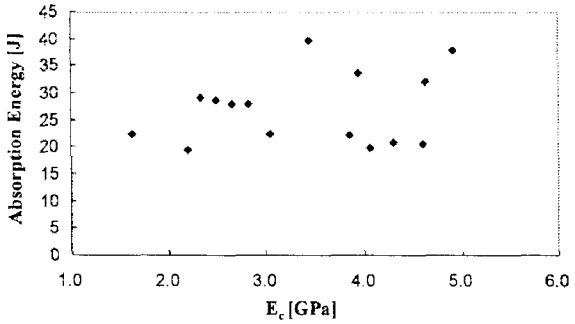

Fig. 6(b) Energy absorption as a function of G_c

4. 결 론

본 연구에서는 트러스형 내부구조를 가지는 샌드위치 판재의 내충격성을 향상시키기 위한 기초연구로 유한요소해석을 통해 판재의 주요 물성인 상대밀도, 압축탄성계수 및 전단탄성계수가 변할 때 에너지흡수율의 차이를 관찰하였다. 그 결과 상대밀도의 변화시 에너지 흡수량에서 가장 많은 변화를 관찰 할 수 있었으며 따라서 내충격부재의 설계시 최적의 상대밀도를 고려해야 한다. 또한 압축탄성계수는 에너지 흡수율에 크게 영향을 미치지 않는 반면 전단탄성계수의 증가는 에너지 흡수율을 향상시키는데 상당부분 기여하고 있음을 확인하였다.

후 기

본 논문은 지식경제부 산하 중장기기술개발사업인 3차원 형상의 금속 구조체를 가진 초경량 금속 샌드위치 판재 개발의 연구결과 중 일부이며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] H. G. Allen, 1969, Analysis and design of structural sandwich panels, Pergamon Press, pp 8~46.

[2] N. Wicks, J. W. Hutchinson, 2001, Optimal truss plates, International journal of solids and structures, Vol. 38, pp. 5165 – 5183.

[3] H. N. G. Wadley, N. A. Fleck, A. G. Evans, 2003, Fabrication and structural performance of periodic cellular metal sandwich structure, Composites science and technology, Vol.63, pp 2331-2343.

[4] M. F. Ashby, A. G. Evans, N.A. Fleck, L. J. Gibson, J. W. Hutchinson, H.N.G. Wadley, 2000, Metal foams: a design guide, Butterworth, pp. 113~149

[5] T. J. Lu, L. Valdevit, A. G. Evans, 2005, Active cooling by metallic sandwich structures with periodic cores, Progress in Materials Science, Vol. 50, pp789.

[6] C. G. Jung, S. J. Yoon, D. Y. Yang, S. M. Lee, S. J. Na, S. H. Lee, D. G. Ahn, 2004, Fabrication and static bending Test on ultra light inner Structured and bonded (ISB) Panel containing repeated inner pyramidal structures, Korea society of precision engineering, Vol. 22, pp. 175 - 182.

[7] T. Besant, G. A. O. Davies, D. Hitchings, 2001, Finite element modeling of low velocity impact of composite sandwich panels, Composites part A: Applied science and manufacturing, Vol. 32, pp. 1189 ~ 1196.

[8] D. D.Radford, N. A. Fleck, V. S. Deshpande, 2006, The response of clamped sandwich beams subjected to shock, International journal of impact engineering, Vol.32, pp 968-987.

[9] C. G. Jung, D. Y. Seong, D. Y. Yang, J. S. Kim, D. G. Ahn, 2004, Low velocity impact behavior of metallic sandwich plate with a truss core Korea society of precision engineering, Vol. 22, pp. 175 - 182.

[10]G. W. Kooistra, H. N. G. Wadley, 2007, Lattice truss structures form expanded metal sheet Materials and design, Vol.28, pp. 507~514.