

〈 논문 〉

와이어를 이용하여 제작된 옥테트 트러스 샌드위치 판재의 압축 및 굽힘 거동

임지현* · 나성준** · 구만회*** · 강기주†
(2004년 10월 22일 접수, 2005년 1월 20일 심사완료)

Compressive and Bending Behavior of Sandwich Panels with Octet Truss Core Fabricated from Wires

Ji-Hyun Lim, Seong-Jun Nah, Man-Hoe Koo and Ki-Ju Kang

Key Words : Octet Truss(옥테트 트러스), Sandwich Panel(샌드위치 판재), Ultra Light Metal Structure(초경량 금속 구조재), Three Dimensional Weaving(3 차원 직조)

Abstract

Ultra light metal structures have been studied for several years because of their superior specific stiffness, strength and potential of multi functions. Many studies have been focused on how to manufacture ultra light metal structures and optimize them. In this study, we introduced a new idea to make sandwich panels having octet truss cores. Wires bent in a shape of triangular wave were assembled to construct an Octet truss core and it was bonded with two face sheets to be a sandwich panel. The bending & compressive strength and stiffness were estimated through elementary mechanics for the sandwich specimens with two kinds of face sheets and the results were compared with the ones measured by experiments. Some aspects of assembling and mechanical behavior were discussed compared with Kagome core fabricated from wire, which had been introduced in the authors' previous work.

1. 서론

초경량 금속 구조재(ultra light metal structure)는 부피의 90% 이상이 비어있는 다공질 금속재료로서 가볍고 강도, 강성이 높을 뿐만 아니라 복합재료나 고분자재료에 비해 흡습성, 내충격성, 내화성이 우수하다. 초경량 금속재의 시초는 발포금속(metal foams)으로 비개방형 셀(closed cell)과 개방형 셀(open cell)로 나눌 수 있다. 비개방형 셀은 이웃 단위 셀과 개방되어 있지 않아 내부공간을 활용할 수 없고, 개방형은 가격이 비싸다. 발포금속은 불규칙한 크기의 셀로 구성되어있기 때문에 강도 면

에서 불리하다. 반면에 최근 제시되고 있는 주기적(periodic) 3 차원 트러스 구조(3-dimensional truss structure)는 개방형 셀이며 규칙적인 구조를 갖기 때문에 그 강도 면에서 매우 우수하다. 3 차원 트러스 구조 중 옥테트(Octet) 구조는 크기가 같은 정삼각형 트러스로 구성 되어 있어 가장 우수한 것으로 알려져 있다. 유사한 주기적(periodic) 초경량 금속재료로서 널리 사용되고 있는 알루미늄 하니컴은 비강도/비강성 등 기계적 성능은 매우 우수하나 전형적인 비개방형 셀로서 내부공간을 열전달을 위한 유체의 통로, 연료 등의 보관, 배선 등의 용도로서 사용할 수 없다.

3 차원 트러스 구조를 제조하는 방법으로서 주조법, 철망 적층법, 천공된 판재 성형법 등이 있으나,⁽¹⁻³⁾ 각각 높은 가격 및 주조 금속 조직의 취약성, 비 이상적인(non-ideal) 트러스 구조에 의한 강도저하, 천공 재료 손실 등의 문제가 있다. 최근 Kang 등⁽⁴⁾은 와이어를 이용하여 이상적인 트러스의 일종인 카고메 트러스를 제조할 수 있음을 보여 주었다. FRP 선, 피아노선 등의 예와 같이, 고강

† 책임저자, 회원, 전남대학교 기계시스템공학부
E-mail : kjkang@chonnam.ac.kr
TEL : (062)530-1668 FAX : (062)530-1689

* 전남대학교 대학원 기계공학과

** 전남대학교 기계시스템공학부

*** 국방과학연구소

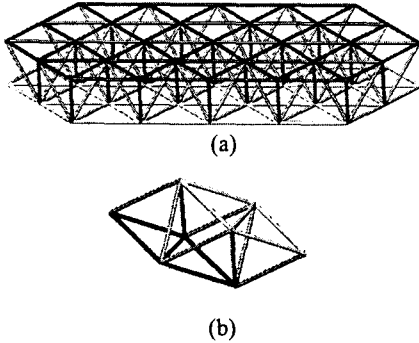


Fig. 1 Ideal octet truss structure; a) 3-D octet truss, b) unit cell

도 구현이 용이한 와이어를 3 축 직조하여 트러스를 구성한다는 장점이 있으나, 와이어의 중간부 교차점에서 6 개의 와이어가 서로 비껴 지나가야 하기 때문에 굵은 와이어로 제조하는데 어려움이 있으며 이로 인하여 트러스 각 요소가 굴곡이 될 수 밖에 없다.

본 연구에서는 Kang 등⁽⁴⁾과 같이 3 축으로 직조된 와이어를 이용하되 와이어들의 간섭을 최소화할 수 있는 새로운 옥테트 트러스 샌드위치 판재의 제조방법을 제안한다. 옥테트 트러스를 중간층으로 상하에 단순면판(blind face sheet)과 격자형 구멍이 뚫린 격자면판(meshed face sheet)을 브레이징하여 샌드위치 판재를 제조하였다. 해석적인 모델을 대상으로 이론 강도 및 강성도를 예측하였고 실험결과와 비교하였다. 최대 하중점에 도달한 후 파손 현상을 카고메 트러스 경우와 비교해 논의하였다.

2. 설계 및 제작

2.1 옥테트 트러스 구성 방법

Fig. 1 은 이상적인 3 차원 옥테트 트러스 구조를 나타낸 것으로, 옥테트 트러스를 중간층(core)으로 하는 샌드위치 판재는 가장 이상적인 구조로 알려져 있는 하니콤 샌드위치 판재에 버금가는 비강성 및 비강도를 가지며 개방형 셀 발포금속과 같이 내부공간 활용이 가능한 새로운 소재이다.

본 연구에서는 와이어를 이용하여 옥테트 트러스 샌드위치 판재의 중간층을 제작하는 방법을 제시한다. Fig. 2 와 같이, 와이어를 삼각과 형태로 절곡한 후 이 철사들을 엮어 중간층을 제작한다. 이 구조에서는 각 트러스 요소가 2 개의 와이어로 구성되어 있으며 꼭지점에서 3 개의 와이어가 서로 비껴나가는 형상[Fig. 2(d)]을 가지기 때문에 와이

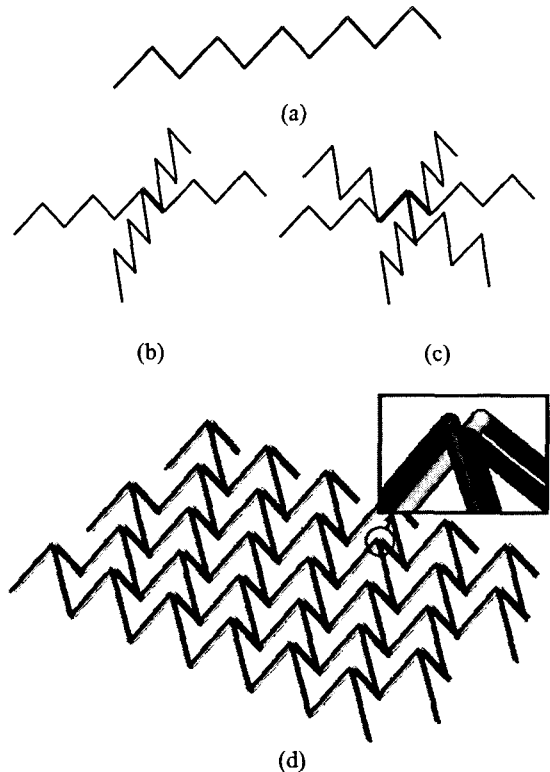


Fig. 2 The manufacture process of octet truss sandwich panel with wires

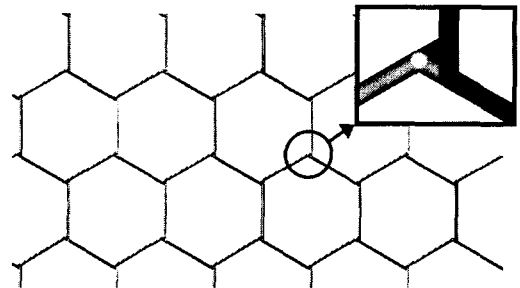


Fig. 3 The figure of octet truss core on the top

어간 간섭을 최소화 할 수 있다. Fig. 3 은 Fig. 2 의 옥테트 중간층을 직 상부에서 본 것으로 6 각형의 면에 위치한 각 트러스 요소는 두 와이어가 겹쳐서 하나인 것처럼 보인다. Fig. 4 는 와이어를 이용하여 제작된 옥테트 트러스 샌드위치 판재를 나타내고 있다. Fig. 4(a)는 상하면에 접합 될 면판이 2 차원 옥테트 트러스 형태로 구멍이 뚫려 있는 격자형 면판(meshed face sheet)이고, Fig. 4(b)는 구멍이 없는 단순면판(blind face sheet)인 것을 나타내고 있다.

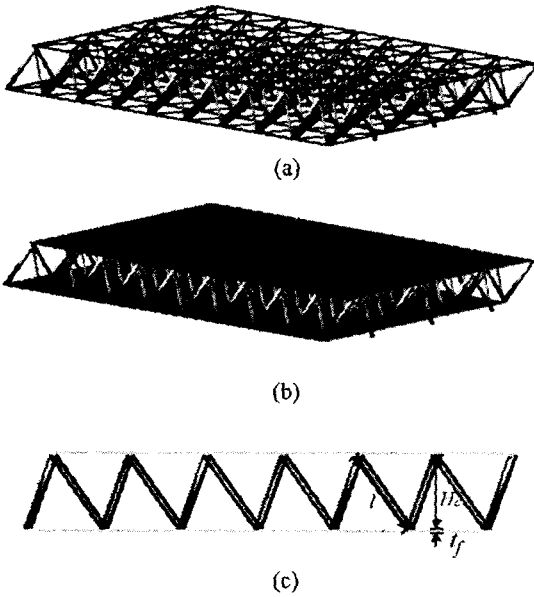


Fig. 4 Sandwich panels with octet truss core fabricated from wires; a) meshed face sheet, b) blind face sheet, c) side view

2.2 이론 강도 및 강성도

와이어를 이용하여 제작될 옥테트 트러스 샌드위치 판재의 기계적 성능을 알아보기 위하여 재료역학에 기초한 이론식을 유도하였다. 이하의 내용은 중간층의 두께 H_c 가 상하면판의 두께 t_f 나 중간층 트러스 요소의 직경 d 보다 훨씬 큰 경우 ($H_c \gg t_f, d$)에 대한 것이다.

상하면판과 중간층 트러스 재료가 같을 때 격자면판과 단순면판을 가진 샌드위치 판재의 상대밀도(relative density) 또는 부피 점유율⁽⁵⁾은 각각 다음 식과 같다.

$$\rho = \frac{6\sqrt{2}wt_f}{l^2} + \frac{3\sqrt{2}\pi d^2}{2l^2} \quad \text{-(meshed face sheet)} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{\sqrt{6}t_f}{l} + \frac{3\sqrt{2}\pi d^2}{2l^2} \quad \text{-(blind face sheet)}$$

w 는 격자 두께를 나타내며(Fig. 7), 두 식에서 첫 번째 항과 두 번째 항은 각각 상하면판의 밀도, 중간층의 밀도를 의미한다.

Fig. 5(a)와 같이 하나의 정사면체에 압축하중 p 가 가해질 때 압축강성도를 Castigliano 의 정리⁽⁶⁾를 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$\frac{p}{\delta_p} = \frac{\pi d^3 E_c}{l} \quad (2)$$

Fig. 5(b)와 같이 횡방향의 하중 q 에 대한 전단강성도는 다음과 같다.

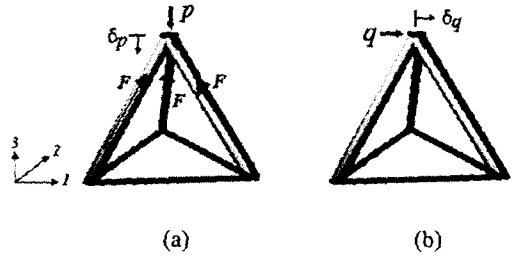


Fig. 5 a) Compression of tetrahedral truss, b) shear stress of tetrahedral truss

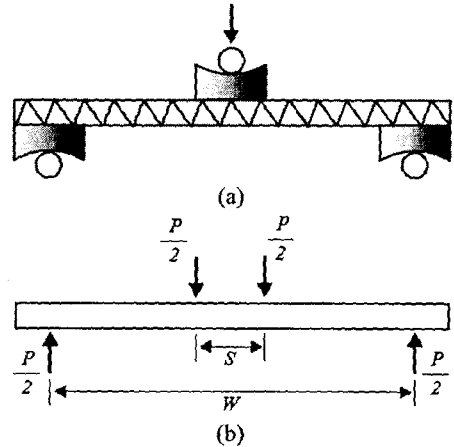


Fig. 6 a) Configuration of 3-point bending test, b) equivalent free body diagram

$$\frac{q}{\delta_q} = \frac{\pi d^3 E_c}{4l} \quad (3)$$

위 결과를 이용하여 이 샌드위치 판재의 등가압축탄성계수와 전단계수는 다음 식으로 표현된다.

$$E_{33} = \frac{2\sqrt{2}\pi}{3} E_c \left(\frac{d}{l}\right)^2, \quad G_{13} = \frac{\sqrt{2}\pi}{6} E_c \left(\frac{d}{l}\right)^2 \quad (4)$$

l 은 요소의 길이, E_c 는 트러스 재료의 Young 계수이다.

Fig. 6 (a)는 샌드위치 판재의 3 점 굽힘실험 형태를 나타내고 있다. 샌드위치 판재의 면판에서의 국부적인 압흔(indentation)을 방지할 목적으로 일반적으로 사용되는 롤러대신 롤러/오목블럭을 통하여 하중이 넓은 면에 분산되게 작용된다. 따라서 가운데 오목블럭의 폭을 고려하여 Fig. 6(b)와 같은 4 점 굽힘으로 모사하였다. 하중 P 를 받을 때 발생하는 중심변위를 δ 라 할 때 컴플라이언스는 Allen⁽⁷⁾ 을 참조하면 다음 식으로 주어진다.

$$\frac{\delta}{P} = \frac{(W-S)^2(W+2S)}{48(EI)_{eq}} + \frac{(W-S)}{4(AG)_{eq}} \quad (5)$$

여기서 $(EI)_{eq}$ 와 $(AG)_{eq}$ 는 각각 등가굽힘강성과 등가전단강성으로서 다음 식으로 표현된다.

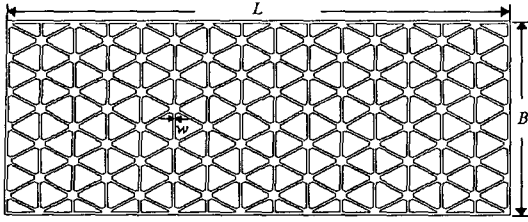


Fig. 7 Meshed face sheet

$$(EI)_{eq} \approx \frac{E_f B t_f D^2}{2}, \quad (AG)_{eq} \approx G_{13} B D \quad (6)$$

그리고 E_f 는 상하면판 재료의 Young 계수, I, A, B 는 각각 샌드위치판재의 단면 2 차 모멘트, 단면적, 폭이고 D 는 샌드위치 판재의 전체 높이이다. W 는 굽힘시험 시 양단 지지점 사이의 거리, S 는 가운데 오목블록의 너비를 나타낸다.

옥테트 트리스 판재의 압축강도는 중간층 트리스의 좌굴에 의하여 결정된다. Fig. 5(a)와 같이 한 개의 정사면체 트리스에 하중 p 가 가해질 때 트리스 각 요소에 작용하는 힘 F 는 $p = \sqrt{6}F$ 의 관계를 가진다. 한편 트리스 요소 양단을 핀 조인트로 이상화하고 각 요소가 두 개의 와이어로 구성되어 있다는 것을 고려하면 탄성좌굴에 대응하는 F 의 임계값 F_{c1} 및 응력 σ_{c1} 은 다음과 같다.

$$F_{c1} = \frac{\pi^2 E_c I}{l^2}, \quad \sigma_{c1} = \frac{2F_{c1}}{\pi d^2} \quad (7)$$

여기서 I 는 각 요소의 단면 2 차 모멘트이다. $I = \pi d^2 / 32$. 만일 탄성좌굴 시 응력 σ_{c1} 이 재료의 항복응력보다 크다면 트리스는 탄성좌굴 이전에 소성좌굴이 발생한다. 소성좌굴에 대응하는 F 의 임계값 F_{c2} 및 응력 σ_{c2} 는 다음과 같다.

$$F_{c2} = \frac{\pi^2 E_t I}{l^2}, \quad \sigma_{c2} = \frac{2F_{c2}}{\pi d^2} \quad (8)$$

여기서 E_t 는 접선계수로서 재료의 항복 후 응력-변형률 곡선상의 기울기이다.

$$E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (9)$$

Wicks 와 Hutchinson 에 따르면,⁽⁸⁾ 샌드위치 판재가 파손되는 양상은 상하면판의 항복과 좌굴, 중간층의 항복과 좌굴의 4 가지이다. 본 연구의 샌드위치 판재의 경우에는 중간층 트리스의 세장비가 크고 상하면판이 충분히 얇아 인장에 의한 항복보다는 압축에 의한 좌굴에 의해 파손될 것이 예상된다. 먼저 상하면판의 좌굴이 발생할 때 굽힘하중 P 는 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{P}{B} = \left(\frac{4}{W-S} \right) \frac{H_c F_f}{l} \quad (10)$$

Table 1 Dimensions of the sandwich plate specimen for bending test

(unit: mm)		
Face Sheet	Meshed	Blind
Size		
d	0.9	
l	20	
t_f	0.8	
w	1.55	.
D	16.33	
S	30	
L	263	267
W	233	237
B	113	118

여기서 F_f 는 상하면판 자체의 좌굴하중을 나타낸다. 중간층 트리스 좌굴이 발생할 때 굽힘하중 P 는 다음과 같다.

$$\frac{P}{B} = \frac{2 H_c F_c}{l l} \quad (11)$$

여기서 F_c 는 식 (7), (8)로 주어지는 중간층 트리스 요소의 좌굴하중이다. 식 (10), (11)로부터, 격자면판의 경우 $F_f \approx F_c$ 이므로 상하면판에서 좌굴에 의한 파손이 발생하는 반면, 단순면판의 경우 $F_f \gg F_c$ 일 것이므로 중간층 트리스에서의 좌굴에 의하여 파손이 발생할 것이라는 것을 알 수 있다.

2.3 설계 및 제작

Fig. 7 은 격자면판의 형상이며 2 개의 와이어로 구성된 중간층 트리스 요소와 관성 모멘트 값이 같도록 격자두께 w 를 결정하였다. 굽힘시험편의 설계 치수는 Table 1 에 정리하였다. 압축시험편의 경우 길이만 $L = 120mm$ 로 다르며 35 개의 정사면체 트리스로 구성되어 있다. 격자면판과 단순면판을 가진 각각의 판재에 대하여 앞의 식 (1) ~ (11) 을 이용하여 기계적 성능, 즉, 강도와 강성도를 예측하여 Table 2 에 정리하였다.

상하면판의 소재는 SS41 로, 격자면판의 경우 레이저 커팅으로 가공하였다. 와이어 소재는 시중에서 쉽게 구할 수 있는 아연도금 연강 철사로서 Fig. 2 에 설명한 바와 같이 절곡기를 이용하여 삼각파모양의 2 차원 구조를 만든 다음 각각의 철사를 60° 각도로 3 방향으로 연속적으로 엮어 중간층 구조를 형성하였다. 상하면판과 중간층 구조물의 접합을 위해서 순동 브레이징 공정을 이용하였다. 순동 페이스트를 접합제로 사용하여 연속 가열로에 시편을 넣고 산소의 접촉이 억제된 환경에서 최대 1117°C까지 열을 가하고 냉각과정을 수행하

는데 약 2 시간 정도가 소요되었다.

3. 실험

3.1 금속선의 인장 실험

옥테트 트러스 중간층 제작에 사용된 금속선재의 인장실험과 완성된 샌드위치 판재 시험편의 압축 및 굽힘 실험은 INSTRON 8800 전기 유압식

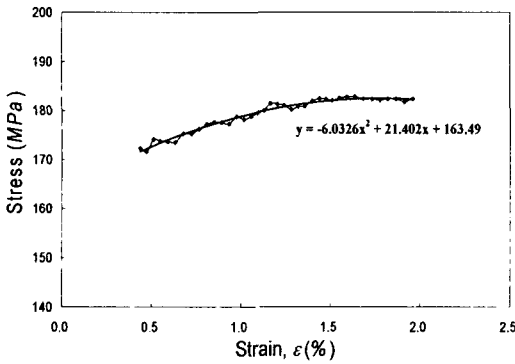


Fig. 8 Stress- strain curve after yielding point under tensile test

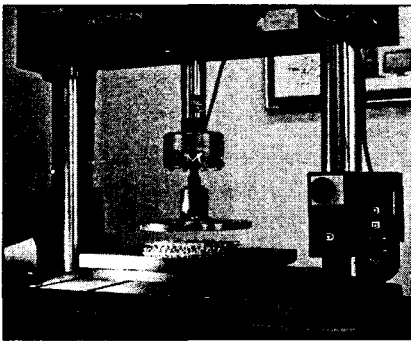


Fig. 9 A sandwich specimen between compression jigs installed on a material test system

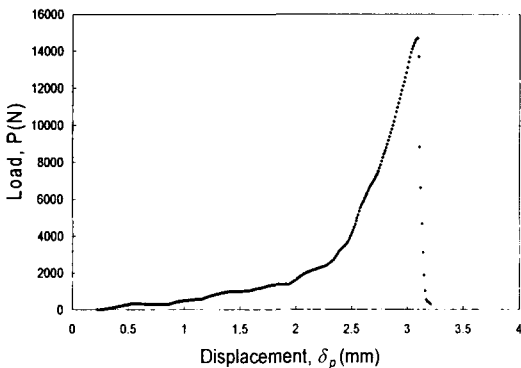


Fig. 10 Compression response of the sandwich panel fabricated from wires

실험기를 이용하여 수행되었다. 브레이징로에 별도로 투입하여 열처리 된 철사를 인장실험하였다. 길이 150mm, 지름 0.9mm 시편에 기준 길이(gage length)가 25mm 인 변위계(extensometer)를 부착하여 0.05mm/sec 변위제어로 인장하였다. 탄성 계수를 측정하기 위해 실험도중에 제하(unloading)하였다.

3.2 압축 실험 및 굽힘실험

압축실험과 굽힘실험은 각각 0.01mm/sec 와

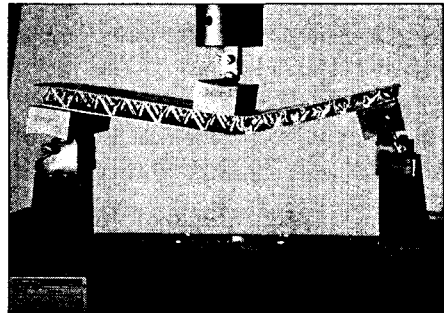
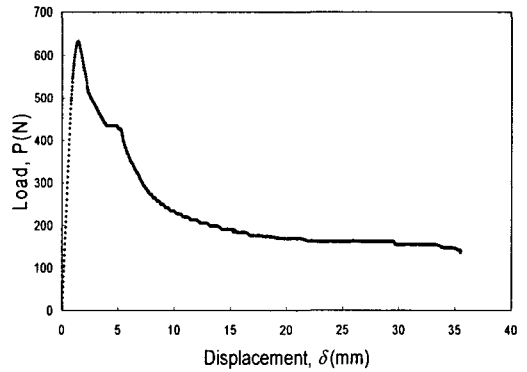
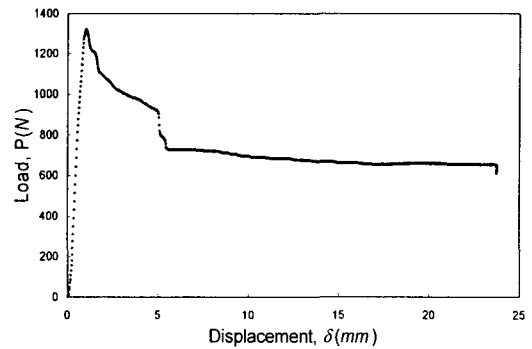


Fig. 11 Optical image showing buckled octet truss cores in the sandwich panel with blind face sheets during three point bend test



(a)



(b)

Fig. 12 The 3-point bending responses of sandwich panels; a) with meshed face sheets, b) with blind face sheets

Table 2 Relative density, stiffness and strength estimated by Eqs. (1) to (11) in comparison with measured ones

		Face sheet	Theory	Measured	Error (%)
ρ_{rel}		Meshed	0.04	0.043	7
		Blind	0.1115	0.114	3
Stiffness (kN/mm)	$(P/\delta_p)_{comp}$.	881.7	795.2	10
	$(P/\delta_p)_{bend}$	Meshed	1.45	1.24	14
		Blind	4.7	3.78	20
Strength (kN)	$(P_{max})_{comp}$.	19.09	14.7	23
	$(P_{max})_{bend}$	Meshed	0.98	0.63	36
		Blind	1.62	1.32	19

0.02mm/sec 의 속도로 변위 제어하여 수행되었다. 하중의 증가에 따른 시편의 변형양상을 디지털 CCD 카메라로 녹화하였다.

4. 결과 및 토론

4.1 인장 실험 및 압축실험의 결과

열처리된 철사의 Young 계수는 $E_c=193GPa$, 항복 응력은 $\sigma_y=170.9MPa$ 이다. 연강철사의 평균항복 응력이 250~300MPa 이므로 브레이징 과정에서 완전플립이 일어나 항복응력이 급격히 감소되었음을 알 수 있다. Fig. 8 은 철사 인장실험에서 항복 이후의 하중-변위를 나타내고 있다.

Fig. 10 은 샌드위치 시편의 압축실험에서 얻어진 하중-변위 선도이다. 이 그래프에서 하중은 최대값에 도달한 후 급속히 감소한다는 것을 알 수 있다. 이때 압축 강성도 $(P/\delta_p)_{comp}=795.2kN/mm$ 이다. 식 (2)에서 계산된 값 $p=25.2kN/mm$ 는 하나의 정사면체에 대한 값이므로 압축시편 코어의 개수 35 개를 고려해 주면 $(P/\delta_p)_{comp}=881.7kN/mm$ 로 실험과는 10%의 오차가 발생한다. 압축실험에서 얻어진 최대 하중은 $(P)_{comp}=14.7kN$ 으로 중간층의 좌굴에 의해 파손이 발생한다. 이론 식에서는 상하면판과 중간층 코어와의 연결을 핀 조인트로 이상화하여 살펴보면, 탄성좌굴에서의 응력이 재료의 항복응력보다 크므로 요소는 소성좌굴이 일어남을 알 수 있다. 이론값과 실험값은 23%의 오차를 갖는다.

4.2 3 점 굽힘실험의 결과

Fig. 12 는 두 가지 종류의 옥테트 샌드위치 판

재의 3 점 굽힘실험의 하중-변위 선도이다. 격자면판 시편의 경우, 초기 선형탄성 구간에서 얻어진 굽힘 강성도는 $(P/\delta_p)_{bend}=1.24kN/mm$ 이고 단순면판의 경우 $(P/\delta_p)_{bend}=3.78kN/mm$ 의 굽힘 강성도를 갖는다. 이론적으로 예상된 값보다 실험값이 각각 14%, 20% 저평가 되었다.

실험에서 얻어진 최대 굽힘 하중은 격자면판의 경우 $(P_{max})_{bend}=0.632kN$ 이고 단순면판은 $(P_{max})_{bend}=1.32kN$ 이다. 격자면판은 면판의 좌굴에 의해 파손이 일어나고, 단순면판의 경우에는 중간층의 좌굴이 먼저 일어나 실험시편이 파손된다. 각각 면판의 형상에 따른 예상된 이론 값은 0.98kN, 1.62kN 으로 굽힘 강성도에서와 같이 실험값이 저평가 되었다. 실험으로 측정된 강도, 강성 값이 이론 예측값과 함께 Table 2 에 요약되어 있다.

4.3 토론

본 연구에서 제작된 시편은 트러스의 각 요소를 결합하는 방법으로 브레이징을 사용하였는데 접합재로 이용한 순둥이 두 선으로 구성된 철사 사이를 완벽하게 접합시키지 못하여 굽힘 실험 시 철사 사이가 벌어지는 현상이 발생하였다. 이것이 이론 예측에 비해 실험결과가 저평가된 원인의 일부인 것으로 보인다. 이론모델의 단순함을 고려하면 비교적 정확한 예측을 제공했다고 말할 수 있다.

본 연구와 유사한 사례로서 Kang 등⁽⁴⁾의 연구를 들 수 있다. 2 차원 절곡된 금속선을 3 축 직조하여 트러스를 구성한다는 점과 이것을 중간층으로 상하에 면판을 접합한다는 점은 동일하나 금속선의 소재로서 본 연구는 연강 철사를, Kang 등⁽⁴⁾은 전기동선을 사용한 것과 접합방법은 각각 순둥이브레이징과 납땀을 사용하고, 트러스 형태는 각각 옥테트와 카고메 트러스인 것이 다르다. 두 연구에서 트러스 요소의 세장비는 각각 $l/r=89$, $l/r=80$ 로 매우 크므로 압축하중 작용 시 모두 트러스 요소의 좌굴에 의해 파손되었다. 여기서 r 은 단면 2 차 반경(radius of gyration)으로 다음과 같이 정의된다. $r^2 = (\text{단면 2 차모멘트})/(\text{단면적})$. 그러나 본 연구의 옥테트 트러스는 Fig. 10 와 같이 좌굴 시작과 함께 급격히 하중이 감소하였으나 카고메 트러스는 상대적으로 느린 하중 감소와 트러스 요소 길이 l 의 0.8 배 정도 압축된 후 하중이 다시 증가하는 현상이 관찰 되었다. 카고메 트러스의 변형양상을 살펴보면 다음과 같은 현상이 발생함을 알 수 있었다. 압축하중 시 카고메 트러스를 구성하는 서로 마주보는 두 정사면체 중 한쪽에서 먼저 좌굴

이 발생하여 그 곳에서만 변형이 진행된다. 좌굴된 정사면체 트러스의 변형이 어느 한계에 도달하여 추가 변형이 어려워지면 다시 하중이 증가하기 시작한다. 이것은 나머지 한 쪽의 정사면체에서 좌굴이 발생할 때까지 지속된다. 반면에 옥테트 트러스는 초기 좌굴 후 급격한 하중감소를 동반한 후 전체적인 트러스 압착이 시작될 때까지 낮은 저항을 유지한다.

굽힘하중에 대해서는 옥테트, 카고메 트러스 모두 전단력에 의한 좌굴에 의해 파손되기 시작하나 압축하중에서와 같은 급격한 하중감소는 나타나지 않고 최대하중의 60% 정도의 하중을 유지한다.

본 연구에서 접합방법으로 채택한 브레이징은 지나치게 높은 온도의 가열과정을 포함하기 때문에 소재의 강도감소를 초래하였다. 따라서 샌드위치 판재의 강도를 개선하기 위해서는 보다 낮은 온도에서 가능한 접합 방법과 접합 후의 열처리 가능한 철강 소재의 채택과 함께 열처리 방법에 대한 추가 연구가 필요하다.

5. 결 어

본 연구에서는 철사를 절곡하여 옥테트 구조로 엮은 후 브레이징법을 이용하여 상하면판을 접합하여 샌드위치 판재를 제작하는 새로운 방법을 제시하였다. 시편은 두 가지 타입으로 제작되었는데 하나는 상하면판이 2 차원 옥테트 구조를 가진 형상으로 만들었고 다른 하나는 단순면판으로 제작하여 그에 따른 압축과 굽힘에서의 강도와 강성도를 이론적으로 구해 보았고 그 값을 실험값과 비교해 보았다. 그에 따라 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 이 시험편은 압축 및 굽힘 하중을 받을 경우 옥테트 트러스의 소성좌굴에 의하여 파손된다.
- (2) 트러스 요소의 형상이 이상적인 직선이며 양단이 핀 조인트인 것으로 가정하여 압축 및 굽힘 시의 강도와 강성도를 이론적으로 예측하였고 그 값을 실험값과 비교한 결과 실험값이 이론 값보다 저평가되었지만 비교적 잘 일치하였다.
- (3) 브레이징 과정의 높은 가열온도로 소재가 연화되어 판재의 전체적인 강도 감소를 초래하였다.
- (4) 상하면판이 단순면판일 경우 굽힘 강도와 강성도가 격자면판인 경우보다 약 2 배 정도 높다.

후 기

본 연구는 (주) 엔지비의 2004 차세대 자동차 기술 선형연구지원과 전남대학교 BK 사업단 RA 지원을 받아 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다. 순동 브레이징에 도움을 주신 한국 캠타크와 대한열기(주) 관계자 분들께 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- (1) Chiras, S., Mumm, D.R., Wicks, N., Evans, A.G., Hutchinson, J.W., Dharamasena, K. Wadley, H.N.G. and Fichter, S. 2002, "The Structural Performance of Near-Optimized Truss Core Panels," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 39, pp. 4093-4115
- (2) Sypeck, D.J. and Wadley, H.N.G., 2001, "Cellular Metal Truss Core Sandwich Structures," *Proceedings of the 2nd International Conference on Cellular Metals and Metal Foaming Technology (MetFoam 2001)* edited by J. Banhart, M.F. Ashby, N.A. Fleck, pp. 381-386
- (3) Sypeck, D.J. and Wadley, H.N.G., 2001, "Multifunctional Microtruss Laminates: Textile Synthesis and Properties," *J. Mater. Res.* Vol. 16, pp. 890-897
- (4) Kang, Ki-Ju, Jeon, Gye-Po, Nah, Seong-Jun, Ju, Bo-Seong and Hong Nam-Ho, 2004, "A New Way to Manufacture Ultra Light Metal Structures," *J. of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. A-28, pp. 296-303
- (5) Deshpande, V.S., Fleck, N.A. and Ashby, M.F., 2001, "Effective Properties of the octet-truss lattice material," *J. of the Mechanics and Physics of Solids*, Vol. 49, pp. 1747-1769
- (6) Gere, J. M., 2001, *Mechanics of Material 5th ed*, Brooks/cole
- (7) Allen, Howard G., 1969, *Analysis and Design of Structural Sandwich Panels 1st ed*, Pergamon Press
- (8) Wicks, N. and Hutchinson, J. W., 2001, "Optimal Truss Plates," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 38, pp. 5165-5183
- (9) Ashby, M.F., Evans, A.G., Fleck, N.A., Gibson, L.J., Hutchinson, J.W. and Wadley, H.N.G. 2001, *Metal Foams: A Design Guide*, Butterworth Heinemann
- (10) Hyun, S., Karlsson, A. M., Torquato, S. and Evans, A. G., 2003, "Simulated Properties of Kagome and Tetragonal Truss Core Panel," *Int. J. Solids and Structures*, Vol. 40, pp. 6989-6998
- (11) Bleich, F., 1952, *Buckling Strength of Metal Structures*, McGraw-Hill, p. 14