

ISB 판넬의 굽힘강성 및 파손특성에 관한 연구

안동규[#], 이상훈^{*}, 김민수^{*}, 한길영^{**}, 정창균^{***}, 양동열^{****}

Investigation into Characteristics of Bending Stiffness and Failure for ISB Panel

Dong-Gyu Ahn[#], Sang-Hoon Lee^{*}, Min-Su Kim^{*}, Gil-Young Han^{**}, Chang-Gyun Jung^{***}
and Dong-Yol Yang^{****}

ABSTRACT

The objective of this research works is to investigate into characteristics of bending stiffness and failure for the ISB ultra-lightweight panel with internally structured material. The expanded metal with a crimped pyramid shape and woven metal are employed as an internally structured material. Through three-points bending test, the force-displacement curve and failure shape are obtained to examine the deformation pattern, characteristic data, such as maximum load, displacement at maximum load, etc, and failure pattern of the ISB panel. In addition, the influence of design parameters for ISB panel on the specific stiffness, the specific stiffness per unit width, failure mode and failure map has been found. Finally, it has been shown that ISB containing expand metal with the crimped pyramidal shape is prefer to that containing woven metal from the view point of optimal design for ISB panel.

Key Words : ISB panel(ISB 판넬), Expanded metal (익스팬디드 금속), Woven metal (망형직조 금속), Three points bending test (3 점 굽힘 시험), Specific bending stiffness (비굽힘강성), Failure mode (파손모드), Relative density (상대밀도)

기호설명

ϕ = bending angle of woven metal
 θ = crimping angle of expanded metal with pyramid shape
L = length of specimen

W = width of specimen
t = thickness of specimen
C = thickness of internally structured material
 m_{ISB} = mass of ISB panel
 D_s = diameter of supporters
 D_p = diameter of punch

… 접수일: 2005 년 2 월 24 일; 게재승인일: 2005 년 7 월 8 일

교신저자: 조선대학교 기계공학과

E-mail : smart@mail.chosun.ac.kr Tel.(062) 230-7043

* 조선대학교 일반대학원 기계공학과

** 조선대학교 기계공학과

*** 한국과학기술원 기계공학과 대학원

**** 한국과학기술원 기계공학과

- W_s = width of supporters
- n_1 = number of unit structure in the width direction
- n_2 = number of unit structure in the length direction
- S = span size between supporters
- P = load in three points bending test
- δ = displacement in three points bending test
- ρ_r = relative density of ISB panel
- ρ_{ISB} = density of ISB panel
- ρ_{solid} = density of solid material
- P_{max} = maximum load of each experimental conditions
- P_w = maximum load per unit width of specimen
- δ_{α} = displacement at the maximum load
- g = acceleration of gravity
- α_k = specific stiffness of ISB panel
- β_k = specific stiffness per unit width of specimen
- κ_{eq} = equivalent stiffness of ISB panel

1. 서론

최근 자동차/항공기/선박등 수송기계들의 판재나 구조물을 첨단기능성 재료로 제작하여 에너지 효율을 증대시키고 대기 오염을 감소시키는 동시에 강도/강성/내충격성을 현저히 증대시키는 초경량 금속구조재 (Ultra-light weight structured material)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. ¹ 초경량 금속구조재의 경우 판재형 금속재료 내부에 망형 직조 금속격자 (Woven wire mesh) 구조물, 허니콤 구조물, 카고메 (Kagome) 구조물등과 같은 3 차원 입체구조물 또는 금속 폼 (Metallic foam) 재료와 같은 다공성 재료등의 초경량 코어 (Lightweight core)로 구성된 샌드위치 구조를 가진다. ²⁻⁴ 이러한 샌드위치형 초경량 금속구조재의 경우 부피의 대부분인 코어부분이 비어 있어 재료 밀도가 매우 낮게 되며, 내부 구조물의 3 차원적 구조가 외부 하중 부가시 샌드위치 판재의 변형에 영향을 미쳐 비강성/비강도/비내충격성이 현저히 증가한다. ⁵

한편, 국내에서는 금속 3 차원 구조물을 내부에 가지며, 외판과 접합 또는 용접으로 연결시켜 전체 두께 3 mm 이하의 초경량 고강성/고강도/고내충격성 판재인 ISB (Inner structured and bonded : ISB) 판넬 개발에 대한 연구가 수행되고 있다. ⁶⁻⁸ 샌드위치형 초경량 금속 구조재의 개발과 산업적 활용을 위하여서는 샌드위치 판재의 설계변수가 판재의

기계적 성질에 미치는 영향에 대하여 정량적으로 평가되어야 한다.

Kopp 등은 격자 판재 (Grid sheet) 개발시 내부 구조재의 정적 기계적 물성 및 변형특성 분석을 위하여 내부구조재인 망형 직조 금속격자, 외판인 퍼포레이티드 (Perforated sheet) 판재 및 망형 직조 금속격자와 퍼포레이티드 판재로 구성된 샌드위치 판재에 대하여서 인장시험을 수행한바 있다. ⁹ Chiras 등은 옥텟 트러스 (Octet-truss) 구조물을 가진 두꺼운 샌드위치 판넬에 대한 3 점 굽힘시험과 전단.압축시험을 수행하였다. ¹⁰ Deshpande 는 옥텟 트러스 구조물을 갖는 샌드위치 판재의 4 가지 파손모드에 대하여 상계해와 3 점 굽힘실험 결과를 비교하여 붕괴 메커니즘 지도를 작성 하였다. ¹¹ Wang 과 강기주 등은 Kagome 구조를 가진 샌드위치 판재에 대한 샌드위치 구조물의 압축시험, 전단시험 및 3 점 굽힘시험을 수행하여 설계변수의 파손특성 영향성을 분석하고, 이것을 설계데이터로 활용하였다. ^{12,13} Zok 등은 크림핑 (Crimping) 공정을 통하여 제작된 피라미드형 트러스 구조물 코어를 내부 구조물로 가진 샌드위치 판재에 대한 고정형 3 점 굽힘 시험을 수행하였다. ¹⁴ Wallach 등은 격자블럭 (Lattice block) 을 내부구조물로 가진 샌드위치 판넬의 압축, 전단시험을 수행하여 외판재질의 실험결과 및 Alulight 금속폼의 물성과 비교하였다. ¹⁵ Bart-Smith 는 금속폼을 내부 구조물로 가진 샌드위치 판넬의 단축 압축실험을 통한 응력-변형을 곡선 취득방법과 3 점 굽힘시험을 이용한 파손지도 (Failure map) 생성방법에 대하여 연구하였다. ¹⁶

본 연구에서는 현재 국내에서 개발되고 있는 ISB 판넬 중 크림핑각을 가지는 익스펜디드 금속과 망형 직조 금속을 내부구조물로 가지며 외부 판재가 스테인레스 강판으로 구성된 샌드위치 판넬에 대한 굽힘강성 및 파손 특성에 대하여 3 점 굽힘실험을 통하여 분석, 고찰하였다. 또한, 크림핑각을 가진 익스펜디드 금속과 망형 직조 금속을 각각의 내부구조물로 가진 ISB 판넬을 설계적 측면에서의 적용성을 비교, 분석 하였다.

2. 내부 구조재 특성 분석

2.1 피라미드 형상의 익스펜디드 금속 내부 구조재

익스펜디드 금속은 마름모꼴의 격자를 가지는 철망의 한 종류로 익스펜디드 금속 혹은 메탈라스 (Metal lath)라고 부른다. 익스펜디드 금속은 얇은 금속 박판을 슬릿(slit)한 후 슬릿된 방향으로 금속을 확장시켜 제조되는 철망의 한 형태로, 재료의 손실이 없고 공정이 자동화되어 대량생산되고 있다. 본 연구에서는 익스펜디드 금속을 Fig. 1 과 같이 금형으로 크림핑각을 부여하여 피라미드 형상의 구조체를 생성 하였다. 이 크림핑각을 변화 시킴으로써 샌드위치 구조물의 상대밀도를 제어할 수 있다.⁷

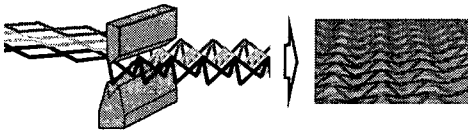


Fig. 1 Structure of expanded metal with pyramid shape

2.2 망형 직조 금속 내부 구조재

망형 직조 금속은 Fig. 2 와 같이 일 방향으로 정렬된 와이어 사이에 90° 방향으로 와이어가 지나가면서 직조되어 주직조 방향 (0°) 인 씨금속 (Weft) 선 방향의 굽힘각이 부직조방향 (90°) 날금속 (Wrap) 선 방향의 굽힘각 보다 작다.

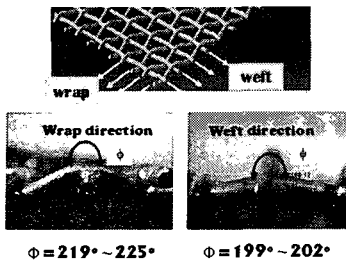


Fig. 2 Structure of woven metal

이로 인하여 망형 직조 금속에 하중 부가시 하중 부가 방향에 따른 하중-변위 곡선이 다르게 나타나는 기하학적 이방성(Anisotropy)이 발생한다.⁹ 또한, 망형 직조 금속은 와이어간 접합이 이루어지지 않아 전단에 대한 저항이 없어 전단력에 대하여 자유롭게 변형한다.

3. 실험 방법

3.1 시편 설계 및 제작

본 연구에 사용된 ISB 판넬은 피라미드 형상의 익스펜디드 금속과 망형 직조 금속 구조체를 내부 구조재로 사용하였으며, 외판은 0.3 mm 의 스테인레스 판재를 사용 하였다. 다중점 전기저항 용접을 이용하여 내부 구조재와 외판을 연결하였다.⁷ 시편은 ASTM E290-87, KS B 0803 을 이용하여 설계, 제작 하였다.

피라미드 형상의 익스펜디드 금속을 내부구조체로 가지는 ISB 판넬 (이하 A 소재) 시편의 경우 Fig. 3 및 Table 1 과 같이 시편길이, 시편 폭, 및 크림핑 각을 변수로 설정하였다. 시편길이는 160mm 와 200mm, 시편 폭은 20mm 와 30mm, 크림핑각은 90°, 120°, 150° 로 하였다. 시편에 적용된 크림핑각은 ISB 판넬의 내부구조재와 ISB 판넬에 대한 유한요소해석결과^{6,7} 를 이용하여 결정하였다.

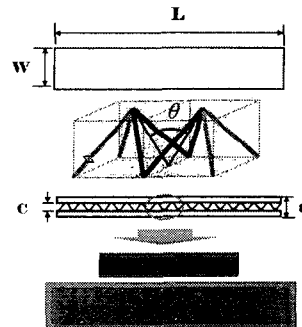


Fig. 3 Design parameters of specimen for ISB panel with expanded metal

망형 직조 금속을 내부구조체로 가지는 ISB 판넬 (이하 B 소재) 시편의 경우 직조방법에 따른 망형 직조 금속의 재료 이방성을 고려하기 위하여 Fig. 4 및 Table 2 와 같이 시편길이, 시편 폭, 및 재료방향을 변수로 설정하였다. 시편길이는 160mm 와 200mm, 시편 폭은 20mm 와 30mm 이다. 시편 취득 방향은 망형 직조 금속의 이방성 특성을 고려하여 시편 길이 방향이 망형 직조금속의 주직조 방향 (0°)과 부직조방향 (90°)이 되도록 하였다.

시편 폭은 다중점 전기 저항 용접이 가능한 범위와 Table 3 및 4 와 같이 내부구조재 단위체가

5 개 이상 들어가는 범위에서 결정하였다. 폭발방향 최소 단위체 개수는 유한요소해석결과와 사전실험 결과를 조합하여 결정하였다. 각각의 시편 조건에 대하여 시편을 5 개씩 제작하였다. 피라미드 형상의 익스펜디드 금속의 슬릿 두께 (Thickness of slit) 는 0.5 mm 이며, 망형 직조 금속선의 직경은 0.8 mm 이다.

Table 1 Dimension of design parameters for specimens for the case of ISB panel with expanded metal

θ (deg)	L (mm)	W (mm)	t (mm)	C (mm)	m_{ISB} (g)
90	160	20	2.77	2.17	17.5
		30	2.82	2.22	26.0
	200	20	2.80	2.20	23.0
		30	2.85	2.25	33.0
120	160	20	2.37	1.77	17.5
		30	2.42	1.82	26.5
	200	20	2.35	1.75	25.0
		30	2.30	1.70	32.0
150	160	20	1.61	1.01	17.5
		30	1.62	1.02	25.5
	200	20	1.58	0.98	25.0
		30	1.56	0.98	32.0

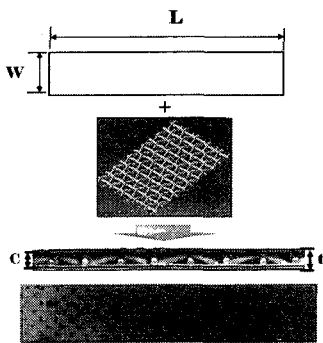


Fig. 4 Design parameters of specimen for ISB panel with woven metal

3.2 실험 방법

ISB 판넬의 굽힘강성과 파손특성을 분석/고찰하기 위하여 ISB 판넬과 유사한 초경량 금속 샌드위치 판넬 개발 관련 사전 연구에서 강성평가와

파손특성 평가에 가장 많이 사용한 3 점 굽힘시험을 수행하였다. 3 점 굽힘시험은 Fig. 5 와 같이 ASTM E290-87, KS B 0803 에 근거하여 수행하였으며, 시험에 사용된 장치는 INSTRON 5583 과 이 시스템과 연결된 실시간 데이터 분석시스템을 이용하였다.

Table 2 Dimension of design parameters for specimens for the case of ISB panel with woven metal

Material Dir.	L (mm)	W (mm)	t (mm)	C (mm)	m_{ISB} (g)
Weft	160	20	2.26	1.71	22.5
		30	2.30	1.70	33.0
	200	20	2.25	1.65	29.0
		30	2.27	1.67	41.0
Wrap	160	20	2.31	1.66	22.5
		30	2.25	1.65	32.5
	200	20	2.28	1.68	29.0
		30	2.25	1.65	41.5

Table 3 Number of unit structure in the direction of the specimen with expanded metal as internal structure

W(mm)		20		30	
n_1 (EA)		5		7	
L(mm)		160	200	160	200
n_2 (EA)	$\theta = 90^\circ$	21-22	26-27	21-22	26-27
	$\theta = 120^\circ$	22-23	28-29	22-23	28-29
	$\theta = 150^\circ$	23-24	29-30	23-24	29-30

Table 4 Number of unit structure in the direction of the specimen with woven metal as internal structure

W(mm)		20		30	
n_1 (EA)		5		7	
L(mm)		160	200	160	200
n_2 (EA)	Weft	38-39	47-48	38-39	47-48
	Wrap	38-39	47-48	38-39	47-48

3 점 굽힘시험의 스패ん 길이는 하부지지대 직경 밖으로 시편이 충분히 빠져나가도록 시편길이 160

mm, 200 mm 에 대하여 각각 120 mm 와 160 mm 로 설정하였다. 시험에 사용된 펀치의 지름 (Diameter of punch) 과 하부지지대 직경 (Diameter of supporter) 은 모두 25 mm 이며, 펀치와 하부지지대의 폭 (Width of supporter) 은 58 mm 로 시편이 펀치와 하부지지대의 폭내에 위치하도록 하였다. 펀치의 최대 행정은 예비 실험을 통해 모든 조건에서 소성변형이 완전히 발생하여 평탄하중 (Plateau load) 이 나타나는 25 mm 를 결정하였다. 3 점 굽힘 시험 조건은 Table 5 와 같다.

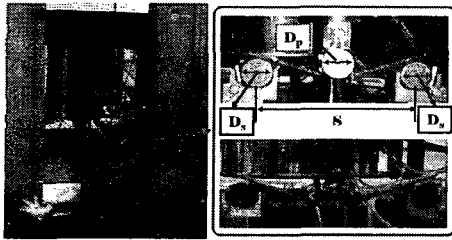


Fig. 5 Experimental set-up

Table 5 Set-up conditions of three-points bending tests

S (mm)	D _p (mm)	D _s (mm)	W _s (mm)
120	25	25	58
160			

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 피라미드 형상의 익스펜디드 금속을 내부 구조체로 가지는 ISB 판넬

4.1.1 굽힘 및 굽힘 강성 특성

Fig. 6, 7 과 Table 6 은 A 소재의 3 점 굽힘 시험 결과 취득된 하중-변위 선도와 특성데이터이다. 상대밀도 (Relative density) 와 시편폭당 최대하중 (Maximum load per unit width) 은 식 (1), (2)와 같이 정의된다. 상대밀도 계산시 가상 솔리드 밀도는 스킨 재료의 밀도를 사용하며, 부피는 ISB 판넬의 최외곽치수에 해당되는 가상 솔리드에 대한 체적을 적용하여 가상 솔리드의 질량을 계산하였다. ⁷ ISB 판넬의 밀도는 상대밀도에 외판재료의 밀도를 곱하여 계산하였다.

Fig. 6, 7 의 하중-변위 선도와 Table 5 에서 피라

미드 형상의 익스펜디드 금속의 크리핑 각이 증가할수록 최대하중이 감소하고 최대하중에서의 변위는 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한, 크리핑 각이 증가할수록 최대 하중값과 평탄 하중값의 차이가 점점 작아짐을 알 수 있었다.

각 크리핑각에 대한 같은 시편길이를 가지는 시편군은 시편폭당 최대하중 및 최대하중에서의 변위가 거의 유사한 값을 나타냄을 알 수 있었다. 이 결과로부터 시편내 피라미드 구조체가 5 개 이상인 경우에는 3 점 굽힘시험 시편폭의 영향이 거의 없는 것으로 생각된다.

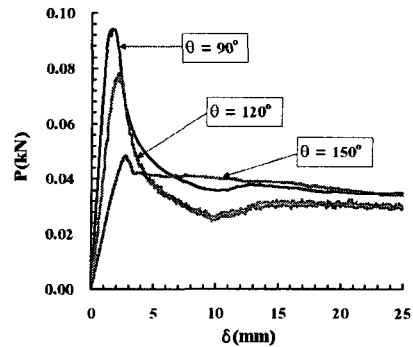


Fig. 6 Force-displacement curve according to crimping angle (L = 160 mm, W = 20 mm)

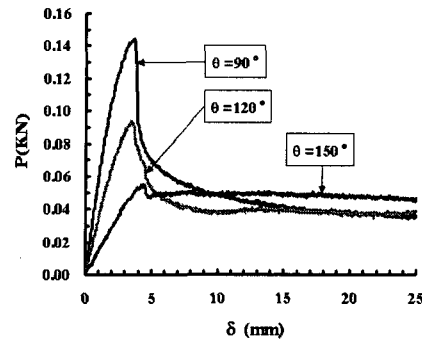


Fig. 7 Force-displacement curve according to crimping angle (L = 200 mm, W = 30 mm)

비강성 (α_k) 과 단위 시편폭당 비강성 (β_k) 은 식 (3), (4) 와 같이 정의하였다. Fig. 8 과 9 는 실험 결과 취득된 크리핑 각과 비강성 및 시편폭당 비강성 관계다.

Fig. 8 과 9 와 같이 A 소재의 경우 크림핑각이 증가할수록 거의 선형적으로 비강성이 감소하는 것을 알 수 있었다. 이것은 크림핑각이 증가할수록 내부구조체의 코어부 공간 점유율이 높아져서 ISB 판넬의 상대밀도를 증가시키고, 내부구조물이 외판과 거의 일렬로 배열하여 재료 거동시 외판과 내부구조체 사이의 구속에 의한 변형 저항 능력과 단면 2 차 모멘트가 값이 감소하여 최대 저항 하중이 감소하는 2 가지 이유 때문으로 사료된다.

Table 6 Results of three-points bending tests for the case of ISB panel with expanded metal

θ (deg)	L (mm)	W (mm)	P_{max} (kN)	δ_{α} (mm)	P_w (kN/m)	ρ_r
90	160	20	0.09	1.48	4.40	0.25
		30	0.13	1.54	4.30	0.24
	200	20	0.09	2.98	4.35	0.25
		30	0.14	3.38	4.70	0.24
120	160	20	0.07	2.20	3.90	0.29
		30	0.11	2.15	3.70	0.28
	200	20	0.06	3.20	3.00	0.32
		30	0.10	3.44	3.16	0.30
150	160	20	0.05	3.01	2.40	0.42
		30	0.07	2.76	2.33	0.41
	200	20	0.04	4.21	2.00	0.48
		30	0.06	4.25	1.90	0.42

$$\rho_r = \frac{m_{ISB}}{m_{Solid}} = \frac{\rho_{ISB}}{\rho_{Solid}} \quad (1)$$

$$P_w = \frac{P_{max}}{W} \quad (2)$$

$$\alpha_k = \frac{\kappa_{eq}}{\rho_{ISB} g} = \frac{P_{max}}{\delta_{\alpha} \rho_{ISB} g} \quad (3)$$

$$\beta_k = \frac{\kappa_{eq}}{W \rho_{ISB} g} = \frac{P_w}{\delta_{\alpha} \rho_{ISB} g} \quad (4)$$

본 실험결과 A 소재의 경우 크림핑 각이 비강성 측면에서 주요 설계 변수임을 알 수 있었다.

4.1.2 파손 특성

Fig. 10, 11 및 12 는 A 소재의 3 점 굽힘시험 결과 취득된 각 시험조건별 파손형상이다.

Fig. 10, 11 및 12 에서와 같이 A 소재의 경우 중앙부 함몰 (Center depression) 과 표면 박리 (Face wrinkle) 의 두가지 파손형상이 나타나며, 크림핑 각이 증가할수록 파손형상이 중앙부 함몰에서 표면박리로 천이하는 것을 알 수 있었다.

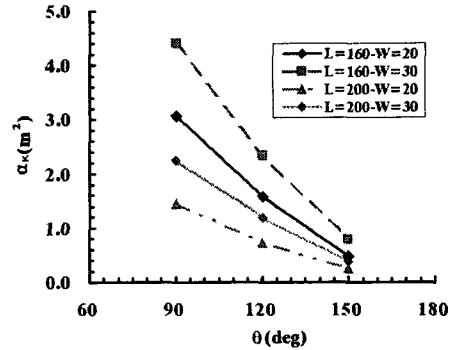


Fig. 8 Relationship between crimping angle and specific stiffness for the case of ISB panel with the crimped pyramidal expanded metal

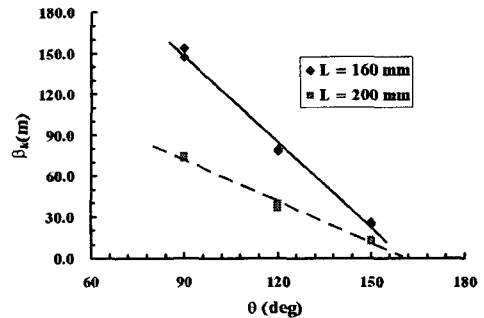


Fig. 9 Relationship between crimping angle and specific stiffness per unit width for the case of ISB panel with the crimped pyramidal expanded metal

이 현상은 크림핑 각이 감소할수록 외판사이 가 점점 가깝게 되어 코어부의 잔여 공간이 적게 되어 굽힘하중 부가시 재료의 상부가 압축 변형으로 중앙함몰이 시작되나 조금만 재료 유입이 된 후 코어부의 잔여공간으로 재료가 채워지고, 압축 변형하는 외판재료가 더 이상 피라미드 구조내로 유입되지 못하게 되어 외판에 수직된 방향으로 솟아오르기 시작하기 때문으로 사료된다. 특히, 크림

평 각 120° 에서는 시편 길이 160 mm 와 200 mm 사이에서 파손 형상의 천이가 나타났다. 크림핑 각 120°, 시편 길이 160 mm 에서는 중앙함몰 파손이 발생하였으며 크림핑 각 120°, 시편 길이 200 mm 에서는 표면 박리 파손이 발생하였다. 이것은 3 점 굽힘시험시 스펠길이가 길어짐으로 인하여 시편 길이 200 mm 에서 더 대 변형이 일어나기 때문으로 사료된다.



Fig. 10 Center depression failure of ISB panel with the crimped pyramidal expanded metal ($\theta = 90^\circ$)



Fig. 11(a) Center depression failure of ISB panel with the crimped pyramidal expanded metal ($\theta = 120^\circ$, $L = 160$)

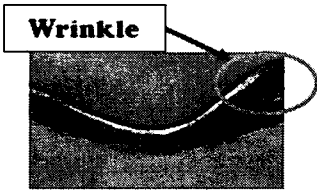


Fig. 11(b) Face wrinkling failure of ISB panel with the crimped pyramidal expanded metal ($\theta = 120^\circ$, $L = 200$)

Fig. 13 은 A 소재의 3 점 굽힘시험결과 취득된 파손지도 (Failure map) 이다. 파손지도에서 상대밀도 0.3 이상 t/L 이 0.016 이하인 경우에 해당되는 시편은 모두 표면 박리가 나타나며, 상대밀도 0.29 이하 t/L 이 0.017 이상인 경우에 해당되는 시편은 모두 중앙 함몰의 파손형상이 나타나는 것을 알

수 있었다. 이 결과로부터 상대밀도 0.29-0.30 과 t/L 0.016-0.017 에서 파손모드의 변경이 일어나는 천이점이 존재함을 알 수 있었다.

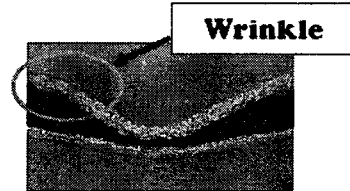


Fig. 12 Face wrinkling failure of ISB panel with the Crimped pyramidal expanded metal ($\theta = 150^\circ$)

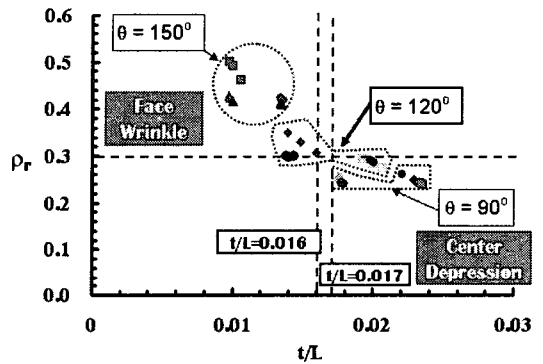


Fig. 13 Failure map of ISB panel with the crimped pyramidal expanded metal

4.2 망형 직조 금속을 내부구조체로 가지는 ISB 판넬

4.2.1 굽힘 및 굽힘 강성 특성

Fig. 14, 15 및 Table 7 은 B 소재의 3 점 굽힘시험 결과 취득된 하중-변위 선도와 특성데이터이다. 상대밀도, 시편폭당 최대하중, 비강성 및 시편폭당 비강성은 4.1.1 의 식(1)-(4)와 동일하다.

본 실험결과에서 부직조방향이 길이방향으로 제작된 ISB 판넬이 주직조방향이 길이방향으로 제작된 ISB 판넬보다 높은 하중에 저항하고, 최대 하중값과 평탄 하중값 차이가 많이 발생함을 알 수 있었다. 시편폭당 최대하중은 시편길이와 시편 길이방향이 동일한 경우에는 거의 유사한 값을 나타냄을 알 수 있었다.

이 결과로부터 망상 직조 구조체가 5 개 이상인 경우에는 3 점 굽힘시험시 시편폭의 영향이 거의 없는 것으로 생각된다. 그러나, Fig. 14 와 15 를 비교하면 시편길이가 다른 경우 하중-변위선도가 조금 다르게 나타남을 알 수 있다. 시편길이가 160 mm 인 경우는 최대하중의 경우 부직조방향이 길이방향인 시편이 크며, 최대하중에서의 변위가 부직조방향이 길이방향인 시편이 크게 나타난다. 그러나, 시편길이가 200 mm 인 경우는 최대하중 및 최대하중에서의 변위가 부직조방향이 길이방향인 시편에서 크게 나타났다.

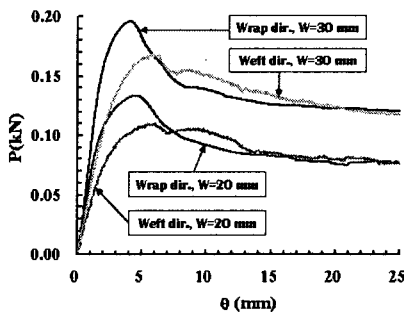


Fig. 14 Force-displacement curve for ISB panel with the woven metal (L = 160 mm)

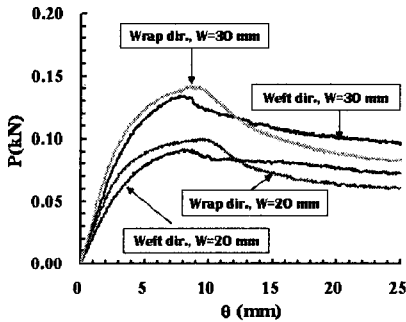


Fig. 15 Force-displacement curve for ISB panel with the woven metal (L = 200 mm)

Fig. 16 및 17 과 같이 B 소재의 경우 재료의 방향성과 비강성 및 시편폭당 비강성의 관계가 선형적이었다.

4.2.2 파손 특성

Fig. 18 과 19 는 B 소재의 3 점 굽힘시험 결과

취득된 파손형상 및 파손지도이다.

B 소재의 편치 행정이 진행되면 10 mm 까지는 중앙부 함몰이 발생하고, 그 이후부터 표면박리가 나타났다. 이 현상은 B 소재의 상대밀도가 크림평각이 150 ° 인 피라미드 형상의 A 소재의 파손 형상에서와 같이 코어부에 잔여공간이 부족하여 상부가 압축 변형으로 중앙부 함몰로 재료가 조금 유입이 된 후 코어부의 잔여공간으로 재료가 채워지고, 압축 변형하는 외판재료가 더 이상 망형 구조 내부로 유입되지 못하게 되어 외판에 수직방향으로 솟아오르기 시작하기 때문으로 사료된다.

Table 7 Results of three-points bending tests for the case of ISB panel with the woven metal

Material Dir.	L (mm)	W (mm)	P _{max} (kN)	δ _α (mm)	P _w (kN/m)	ρ _r
Weft	160	20	0.11	6.04	5.50	0.39
		30	0.16	5.70	5.33	0.37
	200	20	0.09	7.92	4.50	0.41
		30	0.13	7.71	4.47	0.38
Wrap	160	20	0.13	4.50	6.65	0.38
		30	0.19	4.04	6.53	0.37
	200	20	0.10	9.54	5.05	0.40
		30	0.15	8.74	4.87	0.38

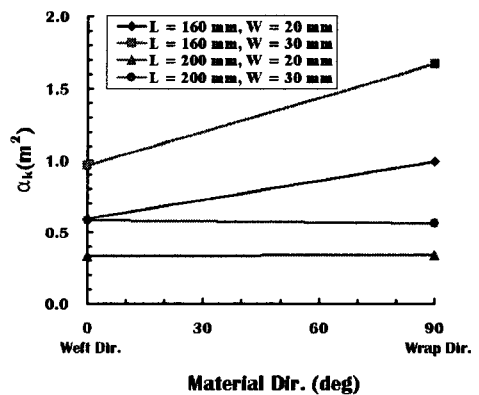


Fig. 16 Relationship between material direction and specific stiffness of ISB panel with the woven metal

Fig. 18 을 관찰하면 표면박리는 중앙에 인접한

용접선 사이중에서 상부의판과 폭방향 와이어가 접하는 부분에서 발생하며, 함몰은 시편의 중앙부 용접선사이에서 발생함을 알 수 있다.

Fig. 19 의 파손지도에서 B 소재의 경우 시편의 기하학적 형상이나 상대밀도에 관계없이 파손모드는 중앙함몰과 표면박리를 함께 가지는 1 가지 모 드임을 알 수 있다.

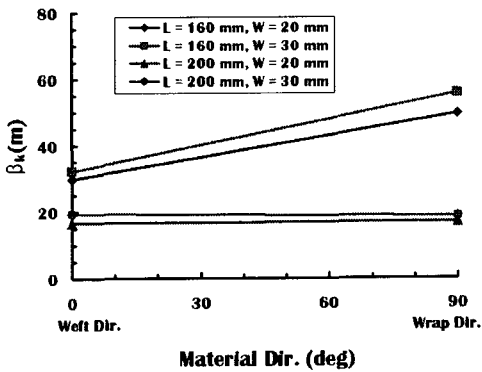


Fig. 17 Relationship between material direction and specific stiffness per unit width of ISB panel with the woven metal

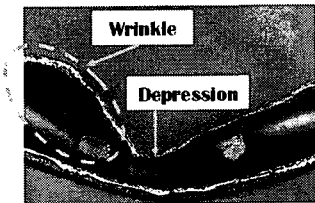


Fig. 18(a) Failure shape of ISB panel with the woven metal (Thickness direction of specimen)



Fig. 18(b) Failure shape of ISB panel with the woven metal (Upper surface)

5. 결론

ISB 판넬 개발 목적중의 하나인 초경량, 고강성을 이루기 위해서는 상대밀도가 낮으면서 고강성을 유지하도록 판넬을 설계하여야 한다. 또한, 변형 후 강성 유지와 기능 유지 측면을 고려하기 위하여 파손 모드에 대한 연구를 수행하여야 한다.

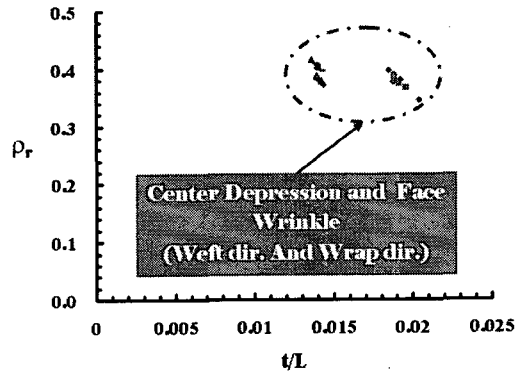


Fig. 19 Failure map of ISB panel with woven metal

본 연구에서 피라미드 형상의 익스펜디드 금속을 내부구조체로 가지는 ISB 판넬 (A 소재) 과 망형 직조 금속을 내부구조체로 가지는 ISB 판넬 (B 소재) 의 3 점 굽힘시험과 결과분석을 통하여 굽힘, 굽힘강성 및 파손특성에 대하여 분석, 고찰하였다. 그결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

3 점 굽힘시험을 수행하여 A 소재와 B 소재의 하중-변위, 굽힘강성 및 파손특성에 대한 정량적 데이터취득과 평가를 수행할 수 있었다.

A 소재의 경우 크림핑각이 상대밀도, 굽힘강성 특성데이터, 비강성, 시편폭당 비강성 및 파손모드를 결정하는 주요 설계변수임을 알 수 있었다. 특히, 상대밀도와 비강성, 시편폭당 비강성은 크림핑각과 선형적 관계가 있음을 알 수 있었다. 그 결과 크림핑각의 제어를 통하여 굽힘강성 특성 및 파손모드를 제어할 수 있음을 알 수 있었다. A 소재의 경우 중앙부 함몰과 표면박리 두가지의 파손모드가 존재하였으며, 상대밀도 0.29-0.3, t/L 0.016-0.017 에서 파손모드의 변경이 일어남을 알 수 있었다.

B 소재의 경우 주직조방향 및 부직조방향과 같

은 재료 방향성이 굽힘, 굽힘강성 특성 및 파손모드를 결정하는 변수가 될 수 없음을 알 수 있었다. 이 ISB 판넬의 경우 상대밀도 제어가 불가능하였다. B 소재는 중앙부 함몰 후 표면박리가 발생하는 한가지 파손형태가 존재함을 알 수 있었다.

위 결과를 기준으로 A 소재와 B 소재를 비교해보면 A 소재가 상대밀도, 굽힘강성 특성데이터 및 파손모드를 크립핑각으로 제어할 수 있어 최적설계 측면에서 더욱 우수함을 알 수 있었다.

추후, 정량적인 ISB 판넬의 특성평가와 설계데이터 확보를 위하여 2 가지 ISB 판넬에 대한 인장시험을 통한 강도평가 및 충격시험을 통한 내충격성 평가가 체계적으로 수행되어야 할 것으로 생각된다. 또한, ISB 판넬의 실용성 측면에서 강도, 강성, 내충격성 및 파손 특성에 적합한 크립핑 각 결정에 대한 연구가 계속적으로 수행될 예정이다.

후 기

본 연구는 “과학기술부 국책연구개발사업인 마이크로 첨단복제 생산시스템 개발사업” 결과의 일부이며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Evans, A. G., Hutchinson, J. W. and Ashby, M. F., "Multifunctionality of Cellular Metal Systems," *Progress in Materials Science*, Vol. 43, pp. 171 - 221, 1999.
2. Wadley, H. N. G., "Cellular Metals Manufacturing," *Advanced Engineering Materials*, Vol. 4, No. 10, pp. 726 - 733, 2002.
3. Wadley, H. N. G., Fleck, A. F. and Evans, A. G., "Fabrication and Structural Performance of Periodic Cellular Metal Sandwich Structures," *Composites Science and Technology*, Vol. 63, pp. 2343 - 733, 2003.
4. Wang, A. -J. and McDowell, D. L., "Optimization of a Metal Honeycomb Sandwich Beam-bar Subjected to Torsion and Bending," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 40, pp. 2085 - 2099, 2003.
5. Liu, J. S. and Lu, T. J., "Multi-objective and Multi-loading Optimization of Ultralightweight Materials," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 41, pp. 619- 635, 2004.
6. Chung, J. G., Yoon, S. J., Sung, T. Y., Yang, D. Y. and Ahn, D. G., "Ultra Light Inner Structured and Bonded Metal Panel Made of the Metallic Pyramidal Sturcture," *Proceeding of KSPE Spring Annual Meeting 2004*, pp. 928-931, 2004.
7. Chung, J. G., Yoon, S. J., Sung, T. Y., Yang, D. Y. and Ahn, D. G., "Fabrication and Static Bending Test in Ultra Light Inner Structured and Bonded (ISB) Panel Containing Repeated Inner Pyramidal Structure," *Proceeding of KSPE Autumn Annual Meeting 2004*, pp. 483-486, 2004.
8. Ahn, D. G., Lee, S. H., Kim, M. S., Hahn, G. Y., Jung, C. G. and Yang, D. Y., "Mechanical Properties of CSP 1N sheet metal and development of a tensile test method for woven wire structured materials," *Proceedings of the KSPE Spring Annual Meeting*, pp. 977-980, 2004.
9. Diltthey, 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*, Vol. 3, No. 3, pp. 111 - 119, 2001.
10. Chiras, S., Mumm, D. R., Evans, A. G., Wicks, N., Hutchinson, J. W., Dharmasena, K., Wadley, H. N. G. and Fitcher, S., "The Structural Performance of Near-optimized Truss Core Panels," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 39, pp. 4093- 4115, 2002.
11. Deshpande, V. S. and Fleck, N. A., "Collapse of Truss Core Sandwich Beams in 3-Point Bending," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 39, pp. 6275 - 6305, 2001.
12. Wang, J., Evans, A. G., Dharmasena, K. and Wadley, H. N. G., "On the Performance of Truss Panels with Kagome Cores," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 40, pp. 6981 - 6988, 2003.
13. Kang, K., Jeon, G., Nah, S., Ju, B. and Hong, N., "A New Way to Manufacture Ultra Light Metal Structures," *Tras. of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 28, No. 3, pp. 296 - 303, 2004.
14. Zok, F. W., Waltner, S. A., Wei, Z., Rathbun, H. J., McMeeking, R. M. and Evans, A. G., "A Protocol of

- Characterizing the Structural Performance of Metallic Sandwich Panels: Application to Pyramidal Truss Cores, " International Journal of Solids and Structures, Vol. 41, pp. 6249- 6271, 2004.
15. Wallach, J. C. and Gibson, L. J., "Mechanical Behavior of a Three-dimensional Truss Material," International Journal of Solids and Structures, Vol. 38, pp. 7181-7196, 2001.
16. Bart-Smith, H., Hutchinson, J. W. and Evans, A. G., "Measurement and Analysis of the Structural Performance of Cellular Metal Sandwich Construction," International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 43, pp. 1945-1963, 2001.