

트러스형 내부구조체를 가진 ISB 판재의 내부구조체 정적 물성의 예측 Estimation of Static Properties of Inner Structures for ISB Panel with Truss Type of Inner Structures

*#안동규¹, 남경흠¹, 정창균², 한길영¹, 양동열³

*#D. G. Ahn(smart@mail.chosun.ac.kr)¹, G. H. Nam¹, C. G. Jung², G. Y. Han¹, D. Y. Yang³
¹ 조선대학교 기계공학과, ² ㈜포스코 자동차장재연구센터, ³ KAIST 기계공학과

Key words : Static properties, ISB panel, Truss type of inner structures, Three points bending tests

1. 서론

최근 화석 연료의 감소와 환경 규제의 강화에 의하여 자동차, 항공 및 조선 등 수송기계 관련 산업군 및 연구기관에서는 초경량 재료의 개발과 관련된 연구를 폭넓게 진행하고 있다. 이러한 연구의 한가지 방향으로 두개의 외판 내부에 주기적 반복 형태의 금속 내부구조체를 가진 금속 샌드위치 판재에 개발이 다양한 방법으로 이루어지고 있다.

2003 년도부터 국내에서도 0.5 mm 정도의 외판 사이에 주기적 반복 형태의 금속 내부구조체를 삽입한 후, 용접과 접합으로 외판과 내부구조체를 결합한 ISB (Internally structured bonded) 판재에 대한 연구가 진행되고 있다. ISB 판재의 경우 전체 두께가 3.0 mm 이하로 기존의 개발된 주기적 반복 형태의 금속 내부구조체를 가진 금속 샌드위치 판재보다 매우 얇으며 성형 또한 가능하여 산업적 적용 측면에서 장점이 많은 재료이다.¹

주기적 반복 되는 금속 내부구조체를 가진 금속 샌드위치 판재의 경우 내부 구조체의 탄성 및 전단 계수와 같은 내부구조체 정적 물성이 샌드위치 판재의 거동과 기계적 특성에 영향을 크게 미친다.² 특히 외판과 내부구조체의 용접에 의하여 내부 구조체만의 변형이 크게 구속되는 유연 내부구조체의 경우 샌드위치 판재 상태에서의 내부구조체 정적 물성이 취득되어야만 샌드위치 판재의 탄성 변형 예측에 활용될 수 있다. Jung 등은 내부구조체의 유연 강성 영향이 무시된 샌드위치 판재 처짐 이론을 이용하여 트러스형 내부구조체를 가진 ISB 판재의 전단 탄성 계수를 예측한 바 있다.³ Ahn 등은 내부구조체의 유연강성 영향이 고려된 샌드위치 판재 처짐 이론을 이용하여 망상 구조 내부구조체를 가진 샌드위치 판재의 탄성 및 전단 계수 예측을 수행한 바 있다.⁴

본 연구에서는 트러스형 내부구조체를 가진 ISB 판재의 정적 물성을 내부구조체의 유연 강성 영향이 고려된 샌드위치 판재 처짐 이론을 이용하여 예측하였다. 또한 트러스형 내부구조체의 크립핑 각에 따른 정적 물성의 변화 및 ISB 판재의 전체 처짐에서 굽힘 및 전단 성분의 기여도에 대하여 정량적으로 고찰하였다.

2. 샌드위치 판재 처짐 이론 및 정적 물성 예측

시편의 길이방향 중심부에 집중하중이 부가되는 3 점 굽힘 시험 조건에서 샌드위치 판재의 유연강성 (D) 은 식 (1) 과 같이 외판의 국부 강성 (D1), 외판의 굽힘 강성 (D2) 및 내부구조체의 굽힘 강성 (D3) 의 합으로 계산될 수 있다. 이 조건에서의 시편의 최대 처짐량 (δ) 은 식 (2) 와 같이 굽힘에 의한 중심부 최대 처짐량과 내부구조체의 국부적 굽힘 현상이나 길이 방향 이동이 없다고 가정된 내부구조체의 전단 변형에 의한 샌드위치 판재 처짐량의 합으로 산출 할 수 있다.

$$D = D1 + D2 + D3 = E_f \frac{bt^3}{6} + E_f \frac{bt\beta^2}{2} + E_c \frac{b\alpha^3}{12} \quad (1)$$

여기서 E_f, b, t, β, E_c 및 α 는 각각 외판의 탄성 계수, 시편

폭, 외판 두께, 상하 외판 중심선간의 거리 및 샌드위치 판재의 두께이다.

$$\delta = \delta_{b,m} + \delta_{s,m} = \frac{PL_s^3}{48D} + \frac{PL_s}{8G_c D} \left(\frac{\alpha}{\beta} \right) \left\{ E_r t \beta + E_c \frac{\alpha^2}{4} \right\} \quad (2)$$

여기서 δ_{b,m}, δ_{s,m}, P, L_s 및 G_c 는 각각 굽힘에 의한 최대 처짐량, 전단에 의한 최대 처짐량, 하중, 시편 지지점간 거리 및 내부구조체의 전단계수이다.

식 (2) 를 시편 지지점간 거리의 제곱에 대한 선형식으로 표현하면 식 (3) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\delta}{PL_s} = \frac{L_s^2}{48D} + \frac{1}{8G_c D} \left(\frac{\alpha}{\beta} \right) \left\{ E_r t \beta + E_c \frac{\alpha^2}{4} \right\} \quad (3)$$

내부구조체의 탄성 및 전단계수는 3 단계 계산으로 산출한다. 첫번째 단계에서는 3 점 굽힘 시험 결과 취득된 선형 구간의 하중-처짐 선도를 선형 회귀 분석 (Linear regression analysis) 하여 실제 시편의 하중-처짐 선도의 컴플라이언스 (Compliance) 를 산출한 후, 컴플라이언스를 지지점간 거리로 나누어 단위길이당 컴플라이언스 (δ/PL_s; C_L) 을 계산한다. 두번째 단계에서는 식 (4) 와 같이 단위길이당 컴플라이언스를 시편 지지점간 거리 제곱에 대하여 선형 회귀 분석하여 기울기와 절편을 산출한다. 마지막 단계에서는 기울기와 절편을 식 (3) 의 제 1 항과 제 2 항에 등치하여 내부구조체의 탄성 및 전단계수를 산출한다.

$$C_L = A_1 L_s^2 + A_2 \quad (4)$$

여기서 A₁ 및 A₂ 는 각각 단위길이당 컴플라이언스를 시편 지지점간 거리 제곱의 상관관계에서의 기울기 및 절편이다.

3. 실험 방법

시편에 사용된 샌드위치 판재 원소재는 0.5 mm 의 두께를 가진 두장의 스텐레스 강판사이에 다이로 크립핑된 트러스형 내부구조체를 삽입한 후, 내부구조체와 외판을 다 점 저항 용접으로 결합하여 제작하였다. 내부구조체의 크립핑각은 내부구조체 크립핑시 사용되는 금형의 첨부두 각을 변경시켜 조절하였다. 이 원소재를 160 mm (길이 방향) × 20 mm (폭방향) 및 200 mm (길이 방향) × 20 mm (폭방향) 의 크기로 와이어 컷팅하여 시편을 제작하였다. 시편에 적용된 크립핑각은 90° 와 120° 이다.

Fig. 1 은 크립핑각의 정의 및 제작된 시편을 나타낸다. 3 점 굽힘 시험은 Instron 5583 에서 수행하였다. 지지점간 거리는 길이 160 mm 와 200 mm 시편에 대하여 각각 120 mm 와 160 mm 로 선정하였다.

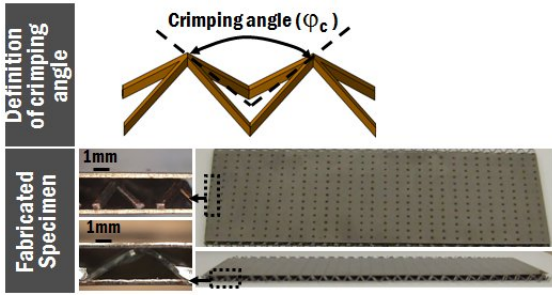


Fig. 1 Definition of the crimping angle and the fabricated specimen

3. 결과 및 고찰

Fig. 2 는 3 점 굽힘 시험 결과로부터 취득된 단위길이당 컴플라이언스와 시편 지지점간 거리 제곱의 상관관계를 나타낸다. 이 상관관계에서 Table 1 과 각 시편별 기울기와 절편을 산출한 후, 탄성 및 전단계수를 계산하였다.

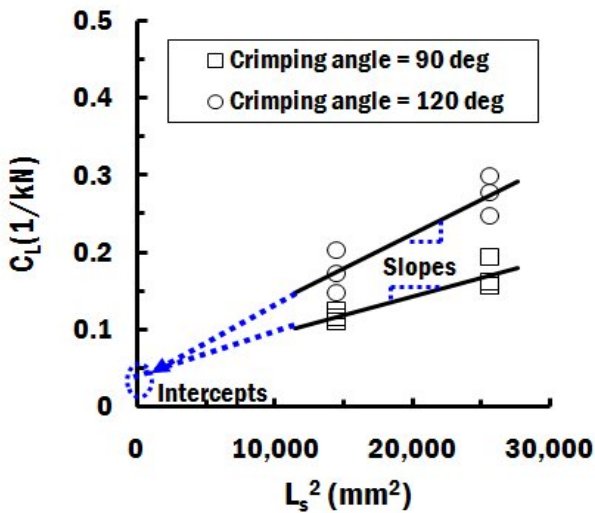


Fig. 1 Relationship between the compliance per span length and the square of the span length for the specimens

Table 1 Coefficients of the linear relationships and static properties of each specimen

Crimping angle (°)	A ₁ (1/kN·mm ²)	A ₂ (1/kN)	E _c (GPa)	G _c (MPa)
90	4.83×10 ⁻⁶	4.75×10 ⁻⁶	55.2	107.5
120	8.96×10 ⁻⁶	4.57×10 ⁻⁶	1.9	113.4

Table 1 에서 내부구조체의 크리핑 각이 90 ° 에서 120 ° 로 증가할 경우, 탄성 계수가 55.2 GPa 에서 1.9 GPa 로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이 결과는 크리핑 각이 120 ° 일 때 내부구조체의 굽힘 강성이 샌드위치 판재의 유연 강성에 미치는 영향이 매우 작기 때문으로 사료된다. Table 1 에서 크리핑 각이 90 ° 와 120 ° 일때, 트러스형 내부구조체의 전단 계수가 각각 107.5 MPa 에서 113.4 MPa 이었다. 이 결과로부터 내부구조체의 크리핑 각의 변화는 전단계수 변화에 거의 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다.

Table 2 는 굽힘 처짐량과 전단 처짐량이 전체 시편 처짐량에 미치는 영향이다.

Table 2 Contribution ratios of bending and shear deflections to total deflection of specimen

Crimping angle (°)	Length of specimen (mm)	Contribution ratio of bending deflection (%)	Contribution ratio of shear deflection (%)
90	160	59.5	40.6
	200	72.3	27.7
120	160	73.9	26.1
	200	83.4	16.6

Table 2 에서 내부구조체 크리핑 각이 90 ° 에서 120 ° 로 증가할 경우, 전체 시편 처짐량에 대한 굽힘 변형에 의한 처짐량의 비중이 59.5 % ~ 72.3 % 에서 73.9 % ~ 83.4 % 로 증가하고 전단 변형에 의한 처짐량 비중이 27.7 % ~ 40.6 % 에서 16.6 % ~ 26.1 % 로 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 트러스형 내부구조체를 가진 ISB 판재의 탄성 처짐 분석시 내부구조체의 전단 변형에 의한 시편의 처짐량이 명확히 고려되어야 함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 트러스형 내부구조체를 가진 ISB 판재의 탄성 및 전단 계수를 샌드위치 판재의 처짐 이론과 3 점 굽힘 실험을 통하여 산출하였다. 본 연구 결과 크리핑 각이 90 ° 와 120 ° 인 ISB 판재의 탄성 계수가 각각 55.2 GPa 와 1.9 GPa 로 산출되었다. 또한 크리핑 각이 90 ° 와 120 ° 인 ISB 판재의 전단 계수를 각각 107.5 GPa 와 113.4 GPa 로 산출되었다. 크리핑 각이 탄성 및 전단 계수에 미치는 영향에 대하여 정량적으로 분석한 결과, 크리핑 각이 증가할수록 내부구조체의 굽힘 강성이 샌드위치 판재의 유연 강성에 미치는 영향이 작아져 탄성 계수가 현저히 감소함을 알 수 있었다. 그러나 크리핑 각의 변화가 전단 계수의 변화에는 거의 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다. 시편의 전체 처짐량에 대한 굽힘 및 전단 변형 처짐량의 영향성을 정량적으로 분석한 결과, 전단변형에 의한 처짐량이 전체 시편 처짐량에 미치는 영향이 약 17 % ~ 41 % 정도로 매우 큼을 알 수 있었다. 이 결과로부터 트러스형 내부구조체를 가진 ISB 판재의 선형 처짐 특성 분석시 내부구조체의 전단 변형에 의한 처짐량이 정확히 고려되어야 됨을 알 수 있었다.

참고문헌

- Ahn, D. G., Lee, S. H., Jung, C. G., Hahn, G. Y., and Yang, D. Y., "Mechanical Properties and Failure Characteristics of ISB Panels with Metallic Pyramidal Inner Structures," *Journal of Materials Processing Technology*, **187-188**, 521-525, 2007.
- Wick, N. and Hutchinson, J. W., "Optimal Truss Plates," *International Journal of Solid and Structures*, **38**, 5165-5183, 2001.
- Jung, C. G., Seoung, D. Y., Yang, D. Y., Moon, K. J., and Ahn, D. G., "Experimental Investigation of Shear Modulus of a Core in a Metallic Sandwich Plate with a Truss Core," *Journal of Korean Society for Precison Engineering*, **24**, 67-73, 2007.
- Ahn, D. G., Nam, G. H., Jung, C. G., and Yang, D. Y., "Elastic Properties of Thin Sandwich Plate with Woven Metal," *Proceedings of KSPE 2009 Spring Conference*, 167-168, 2009.