

망형 금속을 가진 얇은 샌드위치 판재의 탄성 물성 Elastic Properties of Thin Sandwich Plate with Woven Metal

*#안동규¹, 남경흠², 정창균³, 양동열⁴

*#D. G. Ahn(smart@mail.chosun.ac.kr)¹, G. H. Nam², C. G. Jung³, D. Y. Yang⁴

¹ 조선대학교 기계공학과, ² 조선대학교 일반대학원, ³ POSCO 자동차강제연구센터, ⁴ KAIST 기계공학과

Key words : Elastic properties, Thin sandwich plate, Woven metal, 3 points bending test

1. 서론

최근 화석 연료 감소와 환경 규제 강화에 의하여 수송 기계 관련 산업계에서는 연비 향상과 환경 영향성 최소화에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다¹. 자동차 산업계에서는 에너지 효율 증대를 위하여 차체 중량 감소에 대한 다각적인 시도를 수행하고 있다. 이러한 시도의 한가지 방향으로써 내부에 3 차원 구조물 형태의 구조체를 첨가하여 무게를 감소시키는 동시에 강성/내충격성을 향상시키는 초경량 샌드위치 재료에 대한 연구가 전세계적으로 진행되고 있다². 내부구조체의 탄성 물성치는 샌드위치 판재의 변위와 응력-변형을 특성에 많은 영향을 미친다. 내부구조체가 알루미늄 폼과 같이 강성이 큰 재료인 경우는 인장시험을 통하여, 내부구조체의 탄성 및 전단 계수를 직접적으로 측정할 수 있다³. 그러나 트러스 구조나 망상 구조와 같은 강성이 적은 내부구조체의 탄성 물성치는 내부구조체 형상 및 내부구조체와 외판 사이의 접합 특성에 따라 변하게 된다. 그러므로 강성이 적은 내부구조체의 탄성 계수와 전단 계수는 인장시험을 이용하여 직접적으로 산출하기 매우 어렵다. 정창균 등은 트러스형 내부구조체를 가진 샌드위치 판재의 탄성 물성치를 3 점 굽힘 시험을 통하여 산출하는 방법에 대하여 연구를 수행한 바 있다⁴. 이 연구에서는 심재의 강성 영향을 무시한 샌드위치 판재 이론을 이용함으로써 내부구조체의 종탄성 계수가 샌드위치 판재 처짐에 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 가정하여 내부구조체의 전단계수를 예측하였다. 그러나 최근 국내에서 개발되고 있는 ISB (Internally Structured Bonded) 판재의 경우 내부구조체의 두께가 외판 두께의 4-6 배 정도로 심재의 강성 영향을 무시한 샌드위치 판재 이론의 적용 기준을 만족하지 못한다. 본 연구에서는 망상 구조를 내부구조체로 가진 ISB 판재에 대한 종탄성 계수 및 전단계수를 실험적 방법으로 예측하였다.

2. 두꺼운 심재를 가진 샌드위치 판재 이론을 이용한 유연강성 및 전단 강성 산출 방법

전통적인 보의 굽힘 이론에 의하여 Fig. 1 과 같이 표면재(Face Sheet)와 내부구조체(Core)로 구성된 샌드위치 판재의 유연 굽힘 강성(Flexural rigidity : D)는 식 (1) 과 같이 유도될 수 있다.

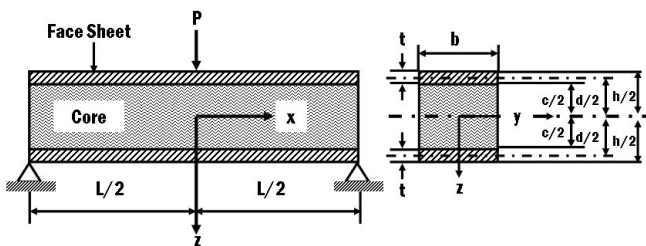


Fig. 1 Sectional dimension of sandwich beam

$$D = E_f \cdot \frac{bt^3}{6} + E_f \cdot \frac{btd^2}{2} + E_c \cdot \frac{bc^3}{12} \quad (1)$$

여기서 E_f , b , t , d 및 E_c 는 각각 표면재의 종탄성 계수, 보

의 폭, 표면재 두께, 표면재의 두께방향 중심축간의 거리 및 내부구조체의 종탄성 계수이다.

심재의 강성 영향을 무시한 샌드위치 판재 이론으로 판재의 유연 굽힘 강성을 예측한 연구들에서는 식 (1) 의 첫 번째 항과 세 번째 항을 무시하고, 두 번째 항만으로 샌드위치 판재의 유연 굽힘 강성을 계산하였다. 그러나 ISB 판재의 경우 외판 두께 대비 내부 구조체 두께가 4-5 배정도로 식 (1) 의 첫 번째 항과 세 번째 항의 굽힘 영향성을 무시하기 어렵다. 또한 ISB 판재와 같이 얇은 판재의 전단 변형율은 식 (2) 와 같이 외판과 내부구조체의 종탄성 계수가 포함되기 때문에 심재의 강성 영향을 무시한 샌드위치 판재 이론으로 판재의 등가 전단계수 측정 방법으로는 ISB 판재의 정확한 전단계수를 측정하기 어렵다.

$$\gamma_{max} = \frac{V}{2G_c D} \{E_f t d + E_c \frac{c^2}{4}\} \quad (2)$$

여기서 γ_{max} , V 및 G_c 는 각각 최대 전단 변형율, 최대 전단력 및 내부구조체의 전단계수이다.

본 연구에서는 외판과 내부구조체의 종탄성 계수와 전단계수가 굽힘 및 전단 변형에 의한 처짐에 모두 고려된 식 (3) 과 3 점 굽힘 실험을 이용하여, 망형 금속을 내부구조체로 가진 얇은 샌드위치 판재에 대한 내부구조체 탄성 물성치를 도출하고자 한다.

$$\delta = \frac{PL^3}{48D} + \frac{PL}{8G_c D} \cdot \left(\frac{c}{d}\right) \cdot \{E_f t d + E_c \frac{c^2}{4}\} \quad (3)$$

여기서 δ , P 및 L 는 각각 샌드위치 판재의 중앙점에서의 처짐, 샌드위치 판재 처짐에 대한 하중 및 3 점 굽힘 시험 시 지지점간의 거리 (Span length) 이다.

3. 시편 제작 및 3 점 굽힘 실험

망상 구조를 내부 구조체로 가진 ISB 판재의 내부구조체 탄성 물성치를 도출하기 위하여 3 점 굽힘 시험을 수행하였다. 시편은 평균 두께 2.32 mm 의 망상 구조 내부구조체와 0.3 mm 두께의 SUS 304 판재를 다점 저항 용접으로 제작하였다. 3 점 굽힘 실험을 위하여 폭 20 mm 를 가지며, 길이가 160 mm 인 시편을 제작하였다. 시편은 망상 구조의 주 직조 방향 (Weft direction) 에서 채취하였다. 3 점 굽힘 실험시 지지점간 거리는 120 mm 로 선정하였다. 실험은 Fig. 2 와 같이 Instron 5589 에서 수행하였다.

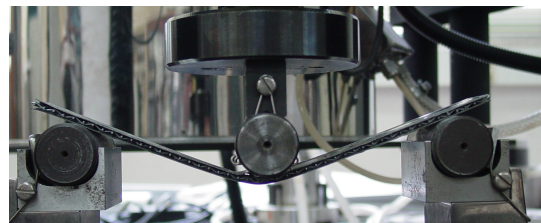


Fig. 2 Experimental set-up of three-points bending test

4. 결과 및 고찰

3 점 굽힘 실험을 통하여 각 실험 조건에 대한 하중-처

짐 선도를 얻었다. Fig. 3 과 같이 하중-처짐 선도의 선형 변형 영역에서 각 실험조건에 대한 선형 기울기 (P/δ) 를 산출하였다. 이 선형 기울기를 지지점간 거리 L 로 나눈 후, Fig. 4 와 같이 δ/(PL) 과 L² 의 상관관계를 나타내는 선형 회귀식을 도출하였다. 한편, 식 (3) 으로부터 식 (4) 와 같은 선형 회귀식과 동일한 형태의 L² 에 대한 선형식을 유도할 수 있다. 그러므로 식 (4) 와 Fig. 4 의 선형 회귀식을 비교하여 Table 1 과 같은 내부 구조체의 종탄성 계수와 전단 탄성 계수를 계산하였다.

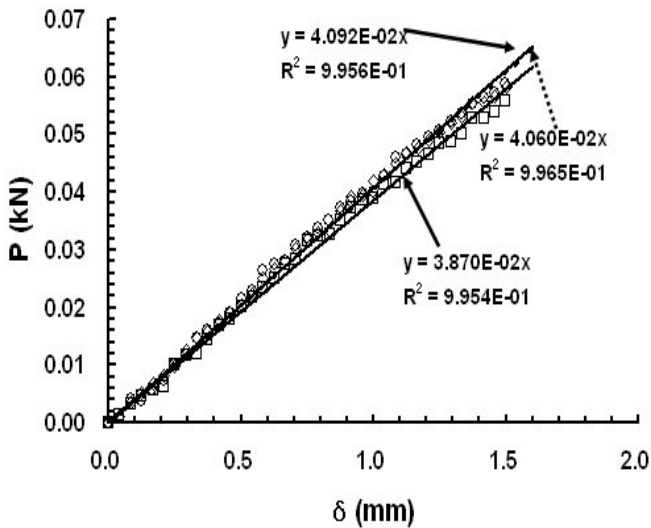


Fig. 3 Relationship between contact force and

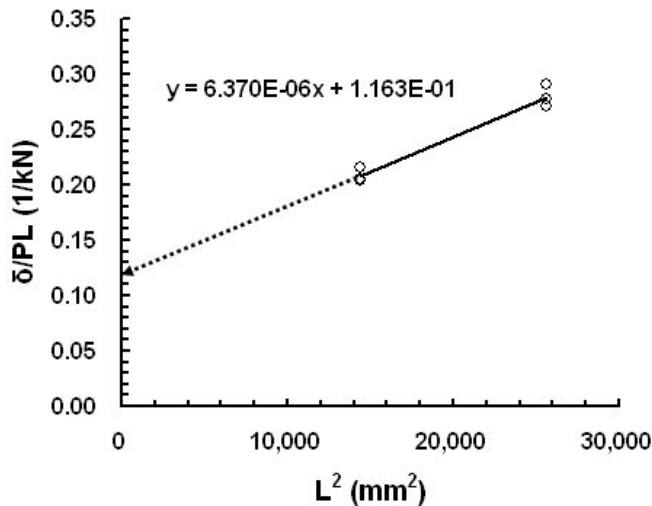


Fig. 4 Relationship between square of span length and the ratio of deflection to force multiply span length

$$\frac{\delta}{PL} = \frac{1}{48D} \cdot L^2 + \frac{1}{8G_c D} \cdot \left(\frac{c}{d}\right) \cdot \{E_f t d + E_c \frac{c^2}{4}\} \quad (4)$$

Table 1 Comparison of measured roughness data

b (mm)	E _c (GPa)	G _c (MPa)	G _{c,t} (MPa)
20	158.1	59.4	46.5

내부 구조체의 종탄성 계수와 전단 계수는 각각 선형 회귀식의 기울기와 절편을 식 (4) 의 기울기인 1/48D 와 상수항을 등치 시켜 계산하였다. ISB 판재의 내부구조체로 사용된 망상 구조 금속의 종탄성 계수와 전단계수는 각각

158.1 GPa 과 59.4 MPa 이었다.

본 계산 결과를 이용하여 식 (1) 의 유연 굽힘 강성을 구성하는 각항들에 대한 유연 굽힘 강성 구성비를 계산한 결과 세번째 항인 내부구조체에 의한 유연 굽힘 강성이 전체 유연 굽힘 강성의 36.5 % 를 차지함을 알 수 있었다. Table 1 의 G_c 는 본 연구에서 채택한 전단계수 산출 방식에 의하여 계산된 내부구조체의 전단계수이며, G_{c,t} 는 심재의 강성 영향을 무시한 샌드위치 내부구조체 전단강성 산출법에 의하여 계산된 내부구조체의 전단계수이다. 이 두 가지 전단계수에 대한 계산 결과를 비교한 결과, 본 연구에서 계산된 내부구조체의 전단계수와 심재의 강성 영향을 무시한 샌드위치 판재 이론으로 계산된 내부구조체의 전단계수가 다소 다르게 나타남을 알 수 있었다.

본 연구에서 산출된 유연 굽힘 강성과 전단계수를 이용하여 망형 금속을 내부구조체로 가진 ISB 판재의 3 점 굽힘 하중 부가시 시편 변형량에 기여하는 굽힘 성분과 전단 성분을 비교한 결과, 굽힘 성분의 영향이 전단 성분의 영향보다 현저히 높게 나타남을 알 수 있었다. 이 현상은 내부구조체인 망형 금속이 평균 0.97 mm 의 와이어로 직조되어 있어, 굽힘 하중 부가시 단면에 거의 전단 변형이 발생하지 않기 때문으로 사료된다.

위 결과들로부터 ISB 판재와 같이 외판과 내부구조체의 비가 작은 얇은 샌드위치 판재의 경우 판재의 정확한 굽힘 거동을 예측하기 위해서는 내부구조체가 유연 굽힘 강성과 전단 변형율에 미치는 영향이 고려 되어야 함을 알 수 있었다.

5. 결론

망상 구조를 내부구조체로 가진 ISB 판재에 대한 종탄성 계수 및 전단 계수를 실험적 방법으로 예측하였다. 이 결과로부터 내부 구조체인 망형 금속에 대한 접합 판재 상태에서의 종탄성 계수와 전단 계수를 계산할 수 있었다. 또한 내부구조체에 의한 유연 굽힘 강성이 ISB 판재의 유연 굽힘 강성에 미치는 영향이 매우 크음을 알 수 있었다. 본 연구결과 취득된 내부구조체의 전단 계수와 심재의 강성 영향을 무시한 샌드위치 판재 이론으로 계산된 전단 계수와는 다소 차이가 있음을 알 수 있었다. 이 결과들로부터 ISB 판재의 정확한 굽힘 거동을 예측하기 위해서는 내부구조체가 변형에 미치는 영향이 고려 되어야 함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Evans, A. G., Hutchinson, J. W., and Ashby, M. F., "Multifunctionality of Cellular Metal Systems," *Progress in Materials Science*, **43**, 171-221, 1999.
2. Wadly, H. N. G., Fleck, A. F., and Evans, A. G., "Fabrication and Structural Performance of Periodic Cellular Metal Sandwich Structures," *Composites Science and Technology*, **63**, 2331-2343, 2003.
3. Styles, M., Compston, P., and Kalyanasundaram, S., "The Effect of Core Thickness on the Flexural Behaviour of Aluminum Foam Sandwich Structures," *Composite Structures*, **80**, 532-538, 2007.
4. Jung, C. G., Seong, 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 Precision Engineering*, **24**, 67-73, 2007.