

# 샌드위치 판넬 코어의 등가 전단 탄성계수 예측

이상연\* · 윤수진\* · 박동창\* · 윤현걸\*

## Prediction of Equivalent Shear Modulus of Sandwich Panel Core

SangYoun Lee\* · SuJin Yun\* · DongChang Park\* · HyunGull Yoon\*

### ABSTRACT

The Finite element modelling is carried to predict the equivalent shear modulus of the Egg-Box core. Homogeneous material H130-foam core is employed to verify the prediction method of equivalent shear modulus. It shows a good agreement between the results of FE calculation and the values available in the reference. As a result of the present work, the equivalent shear modulus of Egg-Box core at various temperatures can be obtained.

### 초 록

에그-박스 코어의 등가 전단 탄성계수를 예측하기 위하여 유한 요소 해석을 수행하였다. 유한 요소 해석을 통한 등가 전단 탄성계수 예측 방법을 검증하기 위하여 등방성 재료인 H130-폼 코어에 대한 유한 요소 해석을 수행하였다. 유한 요소 해석을 통해 얻어진 전단 탄성계수와 참고 문헌에서 주어진 전단 탄성계수가 일치함을 확인하였다. 에그-박스 코어의 상온 및 고온에서의 등가 전단 탄성계수 변화를 확인할 수 있었다.

Key Words: Equivalent shear modulus(등가 전단 탄성계수), Sandwich Panel(샌드위치 판넬), Egg-Box Core(에그-박스 코어), Foam Core(폼 코어), Finite Element Method(유한 요소법)

### 1. 서 론

샌드위치 판넬은 다양한 분야에서 구조물 경량화를 위하여 사용되어 온 중요한 구성 요소이다. 샌드위치 판넬은 두 개의 얇고 높은 밀도를 가지고 있는 스킨과 낮은 밀도를 가지고 있는

코어의 세 개 층으로 구성된다. 샌드위치 판넬의 스킨은 구조물에 작용하는 인장하중, 압축하중 및 굽힘 하중을 지탱하며, 샌드위치 판넬 코어는 원하는 스킨 사이의 거리를 만들어 주는 기능 및 두 개의 스킨 사이에 작용하는 전단 하중을 지탱한다.

샌드위치 판넬 코어가 지탱할 수 있는 전단 하중은 코어의 기하학적 형상에 따라 변화되는 등가 물성에 의해 결정된다. 다양한 샌드위치 판

\* 국방과학연구소 제1기술연구본부 5부  
† 교신저자, E-mail: syl2717@paran.com

넬 코어 형상에 대하여 등가 물성에 대하여 많은 연구자들이 이론적 및 실험적인 방법을 통하여 연구해 왔다.[1-4]

본 논문에서는 최근 에너지 흡수 구조체로 사용되고 있는 에그-박스(Egg-Box) 코어의 등가 전단 탄성계수를 FEM 해석을 통하여 평가하였다.

## 2. 등가 전단 탄성계수 및 FEM 해석 모델

### 2.1 등가 전단 탄성계수

Figure 1은 샌드위치 판넬에 굽힘 하중을 가했을 때 발생하는 처짐 양상을 보여주고 있다. 굽힘 하중에 의한 처짐은 샌드위치 구조물 전체에서 발생하는 굽힘 변형에 의해 발생하는 처짐( $\delta_b$ )과 샌드위치 코어의 전단 변형에 의해 발생하는 처짐( $\delta_s$ )으로 생각할 수 있다. 이러한 굽힘 하중에 의한 전체 처짐( $\delta_t$ )을 이용하면 샌드위치 코어의 전단탄성계수를 얻을 수 있다.

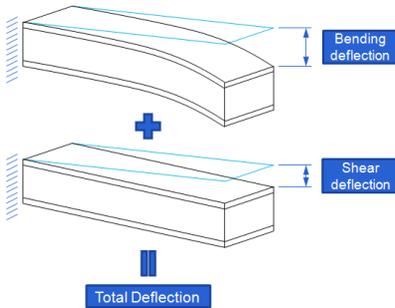


Fig. 1 Deflection of Sandwich Panel occurred by Bending Load

샌드위치 판넬의 굽힘하중과 전체 처짐에 대한 일반적인 관계식은 다음과 같다.

$$\delta_t = \delta_b + \delta_s = \frac{Fl^3}{B_1(EI)_{eq}} + \frac{Fl}{B_2(AG)_{eq}} \quad (1)$$

$P$ 는 작용 하중,  $l$ 은 샌드위치 판넬의 길이,  $(EI)_{eq}$ 는 샌드위치 판넬의 등가 굽힘 강성,  $(AG)_{eq}$ 는 샌드위치 판넬의 등가 전단 강성, 파

라미터  $B_i$ 는 굽힘 경계조건에 따라 달라지는 상수이다.

샌드위치 판넬의 등가 굽힘 강성은 다음과 같이 표현된다.

$$(EI)_{eq} = E_f \left( \frac{bt^3}{6} + \frac{btd^2}{2} \right) + \frac{E_c bc^3}{12} \quad (2)$$

여기에서  $E_f$ 는 샌드위치 판넬 스킨의 탄성계수,  $E_c$ 는 샌드위치 판넬 코어의 탄성계수,  $t$ 는 샌드위치 판넬 스킨의 두께,  $c$ 는 샌드위치 판넬 코어의 두께,  $b$ 는 샌드위치 판넬의 두께,  $d$ 는 샌드위치 판넬 스킨들 중심 사이의 거리이다.

샌드위치 판넬의 등가 전단 강성은 다음과 같이 표현된다.

$$(AG)_{eq} = \frac{bd^2 G_c}{c} \quad (3)$$

여기에서  $G_c$ 는 샌드위치 구조물 코어의 전단 탄성계수이다.

위의 식들을 이용하여 샌드위치 판넬 코어의 등가 전단 탄성계수 관계식은 다음과 같다.

$$G_{c-eq} = \frac{Fl}{2bc(\delta_t - \delta_b)} \quad (4)$$

### 2.2 FEM 해석 모델

Figure 2는 에그-박스 코어의 기하학적 형상을 보여주고 있다. 전체적인 형상이 계란판과 흡사하다. 에그-박스 코어를 가지고 있는 샌드위치 판넬에 대한 FEM 해석 이전에 FEM 해석 방법을 검증하기 위해서 코어가 등방성 재료인 H130-foam으로 만들어진 샌드위치 판넬에 대해 FEM 해석을 수행하였다.[5]

H130-foam는 상온에서 탄성계수는 132MPa이고 포와송비는 0.32이다. 주어진 물성값을 이용하여 코어의 전단 탄성계수를 구해보면

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 50MPa \text{이다.}$$

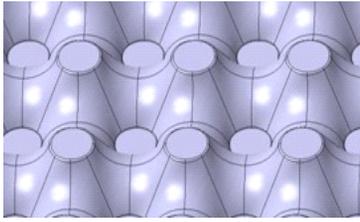


Fig. 2 Egg-Box Core

에그-박스 코어의 등가 전단 탄성계수 예측을 위해 FEM 해석에 적용될 코어의 재료는 AISI321이고 스킨 재료는 17-4PH를 선택하였다.

Figure 3은 FEM 해석에 적용될 샌드위치 판넬의 기하학적 형상을 보여주고 있다. 코어가 폼으로 만들어진 샌드위치 판넬의 경우, 길이 420mm, 폭 80mm, 스킨 두께 1.0mm이고 코어 두께 10.0mm이다. 코어가 에그-박스로 만들어진 샌드위치 판넬의 경우, 길이 200mm, 폭 60mm, 스킨 두께 1.0mm이고 코어 두께 10.0mm이다.

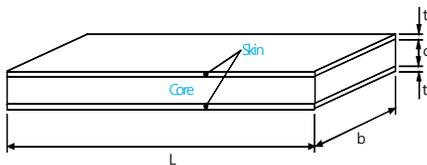


Fig. 3 Sandwich Panel

FEM 해석은 균일 분포 압력이 작용하는 외팔보에 대하여 수행되었다. 폼 코어 샌드위치 판넬의 경우, 상온 조건에 대하여 해석을 수행하였고 에그-박스 코어 샌드위치 판넬의 경우, 샌드위치 판넬 온도를 변화시키면서 해석을 수행하였다.

### 3. 해석 결과

#### 3.1 폼 코어 샌드위치 판넬

Figure 4는 폼 코어를 적용하여 해석한 샌드위치 판넬의 처짐 크기를 보여주고 있다. 작용하는 균일분포 압력에 의해 끝단에서의 처짐이 13.69mm 발생하였다. 이를 등가 전단 탄성계수로 계산하면 47.91MPa이다. 폼 코어 재료의 탄

성계수로부터 계산된 전단 탄성계수 50.0MPa와 유사한 값을 얻을 수 있었다.

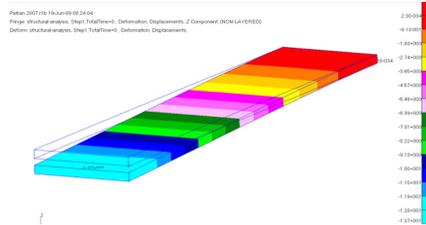


Fig. 4 Deflection of Sandwich Panel with Foam Core

#### 3.2 에그-박스 코어 샌드위치 판넬

Figure 5에서 Fig. 8까지에는 온도 변화에 따른 에그-박스 코어 샌드위치 판넬의 변형 형상을 보여주고 있다. 각 해석 결과로부터 끝단에서의 처짐이 각각 0.64, 0.71, 0.81, 1.76mm이었으며 이를 등가 전단 탄성계수는 계산하면 각각 499.70, 486.65, 426.58, 302.44MPa이었다. 작용 온도의 상승에 의해 재료 물성값 저하로 인해 등가 전단 탄성계수 값이 감소하였다. 작용 온도 730℃의 경우, 상온에서보다 등가 전단 탄성계수가 40% 감소하였다.

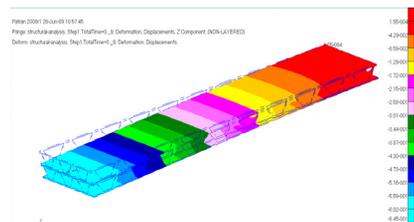


Fig. 5 Deflection of Sandwich Panel with Egg-Box Core at 24°C

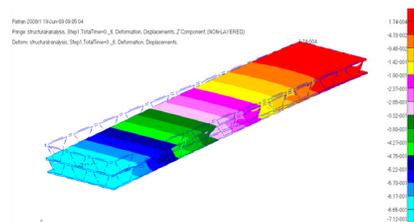


Fig. 6 Deflection of Sandwich Panel with Egg-Box Core at 240°C

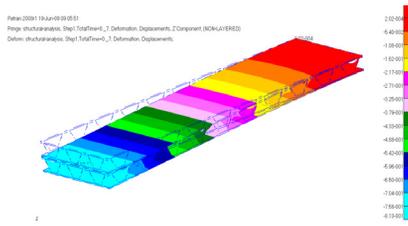


Fig. 7 Deflection of Sandwich Panel with Egg-Box Core at 500°C

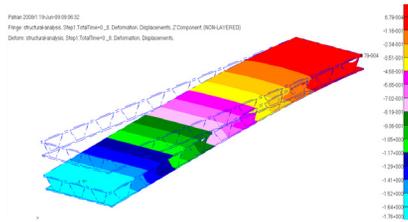


Fig. 8 Deflection of Sandwich Panel with Egg-Box Core at 730°C

#### 4. 결 론

본 논문에서는 FEM 해석을 수행하여 폼 코어와 에그-박스 코어에 대한 등가 전단 탄성계수를 평가하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. FEM 해석을 통해 얻어진 폼 코어의 등가 전단 탄성계수는 47.9MPa로 폼 코어 재료의 탄성계수로부터 계산된 전단 탄성계수 50.0MPa와 유사한 값을 얻을 수 있었다. 이를 통해서 FEM 해석을 통한 코어의 등가 전단 탄성계수 예측 방법을 검증할 수 있었다.

2. FEM 해석을 통해 얻어진 에그-박스 코어는 상온에서 499.70MPa, 730°C에서는 302.44MPa로 상온 대비 고온에서의 등가 전단 탄성계수가 40% 감소하였다.

#### 참 고 문 헌

1. Jörg Hohe and Wilfried Becker, "Effective Stress-Strain Relations for Two-Dimensional Cellular Sandwich Cores: Homogenization, Material Models, and Properties," Appl Mech Rev vol 55, no1, 2002, pp.61-87
2. A.R.Akisanya and N.A.Fleck, "Plastic Collapse of Thin-Walled Frusta and Egg-Box Material under Shear and Normal Loading," International Journal of Mechanical Sciences, 2006, pp.799-808
3. V.S.Deshpande, N.A.Fleck and M.F.Ashby, "Effective properties of the Octet-truss lattice material," Journal of The Mechanics of Physics of Solids, 2001, pp.1747-1769
4. C.E.S.Ueng, E.E.Underwood and T.L. Liu, "Shear modulus of superplastically formed sandwich cores," Computers & Structures, 1974, pp.393-397
5. H.Toftegaard, "Initial Fixture Design for Direct Shear Testing of Sandwich Core Materials," Proceedings of the 27th Riso International Symposium on Materials Science, 2006, pp.337-347