

# The Mechanical Properties of Corrugated Cardboard using Equivalent Evaluation

Kyung Young Kwon · Jong-Yun Jung<sup>†</sup>

Dept. of Industrial and Systems Engineering, Changwon National University

## 등가 물성 평가를 이용한 골판지의 물성치

권경영 · 정종윤<sup>†</sup>

창원대학교 산업시스템공학과

The usage of corrugated cardboard for packing material is increasing in these days because it is light and easy to manufacture packing boxes. However, the structure analysis of packing boxes, made of cardboard, is not well carried. The reason can be deduced that its mechanical properties for structure analysis are not well known. The cardboards are made different shapes with various types of raw materials that are paper-based compound. In addition, the cardboards are considered to be orthotropic material. This research finds mechanical properties of triple layered cardboard which is composed of outer liner and inner liner. The moduli of elasticity and of shear for liners are found from tension test and T-Peel test. The mechanical properties of the cardboard are calculated using the super position method and equivalent evaluation method.

**Keywords :** Cardboard, Modulus of Elasticity, Shear Modulus, Equivalent Evaluation, Mechanical Property

### 1. 서 론

제품 수출 시 사용되는 포장 용기와 팔레트의 소재로는 나무와 플라스틱, 골판지, 철재 등이 있다. 나무 상자는 선박운송의 경우 장기에 운송되므로 썩거나 강도가 저하되기 쉽고 방역 및 위생문제 등에 취약하여 수출 상품의 품질을 떨어뜨리는 문제점을 가지고 있다.

플라스틱 재료의 포장 용기는 초기 제작비용이 많이 들어 가격이 비싸다는 단점이 있다. 골판지 포장상자는 많은 양의 제작이 가능하고 생산 기간이 짧기 때문에 대량 생산되는 수출품의 포장에 적합하며, 다른 포장 재료에 비해 무게가 가벼워 운송 중 물류비용 절감 효과를 가져 올 수 있다.

골판지의 약한 강도를 보완한 재료가 두꺼운 삼중 골

판지이다. 삼중 골판지는 가볍고 가격이 저렴하며 압축도가 우수하고, 나무나 플라스틱에 비해 상자 제작이 쉬워 포장 작업 시간을 단축시킬 수 있는 장점이 있다.

이러한 포장용기는 상자 설계와 구조해석 단계를 거쳐 생산해야 되는데, 이때에 재료 고유의 물성 치가 필요하다. 그러나 골판지는 제작 방법에 따라 그 형태가 다양하지만 구조해석에 필요한 물성 치에 대한 연구가 미진한 실정이어서 잘 알려지지 않고 있다.

본 연구에서 다루는 골판지는 직교 이방성의 성질의 재료로서, 흔히 일반 제조업에서 사용하는 등방성 성질의 금속 재료와 달리 물성 치 추정이 매우 복잡하다. 따라서 단순한 인장 Test 등을 통해서도 설계해석에 필요한 물성 치를 모두 구할 수 없다.

본 논문의 연구목적은 이방성 재료인 골판지의 구조해석 시 필요한 물성 치를 포장용기의 설계에 사용될 수 있도록 하기 위해 중첩법과 등가 물성 유도를 통해 추정하고 정확한 값을 제시하여 골판지 상자의 구조해석

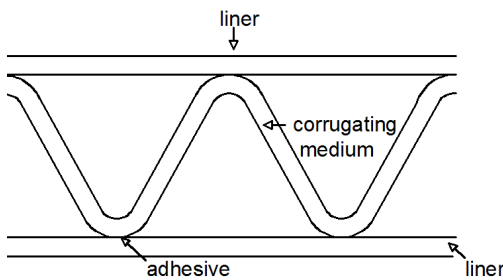
에 사용될 수 있도록 하는 것이다.

제 2장에서 이론적 배경을 고찰하고, 제 3장에 실험과 분석을 추가하여 제 4장에서 골판지의 물성 치를 구한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 골판지의 구조

골판지는 판지의 한쪽 또는 두 장의 판지 사이에 물결 모양으로 골이 진 골심지(Inner 라이너)를 붙인 것으로 골에 1장 이상의 Outer 라이너를 접착시켜 트러스 구조를 가지며, 역학적으로 강도가 높고 외부 충격에 대해 완충작용을 하므로 상품의 보호 기능이 우수하다[4]. 골판지의 구조를 그림으로 나타내면 아래 <Figure 1>과 같다.



<Figure 1> Structure of Corrugated Cardboard

본 논문에서 다루는 골판지는 삼중 골판지로 서로 특성이 다른 Inner 라이너와 Outer 라이너를 결합하여 내압 강도, 내구성 등이 강하고 단열성, 기밀성이 매우 우수하여 100kg 이상의 화물도 포장이 가능하다.

### 2.2 복합재료

복합재료는 “물성이 다른 두 개 이상의 소재가 혼합되어 구성된 재료”를 일컫는다. 물리적으로나 화학적으로 그 성질이 다른 재료로 구성되어 있고, 구성된 그들을 분리하는 계면이 존재한다. 본 논문의 연구대상인 삼중골판지를 Inner 라이너와 Outer 라이너로 구성된 직교이방성의 복합재료인 것으로 전제한다.

### 2.3 등가 물성 유도

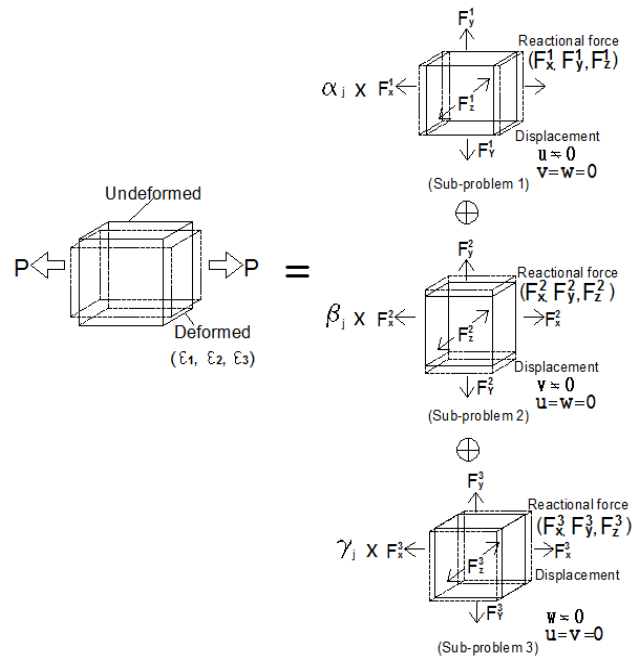
복잡한 형상이 반복되는 모델의 경우 모델링과 해석에 많은 시간이 요구된다. 하지만 단위 Cell만을 구조 해석한 후 등가 물성 유도를 통해 전체의 물성 치를 구하고, 여기서 구한 값을 간략화한 모델에 적용시켜 해석하면 모델

링과 해석시간을 줄이고 효율을 높일 수 있다[2, 8].

여러 재료가 결합되어 있는 복합재료 또한 위와 같은 이유로 등가물성 평가를 많이 이용한다.

#### 2.3.1 단위 구조해석

유한요소 모델링을 이용하여 구조해석을 한다. 다음 <Figure 2>와 같은 변형의 실험을 3개의 부문제로 나누어 하는데, 실제로 단위 Cell에 하중을 가하여 측정 실험하는 것이 아니라 각 축 방향 별로 1축에 강제 변위를 주고 나머지 축 방향은 고정시켜 시뮬레이션으로 구조해석을 한다. 각기 다른 물성 치를 갖는 재료들이 결합되었을 때, 그 복합재료가 어떤 특성 치를 갖는지 알기 위해 일축인장 하중상태를 모사하여 중첩법을 통해 복합재료의 물성 치를 구하고 일축 인장을 각 축에 적용하여 구조 해석한다[2, 8].



<Figure 2> Schematic Representation of Superposition Method

부 문제 1은 X축 방향으로 임의의 강제변위를 부여하고 나머지 Y와 Z축 방향으로로는 변위가 0이 되도록 고정시킨다. 부 문제 2와 3도 같은 방법으로 반복한다.

<Figure 2>처럼 총 3개의 부 문제를 수행하고 각 방향 별로 나타나는 반력을 구한다.  $F_j^i$ 는 i번째 부 문제의 j축 방향으로 나타나는 반력 값을 뜻한다. 부 문제를 수행하여 구하고자 하는 것은 각 축에 나타나는 반력 값과 조합에 따라 각 축 반력의 합을 일정한 힘 P 또는 0으로 만들 수 있는 가중치  $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$ 이다. 가중치를 곱하여 조합하면 X축 방향의 단순 일축 인장상태를 모사하게 된다.

X축에 힘을 가하고 가중치를 주어 P가 되도록 하는 부 문제 1의 인장상태를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} F_x^1 & F_x^2 & F_x^3 \\ F_y^1 & F_y^2 & F_y^3 \\ F_z^1 & F_z^2 & F_z^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_x \\ \beta_x \\ \gamma_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

위의 식을 Y축 방향의 힘이 P가 되고 다른 나머지 축 방향은 0이 되는 부 문제 2와 Z축 방향의 힘이 P가 되고 다른 축 방향은 0이 되는 또 다른 부 문제 3으로 나누어 볼 수 있다.

여기서 X축 방향의 uniform strain,  $\varepsilon_{xx}^1$

$\varepsilon_{xx}^1 = \frac{X\text{방향 변위량}}{X\text{방향 길이}}$  이고  $\varepsilon_{yy}^2$  와  $\varepsilon_{zz}^3$  도 같은 방법으로 구하며, 각 축 방향의 effective normal uniform strain  $\bar{\varepsilon}_1$  는  $\bar{\varepsilon}_1 = \alpha_x \varepsilon_{xx}^1$  이다.

인장하중에 의한 일 W는 내부에 저장된 에너지 U와 같기 때문에 다음 식을 등치하여 등가 탄성계수  $E_1$ 을 구한다[2, 8].

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} Pu = \frac{1}{2} P(\Delta \times \bar{\varepsilon}_1) \\ U &= \frac{1}{2} \int_V \bar{\sigma}_1 \bar{\varepsilon}_1 dV = \frac{1}{2} E_1 (\bar{\varepsilon}_1)^2 V \\ E_1 &= \frac{P}{(\Delta y \Delta z) \bar{\varepsilon}_1} \end{aligned} \quad (2)$$

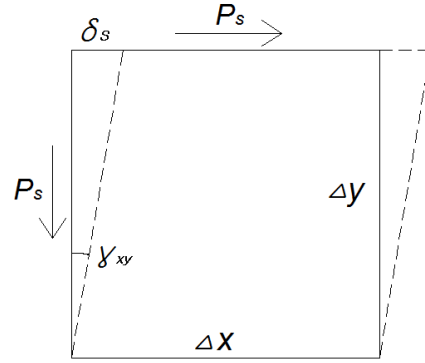
위와 같은 방법으로  $E_2, E_3$ 도 구한다.

아래 <Figure 3>과 같이 단위 셀을 순수 전단변형 상태에 있도록 경계조건을 정하고 구조해석을 한다. 앞서 인장상태를 모사한 것과 유사하게 XY평면을 정면으로 하여 XZ의 밑면을 고정하고 옆면은 Y, Z방향으로 모두 고정한다. (X방향은 Free) 그리고 XZ 윗면에 강제 변위를 부여하여 그 때에 발생하는 반력  $P_s$ 와 전단 변형각  $\gamma_{xy}$ 를 구한다. <Figure 3>의  $\delta_s$ 와  $\gamma_{xy}$ 는 강제 변위 값과 변위각의 radian 값이다. 마찬가지로 전단 하중에 의한 일 W와 단위구조 내부에 저장된 에너지 U의 등가관계로부터 전단탄성계수  $G_{12}$ 를 구한다[2, 8].

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} P_s \delta_s = \frac{1}{2} P_s \gamma_{12} \Delta y, \quad \gamma_{12} \cong \frac{\delta_s}{\Delta y} \\ U &= \int_V \tau_{12} \gamma_{12} dV = \frac{1}{2} G_{12} (\gamma_{12})^2 (\Delta x \Delta y \Delta z) \end{aligned}$$

위 두 식은 서로 같으므로

$$G_{12} = \frac{P_s}{\gamma_{12} (\Delta x \Delta z)} \quad (3)$$



<Figure 3> Unit Cell Under Pure Shearing Force

같은 방법으로 전단탄성계수  $G_{23}, G_{13}$ 를 구한다.

## 2.4 Inner 라이너와 Outer 라이너의 물성 치 평가

본 논문에서는 골판지를 구성하고 있는 Inner 라이너와 Outer 라이너의 물성 치를 측정하여 등가물성 치 유도를 통해 복합재료인 골판지의 물성 치를 구한다.

골판지 해석에 필요한 물성 치는 각 방향의 탄성계수 E와 전단탄성계수 G이다. 여기서 Inner 라이너와 Outer 라이너의 탄성계수는 인장 Test와 T-Peel Test를 통해 측정이 가능하나 전단탄성계수는 시편의 두께가 매우 얇아 측정이 곤란하다. 따라서 전단탄성계수는 문헌의 유도식을 적용하여 값을 구한다[3].

## 3. 실험의 계획 및 실험 결과 분석

### 3.1 실험의 계획

#### 3.1.1 측정대상 선정

본 논문에서 측정하는 골판지는 AAA 구조로 된 삼중 골판지로 두께는 약 15mm이다. 삼중 골판지는 <Figure 4>에서 볼 수 있듯이 라이너 4개와 골심지 3개로 구성되어 있다. 골판지의 상하 측 Outer 라이너는 두께 약 0.6mm로 원지상태의 라이너이고, Inner 라이너 2개와 골심지 3개는 원지가 압착된 상태로 두께가 약 0.4mm이다. Inner 라이너와 골심지는 형상의 차이만 있을 뿐 물성 치는 같으므로 Outer 라이너와 Inner 라이너의 물성 치를 측정한다.

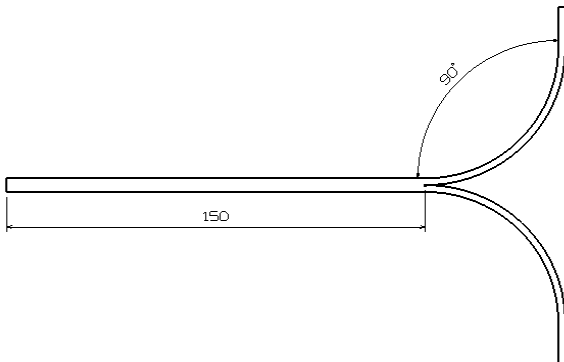


<Figure 4> Triple Layered Cardboard

3.1.2 시편크기 선정

인장 Test에 사용한 시편은 미국재료시험학회(ASTM)의 규격자료 ‘ASTM E8/E8M-09 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials’를 참고하여 제작한다.

T-Peel Test에서 사용한 시편은 KS규격 ‘KS M ISO 11339 T형 박리시험’을 참고로 하여 시편을 제작한다. 시편의 치수와 형상은 다음과 같다.



<Figure 5> T-Peel Test Specimen(Front View)

3.1.3 측정 장비

인장 Test와 T-Peel Test를 위해 Universal Testing Machine (UTM)을 사용한다. T-Peel Test는 peeling energy를 정량적으로 측정하는 것으로 일정 너비의 유연한 strip을 기관으로부터 일정한 속도로 떼어내면서 인가되는 하중을 측정한다. 시험편의 두께를 2개의 층으로 분리하여 접착되지 않은 양단을 상하 jig에 [5] 고정하고 하중을 가하여 실험한다.

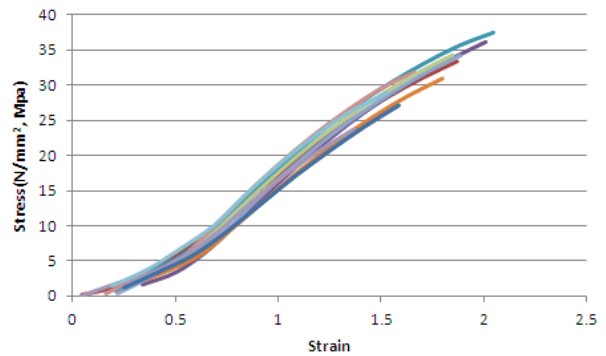
3.2 탄성계수

3.2.1 인장 Test

인장 Test는 시편의 Sample을 10개씩 제작하여 실험한다.

실험을 통해 얻은 Data를 이용하여 Stress-Strain Curve를 구하고 최소자승법을 이용하여 탄성계수의 평균을 구한다. 인장 Test를 통해 구한 탄성계수는 가로 세로 방향의  $E_x$ ,  $E_y$ 이며, 나머지  $E_z$ 는 T-Peel Test를 통해 구한다.

아래 <Figure 6>은 Inner 라이너의 Stress-Strain Curve로서 가로 방향에 대한  $E_x$ 이며 <Table 1>은 탄성계수의 측정치이다.



<Figure 6> Stress-Strain Curve of Inner Liner(Transverse)

<Table 1> Modulus of Elasticity for Liners( $E_x$ ,  $E_y$ )

(Unit : MPa)

No.	Inner liner (transverse), $E_x$	Inner liner (longitudinal), $E_y$	Outer liner (transverse), $E_x$	Outer liner (longitudinal), $E_y$
1	1979.4	785.6	3320.0	873.0
2	2034.8	744.8	3011.9	852.0
3	2219.0	842.19	3336.0	869.0
4	2152.0	803.9	3035.9	892.0
5	2093.0	723.0	2834.1	864.9
6	2148.1	732.6	3250.6	882.9
7	2271.4	714.8	3258.9	881.5
8	2228.3	781.6	3334.6	861.6
9	2195.3	737.7	3050.0	890.3
10	2034.8	776.6	3356.7	843.6
Ave.	2135.6	754.3	3178.9	871.1

3.2.2 T-Peel Test

시편을 각 방향 별로 T-Peel Test 실험하여 측정하고 평균 값으로 높이 Z 축의 탄성계수( $E_z$ )를 구한다. 아래 <Table 2>는 Inner 라이너와 Outer 라이너  $E_z$  측정치의 평균값이다.

<Table 2> Modulus of Elasticity for Liners( $E_z$ )

(Unit : MPa)

	Inner liner, $E_z$	Outer liner, $E_z$
Ave.	1.65	6.04

### 3.3 전단탄성계수

#### 3.3.1 Inner 라이너

전단실험은 시편이 어느 정도의 두께를 가지고 있어야 가능한데, 본 논문에서 다루는 Inner 라이너와 Outer 라이너는 두께가 매우 얇기 때문에 실험이 곤란하여 다음 관계식을 참고하여 전단탄성계수를 구한다[1].

XY 평면의 전단탄성계수,  $G_{xy}$

$$G_{xy} = 0.387 \sqrt{E_x E_y} \quad (4)$$

위 식으로부터

$$G_{xy} = 0.387 \sqrt{E_x E_y} = 491.2\text{MPa}$$

YZ, XZ 평면의 전단탄성계수

$$G_{iz} = \frac{\tau_{iz}}{\gamma_{iz}} = \frac{\theta H}{bl} \quad (5)$$

i : x, y

$\theta$  : the slope of linear part of the load-displacement curve

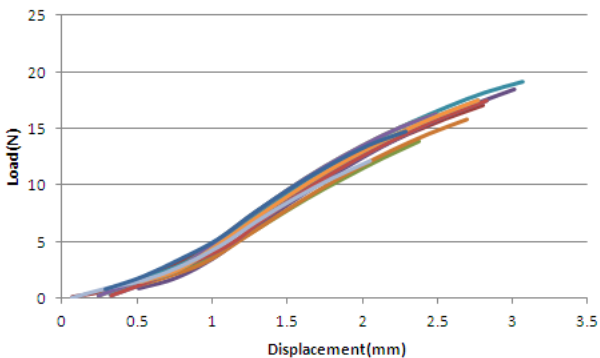
H : the total sandwich thickness

b : the specimen width

l : the specimen length

식 (5)에서 기울기( $\theta$ )는 load-displacement graph를 plot 하여 구한다. 시편의 두께 0.4mm, 폭과 길이는 12.5mm, 57mm로 하여 전단탄성계수를 구한다.

아래 <Figure 7>은 Inner 라이너 가로방향의 Load-Displacement Graph를 나타내고 <Table 3>은 Inner 라이너의



<Figure 7> Load-Displacement Graph of Inner Liner (Transverse)

load-displacement의 기울기 평균값을 나타낸다.

<Table 3> Slope of Load-Displacement for Inner Liner,  $\theta$

	Transverse	Longitudinal
Ave.	7.26	2.74

위 식으로부터

$$G_{yz} = \frac{2.74 \times 0.4}{12.5 \times 57} = 0.0015\text{MPa}$$

$$G_{xz} = \frac{7.26 \times 0.4}{12.5 \times 57} = 0.0041\text{MPa}$$

#### 3.3.2 Outer 라이너

Outer 라이너의 xy평면의 전단탄성계수는 식 (4)를 이용하여  $G_{xy}$ 를 구한다.

$$G_{xz} = 0.387 \sqrt{E_x E_y} = 644\text{MPa}$$

Outer 라이너의 YZ평면, XZ평면 전단탄성계수는 식 (5)를 이용하여  $G_{yz}$ ,  $G_{xz}$ 를 구한다. Outer 라이너의 두께는 0.6mm이며 시편의 폭과 길이는 앞서 적용한 것과 같다.

Outer 라이너의 load-displacement 기울기  $\theta$ 는 sample 10개의 평균값으로 가로 방향으로 16.68, 세로 방향으로 4.7로 측정되었다. 따라서

$$G_{yz} = \frac{\theta H}{bl} = 0.004\text{MPa}$$

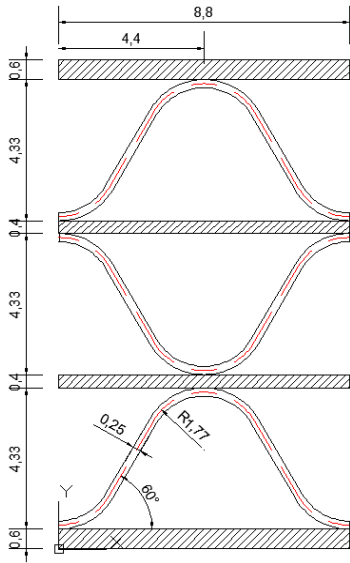
$$G_{xz} = \frac{\theta H}{bl} = 0.014\text{MPa}$$

이다.

## 4. 골판지의 물성 치

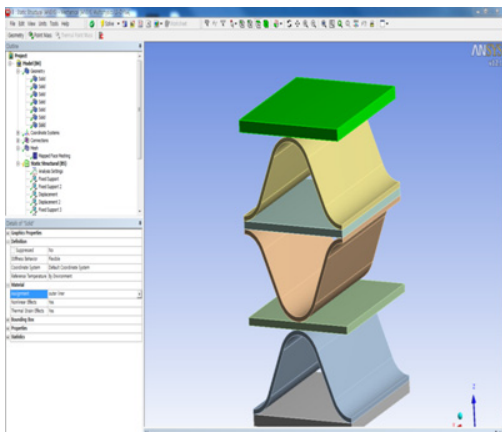
### 4.1 반력 측정

골판지의 단위 Cell은 골심지의 골이 시작하는 지점부터 골이 끝나는 지점을 1주기로 하여 모델링한다. AAA 골판지의 단위 Cell 높이는 15mm이고 가로와 세로의 너비는 1주기가 끝나는 8.8mm로 한다. 이를 이용하여 ANSYS로 설계 및 해석을 한다. 아래 <Figure 8>은 AAA 골판지의 단위 Cell 도면이다.



<Figure 8> Corrugated Cardboard of AAA Type

ANSYS를 이용하여 3D 유한요소 모델링하고 Inner 라이너와 Outer 라이너에 실험을 통해 구한 물성치를 적용하여 접촉면과 Mesh를 생성한다. 다음 <Figure 9>는 Outer 라이너의 물성치를 생성하여 단위 Cell에 적용하는 모습을 보여준다.

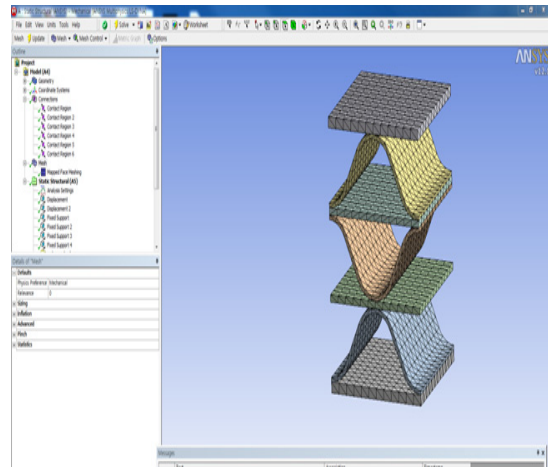


<Figure 9> Properties Applied to Outer Liner

4.2 구조해석

<Figure 10>은 Inner 라이너와 Outer 라이너의 물성치를 각각 적용하고 Mesh를 생성한 모습이다.

접촉면 조건은 Outer 라이너와 골심지, 골심지와 Inner 라이너 사이에 서로 접촉하는 부분이다. 본 논문에서 골판지에는 총 6개의 접촉면을 설정한다. 라이너와 골심지 사이는 본드로 결합되어 있기 때문에 Body와 Body사이는 모두 Bonded로 정의한다.

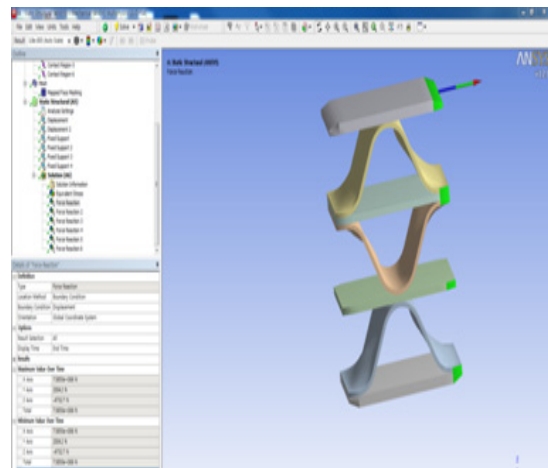


<Figure 10> Mesh Generation for AAA Corrugated Cardboard

다음과 같이 3가지 부분제의 경우로 나누어 구속조건을 부여하고 반력을 각각 측정한다.

- $F_x^i$  : X방향으로 강제 변위 1mm 부여(양의 방향은 1mm, 음의 방향은 -1mm), 이때 Y와 Z방향으로 모든 자유도 고정하여 변위 없음
- $F_y^i$  : Y방향으로 강제 변위 1mm 부여(양의 방향은 1mm, 음의 방향은 -1mm), 이때 X와 Z방향으로 모든 자유도 고정하여 변위 없음
- $F_z^i$  : Z방향으로 강제 변위 1mm 부여(양의 방향은 1mm, 음의 방향은 -1mm), 이때 X와 Y방향으로 모든 자유도 고정하여 변위 없음

X방향으로 강제 변위를 부여하면 X방향뿐만 아니라 Y와 Z방향으로도 반력이 발생한다. 다음 <Figure 11>은 ANSYS에서 X방향의 반력을 측정하는 모습이다.



<Figure 11> Reactional Force From X Direction

다음 <Table 4>는 3개의 부 문제 별로 ANSYS로부터 각각 측정된 반력을 정리하여 나타낸 것이다[7].

<Table 4> Reactional Forces for 3 Sub-Problems (Unit : Newton)

Displacement in X axis	$F_x^1$	$F_y^1$	$F_z^1$
Reacting force	14,900	2,500	0.282
Displacement in Y axis	$F_x^2$	$F_y^2$	$F_z^2$
Reacting force	2,290	8,150	0.176
Displacement in Z axis	$F_x^3$	$F_y^3$	$F_z^3$
Reacting force	85.9	0.195	1.45

### 4.3 골판지의 탄성계수

앞서 전술한 식 (1)~ 식 (5)를 참고하여 골판지의 물성치를 계산하며 하중 P는 50N으로 설정한다.

X축 방향에 변위를 준 경우 식 (1)에 <Table 4>의 반력과 하중 P 50N을 대입하여  $\alpha_x, \beta_x, \gamma_x$ 를 구하면

$$\begin{bmatrix} \alpha_x \\ \beta_x \\ \gamma_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0035 \\ -0.00108 \\ -0.00055 \end{bmatrix} \text{이다.}$$

식 (2)를 이용하여 복합재료인 골판지의 가로방향 탄성계수  $E_1$ 을 구한다.

$$E_1 = \frac{P}{(\Delta x \ \Delta y) \varepsilon_1} = 946.414 \text{MPa}$$

같은 방법으로  $E_2$ 와  $E_3$ 를 구하면 다음과 같다.

$$E_2 = 518.9 \text{MPa}$$

$$E_3 = 2.8 \text{MPa}$$

### 4.4 골판지의 전단탄성계수

앞의 방법과 같은 순서로 다음과 같이 3개의 부 문제로 나누어 구속조건을 부여하고 ANSYS를 이용하여 구조해석을 하여 각 방향의 반력을 측정한다[6].

$F_{xy}^i$  : XY 평면을 정면으로 하여 밑면 XZ는 고정시키고, 윗면 XZ에 X의 양의 방향으로 강제변위 1mm 부여 (Y, Z방향의 모든 자유도 고정)

$F_{yz}^i$  : YZ 평면을 정면으로 하여 밑면 XY는 고정시키고,

윗면 XY에 Y의 양의 방향으로 강제변위 1mm 부여 (X, Z방향의 모든 자유도 고정)

$F_{zx}^i$  : XZ 평면을 정면으로 하여 밑면 XY는 고정시키고, 윗면 XY에 X의 양의 방향으로 강제변위 1mm 부여 (Y, Z방향의 모든 자유도 고정)

위 구조해석을 통해 하중에 의해 발생한 반력 Ps와 전단변형 각도  $\gamma$ 를 구하여  $G_{12}, G_{23}, G_{31}$ 을 구한다.

<Table 5> Reactional Forces and Shearing Angles for 3 Sub-problems

Plane	Ps	$\gamma$ (radian)
XY	12,160	0.10
YZ	0.071N	0.07
XZ	0.154N	0.07

강제변위를 부여하여 구한 반력 Ps와 전단변형 각도  $\gamma_{xy}$  라디안을 식 (3)에 대입하여  $G_{12}$ 를 구한다.

$$G_{12} = \frac{Ps}{\gamma_{xy}(\Delta x \ \Delta z)} = \frac{12,160}{0.1 \times (8.8 \times 15)} = 921.2 \text{MPa}$$

같은 방법으로 식 (3)을 이용하여  $G_{23}, G_{31}$ 을 구한다.

### 4.5 골판지의 등가 물성치

같은 형상을 반복하는 골판지의 단위 Cell을 ANSYS를 이용하여 모델링하고 강제 변위를 부여하여 그 때 발생하는 반력과 변형된 각도를 통해 골판지의 등가 물성치를 구하여 정리하면 다음과 같다.

<Table 6> Equivalent Mechanical Properties for a Corrugated Cardboard

Properties	Equivalent Mechanical Properties
$E_1$	946.4MPa
$E_2$	518.9MPa
$E_3$	2.80MPa
$G_{12}$	921.2MPa
$G_{23}$	0.013MPa
$G_{31}$	0.03MPa

## 5. 결론 및 향후 연구

본 논문은 경험과 노하우에만 의존하여 포장 상자를

제작하던 골판지를 해석 프로그램을 통해 좀 더 안전하고 신뢰성 있게 제작할 수 있도록 골판지의 물성치를 추정하고 제시하였다. 본 논문의 결론은 다음과 같다.

골판지 상자 및 팔레트 등의 제작에 사용되는 골판지는 Inner라이너, Outer 라이너로 구성되어 있다. 각 구성품인 라이너들의 탄성계수를 인장 Test와 T-Peel Test를 통해 도출 하였다.

Inner 라이너와 Outer 라이너의 전단탄성계수를 실험값을 적용하여 추정하였다.

ANSYS를 이용하여 단위 Cell을 모델링한 후 mesh를 생성하여 강제 변위를 부여하고 중첩법으로 각 방향의 반력을 구하여 등가물성 유도를 통해 골판지 전체의 물성치 값을 추정하여 제시하였다.

본 논문의 향후 연구로서 제시된 물성치를 이용하여 골판지 상자를 구조해석하고 이를 실험을 통해 검증하는 것이다.

## Acknowledgement

이 논문은 2013~2014년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

## References

- [1] Aboura, Z., Talbi, N., and Allaoui, S., Benzeggagh; ML, Elastic behavior of corrugated cardboard : experiments and modeling. *Composite Structures*, 2011, Vol. 63, p 53-62.
- [2] Cho, J.R., Song, J.I., and Choi, J.H., Prediction of effective mechanical properties of reinforced braid by 3-D finite element analysis. *Key Engineering Materials*, 2006, Vol. 306-308, p 799-804.
- [3] Haj-Ali, R., Choi, J., Wei, B.S., Popil, R., and Schaepe, M., Refined nonlinear finite element models for corrugated fiberboards. *Composite Structures*, 2011, Vol. 87, p 321-333.
- [4] Han, J.W., The study of problems of packing industry and improvement plan, [master's thesis]. [Seoul, Korea] : Hanyang University, 2008.
- [5] Jung, J.Y., Cui, H., Moon, D.H., and Lee, C.M., Parameter selection for the milling of thin wall. *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2007, Vol. 30, p 52-60.
- [6] Kwon, K.Y., The measurement of properties and the stress-analysis for corrugated cardboard [master's thesis]. [Changwon, Korea] : Changwon National University, 2012.
- [7] Kwon, K.Y. and Jung, J.Y., The measurement of properties for corrugated cardboard, [Proceedings of spring conference of Society of Korea Industrial and Systems Engineering]. [Changwon, Korea] : Changwon National University, 2012.
- [8] Song, J.I. and Cho, J.R., Derivation of effective material properties of reinforced braid layer using detailed 3-D finite element method. *J of Korea Mechanical Engineering Society*, 2004, Vol. 28, p 249-257.