

플루트프로파일이 골판지의 재료역학적 특성에 미치는 영향 ③

(Effects of Flute Profile Conformation on the Material Mechanics of Corrugated Fiberboard)

한국포장기술사의 김 청 회장은 '플루트프로파일의 골판지의 재료역학적 특성에 미치는 영향(Effects of Flute Profile Conformation on the Material Mechanics of Corrugated Fiberboard)'이란 제목의 논문(대학교 박사학위논문)을 통해 골판지 및 골판지상자의 재료 공학적 검토를 하였으며, 이에 따라 본 조판에서는 골판지판단언제에 도움이 될 수 있도록 이 논문을 소개해 걸쳐 받게 되었으며, 게재하오니 일부에 참고하시기 바랍니다.



김청 회장 / (사)한국포장기술사회
www.packnet.co.kr

1.3 골판지 플루트 프로파일과 좌굴강도

압축하중을 받는 골판지상자는 부하 하중이 커지면 좌굴직전 골판지시트에 휨이 생기고 급격한 휨의 진행에 따라 휨파괴가 생긴다(Fig. 20, 21). 이 파괴가 골판지의 좌굴이다. 이것은 골판지시트에 횡방향압축을 받는 휨강성($E \cdot I$)이고 골판지상자의 압축강도의 기본이 되는 골판지의 좌굴강도를 결정하는 기준이 된다.

골판지상자의 물품을 포장하여 부하하중이 걸리면 골판지상자의 안 쪽에서 바깥쪽을 향하여 휨 현상이 나타나고, 이 휨에 저항하는 성질이 골판지의 휨강성이다. 휨강성은 골판지상자의 적재강도를 결정하는 주요 인자가 된다. Fig. 20에서와 같이 골판지의 MD 및 CD방향 단면에서 중립축을 중심으로 이면라이너 쪽으로는 압축응력이, 표면라이너 쪽으로는 인장응력이 작용하는데 그 크기는 중립축의 위치에 따라 달라진다.

골판지 상자에 있어서 여러번의 휨(굽힘)에 의한 휨좌굴에 따라 복수의 좌굴휨이 생긴다(Fig. 21). 압축을 받는 골판지의 변형상황은 압축방향에 따라 다르다. 그리고 원지의 이방성 뿐 아니라 원지의 구성에 따라서도 골판지의 압축변형이 다르고 좌굴의 변형 메커니즘도 다르다.

골판지의 골 흐름방향(MD), 횡방향(CD), 두께 방향(TD)을 x, y, z축방향으로 좌표를 하고, 이것을 상자 면판의 1각을 원점(0)으로 하고 하변에 따른 방향을 x축으로, 상자 높이방향을 y축에, 측면에 수직인 방향을 z축으로 했다(Fig. 13, 14). 사용되고 있는 골판지상자의 상하변에는, 측판과 같은 재질의 날개(flap)가 있고(Fig. 22), 따라서 압축하중을 받는 상자(폭 W, 높이 H)의 변형은 상하 4변에 모서리를 가진 4측면판에 의하여 지지된 것이라 고려했다(계산의 편의를 위하여 상자의

길이 = 폭으로 보았다). 여기에서는 주로 평면응력 상태로 보아 변형은 2차원의 변형에 인접판의 변형의 연속성에 의하여 생기는 휨변형이 가해지는 것으로 보았다.

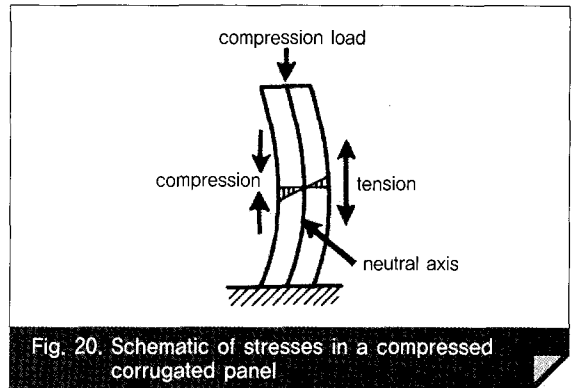


Fig. 20. Schematic of stresses in a compressed corrugated panel

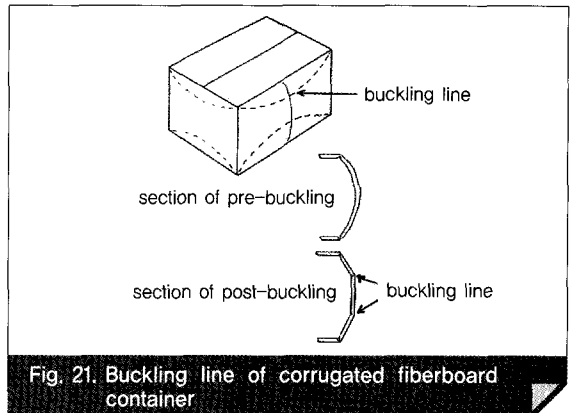


Fig. 21. Buckling line of corrugated fiberboard container

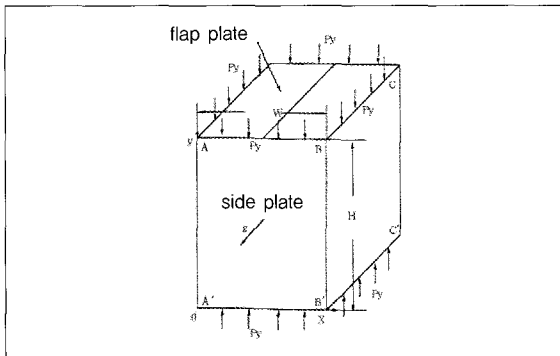


Fig. 22. Single wall corrugated fiberboard container and coordinates.

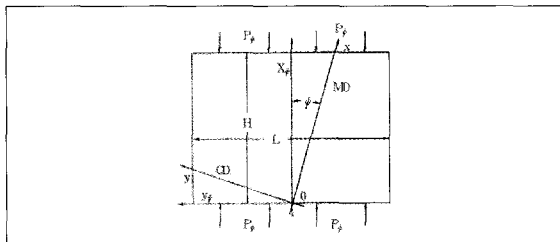


Fig. 23. Load direction of flute and applied compression load.

흐름방향으로부터 각도 방향의 하중(상하방향의 하중)(Fig. 23)이 골판지 시트에 작용할때 하중방향의 골판지 길이(높이)(H)의 한 끝으로부터 x_0 에 있는 시트 두께 중앙의 변위를 z_0 로 나타냈다.

그 하중에 따라 생기는 위치 x_0 , z (중립층으로부터의 거리)의 휨변형 ϵ_0 , 휨 응력 σ_0 는, 모멘트 - 휨방정식(flexure formula, bending formula)으로 알려진 다음 (41)식과 앞의 (23)식으로 풀어갈 수 있다.

$$\frac{E}{\rho} = \frac{M}{I}, \quad \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}, \quad \rho = \frac{EI}{M}, \quad EI = M \cdot \rho \quad (41)$$

여기에서 ρ (=(10)식)는 곡률반경이고, E는 종탄성계수이다. 단위폭당 벤딩모멘트 M (=(14)식)은 시료의 두께를 통한 스트레스의 적분, 즉 $M = \int z \sigma_x dA = (1/\rho)E \int z^2 dA = (1/\rho)EI$ 로 얻어진다. 이 (41)식은 보의 곡률반경 ρ 는 $E \cdot I$ 에 비례하고, 이 $E \cdot I$ 는 보의 탄성변형의 저항도를 나타내는 지수인 휨강성(flexural rigidity)이다.

(41)식은 곡률반경과 휨모멘트와의 관계를 나타내고, 재질 형상에 의하여 일정한 값을 가진 탄성계수와, 관성능률

과를 기초로 하고 있다. 또한 휨강성으로 표현되는 $S(= E \cdot I)$ 는 휨모멘트 M 을 하중이 가해질때의 곡률($1/\rho$)로 나눈 것으로 $S = Et^2 W/12(Nm^2)$ 으로 표현된다.

(41)식을 확인하면 다음과 같다.

보의 가로단면에는 전단력에 의하여 전단응력이 발생하고 휨모멘트에 의하여 수직응력이 발생한다. 그러나 가로하중(lateral force)에 의한 보의 임의단면에는 양자가 모두 동시에 발생한다고 볼 수 있지만 전단력에 의한 영향은 극히 작으므로 일반적으로 휨모멘트에 의한 수직응력(normal stress)만을 고려하고 있으며, 이것이 휨응력이다.

집중하중이나 분포하중이 보에 작용할 때, 보의 단면에는 휨모멘트(M)에 의하여 수직응력이 생기고, 보의 상부는 압축응력에 의하여 단축하고, 중심부는 길이가 변하지 않는 무부하상태(중립면, 중립축), 하부는 인장응력에 의하여 신장된다. 이 때문에 보가 굽어진다. 이것은 보의 변위이다. 변위를 일으키는 원인은 휨모멘트에 의한 경우가 대부분으로, 전단작용의 경우는 극히 작아 거의 고려할 필요가 없다. 전단력(shear force)이 0이고, 휨모멘트만 작용하는 상태인 순수휨(pure bending)에 의하여 구부러지면서 발생하는 응력인 휨응력을 해석한다.

Fig. 26은 휨하중이 작용할때의 휨 변위상태를 나타낸다. 보의 변위등식은, 보의 곡률의 정도와 경사의 반경과의 관계에서 도출된다. 이를 해명하기 위해서는 곡률반경과 휨모멘트와의 관계를 결정하는 것이 필요하다.

보에 하중이 걸리지 않을 때는 선 AB 와 선 CD 는 평행이고 그 간격은 EF 이다. 보에 하중이 걸리면 인장응력에 의해 BD 는 증가하고, 압축응력에 의해 AC 는 짧아진다. 그리고 인접한 단면 AB 와 CD 를 연장하면 O점에 만나서 각도 $d\theta$ 를 형성한다. CD 에 평행인 E점을 통과하는 선을 $A'B'$ 라고 하면, BB' 는 인장응력에 의한 신장을 나타낸다. 각도 BEB' 는 $d\theta$ 와 같이 된다. 그리고 하부 표면 BD 의 변형(strain)(ϵ)은 $EF = dx = \rho d\theta$, $BB' = BD - B'D = (\rho + z)d\theta - EF = zd\theta$ 이므로

$$\epsilon = \frac{BB'}{EF} = \frac{EB}{OE} = \frac{zd\theta}{dx} = \frac{zd\theta}{\rho d\theta} = \frac{z}{\rho} \quad (a)$$

$$\text{후의 법칙에 따라 변형응력은 } \sigma = E\epsilon \quad (b)$$

$$\epsilon = z/\rho \text{로부터 } \sigma = Ez/\rho$$

탄성계수 (E) =

$$\frac{\text{응력 (stress) } (\sigma)}{\text{변형 (strain) } (\varepsilon)} \quad (\text{unit : kg/cm}^2, \text{ kg/mm}^2)$$

이므로, 휨응력인 스트레스(σ)는 후크의 법칙(Hooke's law)에 따라, 재료의 탄성영역내에서 스트레인(ε)과 탄성계수(E)의 일정상수에 비례하므로 ㉔, ㉕식으로부터 $\sigma = E \cdot z / \rho$ 로 나타낼 수 있다. 이 휨 응력(σ)은 중립면으로 부터의 거리 z에 비례하고 그 최 외단에서 최대가 됨을 알 수 있다.

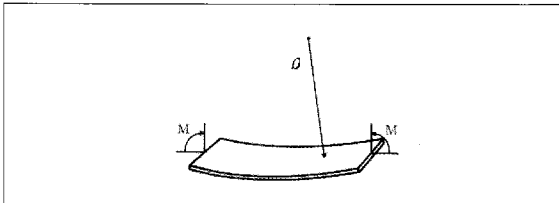


Fig. 24. Strip subjected to pure bending, where M is the bending moment and ρ is the radius of curvature.

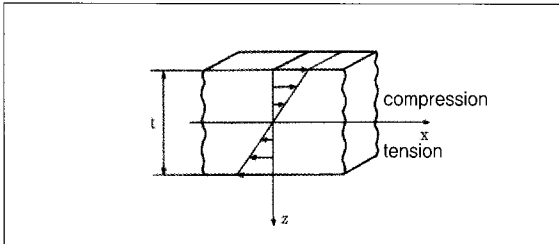


Fig. 25. Strain and stress variation in the elastic region across the thickness of the strip.

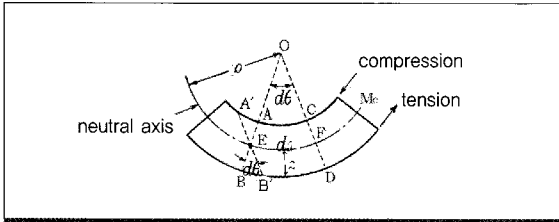


Fig. 26. Bending stress under the surface compression.

그런데, $\sigma = Mz/I$ (=23)식 이므로 따라서, $Ez/\rho = Mz/I$, $E/\rho = M/I$ 그러므로 $\rho = EI/M$, $1/\rho = M/EI$, $EI = M\rho$ (=41)식이다.

여기에서 보의 곡률반경(ρ) 는 EI 에 비례하고 이 EI는

보의 탄성변형의 저항도를 나타내는 지수인 휨강성이다.

Fig. 23에서 흐름방향에 따른 각도 Ø방향의 하중(상하 방향하중)이 골판지시트에 작용할 때, 하중방향의 판길이 H의 한 끝에서부터의 거리 x_0 에 있는 골판지 두께 중앙의 변위를 z_0 로 나타내고 그 하중에 의하여 생기는 위치 x_0, z_1 , (중립위치로 부터의 거리)의 휨변형 ε_0 , 휨응력 σ_0 는

$$\varepsilon_0 = \frac{z_0}{\rho_0} = \frac{\sigma_0}{E_0}, \quad \sigma_0 = \frac{M_0}{I_0} \text{ 로 나타냈다.}$$

응력성분에 관하여 중첩(중합)원리에 따라 휨응력은

$$\sigma_0 = \frac{M_x}{I_x} z_1 \cos \varnothing + \frac{M_y}{I_y} z_1 \sin \varnothing \dots\dots\dots (42)$$

로 나타냈으며, I_0, I_x, I_y 는 각각 Ø, x, y방향 휨의 단면2차모멘트이다.

중립면으로부터 떨어져 있는 만큼 인장이나 압축이 크게 됨을 고려하여 후크의 법칙을 사용하면 $d(dz/dx)/dx = M/EI$, $d^2z/dx^2 = M/EI$ 가 된다. 이 식은 탄성곡선(elastic curve)의 미분방정식이다.

여기에서 (11)식인 $1/\rho = -(d^2z_0 / dx^2) / [1 + (dz_0 / dx)^2]^{3/2}$ 에서 휨변위(deflection)가 작은 경우 $(dz_0 / dx)^2$ 은 극히 작으므로 무시하면 $1/\rho = \pm(d^2z_0 / dx^2)$ 이 된다. 그러므로 휨 모멘트 M_0 이 작용할때 탄성곡선의 곡률(curvature)($k_0 = 1/\rho_0$)은 각 단면에 대하여 기본 미분방정 식인

$$k_0 = \frac{1}{\rho_0} = \frac{d^2z}{dx^2} = \frac{M_0}{(EI)_0}, \quad (EI)_0 = M_0 \rho_0 \dots\dots (43)$$

로 나타내고, 이 $(EI)_0$ 는 Ø방향의 휨모멘트가 작용할 때의 휨강성이다.

여기에서 $I = \int_A z^2 dA$ 로서, 이 적분은 단면적의 중립축에 관한 즉, z축에 관한 단면의 단면2차모멘트(mm⁴)이다. 이것은 곡률을 보의 휨 모멘트의 항으로 표현하기 위해 정리하면 (41)식이 된다. 그리고 ρ_0 는 변위의 곡률반경으로 앞에서의 (10), (11)식으로 나타냈다.

한편, (41), (43)식은 시트의 곡률은 휨모멘트(M)에 비례하고 보의 휨강도인 휨강성계수(E · I)에 반비례한다는 것을 알 수 있다. 휨강도는 보의 휨에 대한 저항의 척도로서 휨강도가 크면 클수록 주어진 휨모멘트에 대한 곡률(곡률반경

의 역수)은 더욱 작아진다.

변형의 중첩(중합)원리에 따라 곡률($k_\theta = 1/\rho_\theta$)은 x, y방향의 성분 k_x, k_y 의 합에 의하여

$$k_\theta = k_x \cos \theta + k_y \sin \theta = 1/\rho_\theta \\ = \cos \theta / \rho_x + \sin \theta / \rho_y \quad (44)$$

로 나타낼 수 있다. ρ_x, ρ_y 는 각각 흐름방향, 횡 방향의 곡률 반경이다. 그러면 (43), (44)식 및 응력의 중첩원리에 따라 M_θ 와 M_x, M_y 와의 관계

$$M_\theta = M_x \cos \theta + M_y \sin \theta \quad (45)$$

$$M_\theta = M_x / \cos \theta, \quad M_\theta = M_y / \sin \theta \quad (46)$$

$$\frac{(M)_\theta}{(EI)_\theta} = \frac{M_x}{(EI)_x} \cos \theta + \frac{M_y}{(EI)_y} \sin \theta \quad (47)$$

가 얻어진다. 여기에서 $(EI)_x, (EI)_y$ 는 x, y 방향의 휨시의 휨강성이다.

위 (46)식, (47)식으로부터 $(EI)_\theta$ 는 다음과 같이 나타냈다.

$$(EI)_\theta = \frac{(EI)_x (EI)_y}{(EI)_x \cos \theta + (EI)_y \sin \theta} \quad (48)$$

골판지 상자의 압축강도는 전단으로부터 휨에 의한 파괴이므로 골판지 상자의 압축강도는 탄성횡좌굴(CD)을 고려하는 것이 타당하다.

횡방향(CD)에 압축하중이 작용할때 xz면의 변형은 근사적으로 평면변형이고, 변형의 상태는 위치 y의 변화에 일정한 것으로 고려하여 단순하게 기둥(column)에 관한 오일러의 좌굴식(Euler's equation)을 도입하여 적용할 수 있다고 보았다.

상하지지 골판지의 좌굴(비국부)시 단위폭당의 압축좌굴 하중인 임계하중 P_{cr} (critical load), 즉 P_y 는

$$P_{cr} = P_y = \pi^2 (EI)_y / H^2, \quad I = T^3 W / 12 \quad (49)$$

로 나타냈다. $(EI)_y$ 는 휨 변형을 받는 골판지의 휨강성이므로

$$(EI)_y = 2E_{ty} I_{ty} + E_{my} I_{my} \quad (50)$$

로 나타냈다. E_{ty}, E_{my} 는 라이너 및 골심지의 횡방향의 종

탄성계수이고, I_{ty}, I_{my} 는 단위폭당의 라이너 및 골심지의 횡 방향의 휨의 단면2차모멘트이다. 이것은 앞에서 논한 계산식으로 계산할 수 있고, 그 계산을 용이하게 하기 위하여 근사적으로 다음과 같이 간편식으로 표시할 수 있다.

$$I_{ty} = (T_t^3 / 12) + T_t [(h + 2T_t + T_m) / 2]^2 \quad (51)$$

$$I_{my} = 2 \int_{-L/4}^{L/4} [(T_m z_0^2) / L] ds \quad (52)$$

그런데 상하 라이너가 동일한 소재의 골판지에 일정한 압축하중이 작용할 때, 골판지 판의 길이, 즉 상자의 높이 H의 변형에 의해 생기는 비국부좌굴(no-partial buckling)에 의한 좌굴강도(P_1)와, 라이너·골심지의 접착부(플루트 팁) 사이에 생기는 국부좌굴(partial buckling)에 의한 좌굴강도(P_2)가 있다고 볼 수 있다. 횡좌굴을 논하면, 오일러의 좌굴식을 도입하여 단위폭당의 비국부압축하중 (P_{x1})은 다음 (53)식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{x1} = \pi^2 (EI)_{tx} / H^2, \quad (EI)_{tx} = E_{tx} I_{tx} \quad (53)$$

여기에서 E_{tx} 는 라이너의 흐름방향의 종탄성계수, I_{tx} 는 단위폭당의 단면2차모멘트로서 근사적으로 $I_{tx} = I_{ty}$ 로 나타냈다.

골의 흐름방향(기계방향)에 압축응력에 의한 국부좌굴이 생길 때, 그 좌굴 개시의 압축변형은 접착부의 라이너·골심지 접합부 때문에 접합부는 근사적으로 양단고정의 좌굴에 가까운 것이 된다고 보면, 이 변형은 외관상, 같은 압축에 의한 국부적 휨파괴로 나타내고, 단위폭당의 국부압축하중 (P_{x2})은 양면라이너에 지지된 경우의 오일러 좌굴식으로부터 근사적으로 다음 (54)식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{x2} = 4 \pi^2 (EI)_{tx2} / L^2 \quad (54)$$

여기에서 I_{tx2} 는 단위폭당의 단면2차모멘트로서 $I_{tx2} = T_t^3 / 6$ 이다.

이러한 식은 흐름방향으로 부터 임의의 압축방향인 θ 방향(상자의 높이 방향)에 압축하중이 작용할때, 상자의 상하면 지지 골판지판(높이 H, 폭 L)의 단위폭당의 횡좌굴응력인 비국부좌굴압축하중은 오일러의 좌굴식에 의하여

$P_{\theta 1} = \pi^2 (EI)_\theta / H^2$ 로 나타내고, 국부좌굴은 x방향의 하

중 성분에 의하여 생기고, y방향(횡방향)에 따라 휨에 의하여 생기는 것으로 이 성분을 고려하면 라이너와 골심지 접촉부 사이에 생기는 좌굴하중인 단위폭당 국부좌굴압축하중은 $P_{\theta 2} = 4\pi^2 (EI)_{\theta} / (\cos \theta L)^2$ 로 나타냈다. 흐름방향인 종방향 압축의 경우에는, 라이너의 응력은 흐름방향에 따라 일정한 값을, 골심지의 응력은 주기적으로 특유한 변화를 나타내고, 골심지의 응력 값은 라이너의 휨응력이나 휨모멘트에 비하여 적다.

그러므로 좌굴시의 휨강도는 근사적으로 오일러의 좌굴식에 따라 비국부압축하중(P_1)은 $P_1 = \pi^2 (EI)_i / H^2$, 국부압축하중(P_2)은 $P_2 = 4\pi^2 (EI)_i / L^2$ 으로 나타낼 수 있다. 여기에서 $(EI)_i = E_i I_i$ 이며 E_i 는 라이너의 종탄성계수, I_i 는 라이너의 단위폭당 단면 2차 모멘트로서 $I_i = T_i^3 / 6$ 으로 나타낼 수 있다.

2. 연구방법

2.1 골판지의 플루트 프로파일과 휨응력

계산은 수치해석적 방법에 의하여 연속체를 유한개의 분리된 점으로 근사화하여 등가시스템으로 각각의 유한요소마다 하나의 식으로 풀고 이것들을 조합하여 전체 모델의 해를 구한다. 본 연구에서는 골판지가 휨하중을 받을 때 인자별 휨하중에 대한 응력분포와 변형형태를 분석하기 위하여 컴퓨터에 의한 유한요소구조 해석(finite element method)을 시도하여 해를 구하고 도식화 했다.

골판지의 플루트 프로파일과 휨응력과의 관계를 구하기 위하여 휨하중(W_0)의 결정, 휨응력의 분포상태 및 최대 휨응력(σ_{max})과 플루트 프로파일 인자와의 관계를 계산했다.

일반적으로 사용되고 있는 양면 골판지(A-flute)는 $L = 8.8 \sim 9.2$ mm, $h = 4.3 \sim 4.8$ mm 정도이다. 계산 편의상 라이너의 두께(T_i)는 0.30 mm, 골심지의 두께(T_m)는 0.24 mm, 골의 파장(L)은 9.2 mm, 골의 높이(h)는 4.6 mm의 플루트 프로파일을 수치계산을 위한 샘플로 했다. 실제 T_m 은 0.3 mm 정도의 두께도 있으므로 $T_m = 0.24 \sim 0.36$ mm의 범위로 하였으며, 계산을 용이하게 하기 위하여 종탄성계수 $E = 1$ N/mm², $W = 1$ μ N/mm로 했다. (골심지 소재의 포아송비(ν)(재료의 탄성한계

내에서 그 재료의 종변형률에 대한 횡변형률의 비는 일정한 값을 갖는다)는 종방향 0.22~0.25, 횡방향 0.11~0.13으로 보아 $\nu = 0.20$ 로 했다.)

2.2 골판지의 플루트 프로파일과 단면2차모멘트

재료역학강도의 계산기준이 되는 휨응력(σ)은 (23)식으로부터 휨모멘트(ML), 위치(z), 단면2차모멘트(I)에 따라 결정된다. 휨변형의 원동력이 되는 작용, 즉, ML은 일정($M = 1$ Nmm/mm)하다고 보았다. 따라서 ML을 나누면 휨응력을 정하는데 필요한 물리량은 단면2차모멘트이다.

여기에서 골심지 골의 평균 단면2차모멘트(I)와 플루트 프로파일(본란에서는 계산을 단순화하기 위하여 골심지의 플루트 프로파일을 정현파형으로 했다)과의 관계를 밝히기 위하여 (31), (32), (33)식으로 부터 구한 I와 (27)식, 그리고 (27)식의 적분후에 나온 h관계식으로부터, 골심지 플루트 프로파일 인자인 골심지 두께(T_m), 파장(L), 골 높이(h)와의 관계를 구할 수 있고, 골심지의 단면 휨폭(Δb)과 플루트 프로파일과의 관계를 구했다.

Fig. 18-d와 (34)식에 따른 계산에 의하면, 높이 위치(z)의 값이 큰 곳에서는 골심지의 휨폭(Δb)의 값이 대단히 크고, (34)식으로부터 평균 단면2차모멘트의 증가분(dI)는 z^2 의 인자에 따라 커진다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 높이위치(z)가 큰 곳에서 골심지의 단면휨폭(Δb)이 커진다는 것은, 일반 구조재료(예 : I 형강)에서 보는 것과 같이, 골판지의 골심지 플루트 프로파일을 형상화시킨다는 것은 단순히 라이너를 일정 간격으로 고정하기 위해서나, 고정용이한 형상으로 보지 않고, 역학적 재료강도 특성상으로 보아 대단히 중요하다는 것을 알았다.

또한 골심지 골의 단면 형상과 단면2차모멘트에 따른 최대휨응력의 변화상황을 밝히기 위하여 T_m , L, h의 관계를 수치계산에 의하여 구하고 도식화 했다.

상업용 코루게이팅 롤의 단면2차모멘트의 해석은 현재 국내에서 상업적으로 사용되고 있는 표준 코루게이팅 롤(S 회사 제품)을 선정하고, 그 규격치수를 실예(Table 1)로 하여 (38), (40)식에 따라 단면2차모멘트를 해석했다.

그리고 상업용으로 제시된 샘플 코루게이팅 롤의 치수(Table 1)를 사용하여 SK 210 × SCP 125 × SK 210으로 구성된 양면골판지 시트를 기준으로 골판지의 휨강성

($D=E \cdot I$)을 구하기 위하여 골심지 골의 높이 변화에 따른 단면2차모멘트(I)를 계산하고, 그 값으로 부터 단면2차모멘트의 변화에 따른 골판지의 휨강성을 계산하여 도식화 했다.

골판지의 압축강도는 탄성 횡좌굴을 고려하는 것이 타당하다고 보고 있으므로 E_x, I_x 를 계산에 의하여 구했다.

$E_{ly} \cdot E_{my}$ 는 라이너 및 골심지의 종(縱) 탄성계수로, 라이너 SK 210의 횡방향의 종탄성계수 $E_{ly}=21.04 \text{ kg/cm}^2 (\approx 2.1 \times 10^3 \text{ N/mm}^2)$, 플루트 횡방향의 골심지 SCP 125의 종탄성계수 $E_{my}=12.47 \text{ kg/cm}^2 (\approx 1.2 \times 10^3 \text{ N/mm}^2)$ 을 사용하여 계산했다. (보통 라이너의 종탄성계수는 골심지의 2배정도이고, 면적당 인장강도는 라이너가 골심지 보다 2배정도 크다.)

Specification		Dimension
Diameter(top and bottom roll)	(mm)	280.00
Height	(mm)	4.80
Tooth number	(ea.)	97.00
Pitch(wave length)	(mm)	9.07
Profile angle	(°)	54.50
Radius of roll top	(mm)	1.50
Radius of roll bottom	(mm)	1.80
Flutes per 30cm	(ea.)	33.08
Take-up factor	(-)	1.56

Maker : "S" company in Korea

그리고 우리나라 포장업계에서 거의 원전으로 사용되고 있는 골판지상자의 압축강도 추정식인 Kellicutt의 (55)식을 비롯하여, McKee의 (56)식, Wolf의 (58)식을 기초로 하여 골 높이의 변화에 의한 골판지의 두께 변화와 휨강성, 그리고 골판지상자의 압축강도를 계산하여 비교 검토하였다.

계산에 이용한 골판지상자의 압축강도 추정식은 각각 다음과 같다.

1) Kellicutt식^{54,56)}

$$P = P_x \left(\frac{(aX_2)^2}{\left(\frac{Z}{4}\right)^2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot J \cdot Z \dots\dots\dots (55)$$

여기에서 P : 골판지상자의 압축강도 (lbs)
 aX_2 : 플루트에 의한 정수(定數)
 (A골: 8.36, B골: 5.00, C골: 6.10, AB골: 13.36)
 Z : 상자의 주변장(=장+폭)×2 (in)
 J : 상자의 플루트에 의한 정수

(A골: 0.59, B골: 0.68, C골: 0.68, AB골: 0.55)
 P_x : 상자에 사용하는 구성원지(표면라이너, 골심지 및 이면라이너)의 압축강도(1인치당의 링크라시강도)를 합산한 총합 링크라시 강도치(Ibs/in) (=표면라이너+ α ×골심지+이면라이너)의 링크라시강도÷6) (α : 골심지의 골조율, A골: 1.532, B골: 1.361, C골: 1.477)

2) McKee식^{94,110)} (D_x, D_y 를 기초로 한 식)

$$P = 2.028 \cdot P_m^{0.746} \cdot (\sqrt{D_x \cdot D_y})^{0.254} \cdot Z^{0.492} \dots\dots (56)$$

여기에서 P = 골판지상자의 압축강도 (lbs)
 P_m = 사용된 골판지 시트의 수직압축강도 (lbs/in)
 D_x = 골판지의 휨강성 (MD방향) (lb/in)
 D_y = 골판지의 휨강성 (CD방향) (lb/in)
 Z = 골판지 상자의 주변장 (in) (= 장+폭)×2)
 단, 주변장에 대한 높이의 비율 $d/Z \geq 1/7$, D_x 와 D_y 는 4점식 휨강도(4-point beam flexural stiffness)이며 d는 골판지상자의 높이

3) McKee식 (h를 기초로 한 간편식)

$$P = 5.874 \cdot P_m \cdot h^{0.508} \cdot Z^{0.492} \\ \approx 5.87 \cdot P_m \cdot h^{0.5} \cdot Z^{0.5} = 5.87 \cdot P_m \cdot \sqrt{h \cdot z} \dots\dots (57)$$

여기에서 P : 골판지상자의 압축강도 (lbs)
 P_m : 사용된 골판지 시트의 수직압축강도 (lbs/in)
 h : 사용된 골판지 시트의 두께 (in)
 Z : 골판지 상자의 주변장 (in) (= 장+폭)×2)

4) Wolf식

$$P = \frac{5.2426E \cdot Z^{0.5} \cdot h^{0.5} (0.3228A - 0.1217A^2 + 1)}{D^{0.041}} \\ = \frac{5.2426 \cdot F \cdot \sqrt{Z} (0.3228A - 0.1217A^2 + 1)}{D^{0.041}} \dots\dots (58)$$

여기에서 P : 골판지상자의 압축강도 (lb)
 A : 골판지상자의 장/폭 비율 (L/W)

- E : 골방향의 수직압축강도(ECT) (lb/in)
- D : 상자의 높이 (in)
- h : 골판지 시트 두께 (in)
- Z : 골판지상자의 주변장 (in)
- F : 상수(常數) ($= \sqrt{h \times E}$)

2.3 골판지의 플루트 프로파일과 좌굴강도

압축하중은 기둥에 관한 변형으로 보아 오일러의 좌굴식을 적용할 수 있으며, 상자높이의 변형에 의해 생기는 비국부좌굴(P_1)과 라이너와, 골심지의 접착부 사이에 생기는 국부좌굴(P_2)로 나누어 좌굴시의 휨강도에 관하여 골판지플루트의 흐름방향(MD)으로부터 임의 압축방향의 각도(θ)에 압축하중이 작용할 때의 양면골판지시트의 좌굴강도 표시의 식을 도출하고 그 표시식에 따라 양면골판지시트의 좌굴강도 특성치 및 플루트 프로파일과의 관계를 해석했다.

골판지의 플루트 프로파일과 휨강성 및 좌굴강도에 관한 해석을 위하여, 일반적으로 사용되고 있는 양면골판지의 규격에 맞춰 $T_s = 0.30 \text{ mm}$ 및 $T_m = 0.24 \text{ mm}$, $L = 9.2 \text{ mm}$, $h = 4.6 \text{ mm}$ 를 기준으로 했다. E_{mx} (골심지의 종방향의 종탄성계수), E_{my} (골심지의 횡방향의 종탄성계수) 및 E_{sx} (라이너의 종방향의 종탄성계수), E_{sy} (라이너의 횡방향의 종탄성계수)를 기준으로 정하고 $E_{mx} = 1.00 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$, $E_{my} = 0.50 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$, $E_{sx} = 2.64 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$, $E_{sy} = 1.00 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 으로 가정하여 계산하고 도식화 했다.

IV. 결과 및 고찰

1. 골판지의 플루트 프로파일과 휨응력과의 관계

1.1 횡하중의 결정과 플루트 프로파일과의 관계

골심지의 플루트 프로파일에 작용하는 횡하중(lateral

weight, W_0)를 구하면, (12)식 및 (16)식으로 N과 M을 알고 (15)식에 의하여 라이너접착부의 고정모멘트(fixed moment, M_0)를 구하고 (8)식 및 (14)식에 의하여 휨응력(σ)를 구했다. 그러므로 W_0 의 값을 구하여 형상과의 관계 거동을 밝히는 것이 필요하다.

그런데 얻어진 W_0 값은 분할수의 변화에 따라 변동하므로, (19), (20)식의 수치계산에 의하여 반타원파형의 W_0 를 구할 때 x영역($0 \sim L/4$)의 수치 적분분할수(grid)를 크게 해서(2048까지), 계산에 의한 W_0 값의 오차는 0.5%이하가 되도록 했다. 그리고 계산을 용이하게 하기 위하여 $W = 1(\mu N)$ 으로 단위화한 때의 W_0 을 구하여 검토했다.

정현파형의 횡하중을 W_{os} , 반타원파형의 횡하중을 W_{oe} 로 하여, W_{os} 및 W_{oe} 와 골심지 두께 T_m 및 $h/2$ 와, 얻어진 반타원파형 및 반원파형 골의 W_0 와 T_m 의 관계를 구하고, 반타원파형의 편향비에 있어서, 그 타원축반경과의 비율인 편향비(ratio of half wave height $h/2$ to radius of curvature in the wave height) ($r = h/2Z^*$)의 관계를 계산에 의하여 구했다.

Fig. 17-c에서 x^* 및 z^* 는 골심지파형의 기본이 되는 z_0 의 반타원파형의 x 및 z방향의 축 반경이며 L은 파형의 파장이다. $L = 2h$ 때의 정현파형과, $R = L/4 = h/2$ 인 반타원파형의 골심지의 횡하중 W_0 와 T_m 의 관계를 구하고, 그 관계를 Fig. 27에 나타냈다. Fig. 27에서 T_m 의 증가에 따라 W_{oe} , W_{os} 는 공히 완만히 저하하고, 그 크기는 W_{oe} 가 W_{os} 의 약 70~80%정도가 되었다.(ratio of $W_{oe}/W_{os} \approx 0.7\sim 0.8$), W_{oe} 와 W_{os} 는 골심지 두께(T_m)의 증가에 따라 감소하고, 파장(L)의 증가에 따라서는 W_{oe} , W_{os} 모두 거의 비례하여 증가하며(Fig. 28), h의 증가에 따라서는 모두 거의 반비례적으로 감소함을 알았다(Fig. 29). 계산에 의하면 W_0 와 r과의 관계는, r의 증가에 따라 W_0 는 약간 감소하는 경향을 나타냈다(Fig.30). 이것은 r의 변화에 따른 형상변화에 의하여 생기는 것이라 보아진다. W_0 의 변화는 골형상이 강하게 영향을 주고 있음을 알았다.

(16)식에 의하여 휨모멘트는 T_m 와 무관해 보이지만, 이 (16)식과 (8)식에 의하여 T_m 의 증가에 의한 W_0 의 완만함 감소는 T_m 의 증가에 따른강도의 증가에 의한 것이라 보여진다. 그리고 W_0 가 작용하는 점의 모멘트 M_0 는 형상계수 L, h에 의하여 변하는 것으로 보여진다.

본 해석에서 반타원파형 및 정현파의 M_0 값은 공히 -값이

된다. 반타원형과의 M_o 를 M_s 로, 정현파형의 M_o 를 M_s 로 나타내고, $|M_o|$ 및 $|M_s|$ 와 L 및 h 의 관계를 각각 구하여 Fig. 31, 32에 각각 도식화했다.

Fig. 31에서 $|M_o|$ 및 $|M_s|$ 는 L 의 증가에 따라 비례적으로 증가하고, Fig. 32에서는 h 의 증가에 따라 약간 감소하고 증가하지만, 거의 일정하다는 것을 알았다. 또한 (17) 식으로부터 W_o 의 관계는 $M_o \leq (WL/4)$ 를 만족시키고 있다는 것을 알았다. 이들로부터 W_{oe} 및 W_{os} 의 L 에 의한 비례적 증가는 L 에 의한 $[WL/4 - M_o]$ 의 값의 비례적 증가에 의하여 생기고, W_{oe} 및 W_{os} 의 h 에 의한 반비례적 감소는 h 의 변화에 대하여 $|M_o|$ 및 $|M_s|$ 의 값이 거의 일정하다는 것으로부터 $1/h$ 의 강한 기여가 생겨 나타나는 것이라 보여진다. 또한 $W_o < W_s$ 가 되는 것은 Fig. 31로부터 $|M_o| > |M_s|$ 에 의한 것이라 보여진다.

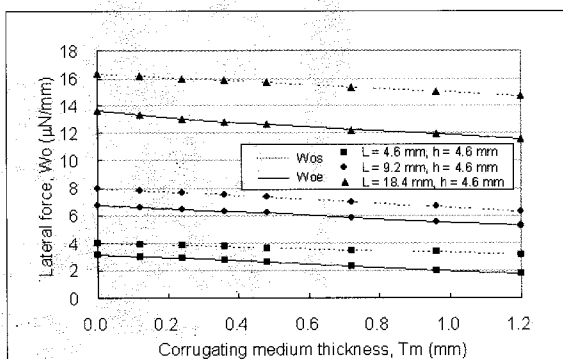


Fig. 27. Relationship between lateral force and medium thickness.

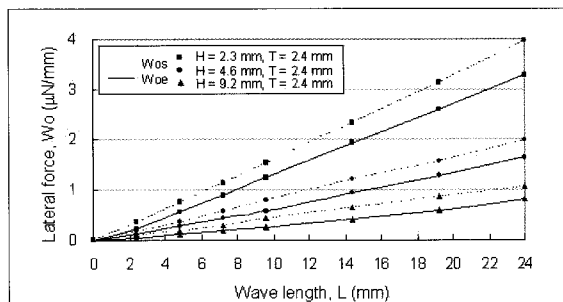


Fig. 28. Relationship between lateral force and wave length.

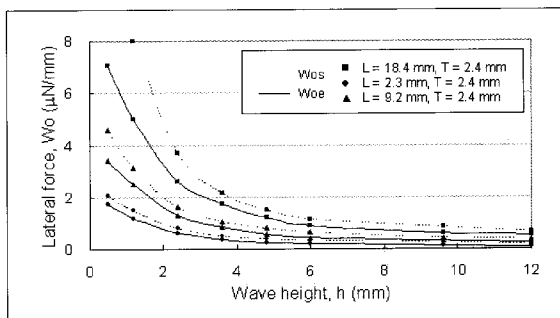


Fig. 29. Relationship between lateral force and wave height.

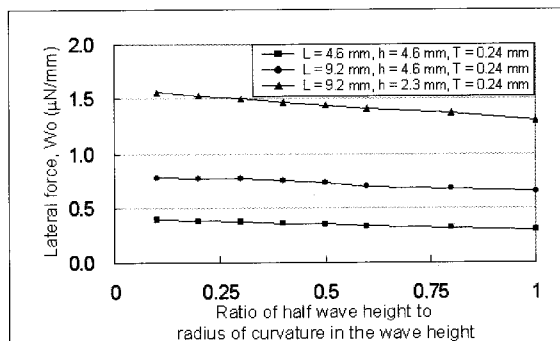


Fig. 30. Relationship between lateral force and ratio of halfwave height to radius of curvature in the wave height of elliptic wave.

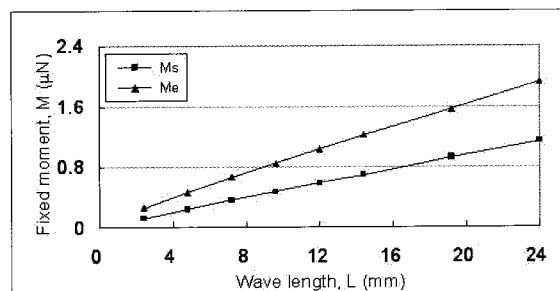


Fig. 31. Relationship between fixed moment and wave length. Here, M_e and M_s are fixed moments for medium flute of the elliptic and sinusoidal shapes.

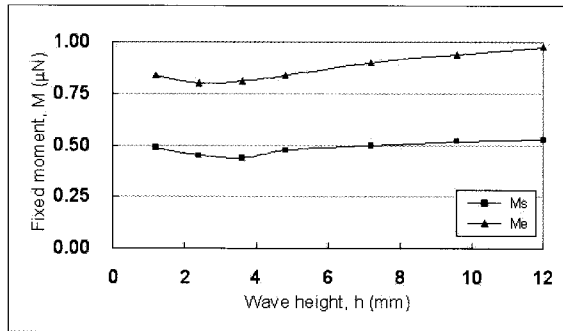


Fig. 32. Relationship between fixed moment and wave height. Here, M_e and M_s are fixed moments for medium flute of the elliptic and sinusoidal shapes.

1.2 휨응력의 분포상태와 플루트 프로파일과의 관계

반타원형과의 플루트에 작용하는 모멘트 M_e 와 플루트의 흐름방향의 기준 위치 0으로 부터의 거리 x 의 관계, 및 정현파형의 플루트에 작용하는 모멘트 M_s 와 x 의 관계를 각각 구하면(Fig. 33), $x \approx L/32$ 에서 $|M_e|$ 의 극대가, $x \approx L/12$ 에서 $|M_s|$ 의 극대가 생기고, $|M_e|$ 의 극대치는 $|M_s|$ 의 약 2배정도임을 알았다. 이 특징은 플루트의 프로파일 특성에 의하여 W_{os} 의 값이 W_{oe} 의 값보다 크고, 그 변화도 크게 되어, 모멘트의 상이에 강하게 영향을 주고 있다고 보여진다. 구한 모멘트 $M(M_e, M_s)$ 과 x 의 관계는 Fig. 33에 나타내었는데, x 의 증가에 따른 M_e 및 M_s 의 변화가 α_e 및 α_s 의 x 에 따른 변화(Fig. 34)와 같았다. 따라서 x 의 증가에 의한 $|\alpha_e|$ 및 $|\alpha_s|$ 의 극대, 그리고 $x = L/4$ 의 α_{max} 및 α_{smax} 의 발생은 x 에 의한 모멘트의 변화에 의한 것이라 보여진다.

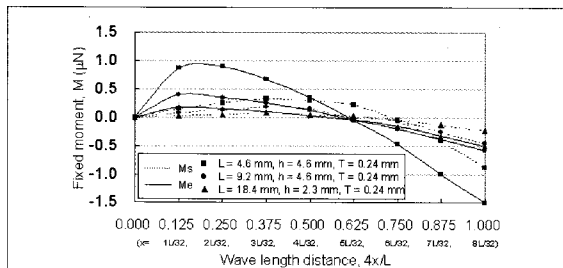


Fig. 33. Relationship between fixed moment and wavelength distance.

반타원파형 및 정현파형의 골에 대한 휨응력의 분포상태를 밝히기 위해 (6)식에 따라, 소정의 위치 x 에 있어서 반타원파형과 정현파형의 골형상에 대한 각 휨응력 α_e 및 α_s 와 x 와의 관계를 구하여 도식화 했다(Fig. 34).

Fig. 34로부터, 구한 값은 모두 골심지 내측(인장측, $t = T_m/2$)표면의 위치 $x = 0$ 에서 응력은 거의 0으로서 작은 인장응력이 있고, $x = L/4$ ($4x/L=1.00$), $t = T_m/2$ 의 위치에서 양 응력의 절대값이 가장 크고, 내측의 응력인 인장측의 응력($t = T_m/2$)이 외측(압축측) 표면의 값 보다 크다는 것을 알았다(Fig. 34). 그 값은 반타원형과의 휨응력(α_e)이 정현파형의 휨응력(α_s) 보다 크고(약 1.6배), 파장 L 의 증가에 따라 증가하며, r 의 증가에 따라서는 점차 감소한다는 것을 알았다. 이들 최대치를 각각 α_{emax} , α_{smax} 로 나타내었다. $x = L/4$ 의 $|\sigma|$ 의 최대 또는 최소의 발생은, r 에 대한 모멘트의 변화에 의한 것이라 보여진다.

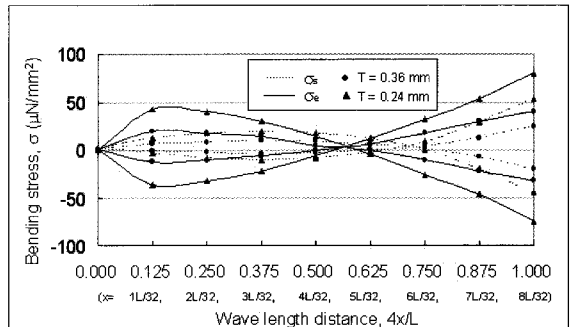


Fig. 34. Relationship between bending stress and wave length distance.

휨응력의 최대값(α_{max})은 $|z|$ 및 $|t|$ 의 양 값의 최대치가 되는 위치, 즉, 골의 꼭대기부 ($x=L/4, T_m/2$) 및 골의 바닥부($x=-L/4, t=-T_m/2$)에서 생긴다고 보여진다. 그리고 α_e 는 r 의 증가에 따라 $x=L/32(=R/8)$, 반경 R (abscissa)= $L/4$ 로서 나타냈다)의 위치인 압축측표면의 부근에서극대가 발생하고, 후에 $L/12$ 로 점차 변화했다. 앞에서 $|\alpha_e|$ 의 극대치는 $|\alpha_s|$ 의 극대치의 약 1~2배(1.6배) 정도 되었다($|M_e|$ 의 극대치도 $|M_s|$ 극대치의 약 1~2배(1.6배) 이다)는 것을 알았다.

α_e 는 $x = L/32(=R/8)$ 부근에서, α_s 는 $x = L/12$ 위치 부근에서 극대가 발생하고, α_e 의 절대값은 $x = L/4$ 의 $|\alpha_e|$ 에

비해 거의 1/2이 되어, 상당히 적지만, L/h의 값이 커지면, 편향비(골의 1/2 높이와 골높이 방향의 타원축 반경과의 비, r)의 증가에 따라 |극대응력/최대응력|의 비율은 적어지고 결국에는 같아지는 경향을 나타냈다.

이러한 사실들로부터 양 파형의 응력은 일반 보와 같이 응력의 절대값의 최대값은 골심지 플루트의 내표면($t = -T_m/2$)에 있고, $x = 0$ 에서 응력은 거의 0(zero)이며, $x = L/2$ 에서 응력의 절대치는 가장 크게 된다는 것을 알았다.

또한 이것은 골심지 재료가 $x=L/4$ 의 위치 뿐 아니라 $x = L/12$ 부근의 위치에 있어서도 강도에 기여하는 역할을 한다고 볼 수 있다. 두께 방향의 위치 t와의 관계에 있어서도 |t|의 증가에 따라 단조롭게 증가함을 확인했다.

다음에 나오는 Fig. 35에서 T_m 의 증가에 따라 응력절대치는 감소하고 있음을 알 수 있고, 이것은 강도적인 측면에서 불대 골 정갱이(flute flanks)부분의 중요성을 시사하고 있다.

1.3 최대 휨응력과 플루트 프로파일과의 관계

재료의 파괴는 휨응력의 절대치가 최대가 되는 위치에서 일어나는 것으로 본다. 골심지 두께(T_m), 골의 파장(L), 골의 높이(h), 골의 편향비(r)는 플루트 프로파일의 기본 설계 형식에서 중요한 인자이므로, 최대 휨응력인 σ_{max} (σ_{smax} , σ_{max})와 T_m , L, h, r의 관계를 구했다.

1.3.1 최대 휨응력(σ_{max})과 골심지 두께(T_m)의 관계

Fig. 35로부터 곡률반경(ρ)이 $T_m/2$ 보다 큰 영역에서는 반타원파형 및 정현파형 플루트 프로파일의 응력(σ_{max} , σ_{smax})은 T_m 의 증가에 따라 현저히 감소함을 알았다.

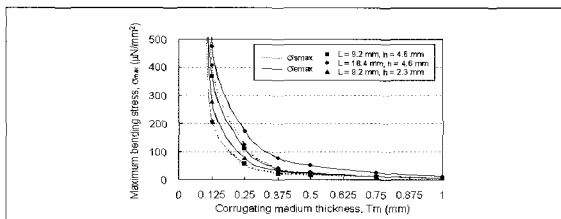


Fig. 35. Relationship between maximum bending stress and medium thickness.

이 감소는 (8)식의 T_m 의 증가에 의한 강한 응력의 감소를 나타내는 특성에 따른 것이라 보여진다. 또한 이 감소는 (23)식($\sigma = Mz/I$)으로부터, T_m 의 증가에 따라 골심지의 단면2차모멘트(I)가 정비례적으로 증가함에 따라 응력이 감소하기 때문이라고 보여진다(Fig. 39참고). 그리고 파터원 형파 및 정현파형에 있어서 곡률반경 $\rho \approx T_m/2$ 에서 σ_{max} , σ_{smax} 가 급격하게 커지고 무한대로 되어있음을 알았다.

1.3.2 최대 휨응력(σ_{max})과 골의 파장(L)의 관계

Fig. 36으로부터 L이 적은 영역(골심지의 최소 곡률반경 $\rho \approx T_m/2$ 가 되는 L영역)에서는 σ_{max} 및 σ_{smax} 가 존재하지 않지만, 어떤 특정값을 넘어선 영역($\rho > T_m/2$ 가 되는 영역)에서 생기고, 정현파형 및 반타원파형 플루트 프로파일의 응력은 L의 증가에 따라 먼저 무한대 값으로부터

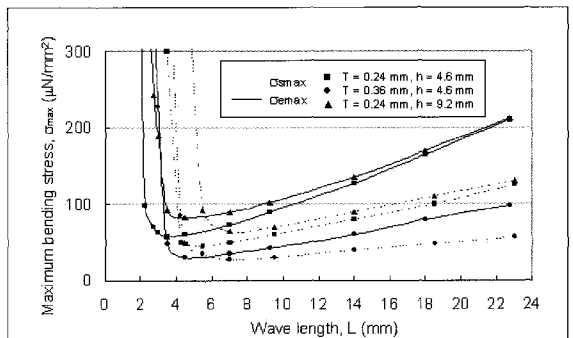


Fig. 36. Relationship between maximum bending stress and wave length.

급격히 감소한 다음, L의 증가에 비례하여 거의 증가한다는 것을 알았다. 또한 이 사이에서 극소가 생겼다. 이것은 (1), (2), (16)식에 따라 L의 증가에 의한 |M|의 증가에 기인하는 것으로 보여지며, 또한 L에 의한 σ_{max} 의 증가 때와 같이 L의 증가에 의한 단면적 감소에 따른 I의 급감에 의한 것(Fig. 40 참고)이라 보여진다.

1.3.3 최대 휨응력(σ_{max})과 골의 높이(h)의 관계

Fig. 37로부터 정현파형 및 반타원파형 플루트 프로파일

의 응력은 h 가 큰 지역에서는 존재하지 않고 어느 특정치 (곡률반경 $\rho = T_m/2$ 가 되는 h 의 값)이하의 영역에서 생긴다는 것을 알았다. 그리고 그 값은 h 의 증가에 따라 먼저 급격하게 감소하고, 후에 곡률반경 $\rho = T_m/2$ 가 되는 h 의 값에 가까워지면 완만하게 증가한다는 것을 알았다.

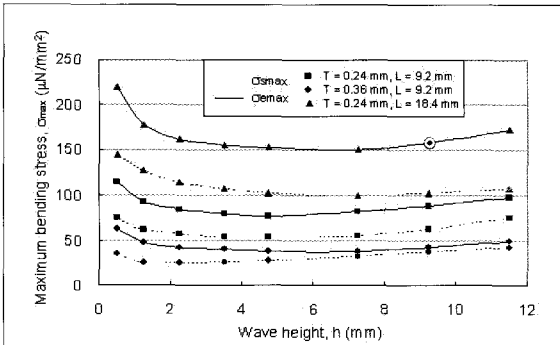


Fig. 37. Relationship between maximum bending stress and wave height.

그리고 그 사이에서 극소가 생겼다. 이 h 에 σ_{max} 의 한의 감소경향은 (14)식, (17)식 및 (Fig. 29)에 따라 h 의 증가에 따른 감소 및, (23)식 ($\sigma = Mz/I$)로 부터 h 에 의한 I 의 증가의 경향(Fig. 41)이라고 보여진다.

1.3.4 최대 휨응력(σ_{max})과 편향비(r)와의 관계

Fig. 38로부터 형상에 의하기보다는 r 의 증가에 따라 최대휨응력(σ_{max})은 점차 증가하고 있음을 알았다.

편향비(r)는 $r = h/2Z^*$ 로서 반파장(half wave) 높이 ($h/2$)와 타원곡형의 축반경(profile radius)(골 높이 방향)과의 비율이다. Z^* 는 골형상의 기초가 되는 z_0 지점의 반타원형과의 z 방향 축 반경이다(Fig. 17-c).

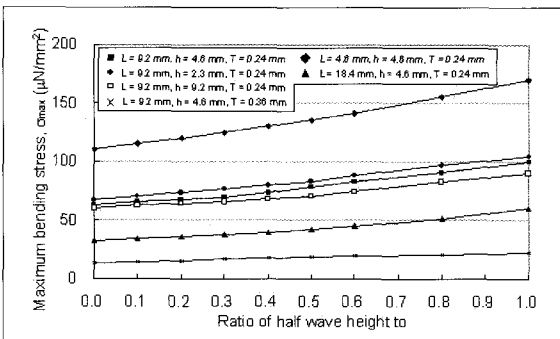


Fig. 38. Relationship between maximum bending stress and ratio of half wave height to radius of curvature in the wave height for medium.

반타원곡형 프로파일은 정현곡형보다, 전영역에서 $|\sigma|$ 가 큰 상태를 취하여, 최대응력이 거의 2배정도로 크고, 그 강도는 정현곡형에 비하여 상당히 낮아진다는 것을 알았다. 그러므로 반타원형과 골의 형상설정에 대하여는 응력의 무한대 발생이 생기지 않는 배려가 필요하다.

따라서 파장과 골 높이와의 관계에 유연성을 부여시켜 그 선택의 자유도를 크게하여 무한대의 발생을 방지할 수 있다고 보여진다. 일정두께의 시트로서의 재료부포상에서 보면 반타원형 골은 합리적인 상태가 된다고 볼 수 있다. 따라서 r 을 적게 취하는 편타원형과 모양의 골 형상은 의 무한대 발생이 어렵고, σ_{max} 를 정현과플루트 정도의 크기로 내리는 플루트 프로파일 선정도 가능하다고 보여진다.

현장에서 사용되고 있는 골판지의 골심지 골형상을 U골, V골 등으로 부르르고 있고, 이것은 U골은 반타원형과, V골은 정현곡형에 가깝다고 보고 있다(Fig. 16). 그런데 U골의 형상의 단면은 정현과형상(V골)보다 플루트 팁부의 폭이 넓은 형상을 하고, 종방향의 휨(모멘트축은 골 흐름 방향)에 대하여 보다 큰 단면 z 모멘트 값을 취하는 이상적인 형상이라고도 볼 수 있다.

최대 휨 응력과 골형상인자와의 상관관계에 있어서, 골심지 두께(T_m)의 증가에 따른 최대 휨응력(σ_{max}) 값의 현저한 감소는 T_m 의 증가에 의한 강도의 강한 증가에 의한 것이라 보여지며, L 의 증가에 따른 σ_{max} 의 증가는 (8)식, (16)식 및 Fig. 28에 따라 L 의 증가에 따른 W_0 의 증가에 의한 것이라고 보여진다. h 의 증가에 따른 σ_{max} 의 감소는 (8)식, (16)식 및 Fig. 29로부터 h 의 증가에 따른 W_0 의 감소에 의한 것이라 볼 수 있다.

앞 그림에서 T_m, L, h 의 변화에 의한 응력의 무한대의 발생은 (8)식의 $1/(\sigma + t)$ 의 항에서 $\rho = T_m/2, t = -T_m/2$ 가 되는 위치에서 응력 무한대의 발생에 의한 것이라고 보여진다.

그런데 σ_{max} 의 값은 T_m, L, h 의 값에 별개로하여 σ_{max} 의 거의 1.6배 정도라는 것을 알았다. 이것은 (8)식, (14)식, Fig. 31, Fig. 32에 따라 $M_0 > M_0$ 에 의하여 생긴 것으로 보여진다. 그리고 r 의 증가에 따라 점차 감소했다.

골심지 골의 강도에 대한 골 형상의 설정에 대해서는 반

타원형과형, 정현과형의 플루트 프로파일 공히, 골의 최소 곡률반경 $\rho > T_m/2$ 의 영역에서는 가능한 T_m 및 h 는 크게, L 및 r 은 작게하는 것이 σ_{max} 를 저하시켜, 강도상 타당한 설정이 된다고 보여진다.

이상과 같이, 강도에 대한 역학적 관점에서 보면, 휨응력의 절대값이 무한대 값이 발생하지 않는 영역에서는, 가능

한 T_m 및 h 는 크고, L 및 r 은 적게 되도록 플루트 프로파일 설정을 행하면 σ_{max} (σ_{max} , σ_{max})는 적은 값이 되고 타당한 강도상태를 나타내어 효과적인 골 형상의 설정이 된다는 것을 알았다. 특히 면압축을 받는 골관지의 골심지플루트의 편향비의 적절한 설정은 재료의 효과적 이용과 강도설정상 중요하다는 것을 확인했다.

- 그동안 애독해주셔서 감사합니다. -

축 발 전

뜻깊은 창립이 무궁한 발전과 번영의
초석이 되기를 기원합니다.

(주)동 주
대표이사 전점표

3월 3일 창립기념일을 축하합니다.

축 발 전

뜻깊은 창립이 무궁한 발전과 번영의
초석이 되기를 기원합니다.

대성판지공업사
대표이사 이정희

3월 8일 창립기념일을 축하합니다.