

시트 성형에서 박육화 현상의 해석

목차

1. 머리말	4. 두께 변화의 해석
2. 박육화 현상	4-1. 절두원주의 두께 변화
3. 두께의 변화	4-2. 두께 감소량에 따른 해석
3-1. 경험측의 드로잉 깊이	4-3. 컴퓨터 그래픽에 의한 고찰
3-2. 드로잉비	5. 맺음말
3-3. 원통형의 두께 변화	
3-4. 선형 드로잉비	
3-5. 직사각형 상자형의 두께 변화	
3-6. 직각 코너의 두께 변화	

1. 머리말

플라스틱 시트 성형은 2차 성형이라고 지칭되어 시출성형이나 압축성형과 같은 주된 성형군(이것들은 1차 성형이라고 한다)에서 벗어나는 것이 보통이다. 지금까지 성형법의 발전에 있어서 시트 성형은 1차 성형의 그늘에 감춰져 주목받는 일이 적었다. 또한 시트 성형은 성형성의 해석 불능과 성형품의 두께 편차 때문에 공업분야에서는 적당하지 않은 것으로 낙인되어 왔다. 시트 성형은 그 발전기에 기대를 받아 왔으나 성형품의 물성에 문제가 있어 기대에 못미친 경우도 있었다. 그러나 최근에 와서 이 시트 성형이 그 유용성을 발휘하고, 게다가 미국의 각 연구기관에서 이론과 실제의 통일 연구가 시작되어 새로운 발전의 양상을 드러내고 있다.

이 글에서는 하나의 기본 모델에 대해 그 박육화 현상의 고전적인 해

석에서부터 적분 해석까지를 다룬다.

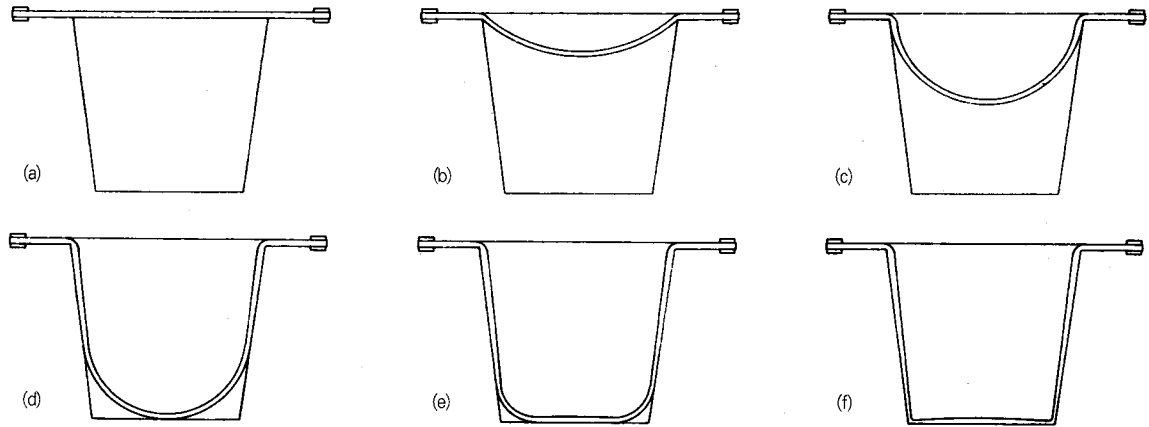
2 박육화 현상

박육화(thinning)는 시트(sheet) 성형이나 블로(blow) 성형 등 블랭크체적 불변의 성형법에 나타나는 현상으로, 특히 가열 연화를 수반하는 성형법에서 현저하게 나타난다. 표면적이 증가함에 따라 시트의 두께가 감소하나, 일부의 성형법을 제외하고는 두께가 균일한 감소를 나타내는 일은 없다. 일반적으로는 형의 본래 모습에서 감소하는 경향이 어느 정도는 예측되기 때문에 경험측(經驗則)에 의거하는 설계가 이루어지고 있다(그림 1).

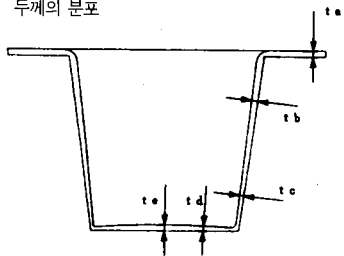
박육화 현상이 왜 일어나는가에 대해서는 다음과 같은 몇 가지 이유에 의거한다.

▲금형의 접촉으로 인한 유동성 저하. 금형 접촉시간의 차이에 따라

(그림 1)



두께의 분포



스트레이트 성형일 경우의 두께는 각 부분에서 달라 좌측 그림에 서는 다음과 같이 되어 있다.

$$t_a > t_b > t_c \geq t_d$$

시트 온도의 하강으로 인한 점탄성 값이 흔들려 시트가 균일하게 연신되지 않는다. 또 접촉면에 있어서는 금형의 표면 거칠기가 시트의 슬라이드성을 나쁘게 한다.

▲캘린더 링 또는 압출로 인해 생성된 내부의 변형이 이방성(異方性)을 나타내어 균일한 연신이 이루어지

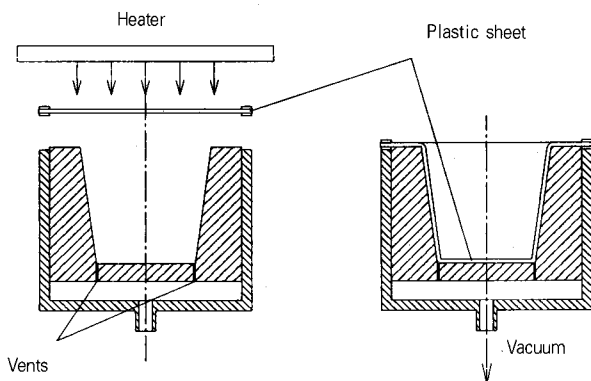
지 않는다.

▲결정성 수지의 부분 결정화로 인한 유동의 분산

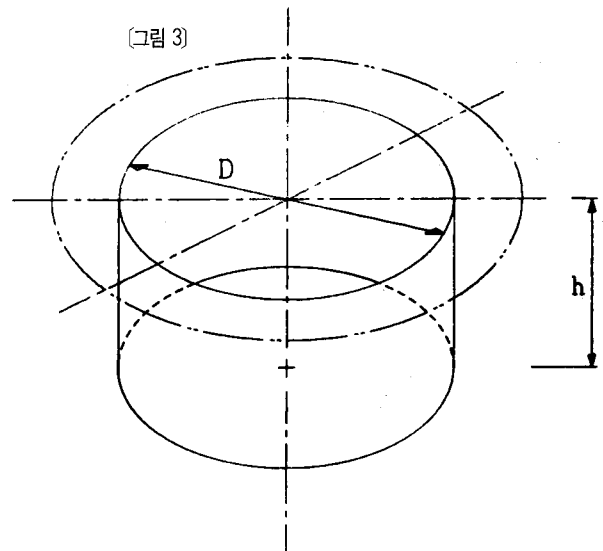
▲통기 구멍의 형상이나 배치로 인한 감압의 분산

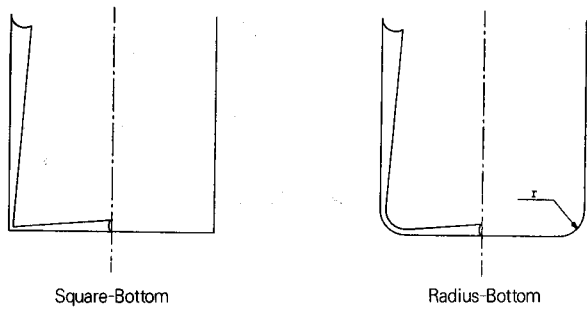
▲금형 형상에 따른 시트 접촉 순

(그림 2)

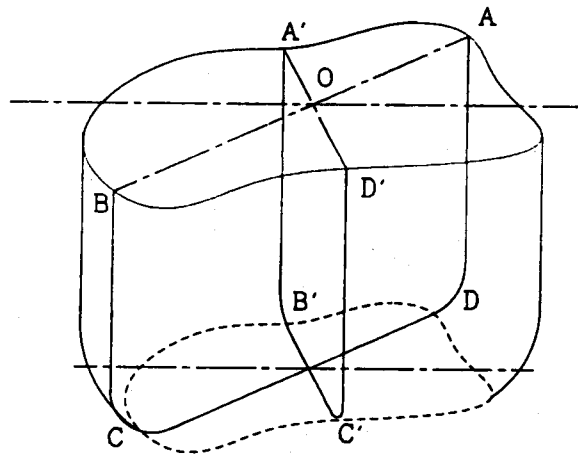


(그림 3)





(그림 4)



(그림 5) 이형 선형 드로잉비

서의 차이에서 연신의 분산이 생긴다. 높이와 폭의 비, 능선부의 각도나 반경의 영향 등 때문이다.

3. 두께의 변화

3-1. 경험칙의 드로잉 깊이

박육화 현상의 중요성이 높아 비교적 경험칙이 얻기 쉬운 점에서 그 값이 많은 고전적 문헌에 나타나 있다. 성형품의 드로잉률은 일반적으로 시트 성형(그림 2)의 드로잉 깊이에 대해 논의되고 있는데, 그것은 폭과 깊이의 관계로 나타낸다. h 를 깊이, D 를 성형품의 폭(일반적으로 '간구(間口)'라고 호칭한다)으로 하면,

$$h \leq D \quad (1-1)$$

이 '성형 한도'로 생각된다.

$$h > D \quad (1-2)$$

1-2식은 깊이의 값이 간구의 값보다 크다는 것을 의미한다. 사실 이 경우에는 범용수지의 PP, PVC에서는 불량률이 많아져 양품(良品)을 얻기 어렵다. 물론 양품의 기준을 어디에 두는가에 따라 이 조건식의 성패가

결정됨은 두말할 것도 없다. 일반적으로는 다음 식을 기준으로 한다.

$$h \leq D/2 \quad (1-3)$$

이것 이상의 디프 드로잉에 대해서는 드레이프 성형이나 플러그 어시스트 성형, 에어슬립 성형 등의 예상(豫長)공정을 결합한 성형법이 채택되는데, 이 경우에도 1-1식의 조건내로 모아야 한다. 다음에는 보다 구체적으로 보기로 한다.

3-2. 드로잉비(Draw Ratios)

시트 성형의 과정에 있어서는 성형되기 전의 시트는 두께가 t_0 , 표면적이 A_0 이나 부분적 연신에 의해 표면적은 $A(A_0)$ 로 되고, 그 평균 두께는 $t_a(t_a(t_0))$ 로 된다. 플라스틱의 체적 V 는 본질적으로 변화하지 않는다는 조건에서 다음 식을 얻을 수 있다.

$$V = t_0 A_0 = \int t dA = t_a A \quad (1-4)$$

연신의 가장 단순한 수치화는 면 드로잉비(areal draw ratio) R_0 로, 다음의 식으로 나타낸다.

$$R_0 = A/A_0 \quad (1-5)$$

R_a 는 두께에 있어서 비율의 기준이 되기도 한다.

$$R_a = t/t_0 \quad (1-6)$$

이 기준은 2축 연신 시트의 연신비로서도 확인된다.

원통형의 연신으로 인해 면드로잉비는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} R_a &= (A_{\text{sidewall}} + A_{\text{bottom}})/A_0 \\ &= (\pi Dh + \pi D^2/4)/\pi D^2/4 \\ &= (4h/D) + 1 \end{aligned} \quad (1-7)$$

변화율(reduced areal draw ratio), R_a^* 는 다음과 같은 식이다.

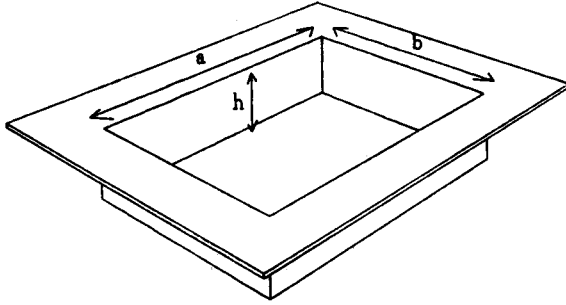
$$R_a^* = R_a - 1$$

3-3. 원통형의 두께 변화

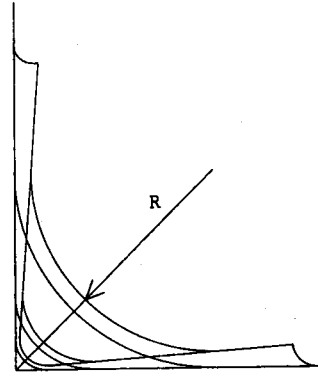
원통형(Right Cylinder)에 대해 살펴 보기로 한다.

간구의 직경 D , 깊이 h 의 원통형을 두께 t_0 의 시트로 성형하는 경우 그림 3에서 나타내는 바와 같이 면적 $\pi (D/2)^2$ 이 $\pi (D/2)^2 + 2\pi (D/2)h$ 로 연신하기 때문에 면드로잉비 R_a 는 $1 + 4(h/D)$ 가 된다.

이 때 1-1식의 상한인 간구와 깊이



(그림 6) 직사각형 상자형 형상



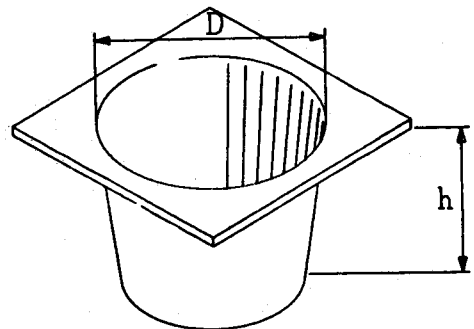
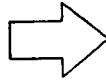
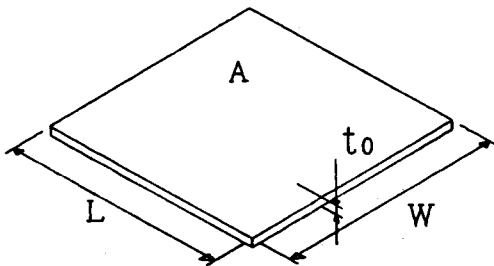
(그림 7)

의 비를 1:1로 하면 $h=D$ 이기 때문에 $Ra=5$ 가 된다. 1-6식에서 $t=5t_0$ 가 되어 성형하기 전의 시트(브랭크)가 평균적으로 5배로 늘어나게 된다.

이 경우에 주의하여야 할 점은 바닥 코너(필렛)의 두께가 평균 두께에 비해 상당히 얇아지는 점이다. 플라스틱 시트의 체적은 불변이라고 생각해도 되기 때문에 바닥 코너의 차이분은 다른 장소에 남아 있게 된다. 바닥 코너에 라운드(round)를 둠으로써 바닥 코너가 극단적으로 얇아지는 것을 피할 수 있다. 그림 4는 직각인 바닥 코너와 라운드가 있는 바닥 코너의 다면도이다. 바닥 코너의 라운드를 반경 $r'=D/8$ 로 하면 면드 로잉비는 다음 식과 같이 된다.

$$Ra_i = (4h/D) + 1 \quad (3/4)^2 +$$

(그림 8) 성형으로 인한 형상 변화



$(\pi/4) - 1/2$
 $= (4h/D) + 0.848$ (1-9)
 직각 바닥 코너 $r'=0$ 로, 이미 설명한 식이 된다.

$Ra = (4h/D) + 1$ (1-10)
 따라서 간구와 깊이가 같을 때 ($h=D$) Ra_i 은 Ra 의 97%가 된다.

3-4. 선형 드로잉비 (linear draw ratio)

선형 드로잉비 RL은 시트 평면상에서 직선으로 나타낸 구성 요소와 그것을 표면에 투영시킨 길이의 비율로 나타낸다. (그림 5)

$$RL = (2h+D)/D = (2h/D) + 1 \quad (1-11)$$

RL은 연신비의 깊이이기도 하고 변화율(reduced liner draw ratio) Rh^* 은 다음식으로 나타낸다.

$$RL^* = RL - 1 \quad (1-12)$$

단순한 기하학적 형상을 제외하고는 면적비와 선형의 드로잉비는 관계 없다. RL은 인위적 개념이기 때문에 Ra 는 국부적 드로잉이 실제의 평균 치와는 달라진다.

3-5. 직사각형 상자형 (Right Rectangle)의 두께 변화

직사각형 상자형의 형상은 $a \times b \times h$ 이다. 표면적 ARR은 다음의 식이다. (그림 6)

$$ARR = 2ah + 2bh + ab \quad (1-13)$$

면드로잉비는 다음의 식이다.

$$Ra = 2(h/b + h/a) + 1 \quad (1-14)$$

선형 드로잉비 RL은 3가지의 값으로 이루어진다.

$$RL(a \text{ side}) = (2h/b) + 1 \quad (1-15)$$

$$RL(b \text{ side}) = (2h/a) + 1 \quad (1-16)$$

$$RL(\text{diagonal}) = 2h/(a^2+b^2)^{1/2} + 1 \quad (1-17)$$

3-6. 직각 코너의 두께 변화

원통형과 직사각형의 두께 변화는 박육화로 인해 균일하게는 되지 않는다. 바닥 코너의 두께 변화를 살펴보기로 하자. 단, 고찰은 2차원적으로 받아들이는 것으로 한다.

그림 7은 측면이 직각에 접하는 코너의 두께 변화를 나타낸 것이다. 시트는 구각(球殼)으로, 2차원적인 방식으로 받아들여 초기의 곡률 반경을 R, 시트의 길이를 $\pi R/2$ 로 한다. $r=nR$ 에서는 시트의 길이가 $\pi r/2 + 2(R-r)$ 이다. 그러므로 선형 드로잉 비, RL은 다음 식이 된다.

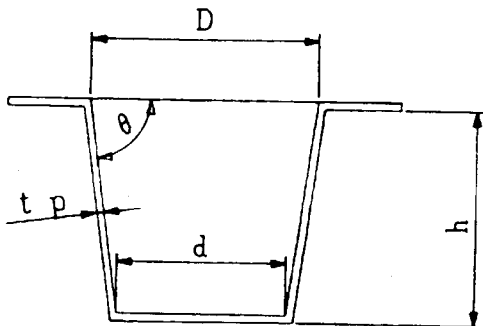
$$RL = 4(1-n)/\pi + n \quad (1-18)$$

따라서 코너의 극한 $n=0$ 에서는 $RL=4/\pi=1.27$ 이 된다. 이 값은 2차원적인 직각 코너의 선형 드로잉비 평균치를 나타낸다.

바닥과 측면에 접해있지 않은 부분, 자유 곡면의 각 범위에 있어서 RL은 다음과 같이 된다.

$$R/2 < r < R \\ RL_1 = (4/\pi + 1)/2 = 1.14 \quad (1-19)$$

(그림 9) 단면도



$$R/4 < r < R/2 \\ RL_2 = (4/\pi + 1)^2/2^2 = 1.29 \quad (1-20)$$

$$R/8 < r < R/4 \\ RL_3 = (4/\pi + 1)^3/2^3 = 1.47 \quad (1-21)$$

일반식은 다음 식과 같이 된다.

$$R/2^m < r < R/2^{m-1} \\ RL_m = (4/\pi + 1)^m/2^m = (1.14)^m \quad (1-22)$$

따라서 극한에서는 다음과 같은 식이 된다.

$$\lim_{r \rightarrow 0} RL_m = \infty$$

4. 두께 변화의 해석

4-1. 절두원추

(Truncated Cone)의 두께 변화 클램프 내의 시트 면적은

$$A_0 = W \times L \quad (1-23)$$

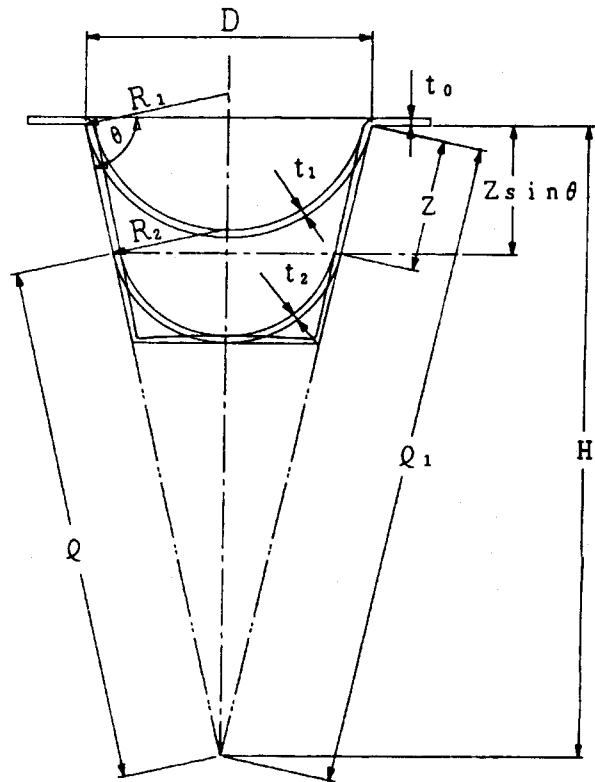
시트 두께를 t_0 으로 하는 블랭크가 있다. 성형을 함으로써 절두원추(截頭円錐)를 얻는 것으로 한다(그림 8).

성형 간구 D의 면적 부분에 따라 드로잉이 실시되는 것으로 하고 두께는 평균적으로 신장된 것이라고 가정한다. 성형 부분의 두께 평균치를 t_p 로 하고, 절두원추의 높이 h, 구배를 θ 로 한다(그림 9).

성형품의 전개 면적 A_p 는 다음 식이다.

$$A_p = A_{rim} + A_{sidewall} + A_{bottom} \\ = W \times L + \{ \pi (D+d)/2 \times [(D-d)/2 + h^2]^{1/2} - (D-d)/2 \} \quad (1-24)$$

(그림 10) 두께 감소량 해석그림



$$\theta = \tan^{-1} \{2h/(D-d)\} \quad (1-25)$$

따라서 먼드로잉비 R_{ai} 은 다음 식이다.

$$R_{ai} = A_p + A_0 \quad (1-26)$$

k 를 계수로 하여 두께 t_p 는 다음 식이 된다.

$$t_p = k \cdot t_0 / R_{ai} \quad (1-27)$$

4-2. 절두원추의 두께

감소량에 따른 해석

다음에는 두께의 감소를 미소(微小) 부분으로 나누어 해석한다. 이 고찰은 시트의 성형으로 인해 구각이 형성되어 그 자유곡면이 캐버티의 측면 및 바닥에 접촉하면 접촉한 부분이 즉시 구속되고, 그 다음 신장이나 캐버티 표면을 슬라이드되는 일 등은 모두 없다고 가정한다. 구각은 두께가 균일하고 시트는 구배가 없이 성형으로 인한 체적의 변화도 없는 것으로 한다. 그림 10은 절두원추의 단면도이다. 간구를 D 라고 한다. 구각이 절두원추의 림에서부터 측면을 따라 Z 의 거리에 접하였을 때의 구각의 반경을 R 로 한다. 구배를 따라 연장된 측면이 한 점에서 교차하도록 늘리면 원추형을 얻을 수 있다.

$$R = (H - Z \sin \theta) / (\sin \theta \tan \theta) \quad (1-28)$$

단, 높이 H 는 다음의 조건을 만족하는 것으로 한다.

$$H(D/2) \cdot \{(1 - \cos \theta) / \sin \theta\} \quad (1-29)$$

(주: H 가 우변보다 작을 경우에는 해석이 달라지나 여기서는 다루지 않는다)

구각의 표면적 A 는 R 을 이용하여 다음의 식으로 표시할 수 있다.

$$A = 2\pi R^2 (1 - \cos \theta) \quad (1-30)$$

면적의 시트 두께를 t 로 하면 구각의 체적 V 는 다음 식이 된다.

$$V = 2\pi R^2 t (1 - \cos \theta) \quad (1-31)$$

여기서는 구각이 성형으로 인해 드로잉이 미소하게 진행되는 것으로 한다.

1-31식은 다음의 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} V &= 2\pi R^2 t (1 - \cos \theta) \\ &= 2\pi R t \sin \theta \, dt + \\ &\quad 2\pi (R - dR)^2 (t - dt) (1 - \cos \theta) \end{aligned} \quad (1-32)$$

아주 적게 이동한 거리 dZ 은 다음의 식이다.

$$dZ = dR \tan \theta \quad (1-33)$$

아래에서 계산을 계속한다.

$$\begin{aligned} R^2 t (1 - \cos \theta) &= R \sin \theta \, t \tan \theta \, dR \\ &\quad + R(R - 2dR) (t - dt) (1 - \cos \theta) \end{aligned} \quad (1-34)$$

(dR^2) 생략

$$Rt = \{(\sin^2 \theta / \cos \theta) (1 - \cos \theta)\} t \cdot tR + (Rt - 2dR - Rdt) \quad (1-35)$$

$dR \cdot dt$ 생략

$$\begin{aligned} \{[(1 - \cos^2 \theta) / \cos \theta] \\ (1 - \cos \theta)\} \cdot t - 2t\} dR = Rdt \end{aligned} \quad (1-36)$$

$$\{[(1 + \cos \theta) / \cos \theta] - 2\} dR / R = dt / t \quad (1-37)$$

$$(\sec \theta - 1) \int dR / R = \int dt / t + C \quad (1-38)$$

$$(\sec \theta - 1) \ln R / R_1 = \ln t / t_1 + C \quad (1-39)$$

$$(R / R_1)^{(\sec \theta - 1)} = Ct / t_1 \quad (1-40)$$

$$R = R_1 \text{ 일 때 } t = t_1$$

그러므로 $C = 1$

$$t / t_1 = (R / R_1)^{(\sec \theta - 1)} \quad (1-41)$$

$$t = t_1 (l / l_1)^{(\sec \theta - 1)} \quad (1-42)$$

$$H = l \sin \theta \quad (1-43)$$

$$\therefore l_1 = H / \sin \theta \quad (1-44)$$

$$H - Z \sin \theta / \sin \theta = l \sin \theta \quad (1-45)$$

$$\therefore l = (H - Z \sin \theta) / \sin \theta \quad (1-46)$$

$$l / l_1 = (H - Z \sin \theta) / H \quad (1-47)$$

$$\therefore t = t_1 \{(H - Z \sin \theta) / H\}^{(\sec \theta - 1)} \quad (1-48)$$

$$\pi D^2 t_0 / 4 = \{\pi D^2 (1 - \cos \theta)\} t_1 / (2 \sin^2 \theta) \quad (1-49)$$

$$t_0 / 2 = \{(1 - \cos \theta) / \sin^2 \theta\} t_1 \quad (1-50)$$

$$t_1 = \{(\sin^2 \theta) / [2(1 - \cos \theta)]\} t_0 \quad (1-51)$$

$$\therefore t_1 = \{(1 + \cos \theta) / 2\} t_0 \quad (1-52)$$

1-48식에 대입

$$t = t_0 \{(1 + \cos \theta) / 2\} \{(H - Z \sin \theta) / H\}^{(\sec \theta - 1)} \quad (1-53)$$

예) 캐버티의 형상이 간구 60mm, 깊이(h) 60mm에서 측면 기울기가 5° 일 때 두께 0.4mm인 시트가 드로잉 가공되어 상부 면에서부터 깊이 20mm가 되는 위치의 측면에 시트가 접촉하였을 때 구각의 시트 두께 t_a 를 산출한다(그림 11).

$$\theta = 85^\circ$$

$$Z \sin \theta = 20$$

$$t_0 = 0.4$$

$$H = 30 \tan \theta = 342.9$$

$$1-53\text{식에서 } t_a = 0.12 \text{mm}$$

바닥면에 구각이 접촉하였을 때의 두께 t_b 는 다음과 같이 된다.

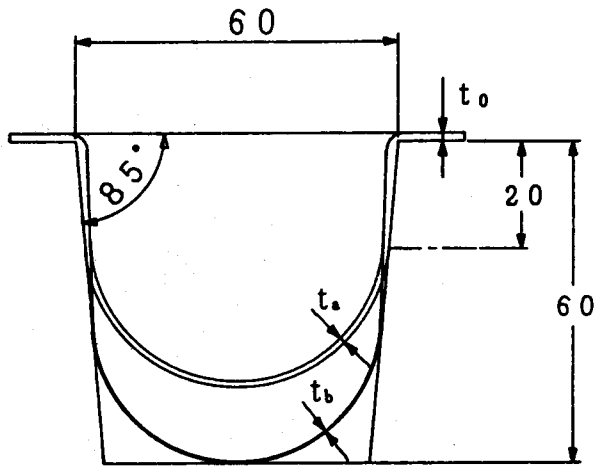
$$H = 30 \tan \theta = 342.9$$

$$Z \sin \theta = h(1 + \cos \theta) - D \sin \theta / 2 = 35.3$$

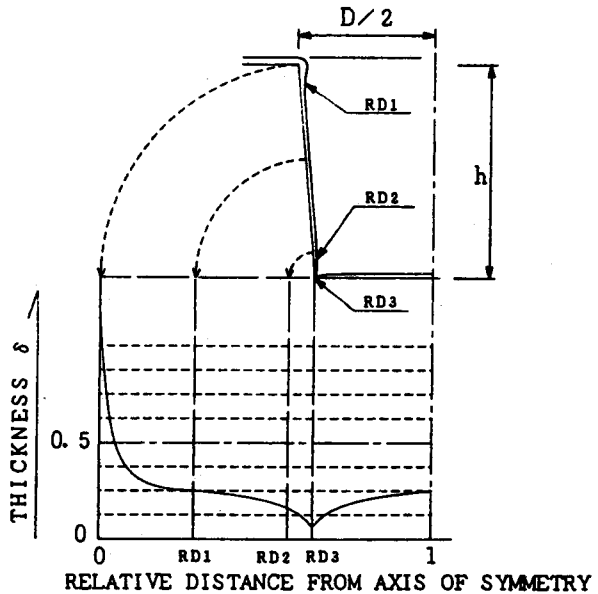
$$\therefore t_b = 0.07 \text{mm}$$

위에 적은 1.53식은 시트의 드로잉 가공이 캐버티의 바닥면 중앙에 접촉하기까지의 것으로, 그 이후의 프로세스는 측면과 바닥면에 의한 새로운 계산식이 유도된다.

측면과 바닥면으로 접촉해 갈 때 ($Z = Z_T$)에서부터 코너 극한 ($Z = H / \sin \theta$)사이의 두께 감소는 다음



▲ (그림 11) 계산에



(그림 12) ▶

컴퓨터 해석 그래프

의 식으로 나타낸다.

$$t = t_0 \cdot A_1 / (Kz \cdot A)$$

$$Zr \leq Z \leq H / \sin \theta \quad (1-54)$$

$$A = 2\pi / (1 - \cos \theta) \{ (H - Z \sin \theta) [(Z - Zr) \theta + (H - Z \sin \theta)] \} \quad (1-55)$$

개시점 $Z = Zr$ 에서는 1-53식이 인정되기 때문에 시트 두께 t_2 는 다음 식이다.

$$t_2 = t_0 \{ (1 + \cos \theta) / 2 \} (H - Zr \sin \theta) / H^{(\sec \theta - 1)} \quad (1-56)$$

1-54식의 각 항은 다음과 같이 된다.

$$A_1 = 2\pi (1 + \cos \theta) (H / \sin \theta - Zr)^2 \quad (1-57)$$

$$A = 2\pi (H - Z \sin \theta) \{ (Z - Zr) \theta + (H - Z \sin \theta) \} / (1 - \cos \theta) \quad (1-58)$$

$$Kz = \left\{ \frac{(\alpha Z^2 + \beta Z + \gamma)}{(\alpha Zr^2 + \beta Zr + \gamma)} \right\}^a \cdot \left\{ \frac{[(2\alpha Z + \beta - \delta)(2\alpha Zr + \beta + \delta)]}{[(2\alpha Z + \beta - \delta)(2\alpha Z + \beta + \delta)]} \right\}^b \quad (1-59)$$

$$a = \zeta \sin \theta / (2\alpha - \zeta)$$

$$b = \sin \theta (\eta - \zeta \beta / 2\alpha) / \beta (2 - \zeta)$$

$$\alpha = \sin \theta - \theta$$

$$\beta = \theta (H / \sin \theta + Zr) - 2H$$

$$\gamma = (H - Zr \cdot \theta) H / \sin \theta$$

$$\delta = \theta [H / \tan \theta - (D/2)]$$

$$\zeta = 1 - \cos \theta$$

$$\eta = (D/2) - H(1 / \tan \theta - \cos \theta)$$

4-3. 컴퓨터 그래픽에 의한 고찰

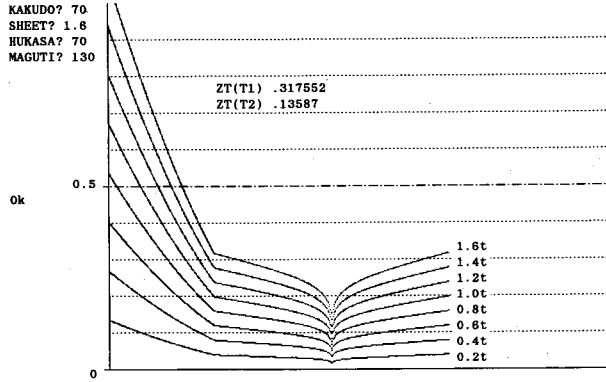
1-53식과 1-54식을 프로그램화하여 컴퓨터에 입력하였다. 출력은 그림 12와 같이 그래프화하였다. 그래프에 나타난 바와 같이 절두원추 모델의 측면 두께 감소 곡선을 살펴보면 도중에 완화되는 점이 있다. 이것은 구각이 바닥면에 접촉하는 점으로, 제3장에서 설명한 표면적의 증대로 인한 평균 두께에서는 나타나지 않는 점이다. 일정하게 얇아져 가는 것처럼 생각되는 측면의 두께가 실제로는 중간에 잘록한 상태로 되어 있다. 이 시트의 거동은 내압 하중에 대해서는 응력이 그 점에 집중하는

등 무시할 수 없는 현상이다. 표 1은 측면의 기울기 20도, 깊이 70mm, 간구 130mm인 캐버티에서 시트 두께를 0.2mm부터 1.6mm까지 0.2mm간격으로 나누어 출력한 것이다. 표 2는 기울기를 10도로 한 것이다.

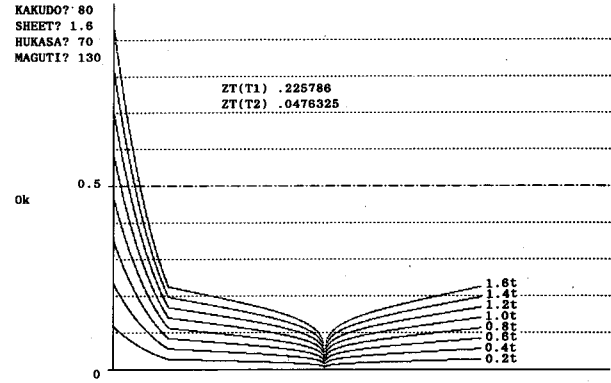
표 3은 기울기에 따라 두께가 어떻게 되는가를 본 것이다. 기울기가 0도, 3도, 5도인 상태이나, 그렇게 차이가 나는 것은 아니다. 표 4는 깊이와 간구의 비가 1:1인 것이다. 이 경우 우 코너의 두께가 매우 얇아져 있다. 표 5~7은 깊이와 간구의 비가 1:1과 1:2인 경우를 그래프상으로 출력한 것이다. 박육화의 거동이 전혀 달라져 있다.

표 8은 이 그래프에서 캐버티 코너의 라운드로 두께가 얼마나 남을 수 있는가를 나타낸다. 0.6mm와 1.2mm인 시트가 캐버티 코너에서 0.1mm의 두께를 필요로 할 때의 코너 R은 B길이의 원호(圓弧)를 갖고 있지 않으면 된다.

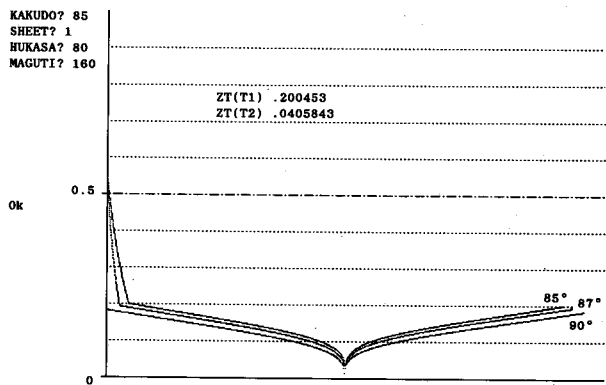
(丑 1)



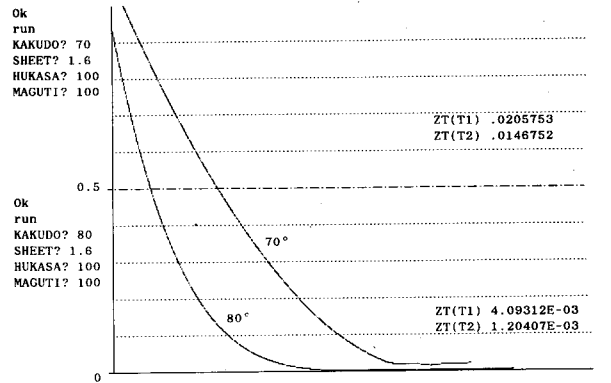
(丑 2)



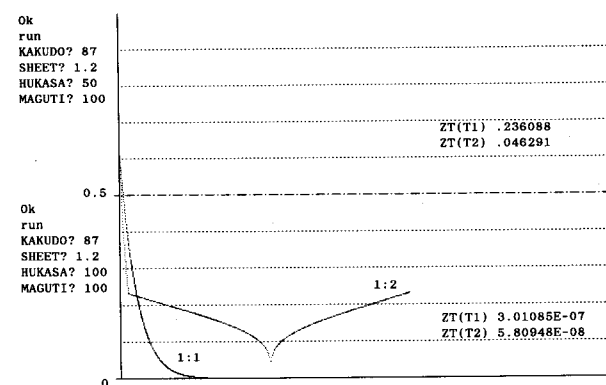
(丑 3)



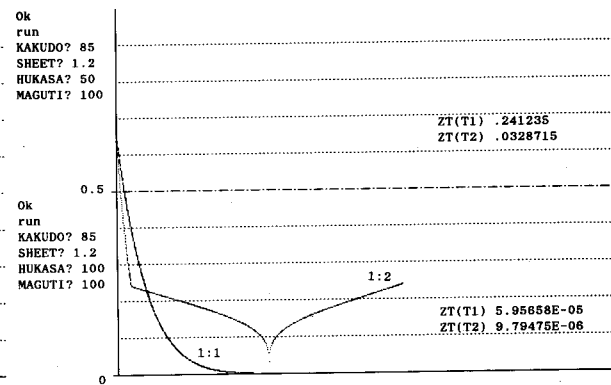
(丑 4)



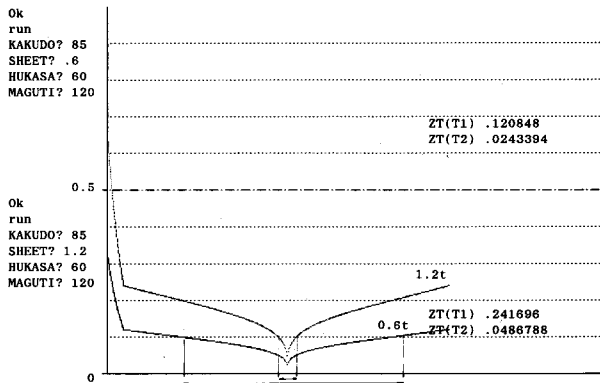
(丑 5)



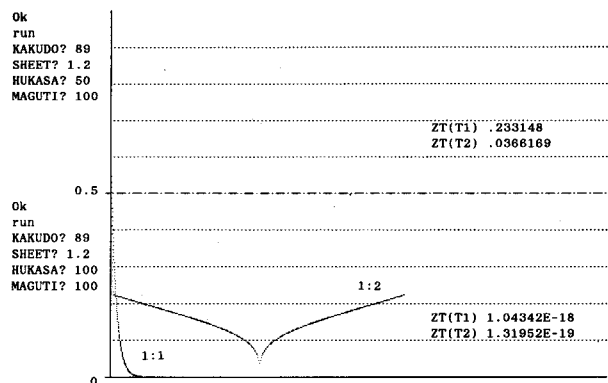
(丑 6)



(표 5)



(표 6)



$$B=2\pi R\theta / 360$$

$$\therefore R=180 \cdot B / \pi \theta \quad (1-60)$$

따라서 시트 두께 0.6mm에서는 R 37.6을 필요로 하나 1.2mm에서는 R 3.7이면 된다. 이론적 해석은 어디까지나 모델의 조건이 만족되어 있다고 가정한 개념적인 것이다. 이것은 계산식이 복잡해지는 것을 피하기 위한 것으로, 본래는 레올로지를 도입할 필요가 있다. 시트를 성형하는 현장에서는 이론적인 것이 맞지 않는다는 생각이 팽배해 있다. 분산을 배제하기가 매우 곤란하다는 것은 이미 설명한 그대로이나 현상의 중출성(重出性)을 생각하면 이론적 해석은 매우 중요하다. 시트 성형은 현장에서의 경험에 편중되어 있다. 경험측의 본질은 시간이 걸리는 비능률적인 작업으로 인해 중출하는 데이터를 찾아내는 수밖에 없다. 따라서 이론치와 실제의 데이터를 서로 견주어 보면서 통일된 방정식을 구해 나가는 것을 부정할 것만은 못된다. 개념적인 계산식이기는 하나 이미 미국의 모든 연구기관에서 상세한 실험이 실시되고 있어 이론적인 상황하에서는 실제의 데이터가 이론치와 잘 일치한다는

사실이 확인되었다. 또 시트가 두꺼운 경우보다 시트가 얇은 경우에 실제의 데이터가 계산 결과에 가까워진다는 것도 알았다.

5. 맺음말

시트 성형의 발전은 주로 하드의 발전이었다. 기계적인 방법으로 두께 편차를 억제하여 균일한 성형품을 어떻게 얻을 수 있는가에 주력해 왔다. 플라스틱 자체의 불균일성이 상승되는 1차 성형에서 다시 2차 성형에 의한 성형품은 통계적으로 취급된다. 이로 인해 해석이 극히 곤란시 되어 왔다. 시트 성형은 1차 성형과 같은 화려한 역사를 갖고 있지 않아 이론적 고찰은 1차 성형군에 비교하면 아주 흡사하다. 대개는 플라스틱 관계업자의 편견으로 인한 것이었으나 해석에 대한 곤란함보다도 해석의 무의미함이 강조되어 왔다. 현실적으로 보건대 지금도 그 의견이 대체를 차지한다고 말해도 과언이 아니다. 그리고 현상의 예측은 모두 경험측으로 정리되어 있다. 1차 성형과 같이 추가 이론 해석조차 실시되지 않았다는 것은 받아들일만한 점이 없었기 때문

이다. 미국에서 실시되는 이론과 실제의 통일화는 시트성형 프로세스에서 2차 성형과 결합한 것이 완성된 점이나 시트 성형의 금형이 사출성형의 금형에 가까워졌다는 배경에 의해 그 중요성이 증대되어 왔다고 말할 수 있을 것이다. 특히 시트 성형의 종류에 의하지 않고 제품을 설계하는 단계에서는 시트 연신의 거동을 이미 지하는 것이 매우 중요하다는 것은 사실이다.

이론적 해석은 이제 막 시작되어 레올로지를 도입하려는 참이다. 받아들일만한 점이 없으면서도 성형에서 동일한 현상이 복수 샘플에 발현하는 '중출성'의 높이를 생각하면 장래에는 미세 구조에서 본 전체적인 구조를 파악하려는 어프로치가 실시될 것이다. 현재의 입장에서 볼 때, 이론식의 적용은 이상적인 환경하에서의 것이다. 그러나 앞으로의 연구에 따라서는 실제의 성형 현장에서 임한 것이 얻어질 날도 멀지 않았다.