

상계해법에 의한 원형빌렛으로부터 S형 단면의 압출가공의 비틀림 해석

진인태

부경대학교 기계공학과

An Upper Bound Analysis for the Twisting Phenomenon of Extrusion of S shape from Round Billet

In Tai Jin

Dept. of Mechanical Engineering, Pukyong National University

ABSTRACTS

A kinematically admissible velocity field is developed for the analysis of twisting of extruded products. The twisting of extruded product is caused by the linearly increased rotational velocity from the center on the cross-section of the workpiece at the die exit. In the analysis, the rotational velocity in angular direction is assumed by the multiplication of radial distance and angular velocity. The angular velocity is zero at the die entrance and is increased linearly by longitudinal distance from die entrance. The increase rate of angular velocity is determined by the minimization of plastic work. The results of the analysis show that the angular velocity of the extruded product changes with the aspect ratio of product and increases with the decreases in die length and in eccentricity of gravity center of the cross-section of workpiece at die entrance from that of the cross-section at the die exit.

1. 서 론

異形材의 압출과정 중에 발생하는 비틀림 현상을 해석하기 위하여 다이내부의 피가공재의 3차원 소성유동을 정확히 해석할 필요가 있다. Yang¹⁾ 등이 원형빌렛으로부터 타원단면을 가진 압출제품의 해석에서 비틀어진 경사면다이를 사용한 타원제품의 압출해석을 수행한바 있으며 木内²⁾ 등은 나선상부품의 압출해석을 UBET을 사용하여 해석한바 있다. 또한 저자³⁾ 등에 의해 압출가공시 발생하는 굽힘현상을 T형 단면을 가진 압출제품을 대상으로 굽힘속도장을 제안하여 발표한바 있다. 본 연구는 S형 단면을 가진 異形材의 압출가공 시 비틀어지지 않은 경사면다이를 사용한 비틀림 속도장을 제안하여 제품의 형상에 의해서도 비틀림이 발생함을 확인하였고 S형 단면을 가진 압출제품의 비틀림 현상과 가공변수와의 관계 즉 제품의 회전각속도와 아스펙트비의 관계 및 회전각속도와 편심 그리고 회전각속도와 다이길이와의 관계등을 기술한다.

2. 비틀림 현상 해석용 3차원 등적가공 속도장의 구성

다이 출구에 있어서 제품의 비틀림 현상은 Fig.1처럼 일정한 회전방향으로 각속도를

가지며 압출되어 질 때 출구중심으로부터 선형적으로 증가된 회전속도분포에 의해서 발생한다. 이 회전각속도는 Fig.2 처럼 경사형 다이입구에서는 발생하지 않고 경사형 다이출구에서 최대값을 가지며 소재가 다이내부에서 진행될 때 선형적으로 증가하는 것으로 가정한다.

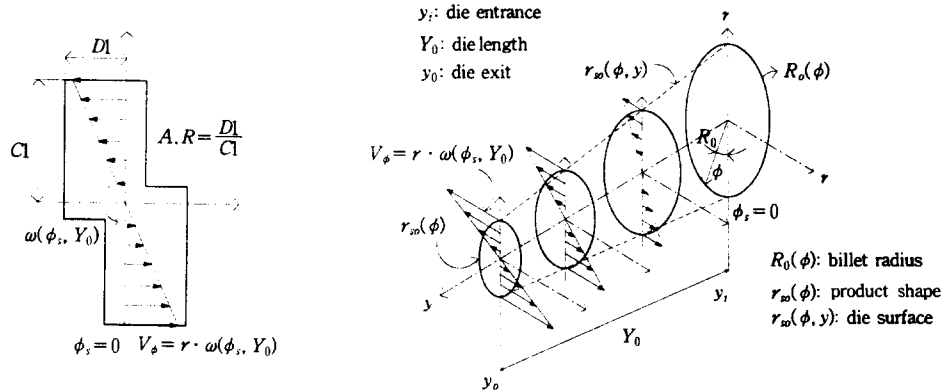


Fig. 1 Rotational velocity distribution on the S-section exit **Fig. 2** Rotational velocity distribution at each stage

따라서 출구단면에서의 회전각속도는 기준면 초기회전각속도에 다이형상에의한 회전각속도의 합으로 가정하면 다음의 (1)과 같은 식으로 표시할 수 있다.

$$\omega(\phi, y) = \omega(\phi_s, y) \cdot \frac{\int_0^{r_{so}(\phi, y)} r \cdot dr}{\int_0^{r_{so}(\phi, y)} r \cdot dr} + \Delta\omega(\phi, y) \quad \text{----- (1)}$$

S 형단면을 가진 압출제품의 단면구조를 보면 대칭면은 없으나 180도 회전대칭구조를 가지고 있으므로 Fig.1와 같이 $\phi_s = 0$ 인 기준면을 정의한다. 다이의 입구단면과 다이의 출구단면사이에서의 기준면 초기회전각속도가 선형적으로 증가하는 것으로 가정하면 다음의 식(2)와 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\omega(\phi_s, y) = T \cdot y \quad \text{----- (2)}$$

$$\Delta\omega(\phi, y) =$$

$$-\frac{1}{\int_0^{r_{so}(\phi, y)} r \cdot dr} \times \left\{ \int_0^\phi \left[\int_0^{r_{so}(\phi, y)} r \cdot \frac{\partial V_y(r, \phi, y)}{\partial y} \cdot dr + r_{so}(\phi, y) \right. \right. \quad \text{--- (3)}$$

$$\left. \cdot V_y(r_{so}(\phi, y), \phi, y) \cdot \frac{\partial r_{so}(\phi, y)}{\partial y} \right\} d\phi \}$$

위의 각속도를 대입하여 회전방향의 속도 분포를 구하면 다음 식(4)와 같다.

$$V_\phi(r, \phi, y) = r \cdot \omega(\phi, y) \quad \text{----- (4)}$$

$$\overline{V}_y(y) = V_0 \cdot \frac{\int_0^\pi r_{so}^2(\phi, y_i) \cdot d\phi}{\int_0^\pi r_{so}^2(\phi, y) \cdot d\phi} \quad \text{----- (5)}$$

다이곡면형상 $r_{so}(\phi, y)$ 를 다이출구단면형상 $r_{so}(\phi)$ 와 다이입구형상 $R_o(\phi)$ 를 선형으로 연결하는 식(6)과 같은 직선 경사형다이를 사용하면 반경방향속도분포는 식(7)과 같다.

$$r_{so}(\phi, y) = \frac{r_{so}(\phi) - R_o(\phi)}{Y_0} \cdot y + R_o(\phi) \quad \text{----- (6)}$$

$$V_r(r, \phi, y) = -\frac{1}{r} \cdot \int_0^r \left\{ r \cdot \frac{\partial V_y(r, \phi, y)}{\partial y} + \frac{\partial V_\phi(r, \phi, y)}{\partial \phi} \right\} \cdot dr \quad \text{----- (7)}$$

3. 해석결과 및 고찰

3.1 해석조건 및 다이의 형상

해석조건은 Table.1 에 표시되어져 있고 제품의 형태는 Fig.3에 그리고 아스펙트 비가 다른 4개의 S형 단면의 경사형 다이의 형상은 Fig.4와 같다.

Table.1 Condition of analysis

Inlet speed (V0)	10mm/sec
Billet radius (R0)	40mm
Yield stress (Y)	12kg/mm ²
Aspect ratio (A.R)	0.3 - 1.0
Eccentricity (E.C)	0 - 12 mm
Die length (Y0)	40 - 100 mm

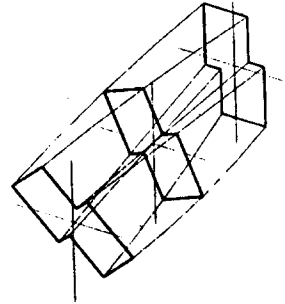
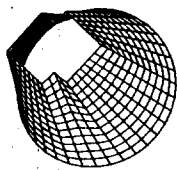
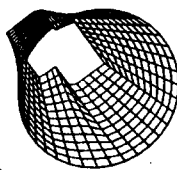


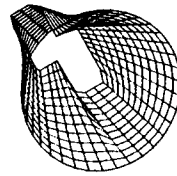
Fig.3 Product shape



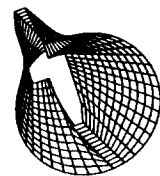
(a) A.R=1.0



(b) A.R=0.7



(c) A.R=0.5

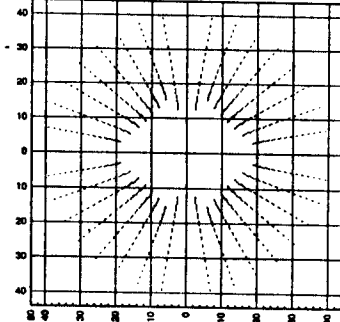
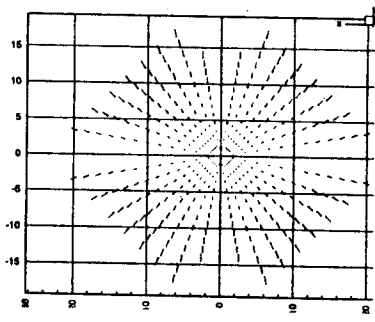


(d) A.R=0.3

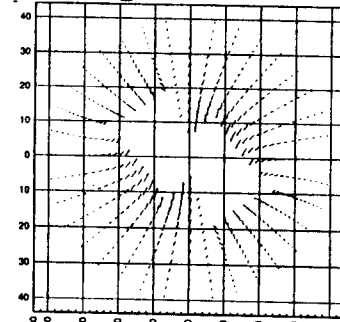
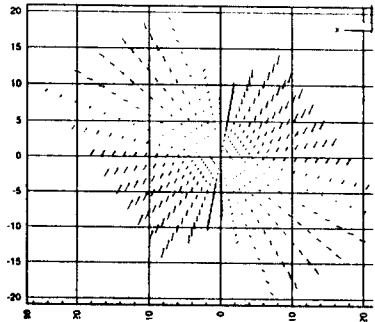
Fig.4 Straight contour of dies

3.2 다이 경사면 및 출구단면에서의 속도분포

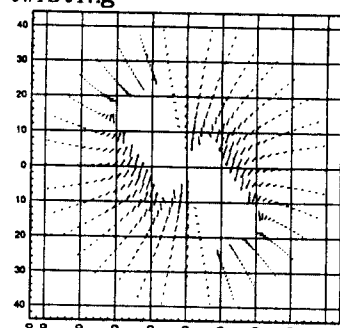
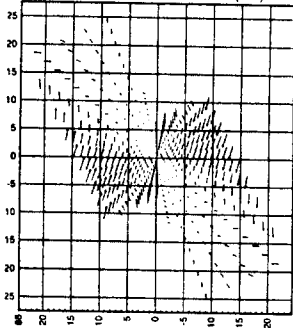
Fig.5(a) (b) (c) (d)는 각각 아스펙트비가 1.0, 0.7, 0.5, 0.3인 경우의 다이면 상에서의 3차원속도분포 및 다이출구면상의 2차원속도분포를 나타낸다. (a)의 경우는 대칭면이 있기 때문에 다이출구면상에서의 회전방향 속도 제로이고 모두 중심을 향하고 있는 속도분포로써 제품의 비틀림 현상은 발생하지 않는다. 그러나 (b), (c), (d)는 다이 출구단면의 회전방향 속도분포가 기준면에서의 비틀림 회전각속도로 압출되어 지는 속도분포를 나타낸다.



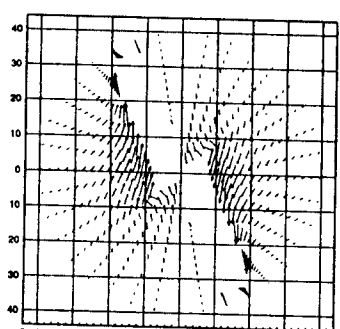
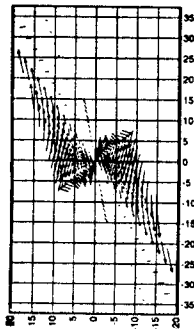
(a) A.R=1.0 and no twisting



(b) A.R=0.7 and twisting



(c) A.R=0.5 and twisting



(d) A.R=0.3 and twisting

Fig.5 Velocity distribution on die surface and die exit section

3.3 압출제품의 비틀림 회전각속도와 압출압력

제품의 비틀림 회전각속도는 다이출구단면상에서의 기준면 회전각속도에 의한 압출압력을 최소로 하는 점에 의해 결정되어 진다. 따라서 출구단면에서의 기준면 회전각속도의 증가율을 결정하는 비례상수 T 와 압출압력의 관계로부터 압출압력을 최소로 하는 기준면 회전각속도값을 Fig.6에 도시하였다.

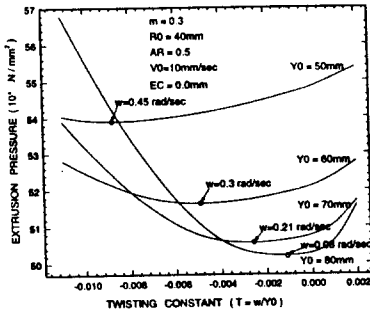


Fig. 6 Twisting constant and extrusion pressure

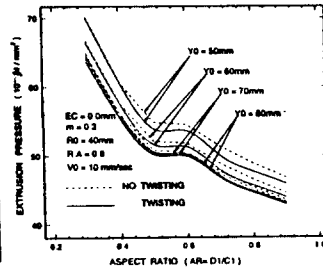


Fig. 7 Aspect ratio and pressure

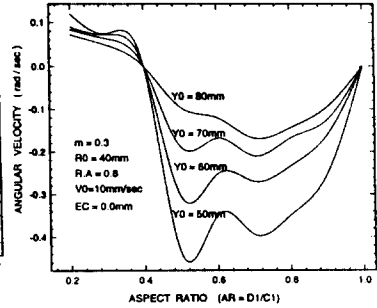


Fig. 8 Aspect ratio and angular velocity

3.4 아스펙트 비(A.R)와 제품의 비틀림 회전각속도

Fig.7을 보면 아스펙트 비(Aspect Ratio)가 작을 수록 압출압력이 크고 물론 다이 길이가 짧을수록 압출압력이 크게 됨을 알 수 있다. 그림에서 점선은 비틀림이 발생하지 않은 경우의 속도장에서의 압출압력이고 실선은 비틀림이 발생하는 속도장에서의 압출압력이다. Fig.8의 아스펙트 비와 비틀림 회전각속도의 관계그림을 보면 아스펙트비가 0.4 인 경우에는 비틀림 회전각속도가 발생하지 않는 것을 알 수 있고 0.4 보다 작은 경우에는 반대방향의 비틀림 회전각속도가 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 점을 고려하면 단면의 형상에 따라 비틀림회전방향이 바뀌면서 비틀림이 발생하지 않는 형상이 있음을 알 수 있다. 이러한 현상으로 미루어 볼 때 아스펙트 비에 따라 비틀림회전각속도가 다르며 이와 같은 단면형상에서는 아스펙트 비가 0.5인 경우가 비틀림이 최대로 발생하는 것을 알 수 있다.

3.5 압출제품의 비틀림 회전각속도와 중심편차량

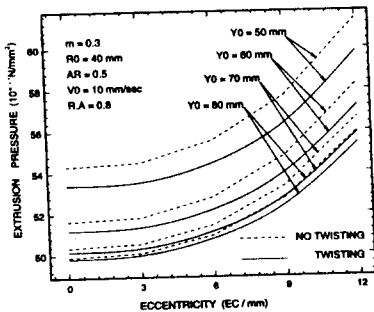


Fig. 9 Eccentricity and extrusion pressure

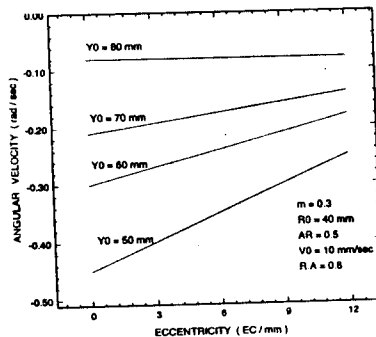


Fig. 10 Eccentricity and angular velocity

Fig.9를 보면 중심편차량이 크면 압출압력이 증가하며 점선은 비틀림이 발생하지 않는 속도장에서의 압출압력이고 실선은 비틀림이 발생하는 속도장에서의 압출압력이며 작게 나타나고 있다. Fig.10에서는 중심편차량이 크면 클수록 비틀림 회전각속도의 크기는 감소하게 되어 중심 편차량이 클수록 비틀림이 작게 나타남을 알 수 있다.

3.6 압출제품의 비틀림 회전각속도와 다이길이

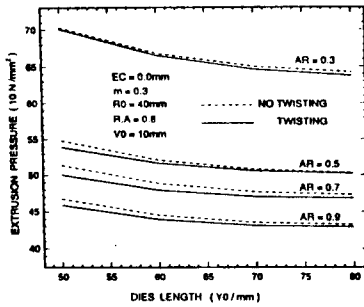


Fig.11 Dies length and pressure

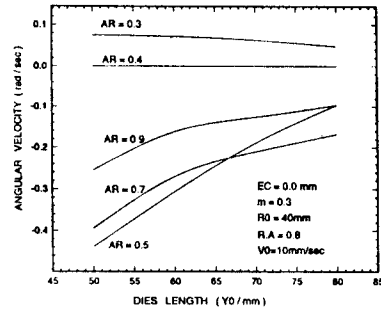


Fig.12 Dies length and angular velocity

Fig.11의 다이길이에 의한 압출압력의 변화를 보면 다이길이가 증가하면 압출압력이 작아짐을 알 수 있다. 또한 아스펙트비가 작으면 작을 수록 압출압력이 크게됨을 알 수 있다. 이 그림에서도 비틀림을 발생하는 속도장에서의 압출 압력이 비틀림을 발생하지 않는 속도장에서의 압출 압력보다 작게 나타나고 있다. Fig.12를 보면 다이 길이가 크면 클 수록 비틀림회전속도가 작게 되는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

S 단면을 가진 이형재의 압출제품의 비틀림에 관한 가공변수의 영향을 해석하기 위하여 동적가공속도장을 구성하였다. 이 속도장은 다이출구단면의 비틀림 회전각속도를 변수로 포함하여 소성일을 최소로 하는 각속도를 구하여 압출가공중에 발생하는 비틀림 회전각속도를 예측가능 하도록 하였다. 비틀림을 발생시키는 중요변수로서는 단면의 아스펙트비이며 이 비에 따라서 비틀림 회전각속도의 크기와 방향이 바뀌게 됨을 알 수 있다. 또한 중심편차량이 크면 비틀림이 발생하기가 어렵게 되나 다이 길이는 짧을수록 비틀림이 크게 발생됨을 알 수 있다.

참고문헌

- (1) Yang, D. Y., Kim, M. U. & Lee, C. H., 1978, "An Analysis for extrusion of helical shapes from round billet", Int. J. Mech. Sci., 20, p. 695
- (2) 今井 敏博, 木内 學, 村松 勁, 船田 雅之, 1991, "螺旋狀部品の押出し加工の解析1", 塑性と加工, Vol. 32, No. 370, p. 1403.
- (3) 木内 學, 陳 仁泰, 新谷 賢, 1996, "押出しI形の曲がり豫測", 塑性と加工, Vol. 37, No. 426, p. 711.