

상계해법에 의한 원형빌렛으로부터 타원 단면을 가진제품의 압출가공의 비틀림 해석

김한봉*, 진인태**

*부경대대학원 기계공학과, **부경대학교 기계공학과

An Upper Bound Analysis for the Twisting Phenomenon of Extrusion of Elliptical Shapes from Round Billet

Han Bong Kim*, In Tai Jin**

*Graduate school, Pukyong National University

**Dept. of Mechanical Engineering, Pukyong National University

Abstract

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 axial 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 increase with the die twisting angle and the aspect ratio of product and friction condition and reduction area and show that angular velocity increases with the decreases in die length.

1. 서 론

異形材의 압출공정 중에 발생하는 비틀림 현상을 해석하기 위하여 다이내부의 피가공재의 3차원 소성유동을 정확히 해석할 필요가 있다. Yang등이 원형빌렛으로부터 타원단면을 가진 압출제품의 해석에서 비틀어진 경사면다이를 사용한 타원제품의 압출해석을 수행한바 있고,¹⁾ 木内등은 나선상부품의 압출해석을 UBET을 사용하여 해석한바 있다.²⁾ 또한 저자등에 의해 압출가공시 발생하는 비틀림현상을 S형에 대해서 급힘속도장을 적용하여 압출제품의 단면 형상에 의해서도 비틀어짐을 확인하였고³⁾ 또한 타원단면을 가진 압출제품을 대상으로 DEFORM-3D에 의해서 비틀림 현상을 확인한바 있다.⁴⁾ 본 연구는 비틀어진 타원 단면을 가진 異形材의 압출가공 문제에 대해서 비틀림 속도장을 제안하여 비틀어진 다이를 사용한 다이의 형상에 의해 비틀림이 발생함을 해석하였고 타원 단면을 가진 압출제품의 비틀림 현상과 가공변수와의 관계 즉 제품의 회전각속도와 다이비틀림 각도의 관계 및 회전각속도와 아스펙트비 그리고 회전각속도와 다이길이와의 관계 또한 회전각속도나 마찰상수 및 단면감소율과의 관계등을 기술한다

2. 비틀림 현상 해석용 3차원 등적가공 속도

2.1 3차원 등적가공 속도장

다이 출구에 있어서 제품의 비틀림 현상은 Fig.1처럼 일정한 회전방향으로 각속도를 가지며 압출되어 질 때 출구중심으로부터 선형적으로 증가된 회전속도분포에 의해서 발생한다.

다이의 입구단면과 다이의 출구단면사이에서의 기준면 초기회전각속도가 선형적으로 증가하는 것으로 가정하면 식(2)로 표현할 수 있고, 여기서 T는 비틀림각속도의 증가율을 나타내는 비틀림상수이고 소성일 최소원리에서 T를 결정하게 된다.

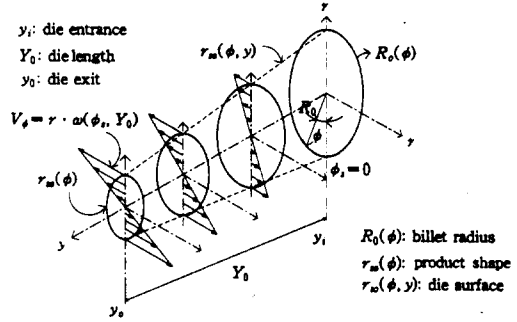


Fig.1 Rotational velocity distribution at each stage

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

$$\omega(\phi_s, y) = T \cdot y \quad (2)$$

$$\Delta\omega(\phi, y) = - \frac{1}{\int_0^{r_m(\phi, y)} r \cdot dr} \times \left\{ \int_0^\phi \left\{ \int_0^{r_m(\phi, y)} r \cdot \frac{\partial V_y(r, \phi, y)}{\partial y} \cdot dr \right. \right. \quad (3)$$

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

$$V_\phi(r, \phi, y) = r \cdot \omega(\phi, y) \quad (4)$$

축방향 속도 $V_y(r, \phi, y)$ 는 식(5)과 같이 평균속도 $\overline{V}_y(y)$ 와 편차속도 $\Delta V_y(r, \phi, y)$ 로 나누어 생각할 수 있다.

$$V_y(r, \phi, y) = \overline{V}_y(y) + \Delta V_y(r, \phi, y) \quad (5)$$

$$V_y(r, \phi, y) = - \frac{1}{r} \cdot \int_0^r \left\{ r \cdot \frac{\partial V_y(r, \phi, y)}{\partial y} + \frac{\partial V_\phi(r, \phi, y)}{\partial \phi} \right\} \cdot dr \quad (6)$$

2.2 비틀어진 다이 표면방정식

비틀어진 다이표면식은 ϕ 의 각도에 ϕ_b 를 더함으로서 다이표면을 회전시킬수 있으나 이때 ϕ_b 를 y 의 함수로 가정하여 y 에따라 선형적으로 비틀어지게 하였다. 즉, 식(8)은 y 값에 따른 다이의 비틀림 각도를 나타내며, Y_0 일 때 총 다이의 비틀림 각도(TW)가 된다.

$$r_{so}(\phi, y) = \frac{r_{so}(\phi + \phi_b(y)) - R_0}{Y_0} \cdot y + R_0 \quad (7)$$

$$\phi_b(y) = - TW \cdot \frac{y}{Y_0} \quad (8)$$

3. 해석결과 및 고찰

3.1 해석조건 및 비틀어진 다이 표면의 형상

해석조건은 Table.1 에 표시되어져 있고 제품의 형태는 Fig.2에 그리고 비틀림각(TW)이 다른 타원 단면의 비틀어진 다이 표면 형상은 Fig.3와 같다.

Table. 1 Condition of analysis

Inlet speed (V0)	: 10mm/sec
Billet radius (R0)	: 40mm
Yield stress (Y)	: 12kg/mm ²
Aspect ratio (AR)	: 0.5 - 1.0
Die length (Y0)	: 30 - 120 mm
Twisting Angle (TW):	0.0 - 0.5 Rad
Reduction of Area(RA):	0.55 - 0.8
Friction Constant(XM):	0.1 - 0.7

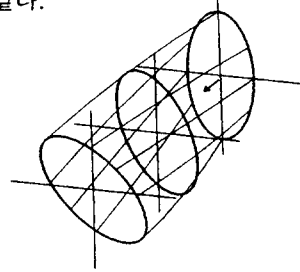


Fig.2 Product shape

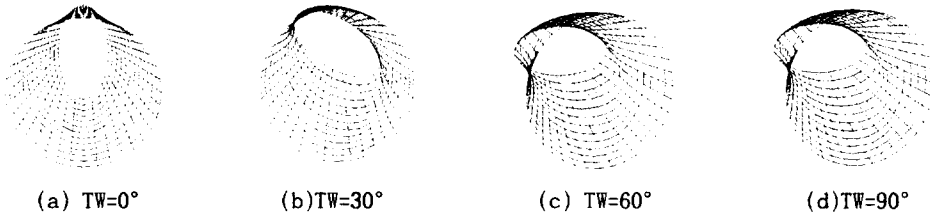


Fig.3 Twisted surface of dies

3.2 비틀어진 다이표면 및 출구단면에서의 속도분포

그림의 좌측속도분포는 출구단면에서 속도분포이고 오른쪽 속도분포는 경사형다이 표면에서의 속도분포이다. 그림에서 알 수 있듯이 비틀림각이 클수록 많이 비틀어짐을 알 수 있다.

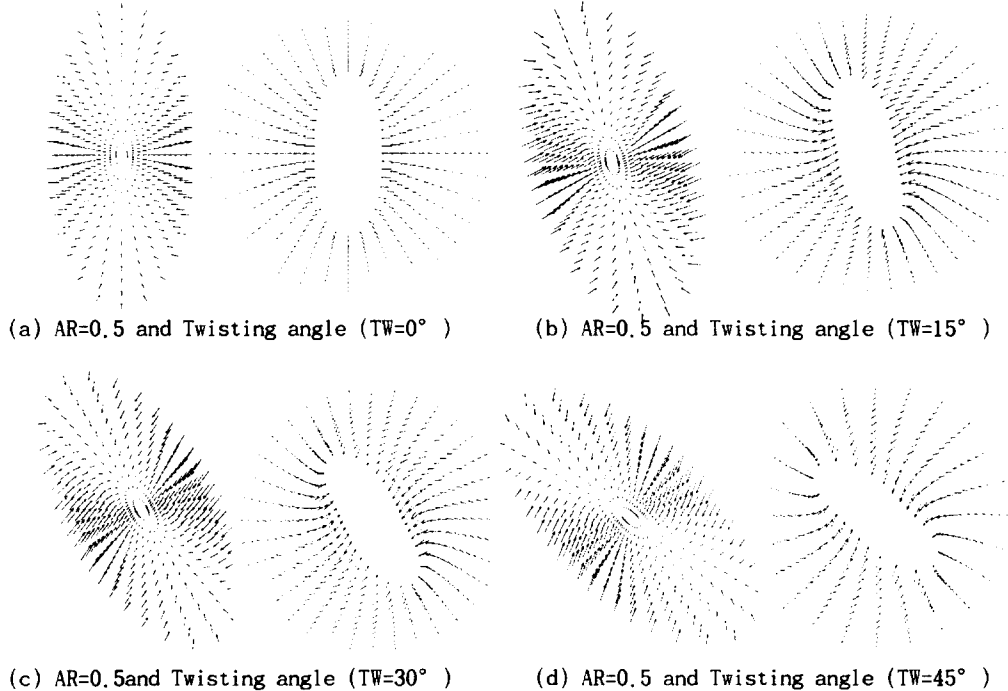


Fig. 4 Velocity distribution on die surface and die exit section

3.3 압출제품의 비틀림 회전각속도와 가공변수와의 관계

Fig.5를 보면 비틀림각이 클수록 회전각속도가 커지고 아스펙트비가 적어질수록 회전 각속도가 커짐을 보여준다. 그림에서 점선은 아스펙트비가 "1.0"인 경우로서 회전각속도의 변화가 없음을 확인할수 있다.

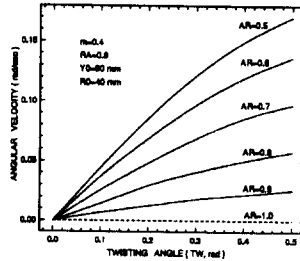


Fig.5 Twisting angle and angular

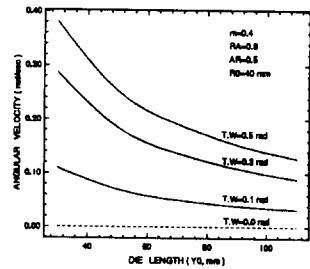


Fig.6 Die length and angular velocity

Fig.6를 보면 다이길이(YL)가 작으면 회전각속도가 커짐을 보여주며, 비틀림각이 클수록 회전 각속도가 커짐을 알 수 있다. 점선은 비틀림각이 "0.0 rad"일 경우이므로 회전각속도의 변화가 없다.

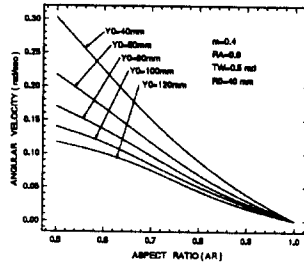


Fig.7 Aspect Ratio and angular velocity

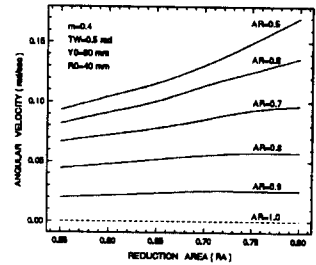


Fig.8 Reduction Area and angular velocity

Fig.7에서 아스펙트비와 다이 길이가 작을수록 회전각속도가 커짐을 확인할수 있다.

Fig.8에서 단면감소율이 클수록, 아스펙트비가 작을수록 회전 각속도가 커짐을 확인할 수 있다. 점선은 아스펙트비가 "1.0"로써 회전각속도의 변화가 없다.

4. 결 론

타원 단면을 가진 비틀어진 다이표면을 사용한 압출제품의 비틀림에 관한 가공변수의 영향을 해석하기 위하여 동적가속도장을 구성하였다. 이 속도장은 다이출구단면의 비틀림 회전각속도를 변수로 포함하여 소성일을 최소화 하는 각속도를 구하여 압출가공중에 발생하는 비틀림 회전각속도를 예측가능 하도록 하였다. 비틀림을 발생시키는 중요변수로서는 다이의 비틀림각이며, 비틀림각이 클수록 비틀림이 크게 됨을 알수 있고, 또한 아스펙트비가 작을수록 즉, 출구측 단면형상이 얇은 타원에 가까울수록 비틀림이 커짐을 알수 있었다. 그리고 단면 감소율이 클수록, 다이길이는 짧을수록 비틀림이 커짐을 확인할 수 있었다.

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, "螺旋狀部品の押し加工の解析1", 塑性と加工, Vol.32, No.370, p.1403.
- (3) 진인태, 1997, "상계해법에 의한 원형빌렛으로부터 S형 단면의 압출가공의 비틀림 해석", 한국소성가공학회 '97 춘계학술회의 논문집, pp.130~135
- (4) 김한봉, 김진훈, 진인태, 1997, "원형빌렛으로부터 타원단면 및 S단면을 가진제품의 압출가공의 DEFORM-3D™에 의한 비틀림 해석비교", 한국소성가공학회 '97 춘계학술회의 논문집, pp.136~139