

원형제품의 압출가공시 제품의 굽힘현상에 관한 연구

최 재 찬, 진 인 태*

부산대학교 기계설계공학과, *부산공업대학교 기계공학과

Study on the curving phenomenon of cylindrical product in extrusion process

Jae Chan CHOI, In tai JIN

Dept. of Mechanical Design Engineering, Pusan National University

*Dept. of Mechanical Engineering, Pusan National University of Technology

ABSTRACTS

The kinematically admissible velocity field is developed for the analysis of extruded products. The curving of product in extrusion is caused by the linearly distributed longitudinal velocity on the cross-section of the workpiece at the die exit. In the analysis, the longitudinal velocity in extrusion direction is divided into the uniform velocity and the deviated velocity. In order to satisfy the requirement of the kinematically admissible velocity field, the average value of the deviated velocity should be zero. At the same time, it should linearly change with the distance from the center of gravity of the cross-section of the workpiece. The results of the analysis show that the curvature of product increases with increases 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 압출가공에 관한 여러가지 문제를 해결하기 위하여 다이내부의 피가공재의 3차원 소성유동을 정확히 파악할 필요가 있다. 이런 이유로 상계해법을 이용한 3차원 해석 기술의 개발과 응용이 시도되어져 오고 있다. 예를 들면 Nagpal 등이 흐름함수법을 이용하여 타원단면재의 압출가공해석을 행한 바가 있고¹⁾, Yang 등은 등각사상을 이용하여 3차원 동적가용속도장을 구하여 일부 異形材의 압출가공해석을 행한 바 있다²⁾. 또한 Gunasekera 등은 원형빌렛으로부터 다각형단면재로 압출가공의 해석을 흐름함수법에 의해 수행한 바 있다³⁾. 최근 木內 등에 의해 압출가공에 관한 상계해법을 이용한 범용성이 높은 해석 수법이 개발되어 종래 얻을 수 없던 계산결과를 계통적으로 얻을 수 있게 되었다⁴⁾. 그런데, 異形材의 압출가공중에 발생하는 제품의 굽힘현상에 관한 명확한 해석은 아직 없다. 본 연구는 원형재의 압출가공시 발생하는 제품의 굽힘현상에 대해서 새로운 속도장을 제안하여 해석하고 제품의 굽힘현상과 다이형상과의 관계에 관하여 기술한다.

2. 제품의 굽힘현상 해석용 3차원 동적가용 속도장의 구성

2.1 일반화 3차원 동적가용 속도장

3차원 동적가용 속도장을 만족하기 위해서는 식(1)체적 일정의법칙, 식(2)체적흐름의

일정조건, 식(3)공구면상에서의 속도와 공구면형상과의 적합조건,그외 (4)강소성 경계 및 내부전단면의 속도적합조건을 충족해야 한다(Fig.1참조).그리고 다음과 같은 가정을 도입한다.1)피가공재는 등방성 강소성체이고 강소성 경계는 다이 입구 및 출구에 있어서 압출방향에 수직한 면으로 한다.2)피가공재의 임의의점의 회전방향속도는 y축으로부터 거리 r에관하여, 변수분리형의 함수로 근사화 될 수 있다, 3) y축을 포함하여 회전방향속도가 적어도 하나의 면에서 알고 있어야 한다.

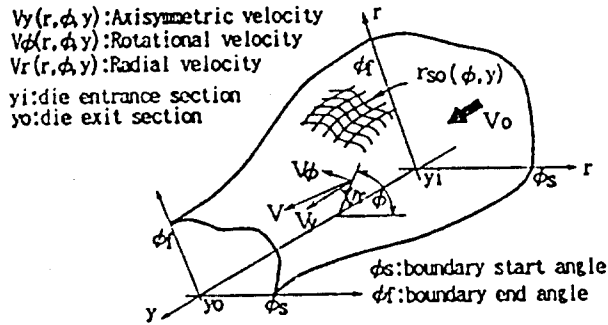


Fig.1 Generalized analytical model of non-axisymmetric extrusion

$$\frac{\partial V_r(r, \phi, y)}{\partial r} + \frac{V_r(r, \phi, y)}{r} + \frac{\partial V_y(r, \phi, y)}{\partial y} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial V_\phi(r, \phi, y)}{\partial \phi} = 0 \quad (1)$$

$$\int_{\phi_s}^{\phi_f} \int_0^{r_s(\phi, y)} V_y(r, \phi, y) \cdot r \cdot dr \cdot d\phi - \int_{\phi_s}^{\phi_f} \int_0^{r_s(\phi, y)} V_\phi \cdot r \cdot dr \cdot d\phi \quad (2)$$

$$V_r(r_s(\phi, y), \phi, y) - V_y(r_s(\phi, y), \phi, y) \cdot \frac{\partial r_s(\phi, y)}{\partial y} + \frac{V_\phi(r_s(\phi, y), \phi, y)}{r_s(\phi, y)} \cdot \frac{\partial r_s(\phi, y)}{\partial \phi} \quad (3)$$

2.2 급힘속도장의 구성

다이 출구에 있어서 제품의 급힘현상은 축방향속도가 균일하지 않고 선형적으로 편차되어진 속도분포에 의해서 발생한다.(Fig.2참조).따라서 속도장의 구성의 기본개념은 다음과 같다.우선, 축방향 속도 $V_y(r, \phi, y)$ 을 식(4)와 같이 평균속도 $\bar{V}_y(y)$ 와 편차속도 $\Delta V_y(r, \phi, y)$ 로 나누어 생각할 수 있다.

$$V_y(r, \phi, y) = \bar{V}_y(y) + \Delta V_y(r, \phi, y) \quad (4)$$

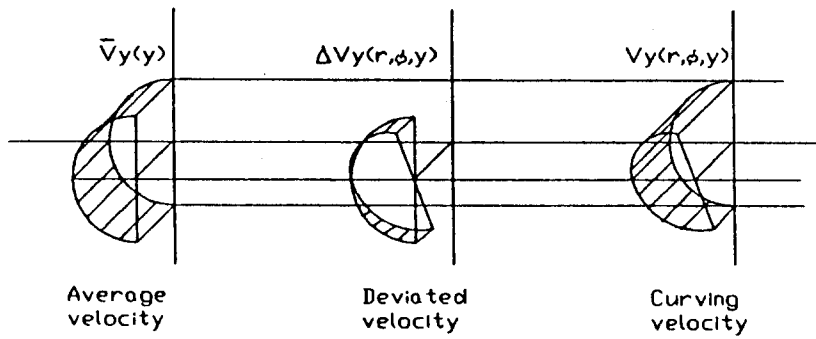


Fig.2 Curving velocity distribution at die exit

체적흐름일정의 조건식으로부터 평균속도 $\bar{V}_y(y)$ 는 식(5)와 같이 정식화 될수 있다.

$$\bar{V}_y(y) = V_0 \cdot \frac{\int_0^\pi r_{s0}^2(\phi, y) \cdot d\phi}{\int_0^\pi r_{s0}^2(\phi, y) \cdot d\phi} \quad (5)$$

편차속도 $\Delta V_y(r, \phi, y)$ 의 분포는 중심으로부터 거리(D)와 비례상수(K)의 함수에의해 식(6)과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta V_y(r, \phi, y) &= D(r, \phi, y) \cdot K(y) \\ &= \{r \cdot \cos \phi - R_b(y)\} \cdot \tan \theta(y) \end{aligned} \quad (6)$$

Fig. 3을 보면, 이 편차속도 ΔV_y 는 y축에 수직인 단면상에서의 축방향속도의 편차를 나타낸다. 위의 식(6)에서 $R_b(y)$ 는 다이단면의 중심의 이동궤적이다. 다이 출구면상에서의 이 편차속도의 분포가 제품에 굽힘을 발생시키는 것으로 생각되어 진다. 이 경우 편차속도는 단면의 중심으로 부터 선형적으로 변하는 분포형태를 가지게 되며, 또한, 이 편차속도의 평균속도는 식(7)을 만족하지 않으면 안된다.

$$\frac{\int_0^\pi \int_0^{r_{s0}(\phi, y)} \Delta V_y(r, \phi, y) \cdot r \cdot dr \cdot d\phi}{\int_0^\pi r_{s0}^2(\phi, y) \cdot d\phi} = 0 \quad (7)$$

단 $K(0)=0$ 이고, 입구단면의 압출방향 속도구배가 없는 강소성 경계면의 조건을 만족한다. 한편, 출구단면에의 압출방향 속도구배 $K(Y_0)=\theta_0$ 는 소성일을 최소로하는 조건으로부터 결정되어 진다.

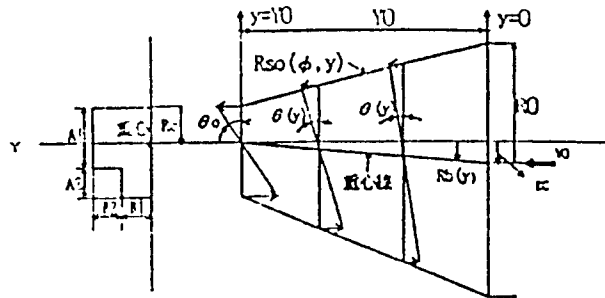


Fig.3 Longitudinal velocity distribution at each stage

그리고 다이내부에 있어서 편차속도의 구배는 다이형상에 따라 결정되어 진다. 여기서는 다이형상이 선형적으로 변하기 때문에 편차속도의 구배는 y 의 일차함수식(8)와같이 표현된다. 단, 다이단면중심의 이동궤적 $R_b(y)$ 는 식(9)와같이 다이형상의 변화처름처름 선형적으로 변화되어진다.

$$\tan \theta (y) = Q \cdot y \quad (8)$$

$$R_b (y) = (-EC / Y_0) \cdot y + EC \quad (9)$$

상기의 급힘속도장을 얻기 위하여 3차원 동적가용 속도장으로부터 $V_\phi(r, \phi, y)$ 와 $V_r(r, \phi, y)$ 을 식(10), 식(11)과같이 구성하는 것이 가능하다.

$$\begin{aligned} V_\phi(r, \phi, y) = & r \cdot \omega(\phi, y) = - \frac{r}{\int_0^{r_{so}(\phi, y)} r \cdot dr} \\ & \times \int_0^\phi \left\{ \int_0^{r_{so}(\phi, y)} r \cdot \frac{\partial V_y(r, \phi, y)}{\partial y} \cdot dr + r_{so}(\phi, y) \right. \\ & \left. \times V_y(r_{so}(\phi, y), \phi, y) \cdot \frac{\partial r_{so}(\phi, y)}{\partial y} \right\} \cdot d\phi \quad (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_r(r, \phi, y) = & \\ - \frac{1}{r} \cdot \int_0^r \left\{ r \cdot \frac{\partial V_y(r, \phi, y)}{\partial y} + \frac{\partial V_\phi(r, \phi, y)}{\partial \phi} \right\} \cdot dr \quad (11) \end{aligned}$$

2.3 소성일

도출된 3차원 동적 가용속도장으로부터 변형률 속도가 구해지고 내부일 \dot{W}_i , 전단변형일 \dot{W}_f , 마찰일 \dot{W}_f 및 전 소성일 \dot{W} 가 다음과 같이 산출된다.

$$\dot{W}_i = \int_V \bar{\sigma} \cdot \dot{\epsilon} \cdot dV \quad (12)$$

$$\dot{W}_s = \int_s \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \bar{\sigma} \cdot \Delta V_s \cdot dS \quad (13)$$

$$\dot{W}_f = \int_f \frac{m}{\sqrt{3}} \cdot \bar{\sigma} \cdot \Delta V_f \cdot dA \quad (14)$$

$$\dot{W} = \dot{W}_i + \dot{W}_s + \dot{W}_f \quad (15)$$

여기서, $\bar{\sigma}$ 는 피가공재의 변형저항, $\dot{\epsilon}$ 는 상당변형률속도, V_p 는 소성역, s, f 는 전단경계면, 마찰경계면, 을 나타내고, $\Delta V_s, \Delta V_f$ 는 각각 s, f 상에서의 상대미끄럼속도, m 는 마찰상수, dV 는 피가공재의 미소체적, dS, dA 는 s, f 상의 미소면적을 나타낸다.

3. 해석결과 및 고찰

3.1 해석조건 및 다이의 형상

해석조건은 Table.1 에 표시되어져 있고 편심되어진 원통형 다이와 축대칭 원통형 다이의 형상은 Fig.4와 같다.

3.2 다이 면 및 출구면의 속도분포

Fig.5는 중심편차량이 없는 경우의 다이면상에서의 3차원속도분포 및 다이출구면상의 2차원속도분포를 나타낸다. 이 경우는 중심편차량이 없기 때문에 다이출구면상에서의 축방향속도의 편차는 없고 제품의 굽힘현상은 발생하지 않는다. 그러나 Fig.6은 다이 출구단면에서의 중심편차량이 있는 경우의 속도 분포로서 다이 출구단면의 축방향 속도 분포가 편차되어 압출되어 지는 속도분포를 나타낸다. 상기 두 경우 각각 출구단면의 2차원속도분포 즉 회전방향속도, 반경방향속도의 합속도의 분포도 좌측에 표시되어져 있다.

3.3 다이출구면상에서의 속도구배와 압출압력

제품의 굽힘곡률은 다이출구단면상에서의 축방향속도분포의 속도구배에 의해 결정되어진다. 따라서 출구단면에서의 속도구배 θ_0 와 압출압력의 관계로부터 압출압력을 최소로 하는 속도구배값을 Fig.7 에 도시된다. 또한, 제품의 굽힘곡률 즉 출구단면의 속도구배 θ_0 은 다이입구단면의중심과 다이출구단면의 중심편차량이 크면 클 수록 크게됨을 알 수 있다.

3.4 중심편차량과 압출압력

Fig.8을 보면 중심편차량에의해 압출압력이 변하여 중심편차량이 크면 클수록 압출압력도 크게됨을 알 수 있다. 또한 마찰상수가 크면 압출압력도 크게됨을 알 수 있다.

3.5 다이길이와 압출압력

Fig.9의 다이길이에 의한 압출압력의 변화를 보면 다이길이에 따라서 최소의 압력을 가지는 길이가 결정됨을 알 수 있다. 또한 중심 편차량이 크면 클 수록 다이길이의 최적 값도 크게 됨을 알 수 있다.

3.6 마찰상수와 압출압력

Fig.10을 보면 마찰상수가 크면 압출압력이 크게되지만 다이길이에 따라 압출압력의 증가구배는 다이길이가 크면 클 수록 크게됨을 알 수 있다. 따라서 마찰상수를 작게하면 다이길이를 크게하여도 압출압력이 작아짐을 알 수 있다.

4. 결 론

원형재의 압출제품의 굽힘에 관한 가공변수의 영향을 해석하기 위하여 가공중에 다이 내부의 피가공재중의 굽힘현상을 설명할 수 있는 동적가공속도장을 구성하였다. 이 속도장은 다이출구단면의 길이방향의 속도의 구배와 량을 변수로 포함하여 소성일을 최소로 하는 속도구배를 구하여 압출가공중에 발생하는 굽힘현상을 예측가능 하도록 하였다. 굽힘을 발생시키는 중요변수로서 단면의 중심편차량이 크면 클수록 굽힘현상이 크게 됨을 알 수 있다.

参考文献

- 1) Nagpal, V. and Altan, T. :Proc. 3rd. NAMR Conf., (1975), 26.
- 2) Yang, D. Y. and Lee, C. H. :Int. J. Mech. Sci., 20(1978), 541.

3) Hoshino, S. and Gunasekera, J. S. :Proc. 21th. WTDR Conf.,
(1980), 97.

4)木内 学・星野 倫彦・飯島 茂男 : 塑性と加工, 30-336
(1989), 43.

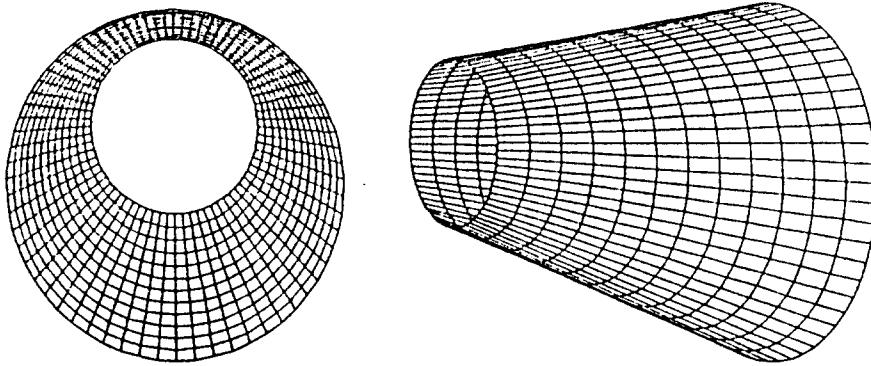


Fig.4 Straight contour of die

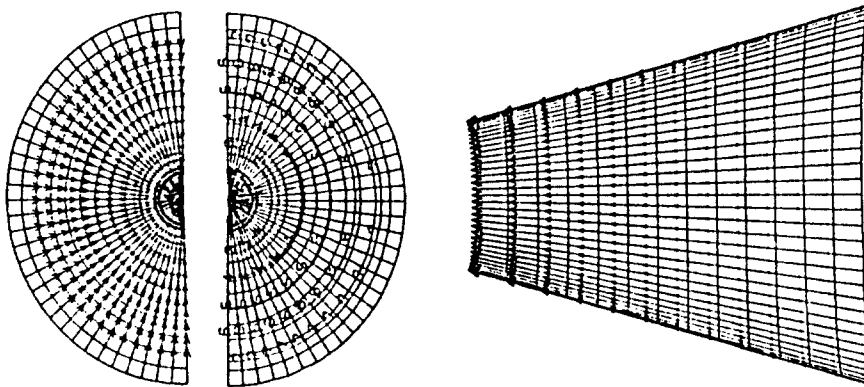


Fig.5 Velocity distribution on die surface and
die exit section

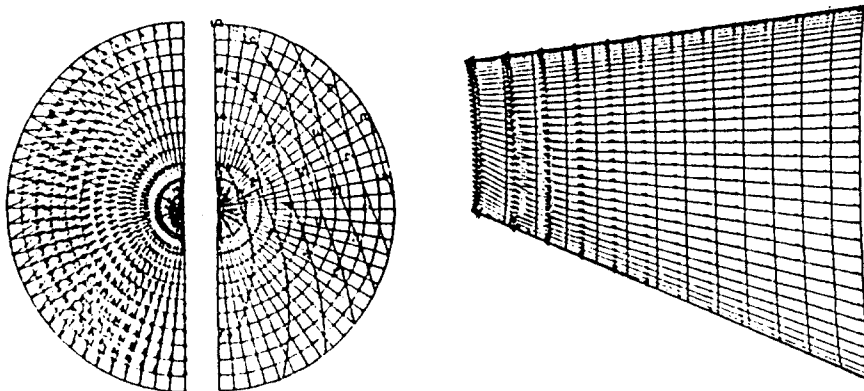


Fig.6 Velocity distribution on die surface
and die exit section

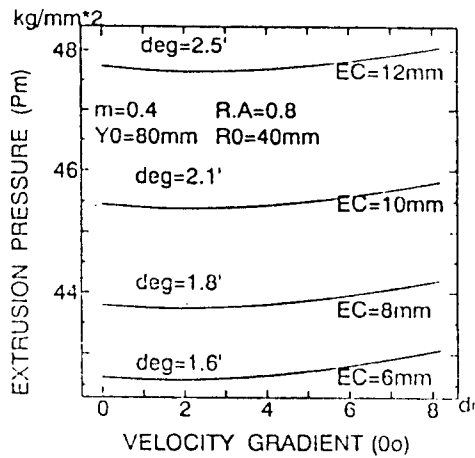


Fig.7 Velocity gradient and extrusion pressure

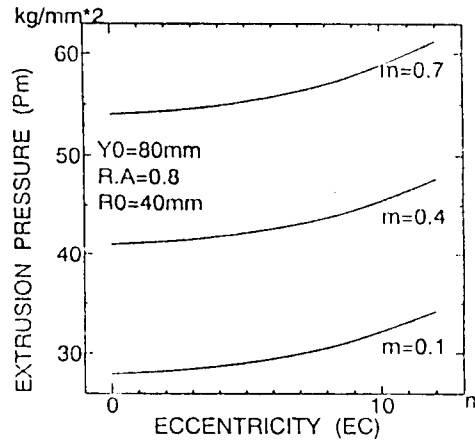


Fig.8 Eccentricity and extrusion pressure

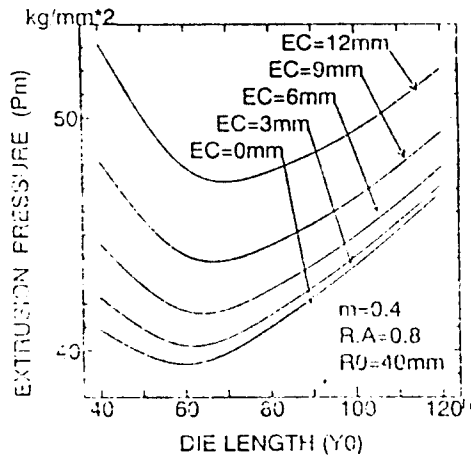


Fig.9 Die length and extrusion pressure

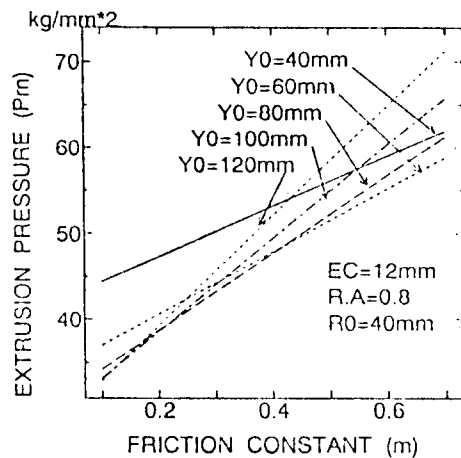


Fig.10 Friction constant and extrusion pressure

Table.1 Condition of analysis

INLET SPEED (V0)	10 mm/sec
BILLET RADIUS (R0)	40 mm
YIELD STRESS (Y)	12 Kg/mm²
ASPECT RATIO (AR)	0.1 - 3.0
ECCENTRICITY (EC)	0mm - 20mm
DIE LENGTH (Y0)	60mm - 100mm
FRICTION CONSTANT(m)	0.1 - 0.8