

사각형 단면을 가진 제품의 압출가공시 제품의 굽힘현상에 관한 연구

진인태* 최재찬**

*부경대학교 기계공학과

**부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

Study on the curving phenomenon of rectangular shaped product in extrusion process

In Tai Jin* , Jae Chan Choi**

*Dept. of Mechanical Engineering, Pukyong National University

**Engineering Research Center for Net Shape & Die Manufacturing

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.

Key Words : Extrusion(압출), Kinematically admissible velocity field(동적가용속도장), Curving(굽힘), Eccentricity(편심)

1. 서 론

異形材의 압출가공에 관한 여러가지 문제를 해결하기 위하여 다이내부의 피가공재의 3차원 소성유동을 정확히 파악할 필요가 있다. 이러한 이유로 상계해법을 이용한 3차원 해석기술의 개발과 응용이 시도되어져 오고 있다. 예를 들면 Gunasekera¹⁾ 등은 원형빌렛으로부터 다각형단면재로 압출가공의 해석을 흐름함수법에 의해 수행한 바 있고, Yang²⁾ 등은 등각사상을 이용하여 3차원 동적가용속도장을 구하여 異形材의 압출가공해석을 행한 바가 있다. 또한, 최근 木內³⁾ 등에 의해 압출가공에 관한 상계해법을 이용한 3차원 동적가용속도장이 개발되었으나 압출가공시 발생하는 굽힘현상에 대한 속도장이 고려되지 못 하고 있는 중에 저자⁴⁾ 등에 의해 異形材의 압출가공중에 발

생하는 제품의 굽힘현상에 관해서 T형 단면을 가진 압출제품을 대상으로 굽힘속도장을 제안하여 발표한 바 있다. 본 연구는 사각형 단면을 가진 異形材의 압출가공 시 발생하는 제품의 굽힘현상에 대해서 굽힘 속도장을 적용하여 해석하고 제품의 곡률과 다이형상 및 그 외의 가공조건과의 관계에 관하여 기술한다.

2. 제품의 굽힘현상 해석용 3차원 동적가공 속도장의 구성

다이 출구에 있어서 제품의 굽힘현상은 축방향속도가 균일하지 않고 선형적으로 편차되어진 속도분포에 의해서 발생한다. (Fig.1참조).

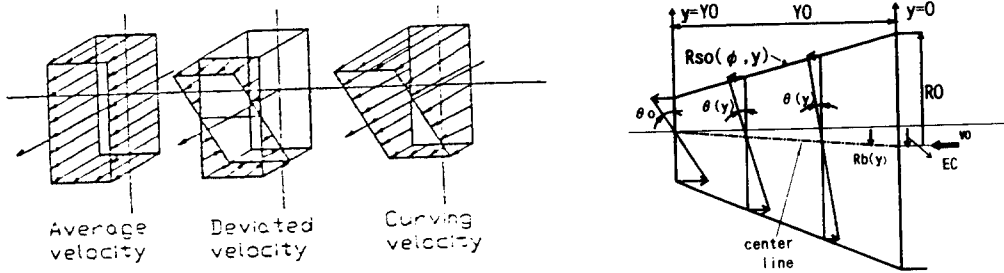


Fig.1 Curving velocity distribution Fig.2 Longitudinal velocity distribution at die extrusion

따라서 속도장의 구성의 기본개념은 다음과 같다. 우선, 축방향 속도 $V_y(r, \phi, y)$ 을 식(1)와 같이 평균속도 $\bar{V}_y(y)$ 와 편차속도 $\Delta V_y(r, \phi, y)$ 로 나누어 생각할 수 있다.

$$V_y(r, \phi, y) = \bar{V}_y(y) + \Delta V_y(r, \phi, y) \quad \text{-----(1)}$$

체적흐름일정의 조건식으로부터 평균속도 $\bar{V}_y(y)$ 는 식(2)와 같이 정식화 될수 있다.

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

편차속도 $\Delta V_y(r, \phi, y)$ 의 분포는 중심으로부터 거리 $D(r, \phi, y)$ 와 비례상수 $K(y)$ 의 함수에 의해 식(3)과 같이 표현될 수 있다(Fig.2 참조).

$$\begin{aligned} \Delta V_y(r, \phi, y) &= D(r, \phi, y) \cdot K(y) \\ &= \{ r \cdot \cos \phi - R_b(y) \} \cdot \tan \theta(y) \end{aligned} \quad \text{-----(3)}$$

$$R_b(y) = \left(-\frac{EC}{Y_0} \right) \cdot y + EC \quad \text{-----}(4)$$

$$K(y) = \tan \theta(y) = Q \cdot y \quad \text{-----}(5)$$

$$\frac{\int_0^\pi \int_0^{r_{so}(\phi, y)} \Delta V_y(r, \phi, y) \cdot r \cdot dr \cdot d\phi}{\int_0^\pi r_{so}^2(\phi, y) \cdot d\phi} = 0 \quad \text{-----}(6)$$

상기의 굽힘속도장을 얻기위하여 3차원 동적가용속도장으로부터 $V_\phi(r, \phi, y)$ 와 $V_r(r, \phi, y)$ 을 식(7), 식(8)과같이 구성하는 것이 가능하다.

$$\begin{aligned} V_\phi(r, \phi, y) &= r \cdot \omega(\phi, y) \\ &= -\frac{r}{\int_0^{r_{so}(\phi, y)} r \cdot dr} \times \left\{ \int_0^\phi \left\{ \int_0^{r_{so}(\phi, y)} r \cdot \frac{\partial V_y(r, \phi, y)}{\partial y} \cdot dr + r_{so}(\phi, y) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \cdot V_y(r_{so}(\phi, y), \phi, y) \cdot \frac{\partial r_{so}(\phi, y)}{\partial y} \right\} d\phi \right\} \end{aligned} \quad \text{-----}(7)$$

$$\begin{aligned} V_r(r, \phi, y) &= \\ &= -\frac{1}{r} \cdot \int_0^r \left\{ r \cdot \frac{\partial V_y(r, \phi, y)}{\partial y} + \frac{\partial V_\phi(r, \phi, y)}{\partial \phi} \right\} \cdot dr \quad \text{-----}(8) \end{aligned}$$

3. 기초실험 및 DEFORM SOFTWARE에 의한 압출가공의 굽힘해석

3.1 고무점토에 의한 원형단면을 가진 압출시편의 굽힘현상

Photo. 1을 보면 빌렛의 중심과 시편의 중심이 4mm 정도의 편차량을 갖고 있는 경우의 압출시험시 굽힘현상을 나타내고 있다. 시편의 내부속도 분포를 보면 다이출구 단면의 중심이 빌렛의 입구단면의 중심과 편차되어진 방향을 기준으로 윗 부분은 빠른 속도로 아래부분은 느린 속도로 진행하여 굽힘이 발생하는 것을 나타내고 있다.

3.2 DEFORM SOFTWARE 에 의한 압출가공의 굽힘해석

Fig. 3은 평면변형조건 상태에서 다이 출구 단면의 중심이 빌렛의 입구중심과 편차되어진 다이내부의 흐름격자구조를 보여주고 있으며 다이와 빌렛의 마찰효과를 고려한경우이다. 이 경우도 역시 편차되어진 방향을 기준으로 윗 부분은 빠른 속도의 분포를 아래부분은 느린속도의 분포를 보여주고 있다. 이와같은 흐름격자의 구조를 볼 때 압출가공시 발생하는 굽힘현상은 중심편차량에 기인한 것으로 확인 할수 있다.

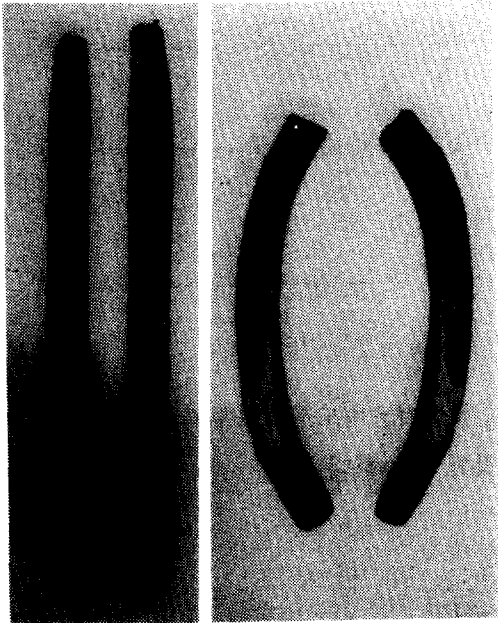
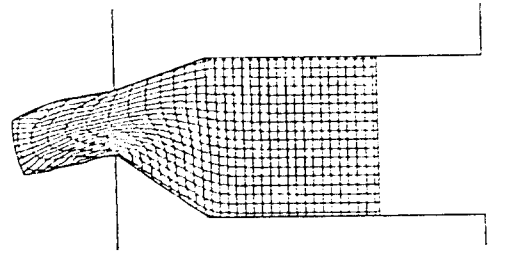
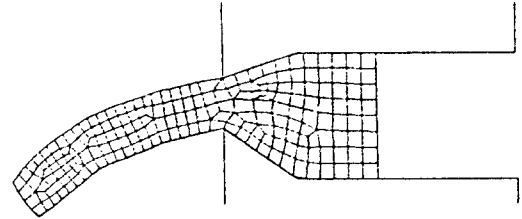


Photo.1 Curving of specimen



(a) Distribution of flow net



(b) Curving of extruded product

Fig.3 Curving analysis by DEFORM

4. 해석결과 및 고찰

4.1 해석조건 및 다이의 형상

해석조건은 Table.1 에 표시되어져 있고 제품의 형태는 Fig.4에 그리고 편심되어진 원통형 다이와 축대칭 원통형 다이의 형상은 Fig.5와 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)	1/3 - 3.0
Eccentricity (E.C)	0 - 12 mm
Die length (Y0)	40 - 100 mm

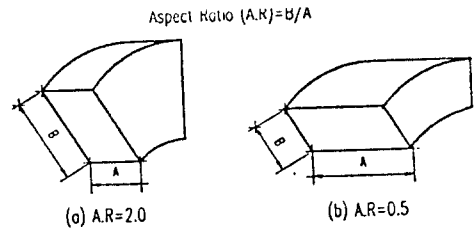


Fig.4 Product shapes

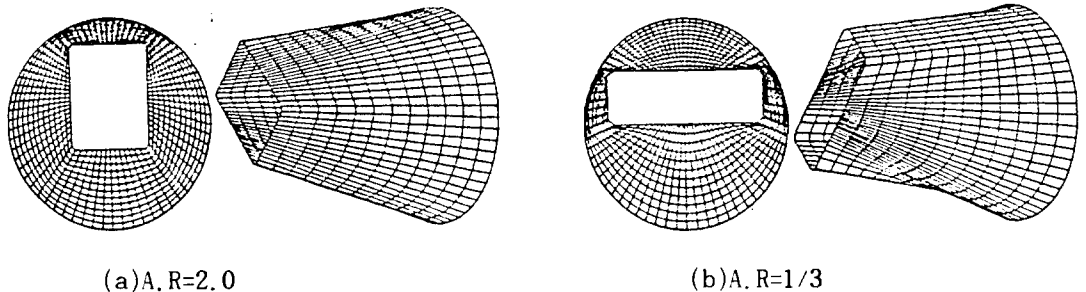


Fig.5 Straight contour of die

4.2 다이 면 및 출구면의 속도분포

Fig.6(a)는 중심편차량이 없는 경우의 다이면상에서의 3차원속도분포 및 다이출구면상의 2차원속도분포를 나타낸다. 이 경우는 중심편차량이 없기때문에 다이출구면상에서의 축방향속도의 편차는 없고 제품의 굽힘현상은 발생하지 않는다.

그러나 Fig.6(b)는 다이 출구단면에서의 중심편차량이 있는 경우의 속도 분포로서 다이 출구단면의 축방향 속도분포가 편차되어 압출되어 지는 속도분포를 나타낸다. 상기 두 경우 각각 출구단면의 2차원속도분포 즉 회전방향속도, 반경방향속도의 합속도의 분포도 좌측에 표시되어져 있다.

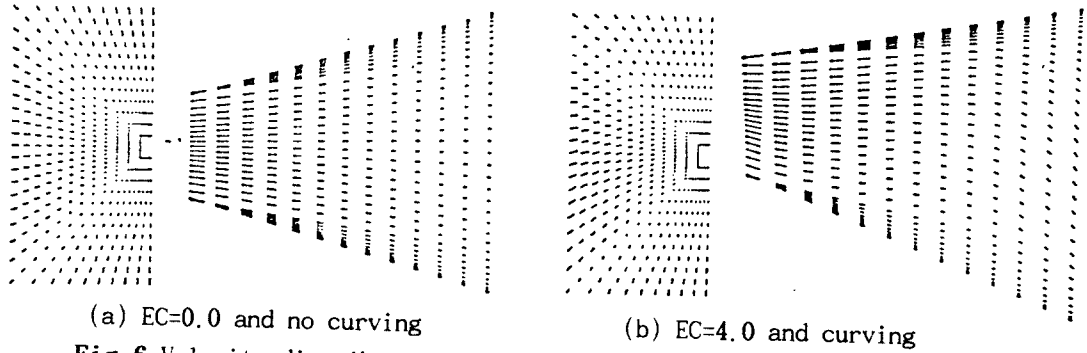


Fig.6 Velocity distribution on die surface and die exit section

4.3 다이출구면상에서의 속도구배와 압출압력

제품의 굽힘곡률은 다이출구단면상에서의 축방향속도분포의 속도구배에 의해 결정되어 진다. 따라서 출구단면에서의 속도구배와 압출압력의 관계로부터 압출압력을 최소화하는 속도구배값을 Fig.7에 도시하였다.

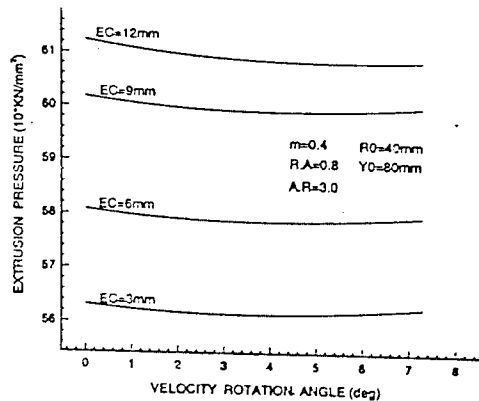


Fig.7 Velocity gradient on die exit section and extrusion pressure

4.4 중심편차량과 제품의 곡률

Fig.8을 보면 중심편차량에 의해 압출압력이 변하여 중심편차량이 크면 클 수록 압출압력도 크게 됨을 알 수 있다. 그림을 보면 실선은 굽힘이 발생하지 않는 속도장에서의 압력이고 점선은 굽힘이 발생하는 속도장에서의 압출압력을 나타 내고 있다.

그러므로 중심편차량에 의해서 굽힘현상이 나타남을 알 수 있다. 물론 마찰상수가 크면 압출압력도 크게 됨도 보여 주고 있다. Fig.9에서는 곡률의 크기는 중심편차량이 크면 클수록 제품의 곡률도 크게 되어 중심 편차량이 제품의 곡률을 지배하는 중요한 가공변수가 되는 것을 알 수 있다.

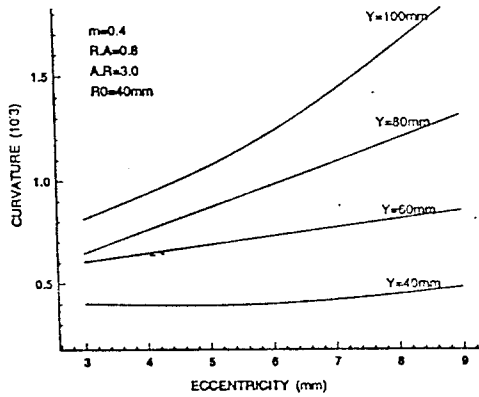


Fig. 8 Eccentricity and extrusion pressure

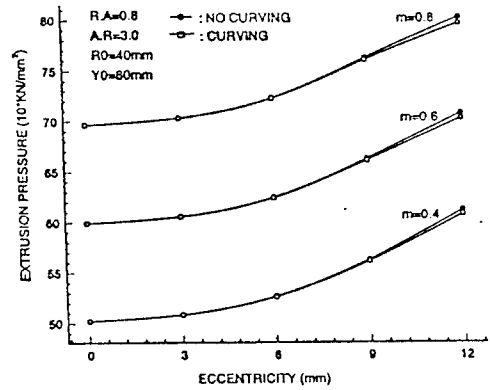


Fig. 9 Eccentricity and curvature

4.5 다이길이와 제품의 곡률

Fig. 10의 다이길이에 의한 압출압력의 변화를 보면 다이길이에 따라서 최소의 압력을 가지는 길이가 결정됨을 알 수 있다. 또한 중심 편차량이 크면 클 수록 최적 다이의 길이가 크게 됨도 알 수 있다. 이 그림에서도 급힘을 발생하는 속도장에서의 압출 압력이 급힘을 발생하지 않는 속도장에서의 압출 압력보다 작게 나타나고 있다. Fig. 11을 보면 다이길이가 크면 클 수록 곡률도 크게 되는 것을 알 수 있다.

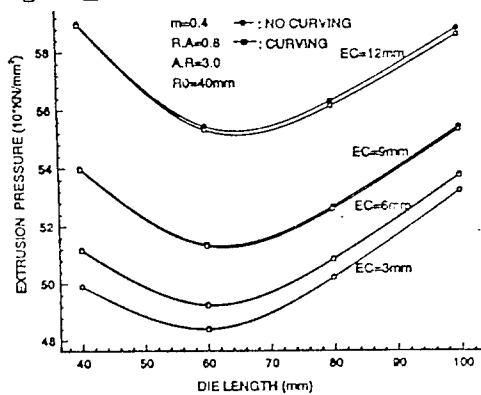


Fig. 10 Dies length and extrusion pressure

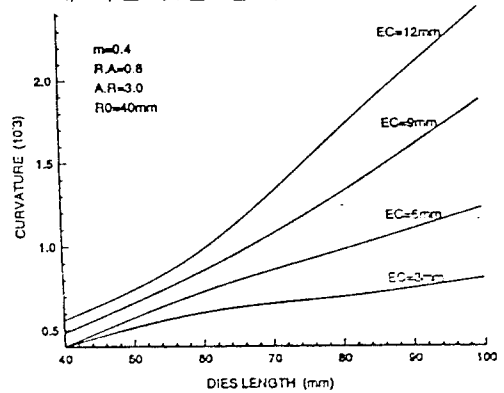


Fig. 11 Dies length and curvature

4.6 아스펙트 비(A.R)와 제품의 곡률

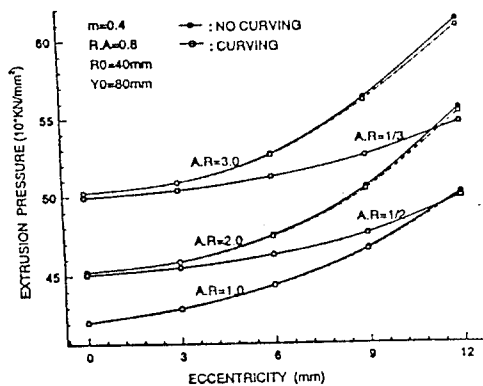


Fig. 12 Aspect ratio and pressure

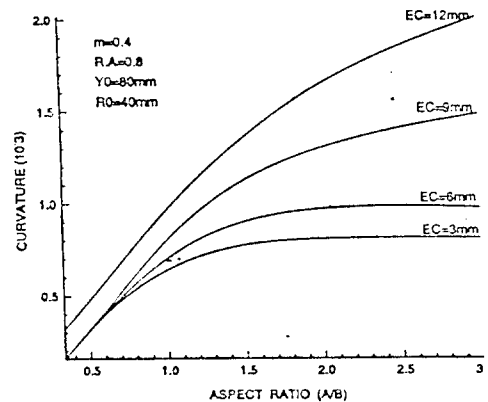


Fig. 13 Aspect ratio and curvature

Fig.12을 보면 아스펙트 비(Asspect Ratio)가 크면 압출압력이 크고 물론 중심편차량이 클수록 압출압력의 증가구배는 크게 됨을 알 수 있다. 또한 아스펙트 비가 3인 경우와 아스펙트 비가 1/3 인 경우의 중심편차량의 크기에 따라 압출 압력이 다르게 나타난다. 그림에서 보면 아스펙트 비가 3 인 경우에서 중심편차량의 변화에 따라 압출압력의 변화구배가 더 크게 변화하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상으로 미루어 볼 때 아스펙트 비와 중심편차량의크기가 압출압력의 중요 변수임을 알 수 있다. 또한 Fig.13를 보면 아스펙트 비가 크면 클 수 록 굽힘곡률이 크게 되어 아스펙트 비가 크게 되면 압출압력은 크지나 굽힘곡률은 더 크게 됨을 알 수 있다.

5. 결 론

사각형 단면을 가진 이형재의 압출제품의 굽힘에 관한 가공변수의 영향을 해석하기 위하여 가공중에 다이내부의 피가공재중의 굽힘현상을 설명할 수 있는 동적가용속도장을 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 클 수록 굽힘곡률이 크게 됨을 알 수 있다. 또한 다이길이와 아스펙트 비가 클 수록 굽힘곡률이 크게 됨을 알 수 있다.

참고문헌

- (1) Gunasekera, J.S and Hoshino, s., 1982, "An Upper Bound Approach on Deformation of Two-phase Materials in Uniaxial Tension", Trans. ASME Ser. B, Vol. 104, No. 2, p. 38.
- (2) Yang, D, Y., Han, C.H. and Kim, M.U., 1986, "A Generalized Method for Analysis of Three-Dimensional Extrusion of Arbitrarily shape Section", Int. J. Mech. Sci., Vol. 28, No. 8, pp. 517-534.
- (3) 木内 學, 星野倫彦, 飯島茂男, 1989, "異形材の押出し加工における非定常變形の解析", 塑性加工, Vol. 30, No. 336, p. 43.
- (4) 木内 學, 陳 仁泰, 新谷 賢, 1996, "押出しT形の曲がり豫測", 塑性加工, Vol. 37, No. 426, p. 711.