

## 원형빌렛으로부터 나선형 사다리꼴 핀을 가진 제품의 비틀림 압출가공법에 관한 연구

김한봉\* · 진인태\*\*

(1998년 10월 9일 접수)

### A Study of the Twisting and Extrusion Process of the Product with Trapezoidal Helical Fin from the Round Billet

Han Bong Kim and In Tai Jin

#### Abstract

The twisting and extrusion process of the product with trapezoidal helical fin from the round billet is developed by the upper bound analysis. The twisting of extruded product is caused by the twisted die surface connecting the die entrance section and the die exit section linearly. In the analysis, the rotational velocity in angular direction is assumed by the multiplication of radial distance and angular velocity. The angular velocity is increased linearly by axial distance from the 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 increases with the die twisting angle, the reduction of area, and decreases with the die length, the friction condition.

**Key Words:** Extrusion, The Twisting and Extrusion Process Upper Bound Method, Trapezoidal Helical Fin

#### 1. 서 론

압출가공과 비틀림가공을 동시에 할 수 있는 비틀림 압출가공법에 대한 가공변수의 영향을 고려하기 위하여 비틀어진 금형 내부의 소성유동장을 정확히 해석 할 필요가 있다. 異形材의 압출가공에 있어서 비정상변형을 木內등<sup>(1)</sup>이 해석하였고 압출가공중에 발생하는 굽힘해석에 관한 연구로서는 저자<sup>(2-3)</sup>에 의해 연구된 바가 있으나 압출제품의 비틀림현상에 대해서 Yang등<sup>(4)</sup>이 원형빌렛으로부터 타원단면을 가진 압출제품의 비틀림 해석을 비틀어진 경사형 금형을 사용하여 해석한 바 있으며 또한 일반적인 나

선형 모양의 3차원 압출가공시 모서리가 없는 금형형상을 이용하여 내부전단면이 없는 압출해석을 Yang<sup>(5)</sup>이 해석하였다. 木內등<sup>(6)</sup>은 나선상부품의 압출해석을 UBET를 사용하여 해석한 바 있다. Choi<sup>(6)</sup>등에 의해서 나선형 기어의 단조해석에 상계해법을 적용하여 해석한바 있으며 금형의 구조가 2단으로 되어 1차적으로 압출 된 후 2차 비틀림 안내 금형에 의해서 나선형 기어의 제작이 가능하도록 하였다.

본 연구는 상기의 금형형태를 변화시켜 비틀어진 압출 금형을 사용하여 압출과 동시에 비틀림이 발생하도록 하였으며 이에 대한 선형연구로서 DEFORMTM-3D에 의

\* 부경대학원 기계공학과

\*\* 부경대학교 기계 자동차공학부

해서 여러 가지 가공조건에 대해 타원단면을 가진 압출제품의 비틀림 현상을 해석한 바 있으며<sup>(7)</sup> 이를 기초로 상해해법에 의해서 내부전단면이 없는 타원 단면을 가진 압출제품의 비틀림 원인이 비틀어진 금형에 의해서 발생하며 가공변수의 영향에 따라 비틀림의 크기를 예측 할 수 있음을 확인한 바 있다.<sup>(6)</sup>

타원단면의 비틀림에서는 내부전단면이 발생하지 않는 반면 나선형 사다리꼴 핀을 가진 비틀림 압출제품의 압출에는 반경방향의 내부속도가 외부금형의 모서리부분에서는 급격하게 변하는 속도불연속면이 존재하고 이 속도불연속면을 내부전단면이라고 정의 할 때 비틀린 금형에서는 비틀어진 내부전단면이 있으며 이때의 전단면에서 일률의 계산이 추가 계산되어야 한다. 본 연구에서는 이 전단면을 비틀어진 곡면으로 정의하고 이 면에서의 속도 분포를 계산함으로써 내부 전단면이 있는 제품의 일률계산을 가능하도록 하였다. 또한 비틀림 현상과 가공변수와 의 관계 즉 금형 비틀림각, 금형길이, 마찰상수, 단면감소율 등의 가공변수의 변화에 따른 제품의 회전각속도와 압출압력과의 관계를 기술한다.

## 2. 비틀림 현상 해석용 3차원 동적가공속도장의 구성

### 2.1 3차원 비틀림 동적가공속도장

금형의 소성 유동영역에서의 기하학적 관계는 원주좌표계로 나타내고 금형의 입출구단면이 중심축인 y축에 수직 한 것으로 간주한다. 3차원 동적가공 속도장을 만족하기 위해서는 식(1) 체적일정의 법칙, 식(2) 체적흐름의 일정 조건, 식(3) 공구면상에서의 속도와 공구면상형상과의 적합조건을 충족해야하며 그 외 강소성 경계 및 내부 전단면의 속도적합조건을 충족해야 한다

그리고 다음과 같은 가정을 도입한다.

(1) 피가공재는 등방성 강소성체로서 체적의 변화가 없고, 가공경화 하지 않으며 Von-Mises의 응력 변형을 법칙에 따르고, 강소성 경계는 금형 입구 및 출구에 있어서 압출방향에 수직한 면으로 한다.

(2) 피가공재의 임의의 점에서 회전방향속도는 y축으로부터 거리 r에 관하여, 변수불리형의 함수로 근사화 될 수 있다.

(3) y축을 포함하여 회전방향속도가 적어도 하나의 면에서 알고 있어야 한다.

(4) 비압축성, 연속조건, 속도 경계 조건을 만족해야 한다.

$$\frac{\partial V_r(r, \phi, y)}{\partial r} + \frac{V_r(r, \phi, y)}{r} \tag{1}$$

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

$$\int_{\phi_s}^{\phi_f} \int_0^{r_{so}(\phi, y)} V_y(r, \phi, y) \cdot r \, dr \, d\phi \tag{2}$$

$$= \int_{\phi_s}^{\phi_f} \int_0^{r_{so}(\phi, y)} V_0 \cdot r \, dr \, d\phi$$

$$V_r(r_{so}(\phi, y), \phi, y)$$

$$= V_r(r_{so}(\phi, y), \phi, y) \cdot \frac{\partial r_{so}(\phi, y)}{\partial y} \tag{3}$$

$$+ \frac{V_\phi(r_{so}(\phi, y), \phi, y)}{r_{so}(\phi, y)} \cdot \frac{\partial r_{so}(\phi, y)}{\partial \phi}$$

체적흐름일정의 조건식(2)으로부터 축방향 속도  $V_y(y)$ 는 식(4)와 같이 평균속도로 정식화 될 수 있다.

$$V_y(y) = V_0 \cdot \frac{\int_{\phi_s}^{\phi_f} r_{so}^2(\phi, y_i) \cdot d\phi}{\int_{\phi_s}^{\phi_f} r_{so}^2(\phi, y) \cdot d\phi} \tag{4}$$

압출제품의 비틀림 현상은 비틀어져 있는 금형표면형상에 의해 발생하며 Fig. 1처럼 금형중심축을 중심으로 회전 각속도가 선형적으로 증가하는 분포에 의해 비틀림이 발생하는 것으로 가정한다. 이 회전각속도는 금형입구에서 선형적으로 증가하여 금형출구에서 최대값을 가지는 것으로 즉, 금형축방향으로 y의 1차 함수 분포로 증가하는 것으로 가정한다.

따라서 비틀림속도장 구성의 기본개념은 다음과 같다. 비틀림속도장에서 회전각속도의 분포를 계산하기 위해서

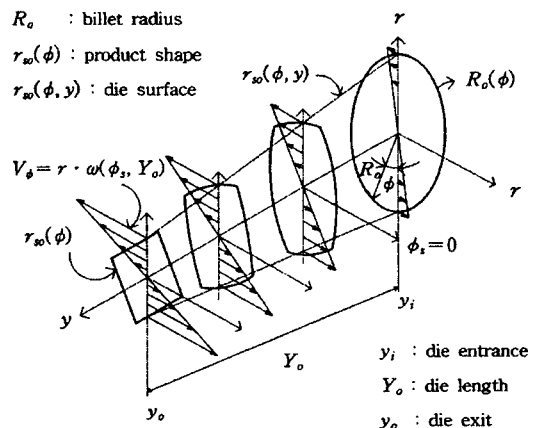


Fig. 1 Rotational velocity distribution at each stage

는 기준이 되는 어느 일정 면에서의 기준면 초기회전각속도를 알아야만 된다. 보통 대칭면이 있는 금형 형상의 경우는 이 대칭면에서의 기준면 초기회전각속도가 영이 되어 대칭 단면을 가진 압출제품에는 비틀림이 발생하지 않는다.

그러나 금형의 표면 형상이 회전방향으로 비틀어져 있을 경우 비틀림이 발생하며 기준면 초기회전각속도면 또한 금형표면형상의 비틀림에 따라 비틀어진 곡면으로 구성된다.

유동영역의 회전각속도식(5)는 형상에 따른 내부회전각속도식(6)과 기준면초기회전합수식(9)의 조합으로 나타낼 수 있으며

$$\omega(\phi, y) = -\frac{1}{\int_0^{r_{so}(\phi, y)} r \cdot dr} \cdot \{\Delta\omega(\phi, y) + f(y)\} \quad (5)$$

식(6)은 금형의 형상에 따라 발생하는 내부회전각속도를 나타내며 압출재료(billet)가 비틀어지지 않고 축방향으로 똑바로 압출될 경우의 회전각속도분포이고 비틀어진 금형 형상에 따른 비틀어진 적분 구간은 식(7), (8)로 표시되며 축방향 길이 y의 1차 함수이다. P<sub>0</sub>는 해석경계구간 각도를 나타낸다.

$$\Delta\omega(\phi, y) = \int_{\phi_1(y)}^{\phi_2(y)} \left\{ \int_0^{r_{so}(\phi, y)} r \cdot \frac{\partial V_y(r, \phi, y)}{\partial y} \cdot dr + r_{so}(\phi, y) \cdot V_y(r_{so}(\phi, y), \phi, y) \cdot \frac{\partial r_{so}(\phi, y)}{\partial y} \right\} d\phi \quad (6)$$

$$\phi_1(y) = \frac{TW}{Y_0} \cdot y \quad (7)$$

$$\phi_2(y) = P_0 + \frac{TW}{Y_0} \cdot y \quad (8)$$

이러한 회전각속도분포에 금형이 비틀어져 있는 방향으로 비틀어진 기준면을 중심으로 기준면 초기회전합수 식(9)를 더함으로써 압출제품이 비틀어져 압출될 경우의 회전 속도분포를 구할 수 있다.

여기서 기준면 초기회전합수 f(y)를 구하기 위해 우선 이 기준면 초기회전각속도의 경계조건으로서 금형의 입구 단면에서부터 금형의 출구단면까지 기준면 초기회전각속도가 선형적으로 증가하여 금형출구단면에서 최대가 되는 것으로 가정하며 출구단면의 기준면 초기회전각속도를 압출제품의 비틀림 각속도로 한다.

기준면 초기회전합수는 식(9)로 표현할 수 있으며 T<sub>1</sub>는 축방향의 길이(y)에 따른 비틀림 각속도의 증가율을 나타내고 T<sub>2</sub>는 금형입구에서 금형출구까지 일정한 비틀림 각속도분포를 나타내며 T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>는 압출압력을 최소로 하는 값으로 결정한다.

$$f(y) = T_1 \cdot y + T_2 \quad (9)$$

위의 각속도를 대입하여 회전방향의 속도 분포를 식(10)과 같이 가정한다.

$$V_\phi(r, \phi, y) = r \cdot \omega(\phi, y) \quad (10)$$

상기의 두 속도 V<sub>y</sub>와 V<sub>φ</sub>에 따라 반경방향속도 V<sub>r</sub>(r, φ, y)를 구하면 식(11)과 같이 표시할 수 있다.

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

## 2.2 내부전단면의 구성과 전단일률

Fig. 2는 사각단면을 가진 제품을 예를 들어 금형 표면의 특이점에 의해 상대 미끄럼속도에 의한 소성 유동영역내에서의 내부전단면을 보여 주고 있으며 φ\*는 전단경계면이 위치하는 해석축에서의 경계각도이다.

내부전단면에서의 상대 미끄럼속도는 앞에서의 가정에 의한 같은 y점에서는 V<sub>y</sub>(y)일정, 식(10)에 의해서 반경방향속도 성분만이 내부전단면에서의 속도편차에 영향을 미치고 식(12)과 같이 나타낸다.

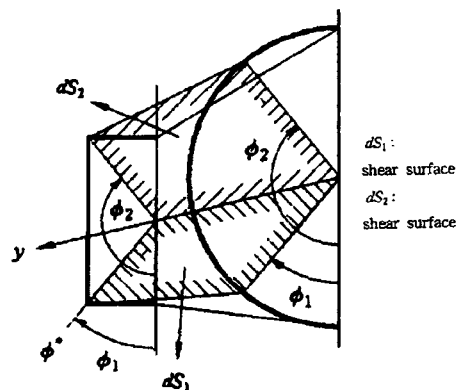


Fig. 2 Internal shear surfaces

$$\delta V_{sx}(r, \phi^*, y) = \left| V_r(r, \phi^{*+0}, y) - V_r(r, \phi^{*-0}, y) \right| \quad (12)$$

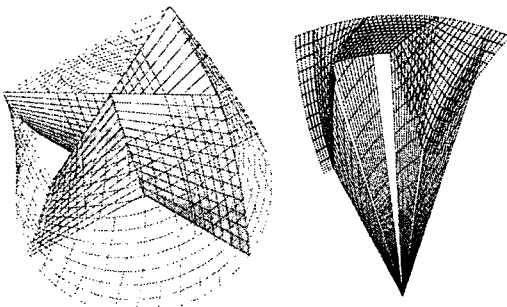
Fig. 3은 원형의 금형 입구에서부터 금형 출구까지 비틀어진 내부전단면을 나타내고 (a)는 출구단면형상이 사각형일 때 유동영역내에서의 전단면으로써 사각의 네 개의 꼭지점을 기준으로 중심축을 포함하는 네 개의 전단면이 금형의 비틀어짐에 따라 비틀어져 있음을 나타내고, (b)는 여러 개의 나선형 사다리꼴 편중에 하나의 편만을 나타내며 출구단면의 네 개의 꼭지점을 기준으로 네 개의 비틀어진 내부전단면을 나타낸다.

비틀림이 없는 금형일 경우 유동영역 내부의 반경방향 속도 편차에 의한 내부전단면은 2차원 평면으로 구성되어 지고 식(13)과 같이 내부전단일을 구할 수 있다.

$$\dot{W}_{sx}(r, \phi^*, y) = \frac{Y}{\sqrt{3}} \cdot \int_0^{Y_0} \int_0^{X_o(\phi^*, y)} \delta V_{sx}(r, \phi^*, y) dr dy \quad (13)$$

그러나 비틀림이 있을 경우 내부전단면은 비틀어져 있는 3차원 곡면으로 되어 기존의 수식으로 표현 할 수 없으며 식(14)과 같이 원통좌표계에서 국부적인 직각좌표계의 치환에 의해 비틀어진 내부전단면을 표현할 수 있다.

Fig. 4는 직각좌표계에서의 비틀어진 내부전단면을 나타내고 y축은 기존의 원통좌표계에서 y축, 중심축을 나타내고 x축은 금형 입구단면에서의 내부전단면을 나타내며  $r_{so}(\phi^*, 0)$ 과 같다. 이러한 비틀어진 곡면을 직각좌표계에서 표현하면 식(15)와 같이 나타낸다. 축방향 y의 값에 따라 비틀림각(TW)과 금형길이( $Y_0$ )의 분수로 나



(a) Square (b) Trapezoid

Fig. 3 Internal shear surfaces

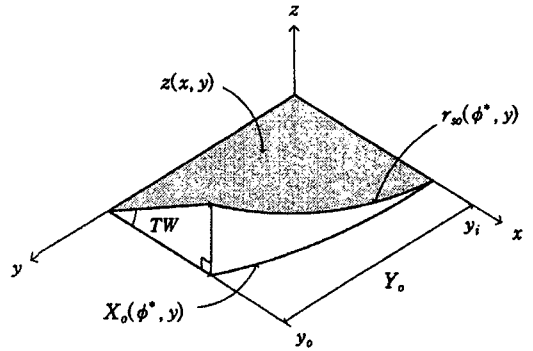


Fig. 4 Internal twisted shear surface in twisted die

타내어지는 기울기로 선형적으로 비틀어져 있고 y의 값이 금형출구 즉  $Y_0$ 일 때 비틀림각(TW)만큼 비틀림을 알 수 있다.

$$r = \frac{x}{\cos\left(\frac{TW}{Y_0} \cdot y\right)} \quad (14)$$

$$z(x, y) = x \cdot \tan\left(\frac{TW}{Y_0} \cdot y\right) \quad (15)$$

Fig. 4의 비틀어진 내부 전단면에서 X-Y평면으로의 투영면에 3차원 곡면의 면적공식을 이용하여 비틀어진 내부 전단면의 마찰일은 식(16)로 유도되어지며 이때 직각좌표계에서 비틀어진 내부전단면의 X-Y평면으로의 투영면 경계가 식(17)으로 나타내진다.

$$\dot{W}_{sx}(x, y) = \frac{Y}{\sqrt{3}} \cdot \int_0^{Y_0} \int_0^{X_o(\phi^*, y)} \delta V_{sx} \left( \frac{x}{\cos\left(\frac{TW}{Y_0} \cdot y\right)}, \phi^* + \frac{TW}{Y_0} \cdot y, y \right) \quad (16)$$

$$\sqrt{1 + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} dx dy$$

$$X_o(\phi^*, y) = r_{so} \left( \phi^* + \frac{TW}{Y_0} \cdot y, y \right) \cdot \cos\left(\frac{TW}{Y_0} \cdot y\right) \quad (17)$$

### 2.3 비틀어진 금형 표면 방정식

금형 표면의 비틀림각은 회전방향으로 일정각도로 비틀

어져 있는 각도이다. 비틀림이 없는 금형 표면식  $r_{so}(\phi, y)$ 는 금형 입구와 출구를 선형적으로 연결하는 표면식으로 식(18)과 같이 표현될 수 있다.

$$r_{so}(\phi, y) = \frac{r_{so}(\phi) - R_o}{Y_0} \cdot y + R_o \quad (18)$$

따라서 비틀어진 금형 표면식은  $\phi$ 의 각도에  $\phi_b$ 를 더함으로서 금형표면을 회전시킬 수 있으나 이때  $\phi_b$ 를  $y$ 의 1차 함수로 하여  $y$ 에 따라 선형적으로 비틀어지게 하였다. 이와 같이 하여 비틀어진 금형 표면식은 식(19)와 같이 나타낸다.

$$r_{so}(\phi, y) = \frac{r_{so}(\phi + \phi_b(y)) - R_o}{Y_0} \cdot y + R_o \quad (19)$$

그리고, 식(20)은 금형의 비틀림 각도를 나타내며,  $y$ 의 1차 함수로 표시되며  $y$ 가  $Y_0$ 일 때 출구 단면에서의 금형의 비틀림 각도(TW)가 된다.

$$\phi_b(y) = -\frac{TW}{Y_0} \cdot y \quad (20)$$

Fig. 5를 보면 여러개의 사다리꼴 핀이 배열되어 있는 금형표면 형상의 그림이며 비틀림이 없는 경우와 비틀림이 있는 경우의 표면 형상이다. 본 연구에서는 복수개의 사다리꼴 핀 중에서 하나만 해석하여 전체 해석을 대신한다. Fig. 6는 하나의 사다리꼴 핀만 따로 모델링한 금형표면으로서 금형 출구단면에서 바라보았을 때의 그림이다.

### 3. 해석결과 및 고찰

#### 3.1 해석조건 및 비틀어진 제품의 형상

Table 1은 해석조건으로서 여러 변수 값을 표시하며 Fig. 7은 금형출구단면의 기하학적 관계를 나타내고, Fig. 8은 비틀린 금형에 의해 비틀림 압출 되어진 제품을 보여준다.

Table 1 Condition of analysis

|                                |                       |
|--------------------------------|-----------------------|
| Inlet speed ( $V_0$ )          | 10 mm/sec             |
| Billet radius ( $R_0$ )        | 38 - 60 mm            |
| Yield stress ( $Y$ )           | 120 N/mm <sup>2</sup> |
| Trapezoidal angle ( $\theta$ ) | 20°                   |
| Tooth number ( $Z$ )           | 12                    |
| Module ( $ZM$ )                | 5                     |
| Die length ( $Y_0$ )           | 20 - 160 mm           |
| Twisting angle (TW)            | 0° - 60°              |
| Reduction of area (RA)         | 0.5 - 0.8             |
| Friction constant ( $m$ )      | 0.1 - 0.6             |

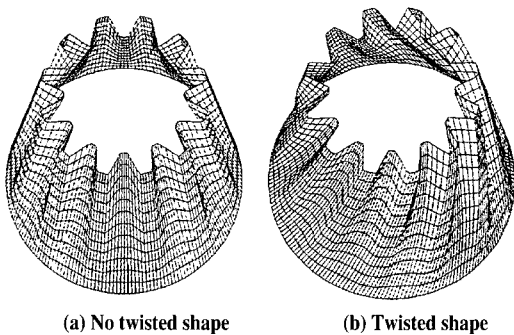


Fig. 5 Twisted surfaces of dies

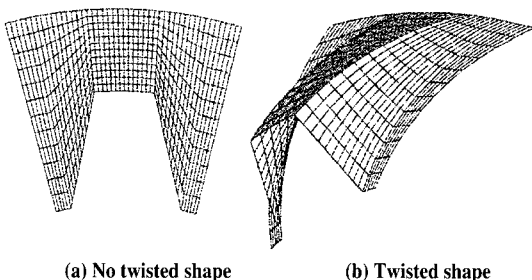


Fig. 6 Twisted surfaces of die tooth

#### 3.2 비틀어진 금형 및 출구단면에서의 속도분포

Fig. 9는 잇수가 12개인 경우의 속도분포를 보여주는 것으로서 왼쪽 그림은 금형 출구단면상의 2차원속도분포, 오른쪽 그림은 금형 표면상에서의 3차원속도분포를 나타낸다.

Fig. 9(a)의 경우는 비틀림각이 없을 때의 속도분포로서 대칭축을 중심으로 대칭 구조를 보여주며 제품의 비틀림 현상은 발생하지 않는다.

$$P_0 = \frac{2 \cdot \pi}{Z} \quad RP = \frac{Z \cdot ZM}{2}$$

$$R_1 = RP + ZM \quad R_2 = RP - ZM$$

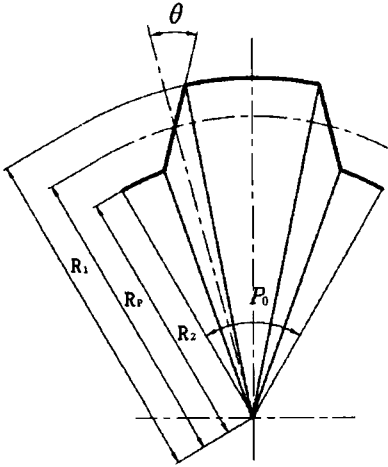


Fig. 7 Die exit section

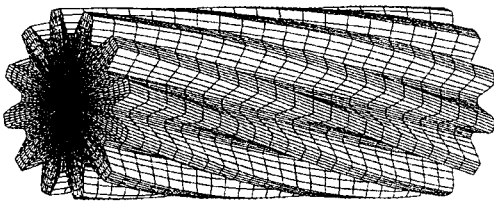
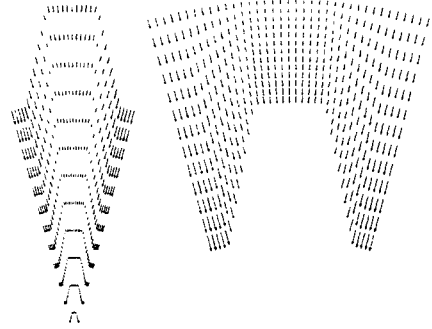


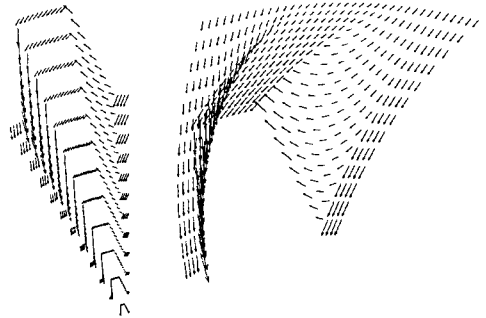
Fig. 8 Product shape

그러나 Fig. 9(b),(c)를 보면 금형의 비틀림에 의해 금형표면상의 속도분포와 출구단면에서의 속도분포 또한 금형의 비틀려 있는 방향으로 회전하는 속도분포를 보여주며, (b)그림은 15°만큼 금형이 비틀려 있을 때의 속도분포로서 오른쪽의 금형 표면에서 핀의 경계에서의 속도분포가 금형의 비틀림 경계를 따라 거의 일치하며 분포하는 것을 알 수 있다. 즉 압출재료가 금형의 비틀림 크기만큼 비틀어져 압출됨을 보여준다.

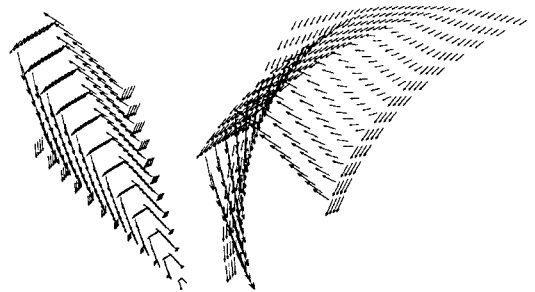
그리고 (c)그림은 30°만큼 금형이 비틀려 있을 때의 속도분포로서 15°만큼 비틀려 있을 때 보다 회전하는 속도분포가 더 많이 있음을 알 수 있고 비틀림각이 클수록 압출제품의 비틀림이 커짐을 보여준다.



(a) Z=12, TW=0°



(b) Z=12, TW=15°

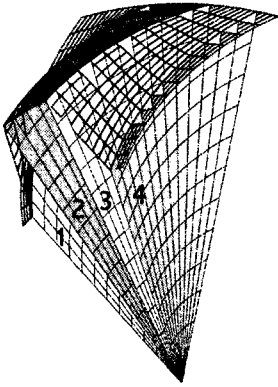


(c) Z=12, TW=30°

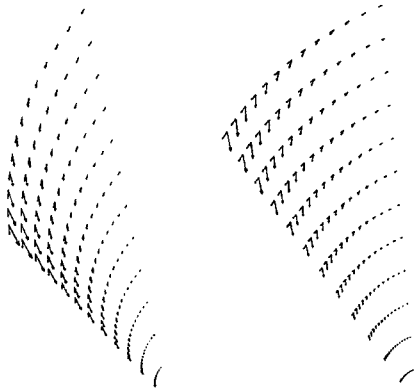
Fig. 9 Velocity distribution on die surface and die exit section

### 3.3 비틀어진 내부전단면에서의 속도분포

Fig. 10은 잇수12개이고 금형이 30°만큼 비틀려 있을 때의 비틀어진 내부전단면에서의 속도 분포를 나타낸다. (a)는 비틀어진 한 개의 사다리꼴 핀에서 각 모서리를 중심으로 4개의 내부전단면을 표시하며 (b),(c),(d),(e)에서는 각각의 비틀어진 내부전단면의 속도 분포를 출구단

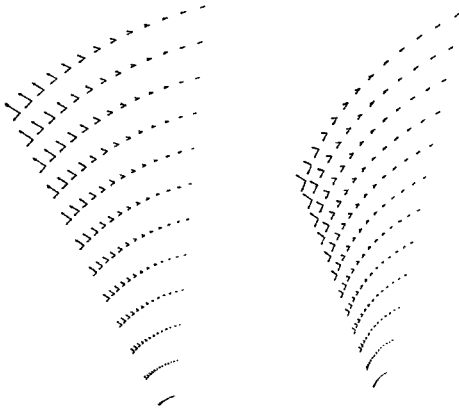


(a) Internal shear surfaces (TW=30°Δ)



(b) Surface 1

(c) Surface 2



(d) Surface 3

(e) Surface 4

Fig. 10 Velocity distribution on internal twisted shear surfaces

면에서 보았을 때의 그림으로서 각 전단면에서는 반경방향 속도편차에 의한 하나의 내부 전단면에서 두 개의 속도 분포가 존재함을 나타내고 이러한 상대미끄럼속도에 의한 내부전단일의 존재를 보여준다.

그리고 내부전단면에서의 속도분포 또한 금형의 비틀림 방향으로 회전하는 속도분포를 확인 할 수 있고 전단면 1,2에서의 중심으로 향한 속도는 전단면1,2 사이의 블록에 의한 속도분포이고, 전단면2,3에서의 금형의 회전을 따라 회전하는 속도는 전단면2,3 사이의 블록에 의한 속도분포이다. 전단면3,4에서의 밖으로 향한 속도는 전단면 3,4 사이의 블록에 의한 속도분포이다. 그리고 전단면4에서의 금형을 따라 회전하는 속도는 전단면4에서의 오른쪽 블록에 의한 속도분포이다.

### 3.4 비틀림각도 및 단면감소율과 회전각속도

Fig. 11은 비틀림각(TW)과 단면감소율(RA)의 변화에 따른 회전각속도의 관계를 나타내는 그림으로서 비틀림각이 영일때 압출제품이 비틀림 없이 똑바로 압출 되어짐을 알 수 있고, 비틀림각이 증가함에 따라 압출제품의 회전각속도가 선형적으로 증가하는 것을 보여주며 금형이 비틀려 있는 만큼 비틀려짐을 알 수 있다.

Fig. 12은 금형이 비틀어지기 시작함에 따라 압출압력이 완만히 증가하다가 비틀림각이 커짐에 따라 더욱 크게 증가함을 나타낸다.

그리고, 단면감소율이 커짐에 따라 압출압력이 커짐을 확인할 수 있고 비틀림각이 작을수록 단면감소율에 따른 압출압력의 변화가 더욱 커짐을 보여준다.

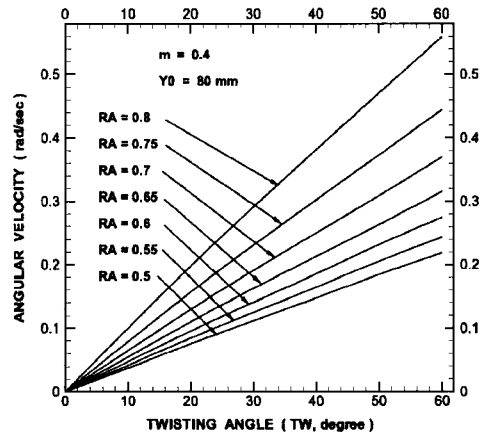


Fig. 11 Twisting angle and angular velocity

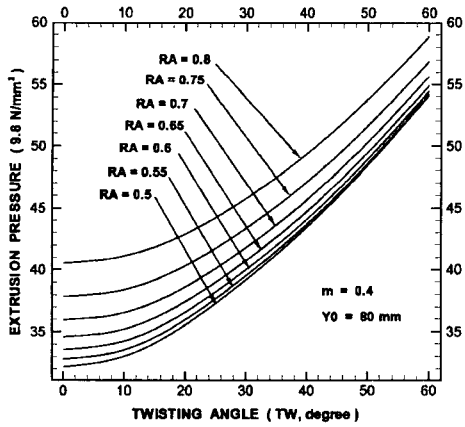


Fig. 12 Twisting angle and pressure

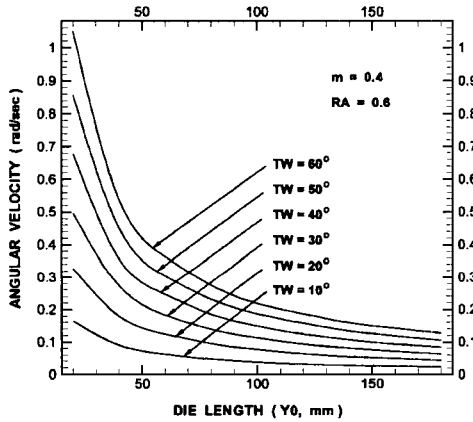


Fig. 13 Die length and angular velocity

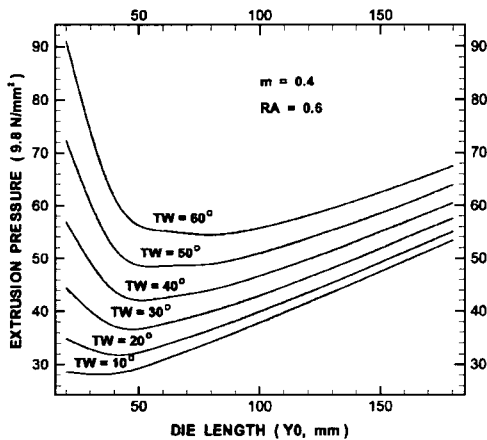


Fig. 14 Die length and pressure

### 3.5 금형 길이와 회전각속도

금형 전체의 비틀림각이 일정할 경우 금형길이(Y0)가 작을수록 단위길이당 비틀림각이 커지므로, 금형 길이가 작을수록 회전각속도가 커질 것이다.

Fig. 13를 보면 같은 비틀림각에서 금형길이가 작으면 회전각속도가 커짐을 보여주며, 비틀림각이 클수록 회전각속도가 커짐을 알 수 있다. Fig. 14에서 금형길이에 따라서 압출압력의 분포를 보여주고 있으며 금형길이가 어느 일정 거리에서 최소의 압출압력을 나타내는 길이가 있음을 보여주고 있다.

### 3.6 마찰상수와 회전각속도

Fig. 15에서 마찰상수(m)의 변화에 따른 회전각속도의

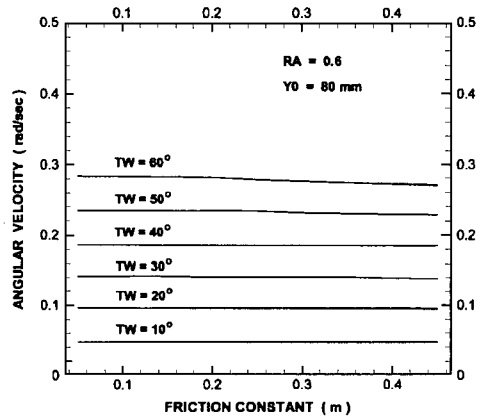


Fig. 15 Friction constant and angular velocity

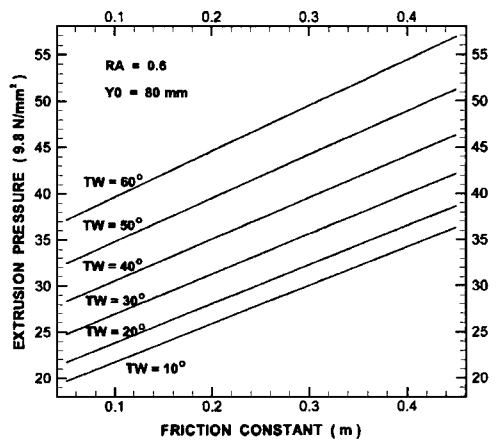


Fig. 16 Friction constant and pressure



변화가 거의 없음을 보여주며 계산결과값을 비교하며 보면 마찰상수가 커질수록 회전각속도가 약간 줄어들음을 확인할 수 있었다. 즉, 사다리꼴 핀의 비틀림 압출가공에서는 금형이 비틀어진 만큼 압출가공 되어지며 마찰상수의 영향이 크지 않음을 나타낸다. Fig. 16에서 마찰상수가 커질수록 압출압력이 선형적으로 증가함을 보여주며, 비틀림각이 커짐에 따라 압출압력 증가함을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

출구단면 형상이 사다리꼴 핀을 가진 압출제품에 대해서 비틀어진 금형 표면을 사용한 압출공정을 해석하기 위하여 동적가속도장을 구성하였다. 이 속도장은 금형 출구단면의 비틀림 회전각속도를 변수로 하여 비틀어진 금형표면에서의 마찰일과 비틀어진 내부단면에서의 전단일을 포함한 소성일을 최소로 하는 각속도를 구하여 압출가공중에 발생하는 비틀림 회전각속도를 예측 가능하도록 하였다.

비틀림을 발생시키는 주요변수로서는 금형의 비틀림각이며, 비틀림각이 클수록 비틀림이 크게 되었고 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. 그리고 단면 감소율이 클수록, 금형길이는 짧을수록 비틀림이 커짐을 알 수 있었고, 마찰상수에 따른 압출제품의 비틀림 영향은 크지 않았다.

#### 참고문헌

(1) Manabu Kiuchi, Michihiko Hoshino, Shigeo Iijima, 1989, "Simulation of Unsteady Flow of Workpiece in Non-Axisymmetric Extrusion

Process 1", Journal of the JSTP, Vol.30, No.336, pp.43 ~ 50

(2) Manabu Kiuchi, In-Tai Jin, Ken SHINTANI, 1996, "Prediction of Curvature of Extruded T-Shape Products", Journal of the JSTP, Vol.37, No.426, pp.711 ~ 716

(3) 진인태, 최재찬, 1997, "사각형 단면의 편심압출시 제품의 굽힘현상에 관한 연구", 한국소성가공학회지 Vol.6, No.1, pp.46 ~ 52

(4) D.Y. Yang, Kim, M.U. & Lee, C.H., 1978, "An Analysis for extrusion of helical shapes from round billet", Int. J. Mech. Sci., 20, p.695

(5) D.Y. Yang, 1986, "Analytical and Experimental Investigation Into Lubricated Three-Dimensional Extrusion of General Helical Sections", CIRP, Vol.15/1, pp.169 ~ 172

(6) Toshihiro Imai, Manabu Kiuchi, Tsuyoshi Muramatsu, 1991, "Analyses of Helical Shaped Extrusion 1", Journal of the JSTP, Vol.32, No.370, p.1403

(7) 최재찬, 조해용, 권혁홍, 한진철, 1991, "냉간 압출에 의한 헬리컬 기어의 제조에 관한 연구", Journal of the KSME, Vol.15, No.1, pp.127 ~ 138

(8) 김한봉, 김진훈, 진인태, 1997, "원형빌렛으로부터 타원단면 및 S단면을 가진 제품의 압출가공의 DEFORMTM-3D에 의한 비틀림 해석 비교", 한국소성가공학회 '97 춘계학술회의 논문집, pp.136 ~ 139

(9) 김한봉, 진인태, 1998, "상계해법에 의한 압출가공의 비틀림 해석", 한국소성가공학회지 Vol.7, No.4, pp.340 ~ 346