

## 상계해법에 의한 원형빌렛으로부터 인볼루트 헬리컬핀을 가진 제품의 비틀림 압출가공법에 관한 연구

박대윤\* · 진인태\*\*

(2001년 2월 28일 접수)

### A Study of the Twisting and Extrusion Process of the Product with Involute Helical Fin from the Round Billet by the Upper Bound Analysis

D. Y. Park and I. T. Jin

#### Abstract

The twisting and extrusion process of the product with involute helical fin from the round billet is developed by the upper bound analysis. The twisting of extruded product is caused by the twisted inclined die surface connecting the die enterance section and the die exit section linearly. In the analysis, the internal shear surface is defined as the curved twisted plane from the twisting of die surface and the shear work is calculated by the consumption of shear energy. The increase rate of angular velocity is determined by the minimization of plastic work. The angular velocity of die exit can be controlled by the land length and the length of inclined die. The angular velocity assumes to be increased linearly by the axial distance from the die enterance to the die exit. 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 constant.

**Key Words :** Extrusion, The Twisting and Extrusion Process, Upper Bound Method, Land Length, Twisted Die Surface

#### 1. 서 론

압출가공과 비틀림가공을 동시에 할 수 있는 비틀림  
압출가공법에 대한 가공변수의 영향을 고려하기 위하여

비틀림 현상을 일으키는 주요 원인이 되는 금형의 비틀림, 즉 인볼루트 헬리컬곡선 핀을 가진 금형을 입구에서부터 금형의 출구단면까지 금형 중심 축을 중심으로 비틀어진 금형형상에 의해서 압출가공 되어진 제품의 비틀

\* 부경대학교 대학원 기계공학과  
\*\* 부경대학교 기계공학부

어짐을 3차원 비틀림해석용 동적가용속도장을 제안하여 비틀림 압출가공공정을 상계정리(upper-bound theorem)에 의해 해석하였다. <sup>(1~10)</sup>

본 연구의 해석 내용으로서 먼저 원형의 금형입구 단면에서 인볼루트 헬리컬곡선 편을 가진 금형출구단면까지 비틀어진 금형형상에 의한 비틀림 압출해석을 랜드부가 없는 경우와 랜드부의 비틀림을 고려한 금형형상의 비틀림 압출해석을 수행하였다. 또한 비틀림 현상과 각각의 가공변수인 금형의 비틀림각, 금형의 길이, 랜드부의 길이, 마찰상수, 단면 감소율 등의 변화에 따른 제품의 압출압력과 회전각속도의 관계에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 비틀림 현상 해석용 3차원 동적가용속도장의 구성

### 2.1 3차원 비틀림 동적가용속도장

금형의 소성 유동영역에서의 기하학적 관계는 원주좌표계로 나타내고 금형의 입출구단면이 해석 중심축인  $y$  축에 수직한 것으로 간주한다. 3차원 동적가용속도장을 만족하기 위해서는 식 (1) 체적입정의 법칙, 식 (2) 체적흐름의 일정조건, 식 (3) 공구면상에서의 속도와 공구면상형상과의 적합조건을 충족해야하며 그 외 강소성 경계 및 내부 전단면의 속도적합조건을 충족해야 한다. <sup>(4,5)</sup>

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

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

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

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

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

체적흐름일정의 조건 식 (2)으로부터 축방향 속도  $V_y(y)$ 는 식 (4)와 같이 평균속도로 가정한다.

$$V_y(y) = V_0 \cdot \frac{\int_0^\pi r_{so}^2(\phi, y) \cdot d\phi}{\int_0^\pi r_{so}^2(\phi, y) \cdot d\phi} \quad (4)$$

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  $y$ 의 1차 함수 분포로 증가하는 것으로 가정한다.

비틀림속도장에서 회전각속도의 분포를 계산하기 위해서는 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.

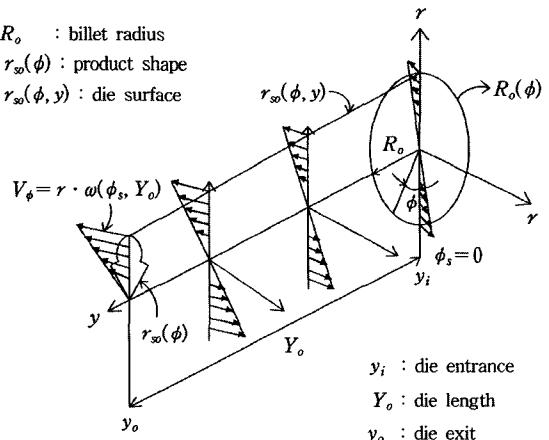


Fig. 1 The rotational velocity distribution at each stage

유동영역에서의 원주방향속도  $V_\phi$ 는 식 (5)로 표시되며 그때의 회전각속도 식 (6)은 회전방향 속도성분  $v_\phi(r, \varphi, y) = r \cdot \omega(\varphi, y)$ 라 가정한 식 (11)에서 형상

에 따른 내부회전각속도 식 (7)과 기준면초기함수 식 (10)의 조합으로 나타낼 수 있으며 식 (7)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 (8), (9)로 표시되며 축방향 길이  $y$ 의 1차 함수이다.  $P_0$ 는 해석경계구간 각도를 나타낸다.

이러한 회전각속도분포에 금형이 비틀어져 있는 방향으로 비틀어진 기준면을 중심으로 기준면 초기회전함수식(10)을 더함으로써 압출제품이 비틀어져 압출될 경우의 회전 속도분포를 구할 수 있다.

$$V_\phi(r, \varphi, y) = r \cdot \omega(\varphi, y) \text{에서}$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \cdot r_s^2 \cdot \omega(\varphi, y) = \\ & - \int_{\phi_1(y)}^{\phi_2(y)} \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot v_y(r, \varphi, y) \cdot r_{so}^2(\varphi, y) \right] (5) \\ & \cdot d\varphi + f(y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \omega(\varphi, y) = & \\ & - \frac{1}{\int_0^{r_{so}(\varphi, y)} r \cdot dr} \cdot \{ \Delta\omega(\varphi, y) + f(y) \} \quad (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\omega(\varphi, y) = & \int_{\phi_1(y)}^{\phi_2(y)} \{ \int_0^{r_{so}(\varphi, y)} r \cdot \\ & \frac{\partial V_y(r, \varphi, y)}{\partial y} \cdot dr + r_{so}(\varphi, y) \quad (7) \end{aligned}$$

$$\cdot V_y(r_{so}(\varphi, y), \varphi, y) \cdot \frac{\partial r_{so}(\varphi, y)}{\partial y} \} d\varphi$$

$$\phi_1(y) = \frac{TW}{Y_0} \cdot y \quad (8)$$

$$\phi_2(y) = P_0 + \frac{TW}{Y_0} \cdot y \quad (9)$$

여기서 기준면 초기회전함수  $f(y)$ 를 구하기 위해 우선 이 기준면 초기회전각속도의 경계조건으로서 금형의 입구단면에서부터 금형의 출구단면까지 기준면 초기회전

각속도가 선형적으로 증가하여 금형출구단면에서 최대가 되는 것으로 가정하며 출구단면의 기준면 초기회전각속도를 압출제품의 비틀림 각속도로 한다.

기준면 초기회전함수는 식 (10)으로 표현할 수 있으며  $T_1$ 은 축방향의 길이( $y$ )에 따른 비틀림 각속도의 증가율을 나타내고  $T_2$ 는 금형입구에서 금형출구까지 일정한 비틀림 각속도분포를 나타내며  $T_1, T_2$ 는 압출압력을 최소로 하는 값으로 결정한다.

$$f(y) = T_1 \cdot y + T_2 \quad (10)$$

위의 각속도를 대입하여 회전방향의 속도 분포를 식 (11)과 같이 가정한다.

$$V_\phi(r, \varphi, y) = r \cdot \omega(\varphi, y) \quad (11)$$

상기의 두 속도  $V_y$ 와  $V_\phi$ 에 따라 반경방향속도  $V_r(r, \varphi, y)$ 를 구하면 식 (12)와 같이 표시할 수 있다.

$$V_r(r, \varphi, y) =$$

$$\begin{aligned} & - \frac{1}{r} \cdot \int_0^r \left\{ r \cdot \frac{\partial V_y(r, \varphi, y)}{\partial y} \right. \\ & \left. + \frac{\partial V_\phi(\varphi, y)}{\partial \varphi} \right\} dr \quad (12) \end{aligned}$$

## 2.2 랜드부가 없는 다이의 비틀어진 헬리컬핀 금형 표면 방정식

금형 표면의 비틀림각은 회전방향으로 일정각도로 비틀어져 있는 각도이다. 비틀림이 없는 금형 표면식  $r_{so}(\varphi, y)$ 는 금형 입구와 출구를 선형적으로 연결하는 표면식으로 식 (13)과 같이 표현될 수 있다.

$$r_{so}(\varphi, y) = \frac{r_{so}(\varphi) - R_o}{Y_0} \cdot y + R_o \quad (13)$$

따라서 비틀어진 금형 표면식은  $\varphi$ 의 각도에  $\phi_b$ 를 더함으로써 금형표면을 회전시킬 수 있으나 이때  $\phi_b$ 를  $y$ 의 함수로 가정하여  $y$ 에 따라 선형적으로 비틀어지게 하였다. 이와 같이 하여 비틀어진 금형 표면식은 식 (14)와 같이 표현될 수 있다.

$$r_{so}(\varphi, y) = \frac{r_{so}(\varphi + \phi_b(y)) - R_o}{Y_0} \cdot y + R_o \quad (14)$$

이때 출구단면이 인볼루트 곡선을 가진 치형이므로  $r_{so}(\phi)$ 는  $\phi$ 의 변화에 따라 식 (15)와 같이 구간별로 나타내고 회전방향으로  $\phi_b(y)$ 만큼 비틀어져 있다.

$$0 < \phi < Pk_1$$

$$r_{so}(\phi) = Rp - 1.570796 \times ZM$$

$$Pk_1 < \phi < Pk_2$$

$$\phi < Pkm_1$$

$$r_{so}(\phi) = HL / \sin(Pk5/2.0 - \phi)$$

$$\phi > Pkm_1$$

$$r_{so}(\phi) = RB / \cos(AL)$$

$$Pk_2 < \phi < Pk_3$$

$$r_{so}(\phi) = Rp + ZM$$

$$Pk_3 < \phi < Pk_4$$

$$\phi < Pkm_2$$

$$r_{so}(\phi) = RB / \cos(AL)$$

$$\phi > Pkm_2$$

$$r_{so}(\phi) = HL / \sin(\phi - Pk5/2.0)$$

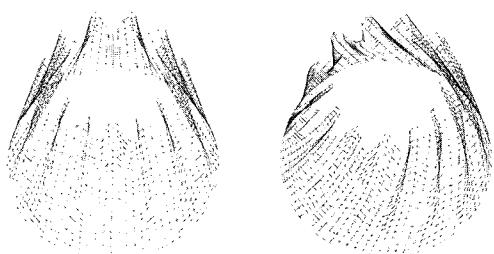
$$Pk_4 < \phi$$

$$r_{so}(\phi) = Rp - 1.570796 \times ZM \quad (15)$$

그리고, 식 (16)은 금형의 비틀림 각도를 나타내며,  $y$ 의 1차 함수로 표시되며  $y$ 가  $Y_0$ 일 때 출구 단면에서의 금형의 비틀림각( $TW$ )이 된다.

$$\phi_b(y) = -TW \cdot \frac{y}{Y_0} \quad (16)$$

Fig. 2는 잇수12개, 단면감소율이 65%인 금형의 전체의 모습을 나타내는 그림으로 (a)는 비틀림이 없는 경우, (b)는 비틀림이 있는 경우를 보여주고 있다.



(a) No twisted shape    (b) Twisted shape  
Fig. 2 The twisted surfaces of dies

### 2.3 랜드부가 있는 다이의 비틀어진 헬리컬핀

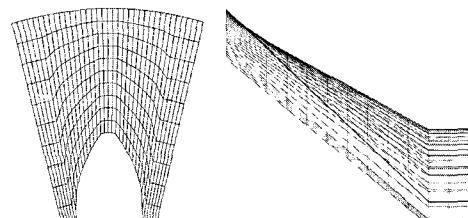
#### 금형 표면 방정식

랜드부가 있을 경우의 비틀어진 헬리컬핀의 금형 표면 방정식 또한  $\phi$ 의 각도에  $\phi_b$ 를 더함으로써 금형표면을 회전시킬 수 있고  $\phi_b$ 를  $y$ 의 1차 합수로 하여  $y$ 에 따라 선형적으로 비틀어지게 하였다. 이와 같이 하여 비틀어진 금형 표면식은 랜드부 길이 전까지의 표면 방정식은 식 (14)와 같고  $y$ 가 금형의 길이  $Y_0$ 보다 커질 경우 표면 방정식은 식 (17)과 같다.

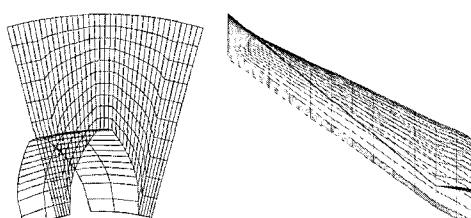
$$r_{so}(\phi, y) = r_{so}(\phi + \phi_b(y)) \quad (17)$$

그리고, 금형의 비틀림 각도  $\phi_b(y)$ 는 랜드부 길이 전까지는 식 (16)으로 나타내며,  $y$ 가 금형의 길이  $Y_0$ 보다 커질경우는 식 (18)과 같다.

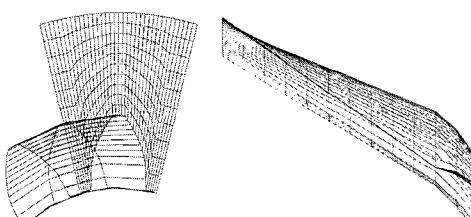
$$\phi_b(y) = (\phi - TW) - \frac{TW * (Y - Y_0)}{Y_1} \quad (18)$$



(a) RA=0.65 and TW=0°



(b) RA=0.65 and TW=15°



(c) RA=0.65 and TW=30°

Fig. 3 The twisted surfaces of dies

Fig. 3은 랜드부가 있는 경우의 금형표면 형상의 그림이며 좌측의 그림은 정면에서 본 모양이며 우측의 그림은 측면에서 본 비틀림이 없는 경우와 비틀림이 있는 경우의 표면 형상이다. 본 연구에서는 복수개의 인볼루트 헬리컬핀 중에서 하나만 해석하여 전체 해석을 대신한다.

### 3. 랜드부가 없는 헬리컬핀 디 제품의 해석결과 및 고찰

#### 3.1 해석조건 및 제품의 형상

Table 1은 해석조건으로서 각 변수들의 값을 표시하며 Fig. 4는 금형출구단면의 기하학적 관계를 나타내고 있다.

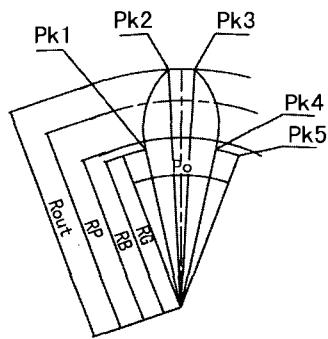


Fig. 4 Product shape

$$Po = \frac{2\pi}{Z} \quad RP = \frac{Z \times ZM}{2}$$

$$Rout = RP + ZM$$

$$RG = RP - 1.1570796 \times ZM$$

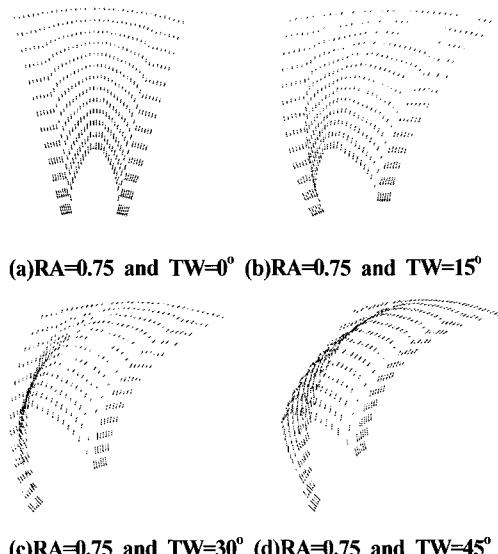
$$RB = RP \times \cos(\alpha) \quad (\alpha : \text{압력각})$$

Table 1 The condition of analysis

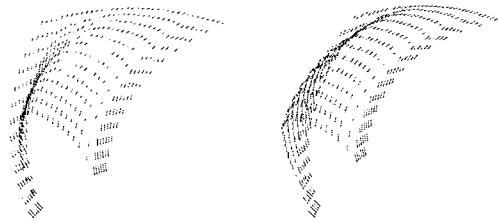
Inlet speed ( $V_0$ )	10 mm/sec
Billet radius ( $R_0$ )	40 ~ 60 mm
Yield stress (Y)	120 N/mm <sup>2</sup>
Die length ( $Y_0$ )	30 ~ 90 mm
Pressure angle ( $\alpha$ )	27°
Tooth number (Z)	12
Module (ZM)	5
Twisting angle (TW)	15° ~ 45°
Reduction of area(RA)	0.55 ~ 0.75
Friction constant(m)	0.1 ~ 0.7

### 3.2 비틀어진 금형의 속도분포

Fig. 5의 (a)는 단면감소율이 75%인 경우의 금형표면상에서의 3차원속도분포를 나타낸다. 이 경우는 비틀림 각이 없는 속도분포로서 대칭축을 중심으로 좌우대칭의 구조를 보여주며 제품의 비틀림 현상은 발생하지 않는다. 즉, 금형의 비틀림이 없는 압출인 경우 비틀림이 발생하지 않음을 나타낸다. 또한, Fig. 5(b)에서 금형의 비틀림 각이 약 15°인 경우 비틀린 방향으로 소재의 비틀림 속도분포를 나타내며, Fig. 5(c),(d)에서 금형의 비틀림 각을 30°, 45°인 경우 금형표면 속도분포를 나타낸 것으로서 금형의 비틀림 방향으로 소재가 비틀어져 압출되고 있는 속도분포를 나타낸다.



(a)RA=0.75 and TW=0° (b)RA=0.75 and TW=15°

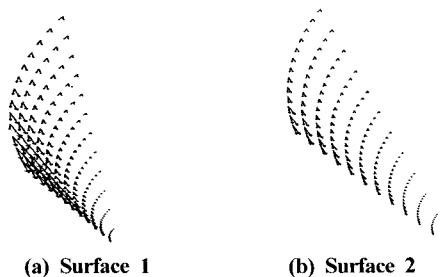


(c)RA=0.75 and TW=30° (d)RA=0.75 and TW=45°

Fig. 5 The velocity distribution on dies surface

### 3.3 비틀어진 내부전단면에서의 속도분포

Fig. 6의 (a),(b),(c),(d)는 각각의 비틀어진 내부전단면의 속도 분포를 출구단면에서 보았을 때의 그림으로서 각 전단면에서는 반경방향 속도편차에 의한 하나의 내부전단면에서 두 개의 속도분포가 존재함을 나타내고 이러한 상대미끄럼속도에 의한 내부전단일의 존재를 보여준다.



(a) Surface 1

(b) Surface 2

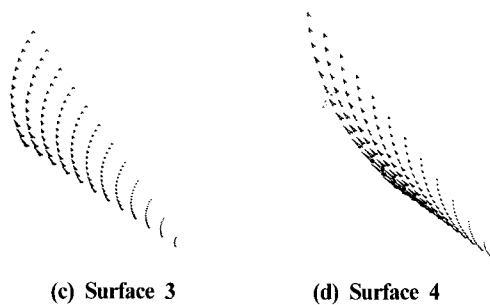


Fig. 6 The velocity distribution on internal twisted shear surface

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

#### 3.4 비틀림각도에 따른 회전각속도와 압출압력

Fig. 7을 보면 금형의 비틀림각(TW)이 클수록 회전각속도가 커지고 단면감소율(RA)이 커질수록 회전각속도가 커짐을 보여준다. 또 비틀림각이 커질수록 압출압력이 커짐을 확인 할 수 있고, 또한 단면감소율(RA)이 커질수록 압출압력이 커짐을 보여주고 있고 또한, 단면감소율(RA)이 커질수록 비틀림각의 변화에 따른 압출압력의 변화정도가 더욱 커짐을 확인할 수 있다.

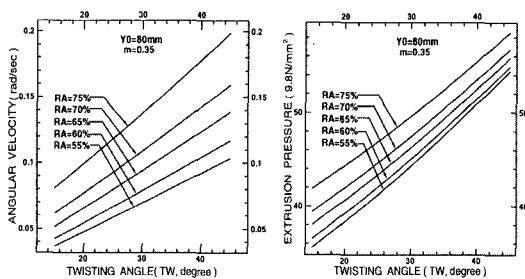


Fig. 7 The relation of twisting angle and angular velocity and pressure

#### 3.5 금형의 길이에 따른 압출압력과 회전각속도

Fig. 8을 보면 금형길이가 작으면 회전각속도가 커짐을 보여주며, 단면감소율(RA)이 클수록 회전각속도가 커짐을 알 수 있다. 또, 금형길이가 어느 일정 거리에서 최소의 압출압력을 나타내는 길이가 있음을 보여주고 있다.

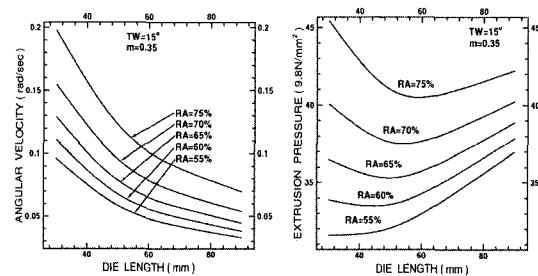


Fig. 8 The relation of die length and angular velocity and pressure

#### 3.6 마찰상수에 따른 압출압력과 회전각속도

Fig. 9에서 마찰상수(m)가 클수록 회전각속도가 거의 변함이 없음을 확인할 수 있고 계산 결과 값을 비교하며 보면 마찰상수가 커질수록 회전각속도가 약간 증가함을 확인 할 수 있었다. 또, 마찰상수가 커질수록 압출압력이 선형적으로 증가함을 보여주며, 비틀림각에 따른 압출압력의 변화도 확인할 수 있다.

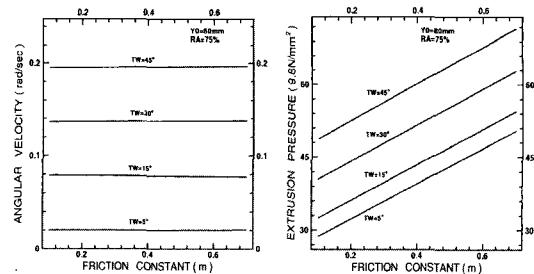


Fig. 9 The relation of friction constant and angular velocity and pressure

#### 4. 렌드부가 있는 헬리컬핀 다이 제품의 해석결과 및 고찰

##### 4.1 해석조건

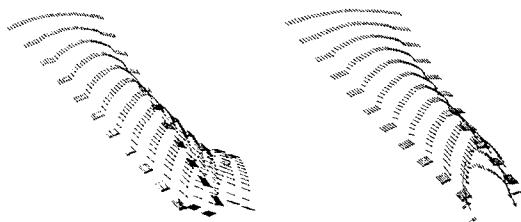
Table 2는 해석조건으로서 각 변수들의 값을 나타낸다.

**Table 2 The 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>
Pressure angle ( $\alpha$ )	27°
Tooth number ( $Z$ )	12
Module (ZM)	5
Die length ( $Y_0$ )	20 ~ 160 mm
Land length ( $Y_1$ )	5 ~ 20 mm
Twisting angle for Die (TW)	0° ~ 60°
Twisting angle for Land (TW <sub>1</sub> )	5° ~ 20°
Reduction of area (RA)	0.5 ~ 0.8
Friction constant (m)	0.1 ~ 0.6

#### 4.2 비틀어진 금형의 속도분포

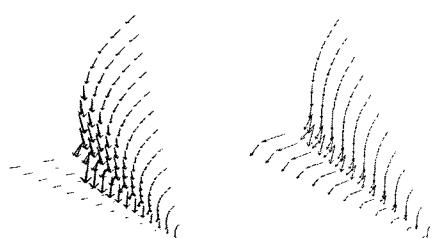
Fig. 10은 단면감소율이 65%인 경우의 금형 표면상에서의 3차원속도분포를 ISO View로 나타낸 것이다. (a)의 경우는 비틀림각이 없는 속도분포로서 대칭축을 중심으로 좌우대칭의 구조를 보여주며 제품의 비틀림 현상은 발생하지 않는다. 즉, 금형의 비틀림이 없는 압출인 경우 비틀림이 발생하지 않음을 나타낸다. 또한, Fig. 10(b)에서 금형의 비틀림각이 15°인 경우 비틀린 방향으로 소재의 비틀림 속도분포를 나타낸다.



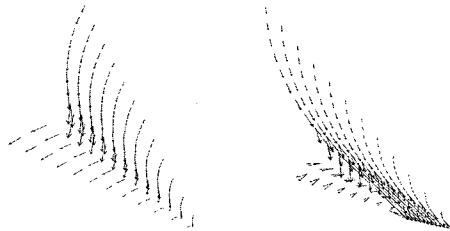
(a) RA=0.65 and TW=0      (b) RA=0.65 and TW=15  
Fig. 10 The velocity distribution on die surface

#### 4.3 비틀어진 내부전단면에서의 속도분포

Fig. 11은 잇수12개이고 금형이 30° 만큼 비틀려 있을 때의 비틀어진 내부전단면에서의 속도 분포를 나타낸다.



(a) Surface1      (b) Surface 2



(c) Surface 3      (d) Surface 4

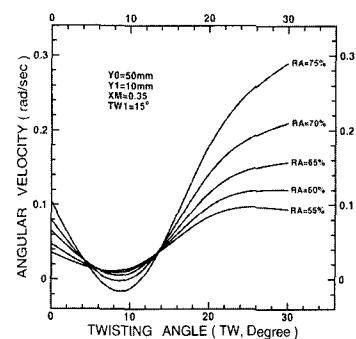
Fig. 11 The velocity distribution on internal twisted shear surface

(a), (b), (c), (d)는 각각의 비틀어진 내부전단면의 속도 분포를 출구단면에서 보았을 때의 그림으로서 각 전단면에서는 반경방향 속도편차에 의한 하나의 내부 전단면에서 두 개의 속도분포가 존재함을 나타내고 이러한 상대 미끄럼속도에 의한 내부전단일의 존재를 보여준다.

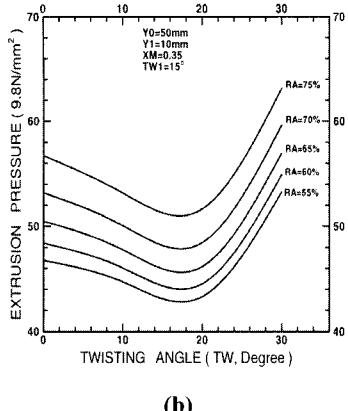
그리고 내부전단면에서의 속도분포 또한 금형의 비틀림 방향으로 회전하는 속도분포를 확인 할 수 있고 전단면 1,2에서의 중심으로 향한 속도는 전단면 1,2 사이의 블록에 의한 속도분포이고, 전단면 2,3에서의 금형의 회전을 따라 회전하는 속도는 전단면 2,3 사이의 블록에 의한 속도분포이다. 전단면 3,4에서의 밖으로 향한 속도는 전단면 3,4 사이의 블록에 의한 속도분포이다. 그리고 전단면 4에서의 금형을 따라 회전하는 속도는 전단면 4에서의 오른쪽 블록에 의한 속도분포이다.

#### 4.4 비틀림각도에 따른 회전각속도와 압출압력

Fig. 12는 비틀림각(TW)과 단면감소율(RA)의 변화에 따른 회전각속도의 관계와 압출압력의 변화를 나타내는 그림으로 랜드부의 비틀림각이 15°로 고정되어 있을 때 금형의 비틀림각이 영일 때에는 단면감소율의 증가에 따라 회전각속도가 증가하고 금형의 비틀림각이 점차로 변함에 따라 회전각속도가 일정 각도에서 최소치를 나타내고 다시 증가함을 보여준다.



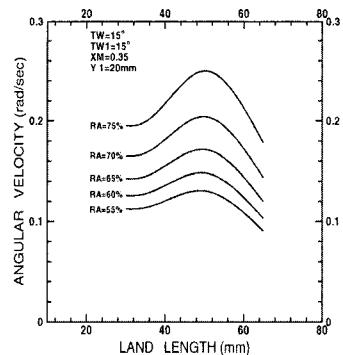
(a)



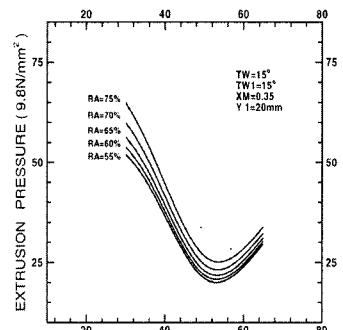
(b)

Fig. 12 The relation of twisting angle and angular velocity and pressure

비틀림각(TW)과 단면감소율(RA)의 변화에 따른 압출압력의 변화는 마찬가지로 일정한 각도에서 최소의 압출압력을 나타냄을 보여주고 있다. 그리고, 단면감소율이 커짐에 따라 압출압력이 커짐을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

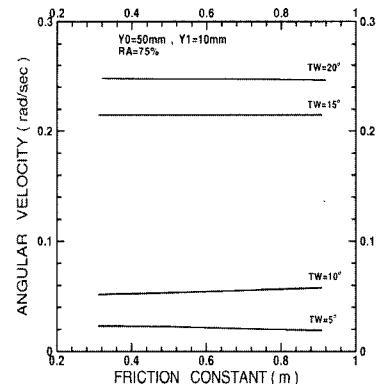
Fig. 13 The relation of die length and angular velocity and pressure

#### 4.5 랜드부의 길이에 따른 압출압력과 회전각속도

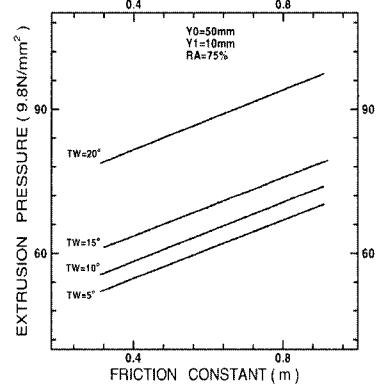
Fig. 13은 금형의 비틀림각과 랜드부의 비틀림각이 같고 마찰상수가 일정할 때 금형의 길이에 따른 회전각속도와 압출 압력의 변화를 보여주며, 이 때에 일정한 금형의 길이에서 비틀림각이 최대가 됨을 나타내고 금형길이가 어느 일정 거리에서 최소의 압출압력을 나타내는 길이가 있음을 보여주고 있다.

#### 3.6 마찰상수에 따른 압출압력과 회전각속도

Fig. 14에서 마찰상수(m)의 변화에 따른 각각의 비틀림 각도에 대한 회전각속도와 압출압력의 변화를 보여주며 마찰상수에 대한 비틀림 각속도의 변화가 거의 없음을 보여주고 있다. 즉, 헬리컬핀을 가진 금형의 비틀림 압출가공에서는 금형이 비틀어진 만큼 압출가공 되어지며 마찰상수의 영향이 크지 않음을 나타낸다. 또, 마찰상수가 커질수록 압출압력이 선형적으로 증가함을 보여주며, 비틀림각이 커짐에 따라 압출압력 증가함을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 14 The relation of friction constant and angular velocity and pressure

## 5. 결 론

금형 출구단면 형상이 인볼루트 헬리컬 핀을 가진 경사형 다이의 비틀어진 금형 표면을 사용한 압출공정 중에 발생하는 제품의 비틀림에 관한 가공변수의 영향을 해석하기 위하여 동적가용속도장을 구성하였다.

(1) 비틀림 해석용 속도장은 금형의 입구에서 출구까지의 회전함수를 축방향(y)의 1차함수로 가정하여 회전함수에서의 기울기상수의 변화에 따라 소성일을 최소로 하고, 압출압력을 최소로 하는 상수를 F.P.S법을 이용하여 구하며 이러한 회전함수에 의하여 출구단면에서의 회전각속도 즉 압출가공 되는 제품의 회전각속도를 구할 수 있었다.

(2) 랜드부가 없는 경우의 해석 결과로

(a) 비틀립각이 클수록 비틀림이 크게 선형적으로 증가함을 알 수 있었다.

(b) 단면감소율이 클수록 비틀림이 커짐을 알 수 있었다.

(c) 금형의 길이가 짧을수록 비틀림이 커짐을 알 수 있었다.

(d) 마찰상수에 따른 압출제품의 비틀림의 영향은 크지 않음을 알 수 있었다.

(3) 랜드부가 있는 경우의 해석 결과로

(a) 랜드부의 일정 길이에서 최대의 회전각속도를 얻을 수 있었다.

(b) 단면감소율이 커짐에 따라 압출 압력이 커짐을 알 수 있었다.

(c) 마찰상수에 따른 압출제품의 비틀림의 영향은 크지 않음을 알 수 있었다.

이상과 같이 랜드부가 있는 경우나 없는 경우 모두 헬리컬핀을 가진 비틀어진 경사형 다이의 비틀어진 금형에 의해서 회전각속도가 생기며 금형의 비틀어진 각도가 클수록 비틀림이 큼을 알 수 있다. 이때 랜드부의 일정 길이에서 최대의 회전각속도를 얻을 수 있었다.

이러한 결과로 비틀어진 표면을 가진 금형의 비틀어진 형상에 의해서 압출가공중에 소재가 비틀어짐을 확인을 통해서 1차 방정식의 기준면초기함수식을 사용한 3차원 동적가용속도장의 타당성을 확인 할 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 부경대학교 기성회 연구비 및 두뇌한국 21 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 관계자께 위에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) 권혁홍 1993, “합금강의 냉간압출에 의한 고정밀도 헬리컬기어의 제조에 관한연구”, 부산대학교 박사학위 논문.
- (2) 최재찬, 조해용, 권혁홍, 1991 “냉간단조에 의한 헬리컬기어의 새로운 성형방법과 상계해석에 관한 연구”, 단조심포지움'91, 한국소성가공학회, pp.40~51.
- (3) H. Kudo: Int. J. Mech. Sci., pp.57~83, pp.229~252, 1960, 38.
- (4) Yang,D.Y., Kim,M.U. & Lee,C.H., 1978, "An Analysis is for trusion of helical shapes from round billet", Int. J.Mech. Sci., 20, p.695.
- (5) Yang D.Y 1986, "Analytical and Experimental Investigation Into Lubricated Three-Dimensional Extrusion of General Helical Sections" CIRP, Vol.15/1, pp.169~172.
- (6) 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.
- (7) Manabu Kiuchi,Michihiko Hoshino,Shigeo Iijima, 1989, "Simulation of Unsteady Flow of Workpiece in Non-Axisymmetric Extrusion Processs 1", Journal of the JSTP, Vol.30, No.336, p.43~50.
- (8) Toshihiro Imai, Manabu Kiuchi, Tsuyoshi Muramatsu, 1991, "Analyses of Helical Shaped Extrusion1", Journal of the JSTP, Vol.32, No.370, p.1403.
- (9) 진인태, 최재찬, 1997, "사각형 단면의 편심압출시 제품의 굽힘현상에 관한 연구", 한국소성가공학회지 Vol.6, No.1, pp.46~52.
- (10) 김한봉, 진인태, 1999, "원형밸렛으로부터 나선형 사다리꼴핀을 가진 제품의 비틀림 압출가공법에 관한 연구", 한국소성가공학회지 Vol.8, No2, pp.143~151.