

## 동회전 2축 스크류 압출기의 스크류 설계 파라미터에 관한 연구

최부희<sup>#</sup>, 최상훈<sup>\*</sup>

### A Study on Screw Design Parameters of Co-Rotating Twin Screw Extruder

Boo-Hee Choi<sup>#</sup>, Sang-Hoon Choi<sup>\*</sup>

#### ABSTRACT

Twin screw extruders are the heart of the polymer processing industry. They are used at some stage in nearly all polymer processing operations. This paper is concerned with the basic elements of the extruder design. The proper design of the geometry of the extruder screw is of crucial importance to the proper functioning of the extruder. If the material transport instabilities occur as a result of improper screw geometry, even the most sophisticated computerized control system cannot solve the problem. For this purpose, a characteristic design on the screw flights shape of the closely intermeshing co-rotating twin screw extruder. This paper presents design parameters of double flighted screw and triple flighted screw elements, and characteristics of various screw channel area versus screw diameter ratio, K value, in the barrel of screw extruder.

**Key Words** : Twin screw extruder(2축 스크류 압출기), Co-rotating(동회전), Double flighted screw(2날개 스크류), Triple flighted screw(3날개 스크류), Screw geometry(스크류 기하학)

#### 기호설명

$D$  : screw outer diameter

$D_i$  : screw root diameter

$S$  : screw pitch

$L$  : screw lead

$p$  : screw flights number

$C_L$  : centerline distance

$\alpha_i$  : one-half angle the intermeshing

$K$  : ratio of  $D$  and  $D_i$

$\phi$  : helix angle

$\alpha_t$  : tip angle

$B$  : axial channel width

$b$  : axial flight width

$H$  : channel depth(screw flight height)

$W$  : perpendicular channel width

$w$  : perpendicular flight width

<sup>\*)</sup> 접수일: 2003년 1월 29일; 게재승인일: 2003년 5월 13일

<sup>#</sup> 교신저자: 서울정수기능대학 자동화시스템과

Email: bhchoi@kopo.or.kr, Tel: (02) 2001-4035

<sup>\*</sup> 건국대학교 기계항공공학부

## 1. 서론

각종 산업에 널리 사용되는 압출 공정이란 배럴 내에 장치된 스크류를 회전시켜 그 속에 투입되는 원료에 혼합, 가열, 압축 등의 처리를 통하여 원하는 물성 및 형상의 제품을 연속적으로 생산하는 가공방법을 말하며, 이 기계를 스크류 압출기(screw extruder)라 한다.

현재 식품산업과 폴리머 공정에 널리 사용되고 있는 2축 스크류 압출기의 중요한 기계적 요소는 스크류이다. 특히 밀폐형 동회전 2축 스크류 압출기에 있어서 스크류에 대한 기하학적 형상설계는 압출기의 성능에 큰 영향을 미친다. 만약 스크류의 형상설계가 적절하지 못하여 재료의 이송에 안정성을 얻을 수 없다면 압출공정에서 근본적인 문제점을 해결할 수 없게 된다. 동회전 밀폐형 2축 스크류 기하학에 대한 연구는 1978년 Booy<sup>1</sup>에 의하여 처음 소개되었으며, 1990년 White<sup>2</sup>는 2날개 스크류의 채널형상에 대한 유동특성을, Rauwendaal<sup>3</sup>은 동회전과 역회전 시 밀폐형 조건을 만족하는 기하학적 조건을 비교하여 제시하는 등 2축 스크류 압출기에 대하여 많은 연구가 진행되어오고 있으나 2날개 스크류와 3날개 스크류의 기하학적 특성 비교를 위한 기본적인 설계 파라미터에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 동방향으로 회전하는 2축 스크류 압출기에 있어서 2날개 스크류와 3날개 스크류에 대하여 기하학적 작도 방법을 통하여 스크류의 두 축이 물림 시 밀폐형이 되기 위한 날개형상의 일반식을 유도하였으며, 스크류 날개의 형상을 결정하는 주요 설계 파라미터(스크류의 지름, 스크류의 리드, 날개수, 스크류의 지름비)의 특성을 비교하고 스크류의 이송 특성을 연구하였다.

## 2. 2축 스크류의 기하학

### 2.1 스크류 압출기

스크류 압출기는 Fig. 1과 같이 단축 스크류 압출기와 2축 스크류 압출기로 크게 분류된다. 2축 스크류 압출기는 스크류의 형상 및 축간 중심거리에 따라 이웃하는 두 스크류 사이에 틈이 형성되는 개방형(non-intermeshing type)과 틈이 형성되지 않는 밀폐형(fully intermeshing, self wiping type)으로

나누어지며, 축의 회전방향에 따라 동회전 스크류(co-rotating screw)와 역회전 스크류(counter-rotating screw)로 분류된다.<sup>4</sup>

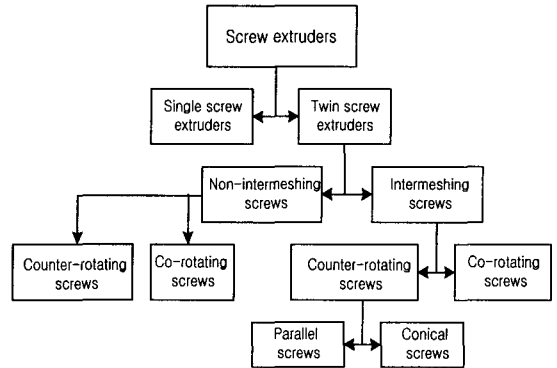


Fig. 1 Screw extruders type

### 2.2 스크류의 형상 정의

Fig. 2는 2축 스크류 압출기에 있어서 2날개를 갖는 동회전 밀폐형 스크류의 기하학적 파라미터들을 정의하였다.

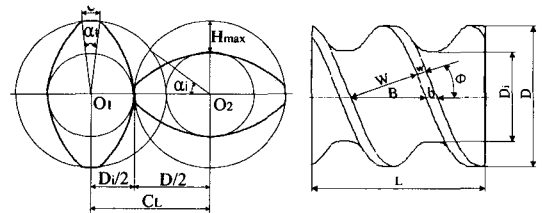


Fig. 2 Screw drawn with straight flights

스크류 압출기에 사용되는 스크류는 스크류의 조합과 가공을 용이하게 하기 위하여 스크류의 리드(L) 만큼 분할(segment)하여 가공한 후 스플라인형상의 스크류 축에 조립하여 사용하므로 스크류 설계시 생산량과 소요동력을 고려하여 스크류의 지름 D, 스크류의 리드 L, 스크류의 축간 중심거리와 스크류의 몸통부 지름  $D_i$ 를 고려한  $K(D/D_i)$  값에 의하여 결정된다. 스크류 설계 시 나선각  $\phi$ 는 D와 L과의 관계에 의하여 결정되는 값이며, 채널의 깊이 H는 스크류의 날개 수, 축간 중심거리, 스크류 축의 강도 및 이송능률을 고려하여 설계자가 결정하게되는 중요한 파라미터가 된다.

### 2.3 2축 스크류의 단면 작도

두 스크류 축이 밀폐형으로 완전 물림상태의 조건을 만족하기 위하여 먼저 결정해야할 파라미터는 스크류의 지름  $D$ 와 축간 중심거리  $C_L$ 이다. Fig. 3에서 두 스크류 축의 중심거리  $C_L$ 은  $(D + D_i)/2$ 가 되고 스크류 지름  $D$ 와 스크류 몸통부의 지름  $D_i$ 와의 비를  $K$ 라 정의하면  $K = D/D_i$ 가 된다. 몸통부의 지름  $D_i$ 는 스크류 단면에서 스크류 날개의 선단각(tip angle)  $\alpha_i$ 에 의하여 결정된다. 선단각  $\alpha_i$ 가  $0^\circ$  일 때 채널의 깊이  $H$ 와 물림부의 반각  $\alpha_i$ 는 최대가 되지만 몸통부의 지름  $D_i$  값은 최소가 된다. 그러므로 스크류 단면은  $D$ ,  $\alpha_i$  및  $C_L$ 값에 의하여 작도된다.<sup>1,7</sup>

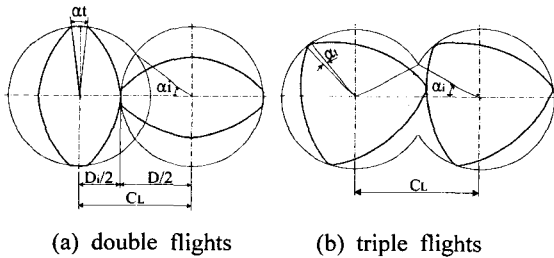


Fig. 3 Basic construction of identical screw cross section

#### 2.3.1 2날개 스크류

Fig. 4와 같이 스크류 단면의 중심점  $O_1$ 에서  $R$ 과  $R_i$ 를 반경으로 하는 스크류의 원과 스크류 몸통부의 원을 각각 그린다.

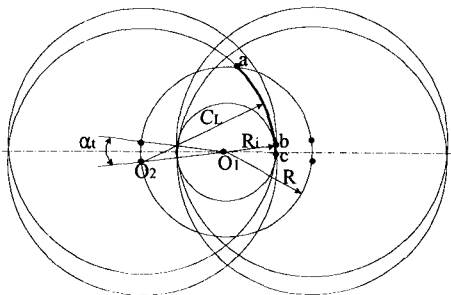


Fig. 4 Principle of double flighted screw section drawing in twin screw extruder

스크류 지름  $D$ 의 원주 상에서 선단각의 1/2 지점인  $O_2$ 에  $C_L$ 을 반경으로 하는 원호  $ab$ 를 그린다. 이때 원호  $ab$ 와 원호  $bc$ 를 연결한 곡선이 축방향 단면의 곡선을 생성하는 2날개 스크류의 단면 작도법이 된다.

#### 2.3.2 3날개 스크류

Fig. 5와 같이 스크류 단면의 중심점  $O_1$ 에서  $R$ 과  $R_i$ 를 반경으로 하는 스크류의 원과 스크류 몸통부의 원을 각각 그린다. 선단각  $\alpha_i = 0^\circ$  인 경우 스크류 지름  $D$ 의 원주상에서  $\angle aO_1O_2$ 가  $120^\circ$  인  $O_2$ 지점에서  $C_L$ 을 반경으로 하는 원호  $ab$ 를 그린다. 이때 원호  $ab$ 가 축방향 단면의 곡선을 생성하는 3날개 스크류의 단면 작도법이 된다.

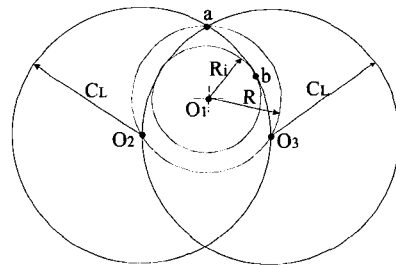


Fig. 5 Principle of triple flighted screw section drawing in twin screw extruder

## 3. 스크류 좌표계의 일반식 유도

### 3.1 스크류의 3차원 좌표 시스템

Fig. 6은 2날개 스크류의 3차원 형상 좌표계를 나타내고있으며, 스크류 축의 중심에서 수직단면 좌표를  $(R_x, R_y)$ , 스크류의 축방향 좌표를  $X_s$ , 스크류의 채널방향 좌표를  $X$ 로 설정하였다.

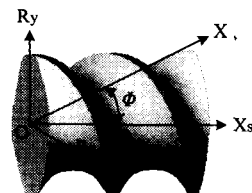


Fig. 6 Coordinate system of double flighted screw

### 3.2 스크류 단면곡선의 수식화

2축 스크류에서 축을 직각 단면을 고려해보면 날개와 채널의 기하학적 형상은 스크류 지름  $D$ , 스크류의 축간 중심거리  $C_L$ , 그리고 스크류 날개수  $p$ 에 의하여 결정된다. Fig. 7의 도형에서 스크류의 축간 중심거리  $C_L$ 은 다음과 같이 표현된다.<sup>5,6</sup>

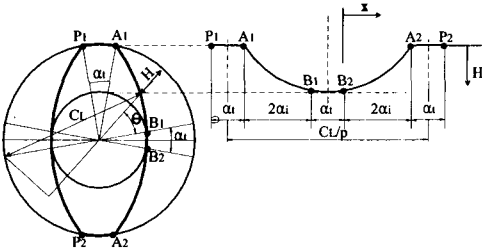


Fig. 7 Screw cross section in plane through and perpendicular to the axis

$$\cos \alpha_i = \frac{C_L}{2R} \text{ 이므로}$$

$$C_L = D \cos(\alpha_i) \quad (1)$$

물림부의 반각  $\alpha_i$ 는 선단각(tip angle)  $\alpha_t$ 와 관련되며 다음 식으로 표현된다.

$$\alpha_i = \frac{\pi}{2p} - \frac{\alpha_t}{2} \quad (2)$$

축간 중심거리  $C_L$ 과 날개높이(채널깊이)  $H$ 와의 관계는 Fig. 7에서 삼각함수를 이용하여 다음과 같이 유도된다.

$$C_L^2 = (R \sin \theta)^2 + (R \cos \theta + R - H)^2 \quad (3)$$

날개높이  $H$ 는 회전각  $\theta$ 의 함수로 결정할 수 있으므로 스크류 단면의 일반식  $H(\theta)$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$H(\theta) = \frac{D}{2} (1 + \cos \theta) - \sqrt{C_L^2 - \frac{1}{4} D^2 \sin^2 \theta} \quad (4)$$

식 (4)에서 날개높이  $H(\theta)$ 는 스크류의 축 방향

인  $x$ 의 제적에 따라 채널의 단면형상을 구할 수 있다.

나선각을  $\phi$ 라 하면  $x = (\frac{D}{2})\theta \sin \phi$ 이므로 이 식을 식 (4)에 적용하면 다음과 같이 정리된다.

$$H(x) = \frac{D}{2} \left[ 1 + \cos \left( \frac{2x}{D \sin \phi} \right) \right] - \sqrt{C_L^2 - \frac{D^2}{4} \sin^2 \left( \frac{2x}{D \sin \phi} \right)} \quad (5)$$

### 3.3 2날개 스크류 단면의 형상 좌표계

Fig. 8은 2날개 스크류의 단면곡선을 생성하기 위한 좌표계를 나타내고 있다. 스크류의 반지름을  $R$ , 몸통부의 반지름  $R_i$ , 선단각을  $\alpha_t$ 라 할 때 스크류 단면의 회전각  $\theta_1$ ,  $\theta$  및  $\theta_2$ 의 경계조건에 따라  $(R_x, R_y)$ 의 좌표로 스크류의 단면곡선이 생성된다.

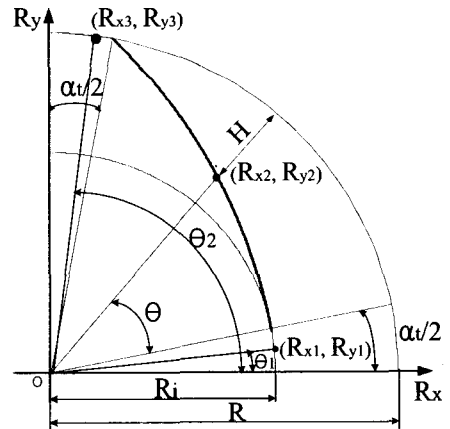


Fig. 8 Cross section profile of double flighted screw to the perpendicular axis

2날개 스크류의 단면곡선을 생성하기 위한 경계조건은 다음과 같다.

- ①  $\left\{ 0 \leq \theta_1 \leq \frac{\alpha_t}{2} \right\}$  구간에서 반경  $R_i$ 의 좌표방정식  $(R_{x1}, R_{y1})$
- ②  $\left\{ 0 \leq \theta \leq \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_i \right) \right\}$  구간에서  $H(\theta)$ 의 곡선 방정식  $(R_x, R_y)$

- ③  $\left\{ \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha_t}{2} \right) \leq \theta_2 \leq \left( \frac{\pi}{2} \right) \right\}$  구간에서 반경  $R$ 의 좌표방정식  $(R_{x3}, R_{y3})$ 으로 이루어진다.

### 3.4 3날개 스크류 단면의 형상 좌표계

Fig. 9는 3날개 스크류의 단면곡선을 생성하기 위한 좌표계를 나타내고 있다. 이 좌표계는 2날개 스크류와 같이  $\theta_1, \theta$  및  $\theta_2$ 의 경계조건에 따라  $(R_x, R_y)$ 의 좌표로 스크류의 단면곡선이 생성되며 시작점의 좌표는  $\pi/3$ 인 지점이다.

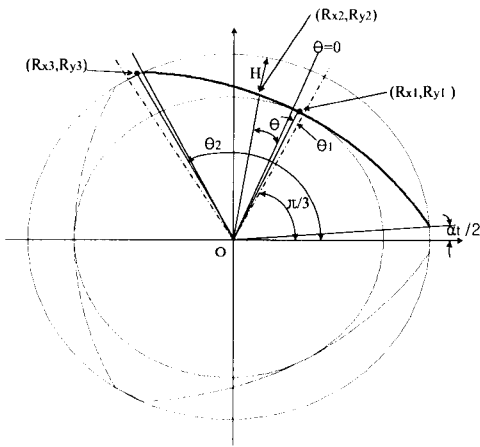


Fig. 9 Cross section profile of triple flighted screw to the perpendicular axis

3날개 스크류의 단면곡선을 구하기 위한 경계조건은 다음과 같이 정리된다.

- ①  $\left\{ 0 \leq \theta_1 \leq \frac{\alpha_t}{2} \right\}$  구간에서 반경이  $R_i$ 인 원의 좌표방정식  $(R_{x1}, R_{y1})$
- ②  $\left\{ 0 \leq \theta \leq \left( \frac{\pi}{3} - \alpha_t \right) \right\}$  구간에서  $H(\theta)$ 의 곡선 방정식
- ③  $\left\{ \left( \frac{2\pi}{3} - \frac{\alpha_t}{2} \right) \leq \theta_2 \leq \left( \frac{2\pi}{3} \right) \right\}$  구간에서 반경이  $R$ 인 원의 방정식으로 이루어진다.

### 3.5 스크류 채널의 형상 좌표계

나선각이  $\phi$ 일 때 스크류의 채널형상은 Fig. 10과 같이 축 방향에서 나선각 만큼 비틀어진 위치에

생성되므로 채널형상을 구하기 위한 경계조건은 채널방향의  $X_1$ 과  $X_2$ 구간에서 채널깊이가 형성된다. 여기서  $p$ 는 날개 수를 나타내므로 2날개와 3날개 모두 적용된다.

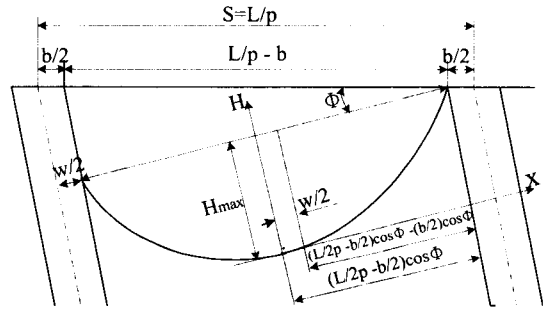


Fig. 10 Screw cross channel profile to the axis

여기서  $X_1$ 은 선단각  $\alpha_t$ 에 의하여 결정되며 채널형상을 생성하기 위한 경계조건은 다음과 같다.

$$\left\{ 0 \leq X_1 \leq \frac{w}{2} \right\} \text{구간에서}$$

$$H(x)_1 = C_L - D_i \tag{6}$$

가 되며,

$$\left\{ \frac{w}{2} \leq X_2 \leq \left( -\frac{L}{2p} - b \right) \cos(\phi) + \frac{w}{2} \right\} \text{구간에서}$$

$$H(x)_2 = \frac{D}{2} \left( 1 + \cos \left\{ \frac{2(X_2 - \frac{w}{2})}{D \sin(\phi)} \right\} \right) - \sqrt{C_L^2 - \frac{D^2}{4} \sin^2 \left\{ \frac{2(X_2 - \frac{w}{2})}{D \sin(\phi)} \right\}} \tag{7}$$

로 유도된다.

### 3.6 스크류 날개의 한계깊이

스크류의 선단각  $\alpha_t = 0^\circ$  일 때 스크류의 축 방향 날개폭은 0이 된다. 이 경우 날개 끝이 예리한 형상을 갖게 되어 채널의 면적은 최대가 되지만 배널 내에서 회전 시 스크류 끝단의 마모가 심하고 스크류의 강도가 저하되는 단점이 있다. 따라서 설계 시 적정 선단각의 결정이 중요하다. 선단각의 한계조건인  $\alpha_t \geq 0$ 을 만족하는  $K$ 의 한계범위는 다음과

같이 정리된다.

$$K = \frac{D}{D_i} \quad (8)$$

$$C_L = \frac{D + D_i}{2} \quad (9)$$

식 (1)과 식 (2)를 식 (8)과 식 (9)에 대입하여 유도하면

$$K \leq \left\{ 2 \cos \left( \frac{\pi}{2p} - \frac{\alpha_t}{2} \right) - 1 \right\}^{-1} \quad (10)$$

가 된다. 이 식이 스크류의 지름비  $K$ 의 한계 범위 식이다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 스크류의 설계 파라미터

2축 스크류 압출기에서 스크류의 두 축이 동방향으로 회전시 완전 밀폐형이 되기 위한 기하학적 형상을 설계한 결과 스크류 형상을 결정하는 설계 파라미터는 서로 연동되어 있으므로 입력 파라미터는  $D, L, p, K$ 로 결정된다.

(1) 스크류 지름  $D$  : 생산량과 소요동력에 의하여 압출기의 크기를 결정하는 파라미터

(2) 스크류 리드  $L$  : 스크류 지름  $D$ , 나선각  $\phi$ 와 관련되며 압출재의 물성치와 이송능률에 따라 결정되는 파라미터

(3) 날개수  $p$  : 스크류 압출기의 형식과 관련되는 파라미터

(4) 스크류의 지름비  $K$  : 축간중심거리  $C_L$ , 물림부의 반각  $\alpha_b$ , 선단각  $\alpha_t$ , 채널의 깊이  $H$  등과 직접 관련되며  $K$ 값에 따라 스크류의 형상이 달라지는 중요한 파라미터이다.

따라서 스크류 설계시 위 4개의 설계 파라미터로 스크류의 형상설계가 가능하다.

##### 4.2 날개수에 따른 $K$ 값 특성 분석

Fig. 11은 2날개( $p=2$ ) 스크류와 3날개( $p=3$ ) 스크류의 한계값이  $K$ 값의 특성을 나타내고 있다. 여

기서  $m$ 은 축방향 날개폭  $b$ 와 지름  $D$ 의 비를 의미하며 선단각  $\alpha_t$ 가 0일 때  $b=0$ 이 된다. 또한  $Q$ 는  $L$ 과  $D$ 의 비로써  $Q=L/D$ 가 되며 나선각에 비례한다. Fig. 11에서  $m=0, Q=1$  일 때 2날개 스크류의  $K$ 의 한계값은 2.4142이고 3날개 스크류의  $K$ 의 한계값은 1.3660임을 알 수 있다.  $K$ 값은  $D$ 와  $D_i$ 의 비이므로  $D$ 가 일정할 때  $D_i$ 에 따라 결정된다. 따라서  $D_i$ 값을 크게 설계하면 스크류 축의 강도는 증가하나 채널의 폭과 깊이가 작게되어 이송능률이 감소하는 단점이 있다. 또한  $D_i$ 값을 작게 하여  $K$ 의 한계값으로 설계하면 날개 끝단에서 날개폭  $b$ 가 0이 되어 스크류 날개 끝단이 예리한 칼날형상으로 되므로 스크류의 마모가 심하게 되며 스크류 축간 중심거리가 작게되어 2축 감속기 설계에 제한을 받는 단점이 있다.

현재 이송능률을 높이기 위하여  $K$ 값을 크게 설계하는 추세에 있으나 일반적으로 2날개 스크류에서는  $K=1.55$ 로 널리 설계되고 있다. 또한  $K$ 값은 스크류의 축간 중심거리  $C_L = \frac{D}{2} \left( 1 + \frac{1}{K} \right)$ 과 밀접한 관계가 있다.

2축 스크류 압출기에 사용되는 감속기의 출력축은 일정한 중심거리를 갖는 2축이므로 기어비의 계산 결과에 따라  $K$ 값을 조절하여  $C_L$ 값을 일정하게 설계한다.

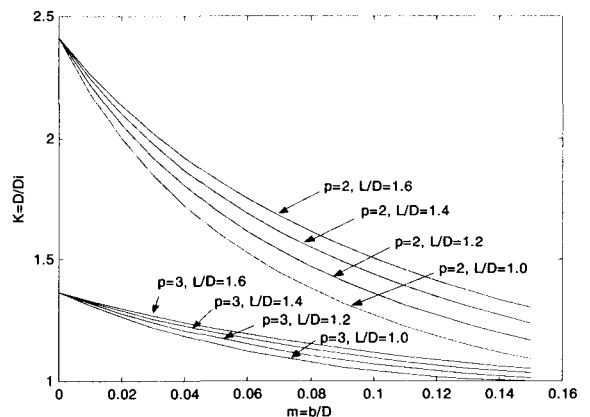


Fig. 11 Limit value of  $K$  versus  $m(b/D)$  in twin screw extruder

### 4.3 스크류의 단면형상 설계

Fig. 12는 2날개 스크류와 3날개 스크류에 대하여  $K$ 값 변화에 따른 스크류의 단면형상을 나타내고 있다.

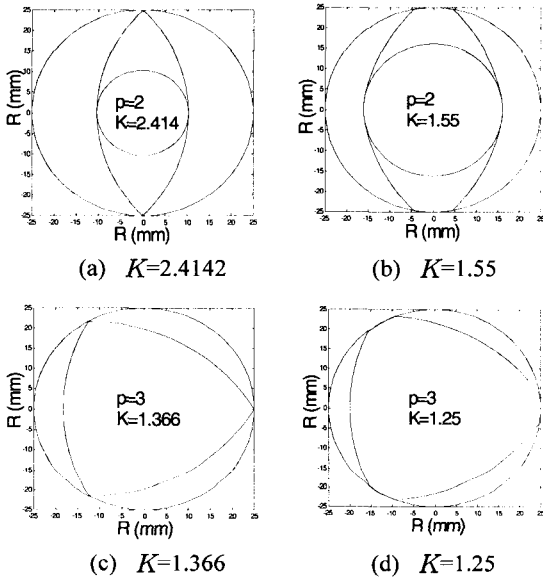


Fig. 12 Shapes of screw section at various  $K$

### 4.4 스크류의 채널형상 설계

Fig. 13은 2날개 스크류에 대하여 설계 데이터가  $D=50\text{mm}$ ,  $L=60\text{mm}$ 인 경우  $K$ 값 변화에 따른 스크류 채널의 수직방향의 단면형상을 나타내고 있다. 스크류의 날개형상은  $K$ 값에 비례하여 채널의 폭  $W$ 와 채널깊이  $H$ 가 증가하며  $K$ 의 최대 한계값

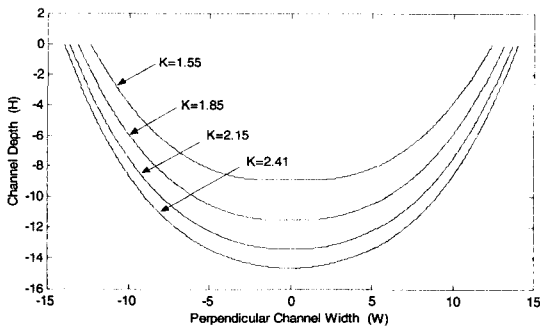


Fig. 13 Cross channel profile at various  $K$  in double flighted screw

(2.414)에서는 골 부분이 원호 형상으로 나타나지만  $K$ 값이 1.55인 경우 납죽한 형상으로 나타남을 알 수 있다.

이와 같이 설계된 채널의 곡선형상은 스크류가 공용 공구형상과 일치하므로 밀폐형 2축 스크류가 공시 공구설계 데이터로 활용할 수 있다.

Fig. 14와 Fig. 15는 동방향 2축 스크류의 3차원 설계 결과를 나타내고 있다.

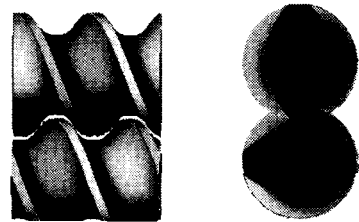


Fig. 14 Modeling of double flighted screw

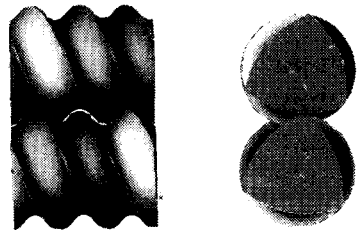


Fig. 15 Modeling of triple flighted screw

### 4.5 스크류와 배럴의 단면적 특성

2축 스크류 압출기에서 두 축의 지름이 같고 나선방향이 같은 방향으로 조합된 스크류가 등속 동방향으로 회전할 때 상대 스크류와 어떠한 위치에서 접촉하여도 자기청정(self cleaning)기능을 갖게 된다. 스크류와 배럴 사이의 빈공간(단면적  $A_0$ ) 및 표면적의 계산은 압출기의 설계 및 내부에서 물질의 이송과 열의 전달 현상을 분석하는데 있어 매우 중요하다. 2축 스크류는 항상 상대 스크류와 접촉하므로 단면은 스크류의 지름, 축간 중심거리 및 날개수에 의하여 결정된다.

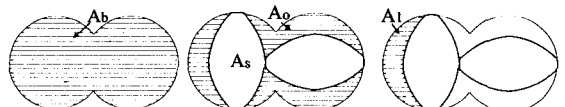


Fig. 16 Various sectional area in twin screw

Fig. 16에서 배럴의 단면적을  $A_b$ , 스크류 축 1개의 단면적을  $A_s$ , 배럴과 스크류 사이의 단면적을  $A_o$ , 스크류 채널의 단면적을  $A_1$ 이라 하면 배럴의 지름이 일정할 때 단면적은 날개수와 물림부의 반각  $\alpha_i$ 에 의존된다.

Fig. 17은 2날개와 3날개 스크류 단면에서 동방향 회전시 물림부의 단면적의 변화를 나타내고있다. 스크류 채널의 상부 단면적을  $A_{top}$ , 하부 단면적을  $A_{bot}$ , 단면적의 합을  $A_{int}$ 라 할 때 물림부의 최대 단면적  $A_{max}$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$A_{int} = A_{top} + A_{bot} \quad (11)$$

$$A_{max} = A_o - (2p-2)A_1 \quad (12)$$

식(12)에서  $p=2$ 인 경우  $A_{max} = A_o - 2A_1$ 이 되고  $p=3$ 인 경우  $A_{max} = A_o - 4A_1$ 가 되므로 2날개 스크류가 3날개 스크류에 비하여 기하학적으로 물림부의 최대 단면적이 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 18은 2날개 스크류와 3날개 스크류에 대하여  $K$ 값 변화에 따른 채널의 단면적비 특성을 나타내고 있다. 2날개 스크류에서  $\alpha_i=0$ 일 때  $A_{top}$ 의 면적은  $A_1 = 0.2497D^2$ 에서  $A_{max} = 0.3570D^2$ 까지

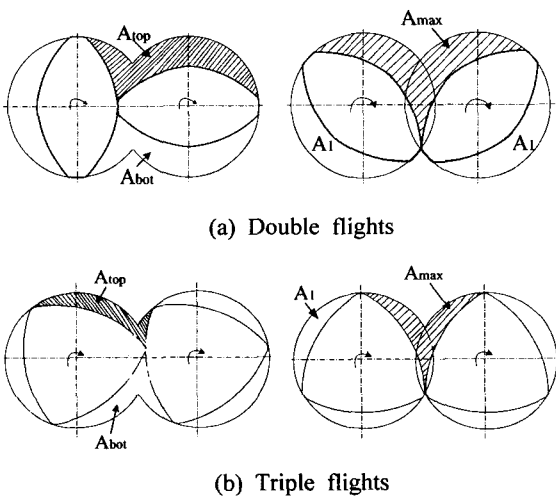


Fig. 17 Channel area through the intermeshing region

43% 증가하며, 3날개 스크류에서  $\alpha_i=0$ 일 때  $A_{top}$ 의 면적은  $A_1 = 0.0845D^2$ 에서  $A_{max} = 0.1245D^2$ 까지 47% 까지 증가한다. 그러나 동시에  $A_{bot}$ 의 면적은  $A_{max}$ 에서  $A_1$ 까지 감소한다.

따라서  $A_{top}$ 에서 압력이 감소되면  $A_{bot}$ 에서는 압력이 증가하므로 충전도가 높은 경우 물림부를 따라 누설이 발생하게되고 이로 인하여  $A_{top}$ 와  $A_{bot}$ 영역에서 동압 변동 원인이 발생하게 된다.

Fig. 19는  $K$ 값이 증가할 때  $A_{max}/A_1$ 값의 특성을 나타내고 있으며,  $p=2$ 인 경우보다  $p=3$ 인 경우 감소특성이 크게 나타나므로 2날개 스크류가 3날개 스크류에 비하여 동압 변동이 적음을 알 수 있다.

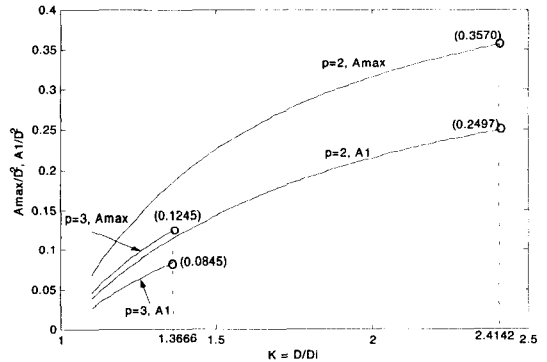


Fig. 18 Characteristic of channel area ratio ( $A_{max}/D^2$ ,  $A_1/D^2$ ) versus  $K$

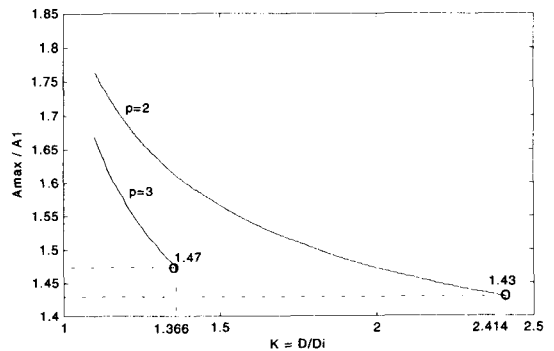


Fig. 19 Characteristic of channel area ratio ( $A_{max}/A_1$ ) versus  $K$



Fig. 20은  $K$ 값 변화에 따른 스크류 및 채널의 단면적비 특성을 나타내고 있다. 스크류 설계 시 스크류의 강도와 이송능률을 고려하여  $K$ 값을 결정하게 된다.  $K$ 값을 한계 값까지 크게 설계하면 이송능률은 증가하지만 스크류 강도의 저하를 가져오므로 적정  $K$ 값이 요구된다.

Fig. 20에 나타난 바와 같이 스크류 날개의 단면적 곡선에서  $A_s$ 의 교점인  $A_o$ ,  $A_{int}$  및  $A_{max}$ 의  $K$ 값은 각각 1.48, 1.67 및 2.13이 된다. 따라서 2날개 스크류에서 스크류의 강도와 이송능률을 고려한 적정  $K$ 값의 범위는 1.48~1.67임을 알 수 있다.

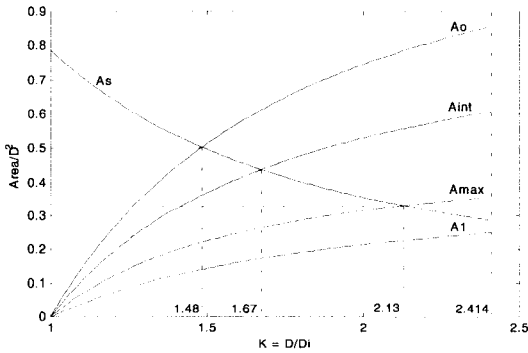


Fig. 20 Characteristic of various channel area ratio versus  $K$  in double flights

#### 4.6 스크류의 체적 이송률 특성

Fig. 21은 부분적으로 채워진 스크류의 채널형상을 나타내고 있다. 스크류 채널의 전체 횡단면적을  $A$ , 국부 횡단면적을  $A_f$ 라 할 때 충전비  $f$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$A = A_1 \sin \phi, \quad A_f = \int_{x_1}^{x_f} H(x) dx$$

$$f = \frac{A_f}{A} \quad (13)$$

여기서  $x_1 = 0.25\alpha_i D \sin \phi$ 이다.

Fig. 22는  $D=50\text{mm}$ ,  $f=0.5$ 인 조건에서  $K$ 값 변화에 따른 체적 이송률 특성을 나타내고 있다.

$K$ 의 한계 값에서 체적 이송률은  $p=2$ 일 때  $24.54(\text{cm}^3/\text{rev})$ 이고  $p=3$ 일 때  $14.01(\text{cm}^3/\text{rev})$ 로 나타나므로 2날개 스크류가 3날개 스크류보다 체적

이송률 비가 1.752 배로 크게 나타남을 알 수 있다.

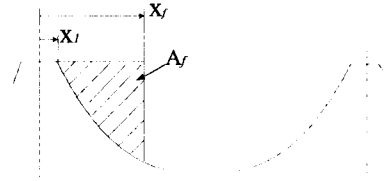


Fig. 21 Partially filled screw channel

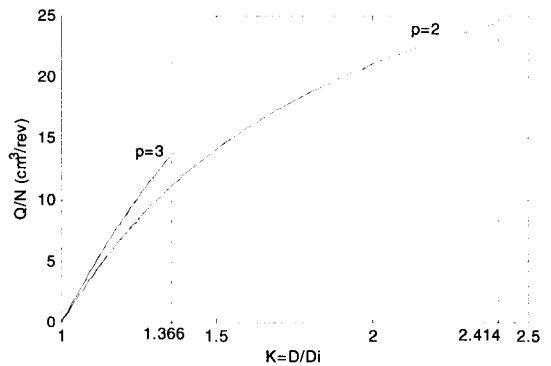


Fig. 22 Characteristic of flow rate versus  $K$  ( $D=50\text{mm}$ ,  $f=0.5$ )

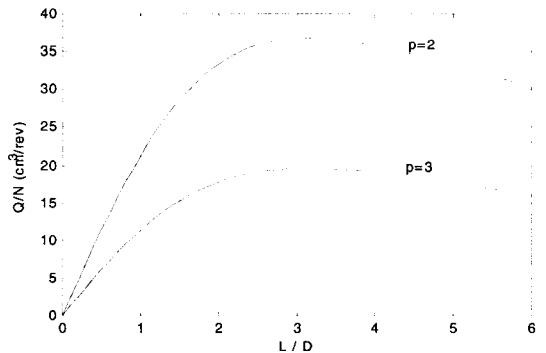


Fig. 23 Characteristic of flow rate versus  $L/D$  in  $K_{max}$  value ( $D=50\text{mm}$ ,  $f=0.5$ )

Fig. 23은  $L/D$ (나선각  $\phi$ 에 해당)변화에 따른 체적 이송률 특성을 나타내고 있다.  $L/D$ 값이 3.14일 때 날개 수와 관계없이 체적 이송률은 최대가 됨을 알 수 있다.  $L/D$ 값이  $\pi$ 일 때 나선각  $\phi$ 는  $45^\circ$ 에 해당되므로 체적 이송률이 최대가 되는 나선각은  $45^\circ$ 가 된다.<sup>2,8</sup>

## 5. 결론

본 연구에서는 동회전 2축 스크류 압출기의 2날개 스크류와 3날개 스크류에 대하여 기하학적 작도 방법을 통하여 스크류의 날개형상을 설계하고 스크류의 형상을 결정하는 주요 설계 파라미터(스크류 지름, 스크류 리드, 날개수, 스크류 지름비)와 스크류의 이송특성을 연구한 결과 다음과 같이 정리된다.

- (1) 밀폐형 조건을 만족하는 2날개 스크류와 3날개 스크류의 날개 작도법을 제시하였으며, 설계된 곡선형상은 밀폐형 2축 스크류 가공용 공구설계 데이터로 활용할 수 있다.
- (2) 2축 스크류의 날개형상 설계 파라미터는  $D$ ,  $L$ ,  $p$ ,  $K$ 로 결정되며, 스크류 날개 형상에 큰 영향을 미치는 파라미터는  $K$ 값이며, 2날개 스크류에서 스크류의 강도와 이송능률을 고려한  $K$ 값의 적정범위는 1.48~1.67로 설계된다.
- (3) 2날개 스크류가 3날개 스크류에 비하여 동압변동은 적게 나타나지만 체적 이송률은 1.752배 크게 나타난다.
- (4) 2날개 스크류와 3날개 스크류에서 체적 이송률이 최대가 되는 나선각은  $45^\circ$ 임을 확인하였다.

## 참고문헌

1. Booy, M. L., "Geometry of Fully Wiped Twin Screw Equipment," Polym. Eng. Sci., Vol. 18, 1978.
2. White, J. L., Twin Screw Extrusion, Hanser Publishers, pp. 50-73, 1990.
3. Rauwendaal, C., "The Geometry of Self-Cleaning Twin-Screw Extruders," Advances in Polymer Technology, Vol. 15, No. 2, pp. 127-133, 1996.
4. Stevens, M. J. and Covas, J. A., Extruder Principles and Operation, Champion & Hall, pp. 316-323, 1995.
5. Rauwendaal, C., Polymer Extrusion, Hanser/Gardner Publications, Inc., pp. 464-465, 1994.
6. Baird, D. G., Polymer Processing Principles and

- Design, John Wiley & Sons, Inc., pp. 213-221, 1998.
7. Choi, B. H., Jeong, C. K. and Choi, S. H., "Tool Shape Design for the Screw Flights Cutting in Twin Screw Extruder," Proceeding of the KSPE Spring Annual Meeting 2002, pp. 824-826, 2002.
8. Choi, B. H. and Choi, S. H., "Characteristics Design on Helix Angle of the Extruder Screw," Proceeding of the KSPE Fall Annual Meeting 2001, pp. 706-709, 2001.