

2축 스크류 압출기의 스크류 가공용 공구형상 설계

최부희*(서울정수기능대 자동화시스템과), 정찬길(건국대원 기계설계학과)
최상훈(건국대 기계설계학과)

Tool Shape Design for the Screw Flights Cutting in Twin Screw Extruder

B. H. Choi*(Automatic System Dept., SJPC), C. K. Jeong(Mech. Design Eng., KKU)
S. H. Choi(Mech. Design Eng., KKU)

ABSTRACT

Twin screw extruders are the heart of the polymer processing industry. The single most important mechanical element of a screw extruder is the screw. The proper design of the geometry of the extruder screw is of crucial importance to the proper functioning of the extruder. If 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, Tool shape design for the screw flights cutting in twin screw extruder.

Key Words : Screw Extruder(스크류 압출기), Screw Flight(스크루 날개), Channel Depth(채널깊이)
Channel Width(채널 폭)

1. 서론

스크류 압출기에 있어서 중요한 기계적 요소는 스크류이므로 스크류에 대한 기하학적 설계는 압출기의 성능에 큰 영향을 미친다.⁽¹⁾ 만약 스크류의 형상설계가 적절하지 못하여 재료의 이송에 안정성을 얻을 수 없다면 압출공정에서 근본적인 문제점을 해결할 수 없게된다. 스크류의 형상설계시 영향인자는 매우 다양하여 1950년대 이후 현재까지 사용되고 있는 대부분의 압출용 스크류는 스크류의 직경과 피치가 같은 사각피치(square pitch)로 설계된 스크류를 사용하고 있다.⁽²⁾ 1978년 Booy는 밀폐형 2축 압출기에 사용되는 스크류의 기하학적 형상에 관한 내용을 발표하였다.⁽³⁾ 현재 스크류 압출기는 여러 산업분야에서 응용되어 사용되고 있지만 압출용 스크류의 기하학적인 설계에 대한 연구는 매우 미진한 실정이므로 대다수 압출용 스크류의 제작업체에서는 표준 데이터에 의한 공구를 제작하여 스크류를 가공하고 있는 실정이다.⁽⁴⁾

따라서 본 연구는 밀폐형 동방향 2축 스크류 압출기에 대하여 스크류 날개 가공용 공구의 형상설

계를 위하여 날개의 기하학적 형상 특성을 검토하고 스크류 채널의 선단폭 변화에 따른 채널의 형상을 설계하고 그 데이터를 이용하여 스크류의 날개 가공용 공구형상을 설계하여 3차원 스크류 형상을 모의 가공하였다.

2. 2축 스크류의 단면 형상

2-1 용어 정의

2축 스크류 압출기는 스크류의 형상 및 축간거리에 따라 틈이 형성되는 밀폐형(intermeshing type)과 틈이 형성되지않는 개방형(non-intermeshing type)으로 나누어지며, 축의 회전방향에 따라 동방향(co-rotating)과 역방향(counter-rotating)스크류로 분류된다. 또한 스크류의 축방향 단면형상에 따라 각형 및 볼 스크류로 구분되며, 각형 스크류는 날개모양이 사다리꼴이며 보통 1조의 나선이다. 볼 스크류는 축의 직각단면이 나선의 수에 따라 2날개로 된 볼

특렌즈형과 3날개로 된 삼각형이 있으며, 그 단면형상이 연속적으로 비틀어진 나선형을 이루어 축방향 단면이 말안장형을 나타낸다.

Fig. 1은 직선 날개형상을 같은 스크루의 명칭을 나타내고 있다. 그림에서 나선각 ϕ , 스크루의 피치 S, 배럴의 지름 D_b , 스크루의 바깥지름 D, 스크루의 몸통부 지름 D_s , 스크루의 날개 높이 H(배럴과의 간격을 무시할 때 채널의 깊이), 축방향 채널의 폭 B, 축방향 날개의 선단폭 b, 날개와 수직선상의 채널의 폭 W, 날개와 수직선상의 날개폭 w, 스크루 단면의 날개수 p, 배럴의 길이를 L로 정의하였다.

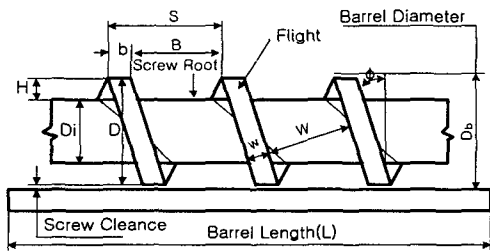


Fig. 1 Screw drawn with straight flights

스크루 설계시 스크루의 안지름과 바깥 지름은 물림상태와 채널의 깊이에 따라서 결정되며, 나선각은 스크루 축과 나란한 방향에서 스크루의 나선형 날개(flight)로부터 날개까지의 거리 또는 스크루의 피치에 의해 결정된다. 2축 스크루 압출기에서 채널의 체적한계 이내에서 채널의 깊이(H)는 크게 하고 피치(S)는 작게 한다. 일반적으로 $D=(3-4)S$ 로 설계시 나선각 ϕ 는 17.76° 이하이며 사각피치의 경우 보통 10° 내외로 결정한다. 스크루의 피치는 스크루의 날개를 1날개에서 4날개로 분할시 나선각 ϕ 는 $15^\circ \sim 8^\circ$ 의 범위가 된다. 간단하게 표현하면 피치(P)는 $p=\pi D \tan \phi$ 가 되며 날개에 의하여 형성되는 나선곡선이 길이는 $L = \frac{\pi D}{\cos \phi}$ 가 된다.

스크루 채널의 면적 A는

$A = \frac{SH}{2} = \frac{1}{2} \pi D H \tan \phi$ 가 되며, 채널의 수직방향에서 측정된 채널의 면적을 계산하면

$A = \frac{1}{2} \pi D H \sin \phi$ 가 된다.

2-2 2날개 스크루의 기하학

식품용 2축 스크루 압출기는 대부분 스크루의 회전방향이 같은 동방향 2날개형 스크루가 널리 사

용되므로 Fig. 2에 나타난 바와 같이 날개형상과 밀접한 관계가 있다.

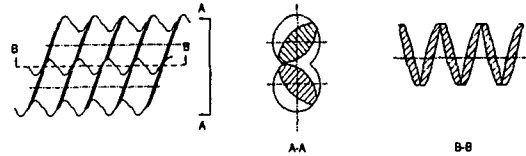


Fig. 2 Self-wiping corotating twin screw extruder

스크루 축에 수직인 단면은 2날개의 단면을 나타낸 것으로서, 한 개의 스크루 날개에 밀려 들어가는 압출용 재료는 같은 방향으로 회전하는 다른 스크루의 표면을 통과하여 축방향의 나선형으로 이동하므로 8자 형상의 궤적을 가진다. 단면 B-B를 절단해서 보면 intermeshing 영역으로 통과함을 알 수 있다. 2날개 스크루에서 축을 직각 단면을 고려해 보면 날개와 채널의 기하학적 형상은 스크루 직경 D(실제는 $D-2\delta$ 이지만 날개의 틈새를 무시한다), 스크루의 축간 중심간거리 C_L , 그리고 스크루 날개수 p에 의하여 결정된다. Fig. 3의 도형에서 스크루의 축간 중심거리 C_L 는 다음과 같이 표현된다.⁽⁵⁾⁽⁶⁾

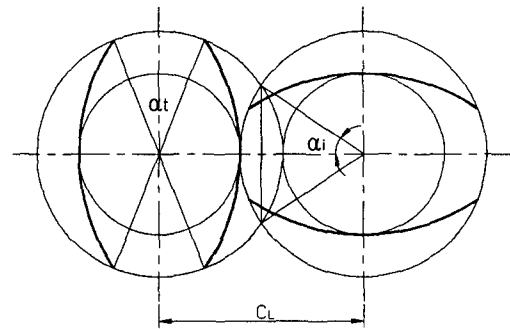


Fig. 2 Basic construction of identical screw cross section

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

α_i : 물림부의 반각

물림부의 반각 α_i 는 선단각(tip angle) α_t 와 관련되며 다음식으로 표현된다.

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

날개높이 H는 회전각 θ 의 함수로 결정할 수 있다. Fig. 4에서 $H(\theta)$ 를 구하면

$$H(\theta) = \frac{D}{2} (1 + \cos \theta) - \left(C_L^2 - \frac{1}{4} D^2 \sin^2 \theta \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

이 된다.

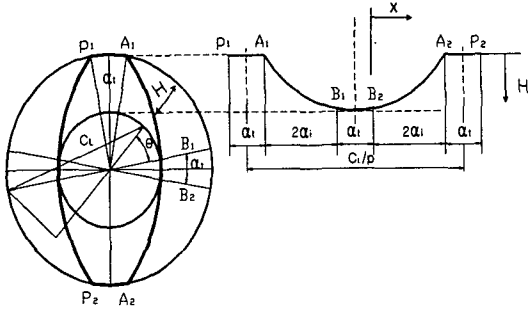


Fig. 3 Screw cross section in plane through and perpendicular to the axis

날개높이 H 는 다음식의 좌표변환을 통하여 x 방향의 좌표에 따라 채널의 단면형상을 구할 수 있다. 따라서, $x = (\frac{D}{2})\theta \sin \phi$ 를 적용하면

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

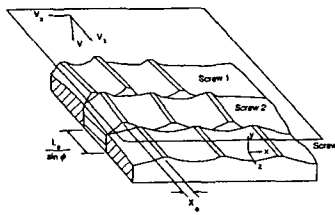


Fig. 4 Flat plate model for the closely intermeshing self-wiping twin screw extruder

Fig. 4는 단축 스크류 압출기에 사용되는 평판모델로서 1개의 스크류 축이 한바퀴 회전시 채널의 길이를 나타내고 있다.

3. 스크류 날개의 단면형상 설계

3-1 스크류의 설계조건

설계에 적용한 스크류의 바깥지름은 $D=50\text{mm}$, 나

선각 $\phi = 17.66^\circ$, 날개수 $p=2$, 스크류의 피치 $S=25\text{mm}$ 이며, 축방향 날개폭을 $b=0$, $b=0.02D$, $b=0.04D$, $b=0.06D$ 로 변화시 채널의 형상을 설계하였다.

3-2 스크류 날개 단면의 작도

스크류 날개 단면은 식(3)에 의하여 계산되어지므로 스크류 단면 형상에 대한 x - y 좌표값을 계산하여 2차원 평면에 도시한 결과 스크류의 바깥지름의 한 점 O_1 을 중심으로 하여 C_L 을 반경으로 원을 작도하면 스크류의 몸통부 지름 D_s 에 접하는 원호를 얻을 수 있게 된다. 이 원호가 스크류 단면의 형상임을 알았다. Fig. 5는 스크류 날개 단면의 생성원리를 나타내고 있다.

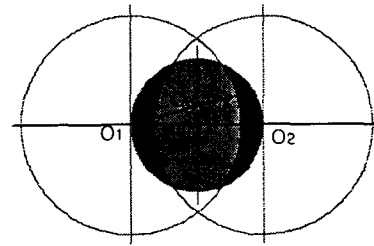


Fig. 5

3-3 스크류 날개 단면의 비교

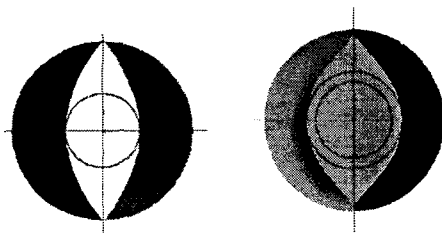
Fig. 6~Fig. 7은 스크류의 축방향 날개의 선단폭이 각각 $b=0$, $b=0.02D$, $b=0.04D$, $b=0.06D$ 로 변할 때 스크류의 축단면식에 의하여 생성되는 곡선형상의 공구로 스크류를 가공한 단면과, 볼 앤드밀로 가공한 단면을 비교하여 나타내었다. 그림에서 (a)는 단면식을 만족하는 공구에 의한 형상이며, (b)는 볼 앤드밀의 반경 중심이 스크류의 바깥지름에 접한 상태에서 가공한 경우의 단면형상이다.

Fig. 6은 선단각 α_1 가 0° 인 경우 이므로 축방향 날개폭 $b=0$ 인 경우이다. 이 경우 날개 끝단면은 예리한 형상을 가지며 날개높이 H 가 최대가 되는 경우가 된다. 볼 앤드밀로 가공한 경우는 그림(a)에 비하여 날개높이가 감소함을 알 수 있다. 또한 볼 앤드밀로 가공한 경우 날개 끝 단면형상은 새끼리 모양으로 가공되므로 2축 밀폐형 스크류에서는 간섭이 발생하게 되므로 공구의 직경과 절입 깊이의 변화가 요구된다.

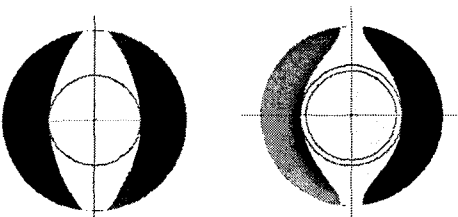
Table 1은 축방향 날개폭 b 변화에 따른 $D/2$, C_L , $W/2$, H_{\max} 의 설계 데이터를 나타내고 있다.

Table 1. Result of screw design data

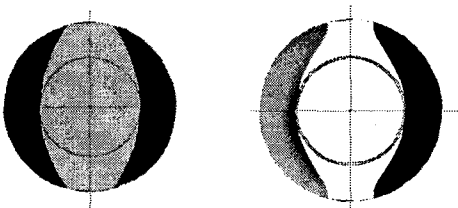
| b | 0 | 0.02D | 0.04D | 0.06D |
|-----------|---------|---------|---------|---------|
| $D_s/2$ | 10.3553 | 12.5069 | 14.5180 | 16.3859 |
| C_L | 35.3553 | 37.5069 | 39.5180 | 41.3858 |
| $W/2$ | 11.9111 | 10.9582 | 10.0054 | 9.0525 |
| H_{max} | 14.6447 | 12.4931 | 10.4820 | 8.6149 |



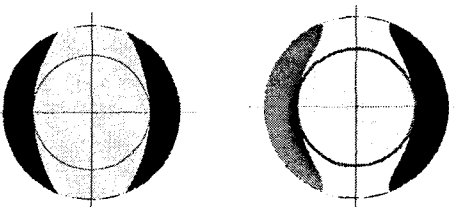
(a) Standard (b) Ball endmill
Fig. 6 Shape of screw flights in cross section(b=0)



(a) Standard (b) Ball endmill
Fig. 7 Shape of screw flights in cross section(b=0.02D)



(a) Standard (b) Ball endmill
Fig. 8 Shape of screw flights in cross section(b=0.04D)



(a) Standard (b) Ball endmill
Fig. 9 Shape of screw flights in cross section(b=0.06D)

4. 스크류 가공용 공구형상 설계

스크류의 바깥지름 D 과 리드길이 pD 를 50mm로 하여 2날개 스크류의 날개 폭을 변화시 채널의 형상을 설계하였다. 이와 같이 설계된 $x-y$ 곡선 좌표 값을 이용하여 곡선평면 만든 후, 원통지름 50mm, 원통길이 100mm로 모델링된 3차원 형상의 끝단에 나선각 $\phi = 17.76^\circ$ 로 나선곡선의 궤적을 생성하였다. 설계된 곡선 평면을 축 단면 끝단에 나선곡선과 수직평면으로 위치시키고 나선곡선을 따라 공구형상을 컷팅하여 Fig. 10과 같은 3차원 스크류 형상을 얻었다.



(a) b=0 (b) b=0.04D

Fig. 10 Shape of screw flights

Fig. 11은 스크류의 축방향에서 나선각에 수직방향의 스크류 채널의 형상을 나타내고 있다. 이 채널의 형상은 공구의 형상과 같게 되므로 공구의 형상설계에 사용할 수 있다. Fig. 11에 나타난 바와 같이 나선각이 일정할 때 날개의 선단폭이 증가하면 채널의 깊이와 채널의 폭이 감소함을 알 수 있다.⁽⁷⁾

Fig. 12는 스크류 바깥지름부에서 날개폭이 0인 경우 나선각이 변화(피치변화:S1~S4)할 때 채널의 형상을 나타내고 있다. 그림에 나타난 바와같이 날개의 선단폭이 0인 경우 채널의 최대깊이는 나선각에 변화여도 일정하게되므로 스크류의 축간 중심거리가 변하지 않게된다. 따라서 축간 중심거리를 일정하게 설계한 배럴에서 나선각이 변하는 스크류를 조합해서 사용시에는 선단 날개폭을 0으로 설계해야함을 알 수 있다.

Fig. 13은 $b=0.04D$ 인 경우 피치가 $S1=25mm$, $S2=50mm$, $S3=75mm$, $S4=100mm$ 로 변할 때(이 경우 나선각 변화와 같다) 채널의 최대깊이와 채널의 폭이 증가하므로 축간 중심거리도 증가함을 알 수 있다.

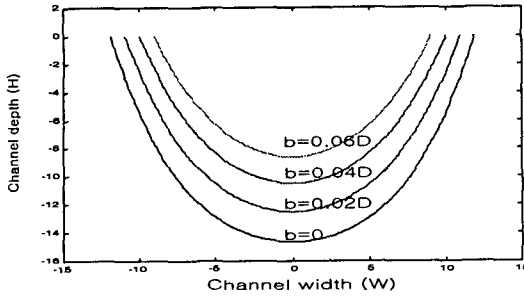


Fig. 11 Channel depth(H) versus channel width(W) at various flight tip width

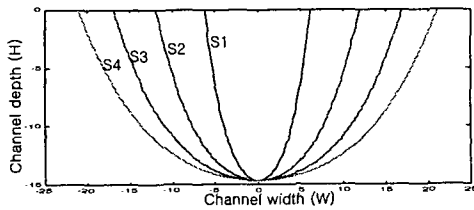


Fig. 12 Channel depth(H) versus channel width(W) at various helix angle(pitch) in $b=0$

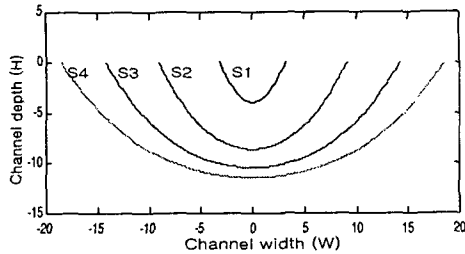


Fig. 13 Channel depth(H) versus channel width(W) at various helix angle(pitch) in $b=0.04D$

5. 결론

본 연구는 2축 스크류 압출기에 사용되는 스크류의 날개 가공용 공구 형상을 설계하기 위하여 스크류 날개의 단면과 스크류 채널의 형상을 기하학적으로 해석한 결과 다음과 같이 정리된다.

- 1) 스크류 날개의 단면형상은 스크류의 축간 중심 거리를 반경으로 하는 원호로 작도된다.
- 2) 스크류 날개의 선단폭 변화에 따른 채널의 형상을 설계하였다.
- 3) 스크류의 선단 날개폭이 0 인 경우 축간 중심거

리는 나선각의 영향을 받지 않음을 알았다.

- 4) 스크류의 날개 가공용 공구형상을 설계하여 3차원 스크류 형상을 모의 가공하였다.

참고문헌

1. James L. White, "Twin Screw Extrusion", Hanser Publishers, pp.50-73, 1990.
2. Grwegory A. Cambel, "Screw Design Newtonian Fluid Flow", ANTEC'96, pp.136-142, 1996.
3. Booy, M. L., "Geometry of Fully Wiped Twin Screw Equipment", Polym. Eng. Sci., Vol.18, 1978.
4. Chris Rauwendaal, "Polymer Extrusion", Hanser /Gardner Publications, Inc., pp.351-355, 1994.4.
5. Donald G. Baird, "Polymer Processing Principles and Design", John Wiley & Sons, Inc., pp.213-221, 1998.
6. 최부희, 최상훈, "압출용 스크류의 나선각에 대한 특성설계", 한국정밀공학회 2001년도 추계학술대회 논문집, pp.706~709, 2001.
7. 최부희, 최상훈, "압출용 스크류의 날개형상에 대한 특성설계", 한국공작기계학회 2001년도 추계학술대회 논문집, pp.292~297, 2001.