

밀폐형 동회전 2축 스크류의 제작에 관한 연구

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

A Study on Machining of the Self-Wiping Co-Rotating Twin Screw

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

ABSTRACT

This paper describes screw tool design and machining method which is able to design tool profile and 3-dimensional geometry for screws in self-wiping co-rotating twin screw extruder. The geometric features of screws for co-rotating twin screw extruders are developed from kinematic principles. Closely self-wiping screw segments are manufactured in universal milling machine by using designed screw tools. It is shown that experimental results verified the closely intermeshing condition in twin screw.

Key Words : Screw extruder(스크류 압출기), Self-wiping co-rotating screw(밀폐형 동회전 스크류), Screw tool design(스크류 공구설계), Screw machining(스크류 제작)

1. 서론

일반적인 2축 스크류 압출기는 하나의 배럴 사이에 동회전 또는 역회전하는 두 스크류 축으로 이루어진다. 역회전 2축 압출기는 맞물림 부분의 간격을 작게 할 수 있어 저 점도의 원료를 높은 압력으로 압출이 가능하고 체류시간 분포 범위가 작은 균일한 처리가 가능하지만 원료의 혼합효과가 작은 단점이 있다.⁽¹⁾ 동회전 압출기는 한 축의 스크류가 어느 위치에서도 상대 축 스크류와 항상 밀착하여 접촉하므로 자기청정(self-cleaning)기능과 혼합효과가 우수하여 식품산업이나 폴리머 산업에 가장 널리 사용되고 있다.⁽²⁾

밀폐형 동회전 2축 스크류 단면의 기하학에 대한 연구는 1078년 M. L. Booy⁽³⁾에 의하여 소개되었으며, 1990년 J. L. White⁽⁴⁾는 2축 스크류의 체널형상에 대한 유동특성을, C. Rauwendaal⁽⁵⁾은 동회전 2축 스크류와 역회전 2축 스크류의 밀폐형 조건을 만족하는 단면의 기하학적 조건을 제시하였다. 그러나 실제 스크류의 설계 제작에 필요한 스크류 체

널의 기하학적 형상과 스크류 가공용 공구설계에 관한 학술적 연구는 아직 미진한 실정으므로 국내 압출용 스크류 제작업체에서는 표준 데이터에 의한 공구를 제작하여 스크류를 가공하고 있는 실정이다.⁽⁶⁾

따라서 본 연구는 동방향으로 등속 회전 운동하는 2축 스크류가 밀폐형인 조건을 만족하는 스크류를 설계 제작하기 위하여 스크류 체널의 기하학적 형상으로부터 스크류 가공용 공구를 설계하였으며, 설계된 공구를 볼 엔드밀링 인서트 텀 홀더에 장착이 가능하도록 4mm 두께를 갖는 조강관계를 위하여 방전가공기를 이용하여 제작하였다. 스크류 제작은 만능 밀링머신의 자동 이송 테이블에 인덱스 장치를 부착하여 제작된 공구를 인서트 텀 홀더에 장착하여 스크류를 가공하였다. 또한 가공된 스크류를 두 축에 조립하여 설치한 후 동방향 등속으로 회전시 물림 성능을 평가하여 밀폐형 조건을 만족하는 스크류 날개 형상 곡선식의 타당성을 검증하였다.

2. 공구 설계 및 제작

2-1 밀폐형 2축 스크류의 생성

밀폐형 2축 스크류는 날개형상과 밀접한 관계가 있으며, 2날개 스크류가 동방향으로 회전할 때 물림 상태의 단면 방정식으로부터 기하학적 형상이 결정된다.⁽⁷⁾

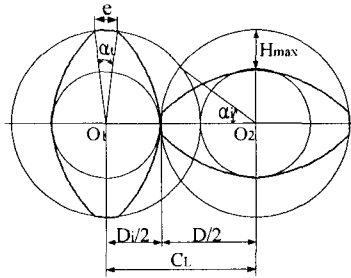


Fig.1 Basic geometric parameters of twin screw

스크류의 날개와 채널의 기하학적 형상은 스크류의 바깥지름 D , 스크류의 축간 중심간거리 C_L , 그리고 스크류 날개수 p 및 나선각 ϕ 에 의하여 결정된다. Fig. 1에서 스크류 단면의 날개높이는 회전각 θ 의 함수로 결정할 수 있으므로 스크류 단면의 일반식 $H(\theta)$ 는 다음과 같이 정리된다.

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

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

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

스크류의 채널형상은 식(3)의 스크류 단면형상의 날개높이식 $H(\theta)$ 를 좌표변환을 통하여 x 방향의 궤적에 따라 채널의 단면형상을 구할 수 있다. 나선각을 ϕ 라 하면 $x = (-\frac{D}{2})\theta \sin \phi$ 이므로 식(3)에 적용하면 스크류 채널의 일반식 $H(x)$ 는 다음과 같이 정리된다.

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

식(4)를 이용하여 스크류 채널의 형상설계가 가능하다. 스크류의 바깥지름 D 와 몸통부의 지름 D_i 와의 비율 스크류 지름비 K 라고 정의하면 $K = \frac{D}{D_i}$

가 되며 나선각 $\phi = \tan^{-1} \left(\frac{L}{\pi D} \right)$, 축간중심거리

$C_L = \frac{D}{2} (1 + 1/K)$ 이므로 스크류 채널의 형상을 결정하는 파라미터는 D, p, L, K 가 된다.

$D=50\text{mm}, L=50\text{mm}, p=2, K=1.55$ 일 때 설계된 스크류 채널의 곡선형상은 Fig. 2와 같다.

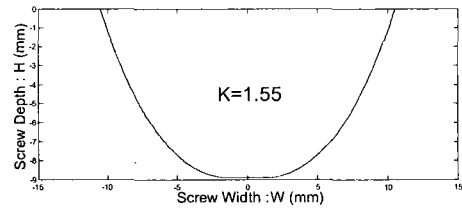
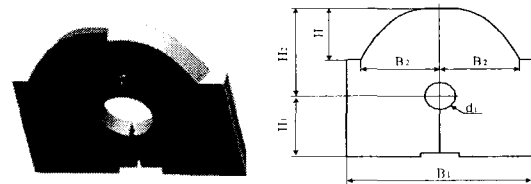


Fig.2 Shape of screw channel in double flighted screw

2-2 공구설계

스크류 가공용 공구는 Fig.3(a)와 같은 형상으로 일정한 두께를 갖는 소재에 공구인선의 질삭 여유각을 10° 를 갖는 두 날로 설계하였다. 이 때 공구의 곡선은 두 날이 교차하는 공구의 회전 중심을 지날 때 스크류 채널의 형상곡선과 일치하지만 사용된 공구는 두께 t 를 갖게 되므로 공구인선은 중심으로부터 각각 $t/2$ 만큼 벗어나게 된다. 따라서 이 경우에는 Fig.3(b)의 B_2 값이 변하게 되며, 두께 t 및 K 값 변화에 따른 공구의 설계 데이터는 Table 1과 같다.



(a) 3D modelling

(b) Drawing

Fig.3 Designed insert type tool shape modeling and drawing in double flighted screw

Table 1 Designed tool data

K	K=1.44	K=1.55	K=1.71	
Hmax(mm)	7.639	8.871	10.380	
B2 (mm)	$t/2=0$	10.2044	10.5421	10.9304
	$t/2=1$	10.1538	10.4950	10.8850
	$t/2=2$	10.0119	10.3574	10.7519
	$t/2=3$	09.7881	10.1396	10.5405
	$t/2=4$	09.4985	09.8565	10.2647

스크류 공구설계에 있어서 공구의 두께 $t=4\text{mm}$ 인 경우 공구인선이 회전축의 중심에서 2mm 벗어나므로 K 값이 각각 1.44, 1.55, 1.71일 때 채널의 형상과 수정된 공구의 형상은 Fig.4에 나타나 있으며, 설계된 공구의 단면형상은 Fig.5와 같다.

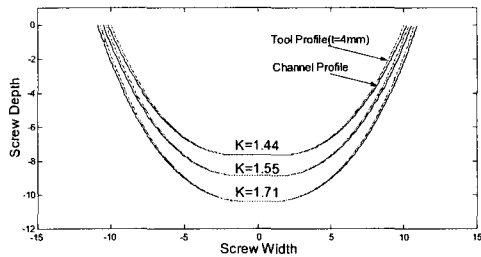


Fig.4 Compare of channel profile and tool profile in $t=4\text{mm}$

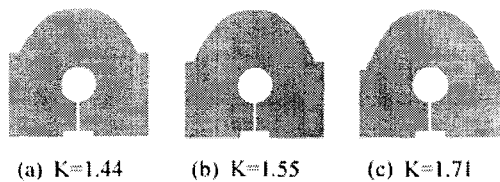


Fig.5 Designed insert type tool shape

2-3 공구 제작

스크류 가공용 공구는 Fig.6과 같이 $R12.5\text{mm}$ 용 인서트형 볼 앤드밀 홀더에 공구 교환이 가능하도록 설계 제작하였다. 공구의 소재는 4mm 두께를 갖는 초경판재를 이용하여 $D=50\text{mm}$, $L=50\text{mm}$, $\rho=2$ 인 조건에서 스크류의 지름비가 각각 $K=1.44$, $K=1.55$ 및 $K=1.71$ 의 형상으로 와이어 방전가공기를 사용해서 제작하였다. 제작된 공구의 치수는 Table 2와 같으며 공구의 형상은 Fig.7과 같다.

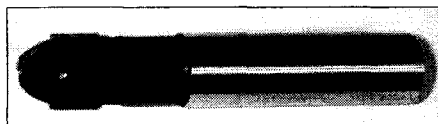


Fig.6 Insert type ball endmill tool holder

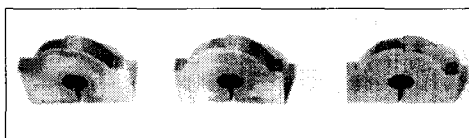


Fig.7 Screw cutting tools($K=1.44$, $K=1.55$, $K=1.71$)

Table 2 Specifications designed cutting tools(mm)

SIZE \ K	1.44	1.55	1.71
B1	24	24	24
H1	9	9	9
H2	13	13	13
dt	6	6	6
t	4	4	4
B2	10.012	10.357	10.752
H	7.639	8.871	10.380

3. 스크류 가공

3-1 스크류 가공장치

실험용 스크류의 소재는 MC 나일론을 사용하였으며, $D=50\text{mm}$, $L=50\text{mm}$, 축 구멍치수 22mm , 기 홈 $b \times h=4 \times 4$ 로 가공한 후 Fig.8과 같이 가공용 축에 가공된 스크류 소재 4개를 체결하여 실험에 사용하였다.

실험에 사용된 스크류 가공용 장치는 만능 밀링머신(기종기계 : KMU-1300)을 이용하여 스크류의 리드 $L=50\text{mm}$ 가 되도록 자동 기어장치의 기어 잇수비($Z1=72$, $Z2=40$, $Z3=64$, $Z4=24$)를 결정 한 후 자동이송 테이블에 인덱스장치를 설치하였다. 인덱스 장치의 척에 가공할 스크류 축을 설치하여 축방향과 회전상태에서 조립오차를 0.02mm 이내로 조정하였다.



Fig.8 Screw segments installed in screw shaft

3-2 스크류 가공

일반적인 압출용 스크류의 제작공정은 다음과 같다. (1)재료 선정(SKD11) (2)치수 결정($\phi 50 \times 50$) (3)외경치수 및 길이 가공 (4)구멍방향삭가공 (5)NC선삭가공 (6)내경 인플루이드 스플라인 가공 (7)알처리 (8)내경기준, 외경 및 측면 연삭 (9)피평 등이다.

본 연구에서는 설계 제작된 공구 3종($K=1.44$, $K=1.55$, $K=1.71$)을 인서트형 볼 앤드밀 홀더에 각각 설치하여 Fig.9와 같이 만능 밀링머신을 이용하여 2날개 스크류를 가공하였다. 가공조건은 주축의 회전수 700rpm , 테이블의 이송속도 133mm/min , 절

입깊이 0.4mm도 하여 스크류의 한쪽 날개 완성 가공 후 분할대를 180도로 회전하여 상대 날개를 가공하였다. 가공시 날개의 깊이는 K값의 변화에 따라 각각 설계된 치수(7.636mm, 8.871mm, 10.380mm)로 가공하였다.

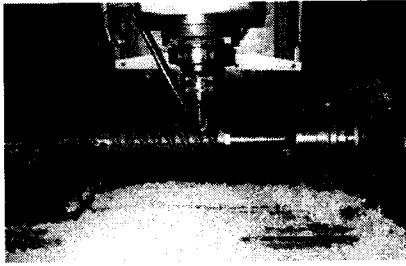


Fig.9 Screw machining by universal milling machine

4. 결과 및 고찰

K값 변화에 따라 가공된 스크류는 Fig.10과 같으며 공구 설계에 사용된 일반식의 타당성을 검증하기 위하여 K=1.55인 경우 스크류 형상을 3차원 모델링하여 모의 가공한 스크류의 물림상태와, 설계된 공구를 이용하여 밀링머신에서 가공된 스크류의 물림상태를 확인한 결과 잘 일치함을 확인하였다. 또한 K값 변화에 따른 물림 성능을 평가하기 위하여 Fig. 12와 같이 동방향으로 회전하면서 축간 중심거리를 조절할 수 있는 물림시험기를 제작한 후 가공된 스크류에 대하여 물림상태를 측정된 결과 밀폐형 조건을 만족함을 확인하였다.



(a) K=1.44 (b) K=1.55 (c) K=1.71

Fig.10 Manufactured screws



(a) 3D Modelling (b) Machining

Fig.11 Compare of 3D modelling screw and machining screw in K=1.55(D=50, L=50, p=2)



Fig.12 Screw intermeshing equipment

5. 결론

밀폐형 2축 스크류를 설계 제작하기 위하여 스크류 가공용 공구를 설계 제작하고 반응 밀링머신에서 스크류를 가공한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 스크류 채널식을 이용하여 3차원 모델링한 스크류의 형상과 설계 제작한 공구에 의하여 가공된 스크류의 물림상태가 잘 일치하므로 공구 설계의 타당성을 검증하였다.
2. K값 변화에 따른 물림특성을 확인한 결과 밀폐형 조건을 잘 만족하므로 다양한 형상을 갖는 스크류의 설계가 가능함을 확인하였다.

참고문헌

1. Martelli, F. G., "Twin Screw Extruders : A Basic Understanding," Van Nostrand Reinhold Co., 1983.
2. M. J. Stevens, J. A. Covas, "Extruder Principles and Operation," Champion & Hall, 1995.
3. M. L. Booy, "Geometry of Fully Wiped Twin Screw Equipment", Polym. Eng. Sci., Vol.18, 1978.
4. James L. White, "Twin Screw Extrusion", Hanser Publishers, 1990.
5. Chris Rauwendaal, "The Geometry of Self-Cleaning Twin_Screw Extruders," Advances in Polymer Technology, Vol.15, No.2, pp.127-133, 1996.
6. 최부희, 정찬길, 최상훈, "2축 스크류 압출기의 스크류 가공용 공구형상 설계," 한국정밀공학회 2002년도 춘계 학술대회 논문집, pp.824~828, 2002.
7. Donald G. Baird, "Polymer Processing Principles and Design", John Wiley & Sons, Inc., pp.213-221, 1998.