

< 논 문 >

비대칭형 스크류 로터용 플라이커터의 치형설계에 대한 연구

최 상 훈\*

(1995년 12월 7일 접수)

Design of Fly-Cutter for Antisymmetric Screw Rotor

S. H. Choi

**Key Words :** Screw Rotor(스크류로터), Male Rotor(수로터), Female Rotor(암로터), Machining(기계가공), Fly Cutter(플라이커터), Wire EDM(와이어 방전가공기), Milling Machine(밀링머신)

Abstract

In this study we designed tooth profile of the fly-cutter for antisymmetric rotor which is used in screw compressor. In order to verify this profile, we manufactured three different pairs(J46, N46, P46) of antisymmetric rotor using fly-cutter. We got the following conclusions from this study. (1) We obtained better contact condition using 3 pairs of rotor which are manufactured by the fly-cutter. (2) We could prevent the cutter interference near bottom point of the robe of screw rotor.

기 호 설 명

$N_e$	: 로터의 나선각[rad]	$\psi$	: 로터 A의 회전각[rad]
O	: $x, y$ 의 좌표의 원점	$\gamma$	: 로터 B의 회전각[rad]
O'	: $u, v$ 좌표의 원점	V	: 로터의 수직이송속도[mm/s]
$R_A$	: 로터 A의 피치원 반경[mm]	$\varphi$	: 커터의 가공경사각[deg]
$R_B$	: 로터 B의 피치원 반경[mm]	$W_c$	: 커터의 각속도[rad/s]
$R_0$	: 로터의 피치원 반경[mm]		
$R_c$	: 커터의 피치원 반경[mm]		
S	: 커터축과 로터 중심축과의 축간거리		
t	: 시간[sec]		
U	: 로터의 권선각[rad]		
X, Y, Z	: 로터의 좌표		
$X_c, Y_c, Z_c$	: 커터의 좌표		
u, v	: 로터 B의 중심을 원점으로 하는 로터 B의 좌표		
x, y	: 로터 A의 중심을 원점으로 하는 로터 A의 좌표		

1. 서 론

스크류압축기는 왕복식압축기의 단점인 압축운동의 단속이 없이 압축하고자 하는 유체를 연속적으로 압축, 송출할 수 있는 압축기이다. 즉, 암·수 로터가 서로 맞물려 회전하면서 로터의 홈과 케이싱 사이의 공간의 용적에 의하여 유체나 가스를 연속적으로 흡입, 압축, 송출하는 압축기이다. 소형이면서 소음과 진동이 적고 효율이 높은 장점들을 가지고 있으므로 산업용 유압장치는 물론 공기조화용과 농축산물의 냉동장치, 그리고 가스의 송출장치, 약품의 수송, 건설현장의 유압장치 등 많은 부분에 폭넓게 사용되고 있다. 이와 같이 많은 장점

\*회원, 건국대학교 기계설계학과

들과 여러분야에 다각적으로 사용되고 있으나 나선형을 가진 두 암·수로터가 서로 연속적으로 상대운동을 하면서 정확히 맞물려 돌아가야 함으로, 치형이 정밀하고 상대접촉이 정확해야하므로, 설계 및 가공에는 많은 어려움이 있다. 이런 이유로 현재 사용되고 있는 많은 수의 제품들이 외국의 기술진에 의해서 설계 제작되어지고 있는 실정이다.

역사적으로 고찰해 보면 1878년 독일의 Krigar에 의해 발명되었으나 실용화되지 못하다가 1934년 스웨덴의 Lysholm<sup>(1,2)</sup>에 의해 공기압축기로 개발된 후, 발전을 거듭해서 1960년대에는 로터사이의 간극 및 로터와 케이싱사이의 간극을 작게 해줌으로써 타이밍기어를 제거할 수 있었다.

스크류압축기의 성능에 중요한 영향을 미치는 스크류로터의 치형은 1960년대 이후 연구 발전을 하고 있으나, 로터 형상이 압축기 성능에 미치는 영향에 대한 이론적인 해석은 미비했다.

최근 국내에서 1992년 이민성, 최상훈<sup>(3)</sup>의 “대칭형 Screw 치형의 기하학적 성질 및 특성값에 관한 연구”와 1993년 오형식, 최상훈<sup>(4)</sup>의 “스크류로터 치형의 기하학적 특성값의 연구,” 그리고 1994년 박세정<sup>(5)</sup>의 “스크류로터 치형의 성능해석에 관한 연구”에서 스크류로터의 기하학적인 특성값인 실라인(seal line)의 길이, 블로우홀(blow hole)의 면적, 용적곡선(volume curve) 등을 연구, 비교함으로써 스크류로터의 치형을, 치형함수의 기하학적인 성질 및 제한사항을 고려하여 보다 효율이 우수한 대칭형치형과 비대칭형치형을 설계한 바 있다.

본 연구에서는 절삭간섭의 중요한 원인이 되는 커터(cutter)의 피치원반경과 커터의 가공경사각을 고려하여 설계된 스크류로터의 비대칭형 4×6치형과 5×6치형의 축직각 단면 좌표값으로부터 커터의 치형을 설계할 수 있는 프로그램을 완성하였다. 그리고 설계된 커터를 H.S.S를 소재로 하여 와이어 방전가공기로 가공하였다. 이와같이 가공된 커터로 만능 밀링머신을 이용하여 아크릴을 소재로 하여 치형이 다른 3쌍의 비대칭형 4×6치형의 스크류로터를 가공하여 확인하였다.

## 2. 치형의 이론해석

### 2.1 스크류로터의 치면의 방정식

로터의 치면은 복잡한 곡선군으로 형성되어진다. 이러한 복잡한 곡선군으로부터로터 치면을 수식화

해서 커터를 해석하는 것은 너무 복잡해서 곤란하므로 로터의 축직각 단면 좌표값으로부터 치면을 수식화해서 커터를 해석하기로 한다. 스크류로터에는 보통 4~6개의 치면이 있으나, 본 연구에서는 플라이커터인 경우이므로 1개의 치면에 대해서만 해석하기로 한다.

Fig. 1과 같이 로터의 치면은 Z=0인 면에서  $Z = R_0 \cdot U / \tan(N_e)$ 인 길이까지 권선각 U만큼 회전한다. 로터가 고정되어 있는 좌표계를 X, Y, Z라고 하고, Z(Z')축을 회전축으로 하여 축직각 단면 좌표값으로 이미 알고 있는 X', Y', Z' 좌표계를 고려하여 치면의 방정식을 유도하기로 한다.

먼저 암로터의 치면의 방정식을 유도하자.

Fig. 1의 (a)에서 Z=0인 면에서는 로터 치면의 좌표는 축직각 단면좌표가 된다.

$$\begin{aligned} X &= X' \\ Y &= Y' \end{aligned} \tag{1}$$

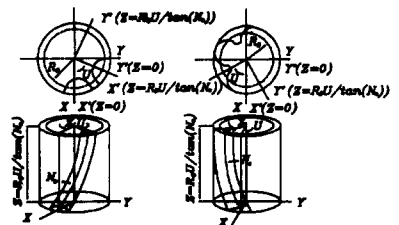
Z =  $R_0 \cdot U / \tan(N_e)$ 인 면에서는 권선각 U만큼 회전하므로

$$\begin{aligned} X &= X' \cos(U) - Y'' \sin(U) \\ Y &= X' \sin(U) + Y'' \cos(U) \end{aligned} \tag{2}$$

가 된다. 권선각은  $U = Z \cdot \tan(N_e) / R_0$ 으로 표시되므로 식 (2)은 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} X &= X'' \cos\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) - Y'' \sin\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) \\ Y &= X'' \sin\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) + Y'' \cos\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) \end{aligned} \tag{3}$$

위의 식 (3)은 스크류로터에서 1개의 치면에 대한 방정식이 된다. 로터 가공시 만능 밀링머신은 1개의 치면을 완성하고 분할하여 다른 치면을 가공하므로 치면의 방정식은 치면 1개에 대해서만 해석한다.



(a) Female rotor (b) Male rotor

Fig. 1 Screw rotor

수로터의 치면방정식은 Fig. 1의 (b)에서 위와 같은 방법으로 다음과 같이 얻어지며, 암로터와 같이 1개의 치면에 대해서만 해석한다.

$$\begin{aligned} X &= X'' \cos\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) + Y'' \sin\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) \\ Y &= -X'' \sin\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) + Y'' \cos\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

2.2 스크류로터의 가공해석

Fig. 2는 만능 밀링머신을 이용한 스크류로터의 가공을 해석하기 위한 좌표계를 나타낸 것으로 공작물이 고정되어 있는 좌표계를 X-Y-Z로 표시하고, 커터의 좌표계를 X<sub>4</sub>-Y<sub>4</sub>-Z<sub>4</sub>로 표시한다.

만능 밀링머신을 이용하여 스크류로터를 가공할 때 커터는 일정한 각속도  $w_c$ 로 회전하고, 커터의 회전축은 공작물의 중심축과 임의의 가공경사각  $\varphi$ 만큼 경사지게 된다. 또한 공작물은 일정속도  $v$ 로 수직이동하게 된다.

암로터와 수로터의 나선각방향이 서로 반대방향으로 형성되어야 하므로 커터의 경사각은 이에 따라 상·하방향을 조정해야 하며, 로터의 수직이동에 대한 회전방향도 반대방향이어야 한다.

커터에 의한 로터가공의 최종 절삭깊이는 커터의 회전축과 로터의 중심축사이의 축간거리 S로 결정하게 된다.

2.3 암·수로터 치면과 커터의 교선군에 대한 이론해석

커터의 치형과 로터치면과의 교선군을 얻기 위하여 로터치면의 방정식을 Fig. 2에서 나타낸 커터의 치형이 있는 X<sub>4</sub>-Y<sub>4</sub>-Z<sub>4</sub>좌표계에 좌표변환한다.

Fig. 2에서와 같이 X-Y-Z 좌표계와 X<sub>1</sub>-Y<sub>1</sub>-Z<sub>1</sub> 좌표계의 관계는

$$\begin{aligned} X &= S - X_1 \\ Y &= Y_1 \end{aligned}$$

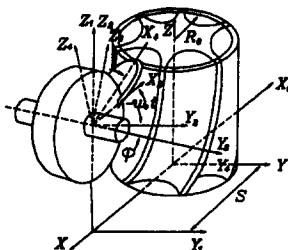


Fig. 2 Diagram of machining the female rotor

$$Z = Z_1 \quad (5)$$

가 된다. 공작물이 수직방향으로 이송되므로

X<sub>1</sub>-Y<sub>1</sub>-Z<sub>1</sub> 좌표계와 X<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>-Z<sub>2</sub> 좌표계의 관계는

$$\begin{aligned} X_1 &= X_2 \\ Y_1 &= Y_2 \\ Z_1 &= Z_2 + vt \end{aligned} \quad (6)$$

가 된다. 위의 식 (6)에서 공작물의 수직 이송속도를  $v$ 라 한다.

커터가  $\varphi$ 만큼 경사지게 되므로 X<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>-Z<sub>2</sub> 좌표계와 X<sub>3</sub>-Y<sub>3</sub>-Z<sub>3</sub> 좌표계의 관계는

$$\begin{aligned} X_2 &= X_3 \\ Y_2 &= Y_3 \cos \varphi + Z_3 \sin \varphi \\ Z_2 &= -Y_3 \sin \varphi + Z_3 \cos \varphi \end{aligned} \quad (7)$$

가 된다. 위의 식 (7)에서  $\varphi$ 는 커터의 회전축과 로터의 축단면과의 경사각, 즉 커터의 가공경사각을 나타내며 앞서 서술한 바와 같이 로터의 나선각과 같은 값을 갖는다. 커터가 각속도  $w_c$ 로 회전하므로 X<sub>3</sub>-Y<sub>3</sub>-Z<sub>3</sub> 좌표계와 X<sub>4</sub>-Y<sub>4</sub>-Z<sub>4</sub> 좌표계의 관계는

$$\begin{aligned} X_3 &= X_4 \cos(w_c t) + Z_4 \sin(w_c t) \\ Y_3 &= Y_4 \\ Z_3 &= -X_4 \sin(w_c t) + Z_4 \cos(w_c t) \end{aligned} \quad (8)$$

가 된다. 따라서 X-Y-Z 좌표계와 커터의 치형이 있는 X<sub>4</sub>-Y<sub>4</sub>-Z<sub>4</sub> 좌표계와의 관계는 식 (5)~(8)에 의해서

$$\begin{aligned} X &= S - X_4 \cos(w_c t) - Z_4 \sin(w_c t) \\ Y &= Y_4 \cos \varphi - X_4 \sin(w_c t) \sin \varphi + Z_4 \cos(w_c t) \sin \varphi \\ Z &= -Y_4 \sin \varphi - X_4 \sin(w_c t) \cos \varphi \\ &\quad + Z_4 \cos(w_c t) \cos \varphi + vt \end{aligned} \quad (9)$$

가 된다. 커터의 치형과 로터치면과의 교선군을 얻기 위해서 식 (9)를 암로터 치면의 방정식인 식 (3)에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X' \cos \alpha - Y' \sin \alpha - S + X_4 \cos(w_c t) - Z_4 \sin(w_c t) \\ = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

단,  $\alpha = \frac{\tan N_e}{R_0} [Z_4 \cos(w_c t) \cos \varphi - X_4 \sin(w_c t) \cos \varphi - Y_4 \sin \varphi + vt]$

절삭면에서는  $Z_4 = 0$ 이므로 식 (9)는 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned}
 X'\cos\alpha - Y'\sin\alpha - S + X_4\cos(wct) &= 0 \\
 X'\sin\alpha + Y'\cos\alpha - Y_4\cos\varphi + X_4\sin(wct)\sin\varphi &= 0
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

$$\tan \alpha = \frac{\tan N_e}{R_0} [-X_4\sin(wct)\cos\varphi - Y_4\sin\varphi + vt]$$

수로터인 경우는 암로터와 서로 맞물려 돌아가야 하므로, Fig. 2에서 커터경사각  $\varphi$ 가 반대방향으로 경사시키고, 로터의 나선각을 반대방향으로 잡고 난 후에, 같은 방법으로 수로터의 치면과 커터의 교선군에 대한 식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 X'\cos\alpha + Y'\sin\alpha - S + X_4\cos(wct) &= 0 \\
 -X'\sin\alpha + Y'\cos\alpha - Y_4\cos\varphi &= 0
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

$$\tan \alpha = \frac{\tan N_e}{R_0} [-X_4\sin(wct)\cos\varphi + Y_4\sin\varphi + vt]$$

2.4 스크류로터의 형상

Fig. 2와 Table 1과 같은 축직각 단면을 갖는 스크류로터의 이론적인 형상은 Fig. 3에 나타냈다.

위와같은 수식을 이용하여 J46, N46, P46로터의 제원을 Table 1과 같이 정하여 암수로터의 형상을 컴퓨터에 의해서 그려낸 것이 Fig. 3.(a)~(c)이다. 즉, 커터에 의해서 가공될 이론적인 로터의 형상들이다.

Fig. 3에 나타낸 스크류로터의 형상은 축직각 단면 좌표값으로부터 좌표변환을 통해 얻은 데이터를 AutoCad의 SCRIPT기능과 3DFACE 기능으로 형상화한 것이다.

Table 1 Specification of the rotor

Profile (antisymmetric)		J46	N46	P46
Number of lobe	Male		4	
	Female		6	
Pitch radius [mm]	Male		28.8	
	Female		43.2	
Lead [mm]	Male		180	
	Female		270	
Length [mm]			150	
Wrap angle of male rotor			300°	
Helix angle			45.1517°	

Fig. 3에서 보여준 각각의 스크류로터에 대한 제원은 Table 1에 나타냈다. 로터의 제원에서 암·수로터의 리드는 로브가 나선을 따라 360° 회전했을때의 로터의 길이를 나타내며, 이는 만능 밀링머신으로 로터를 가공할때 차동 변속기어장치의 기어의 잇수를 결정할때 필요하게 된다.

가공하게 될 로터의 길이는 수로터의 권선각이 300°가 되도록 결정한다. 암·수로터의 나선각은 커터의 가공경사각과 같은 값을 갖게 된다.

3. 플라이커터의 치형설계

3.1 커터치형과 로터치면과의 교선군

앞에서 유도한 식 (11)과 식 (12)의 각각의 연립방정식을 Newton Method로 풀어서 얻은  $X_4, Y_4$ 가 커터치형과 로터치면과의 교선군이 된다. 즉 가공시 회전하는 커터의 치형 좌표와 로터치면 좌표가 서로 접하는 교점들이다. 여기서 커터는 -15°~15°만큼 회전하는 것으로 해석했다.

커터에 의해 로터를 가공할때 절삭간섭이 문제가 된다. 이것은 이미 절삭한 가공면을 다시 가공하게 되는 것으로 로터의 정밀도에 큰 영향을 미친다. 절삭간섭의 확인은 교선군을 출력하여 교선군이 내포락선 안에 침입하는지의 여부를 확인했다. 이에 대한 대책은 커터의 피치원 반경을 변화시키면 교선군의 모양은 변하게 된다. 즉, 계속적인 확인을 통해 절삭간섭이 없는 커터 피치원반경을 찾아내는 것이다.

Table 1은 교선군을 구하는 프로그램에 입력한 값과 계산된 값을 나타낸다.

A-type 치형은 이민성이 설계한 대칭치형으로 원들을 치형함수로 사용하여 창성된 치형이다. 수로터의 어덴덤(addendum) 부분은 3개의 원으로 구성되어 있고, 암로터의 디덴덤(deddendum) 부분은 수로터의 어덴덤 부분의 치형에 대응하여 생성된다. 암로터의 어덴덤 부분은 2개의 원으로 구



(a) J46 type (b) N46 type (c) P46 type

Fig. 3 Shape of the screw rotor

성되어 있으며, 대응하는 수로터의 더네편을 형성시킨다.

J-type 치형은 A-type 치형에서 수로터의 로브정점 부근의 형태를 변화시킨 것이다. 즉, 수로터의 로브정점 부근을 창성하는 암로터의 치형함수를 바꾸어 수로터의 로브정점 부근의 곡률을 크게 해 준 비대칭 치형이다.

N-type 치형은 오형식이 설계한 치형으로, A type 치형에서 수로터의 로브정점 부근의 형태를 변화시킨 것이다. 즉, 수로터의 로브정점 부근을 창성하는 암로터의 치형함수를 바꾸어 수로터의 로브정점 부근의 곡률을 작게하여 만든 비대칭치형이다.

P-type은 원, 직선, 타원, 점을 이용하여 창성된 비대칭치형이다. A-type과는 전혀 다른 치형함수로 구성되어 있으며, 암로터와 수로터에 작은 포켓(pocket)을 가지고 있는 것이 특징이다.

Fig. 4는 각각의 스크류로터의 치형에 대한 커터 치형과 로터치면과의 교선군들을 보여준다.

커터의 피치원 반경이 커지면 교선군의 펼쳐지는 정도가 심해지고 교선군이 내포락선 안으로 침범하게 되는데 프로그램 실행결과를 AutoCad의 SCRIPT기능을 이용하여 출력하여 이러한 절삭간섭이 일어나지 않는 최적의 커터 피치원반경을 결정하여 해석했다.

3.2 커터의 치형설계

커터치형은 Fig. 4에서 보여준 커터치형과 로터치면과의 교선군에서 내측의 포락선을 얻어서 구해진다. 즉, 커터의 회전축과 로터의 축단면이 경사진 상태에서 변화하는 치면사이에 커터가 지나가야 할 최소한의 공간이 존재하게 되는데 이것이 커터의 형상이 된다.

Fig. 5는 교선군에서 커터치형을 해석하는 개념도이다.

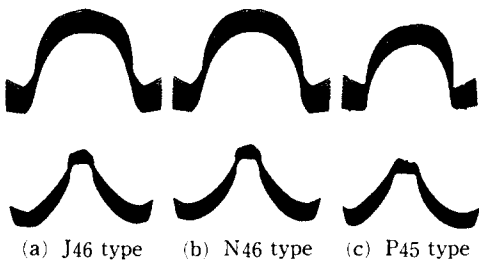


Fig. 4 Intersection group of cutter and rotor profiles

교선군  $I_1$ 에서 가장 안쪽에 오는 점을 찾기 위해 점  $O$ 를 원점으로하여, 점  $O$ 와  $I_1$ 의 점들을 연결한 직선의 기울기를 고려한다. 이때 기울기가 가장 작은 점  $O_1$ 을 내포락선으로 해석했다. 이렇게 해서 찾은 점  $O_1$ 을 다시 원점으로해서 점  $O_2$ 를 찾는 방식으로 전체 교선군에 대해 내포락선을 해석했다.

이렇게 해서 각각의 스크류로터 치형에 대해 설계된 커터의 치형은 Fig. 6에 보여주고 있으며 이는 교선군을 구할때 입력한 스크류로터의 축단면

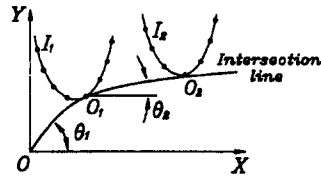


Fig. 5 Cutter profile analysis

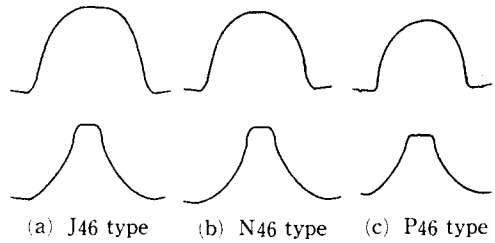


Fig. 6 Tooth profile of the antisymmetric cutter

Table 2 The specification of the cutter

Profile	Antisymmetric type					
	4×6					
	JF46	JM46	NF46	NM46	PF46	PM46
Pitch radius [mm]	58	50	58	50	58	50
Rake angle [deg]	45.151	45.151	45.151	45.151	45.151	45.151
Width of cutter [mm]	37.404	40.095	37.404	40.201	37.902	40.633
Beight of cutter [mm]	74.2	54.229	74.2	54.229	75.418	52.314

좌표수와 같은 수의 좌표점으로 얻어지며, AutoCad의 SCRIPT 기능으로 출력한 것이다. 그리고 Table 2는 설계된 커터의 제원을 보여준다.

### 4. 가공 및 고찰

#### 4.1 커터의 제작

이렇게 해서 설계된 Table 2와 같은 값을 갖는 비대칭형 J46, N46, P46의 암·수로터를 가공하기 위한 커터의 크기를 나타낸 것이 Fig. 7이다.

커터를 가공하기 위해서는 먼저 Fig. 5에서 보여준 커터치형 데이터를 AutoCad의 DXF파일로 출력한다. 그리고 출력한 DXF파일을 오메가( $\Omega$ )라는 G-code 변환 CAM software를 이용하여 NC-code로 변환한다. 이렇게 해서 얻은 NC-code를 와이어(wire) 방전가공기에 입력한 후에 controller의

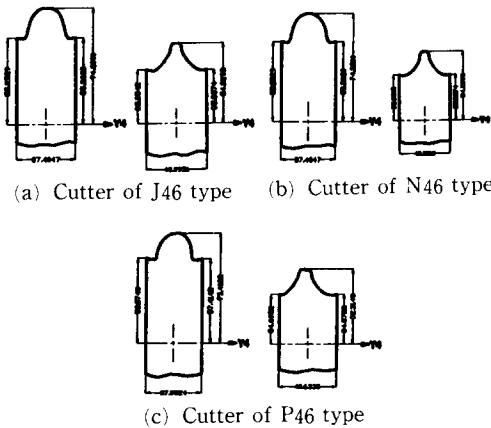


Fig. 7 Shape of the cutter

Table 3 Manufacturing condition of cutter

Material of cutter	H.S.S
Thickness of cutter	2.8 mm
Relief angle of cutter	5.0°
Wire diameter	0.25 mm
Moving speed X, Y	3.0 mm/min
Moving speed of wire	8.0 m/min
Wire tension	12.0 g
Voltage	70.0 V
Current	0.5~1.0 A

화면에서 커터의 형상을 출력해서 확인하고 가공하였다. 커터의 소재는 두께가 2.8 mm인 H, S, S로 제작했다.

Table 3은 커터를 와이어(wire) 방전가공기로 제작할 때의 가공조건을 나타낸 것이다.

Fig. 8은 가공된 커터의 형상으로서 비대칭형 4×6치형인 J46, N46, P46의 각각의 수로터와 암로터용 커터의 사진이다.

#### 4.2 커터의 가공경사각

만능 밀링머신으로 스크류로터를 가공할 때 나선형 치면을 가공하기 위해서는 로터가 고정되어 있는 테이블을 커터축과 임의의 각으로 경사지게 해야 하는데, 이때 암·수 로터는 가공경사각을 서로 반대로 해야 한다.

Fig. 9는 로터를 가공할 때의 커터의 속도벡터를 나타낸 것이다. 실제 만능 밀링머신에서 로터의 회전속도를 주지 않았기 때문에 로터의 회전속도 벡터는 존재하지 않는다. 따라서 커터의 가공경사각은 로터의 나선각과 같은 값으로 해석한다.

즉,  $\phi = N_e$ 이다.

#### 4.3 스크류로터의 가공

스크류로터는 비대칭 4×6치형인 J46, N46, P46을 설계된 커터를 이용하여 아크릴을 소재로 만든 밀링머신을 이용하여 가공하였다.

Fig. 2와 Fig. 9에서 보인 것과 같이 암로터와 수로터의 커터 경사각의 방향을 서로 반대방향으로 하여 가공하였다.

커터를 이용하여 로터를 가공할 때 중요한 것은 로터의 중심축과 커터의 회전축의 중심거리를 정확

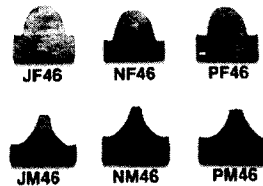


Fig. 8 Shape of the manufactured cutter

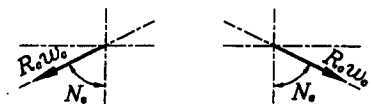


Fig. 9 Helix angle of machining

하게 장착하는 것이다. 중심거리는 직접적으로 규정하는 것이 불가능하므로 로터홈 부분의 최저경을 측정하여 로터를 가공할때 절삭깊이를 조정하였다.

로터의 축단면과 커터의 회전축과의 가공 경사각은 다이얼 게이지를 이용하여 정밀하게 장착했으며, 주축과 로터의 중심축이 공통법선을 가져야 하므로 다이얼 게이지를 이용하여 로터의 중심축의 수평을 정확하게 장착했다.

또한 커터날의 중심선과 주축의 교점이 주축의 중심선과 로터 중심축의 중심선과의 공통법선 위에 있어야 한다. 이것은 주축만을 회전시키면서 로터 소재가 고정되어 있는 테이블을 좌우로 이동시키면 처음으로 절삭이 시작되는 지점과 끝나는 지점을 알 수가 있다. 이렇게 해서 알아낸 절삭 시작점과 끝점의 길이의 1/2지점에 커터날의 중심선이 있도록 해서 장착했다.

주축의 중심선과 커터날의 중심선이 수직이 되도록 해야 하는데, 이것은 정반위에 커터 몸체를 놓고 커터를 고정했다. 버니어 캘리퍼스와 블록게이지를 이용하여 커터의 반경을 정확하게 했으며, 커터의 진작도를 정확히 맞추었다.

기어변속장치의 잇수를 조정하여 수로터의 권선각이 300°, 암로터의 권선각이 200°가 되도록 가공하게 하였으며, 암·수로터의 나선각의 방향이 반대이므로 수로터의 가공시에는 중간기어를 장착하여 방향을 바꾼다.

분할판을 이용하여 암로터인 경우 로브홈이 6개, 수로터인 경우 로브홈이 4개이므로 1개의 로브홈을 가공한 후, 분할하여 나머지 로브홈을 가공하였다.

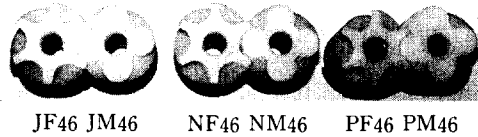
Table 4는 스크류로터를 가공할때 만능 밀링머신의 가공조건이다. 치면의 상태를 향상하기 위해

**Table 4** Manufacturing condition of rotor

Material of rotor		Acrylyl
Rake angle of cutter		45.1517°
RPM of main axis		1400 rpm
Table feeding speed		30 mm/min
Cutting depth	Roughing	7 mm
	Medium finishing	2 mm
	Finishing	0.5 mm



**Fig. 10** Manufactured antisymmetric screw rotor



**Fig. 11** Perpendicular section of manufactured antisymmetric screw rotor

절삭깊이는 3단계를 거쳤다. 주축의 회전수와 테이블 이송속도는 커터의 치형을 구하는 프로그램의 입력값과 근사시켰다.

Fig. 10은 만능 밀링머신에서 가공완성된 스크류로터를 보여준다. 왼쪽부터 J46, N46, P46의 암·수 로터 형상이다.

Fig. 11은 가공된 비대칭형인 J46, N46, P46의 스크류로터의 서로 맞물린 축직각 단면을 보여준다.

이들 사진에서 확인할 수 있듯이 임의의 로터의 치형을 가공하기 위한 플라이커터의 치형을 설계하여 와이어 방전가공기로 설계된 커터를 가공한 후에, 이 가공된 커터를 가지고 아크릴을 소재로 하여, 밀링머신으로 가공한 스크류로터의 물림상태를 확인함으로써 플라이커터의 치형의 설계가 정확했음을 확인할 수 있었다.

## 5. 결 론

스크류압축기에 사용되는 비대칭형 로터를 가공하기 위한 축직각 단면의 플라이커터의 치형을 설계하는 프로그램을 완성하고, 이를 확인하기 위하여 CNC 와이어 방전가공기로 HSS를 소재로 하여 커터의 형상을 가공하였다. 다시 이 플라이커터를 사용하여 만능 밀링머신으로 아크릴을 소재로 한 서로 다른 3쌍(J46, N46, P46)의 비대칭로터를 가공하고 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 축직각 단면의 비대칭형 플라이커터의 치형 설계 프로그램을 완성한 후에 커터 및 로터를 가공

한 결과 프로그램이 정확했음을 확인할수 있었다.

(2) 설계하여 제작된 플라이커터로 가공된 3쌍 (J46, N46, P46)의 비대칭로터로부터 중전의 설계보다 우수한 물림상태를 얻었다.

(3) 설계상 흔히 발생되던 스크류로터의 로브정부근에서의 절삭간섭을 막을 수 있었다.

### 참고문헌

- (1) Alf Lysholm, 1967, "Screw Rotor Machine," United States Patent Office, Ser. No. 547, pp. 383
- (2) Lysholm, A., 1967, "Screw Rotor Machine," U. S. Patent, April, No. 3, pp. 314.
- (3) 이민성, 최상훈, 1992, "대칭형 스크류치형의 기하학적 성질 및 특성값에 관한 연구," 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 457~460.
- (4) 오형식, 최상훈, 1993, "스크류로터 치형의 기하학적 특성값의 연구," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 146.
- (5) 박세정, 최상훈, 1994, "스크류로터 치형의 성능해석에 관한 연구," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 622~626.
- (6) Fujiwara, M. et. al, 1984, Proc. of the 1984 International Compressor Engineering Conference at Purdue, pp. 536.
- (7) Mitsuru Fujiwara, Katsuhiko Kasuy A, Tetsuzo Matsunaga, and Makoto Wad Aanbe, 昭59-4, "スクリコ 壓縮機の性能 解析," 日本機械學會論文集(B編), 50卷 452戸
- (8) Fujiwara, M., 1987, "A New Design Method for Oil-Injected Screw Compressors and its Applications," Hitachi Review, Vol. 36, No. 3.
- (9) Lundberg, A., 1981, "Design Basic-Screw Compressor," ASHRAE, Vol. 87, Pt1.
- (10) Marholis, D. L., 1978, "Analytical Modeling of Helical Screw Turbines for Performance Prediction," ASME, July, Vol. 100, pp. 482~487.
- (11) 최상훈, 윤감영, 1986, "인벌류트-원호 합성齒形の 削成에 관한 연구," 대한기계학회논문집, 제9권, 제5호, pp. 572~578.