

스크류 로터 가공용 커터의 치형설계에 관한 연구

최 상 훈*

The Design of Cutter Profiles for Manufacturing Rotors of Screw Compressor

Sang-Hoon CHOI*

ABSTRACT

The purpose of this paper is to design cutter profiles for manufacturing rotors of screw compressor, which are based on universal milling machine. The surface profile of screw rotor which is helicoidal is derived as brief equation through the coordinates transformation of the section perpendicular to rotor axis. And the equations of contact lines between a cutter and the surface profile of screw rotor are derived. The computer program which can analyze the equation of contact lines numerically and design the cutter profiles of screw rotor is made, and verified through measuring screw rotors which are manufactured as the designed cutter by the computer program.

Key Words: Screw Rotor(스크류 로터), Cutter Profile(커터치형), the section perpendicular to rotor axis(축직각단면), Contact lines(교선군)

Nomenclature

N_i	: 로터의 나선각(helix angle)[rad]	U	: 로터의 권선각(wrap angle)[rad]
O	: x, y 좌표의 원점	v	: 로터의 수직이송속도[mm/s]
O'	: u, v 좌표의 원점	w_c	: 커터의 각속도[rad/s]
R_A	: 로터 A의 피치원 반경[mm]	X, Y, Z	: 로터의 좌표
R_B	: 로터 B의 피치원 반경[mm]	X_c, Y_c, Z_c	: 커터의 좌표
R_c	: 커터의 피치원 반경[mm]	x, y	: 로터 A의 중심을 원점으로 하는 로터 A의 좌표
R_o	: 로터의 피치원 반경[mm]	u, v	: 로터 B의 중심을 원점으로 하는 로터 B의 좌표
S	: 커터축과 로터 중심축과의 축간거리	φ	: 커터의 가공경사각[deg]
t	: 시간[sec]	ψ	: 로터 A의 회전각[rad]
		γ	: 로터 B의 회전각[rad]

* 건국대학교 기계설계학과

1. 서 론

스크류 압축기는 밀폐용기 내에 암·수로터가 서로 반대방향으로 맞물려 회전하면서 로터홈과 케이싱 사이에 생기는 공간의 용적이 로터의 회전에 의해서 가스를 연속적으로 흡입·압축·토출하는 진동이 적고 소형이면서도 고효율을 유지하기 용이한 압축기이다.^{(1)~(3)} 또한 농·수·축산물의 냉동장치, 히트펌프, 염화수소 헬륨 LNG 등의 가스압축장치, 약품의 수송, 건축·토목현장의 유압장치, 국내 도시철도(지하철)의 공기제동장치의 주공기 압축기등 여러분야에 사용범위가 넓어지고 있다.

최근 국내에서는 스크류 로터의 기하학적인 특성값인 실라인(seal line)의 길이, 블로우홀(blow hole)의 면적, 용적곡선(volume curve)을 연구·비교함으로써 스크류 압축기의 성능에^{(4)~(6)} 중요한 영향을 미치는 스크류 로터 치형을 치형함수의 기하학적인 성질 및 제한사항을 고려하여 대칭형치형⁽⁶⁾과 비대칭형치형^{(7)~(8)}으로 설계한 바 있다. 그러나 스크류 로터의 치형은 설계되었으나 스크류 로터의 가공방법 및 로터 가공을 위한 커터설계에 관한 자료를 거의 접할 수 없어서 설계된 스크류 로터 치형을 가공하기가 어려운 실정이다.

본 연구에서는 스크류 로터의 권선각(wrap angle)과 리이드(lead), 피치원 반경을 설정하고, 설계된 축직각 단면의 좌표변환⁽⁹⁾을 통하여 로터의 치면을 간단한 방정식으로 표현하였다. 그리고 만능밀링머어신을 이용한 암·수로터의 가공해석에서 필요한 커터의 가공경사각, 이송속도, 회전속도, 스크류 로터와 커터의 좌표축을 정의하였다. 또한 유도된 치면방정식을 적용하여 스크류 로터의 축직각단면 좌표와 커터의 치형좌표와의 교선군을 수학적으로 해석하여 방정식화 하였다. 커터가 $-20^\circ \sim 20^\circ$ 회전하는 조건으로 교선군의 방정식을 Newton Method로 해석함으로써 커터와 스크류 로터의 교선군을 구하고, 교선군의 내포락선을 해석함으로써 커터 치형을 얻는 만능밀링머어신에 대한 커터의 치형설계 프로그램을 완성하였다. 이를 이용하여 대칭형 4×6치형, 비대칭형 4×6치형의 스크류 로터의 커터를 설계하였다. 그리고 설계된 커터를 고속도강(H.S.S)을 소재로 하여 와이어(wire) 방전 가공기로 제작한 후, 아크릴을 소재로 한 스크류 로터를 커터의 설계조건과 동일한 조건으로 만능밀링머어신을 이용하여 가공하였다. 가공된 스크류 로터를 3차원 측정기로 측정하고, 축직각 단면 좌표값과 비교하여 본 연구를 통해 얻은 커터 치형설계 프로그램의 완

성도와 스크류 로터 가공방법의 타당성을 확인하였다.

2. 스크류 로터의 치형

2.1 스크류 로터 치형의 수학적 성질

스크류 로터의 치형은 스크류 압축기의 성능에 중요한 영향을 미치는 요소이다. 스크류 로터의 치형을 얻기 위해서는 임의의 함수를 결정하여 로터가 회전하는 경우의 포락선을 계산해야 하므로 포락선의 계산방법 및 스크류 로터 치형의 수학적 성질을 유도한다.^{(3),(7)~(9)}

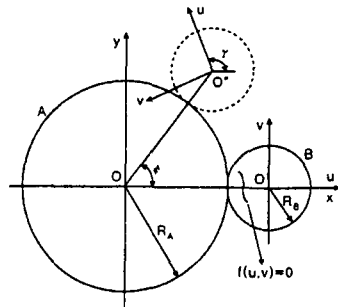


Fig.1 The Coordinates of Screw Rotors

Fig.1에서와 같이 두개의 로터 중 하나를 로터 A, 다른 로터를 로터 B라 하자. 로터 B위에 임의의 치형함수 f를 정의하고 로터 A와 로터 B를 회전시킨다. 이때 맞물려 회전하는 상대면 로터 A의 치형형상은 함수 f의 포락선으로 결정된다.

일반적으로 곡선군 $f(u,v) = 0$ 의 포락선은 식(1)의 연립방정식으로 정의된다.

$$f(u,v) = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial \phi} f(u,v) = 0$$

Fig.1에서 x-y좌표와 u-v좌표의 관계는 식(2)와 같다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma \\ \sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} + (R_A + R_B) \begin{bmatrix} \cos \phi \\ \sin \phi \end{bmatrix} \tag{2}$$

단, $\gamma = \frac{R_A + R_B}{R_B} \phi, \theta = \frac{R_A}{R_B} \phi$

위의 식(2)를 u-v 좌표로 변환하면 식(3)을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma \\ -\sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - (R_A + R_B)\cos\phi \\ y - (R_A + R_B)\sin\phi \end{bmatrix} \quad (3)$$

로터 B의 임의의 치형함수를 $f(u,v) = 0$ 이라 하면 함수 f 는 식(3)에 의해 $f(x,y,\phi) = 0$ 으로 표시할 수 있다. 식(2)와 식(3)을 식(1)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$f(u,v) = 0 \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial u} & \frac{\partial f}{\partial v} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v - R_B \sin\left(\frac{R_A}{R_B}\phi\right) \\ -v - R_B \cos\left(\frac{R_A}{R_B}\phi\right) \end{bmatrix} = 0$$

식(4)의 연립방정식의 해가 포락선이다. 식(4)의 연립방정식의 해를 식(2)에 대입하면 로터 B위의 임의의 치형함수 f 에 대응하는 로터 A의 치형이 구해진다.

2.2 설계된 스크류 로터의 축직각단면

Fig.2에서 A type 치형은 대칭치형으로 원들을 치형함수로 사용하여 설계된 치형이고, 4×6치형은 수로터와 암로터의 로브 수에 따라 명명한 것이다.

N type 치형은 A type 치형에서 수로터의 로브정점 부근의 곡률을 작게하여 설계된 비대칭치형이다.

J type 치형은 A type 치형에서 수로터의 로브정점 부근의 곡률을 크게하여 설계된 비대칭치형이다.

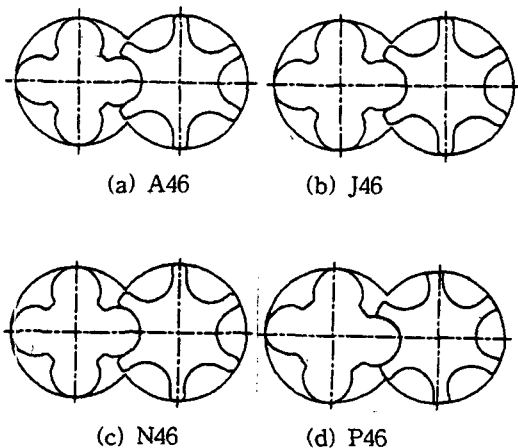


Fig.2 The Profiles of Screw Rotors

P type은 원, 직선, 타원, 점을 이용하여 설계된 비대칭치형으로 암로터와 수로터에 포켓(pocket)을 가지고 있는 것이 특징이다.

3. 커터의 치형 해석

만능밀링머어신을 이용하여 스크류 로터를 가공할 때 커터는 일정한 각속도 w_c 로 회전하고 커터의 회전축은 공작물의 중심축과 일정각도 ϕ 로 경사진 상태이며, 공작물은 일정한 이송속도 v 로 수직이동하게 된다. 암로터와 수로터의 나선각(helix angle) 방향이 서로 반대방향으로 형성되어야 하므로 커터의 경사각은 이에 따라 방향을 조정해야 한다.

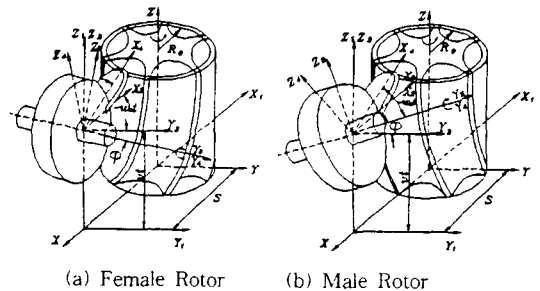


Fig.3 The Processing Diagram of Screw Rotor

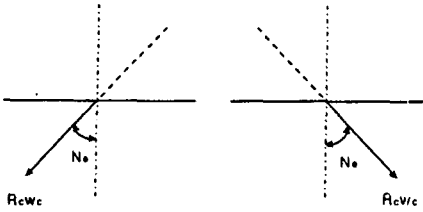
Fig.3은 만능밀링머어신을 이용한 스크류 로터의 가공을 해석하기 위한 좌표계를 정의한 것으로 공작물이 회전하는 좌표계를 X-Y-Z로 표시하고, 커터의 좌표계를 $X_4-Y_4-Z_4$ 로 표시한다.

3.1 커터의 가공경사각

만능밀링머어신으로 스크류 로터를 가공할 때 나선형 치면을 가공하기 위해서는 로터가 고정되는 테이블을 커터축과 임의의 각으로 경사지게 해야한다.

Fig.4는 로터를 가공할때의 속도벡터를 나타낸 것이다. 실제 만능밀링머어신에서는 로터의 회전속도 벡터는 존재하지 않는다($w_r = 0$). 따라서 커터의 가공경사각은 로터의 나선각(helix angle)과 같은값을 가지게 된다.

$$\phi = N_c - \sin^{-1}\left(\frac{R_0 \cdot w_r \cdot \cos(N_c)}{R_c \cdot w_c}\right) = N_c \quad (5)$$

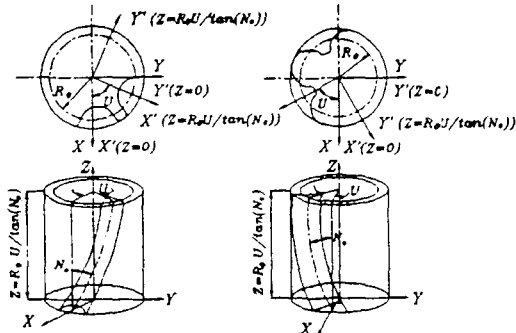


(a) Female Rotor (b) Male Rotor

Fig.4 The Processing Inclination Angle of Cutter

3.2 스크류 로터의 치면의 방정식

실제 로터의 치면을 방정식화 해서 커터를 해석하는 것은 너무 복잡해서 곤란하므로, 로터의 축직각단면의 좌표 변환을 통하여 치면을 방정식화 한다.



(a) Female Rotor (b) Male Rotor
Fig.5 The Wrap Angle of Screw Rotors

로터의 치면은 $Z=0$ 인 면에서 $Z = R_0 \cdot U / \tan(N_e)$ 인 길이까지 권선각 U 만큼 회전한다. X', Y' 을 로터의 축직각 단면이라 하면 치면의 방정식은 다음과 같이 유도할 수 있다.

3.2.1 암로터 치면의 방정식

Fig.5의 (a)에서 $Z=0$ 인 면에서는

$$X = X' \quad (6)$$

$$Y = Y'$$

$Z = R_0 \cdot U / \tan(N_e)$ 인 면에서는

$$X = X' \cos(U) - Y' \sin(U) \quad (7)$$

$$Y = X' \sin(U) + Y' \cos(U)$$

가 된다.

권선각은 $U = Z \cdot \tan(N_e) / R_0$ 으로 표시되므로 식(7)은 다음과 같이 유도된다.

$$X = X' \cos\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) - Y' \sin\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) \quad (8)$$

$$Y = X' \sin\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) + Y' \cos\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right)$$

위의 식(8)은 스크류 로터에서 1개의 치면에 대한 방정식이다. 로터 가공시 1개의 치면을 완성하고 분할하여 다른 치면을 가공하므로 치면의 방정식은 치면 1개에 대해서만 해석한다.

3.2.2 수로터 치면의 방정식

암로터의 경우와 같은 방법으로 Fig.5의 (b)에서 수로터의 치면의 방정식을 구하면 다음과 같다.

$$X = X' \cos\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) + Y' \sin\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) \quad (9)$$

$$Y = -X' \sin\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right) + Y' \cos\left(\frac{Z \cdot \tan N_e}{R_0}\right)$$

3.3 커터 치형과 로터 치면과의 교선군 해석

Fig.3에서 커터의 절삭면과 로터 치면과의 교선군을 얻기 위하여 로터 치면의 방정식이 있는 $X-Y-Z$ 좌표계와 커터의 치형이 있는 $X_4-Y_4-Z_4$ 좌표계의 관계를 유도한다.

3.3.1 암로터 치면과 커터의 교선군

Fig.3의 (a)에서 $X-Y-Z$ 좌표계와 $X_4-Y_4-Z_4$ 좌표계의 관계를 유도하여 암로터의 치면의 방정식에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

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

$$X' \sin \alpha - Y' \cos \alpha - Y_4 \cos \varphi + Z_4 \cos(w_c t) \sin \varphi + X_4 \sin(w_c t) \sin \varphi = 0$$

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

위식에서 φ 는 커터의 회전축과 공작물의 중심축과의 경사각, 즉 커터의 가공경사각을 나타내며 앞서 서술한 바와 같이 로터의 나선각(helix angle)과 같은 값을 갖는다.

w_c 는 커터의 회전 각속도를 나타낸다.

절삭면에서는 $Z_4=0$ 이므로 식(10)은 다음과 같이 정리된다.

$$X' \cos \alpha - Y' \sin \alpha - S + X_4 \cos(w_c t) = 0 \quad (11)$$

$$X' \sin \alpha + Y' \cos \alpha - Y_4 \cos \varphi + X_4 \sin(w_c t) \sin \varphi = 0$$

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

3.3.2 수로터 치면과 커터의 교선군

암로터의 교선군 해석과 같은 방법으로 Fig.3의 (b)에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$X' \cos \alpha + Y' \sin \alpha - S + X_4 \cos(w_c t) = 0 \quad (12)$$

$$-X' \sin \alpha + Y' \cos \alpha - Y_4 \cos \varphi - X_4 \sin(w_c t) \sin \varphi = 0$$

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

3.3.3 커터 치형과 로터 치면과의 교선군

앞에서 유도한 식(11)과 식(12)의 각각의 연립방정식을 Newton Method를 이용하여 얻은 X_4, Y_4 가 커터 치형과 로터 치면과의 교선군이 된다. 즉 가공시 회전하는 커터의 치형좌표와 로터의 치면좌표가 서로 접하는 교점들이다. 여기서 커터는 $-20^\circ \sim 20^\circ$ 만큼 회전하는 것으로 해석했고, 커터의 피치원 반경은 암로터의 경우 58mm로 수로터인 경우에는 50mm로 설정했다.

Fig.2에서 보여준 각각의 스크류 로터의 치형에 대한 커터치형과 로터 치면과의 교선군은 Fig.6에서 보여준다. 커터의 피치원 반경이 커지면 교선군의 펼쳐지는 정도가 심해지고 교선군이 내포락선 안으로 침범하게 되는데, 이러한 절삭간섭이 일어나지 않은 최적의 커터 피치원 반경을 결정하여 해석했다.

3.4 커터의 치형설계

커터 치형은 Fig.6에서 보여준 커터 치형과 로터 치면

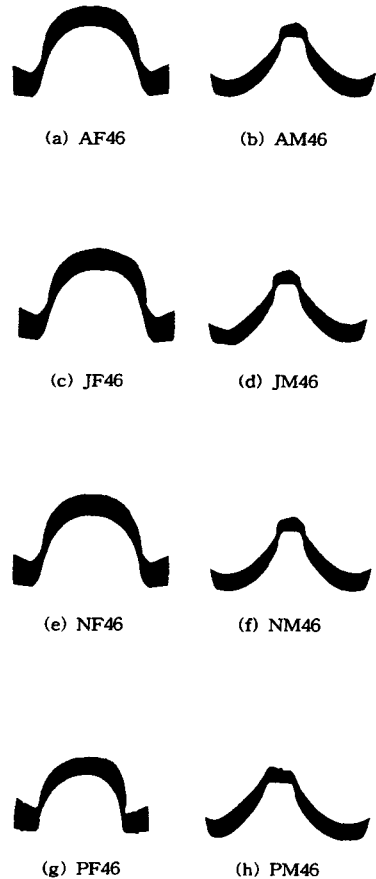


Fig.6 Contact Lines between a Cutter and the Surface Profile of Screw Rotors

과의 교선군에서 내측의 포락선을 얻어서 구해진다. 즉 커터의 회전축과 로터의 중심축이 경사진 상태에서 변화하는 치면사이에 커터가 지나가야 할 최소한의 공간이 존재하게 되는데 이것이 커터의 형상이 된다.

Table 1 The Specification of Cutter

Rotor Profile		pitch radius	rake angle [deg]	width [mm]	height [mm]
symmetric	AF46	58	45.1517	37.4047	74.2000
	AM46	50	45.1517	41.2654	54.2293
asymmetric	JF46	58	45.1517	37.4047	74.2000
	JM46	50	45.1517	40.0951	54.2292
	NF46	58	45.1517	37.4047	74.2000
	NM46	50	45.1517	40.2018	54.2293
	PF46	58	45.1517	37.9024	75.4182
	PM46	50	45.1517	40.6335	52.3148

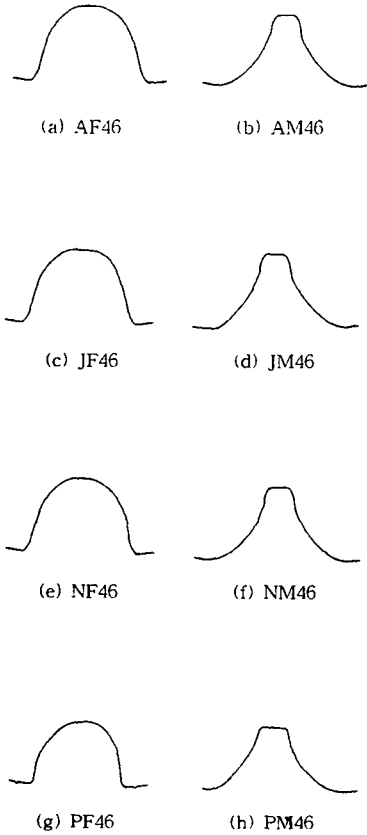


Fig.7 The Cutter Profiles of Screw Rotor

각각의 스크류 로터 치형에 대해 설계된 커터의 치형은 Fig.7에 보여주고 있으며 이는 교선군을 구할때 입력한 스크류 로터의 치형 좌표수와 같은 수의 좌표점을 갖는다.

4. 스크류 로터의 가공

4.1. 스크류 로터의 제원

Fig.2와 같은 축직각 단면을 갖는 스크류 로터의 이론적인 형상은 Fig.8에 나타냈다.

Fig.8에 나타낸 스크류 로터의 형상은 가공된 로터의 정밀도 측정시 기준값으로 활용되며, 각각의 스크류 로터에 대한 제원은 Table 2에 나타냈다.

로터의 제원에서 암·수로터의 리이드(lead)는 로브가 나선을 따라 360° 회전했을때의 로터의 길이를 나타내며 이는 만능밀링머어신으로 로터를 가공할때 차동변속 기

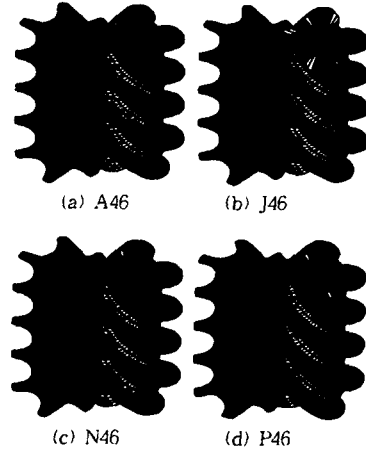


Fig.8 The Shapes of Screw Rotors

Table 2 The Specification of Screw Rotor

Rotor Profile	pitch radius [mm]		lead[mm]		length (mm)	wrap angle of male rotor	helix angle [deg]	
	male	female	male	female				
sym.	A46	28.8	43.2	180	270	150	300°	45.1517
	J46	28.8	43.2	180	270	150	300°	45.1517
asym.	N46	28.8	43.2	180	270	150	300°	45.1517
	P46	28.8	43.2	180	270	150	300°	45.1517

어장치의 기어의 잇수를 결정할때 필요하다. 가공하게 될 로터의 길이는 수로터의 권선각이 300°가 되도록 결정한다.

4.2 커터의 제작

커터는 Fig.7에서 보여준 커터의 치형좌표를 오메가(Ω)라는 G code 변환 Cam software를 이용하여 NC code로 변환한 후, 와이어(wire) 방전가공기를 이용하여 고속도강(H.S.S)로 제작했다.

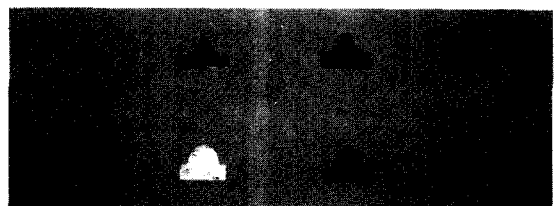


Fig.9 The Shapes of Manufactured Cutters

Fig.9는 A46, J46, N46, P46의 암·수로터에 대한 가공된 커터의 형상이다.

Table 3은 커터를 와이어 방전가공기로 제작할때의 가공조건을 나타낸 것이다.

Table 3 The Processing Condition of Cutters

material of cutter	H.S.S
thickness of cutter	3.0mm
relief angle of cutter	5.0 °
diameter of wire	0.25mm
moving speed of wire	3.0mm/min
moving speed XY	8.0m/min
wire tension	12.0g
voltage of wire	70.0V
current of wire	0.5 ~ 1.0A

4.3 스크류 로터의 가공

스크류 로터는 대칭형 A46과 비대칭형 J46, N46, P46을 아크릴을 재료로 하여 만능밀링머신을 이용하여 가공하였다. 로터의 중심축과 커터의 회전축의 경사각은 다이얼 게이지를 이용하여 장착했으며, 로터의 가공시 가장 중요한 커터축과 로터의 축간거리는 가공된 로터의 쉘저 지름을 마이크로미터로 측정하여 절삭깊이를 조정했다. 또한 주축과 로터의 중심축은 공통법선을 가져야 하므로 로터의 중심축은 다이얼 게이지를 이용하여 평행하게 장착했다. 커터의 중심선과 주축의 중심선의 교점이 주축과 로터의 회전축의 중심선과의 공통 수직선위에 있도록 했다. 그리고 로터의 나선각은 만능밀링머신의 차동변속 기어장치의 기어열의 잇수를 계산하여 조정했으며, 특히 암·수로터의 나선각(Helix angle)이 서로 반대 방향이므로 수로터의 가공시 차동변속 기어장치에 중간기어를 사용해서 역회전시켜 가공하였다. 또한 회전 분할판을 이용하여 암·수로터의 로브수에 맞게 분할하였다.

Table 4 The Processing Condition of Screw Rotors

material of screw rotor	acrylyl	
rake angle of cutter	45.1517°	
r.p.m. of spindle	1400rpm	
table feeding speed	0.4mm/rev	
depth of processing	Roughing	7mm
	Medium Finishing	2mm
	Finishing	0.5mm

Table 4는 스크류 로터의 가공조건을 나타낸 것이다. 주축의 회전수는 커터의 치형설계 프로그램의 입력값과 같게 했다.

4.4 스크류 로터의 정밀도 측정

가공된 로터의 치면은 임의의 나선형 곡면이므로 정밀도 확인에 어려움이 있다. 암·수로터의 치면중 1개를 3차원 측정기로 측정하여 로터의 축직각 단면 좌표값과 비교함으로써 가공된 로터의 치수 정밀도를 확인했다. 3차원 측정기의 프로그 직경은 0.5mm이고 로터에 직접 접촉해서 좌표점을 측정한다.

Fig.10는 측정한 로터 치면의 좌표축을 나타낸 것이다. 암로터의 경우 로브의 홈부분이 Y좌표가 0이되고, 수로터의 경우는 로브 정점부근이 Y좌표가 0이된다. 측정은

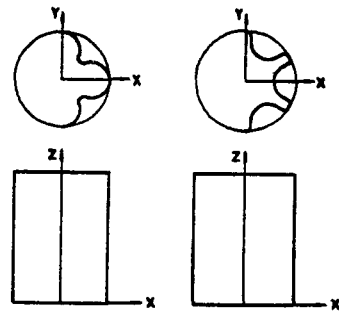


Fig.10 The Measuring Coordinates of Screw Rotors

임의의 높이(Z축)에서 X,Y 좌표값을 0.1~0.2mm 간격으로 측정했다.

5. 결과 및 고찰

설계된 커터를 이용하여 스크류 로터를 가공하고, 가공된 로터를 3차원 측정기로 측정했다. 그리고 측정한 좌표와 치형의 축직각 단면과 비교한 가공오차를 Fig.11~Fig.18에 나타냈다. 음의 가공오차는 가공된 로터가 이론적인 축직각 단면 좌표보다 절삭이 더 일어남을 나타내고, 양의 값은 절삭이 덜 일어남을 나타낸다.

Fig.11은 대칭형 A46 치형의 수로터에 대한 가공오차를 나타낸 것이다. 로터홈 부분에서는 양의 가공오차, 로브의 측면과 로브정점 부근에서는 음의 가공오차가 발생했다. 최대 가공오차는 -0.54mm정도이다.

Fig.12은 대칭형 A46 치형의 암로터에 대한 가공오차를 나타낸 것이며 최대 가공오차는 +0.37mm이다.

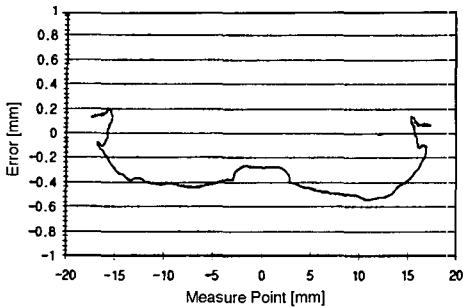


Fig. 11 The Error of A46 Male Rotor

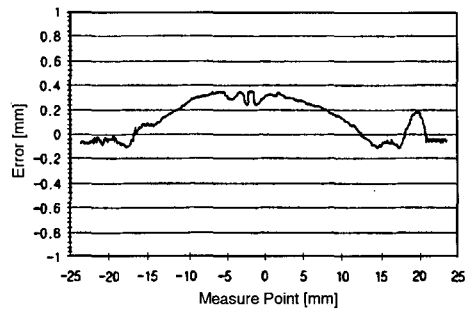


Fig. 14 The Error of J46 Female Rotor

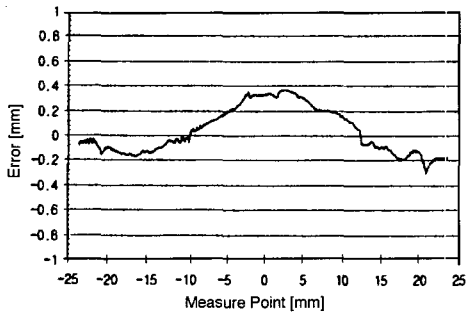


Fig. 12 The Error of A46 Female Rotor

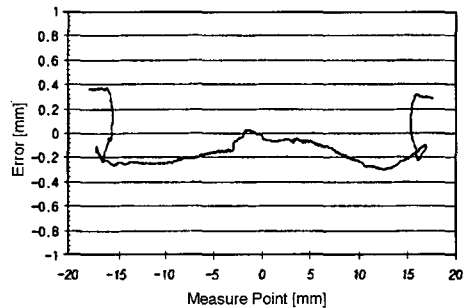


Fig. 15 The Error of N46 Male Rotor

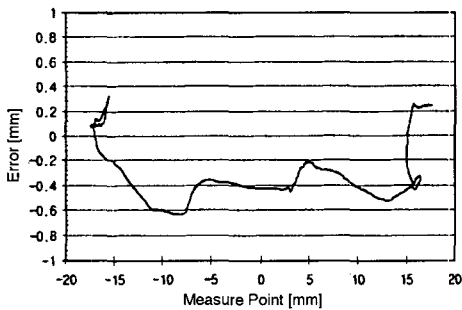


Fig. 13 The Error of J46 Male Rotor

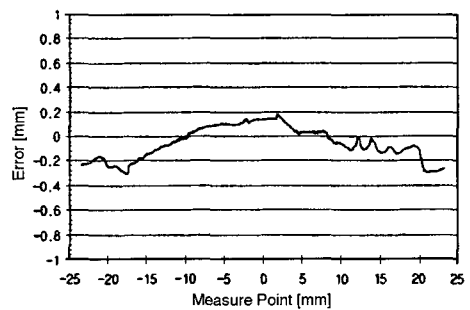


Fig. 16 The Error of N46 Female Rotor

Fig. 13은 비대칭형 J46 치형의 수로터에 대한 가공오차를 나타낸 것이며 최대가공오차는 -0.63mm 이다.

Fig. 14는 비대칭형 J46 치형의 암로터에 대한 가공오차를 나타낸 것이며 최대가공오차는 $+0.35\text{mm}$ 이다.

Fig. 15는 비대칭형 N46 치형의 수로터에 대한 가공오차를 나타낸 것으로 최대가공오차는 $+0.38\text{mm}$ 이다.

Fig. 16은 비대칭형 N46 치형의 암로터에 대한 가공오차를 나타낸 것으로 최대 가공오차는 -0.3mm 이다.

Fig. 17은 비대칭형 P46 치형의 수로터에 대한 가공오

차를 나타낸 것이다. 로터의 거의 전구간에서 음의 가공오차가 발생했고 최대 가공오차는 -0.98mm 이다.

Fig. 18은 비대칭형 P46 치형의 암로터에 대한 가공오차를 나타낸 것으로 최대가공오차는 -0.77mm 이다.

가공된 스크류 로터의 가공오차 원인은 다음과 같이 분석할 수 있다.

첫째, 커터치형과 로터 치면과의 교선군을 구할 때 커터 피치원 반경의 설정이다. 커터 피치원 반경의 변화에

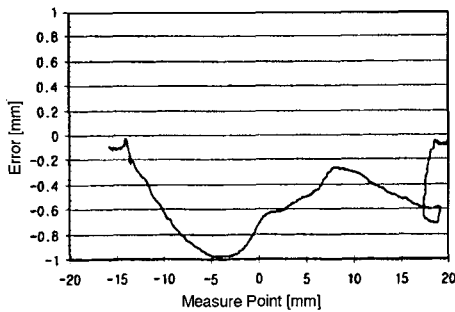


Fig.17 The Error of P46 Male Rotor

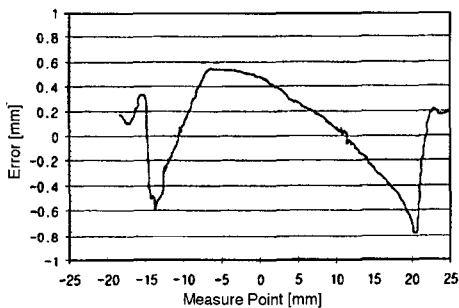


Fig.18 The Error of P46 Female Rotor

다른 교선군의 형상은 심한 변화가 있었다. 절삭간섭의 유무는 교선군의 출력을 통해 시각적으로 확인했는데, 커터의 피치원 반경과 절삭간섭과의 정확한 관계규명이 요구된다.

둘째, 로터 가공상의 장착오차이다.

Fig.11~18에서 확인할 수 있듯이 수로터의 좌우 로터 흡부분, 암로터의 좌우 로브 정점부근의 가공오차 차이가 있었다. 이는 커터가 정확히 수직으로 장착되지 않았다고 추측할 수 있다. 또한 커터의 중심선과 로터 원주상의 정점이 정확히 일치하지 않았다. 이것은 비대칭 치형일수록 더욱 심해지는데, P type의 경우 커터 치형의 정점과 커터의 중심선이 일치하지 않음으로 인해 다른 치형보다 많은 가공오차를 수반했다.

세째, 1개의 날을 갖는 커터로 로터를 가공했기 때문에 로터 표면의 거칠음을 초래했고 가공시 진동의 원인이 되기도 한다. 따라서 여러개의 커터를 커터 몸체에 부착시켜 가공하거나 커터를 호브(hob)로 제작하여 호빙 머신으로 가공하면 고정밀도 스크류 로터를 얻을 것으로 기대된다.

6. 결론

대칭형 및 비대칭형 스크류 로터를 만능밀링머신으로 가공할 수 있는 커터의 치형설계 프로그램을 완성하고, 각각의 치형에 대한 커터를 설계하였다. 그리고 설계된 커터를 고속도강(H.S.S)을 소재로 하여 와이어(wire) 방전가공기를 이용하여 제작하고, 만능밀링머신을 이용하여 아크릴을 소재로 한 스크류 로터를 가공한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 만능밀링머신을 모델로 하여 나선모양의 복잡한 곡면을 갖는 스크류 로터의 축직각단면 좌표와 커터치형과의 교선군을 수학적으로 해석하여 방정식화 하였고, 스크류 로터의 권선각, 리이드, 피치원반경과 커터의 가공경사각, 이송속도, 회전속도, 그리고 교선군의 방정식을 이용한 커터의 치형설계 프로그램을 완성하였다.
2. 커터의 치형설계 프로그램을 이용하여 커터가 $-20^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 회전하는 조건으로 대칭형 A46, 비대칭형 J46, N46, P46에 대한 각각의 암·수로터의 커터를 설계하고, 이와 동일한 조건으로 만능밀링머신을 이용하여 스크류 로터를 가공하고 형상정밀도를 측정함으로써 커터의 치형설계 프로그램과 가공방법의 타당성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

1. M.Fujiwara et al, proc. of the 1984 International Compressor Engineering Conference at purdue, pp536, 1984.
2. Mitsuru Fujiwara, Katsuhiko Kasuya, Tet-suzo Matsunaga, Makoto Wadanabe, "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戶, 昭59-4.
3. M.FUJIWARA, "A New Design Method for Oil-injected Screw Compressors and its Applications", Hitachi Review, Vol.36, No.3, 1987.
4. Tatushi KANEKO, "Study on Fundamental Performance of Helical Screw Expander", JSME, Vol.28, No.243, 1985.
5. Wichert, K. E., "Characteristic of Helical,

- Rotary, Positive displacement Compressor”, ASME Paper, No.61-HYD-18, 1961.
6. 이민성, 최상훈 “대칭형 스크류치형의 기하학적 성질 및 특성값에 관한 연구”, 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp457-460, 1992.
 7. 오형식, 최상훈 “스크류 로터 치형의 기하학적 특성값의 연구”, 한국정밀공학회 춘계학술대회 초록집, pp146, 1993.
 8. 박세정, 최상훈 “스크류 로터 치형의 성능해석에 관한 연구”, 한국정밀공학회 추계학술대회 초록집, pp622-626, 1994.
 9. Akira Kyusojin, Kazumi Munekata, Masanori Tanaka, Akira Toyama, “A Finishing Method of Rotor in Screw Compressor by Fly Tool”, Bulletin of JSME, Vol.29, No.253, July 1986.