

## 권선각 변화에 따른 스크류압축기의 대칭형 로터용 가공 시뮬레이션 프로그램

김연수\* · 최부희\*\* · 박재민\*\*\* · 최상훈†  
(2001년 6월 2일 접수, 2002년 4월 13일 심사완료)

### Machining Simulation Program for Symmetric Rotors in Screw Compressor as Wrap Angle

Yeon-Su Kim, Boo-Hee Choi, Jae-Min Park and Sang-Hoon Choi

**Key Words:** Screw Compressor(스크류압축기), Symmetric Rotor(대칭형 로터), Cutter Design(커터 설계), Wrap Angle(권선각), Machining Simulation(가공 시뮬레이션)

#### Abstract

This paper describes the development of machining simulation program which is able to design cutter profile and 3-dimensional geometry for rotors in screw compressor. Based on the symmetric rotor profiles developed previously, cutters are designed and 3-dimensional geometries of rotors are generated by using simulation program. Symmetric rotors are manufactured by a universal milling machine, and surface geometries of them are measured by a 3-dimension scanner. It is shown that simulation program developed is useful to design cutter for rotor manufacturing and to generate the 3-dimensional helicoid geometry of rotor in screw compressor.

#### 기호설명

$r_c$  : 커터의 피치원 반경[mm]  
 $r_0$  : 스크류 로터의 피치원 반경[mm]  
 $t$  : 시간[sec]  
 $\alpha$  : 스크로 로터의 권선각[rad]  
 $v$  : 스크류 로터의 이송속도[m/s]  
 $\phi$  : 커터의 가공경사각[deg]  
 $\omega_c$  : 커터의 회전각속도[rad/s]  
 $\omega_r$  : 스크류 로터의 회전각속도[rad/s]  
 $X, Y, Z$  : 스크류 로터의 좌표계  
 $X_4, Y_4, Z_4$  : 커터의 좌표계

#### 1. 서론

지하철과 경량전철 등의 도시철도 차량에서는 제동장치, 승객용 출입문, 경적, 창닫이 장치, 현가장치인 공기스프링 등에 압축공기 또는 압력유 공급을 위해 압축기가 설치된다. 철도차량에 적용되는 압축기의 종류에는 피스톤식과 스크류식이 있으나 최근에는 토출압력이 일정하고 소음 및 진동이 적으며 장시간 사용해도 효율이 일정한 스크류식 압축기가 주로 사용되고 있으며, 국내 대부분의 도시철도 차량에서는 스크류식 공기압축기가 사용되고 있다.

스크류식 공기압축기는 밀폐용기 내에서 암로터와 수로터가 서로 맞물려 회전하면서 로터의 홈과 하우징 사이의 용적이 공기를 연속적으로 흡입, 압축, 토출하여 압축공기를 생성한다. 또한 스크류식 공기압축기는 윤활식과 비윤활식이 있으며, 공기정화장치가 필요하지만 높은 사용압력 범위, 누설방지, 저가, 용이한 온도조절이 가능한

\* 회원, 한국철도기술연구원, 시스템기술개발팀

\*\* 서울정수기능대학

\*\*\* 건국대학교 대학원

† 책임저자, 회원, 건국대학교 기계항공공학부

E-mail : shchoi@konkuk.ac.kr

TEL : (02)450-3476 FAX : (02)444-1033

유효성이 주종을 이루고 있다. 스크류식 압축기를 구성하는 암로터와 수로터는 매우 복잡한 3차원 형상을 가지고 있으며, 특히 치형과 가공 정밀도에 따라 압축기의 성능이 민감하게 변화하므로 설계 및 가공에 어려움이 많은 장치이다. 해외에서는 로터에 대한 다양한 치형과 가공에 대한 다양한 방법론이 개발되어 왔다.<sup>(1-7)</sup>

국내에서는 스크류 로터의 기하학적인 특성과 제한사항을 고려하여 대칭형 치형과 비대칭 치형이 개발되었다.<sup>(8,9)</sup> 또한 개발된 로터의 치형을 이용한 커터의 설계방법을 제안하고 가공을 통해 일반적인 타당성을 검증하였으나, 가공오차가 다소 크게 발생하였고 그 원인이 커터 설계의 오차인지 가공 과정에서 발생한 오차인지 확인되지 않았으며 스크류 압축기의 중요한 성능인자인 권선각(wrap angle)에 따른 커터설계의 타당성은 입증되지 않았다.<sup>(10,11)</sup>

본 연구에서는 선행된 연구<sup>(10,11)</sup>를 발전시켜 스크류식 압축기의 중요한 성능 인자인 로터의 권선각 변화에 따른 커터설계 기능과 로터의 3차원 형상 자동 생성 기능을 추가한 가공 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 이를 이용하여 권선각 변화에 따른 대칭형 로터의 3차원 형상을 생성하여 로터 치형과 비교하고, 각각의 로터에 대한 커터를 설계하고 선행연구를 보완하여 로터를 가공하여 형상 정밀도를 측정함으로써 가공 시뮬레이션 프로그램의 타당성을 확인하였다.

## 2. 대칭형 로터의 치형

로터의 치형은 스크류 압축기의 성능을 결정하는 중요한 인자이며, 실라인(seal line), 누설경로(leakage path), 토크전달 등에 영향을 미친다. 또한 치형은 로터의 축단면 형상과 로터 길이, 권선각 등으로 표현되므로 권선각은 스크류 압축기의 중요한 설계인자이다.<sup>(12)</sup> 치형은 로터의 기하학적 특성과 제한사항에 따라 임의의 치형함수를 결정하고 로터의 회전에 따른 포락선(envelope curve)을 계산하여 설계된다.<sup>(1,2,8)</sup> 또한 실라인의 길이, 블로우홀(blow hole) 면적, 용적곡선(volume curve) 등의 특성값 해석을 병행하여 설계되는 치형의 유효성을 향상시킨다.<sup>(3-6,9)</sup> 이와 같은 방법으로 국내에서 설계된 다양한 로터의 치형 중에서 여러 개의 원들을 조합한 대칭형 치형<sup>(6)</sup>은 Fig. 1

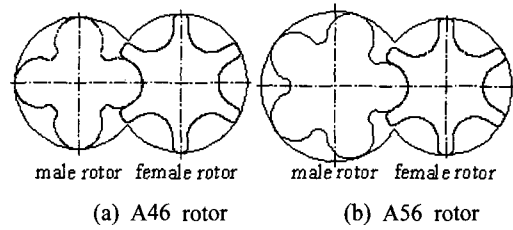


Fig. 1 Symmetrical tooth profiles of rotor

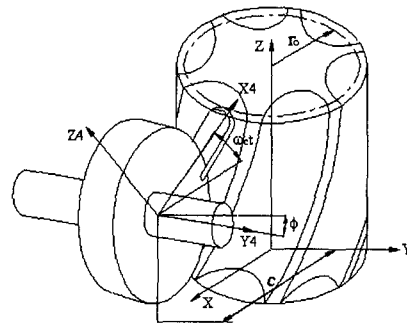


Fig. 2 Concept drawing of rotor manufacturing

과 같다. 치형 A46은 수로터의 로브(lobe)가 4개, 암로터의 로브가 6개이며, A56은 수로터의 로브가 5개, 암로터의 로브가 6개이다. 대칭형 로터는 로브가 로브정점에 대해 대칭인 치형을 의미한다.

## 3. 가공 시뮬레이션 프로그램의 개발

시뮬레이션 프로그램에서 로터의 가공은 호빙머신과 만능밀링머신을 대상으로 하였다. 호빙머신을 이용하여 로터를 가공하는 경우 Fig. 2에서 로터와 커터가 동시에 회전하고, 로터가 축방향으로 이동하면서 모든 로브를 동시에 가공하게 된다. 만능밀링머신을 이용하는 경우에는 Fig. 2에서 1개의 로브를 가공한 후 다른 로브를 차례대로 가공하게 된다.

### 3.1 커터의 가공경사각

호빙머신으로 로터를 가공하는 경우 로터와 커터가 동시에 회전하고, 로터가 축방향으로 이동하면서 치면을 가공하므로 로터와 커터의 피치원 반경( $r_0$ ,  $r_c$ )과 회전속도( $\omega_r$ ,  $\omega_c$ ), 로터의 나선각( $h_c$ )을 고려하여 커터와 로터의 회전축은 임의의 경사각( $\phi$ )을 가져야 하며, 관계식은 다음과 같다.

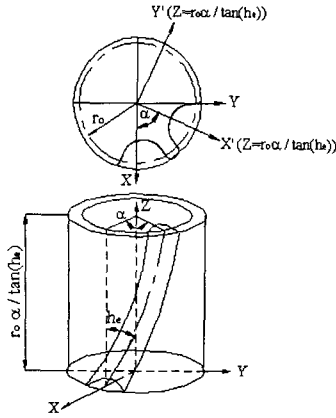


Fig. 3 Wrap angle and helicoid surface of rotor

$$\phi = h_e - \sin^{-1} \left( \frac{r_0 \omega_r \cos(h_e)}{r_c \omega_c} \right) \quad (1)$$

만능밀링머신으로 로터를 가공하는 경우 호빙머신과는 달리 로터의 회전속도는 존재하지 않으므로 커터의 가공경사각은 로터의 나선각과 동일한 값을 가지게 된다.

$$\phi = h_e \quad (2)$$

### 3.2 로터의 치면 방정식

로터의 나선형 치면을 방정식화 해서 커터를 해석하는 것은 너무 복잡하여 곤란하므로 로터의 축직각 단면으로 치면을 방정식화 한다.<sup>(7)</sup>

로터의 나선형 치면은 Fig. 3과 같이 로터의 길이에 대해 권선각( $\alpha$ )만큼 회전하므로 나선형의 치면( $X, Y, Z$ ) 방정식은 로터의 축직각단면( $X', Y', Z'$ )을 이용하여 유도된다. 암로터의 치면 방정식은 식 (3), 수로터의 치면 방정식은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} X &= X' \cos \left( \frac{Z \cdot \tan(h_e)}{r_0} \right) - Y' \sin \left( \frac{Z \cdot \tan(h_e)}{r_0} \right) \\ Y &= X' \sin \left( \frac{Z \cdot \tan(h_e)}{r_0} \right) + Y' \cos \left( \frac{Z \cdot \tan(h_e)}{r_0} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} X &= X' \cos \left( \frac{Z \cdot \tan(h_e)}{r_0} \right) + Y' \sin \left( \frac{Z \cdot \tan(h_e)}{r_0} \right) \\ Y &= -X' \sin \left( \frac{Z \cdot \tan(h_e)}{r_0} \right) + Y' \cos \left( \frac{Z \cdot \tan(h_e)}{r_0} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

### 3.3 커터의 치형해석

가공 시뮬레이션 프로그램에서 수행되는 커터의 치형해석은 선행연구<sup>(10,11)</sup>과 동일한 방법으로서, Fig. 2에서 커터와 로터의 나선형 치면의 교선군을 해석함으로써 커터의 치형 곡선을 얻는다.<sup>(7)</sup>

암로터와 커터의 좌표계 관계식을 치면방정식인 식 (3)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 커터와 암로터 치면과의 교선군 방정식을 얻는다.

$$\begin{aligned} X' \cos \beta - Y' \sin \beta - c + X_4 \cos(\omega_c t) &= 0 \\ X' \sin \beta + Y' \cos \beta - Y_4 \cos \phi & \\ + X_4 \sin(\omega_c t) \sin \phi &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

위식에서

$$\beta = \frac{\tan(h_e)}{r_0} [-X_4 \sin(\omega_c t) \cos \phi - Y_4 \sin \phi + vt]$$

암로터의 경우와 동일한 방법으로 커터와 수로터 치면의 교선군 방정식을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X' \cos \beta + Y' \sin \beta - c + X_4 \cos(\omega_c t) &= 0 \\ -X' \sin \beta + Y' \cos \beta - Y_4 \cos \phi & \\ - X_4 \sin(\omega_c t) \sin \phi &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

위식에서

$$\beta = \frac{\tan(h_e)}{r_0} [-X_4 \sin(\omega_c t) \cos \phi + Y_4 \sin \phi + vt]$$

식 (5), (6)에서  $c$ 는 커터와 로터의 중심거리,  $X_4, Y_4, Z_4$ 는 커터의 좌표계이다. 호빙머신에 대해 커터를 설계하는 경우는 식 (1)을 대입하고, 만능밀링머신의 경우는 식 (2)를 대입한다. 커터의 치형곡선은 식 (5), (6)에 의해 구해진 교선군의 공통점선을 해석함으로써 얻는다.

### 3.4 로터의 3차원 형상 생성 알고리즘

설계된 커터를 이용하여 로터의 3차원 형상을 생성한다. 즉 커터치형을 가공경사각만큼 경사지게 한 후, 로터 가공소재와의 교점을 해석한다. 또한 해석된 교점들은 로브의 좌표점들이므로 로터의 좌표계로 변환해야한다. 이러한 가공 시뮬레이션은 호빙머신과 만능밀링머신 중에서 공작기계를 선택하여 수행되며, 각각은 앞서 설명한 가공방법에 따라 프로그램이 개발되었다. 이렇게 해석된 로터의 3차원 형상은 솔리드 모델은 아니

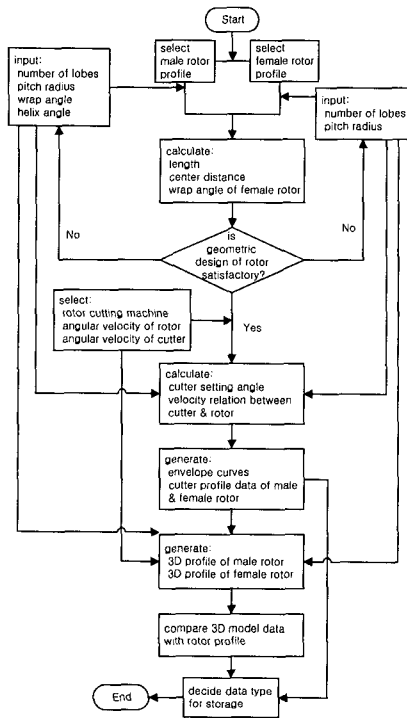


Fig. 4 Flow chart of simulation program

지만 로터의 치형곡선과 비교하여 로터를 실제 제작하기 전에 커터 설계방법의 타당성을 검증할 수 있으며, 선행연구<sup>(10,11)</sup>에서는 곤란했던 가공오차의 원인을 분석하는데 사용될 수 있다.

3.5 가공 시뮬레이션 프로그램

본 연구에서 개발한 가공 시뮬레이션 프로그램은 로터의 치형 데이터 또는 치형함수, 로터의 피치원 지름과 길이, 로브의 수, 수로터의 권선각과 나선각을 입력하면 Fig. 1과 같은 로터의 축척각 치형을 생성한다. 또한 로터의 치형을 이용하여 식 (5), (6)과 같은 커터와 로터의 교선군 연립방정식을 Newton Method로 수치해석을 수행하여 교선군을 얻는다. 이 때 커터의 피치원 지름을 입력하고, 로터 가공용 공작기계를 만능밀링머신과 호빙머신에서 선택하여 가공 경사각을 계산한다. 이렇게 계산된 교선군의 공통접선을 해석하여 커터의 치형 곡선을 얻는다. 계산된 가공경사각과 설계된 커터를 이용하여 암로터와 수로터에 대해 각각 가공 시뮬레이션을 수행하고 로터의 3

Table 1 Specifications of rotors

type	number of lobes		pitch radius (mm)		length (mm)	wrap angle of male (degree)	helix angle (degree)
	male rotor	female rotor	male rotor	female rotor			
A46	4	6	28.8	43.2	150.0	300	45.2
A56	5	6	36.0	43.2	187.5	300	51.5
B46	4	6	28.8	43.2	150.0	250	40.0
B56	5	6	36.0	43.2	187.5	250	46.3
C46	4	6	28.8	43.2	150.0	200	33.8
C56	5	6	36.0	43.2	187.5	200	40.0

차원 형상을 계산하며, 결과는 AutoCAD의 스크립트(Script) 파일 또는 수치데이터 파일로 생성할 수 있다. 이렇게 시뮬레이션 프로그램으로부터 얻은 3차원 로터의 축척각 단면과 입력 데이터인 치형곡선을 상호 비교하여 치형오차를 확인하면 프로그램은 종료하게 된다. 개발된 가공 시뮬레이션 프로그램의 순서도는 Fig. 4와 같다.

4. 해석 및 결과

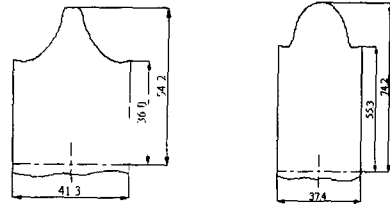
4.1 커터 설계

가공 시뮬레이션 프로그램에 입력된 대칭형 로터의 주요제원은 Table 1과 같으며, Fig. 1의 2종류 대칭형 치형에서 수로터의 권선각을 각각 30°, 250°, 200°로 변화시킨 6가지 로터를 이용하였다. 선행연구<sup>(10,11)</sup>와의 비교 분석을 위해 로브수와 피치원지름, 로터 길이는 동일하게 하였다.

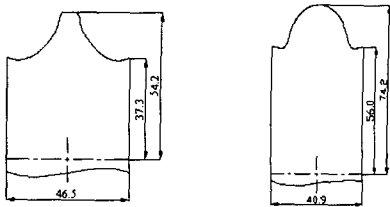
본 논문에서는 로터 가공용 공작기계를 만능밀링머신으로 선택하였다. 또한 암로터의 경우 커터의 피치원 반경을 58mm, 수로터의 경우 50mm로 입력하여 커터와 로터 사이의 나선형 치면의 교선군을 해석하였다. 이러한 교선군은 로터의 가공시 회전하는 커터와 로터가 서로 접하는 교점들의 집합이다. 결국 커터의 치형은 교선군의 공통접선이므로 Table 1의 A46, B46, C46에 대해 가공 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 설계된 커터는 Fig. 5와 같다. 또한 각각의 설계된 커터의 주요제원을 정리하면 Table 2와 같다.

스크류 로터의 실제 가공은 Table 2에서 제시한 커터의 형상 데이터 이외에도 여유각과 경사각을 포함한 커터의 상세한 형상, 그리고 절삭조건 및 방법 등에 따라 가공정밀도와 표면조도가

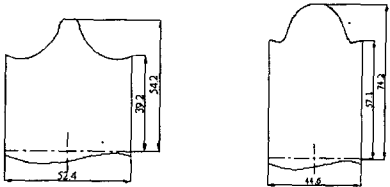
달라질 수 있다. 본 논문의 목적은 개발한 가공 시뮬레이션 프로그램의 타당성 확인이므로 상기의 조건은 고려하지 않았다.



(a) Male cutter and female cutter of A46



(b) Male cutter and female cutter of B46



(c) Male cutter and female cutter of C46

Fig. 5 Cutters designed by machining simulation program

Table 2 Specifications of designed cutters

type		pitch radius (mm)	setting angle (degree)	width (mm)	length (mm)
A46	female	58	45.2	37.4	74.2
	male	50	45.2	41.2	54.2
A56	female	58	51.5	32.7	74.2
	male	50	51.5	34.1	54.2
B46	female	58	40.0	40.9	74.2
	male	50	40.0	46.5	54.2
B56	female	58	46.3	36.6	74.2
	male	50	46.3	38.9	54.2
C46	female	58	33.8	44.6	74.2
	male	50	33.8	46.5	54.2
C56	female	58	40.0	40.9	74.2
	male	50	40.0	44.9	54.2

4.2 로터의 3차원 형상

가공 시뮬레이션 프로그램은 Fig. 4와 같이 로터의 가공용 커터를 설계한 후 이를 이용하여 모의 가공을 수행한다. 본 논문에서는 공작기계를 만능밀링머신으로 선택하였으므로 Table 2의 가공 경사각으로 커터를 로터의 중심축과 경사지게 한 후 회전시켜 커터와 로터 원통과의 교점을 계산하여 3차원 형상을 얻는다. A46, B46, C46에 대한 3차원 형상은 Fig. 6과 같으며, 가공 시뮬레이션의 실행 결과인 스크립트 파일을 AutoCAD에 입력시킨 후 렌더링(rendering)을 수행한 형상이다.

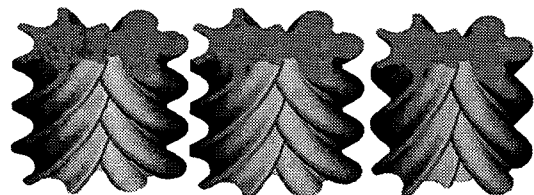
Fig. 6과 같이 모의 가공된 로터의 축직각 단면과 Fig. 1의 치형 데이터를 비교하면 최대 10<sup>-5</sup>mm 이하의 오차를 나타냈다. 이는 가공된 로터의 가공오차는 가공과정에서 발생된 오차임을 증명하는 것으로서 개발된 가공 시뮬레이션 프로그램의 타당성을 확인할 수 있었다.

5. 로터의 가공

5.1 커터의 제작

Fig. 5와 같이 설계된 로터 가공용 커터는 치형 데이터를 직선보간인 G01, 원호보간인 G02 또는 G03 등의 NC code로 변환시킨 후 Fig. 7과 같은 와이어 방전가공기로 제작되었다. 또한 저자의 선행연구<sup>(10,11)</sup>와 동일한 조건을 갖도록 커터의 재질은 고속도강을 선택했으며 측면여유각은 5° 가 되도록 제작되었다.

Fig. 8은 Table 2의 설계된 스크류 로터 가공용 커터 중에서 수로터의 권선각이 300° 인 A46, 250° 인 B46, 200° 인 C46의 암로터와 수로터 가공용 커터를 Fig. 7과 같은 와이어 방전가공기로 제작한 것이다.



(a) A46 (b) B46 (c) C46

Fig. 6 3-dimensional geometry of rotors

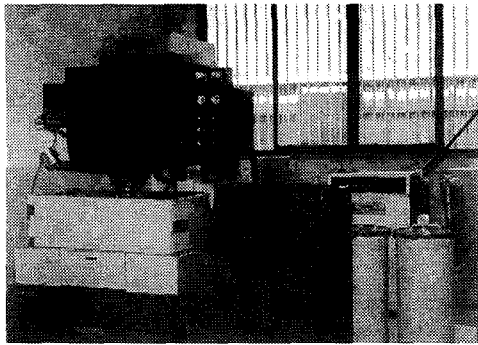


Fig. 7 Wire electrodischarge machine for cutter manufacturing

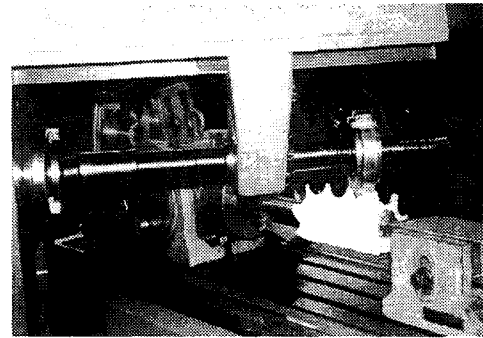


Fig. 9 Rotor machining by universal milling machine

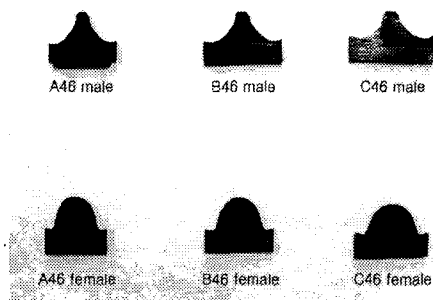


Fig. 8 Shapes of manufactured cutters

5.2 로터의 가공

만능밀링머신을 이용하여 수로터의 권선각이 300° 인 A46, 250° 인 B46, 200° 인 C46의 암로터와 수로터를 아크릴을 재료로 하여 가공하였다. 각각의 커터는 Table 2와 같은 가공 경사각으로 Fig. 2, 9와 같이 설치되며, 로터의 나선각은 만능밀링머신의 차동변속기장치(기어장치)를 이용하여 조정된다. 특히 암로터와 수로터의 나선은 서로 반대방향이므로 수로터의 가공 시 차동변속기장치(기어장치)는 역회전이 되도록 하였다. 또한 로브 수에 따라 만능밀링머신의 분할판을 이용하여 암로터와 수로터를 가공하였다. Fig. 9는 로터를 가공하는 만능밀링머신을 보여준다.

로터의 가공조건은 Table 3과 같이 설정하였고 최종적으로 가공된 로터의 형상은 Fig. 10과 같다. 선행연구<sup>(10,11)</sup>에서 가공오차의 원인은 커터의 여유각과 경사각과 같은 상세 형상과 절삭조건을 제외하면 피 절삭물(스크류 로터)의 설치 오차,

Table 3 Manufacturing condition of rotors

material of rotors		acryl
angular velocity of cutters		1400rpm
feeding velocity of table		0.4mm/rev
depth of cutting	roughing	2mm
	medium finishing	1mm
	finishing	0.5mm



(a) A46 (b) B46 (c) C46

Fig. 10 Manufactured rotors by universal milling machine

커터의 설치오차(가공 경사각 오차, 커터와 로터의 회전축 사이의 진직성 오차), 만능 밀링머신 자체의 오차(이송장치 및 차동변속기장치 등의 오차) 등으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 선행연구의 경험을 바탕으로 이들의 영향이 최소화되도록 로터를 가공하였다.

5.3 가공된 로터의 형상 정밀도

권선각을 변화시키면서 가공한 스크류 로터의 치면을 Fig. 11과 같은 3차원 측정기로 측정하고 Fig. 1의 축직각 단면 좌표값과 비교함으로써 치수 정밀도를 확인하였다. 사용된 3차원 측정기의 프러그 직경은 0.5mm이고 로터에 직접 접촉해서 좌표점을 측정한다.

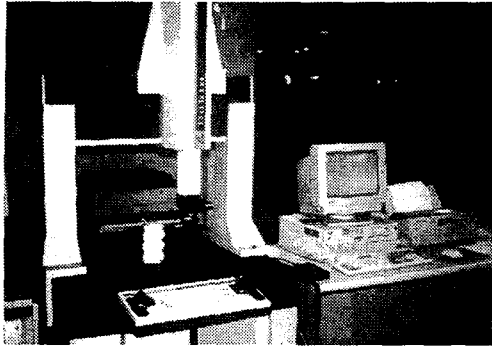


Fig. 11 3-dimensional scanning of manufactured rotor geometry

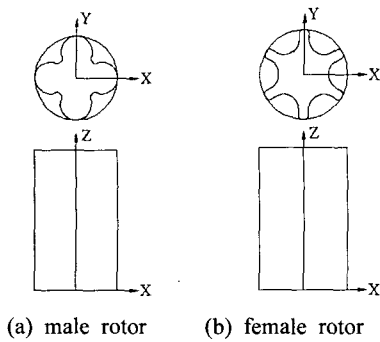


Fig. 12 Measuring coordinates of geometrical error

Fig. 12는 가공된 로터의 형상정밀도 측정 좌표계를 나타낸 것이다. 수로터의 경우는 로브의 정점을, 암로터의 경우는 로브의 홈을 측정위치의 원점으로 설정하였다. 또한 Z축 방향인 로터 축 방향에서의 측정위치는 중간위치인 75mm 지점에서 측정하였다.

Fig. 13~18은 가공된 로터의 형상 정밀도 측정 결과이다. 음의 가공오차는 로터의 치형 곡선보다 절삭이 더 진행되었음을 의미하고, 양의 가공오차는 절삭이 덜 진행되었음을 의미한다.

Fig. 13, 14는 수로터 권선각이 300° 인 A46의 수로터와 암로터의 가공오차로서 선행연구<sup>(10,11)</sup>의 결과와 유사한 경향을 갖지만, 최대 가공오차를 기준으로 약 20% 정도의 치수 정밀도 향상을 나타냈다. 동일한 커터설계 방법과 로터 가공 방법으로 가공오차를 감소시켰으며, 이는 앞서 열거한 가공 과정에서의 가공오차 원인을 제거하면 본 연구에서 개발된 가공 시뮬레이션 프로그램으로

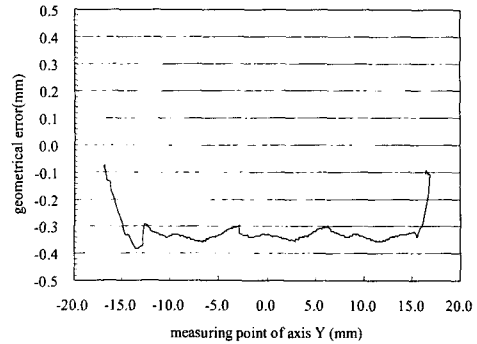


Fig. 13 Geometrical error of male rotor in A46

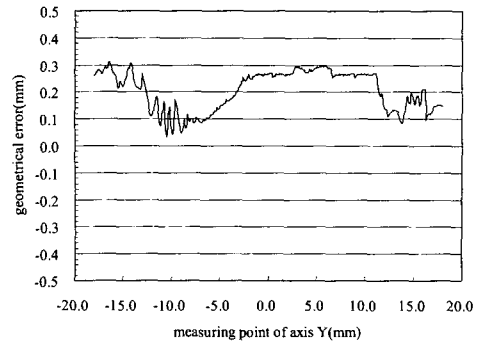


Fig. 14 Geometrical error of female rotor in A46

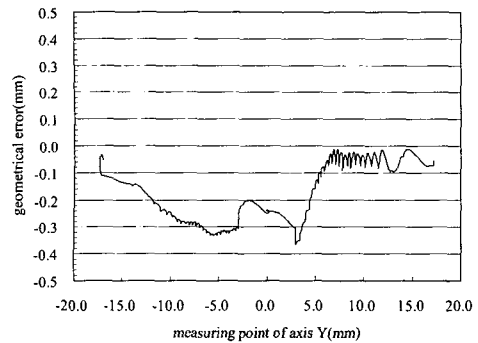


Fig. 15 Geometrical error of male rotor in B46

정밀한 로터를 얻을 수 있음을 보여주었다. 따라서 가공오차의 원인은 가공 과정에서의 원인이 더 큰 것으로 분석된다. 또한 가공오차의 원인들이 복합적으로 작용하므로 로터의 치형이 대칭형임에도 불구하고 가공오차의 분포가 원점을 기준으로 비대칭적으로 나타난다.

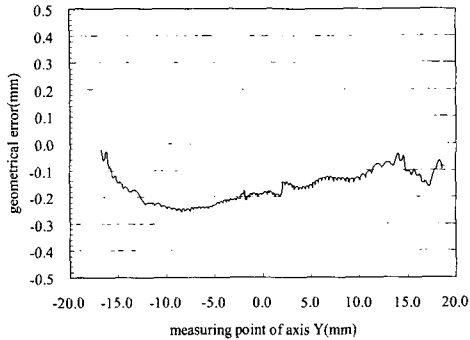


Fig. 16 Geometrical error of female rotor in B46

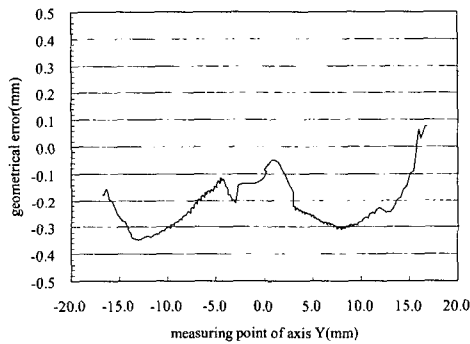


Fig. 17 Geometrical error of male rotor in C46

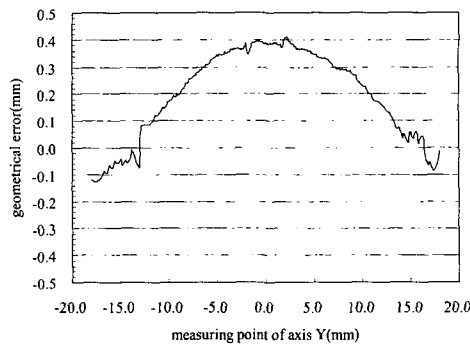


Fig. 18 Geometrical error of female rotor in C46

Fig. 15와 16은 수로터 권선각이 250° 인 B46, Fig. 17과 18은 200° 인 C46의 수로터와 암로터 가공오차를 나타낸 것이다. 일정한 유형은 존재하지 않으며 최대 가공오차는 0.4mm 이하의 값을 나타냈다. Table 3에서 최종적인 절삭깊이를 0.5

mm로 설정하여 스크류 로터를 가공하였으나, 여러 가지 가공오차의 원인으로 인해 0.4mm 이하의 다양한 가공오차가 발생하였다.

Fig. 13~18은 가공된 로터의 특정위치에서의 가공오차로서 스크류 로터 전체의 가공오차로 판단하기에는 무리가 있다. 그러나 최대 가공오차는 0.4mm로서 커터의 설계기능과 로터의 3차원 형상 생성 기능을 갖는 가공 시뮬레이션 프로그램의 타당성을 확인할 수 있었다.

## 6. 결론

스크류 압축기의 중요한 성능 인자인 수로터의 권선각 변화에 따른 커터설계 기능을 추가하여 커터의 자동설계와 로터의 3차원 형상을 자동 생성할 수 있는 가공 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 또한 개발된 프로그램으로 커터를 설계하고, 권선각 변화에 따라 3종류의 로터를 가공하여 이론적인 치형곡선과 형상정밀도를 비교함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 가공 시뮬레이션으로 생성된 3차원의 로터 형상과 로터 치형을 비교함으로써 개발된 프로그램의 타당성과 가공오차의 원인을 확인하였다.

(2) 권선각의 변화에 따라 가공된 로터의 형상 정밀도는 최대 0.4mm의 가공오차를 나타냈으며, 개발된 가공 시뮬레이션 프로그램은 스크류 로터의 가공용 커터 설계에 활용 가능하다.

(3) 가공 과정의 오차원인을 제거한 결과 대칭형 로터 A46의 형상 정밀도가 최대 가공오차를 기준으로 약 20% 향상되었다.

향후 스크류식 압축기의 성능향상과 비운활식 압축기의 개발을 위해서는 본 연구에서 분석된 가공 과정에서의 가공오차 원인을 제거하여 형상 정밀도를 향상시킬 수 있는 정밀 가공방법에 대한 연구가 요구된다.

## 참고문헌

- (1) Margolis, D. L., 1978, "Analytical Modeling of Helical Screw Turbines for Performance Prediction," *Journal of Engineering for Power*, Vol. 100, pp. 482~487.



- (2) Fujiwara, M., Kasuya, K. and Matsunaga, T., 1984, "Computer Modeling for Performance Analysis," *Proc. of the 1984 International Compressor Engineering Conference at Purdue*, pp. 536~543.
- (3) Fujiwara, M., Kasuya, K., Matsunaga, T. and Wadanabe, M., 1984, "스크리코 壓縮機の性能解析," *日本機械學會 論文集(B編)*, Vol. 50, No. 452, pp. 1027~1033.
- (4) Kaneko, T., 1985, "Study on Fundamental Performance of Helical Screw Expander," *JSME*, Vol. 28, No. 243, pp. 1970~1977.
- (5) Syoji Yoshimura, 1989, "스크리코 壓縮機用 齒形の性能と性能豫測 フログラム," *神戸製鋼技報*, Vol. 39, No. 4, pp. 105~108.
- (6) Shyh-Haur Su, Ching-Huan Tseng, 2000, "Synthesis and Optimization for Rotor Profiles in Twin Rotor Screw Compressors," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 122, pp. 543~552.
- (7) Kyusojin, A., Munekata, K., Tanaka, M. and Toyama, A., 1986, "A Finishing Method of Rotor in Screw Compressor by Fly Tool," *Bulletin of JSME*, Vol. 29, No. 253, pp. 2302~2305.
- (8) 최상훈, 1995, "대칭형 스크류 로터 치형의 설계와 특성값에 대한 연구," *건국대학교 학술지*, 제39호, pp. 119~127.
- (9) 최상훈, 김동현, 1996, "스크류 로터 치형의 성능 해석에 관한 연구," *한국정밀공학회지*, Vol. 13, No. 1, pp. 69~77.
- (10) 최상훈, 1997, "비대칭형 스크류 로터용 플라이 커터의 치형설계에 대한 연구," *대한기계학회 논문집(A)*, Vol. 21, No. 1, pp. 45~52.
- (11) 최상훈, 1997, "스크류 로터 가공용 커터의 치형설계에 관한 연구," *한국정밀공학회지*, Vol. 14, No. 10, pp. 109~118.
- (12) Adams, G. P. and Soedel, W., 1995, "Computation of Compression Loads in Twin Screw Compressors," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 117, pp. 512~519.