

## 총형공구를 이용한 압축기 로터 가공에 관한 연구

박상윤\*, 임표(전북대 기계공학과), 이희관(전북대 자동차부품·금형 기술혁신센터), 양균의(전북대 기계항공공학부)

### A Study on Machining of a Compressor Rotor using Formed Tools

S. Y. Park\*, P. Lim(Mechanical Eng. Dept. Chonbuk National University), H. K. Lee(CAM-TIC, Chonbuk National University), G. E. Yang(Division of Mechanical & Aerospace system Eng. Chonbuk National University)

#### ABSTRACT

Screw rotors, the key parts of screw compressors, are used in compressing air and refrigerant due to their high productivity, compact size, low noise and maintenance. In general, a screw compressor is composed of a pair of rotors of complex geometric shape. The manufacturing cost of the screw rotors is high because the complicated helical shapes of the screw rotors are manufactured usually by the dedicated machine tools. In this study, rotor profile is divided into three parts for the efficient machining. The formed tools are designed and shared for the respective split region. By cutting the screw rotor using the formed tools, this method is more efficient than the end mill in machining rotor. Experimental results show that 4-axis machining using formed tools needs less time and has the accuracy.

**Key Words** : Compressor Rotor (압축기 로터), Formed Tool (총형공구), Rotor Profile (로터치형), Male Rotor (수로터), Female Rotor (암로터), Multi-Axis Machining (다축가공)

#### 1. 서론

스크류 압축기는 대표적인 회전식 용적형 압축기로서 크게 1축형 스크류 압축기와 2축형 스크류 압축기로 분류할 수 있으며, 냉동, 냉장장치, 제빙장치, 고압축비를 요구하는 히트펌프, 염화수소를 비롯하여 LNG 등의 가스 압축 장치, 공기압축기 등에 이용되고 있다.

이 압축기의 핵심부품인 압축기 로터는 특수한 형상으로 원통형 밀폐용기 내 압, 수 로터가 맞물려 서로 반대방향으로 회전함으로써 로터와 하우징 사이에 반복적으로 생기는 공간의 용적이 로터의 회전에 의해서 유체를 흡입, 압축, 배출하게 한다. 따라서 이 로터의 형상은 압축기의 성능을 좌우하는 중요한 요소로서 최적의 성능을 발휘할 수 있는 정밀한 제작이 요구된다.

현재 국내에서 개발한 로터의 생산방법은 로터의 치형에 맞는 총형공구를 제작하여 호빙머신에 부착한 후 호브(hob)의 구동축에 경사각을 주어서

가공하는 방식을 채택하고 있다. 하지만 이 방식은 호브(hob)에 8-20 개 사이의 절인을 부착함으로써 절인 제작시 생기는 각각의 절인 오차가 크며, 가공을 위한 세팅시간이 긴 단점이 있다.

따라서 최적의 성능비를 얻을 수 있도록 하기 위해서는 로터 제작시에 발생하는 오차를 감소시키고, 가공 준비시간을 단축할 수 있는 방법과 가공 정밀도 향상 및 가공시간을 감소시켜 생산성을 향상시킬 수 있는 가공방식에 대한 연구가 절실한 실정이다.

스크류 압축기에 관련된 연구들을 살펴보면 스크류 로터의 치형 개발에 관한 연구와 성능해석에 대한 연구 등이 진행되고 있으며, 국내에서는 스크류 로터의 기하학적인 특성값을 비교 연구함으로써 스크류 로터의 치형을 치형함수의 기하학적인 특성 및 제한사항을 고려한 대칭형 치형과 비대칭형 치형에 대한 연구가 있다.<sup>(1)~(4)</sup>

또한 치형 가공에 대해서는 스크류 로터의 권선각(warp angle)과 리이드(lead), 피치원 반경을 설정

하여 설계한 축직각 단면의 좌표변환을 통하여 로터의 치면을 간단한 치면방정식으로 표현하고, 커터 치형과 로터 치면과의 교선군을 구하고 밀링머신을 이용하여 가공한 연구로, 커터에 의해 로터를 가공할 때 발생하는 절삭간섭을 피하기 위하여 커터의 피치원 반경을 변화시키면서 교선군의 형상을 확인함으로써, 커터의 피치원 반경을 찾아내었다.<sup>(5)-(6)</sup>

이에, 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 일환으로 본 논문에서는 비대칭형 로터의 새로운 가공 방법을 제시하고자 한다. 복잡한 비대칭형의 치형을 가공하기 위하여 형상을 분할하여 3 개의 총형 공구를 제작하였으며, 이에 따라 가공영역을 분할하여 각각의 총형공구에 의한 가공공정을 수행하고자 하였다. 다축가공기에 의하여 공구형상 특성에 맞는 가공이 이루어지도록 효율적인 가공경로를 생성하고자 하였으며, 형상정밀도를 결정하는 총형공구를 제작하여 로터 가공시간을 단축하였다.

## 2. 로터의 형상

본 연구에서 사용할 압축기 로터의 모델은 다음과 같다. 비대칭형 치형을 가진 로터로서 치형 프로파일을 단면의 법선방향으로 주어진 헬릭스선을 따라 회전시킨 형상으로 CATIA V5 를 이용하여 수로터(Male Rotor)와 암로터(Female Rotor)를 모델링하였다.

Table 1 The specifications of compressor rotor

rotor profile	lead[mm]		length [mm]	warp angle of male rotor[deg]	helix angle [deg]
	male	female			
anti-symmetric	204	200	62.4	300	68.681

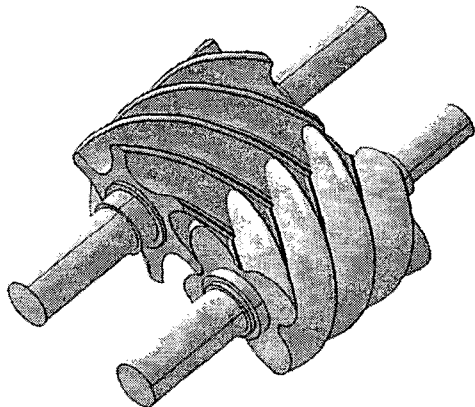


Fig. 1 Screw rotor

## 3. 총형공구

총형공구는 직선 또는 자유이동을 하면서 최종 형상을 생성할 수 있어 선반 및 밀링작업에 적용하기에 용이하다.

반면에 공구크기 및 형상의 제약이 있어 소형의 가공물, 절삭량이 적은 곳에 주로 이용되고 있으며, 엔드밀공구에서 볼 수 있는 커스(cusp)를 제거하여 표면조도를 좋게 할 수 있다.

### 3.1 공구의 설계와 제작

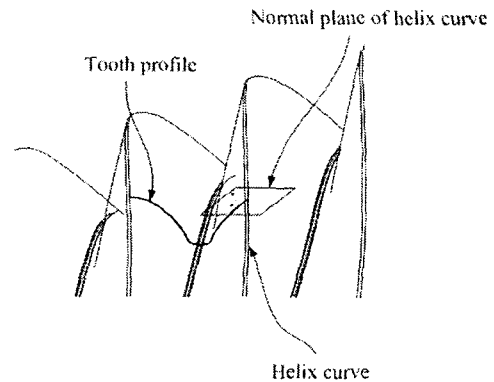


Fig. 2 Tooth profile of screw rotor

총형공구를 제작하기 위해서는 먼저 로터의 치형의 형상을 정확하게 알아야 한다. 수로터는 비대칭 프로파일이 일정한 헬릭스 경사각(helix angle)을 따라 중심축을 중심으로 회전하면서 생성된 모델로 단면의 프로파일 역시 대칭이 될 수 없다. 정확한 Tooth profile 은 헬릭스곡선에 법선방향의 평면을 생성하여 로터곡면과의 교차곡선을 생성시킴으로써 얻을 수 있다.

하지만 앞에서 생성한 프로파일(Tooth profile)은 총형공구가 1 회전 했을 경우에 최종형상이 나올 수 없기 때문에 언더컷(undercut)이 발생하지 않는 범위에서 적절히 가공영역을 분할하는 것이 필요하고, 각각의 분할된 영역을 1 회전하여 가공할 수 있는 총형공구를 제작하여 가공을 수행하게 되면 최종형상을 얻을 수 있다.

고속회전시 발생할 수 있는 회전 balancing 문제를 방지하기 위하여 공구는 형상이 좌우 점대칭형태로 설계하였다. 봉형태의 SM45C 원재료로 로터의 홈과 동일한 프로파일을 와이어 컷 방전가공을 수행하여 분할된 총형공구의 프로파일을 가공하고 방전기를 이용하여 절인을 생성한 후, 공구연삭기를 이용하여 여유각을 생성하였다.

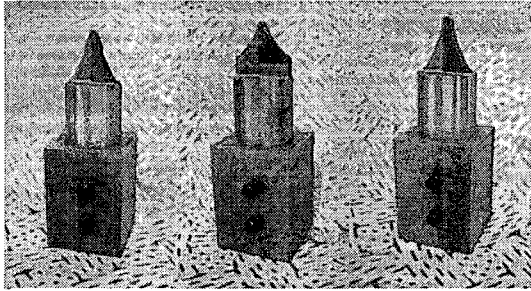


Fig. 3 Formed tools for screw rotor

### 3.2 총형공구와 가공영역

가공영역 분할은 생성된 Toolpath와 가공성을 고려하여 제작된 총형공구의 교환회수가 최소가 되도록 하는 것이 중요하다.

아래의 그림에서와 같이 생성된 교선에서 로터의 골을 기준선으로 하여 왼쪽의 치형 프로파일 오른쪽으로 대칭복사해보면 왼쪽 치형의 기울기가 오른쪽보다 완만하여 공구생성시에 오른쪽부분에 간섭(A-A')이 발생하게 된다. 따라서 왼쪽 부분은 2개로 가공영역을 분할하여 정의하고, 가공영역을 약간(공구길이 방향으로 0.5mm) 중첩시킴으로써 공구교환시 발생하는 단차를 제거하도록 하였으며, 치형 프로파일의 오른쪽 부분은 왼쪽부분에 간섭의 영향이 없어 하나의 형태로 가공영역을 완성하였다.

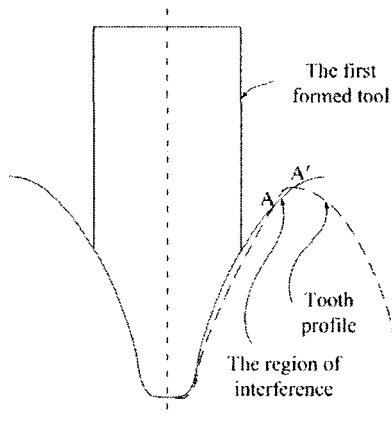


Fig. 4 The first formed tool

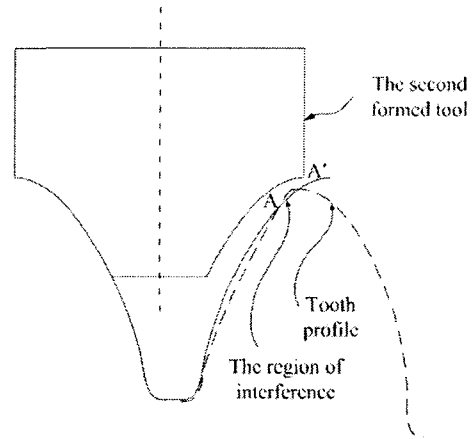


Fig. 5 The second formed tool

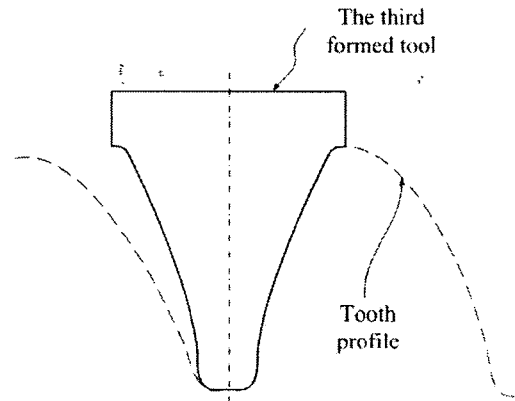


Fig. 6 The third formed tool

## 4. 로터가공

### 4.1 가공경로

가공경로를 생성하기 위하여 가공공구 자세와 공구에 일정한 절삭력이 가해질 수 있도록 절삭 깊이와 경로 간격 및 적절한 절삭량이 나올 수 있는 가공경로 생성에 대하여 고려하였다.

로터에 따라 4축가공이 불가능한 경우도 있으나 본 논문에서 사용된 로터는 4축가공이 가능한 형상이다. 따라서 공구는 로터의 축방향을 따라 직선운동하고 로터는 로터리 테이블에서 일정한 각속도로 회전함으로써 구현할 수 있다. 또한 공구가 항상 로터 축에 수직인 자세로 유지하기 위해서는 공구의 직선운동속도와 로터의 회전속도의 비율을 계산하여야 한다.

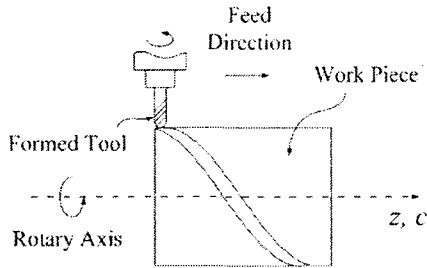


Fig. 7 Screw of 4-axis machining

황삭가공은 생산성 향상을 위하여 간섭을 일으키지 않는 최대 크기의 공구를 선정한다. 그 다음 공구별로 iso-parametric 방식으로 경로를 산출하여 가공을 수행한다.

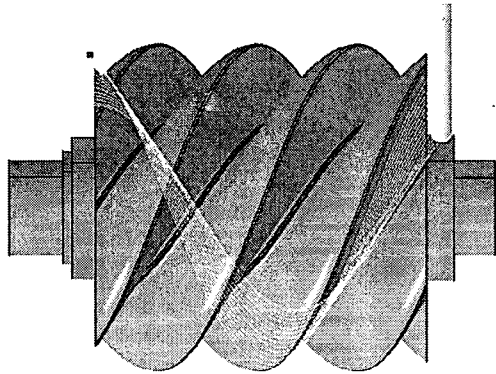


Fig. 8 Roughing toolpath of the rotor

황삭이 완료된 후 정삭가공은 제작된 총형공구 3 개를 이용하여 각각 한번씩만 가공한다. CL Point를 생성하고 헬릭스각을 따라 이동시켜서 생성하는 공구의 궤적을 따라 가공하는 방법으로 가공흔적을 남기지 않으며, 사상작업이 필요없는 커팅을 수행하게 된다.

#### 4.2 가공된 로터



Fig. 9 Finished screw rotor

Fig. 9 는 총형공구를 이용하여 가공완성된 스크류 로터이다. 다축밀링머신을 이용하여 로터를 가공하는 방법을 연구하여 일반 엔드밀을 사용할 경우에 비해 60%정도 가공시간이 절감되었으며, 공구의 축방향 이송속도와 로터축의 각속도를 계산하였기 때문에 가공이 단순화되었다.

#### 5. 결론

스크류 압축기에 사용되는 비대칭형 로터를 가공하기 위하여 가공영역을 분할하고 각각의 분할된 영역에 적합한 총형공구를 와이어 컷과 방전가공을 통해서 제작하고 4 축 가공기를 이용하여 생산하는 방식이 가능하였다.

#### 참고문헌

1. Alf Lysholm, Screw Rotor Machine? United States Patent Office, Ser. No. 547, pp. 383, 1967
2. N Stosic, Ian K Smith, A Kovacevic, Optimization of Screw Compressor Design? Centre for Positive Displacement Compressor Technology City University, London, EC1V 0HB, U.K.
3. M. Fujiwara, Y. Osada, Performance Analysis of an Oil-injected Screw Compressor and its Application, Int. J. Refrig. Vol. 18, No. 4, pp. 220-227, 1995
4. 최상훈, 김동현, 스크류 로터 치형의 성능해석에 관한 연구? 한국정밀공학회지 제 13 권 제 1 호, 1996
5. 최상훈, 비대칭형 스크류 로터용 플라이커터의 치형설계에 대한 연구? 대한기계학회논문집(A) 제 21 권 제 1 호, pp. 45~52, 1997
6. 최상훈, 스크류 로터 가공용 커터의 치형설계에 관한 연구? 한국정밀공학회지 제 14 권 제 10 호, 1997