

이송속도 제어를 통한 스크롤 형상의 가공기술
(Machining Technology of Scroll shape by Feed control method)

심상우*(부산대 원), 강명창, 김정석(부산대 기계공학부), 정현출(LG전자 Scroll P/M팀)
Shang-woo Sim(Graduated School, Pusan Nat'l Univ.)*, Myeong-chang Kang,
Jeong-suk Kim(Pusan Nat'l Univ.), Hyun-chul Jeong(LG electronics.)

Abstract

This paper suggests the establishment of high-accuracy and high-efficiency machining method of scroll shape workpiece by using the feed control method. The cutting paths for machining the inside and outside surfaces of the scroll-shape workpiece are calculated, and the calculation method of the cutting chip areas based on the coordinate of the base circle is shown. A feed control method is proposed for a constant cutting area and cutting force. By machining test of scroll shape workpiece, The machined accuracy of wrap, tool wear, and surface roughness are evaluated. By this method, Reduction of the machining time and large increase of the efficiency can be expected.

Key Word : Scroll shape(스크롤 형상), Involute curve(인벌류트 곡선), Cutting area(절삭면적), Feed control(이송제어), Tool life(공구수명), High accuracy and high efficiency machining(고정도·고능률 가공)

1. 서 론

최근 고능률과 저소음을 최대의 특징으로 하는 스크롤 압축기는 그 실용화가 상당히 진전되고 있다^[1]. 이 압축기는 Creux에 의해 그 원리가 발명되었으며, 최근 공기누설을 방지하는 틱실이 개발되었고, 수치제어공작기계에 의해 곡면의 가공이 용이하게 되었기 때문에 자동차, 에어컨, 가

정용공조기 및 자동판매기등에 사용될 수 있게 되었다.

스크롤 압축기의 심장부는 두 개의 스크롤이라고 불리어지는 선회형상의 벽으로 되어 있다. 스크롤 부품은 가공성이 양호하고 저렴한 재료이면서 진동을 흡수하는 효과가 있기 때문에 회주철재료(GC250)를 사용하며, 압축가스의 누출을 막기 위해서 고정도 가공이 요구되므로 선삭가공을 거쳐 연삭가공으로 완성하나 스크롤은 그 형상의 특이성으로 인해 연삭가공이 어려우므로 고정도 엔드밀에 의해 가공되어진다^[2].

그러나 스크롤 형상은 인벌류트 곡선으로 표현되는 소용돌이 형상이기 때문에 통상의 가공법인 일정이송속도에 의한 가공에서는 중심부와 외주부 및 내면과 외면의 가공시 가공위치에 따라 절삭면적이 변화하게 되고 일정이송속도의 가공으로는 절삭면적의 변화에 따른 절삭력의 차이에서 발생하는 불균일 변형에 의하여 스크롤 형상을 고정도·고능률로 가공하는 것이 곤란하다^[3].

따라서, 본 연구는 3축 CNC공작기계를 사용하여^[4], 선회형상 가공물인 스크롤 형상부품의 고정도·고능률 가공기술 확립을 목적으로 한다^[5]. 즉, 스크롤형상의 정의를 나타내고 가공위치에 따른 절삭면적의 변화를 기하학적으로 해석한다. 다음 해석결과를 기초로, 내면과 외면의 가공위치에 대한 절삭면적의 변화를 일정하게 하는 가공법 즉, 이송속도제어 기법을 제안하고 절삭실험을 통해 형상정밀도, 표면거칠기, 공구마멸을 측정하여 통상의 가공법과 비교, 검토한다. 이러한 연구를 통해 스크롤 형상부품의 가공정도 향상 및 가공시간의 단축이 기대된다.

2. 스크롤 형상과 절삭면적의 계산

스크롤 형상은 인벌류트 계수에 의해 생각되어 지고, 인벌류트 곡선에 의해 임의의 각도 α 로 회전되어진 곡선으로 정의된다. Fig. 1은 스크롤 형상과 인벌류트 곡선의 관계를 표시하고 있다. 실선으로 표시한 인벌류트 곡선상의 점 T_i 에서 기초원(Base circle)에 접선을 내리고 그 접점을 Q_i 라고 하면, 파선으로 표시한 스크롤 형상은 인벌류트 곡선을 α 각도로 회전시키고 접선 T_iQ_i 와 만나는 점 P_i 를 잇는 것에 의해 얻을 수 있다. a 를 기초원 반경, X축에서 반시계방향으로 점 Q_i 까지의 각도를 ϕ_i 라고 하면, 점 P_i 의 좌표(X_i, Y_i)는 다음과 같다.

$$X_i = a(\cos \phi_i + (\phi_i - \alpha)\sin \phi_i)$$

$$Y_i = a(\sin \phi_i - (\phi_i - \alpha)\cos \phi_i)$$

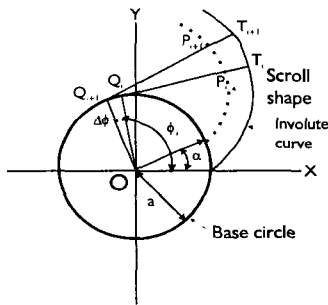


Fig. 1 Definition of Involute curve

Fig. 2는 스크롤 내면의 가공시의 절삭상태 투영도이다. 원호 I, J, 및 I, K는 어떤 절삭날과 다음의 절삭날의 패적의 일부이고, 각각의 공구중심은 점 $C_{1,1}$ 과 $C_{1,2}$ 이다. 공구중심이 점 $C_{1,1}$ 에서 $C_{1,2}$ 로 이동하는 사이에 비틀림날에 의해 Fig. 2의 사선과 같이 절삭면적이 나타난다.

절삭면적은 세 점 I, J, K에 의해 심프슨(Simpson) 공식^[6]을 이용하여 수치적분법으로 구하였다. 내면에서 볼 때 세 점의 좌표는 중심이 각각 $C_{1,1}, C_{1,2}$ 이고 직경이 공구의 직경인 두 개의 원(공구의 패적)과 중심이 Q_i 이고 반경이 P_iQ_i -Y, 인 원(전가공면)의 교점으로 생각할 수 있다. 여기서 전가공면은 스크롤 형상을 복수의 원호로서

근사했으므로 원으로 가정하였다.

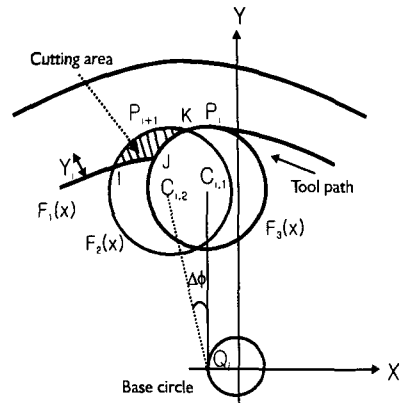


Fig. 2 Projection drawing of cutting state

절삭면적은 내면과 외면의 곡률반경의 차이에 의해 외면 가공시 보다 내면 가공시에 크고 내면에서는 중심부가 외주부보다 절삭면적이 크며, 외면에서는 외주부가 중심부보다 절삭면적이 크다. 외면의 절삭면적이 내면의 절삭면적에 비해 내면의 가공 조건을 외면에 적용하면, 외면에서는 빠른 이송속도가 가능하며, 가공효율이 높아질 것이다. 본 논문에서는 날당이송량을 0.01667mm/tooth에서 0.06667mm/tooth까지 0.00139의 간격으로 변화시키면서 37가지의 날당이송량에 대한 절삭면적을 계산하였다. 이상의 결과를 바탕으로 가공시 절삭면적이 일정하도록 이송속도를 제어하였으며, Fig. 3은 0.0015mm²으로 절삭면적을 일정하도록 했을 때의 이송속도의 변화이다.

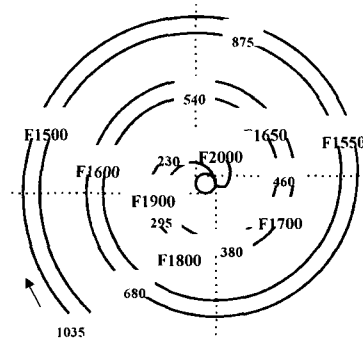


Fig. 3 Control of Feed

3. 실험장치 및 방법

본 실험에서는 고속가공기(MAKINO V-55)에서 플랫폼 초경 엔드밀로 실험하였다. Fig. 4는 실험장치도이다. 가공에 이용했던 공작물 형태는 인벌류트 곡선의 모양인 "스크롤" 형상을 외주부 외벽에서 중심부로, 그 후 내벽을 가공하면서 외주부로 되돌아가도록 지시하였다.

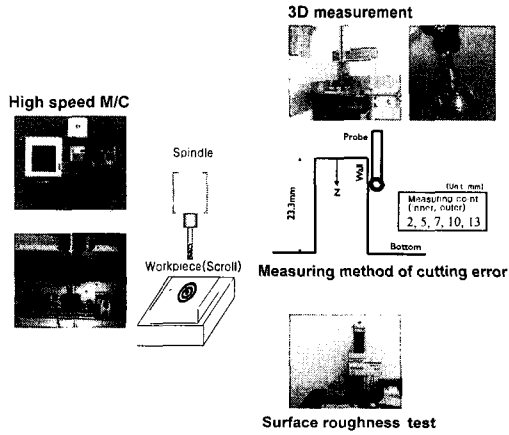


Fig. 4 Experimental set-up

이송속도제어를 이용한 스크롤 형상의 가공은 외면의 경우 앞에서 언급한 절삭면적을 이용하여 절삭면적이 일정하도록 이송속도를 제어하면서 가공하였으며, 내면의 경우 가공시간을 단축하기 위해 기존조건과 동일하게 가공하였다. 가공 중 칩의 영향을 검토하기 위해 축심냉각이 가능한 Center Through Coolant(축심냉각방식)공구를 도입하였으며, 그 결과를 기존공구와 비교하였다. 사용된 공구의 사양과 실험조건은 아래의 Table 1과 Table 2와 같으며 조건 1~5는 절삭면적이 0.0015mm²에서 0.0019mm²까지 일정하도록 피드를 설정한 경우이다.

Table 1 Tool specification

Edge (EA)	Diameter (mm)	Helix angle(°)	Material
6	10.2	30	WC

Table 2 Cutting condition

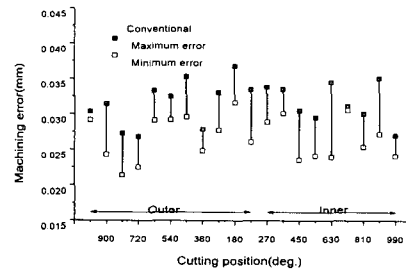
	Spindle rev. (rpm)	Cutting depth (mm)	Feed (mm/min)
Conventional	6500	0.04	1200
Condition 1	6500	0.04	1500-2000
Condition 2	6500	0.04	1600-2100
Condition 3	6500	0.04	1700-2200
Condition 4	6500	0.04	1800-2300
Condition 5	6500	0.04	1900-2400

가공오차의 측정은 프로브의 직경이 $\phi 2\text{mm}$ 인 3차원 형상 측정기(Mitutoyo beyond 615)를 사용하여 공작물상에 기준면과 좌표축을 설정한 후 X-Y 단면을 위의 Fig. 4과 같이 축(Z)방향에 대하여 5단면에 대해서 측정하였다.

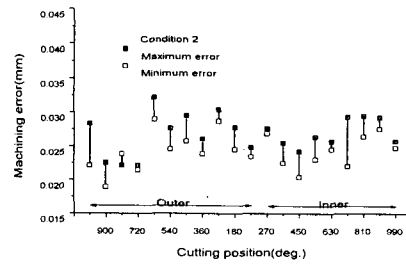
4. 실험결과 및 고찰

4.1 측면의 형상오차

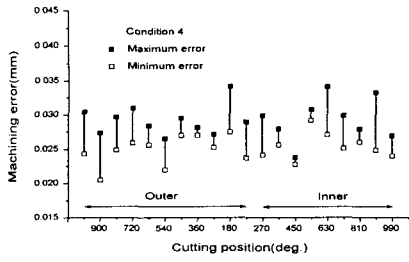
Fig. 5는 가공품의 각 위치에서의 측정결과를 가공진행 방향에 따라 90도 간격으로 가공 오차의 최대값과 최소값을 나타내고 있다.



(a) Conventional



(b) Condition 2



(c) Condition 4

Fig. 5 Machining error by each condition

Table 3은 각각의 가공조건에 대한 측정값들의 표준편차이다. Table 3에서 볼 때 이송속도 제어에 의한 가공법이 가공오차의 표준편차의 값을 크게 감소시켰으며 가공시간 역시 12~29%정도 단축할 수 있어 이송속도 제어에 의한 가공법이 가공정밀도 향상 및 생산성 향상에 매우 유효하다는 것을 알 수 있다.

Table 3 Comparison of machining error

	Standard Deviation (μm)	Cutting Time (Sec)
Conventional	0.65	41
Condition 1	0.52	36
Condition 2	0.48	34
Condition 3	0.57	33
Condition 4	0.64	31
Condition 5	0.67	29

4.2 저면조도의 변화와 공구마멸

Fig. 6은 기존조건과 조건 1, 3에서 기존공구를 사용하여 절삭실험을 한 후 측정된 표면거칠기이며 Fig. 7은 조건 3의 공구마멸을 나타낸 것이다. 표면거칠기는 바닥면에서 절삭방향에 직각으로 측정하였으며, 공구마멸은 밑날 형상이다.

Fig. 6에서 볼 때, 이송속도 제어에 의한 가공에서는 기존조건과 비교해서 표면거칠기가 급격한 증가와 감소를 반복하면서 가공초기에서부터 기준치를 넘는 현상이 나타난다. 이는 스크롤형상의 문제로 인해 절삭유의 원활한 공급이 이루어지지 않고, 이러한 원인으로 칩배출 불량에

의한 칩의 재절삭현상에 의해 심한 치핑현상이 발생하며, 표면거칠기도 치핑의 영향으로 급격한 변화를 보인다. Fig. 7에서 이러한 공구의 치핑현상을 볼 수 있다.

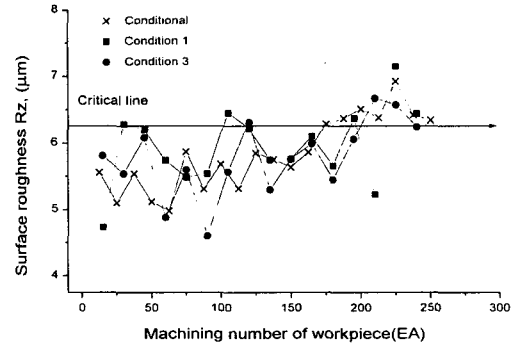


Fig. 6 Variation of surface roughness according to conventional tool



120EA(0.054mm)

240EA(0.84mm)

Fig. 7 Photograph of base edge tool wear of conventional tool

이런 치핑현상을 해결하기 위해 칩배출을 원활히 할 수 있는 축심냉각방식의 공구를 설계하였으며, 기존공구와 비교해서 공구강성을 동일하게 유지하기 위해 축심의 직경 변화에 따른 공구강성을 해석하였다. 해석에는 Pro/ENGINEER를 사용하여, 축심의 직경을 1~4 ϕ 까지 변화시키면서 강성의 변화를 해석하였다. 그 결과는 Table 4와 같다.

Table 4 Variation of tool deflection

Diameter (mm)	0	1	2	3	4
Deflection (μm)	6.15	6.15	6.15	6.15	6.94

Table 4에서 볼 때 축심의 직경이 3φ까지는 기존공구와 비교해서 공구의 강성에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 이 결과를 바탕으로 축심냉각공구를 제작하여 절삭실험을 행하였다. Fig. 8과 9는 표면거칠기와 공구마멸을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 축심냉각공구에서는 치핑현상이 발생하지 않았으며 표면거칠기 역시 양호한 경향을 나타내었다.

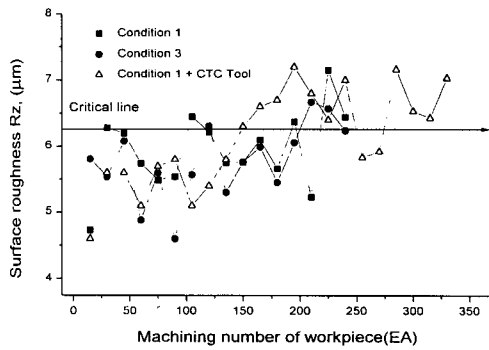


Fig. 8 Variation of surface roughness according to conventional tool and CTC tool

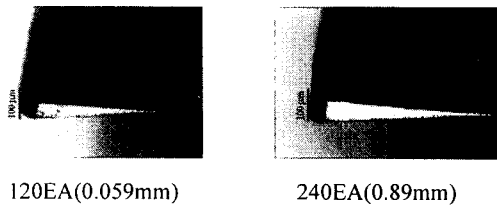


Fig. 9 Photograph of base edge tool wear of CTC tool

5. 결 론

스크롤 가공에 있어 기하학적 모델링을 통해 절삭면적을 일정하게 하여 이송 속도를 제어하는 방법을 제안하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 인벌류트 곡선의 기하학적 형상으로부터 내면과 외면의 공구궤적을 계산하고, 이 좌표에 의하여 절삭면적을 계산하였다.
- (2) 절삭면적은 외면과 내면의 곡률반경의 차이에 의해 외면이 내면보다 약 1/3정도로 절삭면적이 적으며, 외주부로 갈수록 내면에서는 감소

하고 외면에서는 증가한다.

- (3) 위의 결과를 바탕으로 절삭면적이 가공구간에서 일정하도록 외면은 8구간으로 나누어 이송 속도를 제어하였으며, 외면은 생산능률의 향상을 위해서 일정이송속도를 적용하였다.
- (4) 이 가공법에 의해 가공정밀도의 향상과 가공시간의 단축효과(19~29%)를 얻었다.
- (5) 칩배출 불량과 이송속도의 증가에 의해 공구 밑날에 치핑현상이 발생하여 표면거칠기가 악화되었으며, 이를 해결하기 위해 축심냉각 방식 공구를 설계하였으며 그 결과, 양호한 표면거칠기를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) 森下説生, "스크롤壓縮機の幾下理論", タボ 機械, Vol.13, 4, 1985
- (2) Hiroyasu Iwabe 外 3人, "エンドミルによるコナ部加工に関する研究", JSPE, Vol.55, 1989
- (3) S. J. You, K. F. Ehmann, "Synthesis and Generation of Surface Milled by Ball Nose End Mills under Tertiary Cutter Motion", ASME Journal of Engineering for industry, Vol. 113, 1991
- (4) Tosnimichi Moriwaki, "High-speed Machining", CIRP, Vol.41, 1992
- (5) H. schut, "High-Speed milling of Dies and Moulds Cutting Conditions and Technology", CIRP, Vol.44, 1995
- (6) 김창효, "수치해석과 전산프로그래밍", 1990