# Worm 절삭 가공 시 Side Milling Cutter 와 Whirling Tool 의 절삭력에 관한 연구

권태웅*(부산대 지능기계공학과), 김창현(부산대 지능기계공학과), 강동배(부산대 지능기계공학과), 이민환(대우정밀), 안중환(부산대 기계공학부)

# A Study on the Cutting Force of Side Milling Cutter and Whirling Tool in Worm Screw Machining

T.W.Gwon* (Mech. Eng. Dept. PNU), C.H.Kim(Mech. Eng. Dept. PNU), D.B.Kang(Mech. Eng. Dept. PNU), M.H.Lee(Daewoo Precision, Ind.), J.H.Ahn(Mech. Eng. Dept. PNU)

**ABSTRACT**

Due to increase of demands on safety and convenience for automotive vehicle, the use of DC motor, such as power window, seat adjusting, pedal adjusting, sunroof, electric shift motor and so on, is increasing rapidly in the whole world. Worm gear is an important part to transmit torque to another gear in gear mechanism of automotive DC motor. But with current forming process, it has some problems in manufacturing and the quality. Also, the characteristics of automotive parts such as price and mass-production limit the quality improvement. Recently several methods are used in order to reduce a worm screw machining time and to maintain precision. In this paper, we introduce whirling tool machining and side milling cutter machining as effective manufacturing method of worm screw and study on the cutting force of side milling cutter and whirling tool in worm screw machining.

**Key Words** : Side Milling Cutter, Whirling Tool, Worm Screw, Current Sensor, Cutting Force

## 1. 서론

국내를 비롯한 전세계적으로 자동차의 고급화가 진행됨에 따라 Power window, seat adjusting, pedal adjusting, sunroof, mirror adjusting, electric shift motor 등과 같은 각종 편의 및 안전장치 구동을 위하여 자동차용 기어드 모터 및 응용제품의 사용이 급증하고 있는 추세에 있고 그에 따른 모터 및 구성부품에 대한 요구수준도 점차 높아지고 있는 현실에 있다. 그러나 자동차용 부품의 특징인 대량생산과 원가절감이라는 현실적인 제약에 의해 원하는 정도 달성 및 제품의 성능향상과 경쟁력확보에 큰 어려움을 겪고 있는 것이 업계의 현실이다.

현재 국내 업계에서 자동차용 부품과 같이 대량생산 목적으로 사용하고 있는 Worm 과 같은 나사형태의 부품은 주로 전조가공에 의해서 이루어지고 있다. 전조가공은 소재를 전조다이스를 이용하여 소성가공하는 가공법으로서 가공시간이 짧고 비교적 저렴한 가격으로 가공할 수 있기 때문에 대량생산에 적합한 가공법에 속한다. 그러나, 전조가공에 의한 후변형과 다이스의 마모에 의한 형상정도 저하등으로 인해 정밀도를 요하는 Worm gear 나 정밀 Leadscrew 와 같은 부품에 대해서는 그 품질에 상당한 제약을 받고 있고 또한 상대적으로 가공품에 비하여 그 정밀도가 떨어지는 것이 현실이다. 본 연구에서는 전조가공의 문제점을 보완하기 위한 절삭 가공법으로 Side milling cutter 를 이용한 Worm gear 절삭 가공에 대하여 설명하고자 한다.

절삭력은 가공물의 질, 공작기계의 제어 성능, 공구파손 등 가공성능을 나타내는 가장 중요한 지표로 볼 수 있다. 이러한 절삭력을 측정하는 센서로 공구동력계가 많이 활용되고 있다. 그러나 공구동력계는 고가이며, 최대 부하 및 스트로크의 제한, 배선 및 설치 상이 제약으로 인하여 현장에서의 활

용에 많은 제한을 가지고 있다. 이러한 공구동력계의 단점에 비해 모터의 구동전류를 이용하여 절삭력을 추정하는 방법은 비용이 저가이며, 설치의 제약이 없고, 계속적인 모터 및 드라이브 기술의 발전으로 인해 공구 동력계를 대체할 센서로 그 관심이 집중되고 있다.

본 연구에서는 실제 Worm screw 가공용 선반에 공구동력계의 장착이 불가능하여 평판가공 실험을 실시하였다. 모터의 전류신호를 전류센서를 통하여 검출하였으며, 서보 모터의 드라이브 내부에서 제어되는 전류신호를 동시에 검출하여 공구동력계의 데이터와 비교하였다. Worm screw 가공시의 절삭력을 서보 모터 드라이브의 전류신호를 측정하여 Whirling tool 과 Side milling cutter 의 절삭력을 간접 비교 하였다.

## 2. 실험장치 및 구성

### 2.1 평판가공 실험장치

평판실험의 개략도를 Fig. 1 에 나타내었다. 실험에 사용된 모터는 Mitsubishi 사의 RFS-153 AC 서보 모터이다. 모터에 공급되는 U 상 및 V 상의 전류를 측정하기 위하여 모터의 전원 공급선에 LEM 사의 LA55-P 전류센서를 장착하였다. 측정된 전류신호의 잡음을 제거하기 위하여 1kHz 의 차단주파수를 가진 아날로그 필터를 사용하였다. 서보 모터 드라이브는 Mitsubishi 사의 MR-J2S-A 모델을 사용하였다. 공작물의 밑부분에 Kistler 사의 9272A 공구동력계를 장착하여 절삭력을 측정하였다.

### 2.2 Worm screw 가공 실험장치

Worm screw 가공실험을 위한 장치도를 Fig. 2 에 나타내었다. Whirling tool 의 실험은 Worm screw 가공용으로 개조된 ㈜한화의 SL20H+ CNC 자동선반에서 행하였으며, 실험에 사용된 모터는 Mitsubishi 사

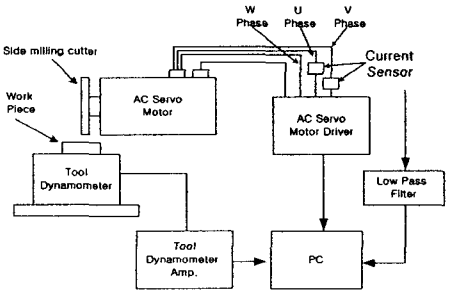
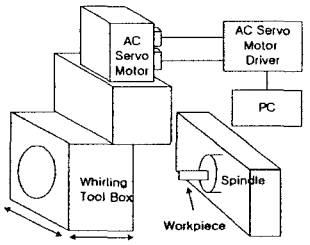
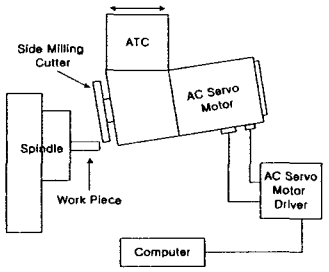



Fig. 1 Schematic diagram of plane machining

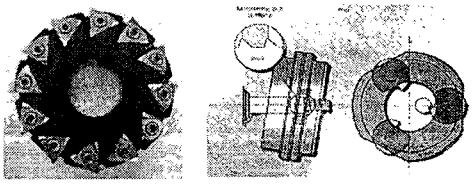



(a) Whirling tool setup




(b) Side milling cutter setup

Fig. 2 Schematic diagram of worm screw machining



(a) Side milling cutter (b) Whirling tool

Fig. 3 Photograph of cutting tools

의 KFS-73 이며, 서보 드라이브는 평판에 사용된 것과 동일한 모델의 드라이브가 사용되었다. Side milling cutter 의 실험은 평판실험에서 사용한 것과 동일한 서보 모터와 모터 드라이브를 NC 자동선반의 ATC(Automatic Tool Change)에 장착하여 실험을 행하였다.

Fig. 3 은 본 연구에서 개발중인 Side milling cutter 와 Whirling tool 을 이용한 가공방법을 나타낸다. 전자는 여러 날을 가진 툴홀더가 고속으로 회전하면서 주어진 경로를 이동하면서 나사를 가공하는 밀링커터와 유사한 방식으로 가공속도가 빠른 장점을 가지지만 정밀도 측면에서는 후자의 방법보다 떨어지는 것으로 알려져 있다. Whirling tool 을 이용한 방법은 편심되어 있는 툴홀더의 내경에 공구가 배치되어 있고 툴홀더를 고속회전 시키면서 내경의 공구를 이용하여 나사를 가공하는 방식이다. 이 방식은 주로 전용기에 이용되는 방식으로 나사의 정밀도를 향상에는 큰 이점이 있지만 상대적으로 툴홀더의 크기가 커지고 내경의 공구 개수가 제한되

기 때문에 가공 속도 면에서는 Side milling cutter 보다는 떨어지는 단점이 있다.

### 2.3 실험방법

평판가공 실험은 모터가 장착된 Z 축을 고정하고 공작물이 부착된 Y 축을 이송하여 측정하였다. 가공조건은 Table 1 에 나타내었다. Worm screw 가공 실험은 툴의 회전속도를 기준으로 하여 Whirling tool 과 Side milling cutter 를 동일한 조건으로 실험을 하였다. Side milling cutter 는 고속 가공을 추가로 행하였다. 가공조건은 Table 2 에 나타내었다.

Table 1 Experimental condition of plane machining

| | |
|---|---|
| Side milling cutter RPM | 780, 1000, 1300, 1500 |
| Feed rate (mm/min) | 254, 380 |

Table 2 Experimental condition of worm screw

| | |
|---|---|
| Workpiece RPM | 43 |
| Whirling tool RPM | 780, 1000, 1300, 1500 |
| Side milling cutter RPM | 780, 1000, 1300, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000 |

## 3. 실험결과

### 3.1 평판실험 결과

절삭공정 중 발생하는 절삭력 또는 절삭토크의 변화에 대한 모터 전류의 추종 성능을 알아보기 위하여 공구 동력계, 전류센서, 서보 모터 드라이브의 전류 신호를 비교하였다. Fig. 4 는 공구 동력계에서 검출한 Y 축과 Z 축 절삭력의 RMS 값에 대한 합력 Fc, 전류센서로 검출한 U 상 전압의 RMS 값, 서보 모터 드라이브의 Torque 값을 나타낸다. 공구동력계는 1V 당 100N 의 스케일을 가지고, 서보 모터 드라이브는 1V 당 1.5Nm 의 Torque 값을 가진다. Fig. 5 는 Fig. 4 의 신호를 구간 확대하여 나타낸 그림이다. 전류센서의 신호가 공구동력계의 신호와 유사한 형태를 보임을 관찰 할 수 있다. 서보 모터 드라이브의 Torque 신호는 내부적으로 RMS 값을 취한 것으로 생각 된다.

Fig. 6 은 각각의 회전수 별로 공구 동력계의 Y 축 평균 전압값을 힘으로 환산한 값과 서보 모터 드라이브의 평균 Torque 값을 힘으로 환산한 값을 비교한 것이다. 공구동력계의 데이터와 서보 모터의 데이터가 절대 값에서는 차이를 가지지만 유사한 패턴을 가지며 서보 모터의 값이 공구 동력계의 값을 추종함을 알 수 있다.

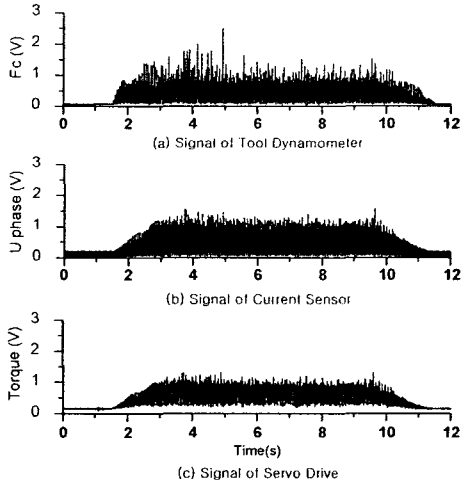



Fig. 4 Comparison of cutting signals for various sensing methods

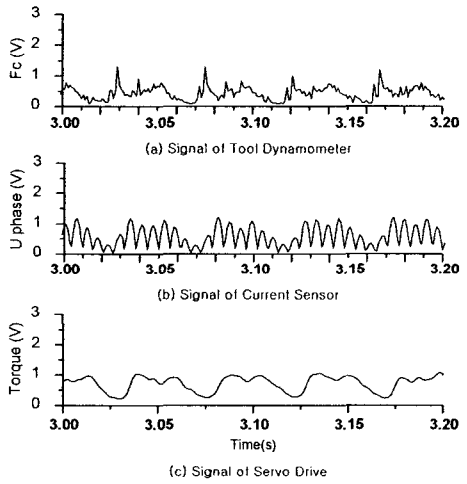



Fig. 5 Enlargement of cutting signals for various sensing methods

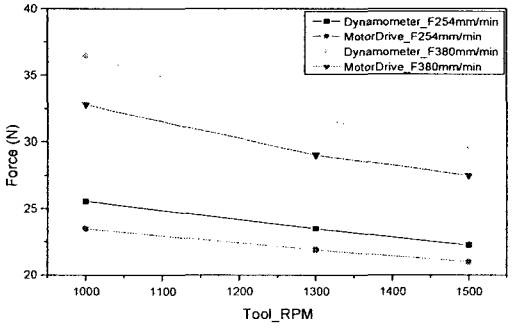



Fig. 6 Comparison of cutting force for dynamometer and motor driver

### 3.2 Worm Screw 가공실험 결과

서보 모터 드라이브의 Torque 신호를 힘으로 환산하여 Tool 의 회전속도에 따른 실험 결과를 Fig. 7 에 나타내었다. Whirling tool 을 사용한 실험에서는 회전수에 따른 절삭력의 변화가 급격하게 나타난다. 이것은 실험에 사용된 자동선반에서 Whirling tool 이 모터와 직접 구동되는 것이 아니라 기어에 의해 약 2.5 대 1 로 감속이 되어서 구동되기 때문에 Tool 의 회전수 변화는 적지만 실제 구동되는 모터의 회전수는 크게 변하기 때문에 절삭력의 변화가 크게 나타난다는 것을 알 수 있다. Tool 의 회전수만을 가지고 비교한다면 Whirling tool 을 이용한 Worm screw 가공이 좋은 결과를 가져오는 것을 알 수 있으나, Side milling cutter 는 감속 없이 좀 더 고속으로 가공이 가능하므로 동일한 모터 입력 회전수를 기준으로 할 경우 Side milling cutter 의 경우가 절삭력 측면에서 더 좋은 결과를 보여준다. Side milling cutter 용 모터의 정격 회전수가 3000RPM 임을 감안할 때 Side milling cutter 를 이용한 실제 Worm 가공이 3000RPM 에서 4000RPM 사이에서 이루어 진다고 가정하면 Whirling tool 이 Side milling cutter 에 비하여 약 1.5 배의 절삭력이 부하됨 알 수 있다.

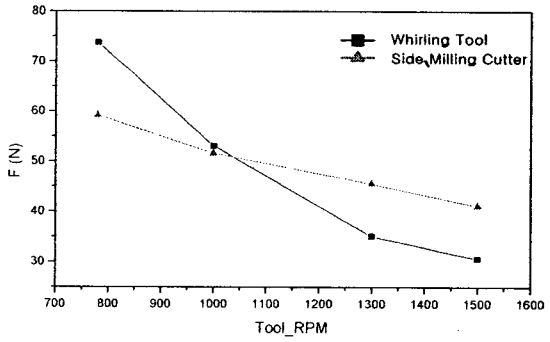



Fig. 7 Change in cutting force according to tool speed

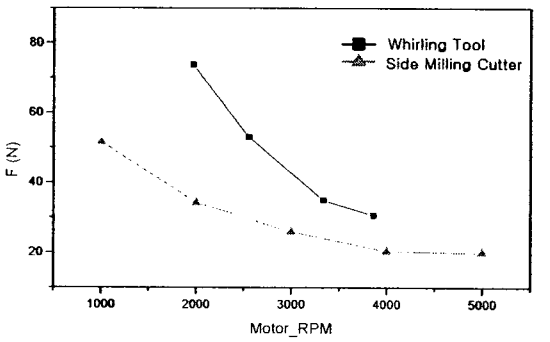



Fig. 8 Estimated cutting force according to motor input speed

## 4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 서보 모터 드라이브의 Torque 신호가 공구동력계에 비하여 정확도는 다소 떨어지지만 일반적인 전류센서와 비슷한 패턴을 나타내며, 절삭력을 추정 하기에는 신뢰성을 가질 수 있음을 보였다.

2. 툴 회전속도 만을 기준으로 했을 때 1000~1500[RPM]의 저속영역에서는 Whirling tool 이 Side milling cutter 보다 효율적임을 알 수 있었다.

3. 동일한 모터 회전수에서 Whirling tool 과 Side milling cutter 의 절삭력을 비교하여 보았을 때 Side milling cutter 가 Whirling tool 에 비하여 좀더 효율적임을 알 수 있었다.

4. Whirling tool 은 감속에 따른 공구회전수의 제한으로 회전속도를 올리기 어렵고 기구적인 한계로 인하여 바이트 수도 제한 받기 때문에 동일한 가공장비에서의 고속가공 및 공구수명 측면에서는 Side milling cutter 를 이용한 방법이 더 유리할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 산업기술재단 지역혁신인력양성사업의 연구과제의 일부로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. 김승철, 정성종, 밀링공정에서 이송모터와 주축모터의 전류를 이용한 절삭력 추정? 대한기계학회논문집 A 권, 제 22 권, 제 11 호, pp. 2029-2038, 1998
2. 이민환, 강동배, 안중환, 김화영, 조승환, 자동차용 소형모터의 소음 진동 개선을 위한 WORM 가공기술 개발? 한국정밀공학회 2004 년도 춘계학술대회논문집, pp. 777-780.
3. 정영훈, 윤승현, 조동우, 일반적 상황에서 2 차원 절삭력 추정을 위한 이송모터 전류의 거동분석? 한국정밀공학회지, 제 19 권, 제 4 호, pp. 93-100, 2002.
4. 정영훈, 김성진, 조동우, "절삭력 간접측정을 위한 정지모터 전류의 특성 연구? 한국정밀공학회지, 제 19 권, 제 9 호, pp. 66-73, 2002.