

## VCM을 이용한 비원형 형상 가공의 궤적 오차 시뮬레이션

황진동\*, 곽용길(부산대 대학원 지능기계공학과),  
김선호(동의대 메카트로닉스공학과), 안중환(부산대 기계공학부)

### Simulation of tracking errors for non-circular cutting using voice coil motor

J. D. Hwang(Mech. Eng. Dept., PNU), Y. K. Kwak(Mech. Eng. Dept., PNU),  
S. H. Kim(Mechatronics Eng. Dept., Dong-eui Univ.), J. H. Ahan(Mech. Eng. Dept., PNU)

#### ABSTRACT

A Simulation model is developed to minimize the path tracking errors when the non-circular cutting is done by a VCM(voice coil motor) driven tool. The relationship between PWM(Pulse Width Modulation) duty ratio and velocity of voice coil motor is theoretically derived from combining the circuit equation for the coils and the motion equation for the magnetic rod of the voice coil motor. The path tracking errors are showed differently according to the rotational speed, the number of segments and the control period in digital control. Given a required accuracy in the non-circular cutting, the optimal values for those parameters are determined based on the developed simulation model.

**Key Words** : 보이스 코일 모터(Voice Coil Motor), 비원형가공(Non-circular Cutting), 궤적오차(Tracking Error)

#### 1. 서론

자동차의 피스톤 헤드나 캠축과 같은 비원형 형상의 가공은 주로 모방 가공에 의해 이루어져 왔으며, 이러한 방법은 고비용 및 가공 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 유압 서보, 서보-볼스크류, 서보 모터, 보이스 코일 모터 등 다양한 직선왕복운동 기구가 적용되는 연구가 진행되고 있다. 하지만 유압 서보 방식은 장치가 대형이고 저응답성을 가지며, 서보-볼스크류 방식은 저응답성이며 볼스크류 부분의 마모 및 운동 전달부의 백래쉬가 발생하는 단점이 있다. 서보 모터를 사용한 연구의 경우, Tomizuka는 서보 모터를 이용하여 디지털 제어 알고리즘의 구현과 설계를 하였으며, 외란에 대한 시스템의 강인성을 높이기 위해 피드백 제어를 동적 지연을 보상하기 위해 피드포워드 제어를 이용하여 시스템을 구현하였지만 가공 속도가 93.7rpm으로 매우 낮았다.<sup>1</sup> 보이스 코일을 이용한 방식의 경우 Hwang은 학습제어 및 강인제어를 이용하여 추종 오차 및 표면 거칠기를 향상 시키면서 750rpm 속도로 비원형 형상을 가공하였다.<sup>2,3</sup>

이러한 모방 가공 및 서보 모터 방식은 절삭 속도가 낮기 때문에 생산성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 형상 정밀도를 충족시키면서 가공 속도를 최

대한 높이는 것이 요구된다.

따라서, 본 논문에서는 가공 속도를 높이기 위해 응답성이 빠른 보이스 코일 모터를 이용하였다. 또한 정밀 위치 제어가 가능한 디지털 제어기를 설계 및 시뮬레이션 하고 그 성능을 검증하기 위해 제어점수에 따른 궤적 오차를 평가하였다. 이를 통해 요구되는 형상정밀도에 맞는 최적의 가공속도 및 제어점수를 구하고자 한다.

#### 2. 시스템 시뮬레이션

Fig. 1는 보이스 코일 모터 시스템의 시뮬레이션을 위한 블록 선도이다. VCM의 디지털 제어는 제어부, 증폭부, 전기부, 기계부로 구분하여 모델링이 이루어진다. 위치제어 시 디지털 제어부는 이진 입력-출력에 대한 오차와 다음 단계의 구동입력을 PID 보상기를 통해 속도로 변환하여 구동드라이버로 전달한다. 일반적으로 구동신호는 펄스폭 변조방식(PWM)을 이용하지만 펄스폭의 변화에 대한 구동계의 변화는 고려하지 않았다. 본 논문에서는 이러한 모델링 오차를 최소화시켜 시스템의 응답을 정확히 예측하기 위해 PWM 듀티비에 따른 플랜트의 응답 속도 모델을 시간역에서 해석하였다. 요구되는 속도

와 듀티비에 대한 함수 관계를 도출하여 제어부에 적용하였으며 코일에서 발생하는 역기전력과 실제 디지털제어에서 사용되는 포화조건을 모델에 포함시켰다.

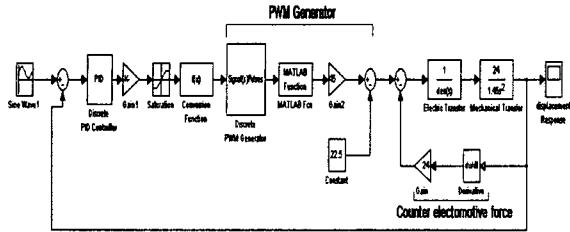


Fig. 1 Block diagram of VCM system

### 3. 시뮬레이션 결과

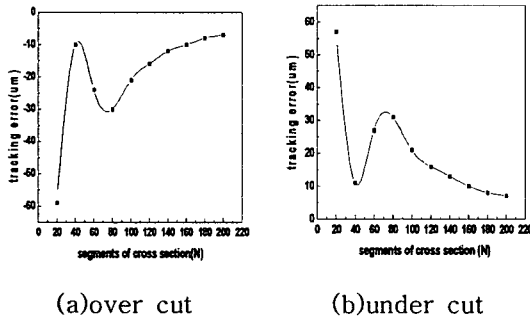


Fig. 2 Maximum tracking error of VCM according to segments of cross section of workpiece

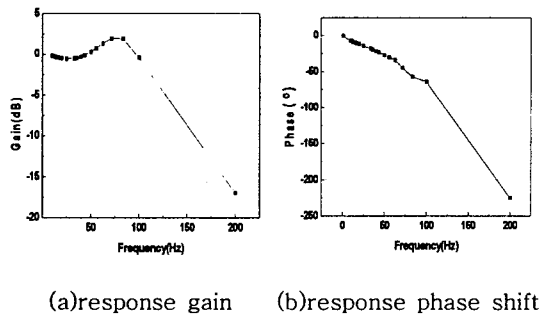


Fig. 3 Bode diagram of system

Fig. 2는 사인파를 지령으로 진폭  $500\mu\text{m}$ , 제어주기를  $1\text{msec}$ 로 설정했을 때, 제어점수에 따른 궤적 오차 그래프이다. 과절삭과 미절삭 모두 제어 점수가 80점 이상일 때부터 궤적 오차가 점점 작아지는 것을 알 수가 있다. 이러한 현상은 제어점수에 따른 궤적 오차의 특성이 시스템의 주파수역 응답 계인 특

성과 같기 때문이다.

제어점수 40점일 때 궤적 오차가 크게 줄어드는 이유를 분석하기 위해 입력 주파수에 따른 응답 계인 과 위상을 나타내는 보데 선도가 Fig. 3이다. 저주파 영역에서 고주파 영역으로 갈수록 응답은 일정한 비율로 감소하는 경향을 보이는 것이 일반적이지만 Fig. 3에서  $30\text{Hz} \sim 100\text{Hz}$ 에서 응답이 증가하는 것은 시스템의 공진주파수 대역에서 응답이 증폭되는 현상으로 인한 것이다. 즉, 40점 제어 시 입력주파수가 시스템의 1차 공진주파수와 비슷한 대역에서 형성되기 때문이다.

### 4. 결론

본 연구에서는 보이스 코일 모터의 정밀 위치제어를 위해 모터의 구동 특성과 듀티비와 진폭에 따른 변위 출력을 예측하기 위한 수학적 모델링을 구하였고, 제어점수를 조정하여 속도를 높이고, 그 속도에 맞는 궤적 오차를 예측하여 고속-고정밀의 비원형 가공을 위한 조건을 구하고자 시뮬레이션을 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 모델링의 시뮬레이션을 통해 제어 점수에 따른 경로 궤적 오차를 예측할 수 있다.
- (2) 공진주파수 대역을 제외하면, 제어점수가 많아질수록 궤적 오차는 줄어드는 것을 알 수 있다.
- (3) 개발된 모델링에 의해 요구되는 가공정도를 만족하는 최대 속도는  $1500\text{rpm}$ (제어점수 40점)이다.

### 참고문헌

1. Tomizuka, M., Chen, M. S., Renn, S. and Tsao, T. C., "Tool positioning for noncircular cutting with lathe, " Transactions of ASME, Vol. 109, pp.176-179, 1987.
2. Hwang, C. L., Wei, M. H. and Jieng, W. J., "Non circular cutting with a lathe using a three stage intelligent controller, "Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 13, No. 3, pp. 181-191, 1997.
3. Hwang, C. L., Shi, Y. D., "Noncircular cutting on a lathe using tool position and differential motor current," International Journal of Machine Tool & Manufacture, Vol. 39, pp.209-227, 1999.