

고속 탭 가공(tapping)을 위한 자동 이득(gain) 조정기

Auto fitting of motor gains for high speed tapping

°최 진욱*, 유 완식**

*LG 산전연구소 CNC 연구실(Tel: 0343-50-7588; Fax:0343-50-7599; E-mail: choi@cnc1.lgis.co.kr)

**LG 산전연구소 CNC 연구실(Tel: 0343-50-7709; Fax:0343-50-7599)

Abstracts There has been many activity to increase accuracy in machining center by reducing tracking error. The tracking error can cause bad effect in high speed rigid tapping in which synchronization servo motor with spindle is relatively important. To reduce tracking error, feed forward control has been used, but no method is provided knowing motor dynamics, force variation, etc. In this paper, we observe that, despite of tracking error of relevant axis, high speed tapping could be possible by reducing contour error of axis to be synchronized. We present the method to increase accuracy in high speed tapping to minimize contour error by automatically fitting gains of servo and spindle.

Keywords high speed tapping, contour error, tuning gain

1. 서론

공작기계의 가공 과정에서 나사구멍을 만드는 가공을 탭가공(tapping)이라 하고, 가공정도를 높이기 위하여 툴 홀더(tool holder)에 일반 콜렛(collet)을 사용하고, 가공에 사용되는 서보모타와 주축을 보간(interpolation)하는 탭가공을 리지드 테핑(rigid tapping)이라 한다[1][2].

생산성 향상을 위하여 리지드 테핑은 고속에서 수행하는 것이 일반적이다. 탭가공에 사용되는 스피들(spindle)과 서보(servo)는 추종 능력등의 동작특성이 상이하고 이러한 특성은 고속 가공에서 심화된다[3]. 따라서 주축과 서보모타의 동기가 필요한 리지드 테핑에서는 두 모타의 특성차이를 극복하기 위하여 이득(gain)을 조정해야 정상적인 나사구멍을 만들 수 있다.

하지만 두 모타의 특성이 비슷하게 이득을 맞추는 문제를 분석적으로 해결하는 것은 매우 어려운 문제이다. 이것은 실제 어계에 모델링할 수 없는 요소가 존재하여 정확한 모델링이 불가능하기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 두 모타의 특성을 같게하는 이득을 분석적으로 찾는 방법보다는, 탭 가공을 평가할 수 있는 궤적

오차 절대합(sum of absolute error of contour)을 정의 하고, 이 값을 최소화 하는 학습을 통하여 최적 이득 값을 설정하는 자동 이득조정 장치를 제시한다.

2. 본론

그림 1.은 본 논문에서 적용한 공작기계 제어기 시스템의 개략적인 모델 이다. 여기서는 일반적인 비례제어기와 속도제어기를 포함하고 있다[4]. 즉 가공위치 궤적 발생기에서는 가공할 형상에 대한 모타와 스피들의 궤적을 발생시킨다. 이 궤적과 실제의 위치와의 차이는 적절한 비례위치 이득(proportional position gain) 이 곱하여져 스피들 드라이버와 서보의 속도 제어 루프에 전달 된다.

속도제어 루프는 위치제어 루프에서의 속도 지령값과 현재 속도의 차이에 속도 비례이득(velocity proportional gain)과 속도누적이득(velocity integral gain)을 곱하여 토크지령(torque command)을 amp(torque 제어계만 가진 amp)에 전달된다. 결과적으로 스피들드라이버는 속도제어 입력을 받게되고 서보 amp 는 torque

제어 입력을 받게 된다.

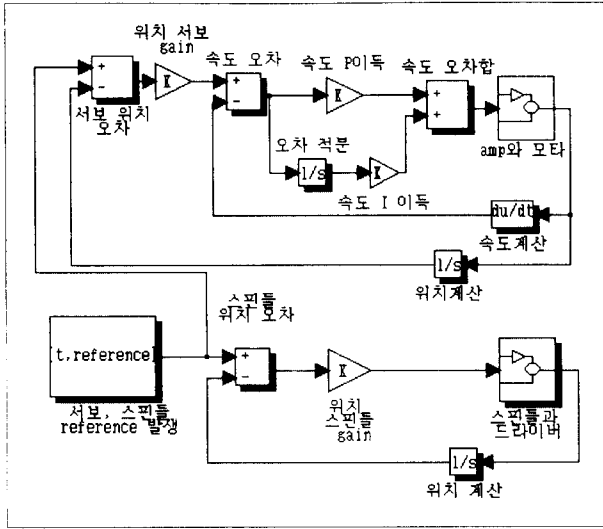


그림 1. 적용 CNC 제어기의 간략화 모델
Fig 1. Reduced model of adopted CNC controller

일반적으로 가공에 필요한 서보모터와 스피들의 이득조정은 기계의 특성에 맞추어 최대 출력을 낼 수 있게 설정한다. 하지만 이렇게 설정된 이득은 특성이 틀린 서보모터와 스피들의 추종력의 차이를 심화시켜 가공에 필요한 동기를 방해한다.

리지드 테핑가공에서는 주축과 서보모터의 속도비는 가공하는 나사구멍의 피치(pitch)가 되므로 틀려진 동기는 위치오차로 누적되 나사구멍을 파괴한다.

그림 2.는 틀려진 위치오차가 어떻게 나사산을 파괴하는가를 보여주는 그림이다.

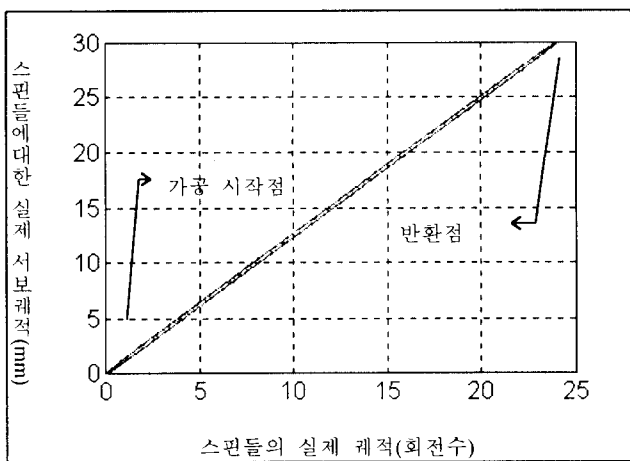


그림 2. 스피들의 실제 회전에 대한 서보의 궤적
Fig2. Real servo profile vs real spindle profile

그림 2. 에서는 테핑 가공중에 스피들이 진행하는 동안에 실제 서보가 움직인 궤적을 그린 것이다. 테핑가공은 쉽게 이해

하려면 드릴링가공을 생각하면된다. 즉, 공작물에 삽입을 시작하여 주어진 반환점까지 진행한 후 다시 나오는 동작이다. 그림 2. 에서 대각선 상의 왼쪽이 시작 점이고 오른쪽 끝점이 반환점이다. 여기서 자세히 보면 왼쪽 끝에서 오른쪽 끝까지 진행되는 위쪽 대각선과 오른쪽 점으로부터 왼쪽점으로 진행되는 아래쪽 대각선이 있는 것을 볼 수 있다.

이 두 대각선은 실제제적이되고 참조제적은 스피들의 실제 회전수에 태핑나사의 피치를 곱한 값이 참조제적이 된다. 본 실험에서는 M8*1.25mm의 텡 가공을 수행하였기 때문에 참조제적은 그림에는 나와 있지 않으나, 시작점과 반환 점을 있는 기울기 1.25의 단일 대각선이 된다.

이상적인 테핑가공은 참조제적을 스피들의 회전에 따라 서보가 완벽하게 추종하면 된다. 하지만 일반적으로 서보의 추종력과 스피들의 추종력이 틀리기 때문에 대각선을 정확히 따라가지 못하고 위 아래로 벌어진 그림 2. 같은 추종을 하게 된다.

이러한 참조제적과 실제제적과의 차이는 서보와 스피들의 동기를 방해하여 테핑 도중에 나사산을 파괴한다. 여기서 이론적으로 완벽한 추종기를 만들어 참조제적을 완전하게 추종할 수도 있겠으나, 앞서 말한 바와 같이 특성이 다른 두 제어계의 완벽한 추종은 어려운일이므로 두 모터의 이득을 조정하여 실제제적값과 참조제적의 차이값을 최소화하는 방법으로 테핑가공을 성공적으로 하고자 하는 것이 본 논문의 취지이다. 여기서 추종오차를 더욱 자세히 볼 수 있는 것이 그림 3. 이다.

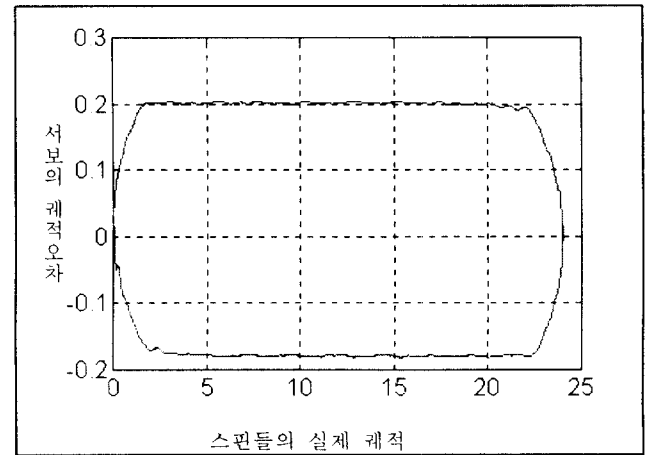


그림 3. 실제 스피들의 회전에 따른 서보의 위치 오차
Fig2. Servo error profile vs real spindle profile

그림 3. 은 실제 스피들이 회전함에 따른 서보의 참조제적 오차를 그린 것이다. 참조제적 오차는 스피들의 실제 회전수에 대하여 서보가 정해진 피치를 만들기 위하여 진행해야하는 참조제적에서 실제로 서보가 움직인 실제 궤적을 뺀 값이다.

이 그림에서도 위 곡선은 테핑시작점에서 반환점까지 진행

한 것이고 아래 곡선은 반환점에서 시작점까지의 궤적 오차를 나타내는 곡선이다.

여기서 알 수 있는 것은 가공 초기(주축이 약 2 회전)와 가공 말기(주축이 20 회전이상)에 위치 오차가 많이 발생함을 알 수 있다. 이 오차는 탭공구의 특성상 나사피치를 파괴하게 되므로 이양을 최소화하는것이 우리의 목적이다.

이 양은 기계의 특성에 맞게 최적화된 이득에서는 서보의 추종력이 스프indle보다 좋기 때문에 동기를 파괴하게 된다. 이러한 점에 착안하여 궤적위치를 최소화 하는 방향으로 서보의 위치 이득을 작게 조정하는 것이 우리의 알고리즘의 주요 내용이다.

이 값을 최소화하는 방법은 여러가지가 있을 수 있고 여기서는 단순 절대값을 취한다. Real time 보간을 보장하기 위해서는 몇 sample point 만을 합산하는 방법등이 쓰일 수 있다.

우리의 문제는 다음과 같이 정의되고,

Minimize 궤적 오차 합 (Sum of Absolute Error of Contour)

$$Cs = \text{테핑 완료 종점}$$

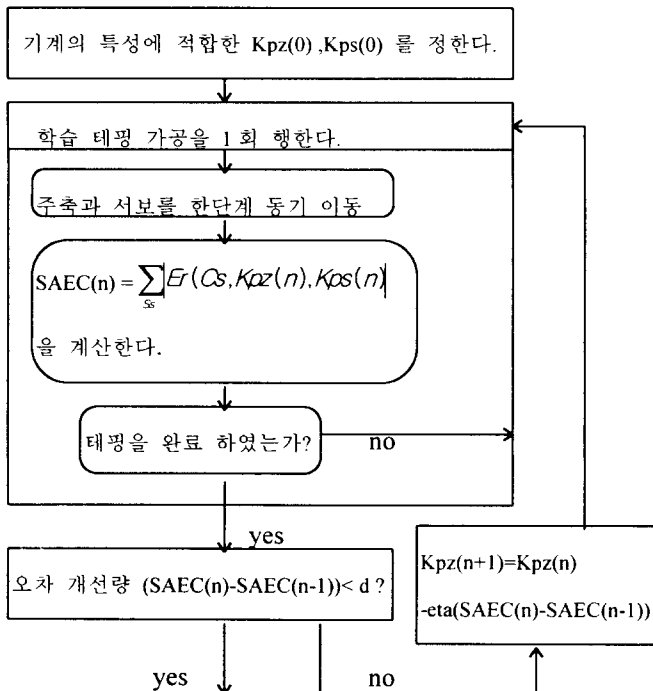
$$= \sum_{Cs = \text{스핀들 초기 위치}} |Rz(Cs) - Cz(Cs)|$$

s.t. 궤적오차 $Er(Ss)$ = 참조궤적 $Rz(Cs)$ - 실제궤적 $Cz(Cs)$.

$Rz(Cs)$ =스핀들이 실제 Cs 이동했을때 주어진 피치를 만족하는 서보궤적

$Cz(Cs)$ =스핀들이 실제 Cs 이동했을때 실제 서보가 이동한 궤적

이 값을 줄이는 방향으로 서보의 이득을 조정하는 학습 iteration 을 수행한다(그림 4).



현재의 이득을 테핑의 최적 이득 Kpz^*, Kps^* 으로 설정

그림 4. 학습 탭가공 알고리즘

Fig 4. Algorithm of learnig tapping

우선 기계의 특성에 맞는 초기서보이득 $Kpz(0)$,와 초기 스프indle 이득 $Kps(0)$ 을 구한다. 다음에는 서보의 이득을 조정하기 위한 학습테핑 가공을 1 회 행한다.

여기에는 주축과 스프indle을 한 샘플링 시간만큼씩 이동시켜 궤적오차합 SAEC 을 구하는 과정이 포함된다. n 번째의 학습 과정에서 계산된 $SAEC(n)$ 은 전단계의 $SAEC(n-1)$ 과 비교하여 개선량이 d 보다 크면 n+1 계의 서보이득은 $Kpz(n+1)=Kpz(n) - \eta(SAEC(n)-SAEC(n-1))$ 과 같다.

이러한 iteration 은 개선량이 d 보다 작아질 때까지 계속되며 개선량이 d 보다 작아질 때의 이득은 테핑의 최적 이득 Kpz^*, Kps^* 으로 설정된다 그림 5.

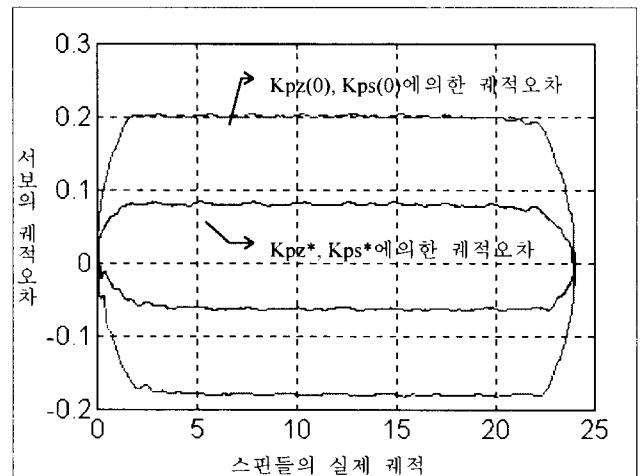


그림 5. 학습전 궤적오차 곡선과 학습후 궤적오차 곡선

Fig5. Error profile of before and after learned

여기서 볼 수 있는 것은 궤적오차를 완전히 없앨 수는 없지만 상당량 줄일 수 있는 것을 입증할 수 있으며 이양은 탭 게이지(class II)의 공차를 허용하므로 성공적이라 볼 수 있다.

4. 결론

주축은 공구가 회전하는 고속가공을 전담하기 위하여 탄생하였다. 따라서 일반적인 가공에서 주축은 개회로(open loop)가 공 하게 된다.

하기와 같이 테핑같은 직공에서, 각 축 서보와 주축을 연결하기 위하여 이 기계에서 채택 된다. 스핀들은 포지션 코디-
position 코디의 일관성이 좋고 관성이 크기 때문에 서보보다
고 특성이 되고 있다.

따라서 주축을 서보 시스템과 같은 제어와 이동을 사용하던
되기가 편리하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는
Feed Forward 등의 주축 알고리즘을 적용할 수 있으나, 제어계의
모델링이 쉽지 않고 일반적으로 사용할 수 있는 유일한(unique)
해결 수해가가 쉽지 않다.

하지만 본 논문에서는 축 별로의 주축오차가 있더라도 동기가
가 필요한 축들간의 궤적오차를 줄임으로써 고속 테핑이 가능
함을 착안하여, 스핀들과 서보의 궤적이 생성하는 궤적공간상
에서의 궤적오차를 정의하고, 이것의 절대값을 최소화하도록
서보축의 이동을 조정하여 테핑가공시의 정도를 향상시키는 방
법을 제공한다. 또한 테핑가공을 수행함으로써 자동적으로 최
적 이동을 얻을 수 있는 자동 학습 기능을 가지고 있다.

본 연구결과를 복합선반에 적용한 결과 스핀들 속도
3000rpm, 서보속도 3750mm/min 절경재 M8 1.25mm 피치의 나사
구멍 가공을 한결과 class II의 나사구멍 생성에 성공하였다.

참고 문헌

- [1]FANUC Series 15-MA/MF/150-MA OPERATOR'S MANUAL .
FANUC LTD. pp. 175-177. 1988.
- [2] YASNAC MX3 리지드탭 기능 취급 설명서. YASKWA.
1982.4.9.
- [3] AC SERVO DRIVE M.F.G.S.D 취급 설명서
- [4] 상공자원부, "CNC 컨트롤러 기술개발에 관한 연구", 선도기
술 개발사업(G7 과제) I 차년도 중간 보고서, pp67-68. 1994. 10.