

# Rigid 탭핑에서의 Z축과 주축간 동기오차의 거동

이돈진\*, 강지웅, 김용규(부산대원), 김선호(KIMM), 김 화영, 안중환(부산대)

Action of synchronous error between Z axis and spindle axis on rigid tapping

D. J. Lee, J. W. Kang, Y. K. Kim(Dept. of Mechanical & Intelligent Sys. Eng, PNU),  
S. H. Kim(KIMM), H. Y. Kim, Jung-Hwan Ahn(Pusan National University)

## ABSTRACT

This paper describes action of synchronous error between z axis and spindle axis on rigid tapping. Because rigid tapping cuts the threads synchronizing the movement of z axis to spindle rotation, synchronous error between z axis and spindle is very important. Increase of synchronous error degrades the accuracy of thread and crushes the tap in worst case. So we developed the realtime measurement system of synchronous error in order to know the action of synchronous error on rigid tapping. In result, we have known that synchronous error was increased according to rise of spindle speed and z axis speed. And because the cutting torque(M3-30Ncm~M10-300Ncm) on rigid tapping are less than maximum motor torque(3500Ncm), it specially doesn't affect the synchronous error. The most important parameter which has affected the increase of synchronous error was acceleration/deceleration time. On worst case, spindle motor was tripped because of the excess of synchronous error. Because the acceleration/deceleration time occupies the most of the total cutting time, in order to move on the high speed rigid tapping, the acceleration/deceleration time of spindle must be remarkably reduced.

**Key Words** : Rigid Tapping(리지드 탭핑), Synchronous Control(동기제어), Synchronous Error(동기오차), 주축(Spindle Speed), 감속시간(Deceleration Time)

## 1. 서론

암나사를 가공하는 방법은 선삭에 의한 방법과 탭에 의한 나사가공으로 크게 나눌 수 있다. 탭을 이용하는 경우로는 전가공된 드릴의 지름이 작을 경우나 혹은 대량으로 탭을 생산해야 될 필요성이 있는 경우, 공작물의 형상이 선삭에서 가공하기가 힘들 경우 등에 많이 사용된다.<sup>[1]</sup> 탭에 의한 가공의 경우, rigid 탭핑과 floating tap holder를 사용하는 탭핑으로 나뉜다. floating tap holder를 사용하는 탭핑은 tap holder가 유연성을 가지고 있어서 주축의 회전량에 대해서 Z축이 나사의 정해진 피치만큼 진행되지 못할 경우 탭의 파손을 방지하기 위하여 약간의 여유를 가지고 자유로이 움직일 수 있도록 되어 있다. 반면 rigid 탭핑은 tap holder의 움직임에 여유가 없이 완전히 고정되어 있기 때문에 주축과 Z축이 동기를 맞추어서 나사의 피치만큼 정확하게 움직이지 않

면 나사의 정도를 떨어뜨리거나 나사가 한꺼번에 물리면서 생기는 과도한 절삭력에 의해서 탭의 파손을 초래하게 된다.<sup>[2]</sup>

또한, 탭은 주축이 일정량을 회전한후 정지한 상태에서 다시 반대방향으로 왔던 길을 동기를 맞추어 정확히 돌아나오지 않으면 나사의 각 산에 전부 절삭토크가 걸리기 때문에 탭을 부러뜨리기 쉽게 된다. 탭핑작업은 대부분의 절삭공정중에서 가장 나중에 이루어지는 작업이기 때문에 탭의 파손이 일어나거나 나사에 문제가 생기면 제품을 버리게 된다. 그래서, 본 연구에서는 rigid 탭핑시에 발생하는 주축과 Z축의 동기오차를 실시간으로 측정하고 이를 분석하였다.<sup>[3][4]</sup>

## 2. rigid 탭핑을 위한 동기제어

rigid 탭핑에서는 주축의 1회전에 대해서 Z축이 탭

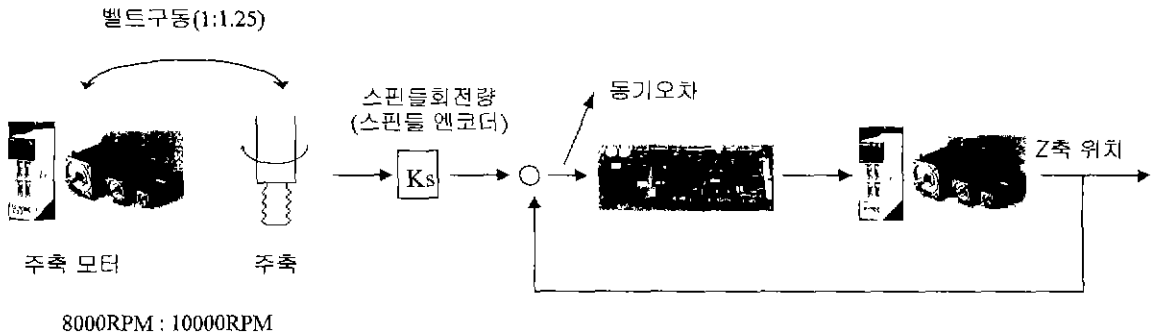


Fig. 1 Concept of synchronous control for rigid tapping

의 펄스만큼 정확히 동기를 이루면서 움직이지 않으면 과도한 절삭력으로 인해 탭을 부러뜨리게 된다. 따라서 rigid 탭핑에서는 동기오차의 제어가 가장 중요한 성능지표가 된다. Fig 1은 실험에 사용된 탭핑 센터에 대한 동기제어의 개념도이다. 그림에서 주축 모터는 1:1.25의 가속비로 벨트를 통하여 주축과 연결되어 있으며 NC제어기에서는 주축모터에 연결된 엔코더를 통하여 속도를 제어하고 주축에 연결된 엔코더를 통하여 스핀들의 위치를 제어하며 이 위치를 Z축의 지령값으로 주어 Z축을 이송시킴으로써 탭핑을 하게된다. 이 지령값에서 Z축의 현재 위치를 뺀 양을 동기오차로 정의하고, 이를 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$E_s = \theta_s \times k_s - Z_p \quad (1)$$

여기서  $E_s$ 는 동기오차 이고,  $\theta_s$ 는 주축의 회전량,  $k_s$ 는 주축회전과 Z축 이송비를 맞추는 비례계수이며,  $Z_p$ 는 Z축의 현재 위치이다.

### 3. 동기오차의 측정시스템 구성

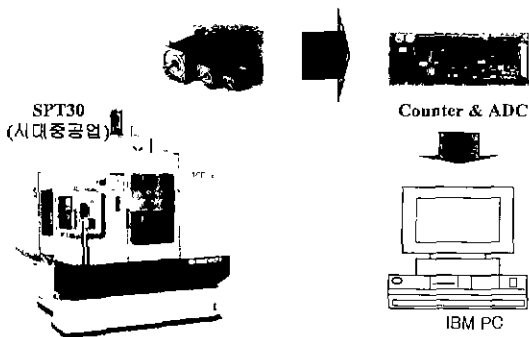


Fig. 2 Measurement system of synchronous error

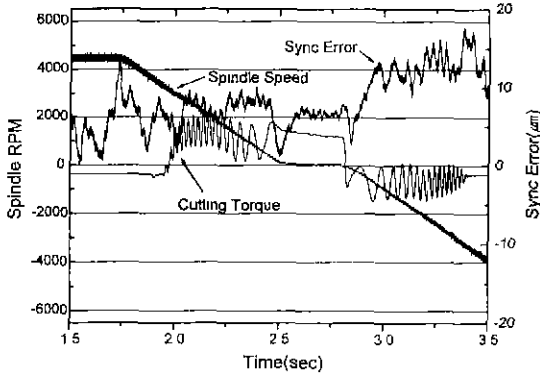
탭핑에서의 주축과 Z축간의 동기오차를 측정하기 위한 플랜트로는 시대중공업 SPT30 탭핑센터를 사용하였다. Fig 2는 동기오차측정을 위한 측정시스템의 구성을 나타낸다.

주축과 주축 모터 그리고 Z축 모터의 엔코더 신호를 측정하기 위하여 20MHz까지 측정가능한 24비트 업다운 멀티모드 카운터 LS7166을 사용하여 3채널 카운터 보드를 제작하였으며, 절삭시의 토크측정을 위해 공구동력계(Kistler-9272), 홀센서등으로부터 아날로그 신호를 입력받을 수 있는 12비트 100MHz의 상용의 AD컨버터보드를 사용하였다. AD컨버터의 8253타이머를 이용하여 10kHz의 샘플링 속도로 AD변환과 동기를 맞추어 엔코더의 신호를 샘플링하였다.

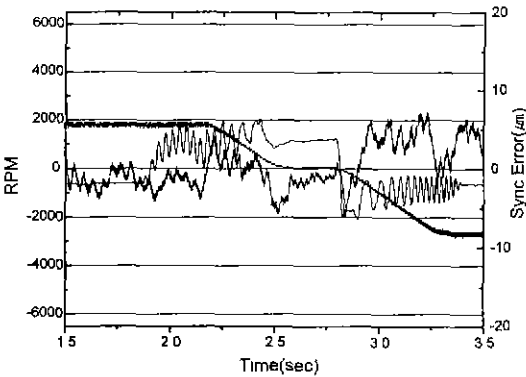
1샘플링 시간에 측정된 데이터를 기록하기 위하여 14바이트가 필요하고, 탭의 절삭시간이 최대 약 20초 정도이기 때문에 측정 데이터를 실시간으로 기록하기 위해서는 약 3M바이트 정도의 메모리 공간을 필요로 한다. 그러나, 일반적으로 DOS상의 리얼 모드 프로그래밍에서는 640K바이트 정도가 사용할 수 있는 메모리의 한계였다. 그래서, 본 연구에서는 32비트 보호모드 컴파일러를 사용하여 10M정도의 메모리를 할당받아 여기에 데이터를 기록함으로써 샘플링중에 데이터를 잃어버리지 않고 실시간으로 데이터를 기록할 수 있었다.

### 4. 실험결과 및 고찰

동기오차와 각종 파라미터와의 상관관계를 구하기 위하여 M3, M5, M8 및 M10 고속 싱크로 스파이럴 탭으로 주축을 500rpm단위로 변화시키면서 6000rpm까지 절삭하고, 또 주축이 6000rpm에 이르는 시간을 기준으로 했을 때 0.5초와 1초인 경우로 나누어서 60계열을 알루미늄을 탭핑하였다.



(a) M3-5000rpm



(b) M3-2000rpm

Fig. 3 Synchronous error according to the variation of spindle speed

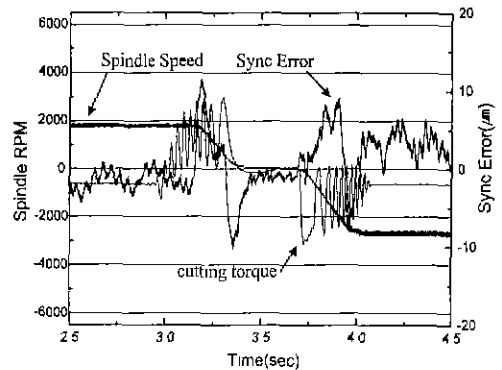
#### 4.1 주속과 동기오차

주속변화에 따른 동기오차의 거동을 알아보기 위해 동일 공구에 대해서 주속을 500rpm단위로 변경시키면서 절삭을 하였다. Fig 3는 M3탭으로 각각 2000과 5000rpm으로 절삭했을 때의 동기오차의 모습이다. 2000rpm일 때의 동기오차는 실제 나사산을 만들어 내는 전방가공에서는 3미크론 정도이고, 주축이 정지한 후 생성된 나사산을 따라서 빠져나오는 후방가공에서는 5미크론 정도이다. 그러나, 주속이 5000rpm으로 올라가면 전방가공에서는 10미크론 이상 후방가공에서는 20미크론 정도로 동기오차가 증가한다. 이런 오차는 제어계의 일반적인 특성으로 생각되며, 속도의 증가의 따라 추종성이 떨어져서 생기는 오차로 보인다.

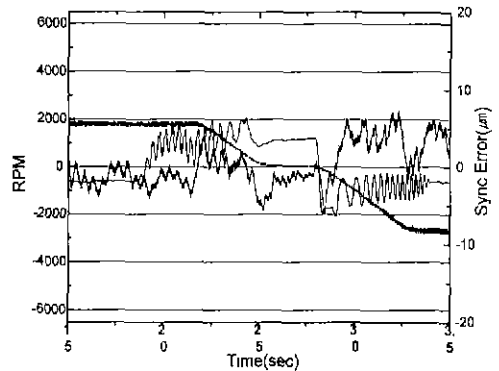
#### 4.2 가감속 시간과 동기오차

탭핑에 있어서 저속으로 절삭할 경우는 다르지만 고속으로 갈수록 실제 절삭시간에 가장 많은 영향을

미치는 요소는 감속구간부분이다. 그러므로, 절삭시간을 줄이기 위해서는 가능한 감속시간을 짧게 하는 것이 바람직하다. 그러나 감속시간을 줄이게 되면 그에 비례해서 동기오차가 증대된다. 동기오차가 증대되면 나사의 손상, 극단적인 경우는 탭의 파손을 초래하기 때문에 극단적으로 짧은 감속시간을 사용할 수 없다. 그래서, 가감속 시간의 변화에 따른 동기오차의 경향을 알아보기 위해 감속시간을 0.5초와 1초로 나누어서 실험을 하였다. Fig 4는 M3탭으로 2000rpm에서 8mm의 구멍을 가공하였을 때의 동기오차의 모습이다. 감속시간이 1초 인 경우는 최대  $\pm 5$ 미크론 정도이나 0.5초인 경우는 최대 10미크론 정도로 나타나며, 특히 변속구간에서 더욱 뚜렷한 차이를 보인다. 이런 경향은 주속이 증가할수록 더 크게 나타나며, 4000rpm이상으로 가공할 경우는 과도한 동기오차의 증대로 인하여 실험도중 주축모터가 트립되는 현상이 일어났다. 그러므로 감속구간을 줄이기 위해서는 예측제어와 같은 별도의 제어를 필요로 한다고 생각된다.

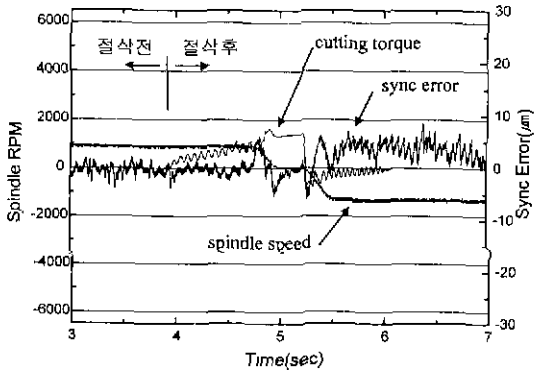


(a) 감속시간이 0.5초인 경우

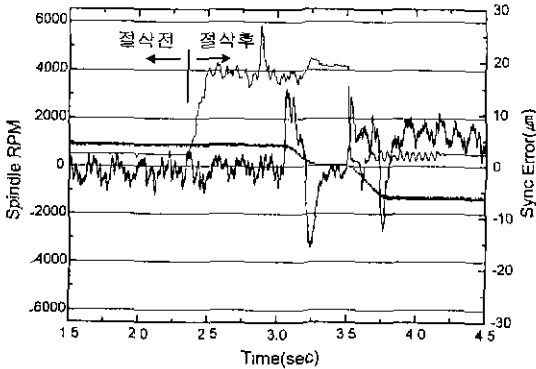


(b) 감속시간이 1초인 경우

Fig. 4 synchronous error according to the variation of deceleration time



(a) M3-1000rpm



(b) M10-1000rpm

Fig. 5 synchronous error according to the variation of cutting torque

### 4.3 절삭력과 동기오차

절삭토크와 동기오차와의 관계를 알아보기 위하여 탭의 종류를 달리하면서 동일주속으로 가공실험을 하였다. Fig 7은 2000rpm으로 각각 M3과 M10의 탭으로 구멍을 가공한 경우의 동기오차의 모습이다. 공구동력계를 사용하여 측정한 절삭토크는 M3의 경우는 30Ncm이고, M10의 경우는 300Ncm 정도였다. 이는 탭핑시의 절삭토크가 주축의 회전토크(3500Ncm)보다 훨씬 작기 때문에 탭핑시의 토크가 동기오차에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다. 그림을 보면 절삭전후를 비교하여 볼 때 M3, M10 어느 경우도 절삭이 시작되어 주축에 토크가 걸려도 동기오차의 크기는 별로 달라진 것이 없음을 알 수 있다. M10에서 변속부분의 동기오차가 증가한 것은 M10의 경우가 M3의 경우보다 동일주속에서 Z축의 이송속도가 증가하기 때문이다.

## 4. 결론

rigid 탭핑에서의 동기오차의 거동을 알아보기 위

해 주축, 주축모터, Z축 모터 엔코더신호와 절삭력 신호를 실시간으로 측정할 수 시스템을 구축하고 이를 이용하여 실험을 하고 다음의 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 동기오차는 주축의 회전속도, Z축의 이송속도 그리고 가감속시간에 가장 많은 영향을 받았다.
- 2) 가감속 시간을 줄일 경우 비정상적으로 동기오차가 증가하고 심한 경우 모터의 트립이 발생했다.
- 3) 가감속 시간으로 인한 제한 때문에 절삭시의 회전수를 올려도 실제 절삭에 들어가는 속도는 구멍의 가공깊이에 따라 일정하게 정해졌다.
- 4) 고속탭핑으로 갈수록 절삭에서 감속구간이 차지하는 구간이 길기 때문에 실제 절삭시간을 줄이기 위해서는 예측제어와 같은 다른 형태의 제어방법을 도입함으로써 감속구간을 최대한 줄여야 한다.<sup>[5]</sup>
- 5) 탭핑에서 절삭토크는 모터가 가지는 회전토크에 비하여 현저히 작기 때문에 M10이하의 탭핑에서는 동기오차에 별다른 영향을 주지 않았다.

## 참고문헌

1. J.S.Agapiou, "Evaluation of the Effect of High Speed Machining on Tapping", Journal of Engineering for industry, Transaction of ASME, Vol.116, pp457-462, 1994
2. GE CNC Technical Reports, 1996
3. Takeyama, "On Synchronous and Torsional Rigidity in a Threading Machine", Annals of the CIRP, Vol.37, No.1, p361-364, 1988
4. 김찬호, 공학석사 학위논문 2000.2, 부산대
5. Shigeru FUTAMI, "Dual Predictive Control Improves a High-Speed Precision Numerically Controlled Tapping", JSPE, Vol.66, No.5, p781-785, 2000