

토크곡선을 이용한 공작기계의 Virtual 화 Virtual Machine Tools using Torque curves

*이찬홍¹, 김경호¹, 성대중²

*# C. H. Lee(chlee@kimm.re.kr)¹, G. H. Kim¹, D. J. Sung²

¹ 한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부, ² ㈜두산인프라코어

Key words : Virtual Machine Tools, Torque Curve, CNC Unit Performance Test, Torque Patterns

1. 서론

현대식 공작기계는 고도의 가공자동화를 목적으로 하기 때문에 가능한 한 구동장치를 전기모터로 사용하고, 인간의 감각으로 실현하기 어려운 복잡한 형상가공을 신속하게 가공하기 위해서 지능화된 CNC 장치를 사용한다. 이 CNC 장치는 공작기계의 관점에서 주변장치에 불과하지만, CNC 장치를 개발하는 기술자에게는 역으로 공작기계라는 Hardware 가 하나의 불완전하고 비선형의 장치로 비추어진다. 공작기계 전체의 성능향상을 위해서는 우선 기계 구조물의 강성을 높이고, 경량화시키며, 안내면의 마찰력을 최소로 유지하는 노력을 해야 하고, 이에 상응하게 CNC 장치와 구동모터는 고가감속 및 고훈출력 제어를 병행할 때만 실현될 수 있다. 기계 구조물의 성능 고도화는 기계 구조물만의 실험으로 문제점을 대부분 개선할 수 있으나, CNC 장치는 자체 실험으로 문제점을 파악하기 어렵다. 즉 연계되는 모터와 일부 구동경로상의 요소가 속도와 위치 Feedback 을 해서 구동제어를 실행해야만이 비로소 CNC 장치의 성능과 취약부를 규명할 수 있기 때문이다.

그래서 CNC 장치의 취약성을 최소한의 외란상태로 파악하기 위해서 구동모터를 대상 기계장치로 제한적으로 정의하면, 공작기계의 이송계를 실험대상으로 할 경우 발생하는 각종 외란을 제거할 수 있는 장점이 있다. 여기서 외란은 볼스크류의 비틀림과 Backlash, 베어링 감쇠, 이송계 진동, 구동계 질량 등으로 인한 절삭력 및 관성 토크신호의 변질 현상이다. 이와 같이 구동모터를 평가장치로 정의하고, 공작기계 이송계와 단절을 시키는 대신 공작기계에서 발생하는 절삭력과 가감속 관성력으로 인한 토크를 Simulation 하여 구동모터의 부하로서 공급하면 CNC 장치의 성능을 파악할 수 있다.

2. 장치의 관점에서 본 공작기계의 Virtual 화

공작기계의 Virtual 화는 목적에 따라, 공작기계를 스프링으로 연결된 강성구조로 관찰할 수 있고, 각 이송축과 단위 구조물에서 발생하는 오차나 처짐분포로 관찰한 오차 구조로 정의할 수도 있다. 본 논문에서는 CNC 장치의 평가를 위해 공작기계를 토크 발생장치로 Virtual 화 하였다.

그림 1 은 다계통 복합가공기로서 다수의 서보모터를 사용하고 있다. 다수의 서보모터를 제어하기 위해서는 고

성능의 CNC 장치를 사용하게 되는데, 이를 위해 개발되는 CNC 장치의 성능을 해당 공작기계 구조물의 외란과 무관하게 평가하기 위해서 다계통 복합가공기에서 발생하는 각종 하중을 볼스크류에 전달되는 토크 패턴으로 변환해서 구동모터에 토크부하로 적용한다.

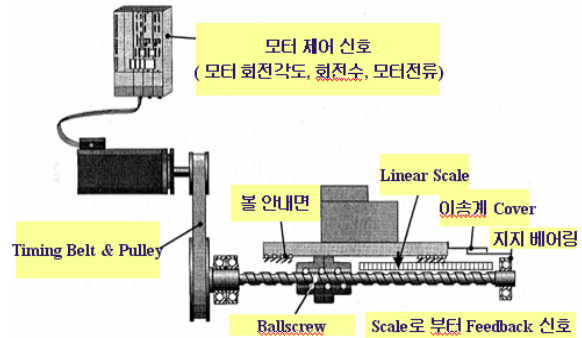


Fig. 2 Feeding Unit with Motor and CNC Unit

그림 2 에는 다계통 복합가공기의 한 축에 대한 개념도를 표시하였다. 그림과 같은 이송계에서 공작물을 밀링가공할 경우, 절삭력은 볼스크류의 회전력으로 변환돼서 토크로 변화된다. 이 변환관계는 다음 식과 같이 표시된다.

$$T = \frac{F \cdot L}{2\pi}$$

여기서 T:토크(Nm), F:절삭력(N), L:볼스크류 리드(m).

만약 그림 2 와 같이 풀리나 기어로 모터의 회전이 감속된다면 구동모터에 가해지는 토크는 기어비에 비례한다. 즉 토크는 감소된다. 이송계의 안내면 위쪽에서 발생하는 가감속 관성력, 마찰력, 진동력 등은 절삭력과 동일한 식에 의해서 변환되고, 각각의 경우는 시간적으로 토크 패턴에 차이가 있다. 그리고 이송계의 볼스크류에서 발생하는 Backlash 는 상기 식으로 변환되지 않고, 단지 토크의 단속 현상으로 나타난다. 그림 3 에는 CNC 와 연결되어 있는 Target Motor 에 토크부하를 공급하는 장치의 모습을 나타내었다. 부하모터는 모터 제어가 별도로 부착되어 토크 모드 방식의 제어를 통해서 준비된 토크 패턴을 공급한다.

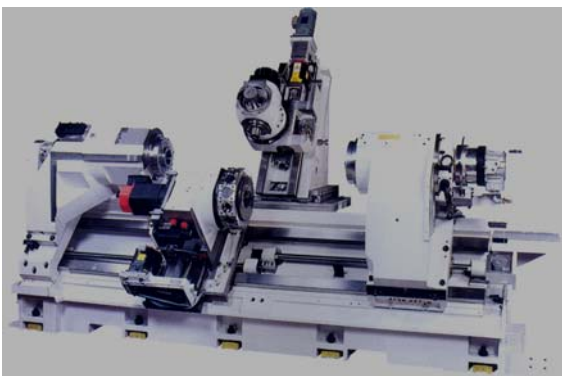


Fig. 1 Multi-Axis CNC Lathe using several Servo Motors

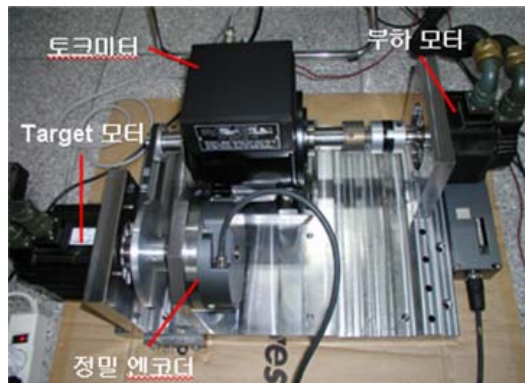
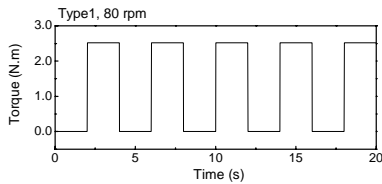


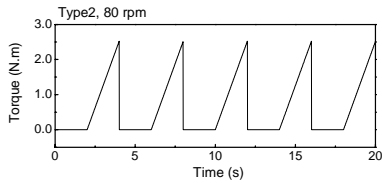
Fig. 3 Torque Supplier for a Target Motor

3. 공작기계에서 발생하는 토크 패턴의 종류

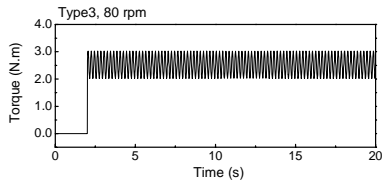
공작기계에서 대표적으로 나타나는 가공공정이나 현상에 대해서 특징을 살려서 토크 패턴으로 구성하였다(그림 4). 그림 4(a)는 선반에서의 선삭이다. 그림에 보이듯이 일정 구간을 여러 번 공구가 지나가면서 표면을 정삭할 때 나타나는 패턴이다. 드릴작업의 경우는 드릴이 중심 원뿔 모양의 가공을 할 때까지 토크가 증가하다가 급격히 감소하는 모양을 나타낸다(그림 4(b)). 그림 4(c)는 머시닝 센터에서 밀링작업을 할 때 나타나는 현상으로 이송분력이 어느 정도 기본적인 토크레벨을 주고, 밀링공구의 여러 개 날이 회전하면서 단속절삭 토크변동을 나타낸다. 그림 4(d)는 고정밀 가공기에서 가공성을 시범보여주기 위해서 삼각형 모서리를 선삭가공할 때 나타나는 토크 패턴이다. 그림 4(e)는 선삭도중에 공작물에 구멍이 있는 경우나 경화층을 공구가 통과하는 경우 생기는 토크 모양이다. 그림 4(f)는 이송계가 빠른 속도로 가감속을 반복할 때 나타나는 토크 현상이다. 그림 4(g)는 볼스크류상에서 Backlash 가 일어날 경우 토크곡선에 단속적인 현상을 나타낸 것이다. 그림 4(h)는 공작기계의 안내면으로 슬라이딩 면을 사용할 경우 정 마찰계수에서 동 마찰계수로 변화하면서 토크가 급격히 감소하는 모양을 보여 주고 있다.



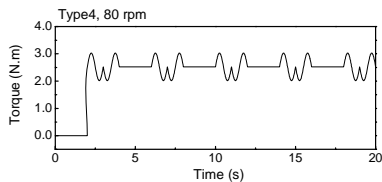
(a) Turning



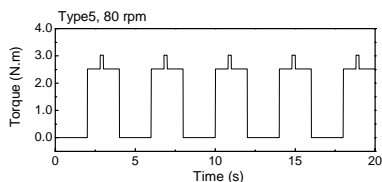
(b) Drilling



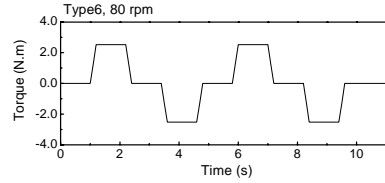
(c) Milling



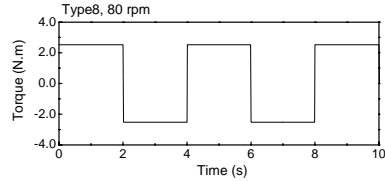
(d) Planning in shape Trigonal Edge



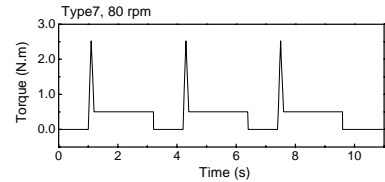
(e) Turning with Hole



(f) Acceleration and Deceleration



(g) Backlash



(h) Static Friction in a Guide Way

Fig. 4 Torque Patterns in a Machine Tools

4. 결론

CNC 장치의 성능을 평가하기 위해서 공작기계를 순수히 토크의 관점에서만 관찰하여 모든 절삭공정과 현상을 토크 패턴으로 표시하였다. 이 토크 패턴은 CNC 장치와 연결된 Target Motor 에 부하 토크로서 공급하여 Target Motor 의 회전 위치정밀도와 속도변동을 평가하였다.

1. 공작기계 내에서 발생하는 주요 가공공정과 현상을 토크패턴 8 가지로 특징 지워 공작기계를 Virtual 화 하였다.
2. CNC 장치의 성능을 기계적 외란이 없이 평가하기 위해서 CNC 장치와 Target Motor 를 한 조로 하여 연결하고, 이 모터에 준비된 8 가지 토크 패턴을 회전상태에서 공급할 수 있는 토크 공급장치를 설계, 제작하였다.
3. 본 토크 공급장치를 이용하여 미래에 만들어질 공작기계의 가공성을 CNC 제어관점에서 사전에 평가할 수 있고, 임의의 공작물 형상에 대한 최적 제어 파라미터 결정에 큰 도움을 줄 수 있다.

참고문헌

1. Hans Gross, "Electrical Feed Drives for Machine Tools," John Wiley & Sons Limited, 1983.
2. 三菱電機, "AC 서보응용 매뉴얼," 일진사, 2001.
3. Christian Brecher, "Vergleichende Analyse von Vorschubantrieben fuer Werkzeugmaschinen," Shaker Verlag, 2002.