

멀티 센서를 이용한 고속가공기의 가공특성 모니터링

Machining Characteristic Monitoring Using Multi-Sensor in High-Speed Machining System

*고정환^{1,2}, #남성호(goddad@kitech.re.kr)¹, 이동윤¹, 이석우¹, 이은상²

*J. H. Ko^{1,2}, #S. H. Nam(goddad@kitech.re.kr)¹, D. Y. Lee¹, S. W. Lee¹, E. S. Lee²

¹ 한국생산기술연구원, ² 인하대학교 기계공학과

Key words : High-Speed Machining System, Accelerometer, Tool Dynamometer, Spectrum, Cutting Force, Monitoring

1. 서론

최근 고속가공기의 개발과 수요가 활발하게 이루어지고 있다. 주축의 회전속도와 이송계의 이송속도를 높여 소재 제거율을 작게 하면서도 빠르게 가공 할 수 있는 고속가공기술을 적용하여 보다 빠르고, 정밀하게 금형 및 시작품을 제작 할 수 있다.^[1,4]

특히, 고속가공기의 특성이나 Tool Condition Monitoring에 대해 많은 연구가 이루어졌으며, 각종 센서를 이용하여 고속가공기의 특성에 대한 연구가 활발하다.^[1,2,3,5]

그러나 고속가공기를 운영하면서 발생하는 문제점에 신속하게 대처하기 힘들고, 이로 인한 리드타임이 길어지게 되어, 운영에 어려움을 겪고 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위한 방법으로 고속가공기에 대한 특성 평가나 고속 가공 시 나타날 수 있는 현상들에 대한 모니터링을 하여 가공 현상에 즉각적으로 대처 할 수 있도록 시스템을 구현 하면 고속가공의 신뢰성을 향상 시킬 수 있다. 그러기 위해서는 고속가공에 센서를 설치, 여러 가공 특성을 받고 분석하여 고속가공기에 대한 계속적인 모니터링이 이루어지게 해야 한다.

본 연구에서는 고속가공기에 멀티센서를 부착하여 실제가공 중에 발생하는 가공특성을 모니터링 함으로써 가공 시 발생하는 문제에 보다 신속하게 대처할 수 있게 하였다. 특히 하나의 센서로도 가공 특성을 모니터링 할 수 있도록 공구동력계와 가속도계의 연관성을 분석하였다.

2. 가공특성 모니터링 구성

고속가공기의 가공특성을 모니터링 하기 위해 절삭력 및 가속도 측정 장비를 Fig. 1과 같이 구성하였고, Fig. 2는 실제 고속가공기에서 측정 장비를 설치한 모습이다. 바이스에 가속도계를 부착하여 가공 시 진동을 측정할 수 있도록 하였고, 시편 아래에 공구동력계를 설치하여 시편이 가공 될 때, 절삭력을 측정할 수 있도록 하였다.

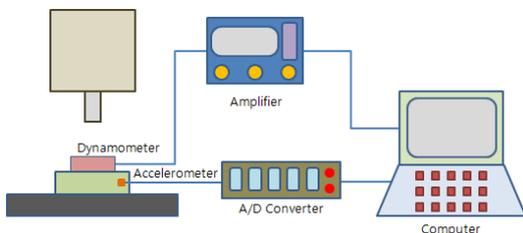


Fig. 1 Concept in Measuring Equipment

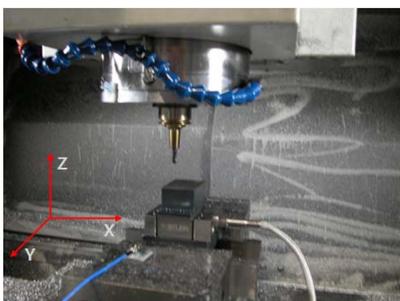


Fig. 2 Experimental Set-up and Machining Process

3. 실험장비 및 측정 장비

본 연구에 사용된 고속가공기는 두산인프라코어사의 FV400 이고, 모니터링에 사용한 측정 장비는 Kistler사의 9256A1 공구동력계와 PCB사의 356B21 가속도계이다. 두산인프라코어사의 FV400은 X, Y, Z 이송계 각 부분에 리니어모터를 장착하였고, 가공 범위는 600×400×400(X×Y×Z)이며, 주축 최고 속도 50,000rpm이다. Table 1에 실험에 사용된 고속가공기의 제원을 나타내었다.

Table 1 Specification of High Speed Machining System

| High Speed Machining System | |
|-----------------------------|-------------------------|
| Model | Doosan Infracore FV 400 |
| Stroke (X×Y×Z) [mm] | 600×400×400 |
| Maxium RPM [rpm] | 50,000 |
| Maxium Feed [m/min] | 120 |
| Controller | Fanuc 30i |

4. 가공실험

Fig. 2에서 보는 바와 같이 공구 진행 방향을 X축 방향으로 이송하면서 평면 가공 실험을 실시하였고, 그 때에 발생하는 진동 및 절삭력을 측정하였다. 공구는 고속가공기에서 많이 사용하는 $\phi 6$ 2날 볼엔드밀을 사용하였다. 시편은 다이캐스팅 금형 공구강인 SKD 61종을 사용하였고, 실험조건은 고속가공에서 일반적으로 사용하는 절삭조건을 적용하여 소재제거율에 따라 실험조건을 선정하였다.

Table 2는 고속가공기에서 절삭 가공 중에 발생하는 현상의 모니터링하기 위해서 실험 조건이다. 소재제거율의 변화에 따른 신호를 측정하기 위해 격벽가공을 하였고 Axial Depth값에 변화에 따라 유효직경의 값이 크게 변화하도록 설정하였다.

즉, 실험 조건 별로 소재제거율의 변화에 따라 공구동력계와 가속도계 신호의 차이를 알 수 있도록 선정하였다.

Table 2 Experimental condition

| | N [rpm] | D _e [mm] | f _z [mm/tooth] | d _a [mm] | f [mm/min] |
|----|---------|---------------------|---------------------------|---------------------|------------|
| 1 | 15000 | 1.54 | 0.1 | 0.1 | 3000 |
| 2 | 15000 | 1.54 | 0.133 | 0.1 | 4000 |
| 3 | 15000 | 2.15 | 0.1 | 0.2 | 3000 |
| 4 | 15000 | 2.15 | 0.133 | 0.2 | 4000 |
| 5 | 15000 | 2.62 | 0.1 | 0.3 | 3000 |
| 6 | 15000 | 2.62 | 0.133 | 0.3 | 4000 |
| 7 | 20000 | 1.54 | 0.075 | 0.1 | 3000 |
| 8 | 20000 | 1.54 | 0.1 | 0.1 | 4000 |
| 9 | 20000 | 2.15 | 0.075 | 0.2 | 3000 |
| 10 | 20000 | 2.15 | 0.1 | 0.2 | 4000 |
| 11 | 20000 | 2.62 | 0.075 | 0.3 | 3000 |
| 12 | 20000 | 2.62 | 0.1 | 0.3 | 4000 |

5. 실험 분석

본 실험을 통해 다음과 같은 가공 특성 모니터링 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 공구동력계의 신호분석

Fig. 3은 20000rpm일 때 Principle Cutting Force를 나타낸 그래프이다. 0.003초 마다 반복하는 것을 볼 수 있는데, 이를 주파수로 환산해 보면 Fig. 6의 20000rpm의 주파수 특성 중 첫 번째 특성 주파수인 333Hz로 2날 엔드밀의 회전주파수와 일치하는 것을 알 수 있다. 동일한 조건의 15000rpm에서의 절삭력 신호도 15000rpm의 주파수 특성인 250Hz와 일치한다.

(2) 가속도계의 신호 분석

가속도계의 Time 신호에서 진폭 간의 시간을 계산하면 동일한 가공조건에서의 주파수를 확인할 수 있다. Fig. 4는 가공조건이 20000rpm인데 가속도계의 Time 신호의 진폭이 약 0.0015초 간격으로 반복적으로 나타나고 있다. 이를 가공 주파수로 환산해 보면 약 666Hz로 계산된다. 이는 Fig. 6의 20000rpm에서 666Hz의 엔드밀 가공 주파수 특성과 일치하고, 동일한 조건의 15000rpm에서도 주파수 특성을 알 수 있다.

(3) 공구동력계 및 가속도계 신호의 비교

공구동력계의 신호는 방향성을 가진 DC성분의 신호로 분석되고, 가속도계 신호는 AC성분으로 분석된다.

Fig. 6에서 알 수 있듯이 소재제거율에 따른 절삭력 크기는 소재제거율 및 회전속도가 다르더라도 동일한 것을 알 수 있다. Fig. 3, 4의 공구동력계 신호와 가속도계 신호의 최대값을 소재제거율에 따라 분석해보면 두 신호 간의 유사성을 지닌다. 즉 절삭력 신호가 클수록 가속도계의 Time 신호의 진폭도 커지는데 소재제거율에 따라 변화되는 신호의 크기가 매우 비슷하다. Fig. 5는 공구동력계와 가속도계 신호의 증가하는 양이 유사함을 볼 수 있다.

(4) 가속도계의 스펙트럼 분석

회전수가 다른 두 조건의 스펙트럼을 비교하여 보게 되면 소재제거율이 같을 때, 몇 가지 특성을 볼 수 있다. Fig. 6은 각각 15000rpm과 20000rpm으로 가공 했을 때의 스펙트럼이다. 두 스펙트럼은 회전수가 다르기 때문에 가공주파수는 다르지만 소재제거율이 같아 공구 1회전 시 발생하는 회전 특성 주파수인 250Hz, 333Hz의 동일한 소재제거율에서 동일한 진폭을 가진다. 공구를 2날 엔드밀을 사용하여 가공했기 때문에 엔드밀이 1회전했을 때의 절삭특성 주파수인 500Hz, 666Hz는 가공특성을 나타내는 주요 특성 주파수로 진폭이 가장 크게 나타나며 그 이후 주파수 성분은 엔드밀의 날 당 가공 주파수 특성을 보인다.

Fig. 6을 보면 공구의 형상에 따른 조건 및 회전 특성 주파수와 소재제거율에 따른 진폭의 크기의 정보를 분석할 수 있으며 가공 특성주파수 및 회전 특성 주파수의 진폭은 소재제거율에 의존하는 특성을 알 수 있다.

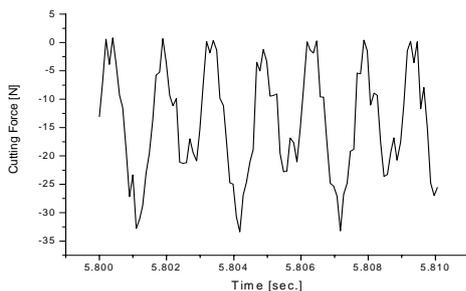


Fig. 3 Analysis of Principle Cutting Force

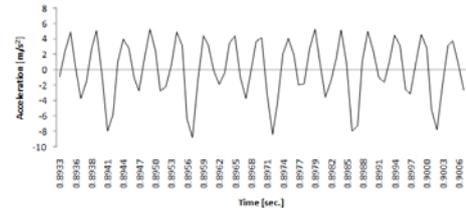


Fig. 4 Time Signal in 20000[rpm]

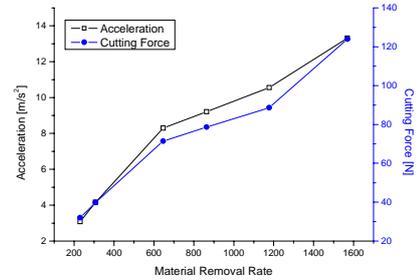


Fig. 5 Comparison of Acceleration with Cutting Force

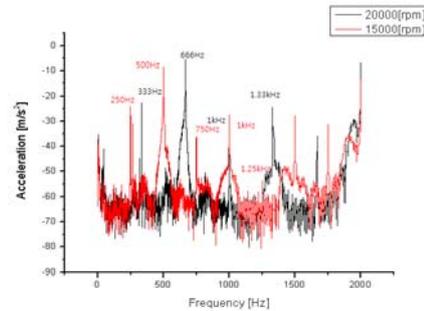


Fig. 6 Spectrum Analysis in 15000[rpm] and 20000[rpm]

6. 결론

가속도계 신호를 분석하면 실제 가공시의 회전 속도, 절삭력, 가공특성주파수 및 크기를 분석할 수 있으므로 실제 가공현상에서 공구동력계를 사용하기 힘들어 가속도계를 이용하여 가공 특성을 모니터링 할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 결과를 바탕으로 다양한 가공 경로 및 형상에 따른 가공 특성 모니터링 방법을 연구하고자 한다.

후기

본 연구는 산업자원부의 “웹 운용 지능형 고속·고정밀 가공 시스템 개발”과제 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. M.C.Kang, J.S.Kim, "A monitoring technique using a multi-sensor in high speed machining" Journal of Materials Processing Technology 113 (2001) 331-336
2. C.K. Toh, "Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel" Journal of Sound and Vibration 278 (2004) 101-115
3. S. Vafaei, H. Rahnejat, R. Aini, "Vibration monitoring of high speed spindles using spectral analysis techniques" International Journal of Machine Tools & Manufacture 42(2002) 1223-1234
4. 강익수, 강명창, 김정석, 김기태, “고속 머시닝센터의 진동특성 및 가공성 평가”, 한국공작기계학회 2004 춘계학술대회 논문집 pp.424~429
5. 강익수, 강명창, 김정석, 김기태, “고속 머시닝센터의 성능평가 기술에 관한 연구”, 한국공작기계학회 2004 추계학술대회 논문집 pp. 352~357