

# 고속 · 고정밀 가공시스템을 위한 실시간 운용이력 모니터링시스템 개발 Development of real-time based operation history monitoring system for high-speed · high-precision machining system

\*#남성호<sup>1</sup>, 고정환<sup>2</sup>, 정진형<sup>3</sup>, 강해운<sup>4</sup>, 문점생<sup>5</sup>, 이종국<sup>6</sup>

\*#S. H. Nam(goddad@kitech.re.kr)<sup>1</sup>, J. H. Ko<sup>2</sup>, J. H. Jeong<sup>3</sup>, H. W. Kang<sup>4</sup>, J. S. Nam<sup>5</sup>, J. K. Lee<sup>6</sup>  
1,2,3,4 한국생산기술연구원 융합생산기술연구부, 5,6 두산인프라코어(주) 선형개발 2팀

Key words : CMS(Control & Monitoring System), TCM(Tool Condition Monitoring), TWP(Tool Wear Patten)

## 1. 서론

최근 정밀가공산업은 고속가공기를 사용하여 점차 고속 · 고정밀화 되고 있다. 이는 전자부품 및 일반기계 · 자동차 · 항공부품의 정밀도 향상 및 리드타임 단축 요구가 증가하고 있기 때문이다. 고속가공기는 통상 20,000 rpm 이상의 주축 회전이 가능한 공작기계를 의미하며, 단위시간당 소재 제거율이 높고, 고품위, 고정도의 부품 생산이 가능하다. 또한 가공 공정 축소 및 공구 교환 시간 및 가공시간을 단축이 용이한 장점을 가지고 있다.

하지만 일반가공에 비해 운동오차 제어가 힘들고, 힘과 높은 열에 의한 변형 및 과도한 공구 마모에 의해 가공품 위 저하가 발생할 수 있다. 이러한 단점들을 극복하기 위해 다양한 연구가 수행되고 있으며, 특히 운동오차 제어 및 힘과 열에 의한 변형은 센서를 이용한 보상시스템의 적용으로 상당부분 해결하고 있다. 그러나, 실제적으로 가공 불량률을 야기하는 모니터링에 대한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 이를 해결하기 위해 고속 가공시스템에 가속도센서를 부착하여 공구마모 신호를 수집하고, 이러한 마모를 패턴화하여 실시간 신호를 기반으로 공구수명관리가 가능한 시스템을 개발하여, 고속가공시스템 현장관리시스템에 통합함으로써 작업자가 실제적으로 활용할 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 본 논문은 2 장에서 실시간 공구마모 진단시스템에 대한 개념을 소개하고, 3 장에서는 시스템의 알고리즘을 도출하기 위한 실험 및 알고리즘을 제안하며, 개발된 시스템을 4 장에서 간략하게 설명하고자 한다.

## 2. 실시간 공구마모 진단시스템 아키텍처

본 연구에서 제안하는 실시간 신호 기반의 운용이력(공구마모) 모니터링 시스템의 목적은 가공 공정 중 이상현상(공구마모, 공구파손, 과부하 등)으로 인해 양산제품의 품질이 저하 되는 것을 예방하는 생산상의 요구와 경제성에 의한 생산보전이다.

이를 위해서는 Fig. 1 과 실시간 공구마모 신호데이터를 획득하여 마모 정도를 패턴화하여 작업자가 인지할 수 있는 정보로 변환하고 관리할 수 있는 시스템이 요구된다.

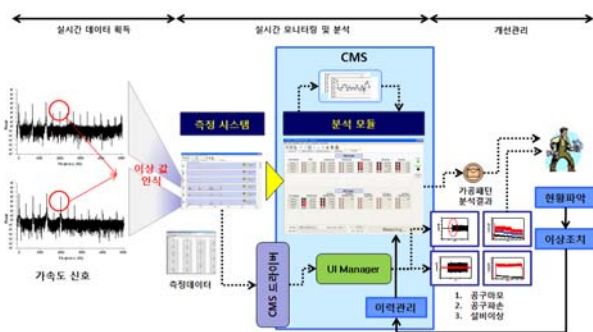


Fig. 1 Concept of Control & Monitoring System

이 시스템은 실시간 가속도 신호데이터를 입력 받을 수 있으며, 다양한 신호처리 기법을 활용하여 데이터를 가공하거나 공구마모의 수준을 패턴으로 정의하여 운용이력 모니터링 시스템으로 전달하는 역할을 한다.

## 3. 공구마모패턴 도출을 위한 실험

가속도계 센서의 적용성 검증을 위한 기초실험을 수행하였으며, 가공물형상을 다양하게 변화하면서 마모패턴을 정립하기 위한 추가 실험을 진행하였다.

### 3.1 공구마모감지 기초실험

일반가공 영역에서는 실시간 공구마모 감지에 대한 다양한 연구 및 상품화가 이루어지고 있지만 고속 가공영역은 감지에 대한 연구조차도 아직 정확도와 신뢰도 측면에서 미흡한 실정이다. 이처럼 AE(Acoustic Emission)센서, 홀센서 등 다양한 센서기반의 가공 상태 모니터링 방법 및 주축/이송계 고장감지에 대한 연구 결과와 신호처리 알고리즘 개선 또는 퍼지이론 등을 통한 이상감지 패턴 규명, OMATIVE 사의 실시간 피드백에 의한 이송속도 제어 및 공구파손 감지가 가능한 "ACM" 과 같은 방법이 가능한 이유는 고속가공에 비해 이송계의 이송운동과, 주축 회전운동이 공구와 공작물에 미치는 영향이 작기 때문이다.

하지만 본 논문에서 제안하는 것처럼 고속가공영역에서도 가속도계 센서를 사용할 경우 미세한 절삭력도 진동신호로 변환하여 측정이 가능하므로 공구마모 감지가 가능하다. 이를 검증하기 위해 Fig. 2 와 같이 두산인프라코어사의 FV-400 과 Roeders 社의 RF600, STAVAX 열처리강을 이용하여 실시간 공구마모 실험을 수행하였다.

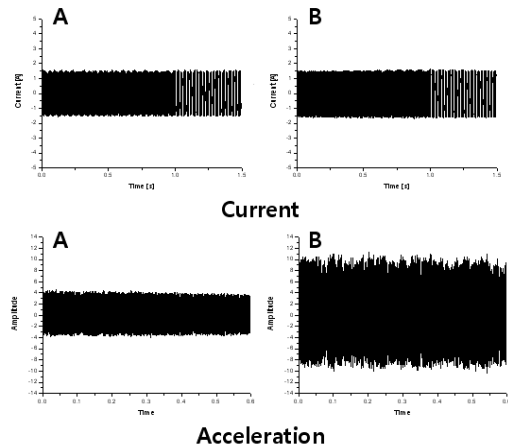


Fig. 2 Comparison Signal between Current and Acceleration

2 차원 평면 가공에서 전류와 가속도를 측정된 결과 주축 전류의 경우는 큰 차이가 없으나 가속도 신호는 좌측의 정상 공구보다 우측의 마모 공구 일 때 신호변화가 크

게 발생함을 알 수 있다. 이는 주축의 고속 회전, 이송계의 고속 이송운동, 그리고 적은 날 당 절삭량이 공구 마모로 인해 발생하는 가공 부하를 주축 전류 측정으로 감지하기 어렵기 때문이다. 그러나, 가속도 신호의 경우, 절삭 시 발생하는 미세 진동을 측정 하기 때문에 공구 마모로 인해 발생하는 가속도 신호의 차이를 측정할 수 있다.

### 3.2 공구 마모에 따른 이상신호 검출 실험

기초실험에서는 평면을 대상으로 가공하였으나, 3 차원 복합 형상에 대한 추가 실험이 필요하다. 이는 실제 가공물의 경우 복잡한 형상을 가지고 있으며, 이송방향으로만 운동하는 평면과는 달리 3 축이 동시에 움직이는 이송운동을 하게 때문에 고속 이송운동에 기인하는 문제가 발생하기 때문이다. 3 축의 이송 운동과 가속도 신호와의 영향을 분석하기 위해 Fig. 3 과 같이 15° 경사면과 φ150 곡면의 복합형상 시편을 제작하여 실험을 수행하였다. 공구는 φ4 볼 엔드밀을 사용하였으며, 가속도 센서는 기초실험과 마찬가지로 PCB社의 365B1 을 사용하였다.

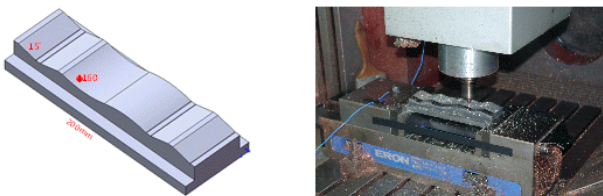


Fig. 3 Work-piece and experimental set-up

실험은 회전수 25000rpm 이송속도 3500mm/min 으로 공구가 마모 될 때까지 진행하였으며, 가공길이 100m 마다 공구현미경으로 촬영하여, 마모 정도를 분석하였다. 그래서, 엔드밀의 마모 정도에 따라 신호를 분류하여, Fig. 4 와 같이 공구 마모에 대한 가속도 신호의 크기 변화를 분석하였다.

공구가 마모됨에 따라 가속도 신호의 크기는 점진적으로 커지며, 평면가공과는 달리 경사면과 곡면가공에서 가속도 신호가 가속도 신호의 크기 변화가 있다. 그러나, 이는 형상이 변하는 위치에서의 이송운동으로 인한 것으로 분석되며, 전체적으로 공구가 마모 될 때 까지 가속도 신호 패턴은 일정하게 유지하였다.

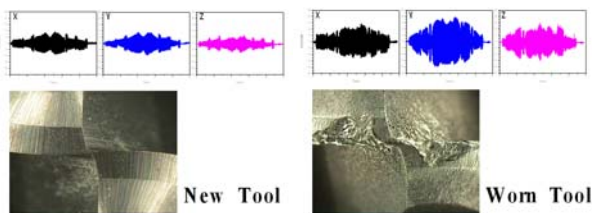


Fig. 4 Acceleration Signal at 3D Work-piece

Fig. 4 는 정상공구 일 때와 공구가 완전히 마모되었을 때의 가속도 신호와 공구 상태이다. Fig. 4 의 오른쪽 그림은 공구가 완전히 마모된 상태이며, 플랭크 면의 마모가 심한 것을 확인 할 수 있다. Fig. 4 의 왼쪽 그래프의 3 축 가속도 신호와 오른쪽 그래프의 3 축 가속도 신호를 비교해 보면, 마모 전, 후의 공구 상태를 명확히 파악 할 수 있다..

이를 통해 평면 가공에서와 마찬가지로 3 차원 복합 형상에서도 가속도센서를 이용한 모니터링이 가능함을 알 수 있다. 또한, 가속도 신호를 마모 정도에 따라 패턴화 할 수 있어 마모시점 및 마모 정도의 데이터를 정립하여 실시간 공구 마모를 감지할 수 있을 것으로 기대된다.

### 4. 프로토타입 구현

실제 가공 현장에서 CNC 의 가공 상태를 정확히 파악 하기 위한 모니터링 시스템은 공구마모 감지와 더불어 시스템을 감지할 수 있는 인자를 함께 구현하였다.

Fig. 5 는 모니터링 시스템의 프로토타입 화면이다.



Fig. 5 Prototype of CNC monitoring system

Fig. 5 의 왼쪽 그림은 공구 마모를 감지 할 수 있는 인자인 실시간 RMS 값과 누적된 RMS 값 등을 분석 할 수 있도록 설계하였으며, 뿐만 아니라, 크레스트 팩터, 왜도, 첨도 등의 기타 인자를 분석 할 수 있다. 이는 Fig. 5 의 오른쪽 그림인 CMS 시스템에 통합되어 가공 상태 및 공구마모 감지에 적용 될 수 있을 것으로 기대된다.

### 5. 결론

본 논문은 주축 전류 신호 분석, AE 신호 측정, 절삭력 측정과 같은 기존의 일반적인 방법으로 공구상태 감시가 힘든 고속가공 시스템에 가속도센서를 부착하여 공구마모 신호를 획득하고, 이를 패턴인식 알고리즘을 통해 공구 마모신호의 이미지를 패턴화하여 실시간 데이터를 기반으로 공구수명을 관리할 수 있는 방법 및 모니터링 시스템을 제안하였다.

이를 바탕으로 향후에는 가공 방향 및 가공 방법에 의한 데이터, 소재 및 형상에 대한 데이터 등을 수집 및 분석하여, 공구마모 모니터링 시스템의 적용성을 향상하고자 한다.

### 후기

본 연구는 지식경제부에서 추진하는 차세대기술 개발 사업의 하나로 수행되는 ‘글로벌 공유 및 지식기반의 차세대 생산시스템 개발’과제의 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

### 참고문헌

1. “네트워크 이용에 의한 실시간 공작기계 관리 시스템”, Mitsubishi Heavy Industries technical review, Vol. 39, No. 4, 2002
2. “2003 년 공작기계 기술개발전망”, 월간공작기계 Vol. 123, No.1, 2003
3. 이경수, 김수형, “제조실행시스템의 기능 보안을 위한 웹 기반 모니터링시스템의 설계 및 구현,” 정보처리학회논문지, 제 9-D 권, 제 4 호, 667-675, 2002
4. 박주식, 신현재, “실시간 On-line 프레스 설비 POP 시스템 개발 연구,” 대한설비관리학회지, 제 9 권, 제 1 호, 17-25, 2004