

## 복합계측시스템을 이용한 공구이상검출

이재종\*, 박화영\*

### Detection of Tool Breakage using Multi-Sensing System

Jae-Jong Lee\*, Hwa-Young Park\*

#### ABSTRACT

In the manufacturing field, some traditional manufacturing and machining methods become weakened the productivity, the external competitive power, and accuracies of the products. In these point of view, the unmanned and intelligent manufacturing systems are proposed by some manufacturing companies. The real-time monitoring technology of the cutting tool conditions i.e. tool wear, tool breakage, crack, and chipping are necessarily required to realize those system, especially. In this study, we constructed the multi-sensing system using the acceleration sensor, the current sensor, and the loadmeter of a machine tool. Also, we analyzed the nose breakage, the massive signal, and some monitoring features by means of the developed system.

**Key Words** : 복합계측(multi-sensing), 공구마모, 공구파손, 감시특성(monitoring feature).

#### 1. 서 론

제품가공 및 생산에 있어 기존 생산방식에 의한 생산성감소와 최근의 인건비 상승 등의 원인에 의해서 제조업의 경우 경쟁력의 감소를 유발하고 있다. 또한 제품의 단가를 낮추면서 제품의 품질을 향상시킬 수 있는 방법으로 유연성을 가진 무인가공시스템의 도입이 제안되고 있다. 그러나, 무인가공시스템을 이용하여 제품의 정밀도와 시스템의 신뢰성 및 제품의 생산성을 높이기 위해서는 시스템을 구성하고 있는 동작기계와 주변장치의 감시 및 진단기술이 필요하다.

특히, 절삭공구의 마모 및 파손을 작업중에 검출할 수 있는 in-process계측기술과 가공상태의 조기 이상감시기술 및 공작물의 정확한 위치감시기술 등이 무인 가공시스템을 성공시키는데 반드시 필요하다.

절삭가공중 발생하는 공구마모 및 파손, 칩핑(chipping) 등을 감시하는 방법으로는 광센서, 비전센서[1], 접촉식센서(touch probe)를 이용한 직접적인 측정방법과 절삭력[3,5], AE[4] 및 진동[2] 등을 이용한 간접적인 측정방법이 있다. 측정의 신뢰성측면에서 보면 직접적인 측정방법이 신뢰성이 높으나 측정시간이 길게 걸리고, 절삭작업을 중지해야 하는(between process) 문제가 있다. 이러한 문제는 무인가공시스템이나 공구교환이 빈번한 경우에는 심각한 문제를 유발하기 때문에 간접적인 측정방법에 대한 연구가 활발히 전개되고 있다. 최근에는 복합센서를 사용하여 신경회로망을 이용한 방법도 시도되고 있으나[3] 절삭중 공구이상을 감시할 수 있는 시스템이 아직 상품화되어 현장에 적용된 예는 거의 없고, 단순하게 절삭 토오르나 스피들모터의 전류의 변화를 이용하고 있으나 이 방법도 현

\* 한국기계연구원 기계자동화연구부(정회원)

실적으로 응용되고 있지는 않다.

본 연구에서는 절삭중 공구파손을 실시간으로 검출할 수 있는 시스템을 구성하기 위한 일환으로 일차로 AE (acoustic emission) 센서를 사용하여 절삭mechanism의 특성과 공구파손에 따른 주파수 특성을 해석했고, 차후 연구로서 AE센서가 아닌 가속도센서와 전류센서 및 동작기계의 절삭동력계를 이용한 복합계측시스템을 구성하여 절삭특성 및 공구파손이 발생할 때의 신호특성을 해석했다.

## 2. 복합계측시스템

복합계측의 개념은 어느 대상(object)을 측정하는데 있어 하나의 센서만을 사용하지 않고, 특성에 맞는 몇 개의 센서를 복합적으로 사용함으로써 계측시스템의 신뢰성을 높일 수 있는 것을 의미한다.

복합계측의 형태로는 대상물의 특징중 하나만을 계측하기 위해서 다수의 센서를 사용하는 경우(그림1-a)와, 대상으로 하는 몇 개의 특징을 측정하는데 있어 하나의 센서만으로는 측정하기가 곤란하기 때문에 측정하고자 하는 대상의 각각의 특징을 가장 잘 계측할 수 있는 센서를 복합적으로 구성하는 경우가(그림1-b) 있다. 전자 의 경우는 레이저나 비전을 이용하여 물체의 3차원 형상을 측정하거나 로봇트분야에서 부품삽입작업(part insertion)이나 bin picking 등에 이용되는 형태로, 이러한 방법은 인간의 두 개의 눈과 귀를 이용한 물체의 정확한 거리측정이 이같은 예가 될 수 있다.

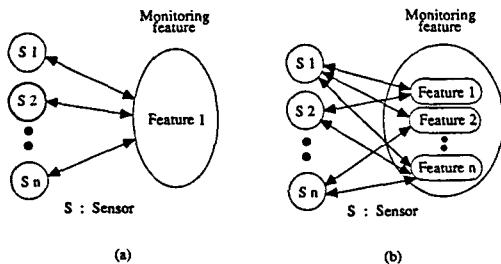


Fig. 1 Multi-sensing patterns

후자의 경우는 하나의 센서로 측정이 가능한 특성과 또 다른 센서로 측정이 가능한 특성 등을 중첩시킴으로써 계측의 신뢰성 향상 및 다양한 범위의 계측이 가능하기 때문에 동작기계나 가공시스템에서 가공process를

감시하거나 절삭공구의 이상감시에 이용된다. 이러한 복합계측 시스템의 기본구성은 다음 그림2와 같다.

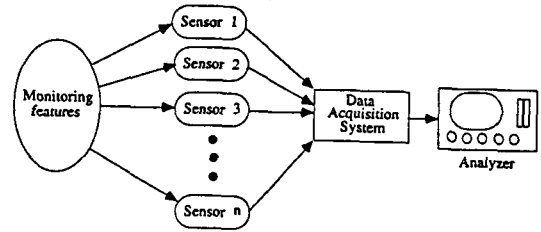


Fig. 2 Generalized multi-sensing system

이러한 복합계측은 넓은 의미로는 계측계의 정도적 결함을 보완하고 개선하는 방향으로 계측시스템을 구성하는 방법이고, 좁은 의미로는 계측성능을 향상시키면서 계측시스템의 구성을 최적화하는 방법이라고 볼 수 있다. [7]

본 논문에서는 가속도센서, 전류센서, 동작기계의 절삭동력계 (load meter) 를 이용하여 공구의 마모/파손이 발생할 때의 신호특성과 절삭시 연속형칩 (continuous chip) 이 발생하는 경우의 신호특성을 해석했고, 이 밖에 정상절삭시에 검출되는 신호특성에 대해서도 해석했다.

## 3. 복합계측의 특성 및 감시특성 (monitoring feature)

무인가공시스템이나 지식화된 시스템을 실현하기 위한 방법으로 여러 복합기술이 요구되고 있으나 이중에도 절삭공구의 이상검출이 실시간으로 감시되지 않으면 시스템의 신뢰성과 시스템으로서의 성능저하를 초래한다. 절삭가공중 공구의 상태를 실시간 감시하거나 가공면의 상태 및 칩의 형상등을 감시함으로써 가공process의 무인화를 실현할 수 있다. 이런 절삭공구의 실시간 감시나 절삭 칩의 형태를 감시하기 위한 연구는 무인화 및 지식화된 첨단 생산시스템을 실현시키는데 있어 반드시 필요한 기술이다.

이 때문에 많은 응용센서들이 개발되어 연구되고 있고, 접촉식프로브(touch probe) 등의 고가의 장비를 사용한 공구마모 측정도 시도되고 있으나 접촉식프로브의 경우 절삭유나 냉각수를 사용할때 장치의 기밀성(sealing)을 유지하기가 어렵기 때문에 정도를 떨어뜨리

므로 프로브를 공작기계의 작업영역과 분리하여 이용할 수 있는 machining center 등에서는 부분적으로 사용되고 있으나 기타의 경우에는 사용이 어려움이 있다. 실제 현장에서 사용되고 있는 방법은 이러한 많은 연구나 고가의 장비를 사용한 감시시스템이 있지만 너무 고가이고, 신뢰성이 낮아 현장에 사용하기에는 부적합하기 때문에 단순한 방법으로 배수관리를 하거나 몇개씩 추출하여 측정하는 방법이 이용되고 있는 실정이다.

이러한 상황에서 공구이상을 검출하는데 따른 신뢰도를 높이고, 공구이상을 검출하는데 따른 시간을 단축하기 위해서 복합계측(multi-sensing) 방법이 요구되고 있다.

복합 계측은 절삭시 발생하는 여러형태의 공구이상을 검출하기 위해서 공구의 이상형태에 대해 감도가 좋은 센서를 선택하고, 각 센서에서 검출된 신호로 부터 짧은 시간내에 이상특성을 추출하기 위해서는 센서별 감시특성(monitoring feature)를 찾아야 한다. 따라서 이 감시특성(monitoring feature)만을 해석함으로써 짧은 시간내에 공구이상 상태를 감시하고, 이상검출을 할 수 있다.

본 연구에서는 공구의 마모와 파손을 검출하기 위해서 가속도센서와 전류센서를 사용했고, 절삭에 따라 스피들들에 걸리는 절삭력의 변화를 공작기계의 절삭동력계로부터 검출했다. 각 단위 센서별 특성은 다음과 같다.

### 3-1. 가속도 센서

가속도센서는 외부 진동에 의한 센서내의 중추의 변위를 이용하여 가속도를 측정하는 센서로, 0.2Hz~수십 KHz 까지의 측정영역에서의 미소진동을 검출할 수 있기 때문에 많은 부분에서 다양하게 이용되고 있다.

본 연구에서는 절삭중 공구이상에 의해 발생하는 공구의 미소 진동특성을 해석하기 위해서 가속도센서를 사용했다. 절삭가공중 공구의 마모나 파손을 검출하기 위해서 사용되는 가속도센서는 링(ring type)으로 만들어 공작기계의 스피들유닛내에 설치하는 방법과 공구의 절삭날에 가까운 점에 설치하는 방법이 있다.

링 형태의 가속도센서는 절삭공구를 스피들에 설치하는 드릴이나 머시닝센터 등에서는 진동특성을 검출하기가 용이하다는 점은 있으나 공작기계의 스피들유닛을 조립하는 과정에서 설치해야 하기 때문에 설치하기가 쉽지 않다.

따라서, 본 연구에서는 설치상의 문제를 고려하고, 공구의 진동을 검출하기 위해 가속도센서를 터렛(turret)의 공구 홀더에 설치해서 절삭특성을 검출했다. 사용된 가속도센서의 특징은 다음과 같다.

- 입력 감 도 : 20mVp-p/G ±10%
- 횡 감 도 : 5% max
- 직 선 성 : ±5%
- 공진주파수 : 8KHz
- 응 답 성 : 5Hz~6KHz ±3dB

### 3-2. 전류센서 및 절삭동력계

전류센서는 홀소자나 전자유도형 마그네토미터를 사용하여 동선에 흐르는 전류를 측정할 수 있는 센서로, 공작기계의 경우 주축 스피들모터(spindle motor)와 X, Y, Z축의 이송모터(feed motor)의 전류를 측정할 수 있는데, 본 연구에서는 주축 스피들모터의 전류특성의 변화를 검출하여 공구의 이상을 검출했다.

CNC 공작기계는 공작기계의 제어기에서 지시된 절삭 속도에 따라 스피들모터를 구동시켜 스피들을 회전시키고, 스피들의 회전정보는 PC(position coder)를 통해서 다시 속도제어회로(velocity control circuit)와 모터 제어회로 및 PWM회로를 통해서 다시 모터에 피드백된다.

따라서, 스피들이 회전할 때 가공물의 절삭이나 공구 이상으로 인해서 절삭력이 변하거나 외부에서 작용하는 힘의 변화에 의해서 스피들모터에 걸리는 부하가 변한다. 이에 따라, 모터에 작용하는 전류는 모터에 작용하는 토크에 비례하기 때문에 정상절삭의 경우와 공구이상이 발생할 때의 전류특성을 해석하면 절삭중 공구이상을 검출할 수 있다. 절삭실험에 사용된 공작기계는 3상 AC서보모터를 사용한 CNC선반이고, 이중 U상에 작용하는 전류의 변화를 측정했으며, 사용된 전류센서의 사양은 다음과 같다.

- 측 정 범 위 : 0~75 Amp (AC, DC)
- 응 답 시 간 : 0.1msec (DC), 25msec (AC)
- 출 력 값 : 2.23V (DC)

또, 공작기계의 스피들 서보유닛(spindle servo unit)의 절삭동력계에 의해서 출력되는 절삭력의 변화를 검출하여 공구이상이 발생할 때의 특성을 해석했다.

절삭중 CNC선반의 스피들유닛내에 작용하는 절삭력의 변화를 찾기 위해서 스피들서보유닛내의 절삭동력계로부터 스피들모터의 최대출력에 대한 작용하는 힘의

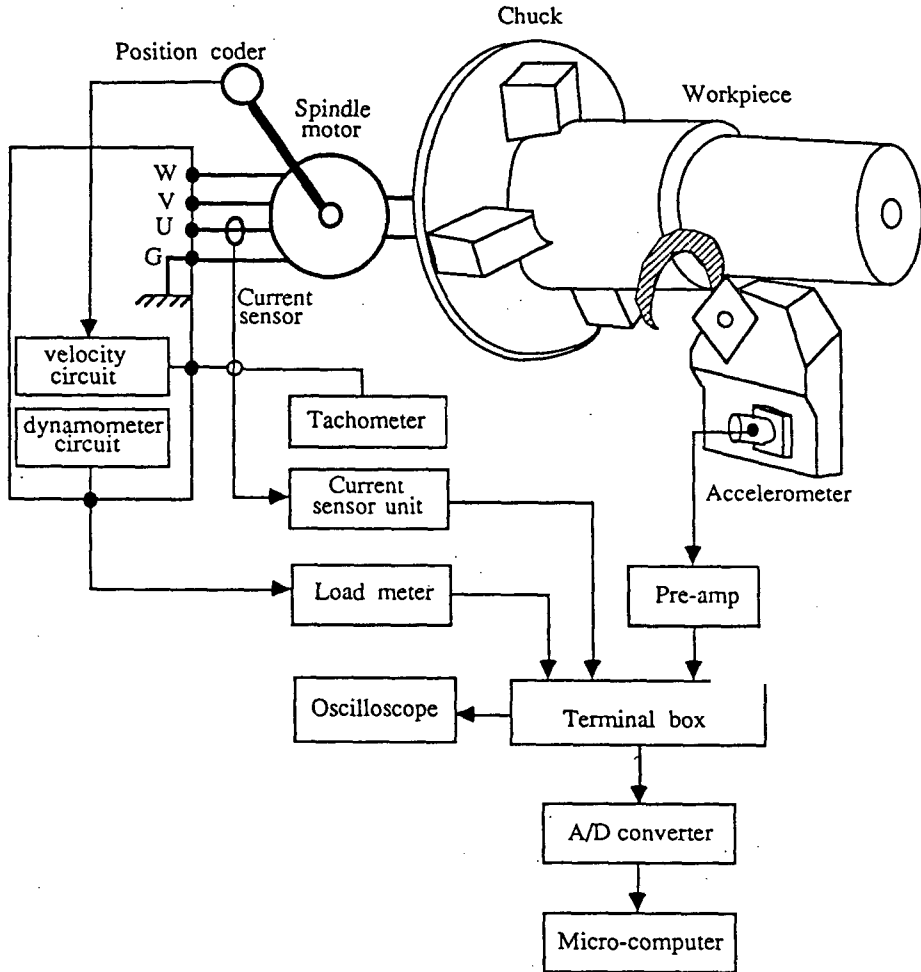


Fig.3 Block diagram of experimental system

백분율을 DC값으로 검출했다. 일반적으로 절삭동력계에서 얻어지는 값은 100%일때 스펀들유니트의 종류에 따라 다르나 대략 5~6.66V사이의 값을 가지고 있고, 이 값은 최대200% 까지 증가한다.

#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4-1. 실험장치의 구성

공구이상을 검출하기 위한 가속도센서, 전류센서 및 공작기계의 절삭동력계를 이용한 복합계측시스템의 구성은 다음 그림3과 같다. 그림과 같이 가속도센서는 절삭

중 공구의 진동특성을 정확하게 찾기 위해서 공구의 홀더에 설치했고, 센서에서 검출되는 미소신호는 내장된 Pre-amp에 의해서 증폭되며, 증폭된 신호는 가속도센서의 제어기에 입력된다.

가속도센서의 제어기에서 얻어지는 신호는 DC 0~10V이며, 이 신호 변화를 해석함으로써 공구이상특성을 검출할 수 있다. 또, 가속도센서의 경우 설치위치에 따라 응답특성이 다르고, 절삭점에 너무 가까이 설치할 경우 절삭시 심한 진동에 의해서 공구이상에 의한 특성(feature)을 추출하기가 어렵다. 따라서 여기서는 공구홀더에 직각방향으로 설치함으로써 공구홀더의 직각

방향으로의 진동특성을 얻었다.

전류센서는 3상 AC서보모터에 작용하는 전류의 변화를 측정하기 위해서 U에 설치했다. 여기서, U, V, W는 서로 120°의 위상차가 있기 때문에 어느 상의 전류를 측정하더라도 동일한 사인파(sinusoidal) 특성을 얻을 수 있다.

$$U = A \sin Wt$$

$$V = A \sin (Wt + \psi)$$

$$W = A \sin (Wt + 2\psi)$$

전류센서에서 검출된 전류는 0~2.5V DC로 변환되어 검출되기 때문에 A/D 변환기를 통하여 신호해석이 가능하다.

이렇게 센서에서 검출된 신호는 각각의 Pre-amp를 거치거나 아니면 직접 12bit A/D 변환기를 통해서 얻어지며, 검출된 신호는 마이트로컴퓨터에서 신호 처리했다.

#### 4-2. 실험 방법 및 신호해석

절삭실험은 표준절삭조건을 기준으로 절삭조건에 따른 신호특성과 절삭날의 상태에 따른 신호특성을 해석하기 위해서 다음과 같은 실험조건을 사용했다.

- 가공물의 재질 : S45C, SCM440
- 인서트의 종류 : 텅스텐카바이드
- 절삭조건 : 절삭속도 180m/min, 이송량 0.1mm/rev  
절삭깊이 0~2.0mm

절삭실험방법은 절삭깊이에 따른 신호특성을 찾기 위해서 1회 절삭실험 후 인서트를 교환했고, 인서트의 형상은 공구파손시간을 단축시키기 위해서 깊이 0.5mm의 스톱을 낸 것과 정상상태의 인서트를 사용했다. 측정대상은 정상상태, 큰 파손(massive breakage)이 발생한 경우와 인서트의 선단이 파손(nose breakage)된 경우 및 연속형칩에 의한 얽힘(tangle)이 생길 때의 특성에 대해서 해석했다.

검출된 신호는 가속도센서의 경우 진폭의 변화와 진폭의 평균값의 변화를 이용했으며 이 경우 주파수특성도 분석했으나 시간응답특성이 좋기 때문에 주로 시간응답특성을 이용했다. 전류센서의 경우 peak amplitude histogram을 이용하여 peak값의 평균값을 구했고, 공작기계의 절삭동력계의 신호는 동일한 시간영역에서의 진폭의 평균값을 구했다.

#### 4-3. 절삭실험 결과 및 분석

절삭실험은 정상상태의 절삭특성과 공구이상이 발생했을 때의 신호특성을 비교/해석하기 위해서 전술한 바와 같이 다양한 절삭조건과 공구형태에 따라 검출했다. 여기서는 정상절삭시의 신호특성, 슬롯이 있는 인서트를 이용하여 공구파손이 생긴 경우의 신호특성, 절삭날의 선단부의 파손(nose breakage)이 생긴 경우의 신호특성과 연속형 칩의 얽힘(tangle)에 의한 신호특성을 구분하여 기술하겠다.

##### (1) 정상절삭시의 신호특성

정상절삭실험은 공구이상이 생기지 않은 상태에서 신호를 검출하기 위해 매 실험마다 새로운 인서트를 사용했으며, 동일한 절삭조건에서 공구파손이 발생한 경우와 신호특성을 비교했다. 가공물의 재질이 S45C인 가공물을 절삭속도 180m/min, 절삭깊이 1.5mm, 이송량 0.1mm/rev의 절삭조건으로 절삭할 때 가속도센서에서 검출된 신호특성은 그림4와 같고, 절삭깊이가 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm 일 때 스펀들모터에 걸리는 전류의 변화와 절삭동력계의 신호특성은 그림5, 그림6과 같다.

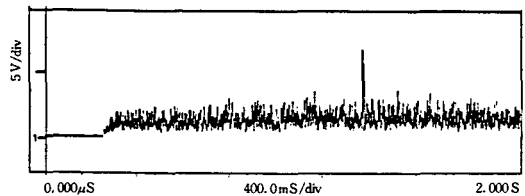


Fig. 4 Output signal of acceleration sensor (V=180m/min, depth=1.5mm, f=0.1mm/rev)

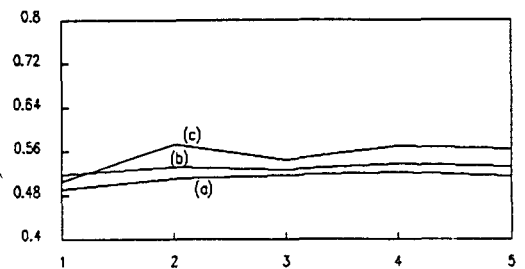


Fig. 5 Output signal of current sensor according to change of depth of cut : (a) 0.5mm, (b) 1.0mm and (c) 1.5mm (V=180m/min, f=0.1mm/rev)

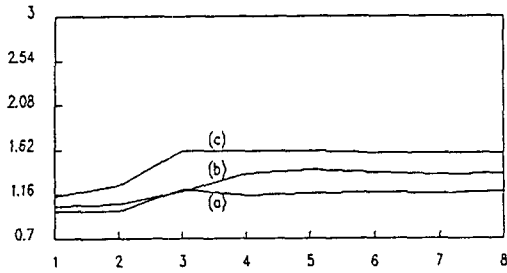


Fig. 6 Output signal of loadmeter according to change of depth of cut :  
 (a) 0.5mm, (b) 1.0mm and (c) 1.5mm ( $V = 180\text{m/min}$ ,  $f = 0.1\text{mm/rev}$ )

가속도센서에서 검출된 신호를 보면 전체적으로 약간 높은 진폭을 가진 신호특성임을 알 수 있고, 중간과 고진폭의 신호는 공구이상신호와와는 무관한 신호로서 칩과 센서의 충돌에 의한 신호특성이라 판단된다. 정상절삭실험 결과 절삭깊이의 증가에 따라 스피들모터에 작용하는 전류와 절삭동력계의 신호는 증가함을 알 수 있고, 여기서, 초기값은 비절삭시 즉, 공회전시의 신호특성이다.

또, 절삭속도 180m/min, 이송량 0.1mm, 1.5mm, 2.0mm 일 때 검출된 가속도센서 신호의 진폭의 평균값은 그림7과 같이 절삭깊이가 증가함에 따라 진폭인 큰 신호가 검출됐고, 검출된 신호의 평균값은 4096개의 데이터를 각 sweep별로 평균화한 것이다.

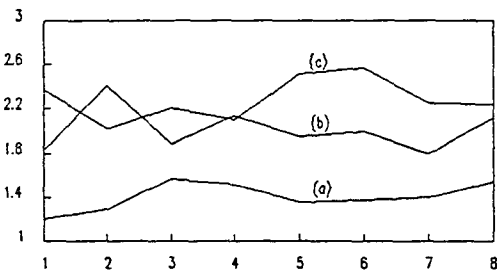


Fig. 7 Average of acceleration sensor amplitude according to change of depth of cut : (a) 0.5mm, (b) 1.0mm and (c) 1.5mm

절삭깊이에 따라 스피들모터에 작용하는 전류와 절삭동력계에서 검출된 신호의 증가는 절삭깊이가 증가함에 따라 절삭량(material removal rate)의 증가로 인해서 스피들모터에 걸리는 부하가 증가하고, 이에 따라 스피

들모터에 작용하는 전류가 증가한다. 또한, 절삭량의 증가로 스피들과 절삭공구에 작용하는 토크가 증가하기 때문에 절삭동력계의 신호특성이 증가한다.

(2) 공구파손(massive breakage)시의 신호특성

공구파손을 짧은 시간내에 발생시키기 위해서 슬롯이 있는 인서트를 사용하여 절삭속도 180m/min, 절삭깊이 2.0mm, 이송량 0.1mm의 절삭조건에서 공구파손이 발생했는데 이때 검출된 가속도센서의 신호특성은 그림8, 그림9와 같다.

그림8의 결과는 50msec로 샘플링하여 얻은 결과로 큰 공구파손(massive breakage)이 발생한 순간 고진폭의 신호가 검출됐고, 점차 고주파의 신호특성이 나타났는데 이 특성은 파손된 공구면과 가공물의 심한 마찰에 의해서 나타난 신호특성이다.

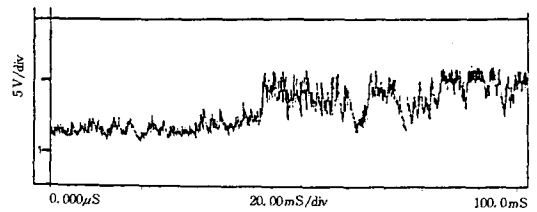


Fig. 8 Massive tool breakage signal  
 ( $V = 180\text{m/min}$  depth=2.0mm  $f = 0.1\text{mm/rev}$ )

그림9 (a)와 (b)는 500msec로 샘플링한 것으로, 초기 고진폭의 신호는 공구의 절삭날이 파손 되면서 발생한 신호 특성으로 (a), (b) 두 경우 동일한 특성임을 알 수 있고, (b)의 경우는 일차 파손이 발생한 후 파손된 공구와 가공물의 마찰에 의해서 고주파의 신호특성이 나타났다. (a)의 경우는 공구파손 직후 이송정지 상태에서 검출된 신호특성이다.

공구파손이 발생한 그림9 (a)와 (b)의 경우에 스피들모터의 전류와 절삭동력계의 신호특성은 그림10, 그림11과 같고, 이 경우 공구의 파손된 면과 가공물의 마찰이 생긴 경우 절삭동력계의 신호특성은 그림11과 같이 비슷한 특성을 가지나 마찰이 발생한 경우에 비교적 큰 변화를 가지면서 증가하고 있다. 전류의 경우는 그림10과 같이 그림9 (a)의 경우가 비교적 크게 나타났다.

또, 시간응답을 보면, 공구파손 순간에 전류센서와 절삭동력계의 응답시간은 가속도센서의 응답시간에 비해 약 200msec 정도의 시간지연(time delay)이 있었다.

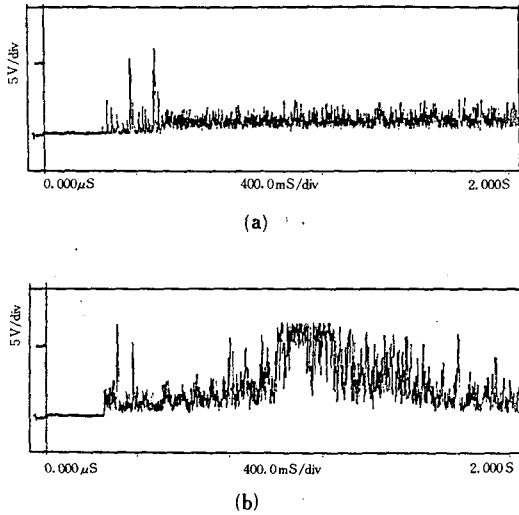


Fig. 9 Characteristics of acceleration sensor signal : (a) tool breakage signal and (b) tool breakage and friction between breakaged face and workpiece

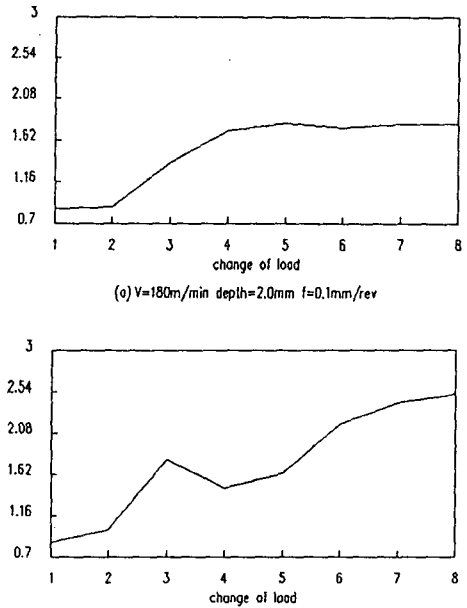


Fig. 11 Averaged loadmeter signal : (a) tool breakage signal and (b) tool breakage and friction between breakaged face and workpiece

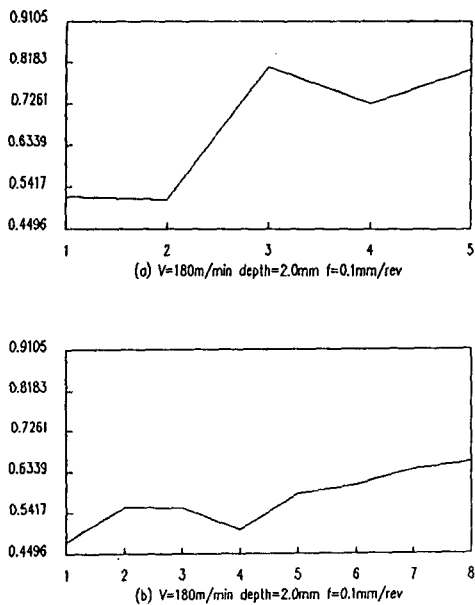


Fig. 10 Averaged current sensor signal : (a) tool breakage signal and (b) tool breakage and friction between breakaged face and workpiece

### (3) 선단파손(nose breakage)시의 신호특성

절삭날 끝의 미소한 파손이 발생한 경우 가속도센서, 전류센서 및 절삭동력계에서 검출된 신호특성은 동일한 절삭조건에서 공구파손이 발생하지 않은 경우의 신호특성에 비해서 그림12와 같이 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

가속도센서의 경우 정상절삭시 검출된 신호의 진폭(그림12-a)이 약간 크게 나타났으나 큰 차이가 없이 유사한 특성을 가지고 있음을 알 수 있고, 전류센서에서 검출된 신호특성을 보면(그림12-b) 공구파손이 발생한 경우에 전류의 값이 크게 증가했음을 알 수 있다. 또, 절삭동력계에서 검출된 신호특성(그림12-c)도 비교적 비슷한 경향과 특성을 가지고 있으나 절삭날의 선단부의 파손이 발생한 경우에 약간 큰 값을 가지고 있다.

이러한 특성은 공구의 절삭날 부의 미소한 파손이 발생한 면과 가공물의 연속적인 마찰 및 절삭에 의해서 공구의 진동은 미소한 변화를 나타낸 반면에 스피indle 모터의 경우는 모터의 출력이 증가하면서 전류가 증가했으며, 이와 함께 절삭토크의 증가로 절삭동력계의 특성이 증가했다고 판단된다.

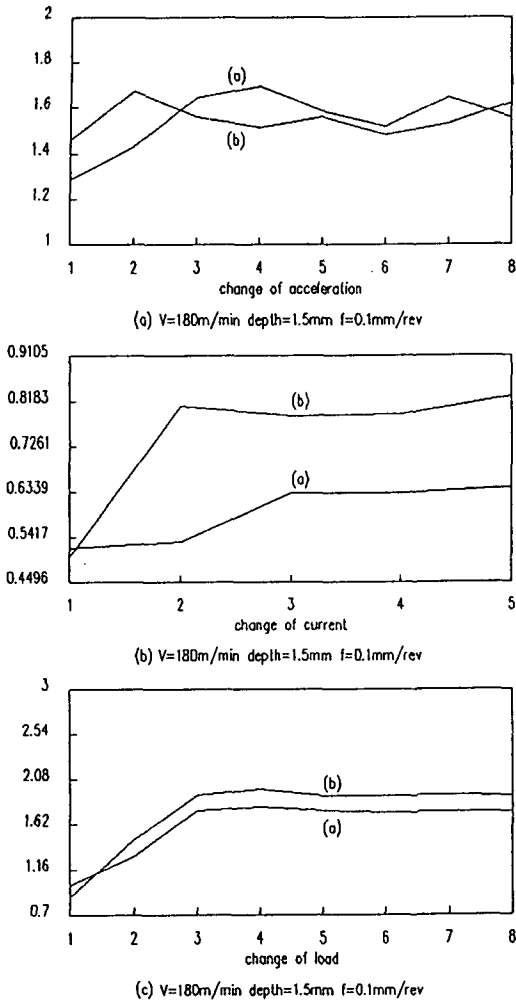


Fig. 12 Characteristics of acceleration sensor, current sensor and loadmeter signals : (a) normal condition and (b) nose breakage

앞의 실험결과로부터 공구파손인식을 위한 감시특성 (monitoring feature)을 찾기 위해서 실험결과와 정량적인 값과 각 센서의 출력특성값을 절삭깊이가 1.5mm 인 경우에 대해서 나타내면 다음 표1과 같다. 표1에 나타낸 바와 같이 공구파손의 경우 가속도센서의 진폭의 변화와 전류센서의 평균진폭특성, 절삭동력계의 평균진폭특성을 감시특성으로 이용하는 것이 좋다. 특히 시간 영역에서 가속도센서의 진폭특성은 공구파손이 발생한 순간 고진폭의 펄스가 발생하기 때문에 공구파손이 적합하다.

또, 전류센서의 경우 진폭이 0.8volt 이상이 되면

큰 공구파손으로 판단할 수 있고, 절삭동력계의 경우는 1.8volt 이상이 되면 공구파손으로 판단할 수 있다. 그러나, 본 실험에서 공구파손(massive breakage)과 선단파손(nose breakage)의 경우 정상절삭과는 확실한 구분이 가능하나 두 형태의 파손을 구분하는데는 가속도센서의 특성 외에는 분류하기가 어려웠다.

이 밖에 연속형칩에 의해서 칩의 얽힘이 심하게 발생했을 때 가속도센서에서 검출된 특성은 그림13과 같이 고진폭을 가진 특성이 나타났으나 전체적인 신호의 레벨은 증가하지 않았다. 이에 대해서는 지속적인 연구를 할 것이다.

Table 1. Output features in cutting tests (unit : volt)

Sensor	Normal condition	Massive	Nose breakage
가속도센서	2.4	6~7	1.7
전류센서	0.55	0.82	0.8
절삭동력계	1.6	1.82	1.9

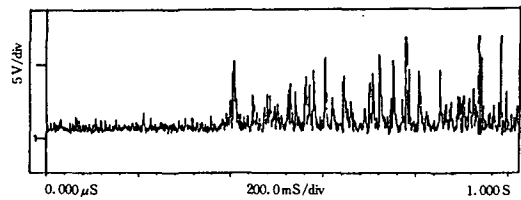


Fig. 13 Acceleration sensor signal when continuous chip has been tangled

## 5. 결 론

본 연구에서는 절삭가공중 발생하는 공구의 이상상태를 검출하기 위해서 가속도센서, 전류센서 및 동작기계의 절삭동력계를 이용하여 복합계측시스템을 구성했다. 이러한 복합계측시스템은 공구의 미소한 파손 및 큰 파손(massive breakage)등이 발생할 때 이상검출이 가능하고, 추후 공구의 이상감시를 실시간으로 검출하기 위해서 각 센서별 감시특성 (monitoring feature)을 찾기 위해서 구성했다.

여기서, 센서별 감시특성은 공구이상 발생했을 때



이를 판단하는데 따른 시간을 감소시킴으로써 복합계측 시스템의 신뢰성을 향상 시킬 수 있다. 본 연구에서 얻은 실험결과는 다음과 같다.

- 1) 공구의 절삭날의 큰 파손(massive breakage)이 발생한 경우 시간영역에서의 가속도센서의 진폭은 공구 파손이 발생한 순간 6~7 volt의 고진폭의 펄스가 나타났다. 전류센서와 절삭동력계의 평균진폭도 각각 0.8volt, 1.8volt로 민감하게 변하기 때문에 이 값을 감시특성(monitoring feature)으로 이용할 수 있다.
- 2) 공구의 큰 파손과 미소한 파손(nose breakage)은 표1과 같이 정상절삭과는 구분이 가능하나 가속도센서의 특성외에는 두 형태의 파손을 구분하기가 어려웠다.
- 3) 정상절삭의 경우 절삭깊이가 증가함에 따라 스핀들모터에 작용하는 전류의 평균진폭과 절삭동력계의 평균진폭특성은 각각 0.5mm의 절삭깊이변화에 대해서 0.02volt, 0.2volt씩 선형적으로 증가한다.
- 4) 연속형칩에 의한 워힘이 발생한 경우 가속도센서에서 검출된 신호는 신호의 전체적인 레벨은 증가하지 않고 돌발적인 특성으로 고진폭의 특성이 나타났다.

#### 참고문헌

1. K. B. Pedersen, "Wear Measurement of Cutting Tools by Computer Vision", Int. J.

- Mach. Tools Manufact., Vol. 30, No. 1, 1990
2. D. G. Wildes, et al, "Tool Breakage Detection by Monitoring Ultrasonic Vibrations", Annals of the CIRP, Vol. 37, No. 1, 1988
3. S. Rangwala, D. A. Dornfeld, "sensor Integration using Neural Networks for Intelligent Tool Condition Monitoring", J. of Eng. for Ind., Vol. 112, 1990
4. T. Moriwaki, "A New Approach to Automatic Detection of Tool Life of Coated Tool Based on Acoustic Emission Measurement", Trans. of the ASME, Vol. 112, 1990
5. Y. Altintas, "In-process Detection of Tool Breakages using Time Series Monitoring of Cutting Forces", Int. J. of Mach. Tools Manufact., Vol. 28, No. 2, 1988
6. M. A. Mannan, et al, "Monitoring and Adaptive Control of Cutting Process by means of Motor Power and Current Measurements", Annals of the CIRP, Vol. 38, No. 1, 1989
7. 小林彬, "복합계측: 역할과 문제점", 계측과 제어, Vol. 31, No. 1, 1992