

원칩 컴퓨터를 이용한 전류감시장치 개발  
 - 드릴가공에의 적용 -  
 Development of Current Monitoring Apparatus using One  
 Chip Computer  
 - Application to Drilling Process -

김 화 영\*(부산대학교 대학원)  
 안 중 환 (부산대학교 정밀기계공학과)  
 김 신 호 (한국기계 연구원 생산시스템실)

최근의 생산 시스템은 가공부품의 변화와 생산로트의 변화에 유연하게 대처하며 동시에 높은 생산성을 가질 수 있는 FMS, FMC, CIM와 같은 고도로 자동화된 유연생산 시스템으로 나아가고 있다.<sup>[1]</sup> 이런 자동화된 생산시스템에서 가공 작업은 주로 NC 공작기계나 로봇트를 중심으로 이루어지므로 자동화가 가능하며, 작업자는 주로 작업상태에 대한 감시진단을 담당하게 된다. 특히 NC 공작기계의 CNC 기술이 발달함에 따라 생산성 향상을 위한 무인운전의 필요성이 증대되고 있으며 따라서 작업자를 대신하여 높은 신뢰성을 유지한 채 작업을 수행할 수 있도록 하는 신뢰성 있는 감시 시스템을 필요로 한다.<sup>[2]</sup> 특히 공구파손, 공구마멸, 과부하와 같은 공구 상태 이상은 가공품에 치명적인 손상을 줄 수 있으므로 가공 시스템의 무인화를 위해서는 숙련된 작업자의 경험과 판단을 대신할 수 있는 실시간 공구상태 감시 장치가 필수적이다. 지난 수년간 공구상태에 대한 연구는 주로 적절한 감시신호와 감시전략의 개발에 대한 것이었다. 공구상태 감시 신호로는 절삭력, 모터전류, AE, 진동, 절삭온도 등을 주로 이용하고 있다.<sup>[3]</sup> 이중 절삭력은 가공 부하에 직접적으로 영향을 받으므로 가장 좋은 감시신호이나 실용화에 문제가 있다. 모터전류는 가공부하에 비례하는 신호로 절삭력에 비해 S/N비는 조금 떨어지나 신호의 검출이 용이하며, 공작기계의 구조 변경이나 작업에 영향을 주지 않으며, 별다른 센서가 필요 없다는 장점이 있다.<sup>[4]</sup> 모터전류를 이용하여 공구상태를 간접적으로 감시하는 것에 대한 연구가 일본, 미국, 유럽등에서 활발히 진행되어 왔으며, 이러한 축적된 연구 결과를 기초로하여 80년대 중반 부터 상품화를 시도하였으며 현재 각종 NC 공작기계에 표준 혹은 선택사양으로 부착되어 있다. 대부분의 상품화된 모터전류 감시 장치에서 모터전류를 검출하는 센서로는 주로 홀(Hall)센서, CT(Current Transformer)센서, 저항센서등을 이용하고 있다.<sup>[5]</sup> 표1은 현재 상품화되어 있는 모터전류 감시장치의 특징을 나타낸다.

이들 모터전류 감시 장치들은 모두가 공구파손인 경우는 적절한 경계값에 의한 레벨판정을 행하고 있으며, 공구마멸인 경우는 레벨감시와 가공갯수의 계수를 통한 연산 판정 등의 방법을 이용하고 있다. 레벨감시의 경우 신뢰성 있는

경계값의 설정이 중요하나, 현재 상품화된 모터전류 감시장치에서 경계값의 설정은 학습을 통해 얻거나 작업자가 임의로 설정하는 등의 방법을 이용하고 있으므로 객관적이며 신뢰성있는 경계값의 설정이 어렵다는 단점이 있다. 또 연산판정에 의한 방법도 동일한 가공조건에서 동일한 공구를 가지고 가공하더라도 공구수명의 편차가 큼으로 이 방법도 경제적이지 못하다는 단점이 있다. 또한 절삭공정 자체가 상당히 복잡한 비선형 시스템으로 단순한 레벨 판정으로는 신뢰성 있는 감시가 힘들다. 따라서 이러한 단점을 보완할 수 있는 방법으로 주축, 이송축 모터전류에 포함되어 있는 다양한 정보를 이용하고, 이들 정보를 처리하는데 인공지능적인 기법을 이용하는 지능형 다중감시에 대한 연구가 필요하다.<sup>[6]</sup>

본연구에서는 실제 상품화가 가능한 지능형 전류 감시장치를 개발하는 것을 그 목적으로 하였으며 인텔8096 단일칩 콘트롤러를 이용하여 이를 실현하였다. 개발된 장치의 성능평가를 위해 드릴가공에 적용하였다.

표 1. 모터전류감시장치의 제품별 특징

제품명	감시대상	신호처리	회사명
MONICOS-AIIM	공구파손,공구마멸	레벨판정 연산판정	日立精機
LOAD MONITOR	공구파손,공구마멸	레벨판정	OKUMA
TOOL MONITOR	공구파손,공구마멸	레벨판정	木田機械
TM2000	공구파손,공구마멸	레벨판정 연산판정	SANDVIK
CCM- I <sub>b</sub>	공구파손,공구마멸	레벨판정	大阪機工
MOP-TOOL	공구파손,공구마멸	레벨판정	OKUMA
LOAD METER	공구파손,공구마멸	레벨판정	森精機

2. 전류감시장치 개발

2.1 전류감시장치 사양

본연구에서 개발한 전류감시 장치는 인텔8096 단일칩 콘트롤러를 기본으로하여 개발하였다. 인텔8096은 최대 45KHz의 샘플링 주파수를 가진 10비트의 A/D변환기를 내장하고 있고 16비트의 데이터 버스를 가지고 있으므로 실시간처리

를 필요로 하는 용도에 적합한 단일칩 컨트롤러이다. 시스템 개발언어로는 인텔에서 제공하는 전용 개발언어인 C96 C언어와 ASM96 어셈블리어를 사용하였다.<sup>17,18)</sup> 표 2는 본 연구에서 개발한 장치의 사양을 나타낸다.

표 2. 전류감시장치 사양

CPU	8097BII
RAM	8Kbyte
ROM	8Kbyte
A/D채널 수	8CH
기준 클럭	12MHz
디지털 입력	8개
디지털 출력	8개
LCD	4×20 문자
통신 포트	RS232C

## 2.2 구성

그림1은 본 연구에서 개발한 전류감시장치의 구성을 나타낸다. 전체 시스템은 신호의 검출 및 조정을 담당하는 전처리부(Pre-Processing Unit), NC데이터 및 감시 정보를 주고 받는 데이터 전송부(Data Transmission Unit), 감시진단을 행하는 감시부(Monitoring Unit), 감시 결과를 처리하는 후처리부(Post Processing Unit)로 구성되어 있다.

### (1) 전처리부

감시신호 즉 주축, Z축모터전류를 읽어들이는 곳으로 센서, 증폭기, 신호 조정기(Signal Conditioner)로 구성되어 있다. 센서로는 NC장치에 내장된 CT(Current Transformer)센서를 이용하므로 별다른 센서가 필요없다. 센서의 출력전압을 증폭한 후 필요하다면 신호조정기를 이용하여 영점 조정을 수행한다.

### (2) 데이터 전송부

감시장치와 NC 장치사이의 정보전달 및 DNC시스템으로 운용될 경우 DNC 호스트 컴퓨터와의 정보전달을 담당하는 곳으로 RS232C와 디지털 입력(Digital Input)으로 구성되어 있다. RS232C로 통해 DNC호스트 컴퓨터로부터 작업할 NC블럭을 전달받으며 작업결과 축적된 데이터를 컴퓨터로 전송한다. 디지털 입력은 NC장치와 연결되어 감시모드 Enable, 사용 공구번호와 같은 감시에 필요한 정보를 전달받는다.

### (3) 감시부

전처리된 신호를 샘플링하여 신호처리를 통해 공구상태를 감시하는 곳으로, A/D변환부 및 실시간 감시부로 되어 있으며 인텔 8096 단일 칩 컨트롤러를 이용하여 구성하였다. A/D변환은 8096에 내장된 10비트 A/D컨버터를 이용한다. 실시간 감시부는 A/D변환한 후 공구 상태를 잘 나타내는 특징 벡터를 추출하고 추출된 특징 벡터를 이용하여 레벨감시 및 퍼지 패턴인식을 통해 현재 공구 상태를 감시한다. 감시결과를 후처리부로 내 보내며 공구파손 및 공구마멸이 심각하게 되면 디지털 출력(Digital Output)으로 제이 지령을 내보낸다.

### (4) 후처리부

감시결과 및 현재의 부하상태를 표시하는 곳으로 LCD디스플레이, 디지털 출력(Digital Output), 레벨 미터(Level Meter)로 구성되어 있다. 감시 결과를 LCD에 나타내며 레벨미터로 현재의 모터전류의 크기를 나타낸다. 디지털 출력은 NC장치내의 PLC접점으로 현재의 공구 마멸 상태에 대한 정보를 제공한다. 감시 결과 공구파손 및 공구마멸이 발생하게 되면 NC장치에 기계급정지, 이송정지, 경보와 같은 제어 지령을 보낸다.

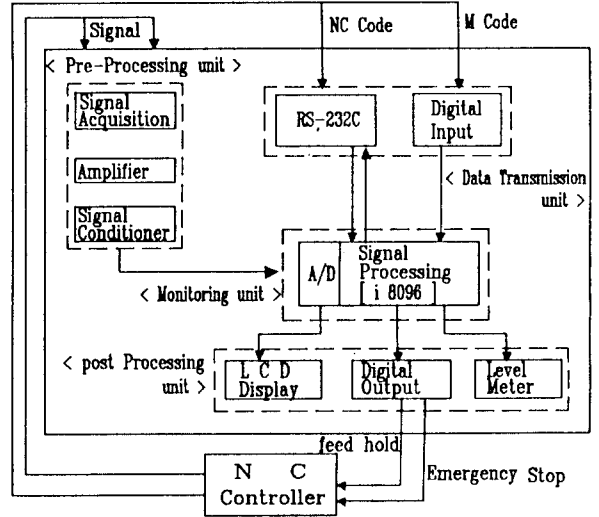


그림1. 전류감시 장치 구성

## 2.3 전류감시장치와 NC장치와의 정보전달

NC장치에 사용되는 M 코드중 사용자를 위해 준비되어 있는 예비 M코드를 이용하여 NC장치와 감시장치 사이에 필요한 정보를 교환한다. 표 3은 감시에 사용된 감시용 M 코드를 나타낸다. 감시장치는 NC장치로부터 M93, M94, M95 신호를 읽어들이어 현재 작업중인 공구를 인식하여 각 공구에 맞는 표준 감시 데이터를 준비한다. 또한 감시장치는공구 상태에 대한 감시 결과를 NC장치로 내 보내기 위해 NC장치의 M96, M97 신호선과 연결한다. 표 4는 공구

표3. 감시용 M코드

M Code	요구 내용
M91	감시장치 전원 ON
M92	감시 모드 Enable
M93	공구번호 지정
M94	공구번호 지정
M95	공구번호 지정
M96	감시상태 출력
M97	감시상태 출력

상태 감시결과를 나타내는 코드이다. 공구 상태를 공구마멸의 크기에 따라 3단계(초기, 정상, 심각)와 공구파손으로 분류한다. M96, M97에서 1, 0의 신호가 들어오면 DNC 호스트 컴퓨터는 공구마멸에 따른 공구교환시점으로 인식하게 되며 1, 1인 경우는 공구파손으로 발생한 것으로 DNC 호스

표4. 공구상태 감시 출력 M코드

M96	0	0	1	1
M97	0	1	0	1
공구 상태	초기	정상	심각	공구파손

표 5. 공구번호 지정 M코드

M93	1	0	1	0	1	0	1
M94	0	1	1	0	0	1	1
M95	0	0	0	1	1	1	1
공구번호	1	2	3	4	5	6	7

트 컴퓨터가 인식하게 된다. 표 5는 공구번호 지정 M코드를 나타낸다. NC 프로그래밍 단계에서 감시에 필요한 Mcode를 삽입하여 프로그래밍한다. T01은 M97만 내어주면 되며, 감시장치는 T01공구라고 인식하게 된다. G01 다음에 M92를 출력하여 감시장치가 감시모드로 들어가게 한다. 그림2는 NC 장치와 모터전류 감시 장치사이의 정보교환을 나타낸다. 이렇게 M code를 이용하여 NC장치와 정보를 교환하므로 상위에 있는 DNC 호스트 컴퓨터에서 현재 NC장치내의 PMC(PLC)의 점점 상태를 읽어들이므로 현재의 운전 상태에 대한 감시 및 공구상태에 대한 감시도 수행할 수 있으므로 신뢰성 있는 DNC 운전을 수행할 수 있게 된다.

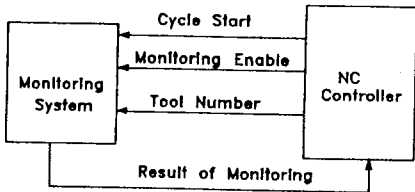


그림2. NC장치와 감시장치사이의 정보전달

## 2.4 감시 알고리즘

그림3은 감시 알고리즘을 나타낸다.

### (1) 공구파손 감시

NC 장치로부터 감시 모드 enable신호인 M92가 들어오면 감시를 행한다. 공구파손의 경우는 급작스럽게 일어나는 돌발적인 이상으로 예측이 어렵기 때문에 실시간 감시가 굉장히 중요하다. 일반적으로 공구파손의 경우 파손 직전 급격히 부하가 증가하므로 모터전류의 파워값의 변화가 크게 나타나게 된다. 따라서 공구파손의 경우는 레벨감시를 통해 신속하게 감시할 수가 있다. 공구파손이 발견되면 NC장치로 급정지 명령을 내리며 이상이 없으면 현재 수행 중인 블록의 작업이 끝나는지를 판단한 후 끝났으면 공구

마멸 감시를 행한다. 레벨감시를 위한 경계치는 학습 실험이나 경험데이터로 구한다. 본연구에서는 주축모터전류의 경우 정상값의 200%, Z축 모터전류의 경우 정상값의 20%을 경계값으로 하였다.

### (2) 공구마멸감시

공구마멸은 공구파손과 달리 점진적으로 일어나는 프로세스로서 공구파손에 비해 예측이 쉬우며, 순간적인 모터전류 파워치의 상승보다 전반적인 추세변화가 더 중요한 정보를 가지게 된다. 드릴 작업의 경우 NC프로그램의 한 블록이 끝날 때까지 레벨감시를 통해 공구파손을 감시하고 이상이 없으면 현 블록 작업에 대한 전류 데이터를 이용하여 파워값을 구한뒤 전체적인 경향을 얻기위해 지수평활화법을 이용하여 평활화한 다음 퍼지패턴인식을 이용하여 공구마멸 상태를 감시한다.<sup>9,10)</sup> 퍼지 패턴인식에는 Bezdek이 제안한

퍼지 C-means 알고리즘을 사용하였다.<sup>11)</sup> 공구마멸상태를 초기(initial), 정상(normal), 심각(severe) 3단계로 인식하였으며 심각 단계의 값이 0.5 이상이 되면 심각한 공구마멸로 인한 공구교환 시점으로 진단하고 feedhold명령을 NC 장치에 보내준다. 공구마멸이 심각하지 않으면 작업이 끝나는지를 판단한 후 작업이 끝나지 않았으면 다른 감시 명령을 기다리게 한다.

## 3. 평가 실험장치 및 방법

개발한 전류감시장치의 성능을 평가하기 위해 드릴작업에서 평가실험을 수행하였다. 그림4는 실험 장치도를 나타낸다. 평가 실험을 위해 데이터 레코더에 기록하였으며 실시간 감시인 경우는 전류감시장치로 센서의 출력 신호를 직접 받아들여 감시를 수행한다. 머시닝센터는 수직형 AV-30(대우 중공업 제)이고, 데이터 레코더는 비디오카세트 데이터 레코더(RACAL제 V-Store)이다. 모터 전류는 NC장치에 내장된 CT센서의 출력값을 이용하여 검출하였다. 드릴 작업에 사용한 공작물의 재질은 S45C이며, 드릴은 직경이 6mm인 HSS공구를 사용하였다. 표 6은 실험에 사용한 절삭 조건을 나타낸다. 감시장치 운용 프로그램의 개발은 컴퓨터에서 작업한 후 ROM 에뮬레이터(Emulator)를 이용하여 전류감시 장치내의 ROM으로 보내어 알고리즘을 평가하고 이상이 없으면 EPROM에 알고리즘을 집어 넣어 컴퓨터와 별개로 운용될 수 있도록 하였다. 그림 5는 ROM 에뮬레이터를 이용한 프로그램 개발과정을 나타낸다.

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4.1 공구파손 감시

그림6은 공구파손시 모터전류의 레벨값 변화를 나타낸다. A는 공회전, B는 가공시작, C는 가공중을 나타내며, Z축모터전류에서의 급격한 증가는 급속이송을 나타낸다. 공회전시 주축 및 Z축모터전류는 각각 0.15V, 0.25V이며, 가공중 주축 및 Z축모터전류는 각각 0.5V, 0.4V이다. 처음에

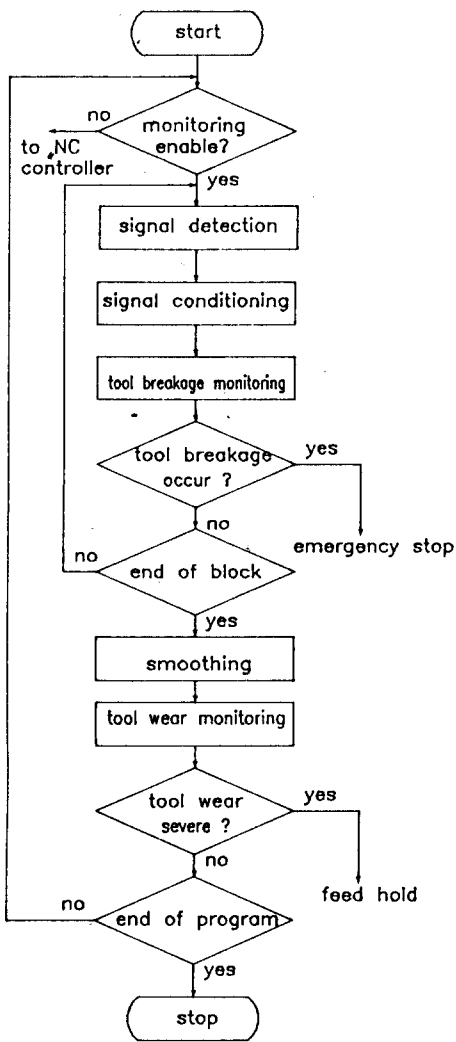


그림3. 감시 알고리즘

는 정상적인 작업이 이루어지나 3번째 구멍 가공시 공구파손이 일어났다. 이때 주축 모터전류는 1.4V까지 급격히 증가한후 정상값보다 낮게 뚝 떨어지고, Z축모터전류는 0.1V까지 크게 감소한후 정상값보다 크게 증가한다. 이는 공구파손 직전에는 주축 및 Z축모터에 각각 큰 토크와 추력(thrust force)이 가해지나, 공구파손이 생기면 주축 및 Z축모터에 토크와 추력이 걸리지 않기 때문이다. 그림7은 Z축서보 이송계의 구조를 나타낸다.<sup>[12]</sup> Z축모터 전류의 경우 추력 방향의 부하가 커질수록 모터에 흐르는 전류의 크기는 그에 비례하여 작아진다. 이는 Z축모터의 구조적인 특성상 추력이 자중의 반대 방향으로 작용하므로 추력이 클수록 실제 모터에 걸리는 부하는 감소하기 때문이다.

표 6 절삭조건

Cutting Speed (rpm)	Feedrate (mm/min)	Depth of Cut (mm)
1900	285	11

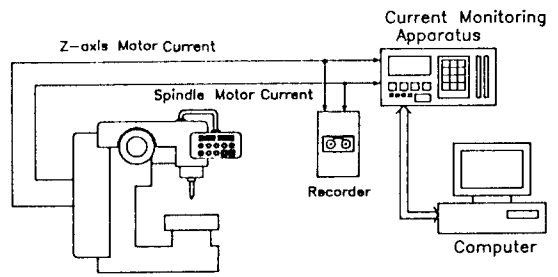


그림4. 실험 장치도

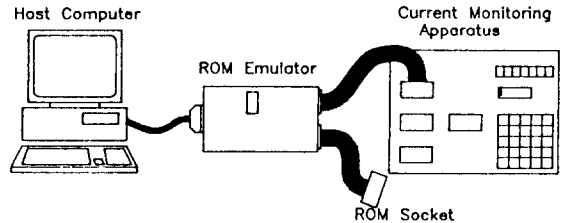


그림5. ROM에뮬레이터를 이용한 프로그램 개발과정

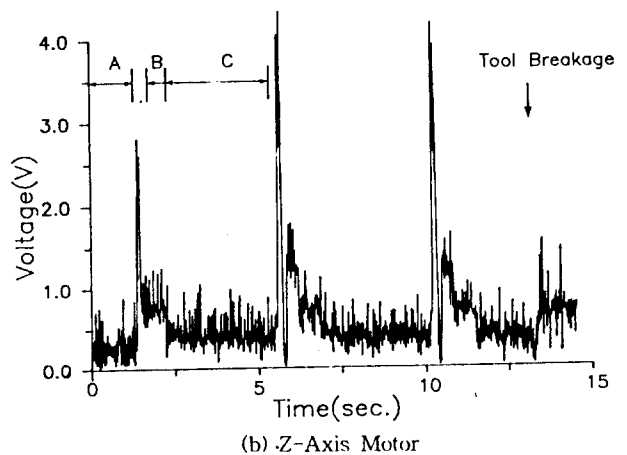
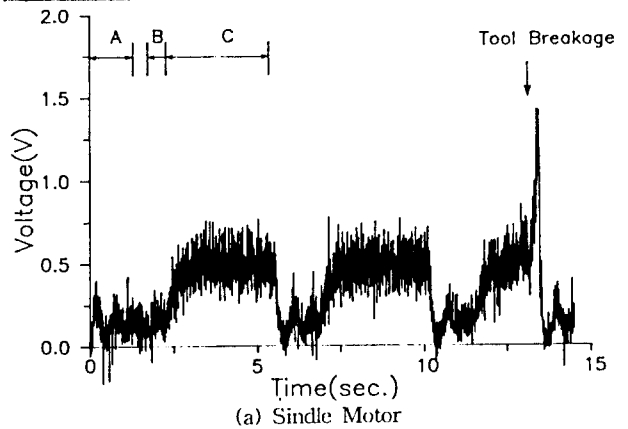


그림6. 공구파손시 모터전류 레벨값 변화

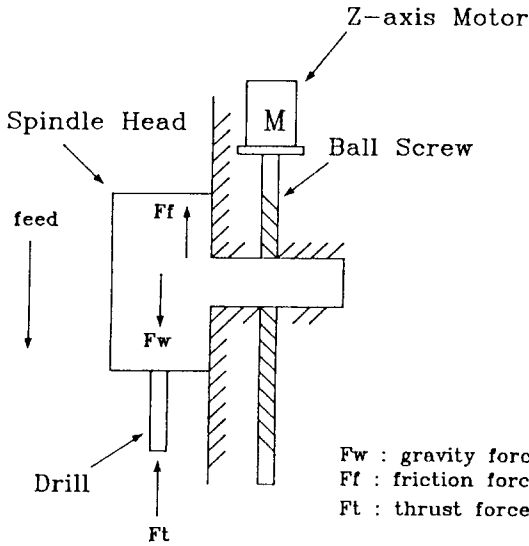


그림7. Z축 시보 이송계의 구조

#### 4.2 공구마멸 감시

Ø6mm 드릴에 대해 표6과 같은 절삭 조건으로 공구가 심각하게 마멸될 때 까지 사용하여 가공하였으며, 487개 구멍을 가공한 후 심각하게 마멸되었다. 그림 8은 Ø6mm 드릴에서 공구마멸이 진행됨에 따른 주축 모터 전류와 Z축 이송 모터 전류의 변화를 나타낸다. 공구 마멸이 진행됨에 따라 주축 모터 전류는 초기엔 증가가 빠르나 정상상태에 도달하면 작업의 진행에 따라 완만히 증가하고 공구 수명이 다 되면 다시 급격히 증가한다. Z축 이송 모터 전류는 초기엔 감소가 빠르나 정상상태에 도달하면 작업의 진행에 따라 완만히 감소하고 공구 수명이 다 되면 다시 급격히 감소한다. 이는 일반적인 공구수명 곡선의 경향과 일치하는 것으로 모터전류가 공구수명에 민감한 신호임을 나타낸다. 실시간 마멸 상태 분류를 위해 평가 실험과 비슷한 절삭조건에서 구한 데이터를 학습 데이터로하여 피지 C-means 알고리즘에 의해 클러스터 센터를 구하거나 이전에 준비된 클러스터 센터를 이용할 수 있다. 여기서는 이전에 비슷한 절삭조건에서 구한 클러스터 센터를 이용하였다. 표 7은 실시간 공구 마멸 감시를 위해 사용된 클러스터 센터를 나타낸다. 이 클러스터 센터를 이용하여 평가 실험에 대한 마멸 상태를 분류하였다. 그림 9는 평가 작업중 드릴 마멸 상태를 on-line 감시한 결과를 나타낸다. 처음에는 초기(initial) 클러스터의 퍼지 등급이 크나 작업이 진행될수록 심각(severe) 클러스터의 퍼지 등급이 커짐을 알 수 있으며, 약 485개 가공후 공구교환 시기로 인식하였다.

본연구에서 개발한 전류감시장치는 원칩 컴퓨터를 기본으로하여 구성되었기 때문에 상당히 유연성이 좋으며 따라서 소프트웨어적으로 감시 시스템의 성능을 개선시킬 수가 있고 드릴가공 뿐만 아니라 선삭, 밀링 공정등 다양한 공정에 대한 적용도 가능하리라 본다.

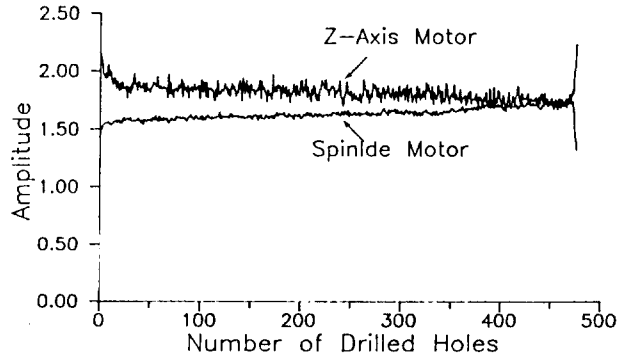


그림8. 공구마멸 진행에 따른 모터전류값 변화

표.7 클러스터 센터

Cluster Center	Spindle Motor Current	Z-Axis Motor Current
Initial	1.4560	1.9935
Normal	1.6280	1.8028
Severe	1.8995	1.5060

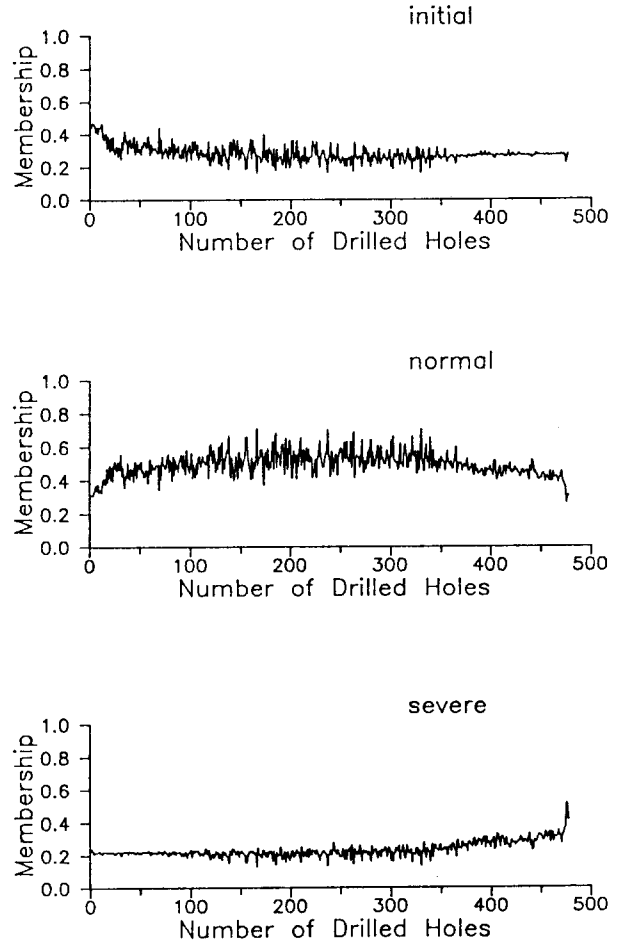


그림9. 공구마멸 상태에 대한 퍼지패턴인식 결과

## 5. 결론

본 연구에서는 8096 원칩 컴퓨터를 이용하여 전류 감시장치를 개발하였으며, 드릴작업을 통해 평가실험을 하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1)인텔 8096 원칩 컴퓨터를 이용한 전류감시장치를 개발하였다.
- (2)전류감시장치를 이용한 레벤 감시를 통해 드릴작업시 발생할 수있는 공구파손을 감시할 수 있었다.
- (3)피지 패턴 인식을 이용하여 공구마멸 상태를 감시할 수 있었다.

## 6.참고문헌

- [1] 清水 日出樹,“生産システムへのニーズと開発技術”, 機械工具 1994年 1月號, pp.14-20.
- [2] 堅村 幸辰,“FA運用加工のための監視技術”,應川機械工學,1992年 9月號, pp.70-76.
- [3] Li Dan,and Mathew,J., 1990,“ Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning- a Review”, Int.J.Mach.Tools Manufact., Vol.30, No.4, pp.579-598.
- [4] Kashimoto, M., Sakamoto, C., Wakai, H., Kado, S., Mizutani,E., 1983,“Development of a Tool Breakage Detection System”, Proceedings of the CIRP Seminars, Manufacturing Systems, Vol.12, No.3, pp.227-237.
- [5] 尼關方隆外, 全在昇譯, 센서인터페이스 No. 3, 기전연구사, 1987.
- [6] S.Rangwala, D.Dornfeld “Sensor Integration Using Neral Networks for Intelligent Tool Condition Monitoring”, ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol.112 AUG.,pp 219-228, 1990
- [7] 나종래,문세홍,유영재,인텔 8096 구조와 설계,Ohm 사,1991
- [8] 문세홍,인텔 i8096 C프로그래밍 자동제어 실습,Ohm 사,1993
- [9] 鈴木義一郎, データ解析術,實教出版, pp 110-114, 1977
- [10] 김화영,안중환,“공작기계 지능화를 위한 다중 감시 시스템의 개발-드릴 가공에의 적용-”, 정밀공학회지, 제 10권,제4호,pp.142-151.
- [11] James C. Bezdek, “prototype classification and feature selection with Fuzzy Set”, IEEE Trans. System, man and cybernetics, Vol SNC-7 No. 2 Feb. 1977.
- [12] FUJITSU FANUC LTD., FANUC SYSTEM 0M-B Maintenance and Operator's Manual