

본 논문은 1991년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 지방대육성 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

공작기계 지능화를 위한 다중 감시 시스템의 개발  
- 드릴가공에의 적용 -

김 화 영\*, 안 중 환\*\*

Development of a Multiple Monitoring System for Intelligence of a Machine Tool  
- Application to Drilling Process -

H. Y. Kim\*, J. H. Ahn\*\*

ABSTRACT

An intelligent multiple monitoring system to monitor tool/machining states synthetically was proposed and developed. It consists of 2 fundamental subsystems: the multiple sensor detection unit and the intelligent integrated diagnosis unit.

Three signals, that is, spindle motor current, Z-axis motor current, and machining sound were adopted to detect tool/machining states more reliably. Based on the multiple sensor information, the diagnosis unit judges either tool breakage or degree of tool wear state using fuzzy reasoning. Tool breakage is diagnosed by the level of spindle/z-axis motor current. Tool wear is diagnosed by both the result of fuzzy pattern recognition for motor currents and the result of pattern matching for machining sound. Fuzzy c-means algorithm was used for fuzzy pattern recognition.

Experiments carried out for drill operation in the machining center have shown that the developed system monitors abnormal drill/states drilling very reliably.

**Key Words** : Intelligent Multiple Monitoring (지능형 다중감시), Motor Current (모터전류), Machining Sound (기계음), Fuzzy Reasoning (퍼지 추론), Fuzzy Pattern Recognition (퍼지 패턴 인식), Pattern Matching (패턴 매칭), Tool Wear (공구 마멸), Tool Breakage (공구 파손)

1. 서 론

가공공정은 공정의 진행과 더불어 그 상태변화가 심하고, 열악한 상태에서 작업이 계속되면 제품이 불량으로 되는 것은 물론 기계에 심한 손상을 초래한다. 따라

서 가공공정의 무인화와 가공의 고정밀화가 진점됨에 따라 가공상태의 감시진단 시스템에 대한 요청이 커지고 있으며, 나아가서 숙련자에 버금가는 감시능력을 겸비한 지능형 공작기계의 개발에 대한 기대가 크다.

지능형 공작기계가 갖추어야 할 지적기능은 적어도,

\* 부산대학교 대학원  
\*\* 부산대학교 정밀기계공학과

첫째 부품도면을 인식하여 공정을 계획하고 NC 프로그램밍을 작성할 것과, 둘째 작업상태를 인식하여 양호한 작업이 이루어지도록 제어지령을 내는 것의 2가지 기능이 필요하다. 본 논문은 두번째 기능개발에 대한 것이다. 작업중에는 공구파손을 비롯하여 재료불량, 공구마멸, 세팅불량등과 같이 바람직스럽지 못한 여러가지 비정상 상태가 종종 발생하며, 이러한 여러가지 비정상 작업상태를 신뢰성 높게 인식하기 위해서는 각 상태의 검출에 적절한 센서를 사용해서 작업상태를 인식하는 감시 시스템 즉 다중센서 감시 시스템(Multiple Sensor Monitoring System)이 필요하다(1,2). 나아가서 다양한 센서 정보로부터 상태인식을 복합적이고 지능적으로 할 수 있는 지적 인식기법을 사용하여야 한다. 본 연구에서는 다중센서를 이용한 지능형 다중센서 감시 시스템의 모델을 제시하고, 이를 구체적으로 실현하기 위해 머시닝 센터에서의 드릴 공정을 대상으로 하여 실험을 수행하였다. 다중감시를 위한 신호로는 주축 AC 서보모터전류, Z축 AC 서보모터전류, 기계음을 사용하였으며 인식기법으로는 패턴인식, 퍼지 패턴인식 및 퍼지추론을 사용하여 공구마멸, 공구파손과 같은 공구 이상상태를 포함한 가공 상태를 신뢰성 높게 감시할 수 있는 지능형 다중감시 시스템을 개발하였다.

## 2. 지능형 다중감시 시스템

마치 숙련된 작업자가 자신의 경험과 여러가지 감각 기관을 이용하여 작업의 상태를 감시하듯이, 공작기계에서도 다중센서로부터 얻은 정보를 통합함으로써 지능적인 감시를 할 수 있다. 본고에서 제안하는 지능형 다중감시 시스템은 Fig.1에 보이는 것처럼 크게 다중센서 검출부와 지능형 다중 감시부로 구성되어 있다.

다중센서 검출부는 복수개의 센서로 가공상태에 관한 여러가지 정보를 검출하여 기본적인 신호처리를 행하는 곳으로, 본 연구에서는 주축모터 전류, Z축 모터 전류, 기계음을 검출하고 신호처리할 수 있는 센서, 전처리기(Pre-Processor), 주파수 분석기로 되어 있다.

지능형 다중 감시부는 다중센서 검출부에서 검출된 감시신호와 지적기법을 이용하여 신뢰성 높은 지능형 다중 감시를 행하는 곳으로, 본 연구에서는 공구파손, 공구마멸과 같은 공구이상 상태를 독립적으로 감시하는 모터전류 감시부 및 기계음 감시부, 그리고 각각의 감시결과를 통합하여 공구 및 작업상태를 지능적으로 감시

진단하는 지능형 통합진단부로 구성되어 있다. 모터전류 감시부에서는 레벨 감시를 이용하여 공구파손을 감시하고, 퍼지 패턴인식을 이용하여 공구마멸 상태를 감시한다. 기계음 감시부는 패턴 매칭을 이용하여 전반적인 작업 상태를 감시하며, 지능형 통합진단부에서는 각각의 감시결과와 퍼지추론을 이용하여 현작업 상태를 진단한다. 진단 결과 이상으로 인식되면 NC장치에 적절한 제어명령을 내린다.

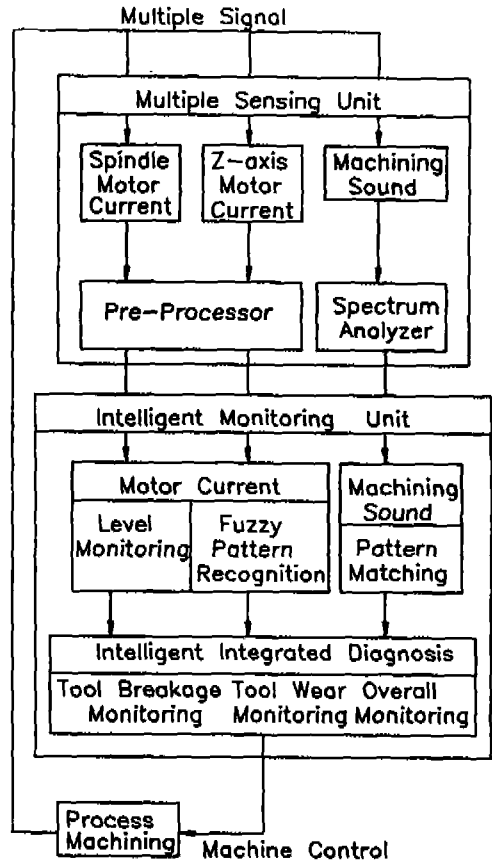


Fig.1 Construction of Intelligent Multiple Monitoring System

## 3. 지능형 감시 알고리즘

본 연구에서는 감시 알고리즘을 Fig.2와 같이 계층적 구조로 구성하여 가공의 종류, 공구상태, 기계의 운전 상태 등에 대하여 종합적이면서 지능적인 감시를 할 수

있도록 하였다. 절삭공정에 가까운 부시스템(Sub-system)일수록 감시주기를 짧게함으로써 공구상태의 변화에 대해서는 민첩하게 대처하여 파급영향을 줄일 수 있도록 하였다.

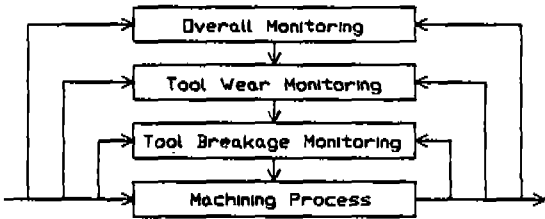


Fig. 2 Hierarchical Multiple Monitoring Structure

3.1 공구파손 감시

공구파손이 발생하면 일반적으로 모터전류값이 급격히 변하므로 레벨감시를 통해 공구파손을 감시한다. 여기서 경계값(threshold value)을 정상적인 작업중의 전류값을 기준으로 몇 % 정도로 할 것인가 하는 것은 경험대 이타나 학습실험으로 구할 수 있다. 본 연구에서는 주축모터전류의 경우 기준값의 200%, Z축모터전류의 경우 기준값의 20%를 경계값으로 하였다. 감시는 10msec단위로 행한다. 주축 및 Z축모터전류의 레벨을 경계값이 1이 되도록 정규화시켜 [0, 1]사이의 값으로 취한 뒤 지능형 통합진단부로 보낸다. 지능형 통합진단부에서는 모터전류 감시부에서의 주축 및 Z축모터전류 레벨 정보

를 이용하여 퍼지추론을 통해 현재의 공구파손 상태를 진단한다. Table 1은 공구파손 진단을 위한 퍼지추론 규칙을 나타낸다. 공구파손으로 진단되면 NC 장치에 급정지 명령을 내린다.

3.2 공구마멸 감시

공구마멸은 공구파손과는 달리 점진적으로 증가하며, 마멸량을 인프로세스에서 간접적인 방법으로 검출하는 것은 기술적으로 어려움이 많다. 여기서는 드릴작업의 진행에 따른 모터전류의 미세한 변화에 대해서 퍼지 패턴인식을 도입하여 드릴공구의 마멸 정도를 감시한다. 퍼지 패턴인식에서는 Bezdek이 제안한 퍼지 C-means 알고리즘을 사용하였다(3, 4). 드릴마멸 상태를 초기(initial), 약간(small), 보통(normal), 심각(severe)으로 분류하였다. 멤버십 함수에 대한 가중치는 2로 하였으며, 초기 멤버십 함수값은 크리스프(crisp) K-means 알고리즘을 이용하여 구하였다(5). 학습 실험에서 구한 클러스터 센터값을 이용하여 공구상태에 대한 퍼지인식을 수행한 뒤, 심각(severe) 멤버십의 퍼지등급을 지능형 통합진단부로 보낸다. 지능형 통합진단부에서는 기계음 감시부의 패턴거리 정보와 심각 멤버십의 퍼지등급을 이용하여 퍼지추론을 통해 공구마멸 상태를 진단한다. Table 2는 공구마멸 진단을 위한 퍼지추론 규칙이다. 공구교환시기로 진단되면 NC장치에 공구교환 명령을 내린다.

Table 1. Fuzzy Reasoning Rule for Tool Breakage Diagnosis

Condition	States	Treatment
spindle > 0.8 and servo > 0.8	Tool Breakage	Emergency Stop
0.5 < spindle < 0.8 and servo > 0.8	maybe Tool Breakage	Feed Hold
0.5 < servo < 0.8 and spindle > 0.8	maybe Tool Breakage	Feed Hold
spindle < 0.8 and servo < 0.8	Normal	

Table 2. Fuzzy Reasoning Rule for Tool Wear Diagnosis

Condition	States	Treatment
motor > 0.8 and sound > 0.8	Tool Wear	Tool Change
0.5 < motor < 0.8 and sound > 0.5	Overload	Alarm
< motor < 0.8 and sound < 0.5	Normal	

### 3.3 작업 상태 감시

작업중의 기계음의 상태 변화를 이용하여 모터전류 감시루프를 보완하는 감시루프를 구성하였다. 기계음 감시는 기계음 특징을 주파수 분석한 스펙트럼 패턴에 대해서 패턴인식 기법을 이용하는 것이 효과적이다. 나아가서 NC가공에서는 NC프로그램에 기술된 순서대로 작업이 진행되므로 예측대로 작업이 진행중인지 아닌지만 감시하면 된다. 본 연구에서는 학습 실험을 통해서 미리 표준패턴을 준비해 두었다가 실작업 패턴과의 거리를 계산하여 이상유무를 확인하는 예측감시를 이용하였다 (6). 지능형 통합진단부에서는 기계음 감시부에서 계산된 패턴거리 정보와 모터전류 감시부에서의 심각 클러스터의 멤버쉽값을 이용하여 퍼지추론을 통해 작업 상태를 진단한다. Table 3은 작업상태 진단을 위한 퍼지추론 규칙이다. 진단 결과 작업에 이상이 심각하든지, 진단 불가라고 판단되면 비상정지 명령을 내고, 그외는 경보를 발생하여 작업자에게 재확인을 요청하고 작업을 계속한다. 본 연구에서 실시간 주파수 분석을 위해 복수개의 DSP(Digital Signal Processor) (7)로 구성된 디지털 밴드 패스 필터(BPF: Band Pass Filter)뱅크를 이용하였다. Fig. 3은 필터뱅크를 이용한 기계음 분석 장치를 나타낸다(6).

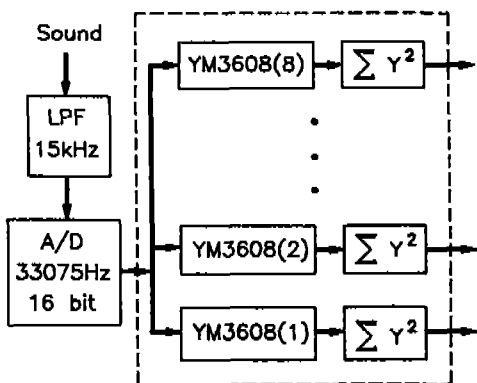


Fig. 3 Construction of Digital Filter Bank

Table 3. Fuzzy Reasoning Rule for Operation States Diagnosis

Condition	States	Treatment
sound < 0.5	Normal	
sound > 0.5 and motor < 0.5	?	Alarm

### 4. 실험 및 고찰

#### 4.1 실험장치 및 방법

Fig. 4는 실험 장치도를 나타낸다. 머시닝센터는 수직형 AV-30(대우 중공업 제)이고, 데이터 레코더는 비디오 카세트 데이터 레코더(RACAL제 V-Store)이다. 모터 전류는 NC장치에 내장된 CT(Current Transformer) 센서의 출력값을 이용하여 검출하였으며, 기계음은 실제 작업이 일어나는 곳 가까이 (50cm 정도)에 마이크를 설치하여 검출하였다. 드릴 작업에 사용한 공작물의 재질은 S45C이며, 드릴은 직경이 4mm, 6mm인 HSS공구를 사용하였다. Table 4는 실험에 사용한 절삭조건을 나타낸다.

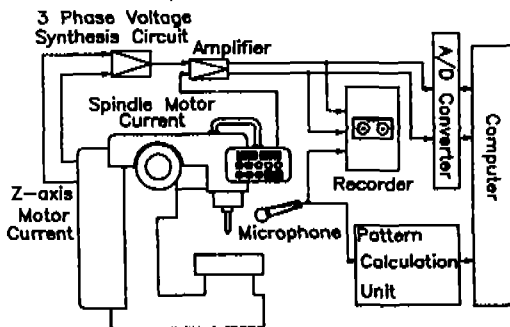


Fig. 4 Schematic Diagram of Experimental Setup

Table 4. Drill Cutting Condition

Drill Diameter (mm)	Cutting Speed (rpm)	Feedrate (mm/min)	Depth of Cut (mm)
4	2800	280	8
6	1900	285	11

#### (1) 모터전류의 신호처리

내장된 CT센서는 모터구동회로에 입력되는 3상 전원의 전류변화를 전압으로 검출한다. 일반적으로 주축모터의 경우, 3상 합성전압이 로드미터로 연결되어 있으므로 주축토크의 크기는 주축모터전류값을 나타내는 로드미터 양단 전압으로 검출할 수 있다(8).

Z축모터의 경우 내장된 CT센서에 의해 검출된 2상 (I<sub>s</sub>, I<sub>r</sub>) 전압신호를 자체제작한 3상 전압합성회로에 통과시켜 전압으로 검출하였다(8).

비슷한 절삭조건에서는 공구마멸의 경향이 비슷하므로 적은 학습실험으로 여러조건 of 실제가공에 적용하기 위해서는 작업조건의 차에 의한 레벨 변화를 마멸에 의한 레벨 변화로부터 제거하는 초기 전류값 표준화 작업이 필요하다. 여기서는 초기 드릴 가공때의 모터전류 레벨값이 학습실험의 초기 모터전류 레벨값과 같게 되도록 증폭기로 조정하여 초기 전류값을 표준화하였다. 표준화를 통해 작업조건의 차에 의해 생기는 레벨의 차를 보상함으로써 이후의 모터전류의 증가는 공구상태 변화에 의한 증가가 된다.

증폭된 전류신호는 100Hz의 샘플링 주기로 12 비트 A/D 변환한뒤, 드릴 구멍 단위로 평균 파워값을 구한 후 전체적인 변화 추세를 얻기 위해 지수 평활화법을 이용하여 평활화(smoothing) 하였다(9).

$$y_i = \rho y_{i-1} + (1-\rho) x_i$$

여기서  $x_i$ 는 모터전류 평균파워치,  $y_i$ 는 평활화된 모터전류 평균파워치,  $\rho$ 는 가승치인데 전체적인 변화 형태를 약간 강조하기 위해서  $\rho$ 를 0.65로 정하였다.

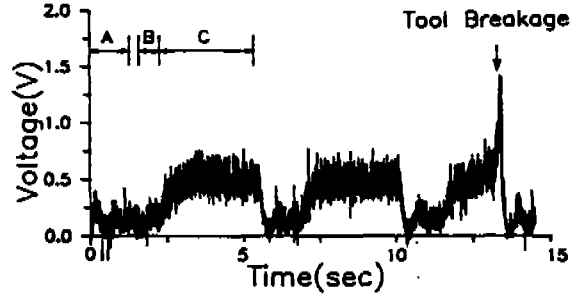
### (2) 기계음의 신호처리

가청 주파수 이상의 고주파 잡음을 제거하기 위해 15kHz 차단주파수를 가지는 지역 통과 필터(LPF: Low Pass Filter)를 거친후 33.075kHz의 샘플링 주기로 16비트 A/D변환하여 필터뱅크에 입력하고, 각 대역별 밴드 패스 필터 프로그램을 실행시켜 기계음 패턴을 계산하였다.

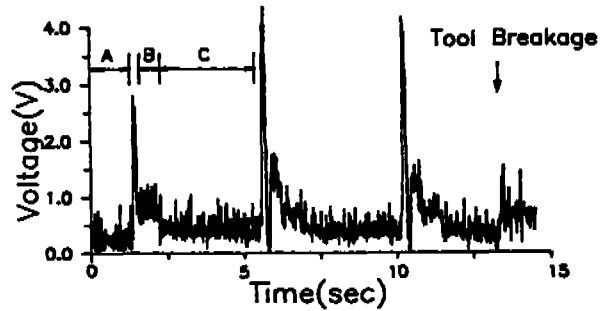
### 4.2 공구파손 감시

Fig. 5는 공구파손시 모터전류의 레벨값 변화를 나타낸다. A는 공회전, B는 가공시작, C는 가공중을 나타내며, Z축 모터전류에서의 급격한 증가는 급속이송을 나타낸다. 공회전시 주축 및 Z축모터전류는 각각 0.15V, 0.25V이며, 가공중 주축 및 Z축모터전류는 각각 0.5V, 0.4V이다. 처음에는 정상적인 작업이 이루어지나 3번째 구멍 가공시 공구파손이 일어났다. 이때 주축 모터전류는 1.4V까지 급격히 증가한 후 정상값보다 낮게 뚝 떨어지고, Z축모터전류는 0.1V까지 크게 감소한 후 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. Z축모터 전류의 경우 추력 방향의 부하가 커질수록 모

터에 흐르는 전류의 크기는 그에 비례하여 작아진다. 이는 Z축모터의 구조적인 특성상 추력이 자중의 반대방향으로 작용하므로 추력이 클수록 실제 모터에 걸리는 부하는 감소하기 때문이다.



(a) Spindle Motor



(b) Z-axis Motor

Fig.5 Level Variation of Motor Current at Normal States and Tool Breakage

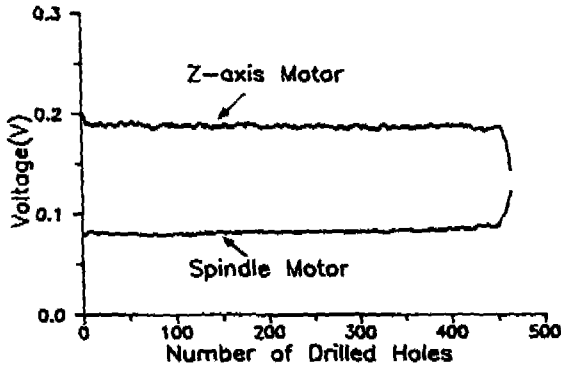
또한 Fig.5(a)에서 한개의 구멍작업 중에 주축모터 전류의 변화를 살펴보면 정상공구일 때는 변화가 거의 없이 일정한 값을 유지한, 공구파손 직전에 가면 가공 깊이가 깊어짐에 따라 전류값도 증가함을 알 수 있다. 이러한 사실로부터 가공깊이에 따른 모터전류값의 변화율은 공구마멸 상태를 추정하는데 중요한 정보원으로 사용할 수 있다고 생각된다.

### 4.3 공구마멸 감시

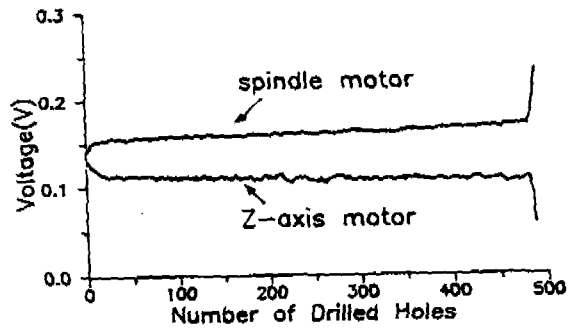
$\phi 4\text{mm}$ ,  $\phi 6\text{mm}$  드릴에 대해 같은 절삭 조건에서 두 개의 드릴을 공구가 심각하게 마멸될 때까지 가공하였다.  $\phi 4\text{mm}$  드릴은 각각 465개, 400개 구멍을 가공한

후 심각하게 마멸되어 사용할 수 없게 되었고,  $\phi 6\text{mm}$  드릴은 487개, 334개 구멍을 가공한 후 심각하게 마멸되었다. 비록 같은 절삭조건에서 같은 재질의 드릴을 가지고 가공하더라도 공구수명의 편차가 크을 수 있으며, 이로써 공구 교환 주기를 일정하게 하는 방법은 비경제적이라는 것을 알 수 있다. Fig. 6, Fig. 7은 각각  $\phi 4\text{mm}$ ,  $\phi 6\text{mm}$  드릴에서 공구마멸이 진행됨에 따라 주축모터 전류값과 Z축모터 전류값의 변화를 나타낸다. 공구 마멸이 진행됨에 따라 주축모터 전류값은 초기엔 증가가 빠르나 정상상태에 도달하면 작업의 진행에 따라 완만히 증가하고 공구 수명이 다 되면 다시 급격히 증가한다. Z축모터 전류의 경우는 초기엔 감소가 빠르나 정상상태에 도달하면 작업의 진행에 따라 완만히 감소하

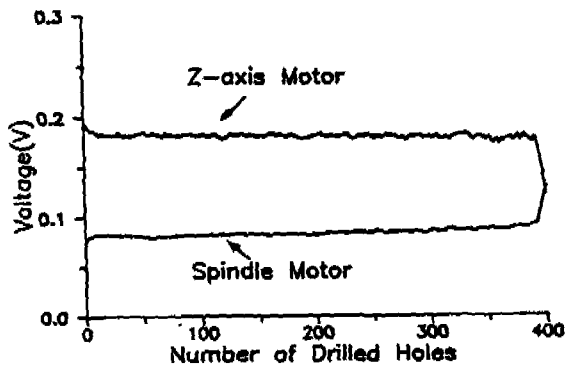
고 공구수명이 다 되면 다시 급격히 감소한다. 이는 일반적인 공구마멸 곡선의 경향과 일치하는 것으로 모터 전류가 공구마멸과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 실시간 마멸 상태 감시를 위해 Fig. 6, Fig. 7의 (a) 실험을 학습 실험으로 하여 퍼지 C-means 알고리즘에 의해 클러스터 센터를 구한 뒤, 각각의 클러스터 센터를 이용하여 평가 실험에 대해 공구마멸 상태를 감시하였다. Table 5는 클러스터 센터를 나타낸다. Fig. 8은  $\phi 4\text{mm}$  드릴에서의 평가 실험중 공구마멸 상태를 on-line 감시한 결과를 나타내며, Fig. 9는  $\phi 6\text{mm}$  드릴 작업에서의 감시 결과를 나타낸다. 처음에는 초기 클러스터의 퍼지 등급이 크나 작업이 진행될수록 심각 클러스터의 퍼지 등급이 커짐을 알 수 있다.



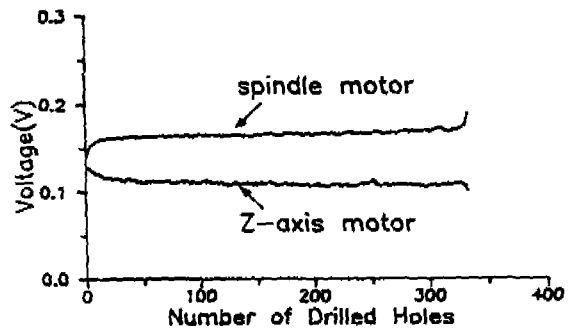
(a) Learning Experiment



(a) Learning Experiment



(b) Evaluation Experiment



(b) Evaluation Experiment

Fig. 6 Variation of Mean Current with Drilling Time ( $\phi 4\text{mm}$ )

Fig. 7 Variation of Mean Current with Drilling Time ( $\phi 6\text{mm}$ )

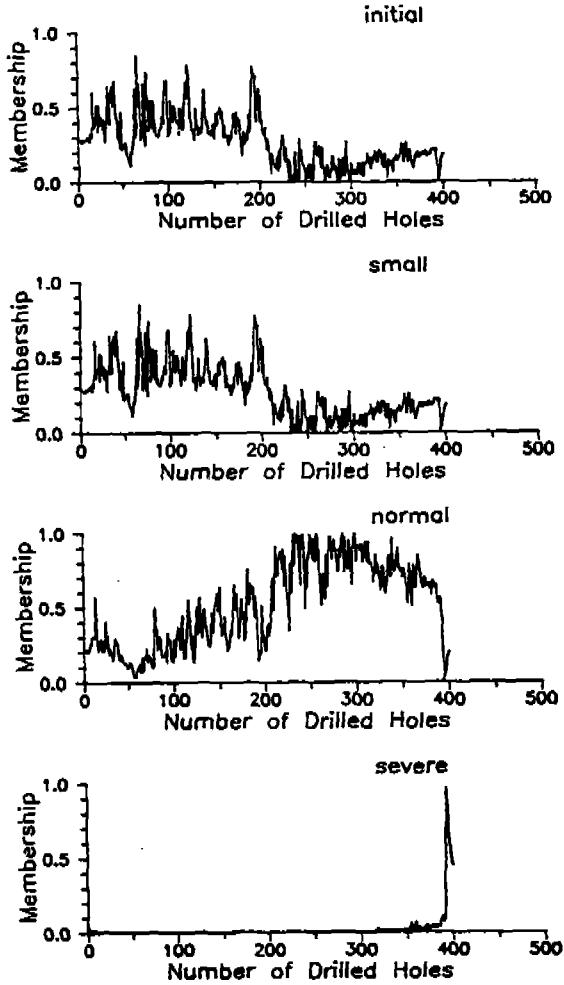


Fig.8 Result of Fuzzy Recognition for Drill Wear State ( $\phi 4\text{mm}$ )

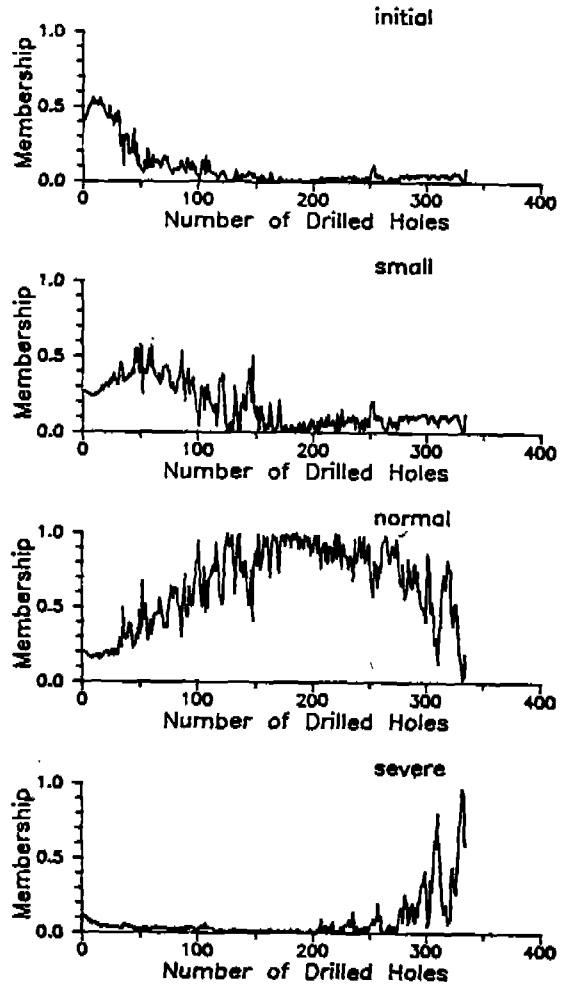


Fig.9 Result of Fuzzy Recognition for Drill Wear State ( $\phi 6\text{mm}$ )

Table 5. Cluster Center

	Cluster Center	Spindle Motor Current	Z-axis Motor Current
Drill $\phi 4\text{mm}$	initial	0.0803	0.1889
	small	0.0820	0.1861
	normal	0.0868	0.1858
	severe	0.1073	0.1694
Drill $\phi 6\text{mm}$	initial	0.1568	0.1129
	small	0.1607	0.1092
	normal	0.1660	0.1086
	severe	0.1765	0.1052

Fig. 10, Fig. 11은 각각  $\phi 4\text{mm}$ ,  $\phi 6\text{mm}$  평가실험에서의 기계음 감시부에서의 기계음 감시 결과를 나타낸다. 공구마멸이 심하게 되면 정상상태 작업에서의 기계음 패턴과 상당히 달라짐을 알 수 있다.  $\phi 6\text{mm}$  평가실험의 경우 모터전류부의 감시 결과 313번째 드릴 작업에서 공구마멸이 상당히 심각한 것으로 인식되었으나 지능형 통합진단부에서 기계음 감시 결과와 통합하여 진단한 결과 심각한 공구 마멸보다는 일시적인 과부하로 진단되었다. 또한 9번째 드릴 작업에서 기계음의 차이가 0.5 이상이 되어 기계음 감시부에서는 이상으로 인식되었으나, 모터전류 감시부에서의 결과와 통합하여 진단한 결

과 공구 이상에 의한 변화가 아니라 주위 환경 잡음에 의한 변화로 진단되었다. 지능형 통합진단부에서의 진단 결과  $\phi 4\text{mm}$  드릴의 경우 397개의 가공후 공구교환 시점으로 진단되었고,  $\phi 6\text{mm}$  드릴에서는 332개 가공후 공구교환 시점으로 진단되었다.

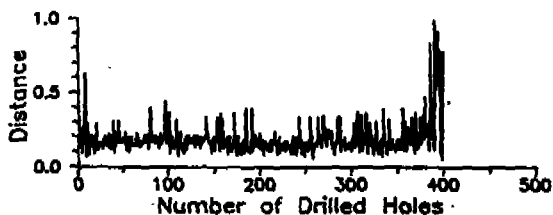


Fig. 10 Result of Sound Monitoring for Operation State ( $\phi 4\text{mm}$ )

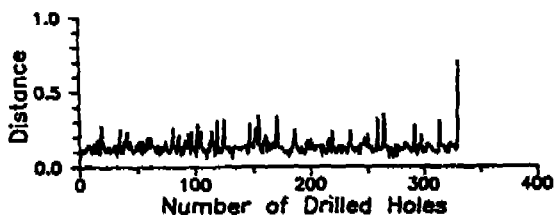


Fig. 11 Result of Sound Monitoring for Operation State ( $\phi 6\text{mm}$ )

Fig. 12, Fig. 13은 각각  $\phi 4\text{mm}$ ,  $\phi 6\text{mm}$ 로 가공할 때 작업조건이 학습실험과 다른 절삭조건에서의 작업 중 얻어진 모터전류 값의 변화이다.  $\phi 4\text{mm}$ 드릴은 900개 가공후 심각하게 마멸되어 사용할 수 없게 되었고,  $\phi 6\text{mm}$ 드릴은 670개 가공후 심각하게 마멸되어 사용할 수 없게 되었다. Table 5에서 구한 클러스터 센터값을 가지고 이때의 공구마멸 상태를 온라인 감시하였으며 Fig. 14, Fig. 15는 감시결과이다. Fig. 16, Fig. 17은 이때의 기계음 감시부에서의 기계음 감시 결과이다. 작업이 진행됨에 따라 점차 공구마멸이 진행되고 있음을 알 수 있으며, 지능형 통합진단부에서의 진단 결과  $\phi$

4mm 드릴의 경우 894개 가공후 공구교환 시점으로 진단되었고,  $\phi 6\text{mm}$  드릴에서는 665개 가공후 공구교환 시점으로 진단되었다. 이러한 결과로부터 초기 전류값을 표준화함으로써 학습조건과 다른 절삭 조건에 대해서도 공구마멸 상태에 대한 퍼지 인식이 가능함을 알 수 있다.

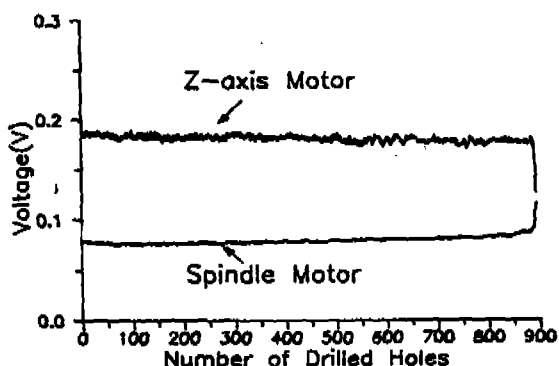


Fig. 12 Variation of Mean Current with Drilling Time ( $\phi 4\text{mm}$ )  
(Spindle Velocity 2400rpm, Feedrate 240mm/min, Depth of Cut 8mm)

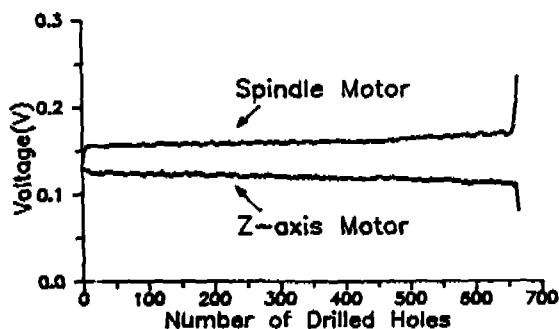


Fig. 13 Variation of Mean Current with Drilling Time ( $\phi 6\text{mm}$ )  
(Spindle Velocity 1800rpm, Feedrate 216mm/min, Depth of Cut 11mm)



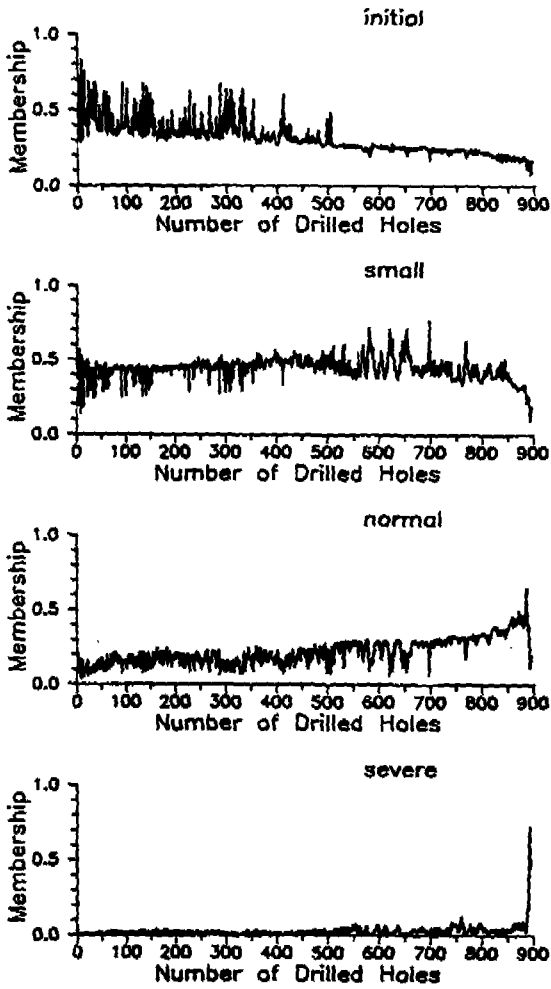


Fig.14 Result of Fuzzy Recognition for Drill Wear State( $\phi 4\text{mm}$ )

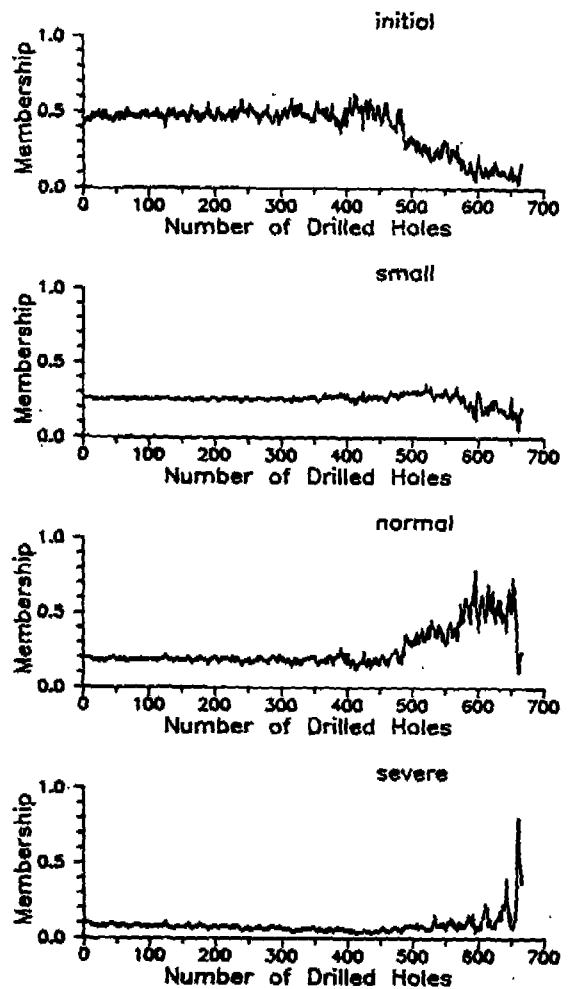


Fig.16 Result of Sound Monitoring for Operation State( $\phi 4\text{mm}$ )

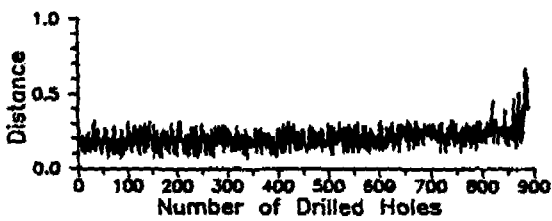


Fig.15 Result of Fuzzy Recognition for Drill Wear State( $\phi 6\text{mm}$ )

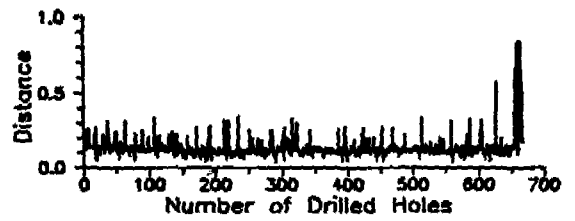


Fig.17 Result of Sound Monitoring for Operation State( $\phi 6\text{mm}$ )

## 5. 결 론

이상의 지능형 다중감시 시스템의 개발 및 드릴 작업에서의 평가 실험을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 모터전류와 기계음을 다중감시 신호로 사용함으로써 드릴 공구상태 감시의 신뢰성을 높일 수 있었다.
- (2) 모터 전류의 레벨을 감시함으로써 공구의 파손을 실시간에 검출할 수 있었다.
- (3) 초기 전류값을 표준화함으로써 학습 실험과 다른 절삭조건에 대해서도 공구마멸 상태의 퍼지인식이 가능하였다.
- (4) 공구마멸 상태를 다중 감시를 함으로써 공구교환의 실제적인 최적시점을 결정할 수 있었다.

## 참고문헌

1. S. Rangwala, D. Dornfeld "Sensor Integration Using Neural Networks for Intelligent Tool Condition Monitoring", ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol. 112 AUG., pp. 219~228, 1990
2. S. Spiewak, "A-Predictive Monitoring and Diagnosis System for Manufacturing", Annals of the CIRP Vol. 40, pp. 401~404, 1991
3. James C. Bezdek, "prototype classification and feature selection with Fuzzy Set", IEEE Trans. System, Man and Cybernetics, Vol SMC-7 No. 2 Feb., 1977
4. P. G. Li, S. M. Wu, "Monitoring Drilling Wear States by a Fuzzy Pattern Recognition Technique", ASME, Journal of Engineering for Industry Vol. 110 AUG., pp. 297~300, 1988
5. J. T. Tou, R. C. Gonzalez, Pattern Recognition Principles, Addison Wesley, pp. 94~97, 1974
6. 임한석, 안중환, "기계음 패턴의 실시간 인식을 이용한 NC선반의 운전 상태 감시", 대한기계학회 춘계학술대회논문집 (1), pp. 335~338, 1992
7. 株式会社樂器, YM3608 Application Manual, 1986
8. FUJITSU FANUC LTD., FANUC SYSTEM OM-B Maintenance and Operator's Manual
9. 鈴木義一郎, データ解析術, 實教出版, pp. 110~114, 1977