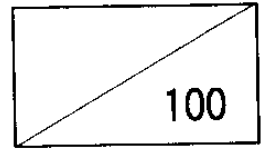


UCN 467-1740-C



# 절삭 가공정보의 계측기술 개발

Sensing Technology of Cutting Process Information

연구기관 : 한국기계연구원

과 학 기 술 처

## 배 포 선

사 본 번 호	부 수	배 포 선
1/100 ~ 5/100	5	과학기술처
6/100 ~ 7/100	2	한국기계연구원 영구보존용
8/100 ~ 97/100	90	한국기계연구원 생산시스템실
98/100 ~ 100/100	3	한국기계연구원 연구기획실

# 제 출 문

과학기술처 장관 귀하

본 보고서를 "절삭 가공정보의 계측기술 개발" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1992. 11

주관연구기관 : 한국기계연구원

연구책임자 : 박 화 영 (자동화연구부)

선임연구원 : 송 준 엽 (생산시스템실)

이 현 용 (생산시스템실)

이 춘 식 (생산시스템실)

연구 원 : 이 재 종 (생산시스템실)

김 선 호 (생산시스템실)

이 승 우 (생산시스템실)

김 동 훈 (생산시스템실)

연구 조 원 : 강 필 선 (생산시스템실)

# 요 약 문

## I. 제 목

절삭 가공정보의 계측기술 개발

## II. 연구개발의 목적과 필요성

생산시스템의 자동화에서 시작된 생산성의 극대화와 무인화 지향은 컴퓨터의 발달과 NC 공작기계의 보급에 따라 생산라인의 유연화, 다품종 소량생산의 자동화 및 무인화로 넘어가고 있다. 최근에는 Machining center 를 중심으로한 자동화 및 무인화 운전시스템(FMS, CIM)이 연구, 개발되고 있다. 그러나 기계가공에서는 가공물의 신뢰성을 향상시키고, 무인운전을 위해서는 절삭가공 중의 계측,감시기술 및 체계화된 절삭데이터와 함께 공구의 열화현상 센싱에 의한 공구관리가 필요하다.

한편, 국내에서도 FA화가 진행되면서 보다 신뢰성이 높은 절삭 가공 정보의 센싱기술이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 신뢰성 있는 절삭공구의 감시시스템을 개발함으로써 무인화 공장 등에 필요한 In-process 계측기술과 자동 절삭실험시스템 구축을 통한 절삭가공 데이터뱅크 구축을 실현시키며, 절삭공구의 최적화 및 무인화 공장의 계측,감시기술로 발전시켜 나가는데 목적이 있다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구사업은 일본 통상산업성 국제산업기술사업(ITIT 사업 : Institute for Transfer of Industrial Technology)의 하나로서 한국기계연구원(KIMM)과 일본 기계기술연구소(MEL)의 의사록 조인에 의해 1987년부터 5개년 계획으로 추진되었으며, 과학기술처의 국가특정 및 국제공동연구 과제로 수행되어 왔다.

공동연구의 최종년도인 본 연구기간 중에는 전년도까지 연구되었던 내용을 토대로 종합적인 공구감시시스템 개발을 위한 다음과 같은 제반연구를 실시하였다.

- 1) 선삭용 공구의 내마모성에 관한 기준 절삭데이터(마모특성, 사용한계 등)를 자동적으로 수집하고, 절삭공구의 절삭성 데이터베이스를 구성할 수 있는 선삭용 절삭실험 시스템을 개발하였다.
- 2) 전류센서, 가속도 센서 및 절삭동력계로 구성된 공구이상 상태 감시용 복합계측시스템 구성과 신호처리알고리즘을 개발하였다.
- 3) 비전센서를 이용한 적용분야의 확대 및 In-process 계측 기술로의 발전을 위해 단속 절삭 작업을 대상으로 한 공구상태 측정시스템 구성과 성능 및 적용실험을 실시하였다.

#### IV. 연구개발의 결과 및 활용에 대한 건의

본 년도에 수행한 연구개발 결과는 다음과 같다.

- 1) 비전센서를 이용한 선삭용 자동 절삭실험시스템 개발

- 시리얼 RS-232C 및 디지털 I/O에 의해 운영. 통제할 수 있는 Direct control 시스템 구성
  - 절삭실험 작업의 효율성 부가를 위한 음성합성기술 부가
  - 공구수명관리와 절삭성 데이터 산출 등을 담당하는 알고리즘 및 운영소프트웨어 개발
- 2) 복합센서를 이용한 공구이상 감시기술 개발
- 전류센서, 가속도센서 및 절삭동력계로 구성된 공구상태 감시용 복합계측시스템 구성
  - 복합센서의 특성분석 및 신호처리에 의한 상태판정 알고리즘 개발
- 3) 단속절삭에서의 공구감시기술 개발
- 비전센서를 이용한 단속절삭 작업에서의 공구감시시스템 구성 및 계측실험
- 4) 구성시스템의 신뢰성 정도 및 재현성에 관한 측정 및 절삭실험

위와 같은 연구결과 비전센서를 이용한 선삭용 절삭실험시스템의 구성 가능성을 확인하고, 구성시스템의 이용으로 신속한 측정 및 작업자와 관계되는 측정오차를 제거할 수 있게 되었다.

또한 Total 시스템적인 공구감시시스템 개발을 위해 In-process 계측의 장애요인 해결 및 측정결과와 실시간 Feedback 기능을 부가한 실험시스템과 절삭 Process 감시의 Hybrid화 및 On-Line화를 추구하는 복합센싱 기술개발로 센서 기술의 지능화와 가공제어의 최적화 기술개발에 기초로서 응용 가능하게 되었다.

# S U M M A R Y

## I. Title

Sensing Technology of Cutting Process Information

## II. Objective and Significance

According to develop a computer and to supply NC machine tools, the production system is progressing toward the flexibility of production line and automation & unmanned of the variety and small quantity production. In recent years, automated and unmanned systems(FA, CIM) with focus on machining center are developed. But sensing technology under cutting process is necessary for improving the reliability of work piece and unmanned operation. And tool management by means of sensing the tool wear and breakage is necessary along with systematized machining data in case of the automatization of machining system.

Meanwhile, in processing FA, sensing technology of cutting process informations which have higher reliability is required even in the country.

Therefore, objectives of this research are to achieve in-process sensing technology and to construct the machining data bank by developing the automatic testing system. Finally, it has been achieved the optimization of cutting tool and sensing technology of unmanned factory by developing the

tool monitoring system.

### III. Contents and Scope

Korea Institute of Machinery & Metals(KIMM) in Korea and Mechanical Engineering Laboratory(MEL) in Japan have carried out a joint research and development project titled, "Sensing Technology of Cutting Process Informations". This project was a five-year international research and development project extending from April 1987 to March 1992, as a work of the "Institute for Transfer of Industrial Technology(ITIT) Project" organized by the International Research & Development Cooperation Division, of Ministry of International Trade and Industry(MITI) in Japan. The Ministry of Science and Technology(MOST) in Korea also supported this project as a international joint project.

In this period, the following researches have carried out developing a synthetic tool monitoring system.

- 1) The automated system for testing tool life in turning process has been developed. The function of this system automatically collects the standard machining data(wear classification, usage limit of tool, etc), write the analysis report and extend to construct the machining database.
- 2) This research has been developed the signal processing algorithm and



the complex measuring system which is composed of current sensor, acceleration sensor and loadmeter for monitoring an abnormality of cutting tool.

- 3) This research has been constituted the tool monitoring system in interrupted cutting and achieved performance and application test in order to extend and develop a in-process sensing technology.

#### **IV. Results and Suggestion**

The results of this project are as follows.

- 1) Development of the automated system for testing tool life in turning process
  - Construction of direct control system to control and operate with serial RS-232C and digital I/O
  - Supplement of voice synthesis technology to efficiently operate testing tool life
  - Development of operating software and algorithm for managing of tool life and getting of machining data
- 2) Development of technology for monitoring of tool wear and loss using complex sensor
  - Construction of complex measuring system which compose of current sensor, acceleration sensor and loadmeter for tool monitoring

- Development of signal processing algorithm for detecting a tool condition through analysis of classification of complex sensors
- 3) Construction of tool monitoring technology using vision sensor in interrupted cutting
  - Construction of tool monitoring system and enforcement of measuring test
- 4) Cutting experiment and measuring of reliability and repeatability to constructed system

As an above results, it is certified the composition possibility of automated system for testing tool life in turning process. It become to promptly measuring tool wear and loss and was possible to eliminate the error rate in related to operator.

And, the developed testing system and the compound sensing technology will be become to apply as the foundation which develops the systematic tool monitoring system having in-process sensing and realtime feedback function of measuring results. It is possible to apply the basic technology for intelligent sensing technology and optimization of control.

# CONTENTS

Chapter 1. Introduction .....	15
Chapter 2. Automated system for testing tool life in turning process .....	19
Section 1. Introduction .....	19
Section 2. Constitution technology .....	22
Section 3. Struction of hardware .....	23
1. Machining division .....	23
2. Measurement division .....	25
3. Signal processing & control division .....	32
4. Output division .....	37
Section 4. Operating & information processing software .....	38
1. Introduction .....	38
2. Input module .....	38
3. NC drive & interrupt module .....	40
4. Tool wear measurement & analysis module .....	43
5. Construction module of machining database .....	49
Section 5. System control & interface .....	50
Section 6. Cutting test & analysis .....	56
Chapter 3. Tool monitoring by multi-functional sensor .....	60
Section 1. Introduction .....	60
Section 2. Monitoring feature of multi-functional sensor .....	61
1. Acceleration sensor .....	61

2. Current sensor & loadmeter .....	62
Section 3. Cutting test & analysis .....	63
1. Testing method .....	63
2. Results & consideration .....	64
Chapter 4. Tool monitoring in interrupted cutting .....	76
Section 1. Introduction .....	76
Section 2. Structure of experimental system .....	76
1. Synchronous signal division .....	77
2. Signal processing division .....	79
3. Output division .....	80
Section 3. Measurement test & analysis .....	82
1. Combination & repeatability of system .....	82
2. Chip disposal under machining .....	85
3. Illumination effect .....	86
4. Results & consideration .....	87
Chapter 5. Conclusions .....	88
Reference .....	90

## Appendix

Seperate volume : "Sensing Technology of Cutting Process Information"

ITIT Report 87-1-1

# 목 차

제 1 장	서 론	15
제 2 장	선삭용 자동 절삭실험시스템 개발	19
제 1 절	개 요	19
제 2 절	자동 절삭실험시스템의 원리	22
제 3 절	하드웨어의 구성	23
1.	가공부	23
2.	측정부	25
3.	시스템 제어 및 정보처리부	32
4.	출력부	37
제 4 절	시스템 제어 및 운영소프트웨어	38
1.	개 요	38
2.	입력모듈	38
3.	DNC 운전 및 간섭모듈	40
4.	공구마모 측정 및 분석모듈	43
5.	절삭가공 데이터베이스 구축모듈	49
제 5 절	시스템 제어 및 인터페이스	50
제 6 절	절삭실험 및 결과분석	56
제 3 장	복합센서에 의한 공구상태 감시기술	60
제 1 절	개 요	60
제 2 절	복합센서의 특성 및 감시특성	61
1.	가속도 센서	61

2. 전류센서 및 절삭동력계 .....	62
제 3 절 절삭실험 및 결과분석 .....	63
1. 실험방법 .....	63
2. 결과분석 .....	64
제 4 절 실험결과 및 고찰 .....	74
제 4 장 단속절삭에서의 공구상태 감시기술 .....	76
제 1 절 개 요 .....	76
제 2 절 측정장치의 구성 .....	76
1. 동기신호부 .....	77
2. 신호처리부 .....	79
3. 출력부 .....	80
제 3 절 측정실험 및 분석결과 .....	82
1. 구성기기의 조합성 및 재현성 .....	82
2. 절삭중 칩 응착문제 .....	85
3. 조명효과 .....	86
4. 시험결과 및 고찰 .....	87
제 5 장 결 론 .....	88
참고문헌 .....	90
부 록 : 연구성과의 발표상황	
별 책 : "Sensing Technology of Cutting Process Information"	
ITIT 연구보고서 87-1-1	



## 제 1 장 서 론

절삭가공을 중핵으로 하는 기계가공기술은 모든 산업에 있어서 정도를 요하는 제품의 생산기술로서 더욱 더 중요하다.

최근의 절삭가공시스템은 종래부터 생산능률향상과 코스트 절감요소에 따라 가공요구의 변화, 제품의 다양화, 고성능화, 고정도화등이나 기술노동자의 극단적인 부족 등의 상황에 대응해서 더욱 고도로 자동화되고, 복잡화되고 있다.

이러한 방향에서 각종 연구개발이 필요하지만, 그 중에서도 가공프로세스의 가공기능 감시기술 혹은 가공기술의 열화의 예지기술 즉 가공정보의 Sensing기술이 중요한 과제로 대두 되고있다.

따라서 본 연구에서는 절삭 가공정보의 계측기술을 개발함으로써 국내 가공업계의 원가절감, 가공의 자동화 및 생산성 향상을 도모하며, 생산시스템의 무인화 지향에 공헌하는 FA(Factory Automation)용 공구감시시스템을 개발하는데 그 목적을 두고 Table 1-1에 제시된 센싱기술에 기초한 연구를 수행한다.

특히 본 연구는 일본 통상산업성 공업기술원 국제협력과가 조직하는 국제산업기술 연구사업(ITIT사업, Institute for Transfer of Industrial Technology)의 하나로서 한국기계연구원과 일본 기계기술연구소 (MEL, Mechanical Engineering Laboratory)와의 국제 공동연구 5개년 사업으로 추진되어 왔다. 이제까지의 연구추진 상황은 Table 1-2와 같다.



Table 1-1 가공정보의 대표적인 센싱기술

이 용 신 호	신호처리방법	센 서
역 학 적—절삭저항	진폭변화 진폭증가율 진폭비	공구동력계 전동기입력전류계 구동기구 torque계
기하학적	치수형상	촉침, 접촉센서 치수센서 광 Probo 촉침
	표면조도	
진 동 적	절삭음	Condenser microphone  진동센서 압전센서
	Chatter AE	
광 학 적	적외방사 가시광	적외센서 CCD카메라

한일 공동연구의 최종년도인 본 연구기간 중에는 전년도에 연구되었던 내용을 바탕으로 종합적인 공구감시 시스템 구축을 위한 제반연구를 수행하였다.

주된 연구내용은 다음과 같다.

1. 선삭용 자동절삭실험 시스템 개발

- 전년에 구성한 절삭실험시스템을 선삭작업에 유연성 있게

Table 1-2 연구추진 상황

구 분 년차별	연 구 개 발 내 용
1 차년도	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ITV 이용 공구마모 측정장치 개발</li> <li>- 공구의 수명판단 알고리즘 개발</li> <li>- 공구 마모 및 결손 판정을 위한 예비 절삭실험</li> </ul>
2 차년도	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ITV 및 광센서 이용 공구마모(플랭크 마모, 크레이터 마모) 측정용 Multi-vision 시스템 개발</li> <li>- 시스템 운영 및 공구마모 영상처리 소프트웨어 개발</li> </ul>
3 차년도	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자동 절삭실험용 Simulator 개발</li> <li>- Flexible position &amp; light 장치 개발</li> <li>- 절삭가공 정보처리 소프트웨어 개발</li> </ul>
4 차년도	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자동 절삭실험 시스템 개발</li> <li>- 시스템 구성장치간의 Interfacing</li> <li>- 절삭실험 시스템 운영소프트웨어 개발</li> </ul>
5 차년도	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 공구 감시시스템 개발</li> <li>- 복합센서를 이용한 공구결손 검출실험 및 측정 Data 처리용 소프트웨어 개발</li> <li>- 절삭가공 Data Bank 구축</li> </ul>

대처할수 있는 시스템으로 보완

- 작업의 효율성 부가를 위한 음성합성기술 개발
- 절삭공구의 가공 데이터베이스 구축용 소프트웨어 개발
- 구성시스템의 신뢰성 및 재현성 조사를 위한 계측실험

2. 복합센서에 의한 공구상태 감시기술 개발

- 공구상태 감시용 복합계측시스템 구성
- 복합센서의 특성 및 계측 알고리즘 개발
- 계측실험 및 측정데이터 처리용 소프트웨어 개발

3. 단속절삭에서의 공구감시기술 개발

- 단속절삭용 공구감시시스템 구성
- 구성시스템의 조합성 및 재현성에 대한 계측실험 및 결과분석

## 제 2 장 선삭용 자동 절삭실험시스템 개발

### 제 1 절 개 요

절삭가공시스템의 효율적인 운영을 위해서는 신뢰성이 높은 절삭데이터가 요구된다. 절삭데이터가 불충분한 경우에는 가공제품의 품질이나 정도가 저하될뿐 아니라 가공시스템 전체의 운전이 불가능하게 되는 경우가 있다.

최근처럼 고도로 자동화된 가공시스템에 있어서도 이러한 사정은 변하지 않고 있으며, 자동화의 정도가 진행될수록 더욱 정확한 데이터가 요구되고 있다.

절삭데이터는 절삭실험에 의해서 얻을 수 있으며, 절삭실험에는 상당한 숙련과 주의력을 갖춘 작업자가 장시간에 걸쳐 실시하지 않으면 안된다. 종래에는 한 재료의 피삭성을 파악하기 위해서 절삭속도, 이송, 절삭깊이, 공구재질 등 여러 조건 하에서 140 종류 정도의 절삭실험이 필요하게 되며, 데이터 정리에 소요되는 시간을 감안하면 작업자 1인이 약 3개월 정도의 노력이 필요하였다. 또한 절삭공구의 사용한계를 파악하기 위해서는 초고속영역에서의 절삭도 필요하며, 위험을 동반한 작업도 있다.

따라서 본 연구에서는 전 절삭실험시간 내에서 실제 절삭시간의 단축은 불가능하지만 공구마모의 측정시간이나 절삭데이터의 정리시간 등의 간접적인 실험시간을 자동화에 의해 대폭으로 단축하고, 절삭공구의 내마모성에 관한 기준 절삭데이터(마모특성, 사용한계 등)를 자동적으로 수집·보고하여 최종적으로는 절삭공구의 가공 Data Bank를 구축하는 선삭용 자

동 절삭실험시스템을 구성한다.

자동 절삭실험시스템의 전체 개략도는 Fig. 2-1 및 사진 2-1과 같으며, Hierachy 시스템으로 설계되어 크게 가공부, 측정부, 시스템 제어 및 정보 처리부, 출력부로 나누어 구성하였다.

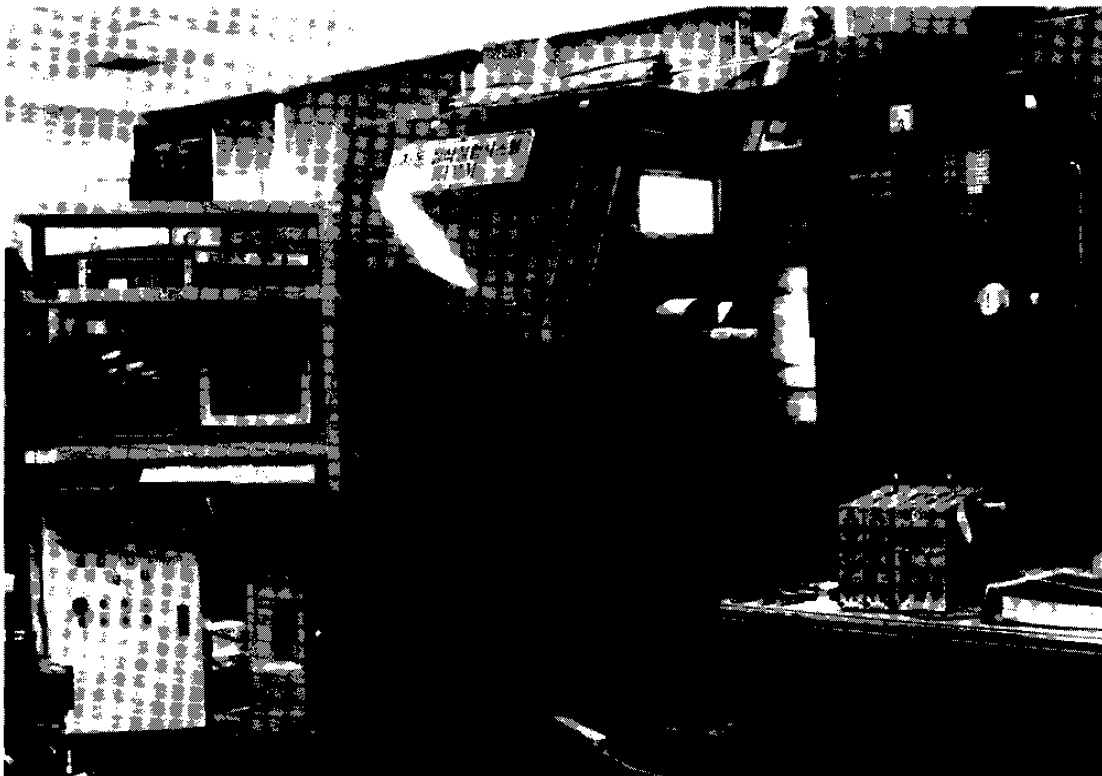


사진 2-1 선삭용 자동 절삭실험시스템

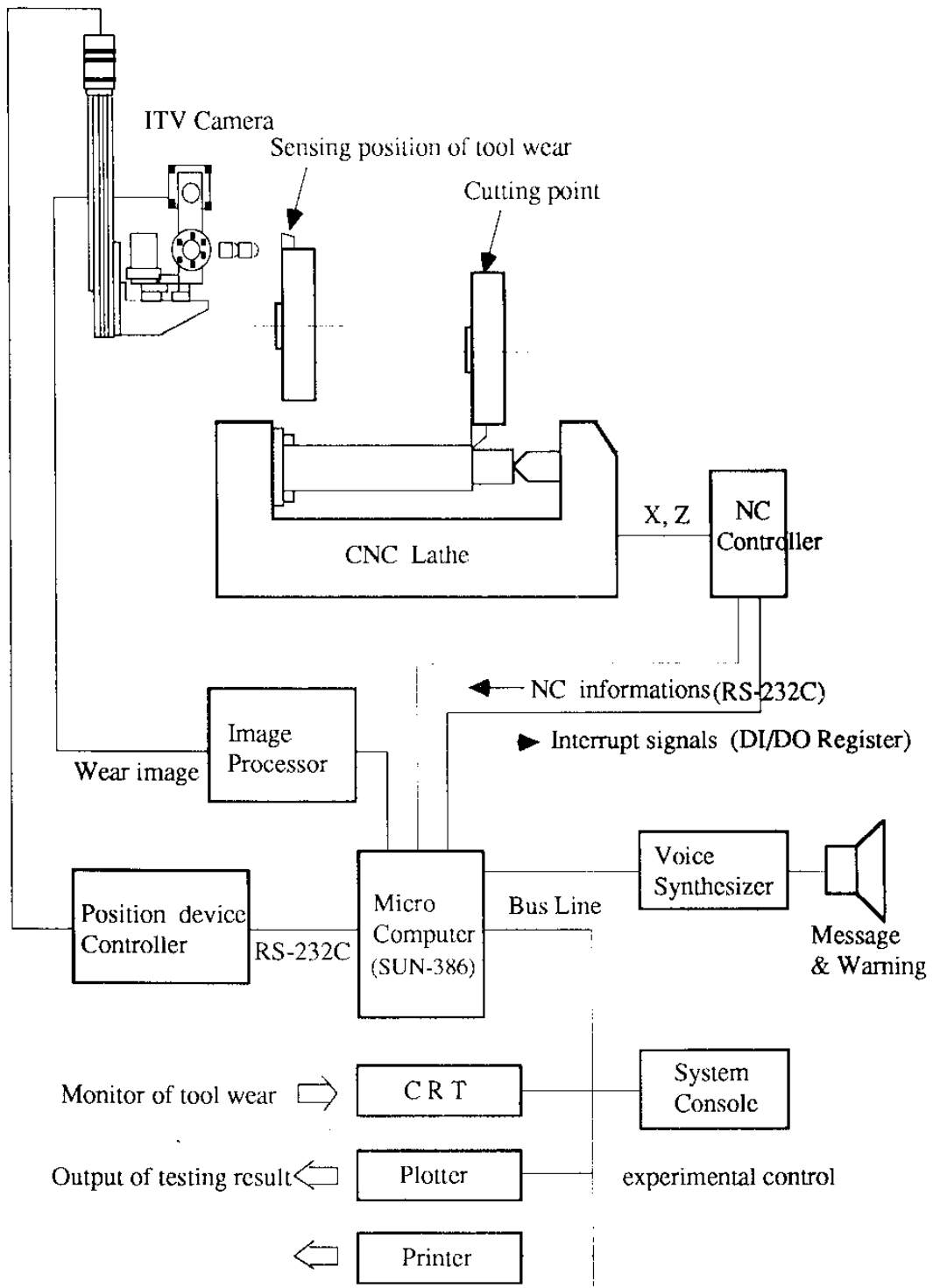


Fig. 2-1 선삭용 자동 절삭실험시스템의 구성도

## 제 2 절 자동 절삭실험시스템의 원리

NC 공작기계에는 미리 프로그램된 sequence에 따라 공구를 이동시키는 기능을 갖고 있어 본 시스템의 구성은 Fig. 2-2에 제시된 것처럼 sequence의 개시점(A)과 종료점(B)을 지정하고, 그 사이를 NC 프로그램에서 지정한 절삭속도에 따라 이동시키면서 지정한 일정시간마다 절삭을 중단시키고 공구를 측정위치(D)로 이동시킨다. 이동한 공구의 성능(공구 수명)을 자동으로 측정한 후 절삭 중단점까지 복귀하여 연속절삭 및 측정을 속계하는 원리로서 개발하였다.

이상에서 설명된 원리를 반복할 수 있는 기능을 갖을 수 있도록 피삭재의 기하학적인 관계 및 이송, 절삭깊이 등에 대해서는 NC Macro Program에 변수로 지정하고, 절삭 중단시간을 실험목적에 따라 외부 컴퓨터에서 지령토록 하였다. 또한 측정을 위하여 공작기계는 대기상태에 있도록 하며, 공구성능에 따라 절삭의 속계 및 중단여부를 외부컴퓨터에서 판정하여 제어한다. 이와 같은 원리에 의해 절삭실험을 수행함으로써 효과적인 실험자동화가 가능하다.

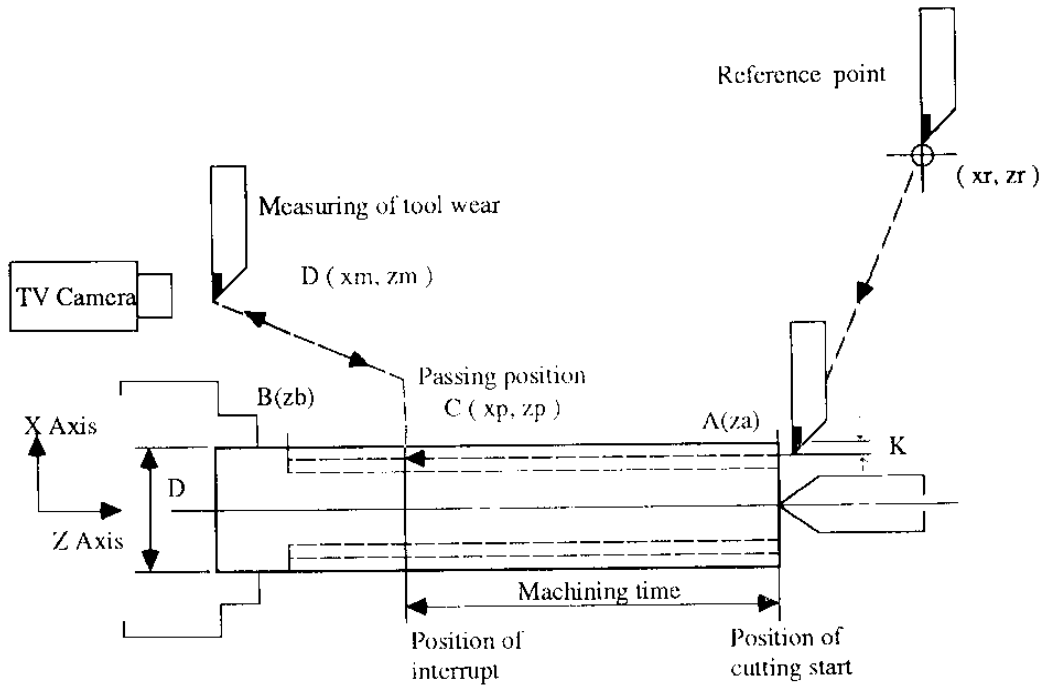


Fig. 2-2 자동 절삭실험시스템의 구성원리

### 제 3 절 하드웨어의 구성

#### 1. 가공부

자동 절삭실험시스템의 가공은 Table 2-1에 제시된 사양을 갖는 CNC 선반을 베이스로 하며, 시스템 제어용 컴퓨터와 NC controller를 쌍방향 신호케이블인 RS-232C 및 디지털 I/O로 인터페이스하여 가공기계 상태정보의 전송 및 NC controller로의 자동 절삭싸이클 프로그램 전송을 담당토록 하였다.



Table 2-1 CNC 선반의 사양

Model No.	HwaCheon , ECOSTAR - 3
제어축수	X/Z 축 동시 2축
최소 설정 단위	X 축 : 0.5 mm      Z 축 : 1.0 mm
보간구간	직소 , 테이퍼 , 원호 , 나사절삭 , 원통
절삭 이송 속도	자동 : 0.0001 ~ 500 mm / mev 수동 : 0 ~ 1250 mm / min
주축 최고 회전수	3,000 2pm (무단변속 + 자동변속) * 2단
Tape Memory 용량	20 M
최대가공경, 길이	$\pi$ 350 * 750 mm
Tape code	EIA RS - 244 / ISO84 $\pi$
통신수단	RS232C
Block Cyclctime	30 - 40 msec

한편 가공부의 CNC 선반의 자체 내에서도 절삭실험의 자동화를 실시할 수 있도록 Table 2-2와 같은 특수기능을 부가하여 NC controller를 구성하였다. 이러한 특수기능은 PMC(Programmable Machine Control) 수정 및 NC 보조기능(M80 ~ M83)과 User Macro 입력신호(Ui0 ~ Ui3) 각 4개의 디지털 입출력 접점작업을 통해 자동 절삭실험에 필요한 소프트웨어 기능을 준비한 컴퓨터와 연결되어 Direct control이 가능토록 구성하였다.

또한 공작기계의 자동싸이클, 패턴기능 등은 Macro compiler와 Macro cassette D를 채용하여 메모리에 등록시켜 놓고, 서브프로그램과 같이 필요할 때에 호출하여 사용한다.

Table 2-2 자동 절삭실험용 NC 장치의 특수기능

Function	Comments
1. Measurement	Move the cutting tool to measuring position
2. Tool change	Change a tool by previous machining
3. Cutting interrupt ( I )	Pause the cutting when inputting a interrupt signal
4. Cutting interrupt ( II )	Pause the cutting due to override of cutting conditions(speed, feed)
5. Reversion	Return to interrupt position, automatically

## 2. 측정부

공구상태 측정에 채용된 비전센서를 공구의 사양 즉 entering angle, tool geometry 등에 따라 일정한 측정위치로 이동시키고, 측정위치에서 공구의 형상정보를 주사하여 추후 영상해석 및 공구수명을 체크할 수 있도록 RS-170 형식의 아날로그 신호로 Image processor의 LUT(Look-Up Table)에 입력하는 역할을 한다.

특히 이 부분은 절삭공구의 형상과 조명의 간섭에 대처할 수 있도록 고안된 Flexible position & lighting 장치와 확대된 영상취득을 위한 비전센서부로 구성된다.


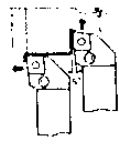


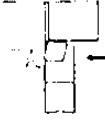


Entering angle	構造記號	切刃形態	f (mm)	
105°	(P, E)	K	32	
95°	(P, E)	L	32	
93°	(P, E)	J	32	
90°	(P, E) (E)	G A	32 25	
75°	(P, E)	B	22	
60°		E E	12.5 18.5	
45°	(E) (P) (P, E)	D D S	12.5 12.8 32	

Fig. 2-3 대표적인 선삭공구의 사양

### 가. Position & lighting 장치

비전센서는 일정한 초점거리(work distance)를 갖고 측정대상의 직각위치에서만 원하는 영상정보를 얻을 수 있는 것으로 선삭공구의 상태측정에 적용 시에는 Fig. 2-3에 제시된 것처럼 선삭공구의 사양을 고려한 Fig. 2-4와 같은 위치이동이 동반되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 자동 절삭실험시스템의 위치결정 장치(position device)를 위에서 서술한 내용의 factor를 고려하여, 유연성 있게 공구의 형상에 따라 일정한거리를 유지할 수 있도록 3 축(X/Z/ $\theta$  축) 이동이 가능하게 설계하였다.

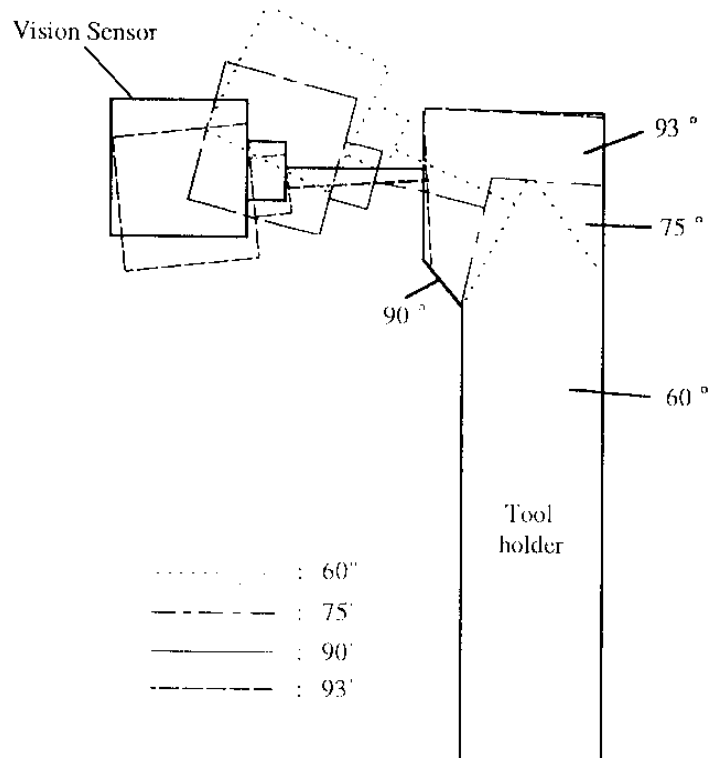
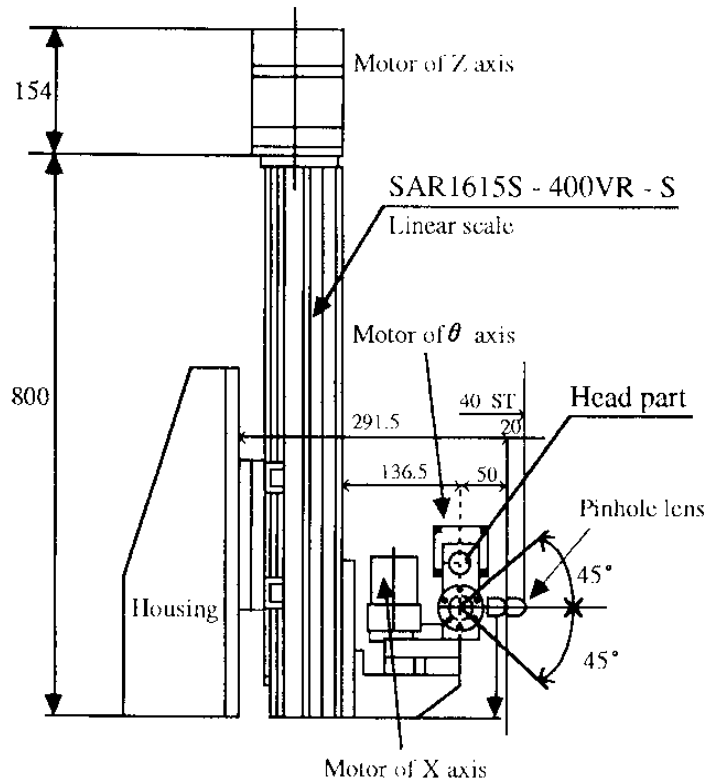


Fig. 2-4 선삭공구의 사양에 따른 비전센서의 이동



	X 축	Z 축	$\theta$ 축
• 구동 Motor			
- Model No.	Oriental KP6M2-002	Oriental UPD597-AM	Oriental KE56KM2-502
- 형 식	2 Phase	5 Phase	4 Phase
- 분해능	0.0115 mm/step (1:15 감속기 사용)	0.005 mm/step (전자 Brake 사용)	0.036° /step (1:50 감속기 사용)
• 직선 유니트			
- Model No.	VR Table	SAR1625-400 VR Linear Scale	VR TABLE
- 전동방식	Timing Pulley	TMK Ball Screw	TMK Ball Screw
- Stroke	50.0 mm	300.0 mm	100°
- lead		5.0 mm	

Fig. 2-5 Flexible Position 시스템의 구성도 및 사양

Flexible position 장치의 구성도 및 사양은 Fig. 2-5이다

한편 Vision 센서를 이용한 영상처리에 있어서 조명은 영상정보 입력과 시스템 분석 및 해석에 영향을 미치는 인자이며, 조명의 위치가 부적당한 경우에는 정확한 영상정보 얻는 것이 불가능하다. 따라서 4차년도까지의 연구결과를 토대로 Fig. 2-6에 제시된 것처럼 2대의 조명source를 공구마모의 진행방향으로 45°의 기울기를 갖게 구성함으로써 반사광의 중화 및 diffuor 효과를 통한 좋은 대비를 이룰 수 있도록 조명장치를 구성하였다.

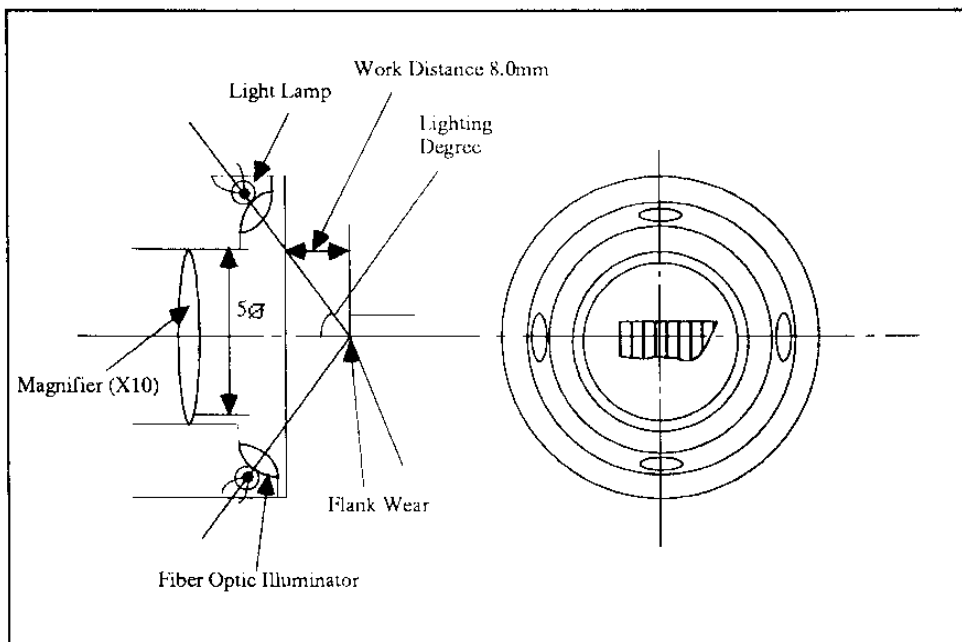


Fig. 2-6 Light source의 구성 Mechanism

조명장치는 측정대상물의 집중적인 조명 및 flexible한 조정성을 갖도록 하기 위해 직진성이 좋은 He-Ne Laser 발진기를 light source로 하고, Beam diameter를 축소하는 Fiber-optic adapter attachment를 coupling하여 50 μm core diameter fiber optic cable를 통하여 주사할 수 있도록 하였다.

조명장치의 구성요소의 사양은 Table 2-3과 같다.

Table 2-3 조명장치 주요 구성요소의 사양

구 성 장 치	사 양
<p>Laser 발진기</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Model No. : AEROTECH, LSRO6RX</li> <li>- He-Ne laser generator</li> <li>- Beam diameter : 0.48 / 0.64 mm</li> <li>- Beam divergence : 1.00 / 1.70 mrad</li> </ul>
<p>Fiber optic adapter attachment</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Model No. : AEROTECH, SOF-2</li> <li>- Laser beam-용 dia. hole : 3.05 mm</li> <li>- X/Y/Z 축 precision alignment system</li> </ul>
<p>Fiber optic cable</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Model No. : AEROTECH, FC-50</li> <li>- Core diameter : 50.0 <math>\mu</math>m</li> <li>- Cable length : 2.0 m</li> </ul>

#### 나. Vision 센서부

이 부분은 측정대상인 공구마모의 형상을 아날로그 신호로 입력, 처리하는 비전센서인 ITV camera와 pinhole lens 및 extension tube로 구성되어 있다.

ITV 카메라는 영상처리를 위한 비디오 신호(video signal)를 출력하

는 부분으로 절삭실험 중의 작업환경은 표준조도 20 Lux에 비해서 낮은 밝기등급을 갖게 됨으로 저조도 환경 하에서도 사용할 수 있는 표준조도 2.0 Lux의 저조도 카메라(VICON, VC260-12)를 채택하였다.

한편 본 연구에서 고려된 계측 mechanism으로는 주축두 주위 (Chuck end point)에 측정장치를 설치하여 주축두와 같은 방향에서 측정할 수 있는 Mechanism과 NC 선반의 Turret의 Slide 면에 설치하여 측정 시 Sensor를 이동시키는 Mechanism이 고려되어, 선정된 NC 선반의 구조상 후자와 같은 Mechanism을 갖는 Fig. 2-5에 제시된 구조의 Position 장치가 고안되었다.

이상의 Mechanism을 갖기 때문에 측정센서의 head부는 절삭공구의 직각위치에 놓이게 된다. 그러므로 측정할 영상을 lighting mirror 및 condenser를 통하여 카메라의 촬상관에 scanning될 수 있도록 Rightangle pinhole lens를 사용한다. Rightangle pinhole lens의 구조는 Fig. 2-7이며, 기본적인 사양은 아래와 같다.

- Model No. : COSMICAR, C934PLEX-2
- Focal length : 9.0 mm
- Max. aperture ratio : (1 : 3.4)
- Angle of view diagonal: 63° 47'
- Angle of view horizontal : 52° 36'
- Angle of view vertical: 40° 15'
- Object distance : 0.3 m ~ ∞



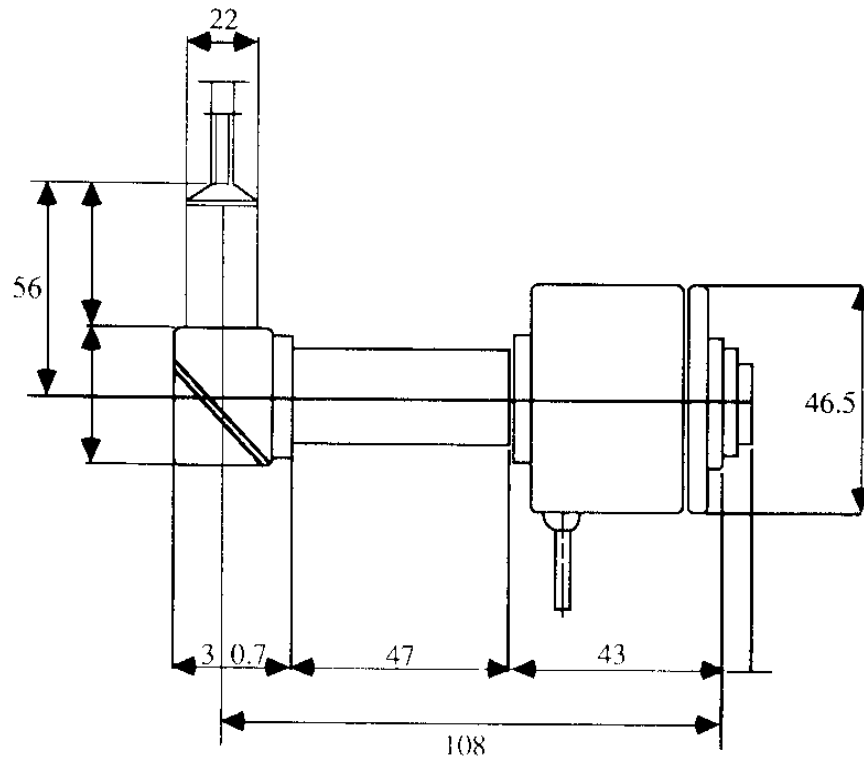



Fig. 2-7 Rightangle pinhole lens의 구조

또한 측정대상인 절삭공구의 마모(flank wear)는 일반적으로 대단히 작아서( $\sim 0.3$  mm) 직접적인 결상시에는 영상인식의 어려움이 따르게 된다. 따라서 측정부의 compact화 및 센서 head부의 구성 상 Extension tube kit를 이용하여 카메라의 work distance조정에 의한 촬상관에 비치는 상의 크기를 결정하고, 확대된 상으로서 분석할 수 있도록 카메라와 Pinhole lens사이에 C-mount로 coupling하였다.

확대상의 배율은 10 mm tube kit 1 개, 1.0 mm tube kit 2 개를 조합하여 X10를 갖도록 하며, 8.0 mm의 work distance를 유지토록 하였다.

### 3. 시스템 제어 및 정보처리부

이 부분은 자동 절삭실험 시스템의 중심부로서 구성장치, 즉 가공

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
@	$10^1 10^0$	WC	$10^1 10^0$	$10^1 10^0$	O	O	O	step data	*	

여기에서, ①, ⑪ : 명령의 처음과 끝을 표시하는 기호

② : Controller address (#01 ~ #99)

③ : Channel에 data를 기입 및 실행기호

④ : Channel 표시(#01 ~ #24 CM)

⑤ : Repeat 표시 (program 실행회수)

⑥, ⑦ : Data 입력방식 (ABC = 01, INC = 10)

⑧ : 주속 유무 (유 = 1, 무 = 0)

⑨ : Step data 형식

⑩ : Block end 표시

⑪ : ENTER을 의미

(a) 명령형식

O	$+/- 10^6 10^5 10^4 10^3 10^2 10^1 10^0$	$+/- 10^6 10^5 10^4 10^3 10^2 10^1 10^0$	$+/- 10^6 10^5 10^4 10^3 10^2 10^1 10^0$
	(command)		
	X 축		
	Y 축		
	Z 축		

1-8	1-8	1-4	1-4	;
(XY, Z SPEED)                      (XY, Z SLOPE)				

(b) Step data 형식

Fig. 2-8 Position controller의 데이터타 기입방법

부의 NC 선반과의 가공정보 교환, 측정부의 ITV 카메라 주사, Position 장치의 구동 등 시스템 전반적인 제어 및 정보처리를 담당하게 된다.

#### 가. Position controller

Position controller(OHM, PIMCO OD-III A)는 Position 장치의 구동 및 제어를 담당하는 것으로 운영 소프트웨어의 입력단계에서 입력된 공구 번호(Tool identification number)에 따라 컴퓨터에서의 계산 및 이동량 산출을 거쳐 비전센서의 측정위치로의 이동을 위해 각 축(X/Z/ $\theta$  축)에 이동 Pulse를 전송하는 역할을 담당한다. 본 Controller의 데이터 기입 방법은 Fig. 2-8에 제시한 것처럼 (a)와 같은 명령형식에 따라 실행 및 데이터의 전달이 가능하게 되며, 각 축의 step 데이터 형식은 7 자리로서 첫자리는 이동 방향을 나타내고 다음의 6자리는 이동 pulse을 기입하게 된다.

#### 나. Interface unit

컴퓨터에서 계산된 각 축의 이동량을 Position controller에 전송하고, 상태정보를 받기 위해서 Position controller의 Interface port(RS-422 serial port)를 이용한다. 그러나 컴퓨터측의 Interface port는 RS-232C serial port로서 RS-232C port와 RS-422 port의 중간매체 역할을 할 수 있는 Interface module가 필요하다. 따라서 인터페이스 converter를 제작하여 컴퓨터와 Position controller 사이의 Interface를 이루고, 각 축의 제어 및 구동을 지시하기 위해서 아래와 같은 변수를 설정하여 통신을 재개할 수 있도록 하였다.

- 1) Baud rate 설정 (1200 bps)
- 2) Parity check (none)
- 3) Stop bit (1 bit)
- 4) Data bit (7 bit)
- 5) Controller address (#01)
- 6) 프로그램 block간 대기시간 (0.5 sec)
- 7) Response time (25 msec)
- 8) 송수신시 채널로서 스텝구분 여부
- 9) 송수신 동작의 LED 표시

한편 컴퓨터에 의해 운영되는 자동 절삭실험시스템의 가공부, NC와의 신호입출력 및 시스템 제어를 위하여 디지털 입출력(Digital input/output) Interface Unit(ADVANTECH, PLC-725)를 채용하였다. D I/O interface unit는 컴퓨터의 register(Port address : &H220) 내로 데이터를 입출력하며 Relay의 구동과 그 구동의 해제를 지시한다.

#### 다. Image processor 및 computer

ITV 카메라에서 주사된 마모측정부의 영상신호(아날로그 신호)는 영상처리보드(ImagingTec., FG-100-AT-1024) 내의 A/D 변환기에 의해 256 gray level의 신호로 바뀌어져 frame buffer에 저장되고, 영상해석을 위해 PC-bus를 통하여 컴퓨터의 Main memory에 전달된다.

영상처리 보드와 컴퓨터(SUN PC-386)와의 인터페이스는 16개의 I/O mapped register를 통하여 이루어지며, register base address는 &H300,

memory base address는 &HD0000를 사용한다. 또한 I/O mapped register를 통하여 DMA(Direct Memory Access) 또는 PIO(Programable Input-Output)방식에 의해 데이터의 전송, 전송방식의 제어 및 interrupt에 이용하고, interrupt feedback LUT(Look-Up Table)가 내장되어 있어, memory access을 위한 타이밍 정보를통하여 자동 window 설정, realtime 데이터 연산 및 처리가 가능하다.

한편 영상처리 및 분석용 소프트웨어의 요구에 의해 AT-bus를 통해 컴퓨터의 main memory에 저장된 영상정보는 운영소프트웨어의 영상처리 및 분석을 거쳐 3 개의 output LUT의 D/A 변환기를 통해 RGB graphic monitor로의 출력이 이루어진다.

#### 4. 출력부

이 부분은 시스템 제어 및 정보처리부에서 수행한 결과를 수집하고, 출력하는 부분으로 영상처리 장치와 연결된 그래픽 모니터(Electrohome, ECM 1311)는 공구마모 측정을 위한 영상처리 결과 즉 자동 2치화, Noise filtering, Boundary extraction 및 특징량 추출을 출력.확인시켜 준다.

또한 자동 절삭실험 프로세스 중의 처리내용 및 결과, 경고메세지 등을 음성으로 출력할 수 있도록 음성합성보드(Voice synthesizer)를 구성시켰다. 음성합성보드에 의한 음성출력으로 모니터 상에서만 가능하였던 작업확인 등 작업자의 인식을 유도할 수 있다고 사려된다.

그 밖에 측정데이터의 수집 및 분석을 위한 공구수명 곡선(VT선도), 공구 마모 경과곡선 및 Machining Data Bank 구축용 파일 구성 등을 위

해 보조 출력기기로 X-Y plotter(Roland DG, DXY-980A), Dot-printer(Epson LQ-1500)를 이용하여 필요한 형태로 출력하며, data file로서 SUN-PC/386 computer의 hard disk의 메모리에 저장한다.

## 제 4 절 시스템 제어 및 운영소프트웨어

### 1. 개 요

계측 등의 단순하고, 반복적인 작업을 자동화하고, 작업자가 바뀔 것으로 인한 계측의 오차를 없애며, 보다 신뢰성 있는 절삭성 데이터를 얻기 위해서 절삭공구의 수명관리 및 측정방법으로 직접적인 계측방법으로 영상처리 기술을 응용한 자동 절삭실험 시스템을 구성하고, 그 운영 소프트웨어를 개발한다.

개발한 소프트웨어는 NC 선반에서의 가공 및 시스템 운영의 관련 정보교환과 Vision sensor(CCTV camera)에 의한 공구마모 측정으로 공구수명 관리 및 절삭성 데이터 산출을 담당하는 소프트웨어로 Fig. 2-9과 같은 단계로 운영된다.

한편, 본 소프트웨어는 시스템 제어 및 운영 측면에서 Microsoft C language ver. 5.0를 base로 하고, 영상처리용 library ITEX-100 및 NC Custom Macro를 이용하여 프로그램 하였다.

### 2. 입력모듈

실시할 절삭실험의 절삭조건 및 공구정보를 입력하는 단계로서 입력한 데이터는 추후 절삭가공 Data Bank 구축에 사용한다. 특히 공구정

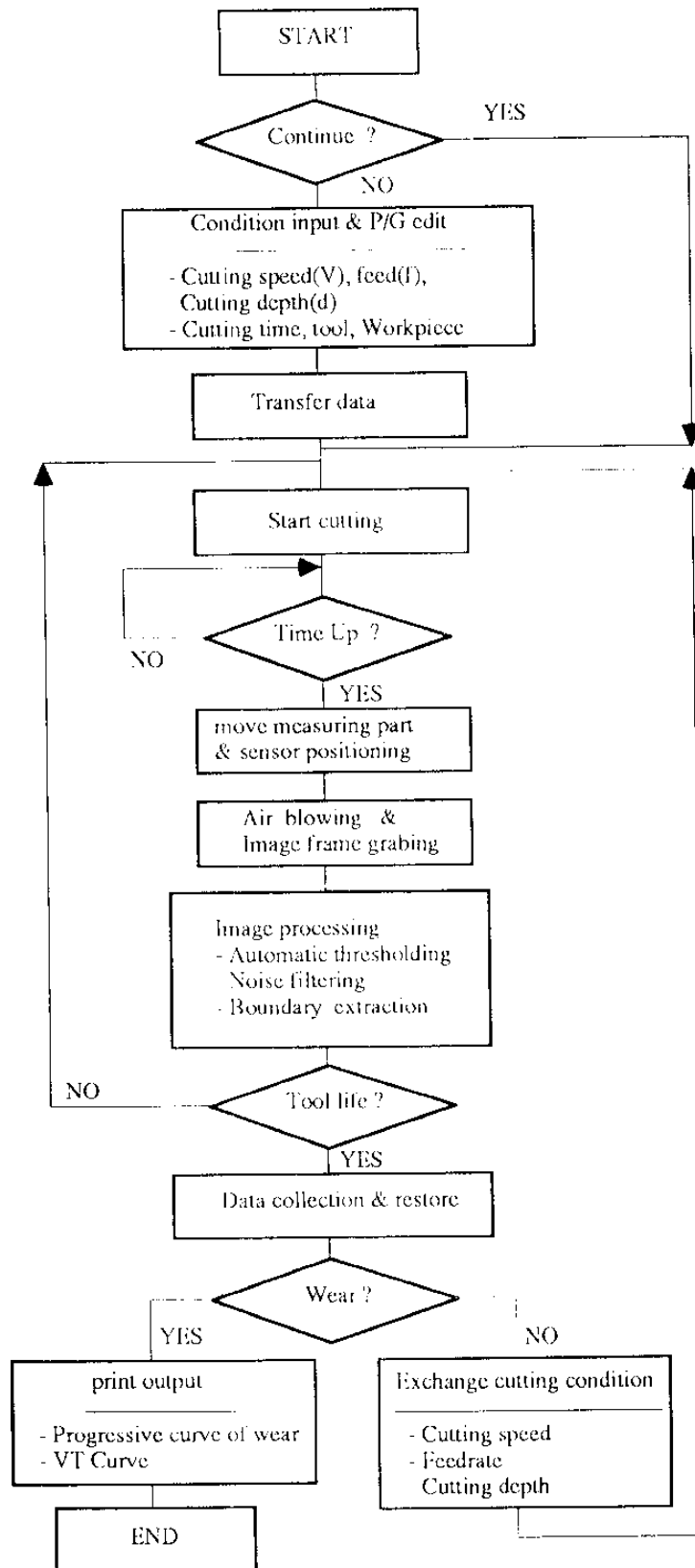


Fig. 2-9 시스템 운영 및 정보처리 소프트웨어 흐름도



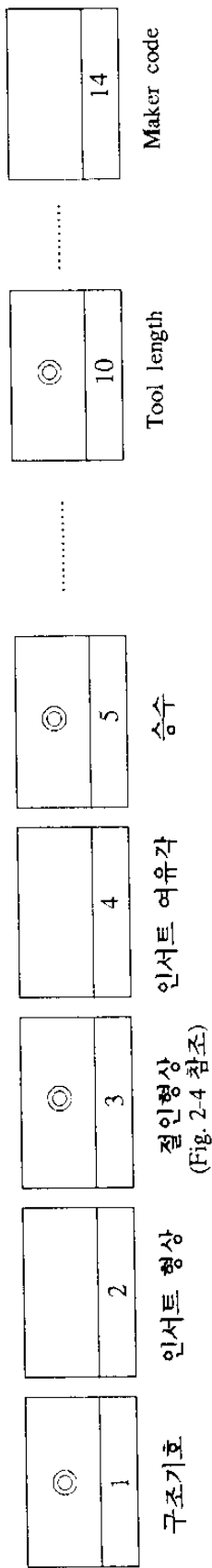
보 중 공구holder의 번호(identification number of tool holder)는 자동 절삭실험시스템의 Position 장치를 측정위치로 이동시키기 위한 각 축 구동 Motor 의 이동량을 결정하는데 활용한다. 공구번호는 ISO 규격에 따른 공구홀더의 규격코드로 Fig. 2-10에 제시된 규격코드의 각 자리의 정보에 따라 공구홀더의 구조, 절인형상, 승수(version) 및 Tool length 등이 결정되어 비전센서의 측정위치가 결정되게 되는 것이다.

### 3. NC Drive & Interrupt모듈

자동 절삭실험 시스템 구축에 있어서 가공부, 즉 NC 동작기계의 운전 및 제어를 어떻게 자동화하는가가 시스템의 구성의 관건이다. NC 동작기계의 제어기능은 operator가 미리 설정한 가공 sequence에 따라 가공하는 기능만 갖고 있으며, 앞에서 기술한 자동 절삭실험 시스템에서 필요로 하는 특수한 기능, 절삭공구의 측정위치로의 이동, 자동 절삭cycle 프로그램의 전송, 절삭 cycle의 interrupt 등을 갖고 있지 않기 때문에 절삭실험을 실행시키기 위해서는 특수한 기능의 소프트웨어를 준비한 컴퓨터와 NC controller와의 결합이 필요하다.

컴퓨터와 NC controller와의 결합에 의해 데이터의 전송 및 제어를 On-line으로 실시하는 시스템이 되기 위해서 쌍방향 신호 cable인 serial RS-232C 및 Digital input/output unit를 이용하여 Direct Control 시스템을 구성하였으며, 절삭실험의 자동화를 실시하기 위해 Table 2-4에 제시된 것과 같은 NC와 컴퓨터간의 정보교환이 필요하다.

NC Drive & Interrupt모듈은 이상에 기술한 것처럼 자동 절삭실험을 실시하는데 필요한 기능, 즉 절삭가공 누적시간 count, 절삭 가공사이



◎ : 절삭 실험 시스템의 Position 장치구동에 고려한 factor

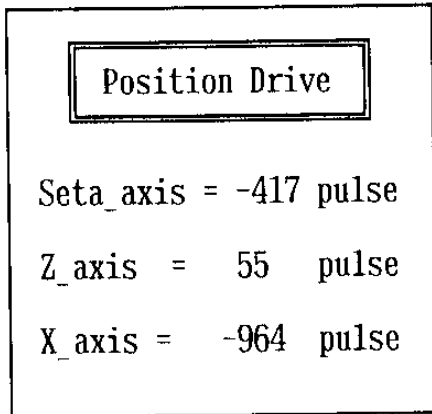
Fig. 2-10 공구 holder의 규격 code(ISO 규격)

클의 interrupt 신호전송, 절삭가공 프로그램의 전송 및 수정 등을 담당하는 부분으로 특히 순절삭가공시간, G01, G02, G03 Block의 실행시간 만을 누적계산할 수 있는 Macro 변수 #8553를 활용할 수 있도록 Macro compiler 와 Macro executer를 이용하였다.

본 Module의 진행상황은 입력단계에서 입력된 데이터를 기초로 position장치에 Fig. 2-11와 같은 형태로 이동 pulse를 전송하여 구동시키고, 구동이 완료되는 것과 동시에 자동 절삭싸이클용 NC 프로그램을 전송하여 절삭실험을 이행토록 한다. 또한 절삭실험시스템의 자동운전을 위해 절삭개시 위치이동, 계측위치 이동 및 Interrupt, 절삭 재개시 등을 수행할 수 있도록 1개의 Main 프로그램과 6개의 Macro 프로그램으로 구성되는 자동 절삭싸이클용 NC & Macro 프로그램을 작성하여 운전시킨다.

**Table 2-4 NC controller와 컴퓨터간의 교환정보**

Informations	Interface Unit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatic cutting cycle &amp; custom macro program</li> <li>• Current position data of tool in x/z axis</li> <li>• Cutting conditions (cutting speed, feed, depth of cut, etc)</li> <li>• Number of cutting tool</li> </ul>	RS-232C
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cutting interrupt signals (Ui 0~2)</li> <li>• Signal of work completion (M80~82)</li> </ul>	Digital I/O



Driving\_a\_position\_system\_!

Download\_a\_NC\_program

Press\_a\_ESC\_key

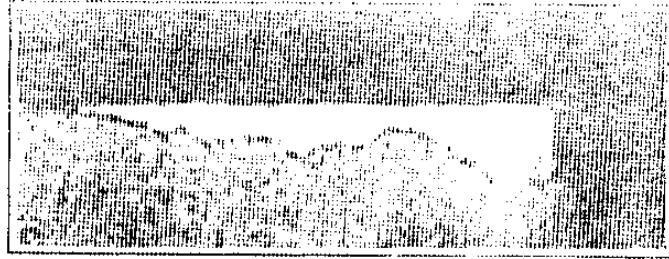
Fig. 2-11 NC 운전 및 Interrupt 단계

#### 4. 공구마모 측정 및 분석모듈

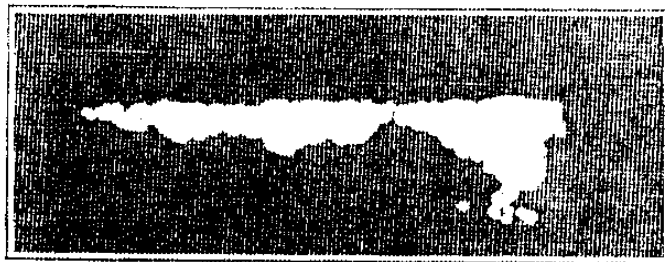
본 모듈은 영상처리용 준비데이터를 입력하고, 비전센서에서의 주사를 실시하여 공구마모를 영상정보로 변환하고 영상처리 하여 얻은 영상정보에서 원하는 패턴 만을 추출.분석하는 모듈로서 단계별 영상처리 결과는 Fig. 2-12와 같으며, 주요 영상처리 알고리즘은 다음과 같다.

가. 자동 2치화(Automatic thresholding)

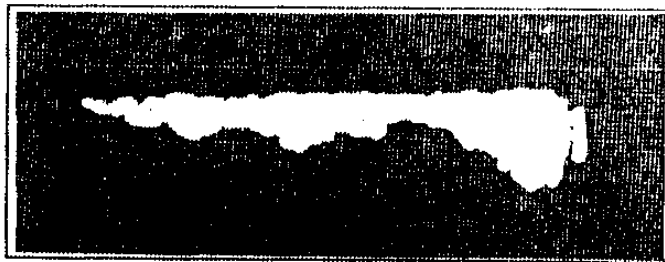
원영상에서 경계인식 및 패턴추출을 용이하게 하고, 필요로 하는



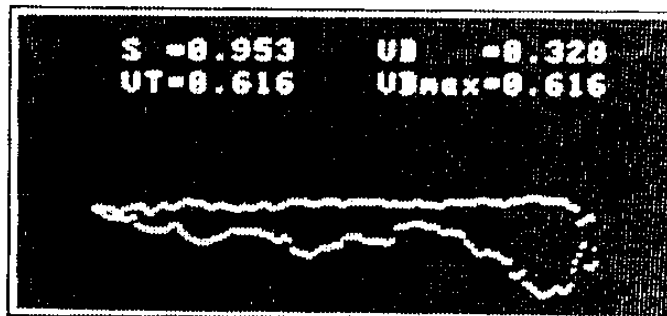
(a) Original image



(b) Automatic thresholding



(c) Noise filtering



(d) Boundary extraction

Fig. 2-12 Processing steps of tool wear measurement

연산시간의 최소화를 위하여 256 gray level의 원영상을 2 level의 영상으로 변환시키는 것이 2치화 또는 2진처리 라고 한다.

본 연구에서는 2개의 window 설정에 의해 경계치를 결정하는 window thresholding법을 개발, 자동으로 2치화하는 자동 2치화 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘은 Fig. 2-13에 제시된 2개 window 내의 brightness분포 변화로 경계(threshold) 값을 결정하여 2치화하는 알고리즘으로 다음과 같이 적용한다.

- 1) 마모부를 포함하는 window를 설정하고, window 내의 영상휘도 histogram  $A(i)$  ( $0 \leq i \leq 255$ )를 구한다. (Fig. 2-13(a),(b)의 A 참조)
- 2) 비마모부, 배경에 상당하는 window를 확장하여 histogram  $B(i)$ 를 구한다. (Fig. 2-13(a),(b)의 B 참조)
- 3)  $A(i)$ ,  $B(i)$ 로부터 경계값(threshold value)  $T$ 를 구한다.  
 $T = i$ , if  $A(i) = B(i)$  and  $0 < i < 255$
- 4) 경계값  $T$ 를 기준으로 하여 원영상을 2치화 한다.

$$g(i,j) = \begin{cases} 255 & : f(i,j) \geq T \\ 0 & : f(i,j) < T \end{cases}$$

여기에서,  $f(i,j)$  = 좌표(i,j)의 입력영상 pixel value

$g(i,j)$  = 좌표(i,j)의 출력영상 pixel value

$0 \leq i \leq$  horizontal window size,  $x$

$0 \leq j \leq$  vertical window size,  $y$

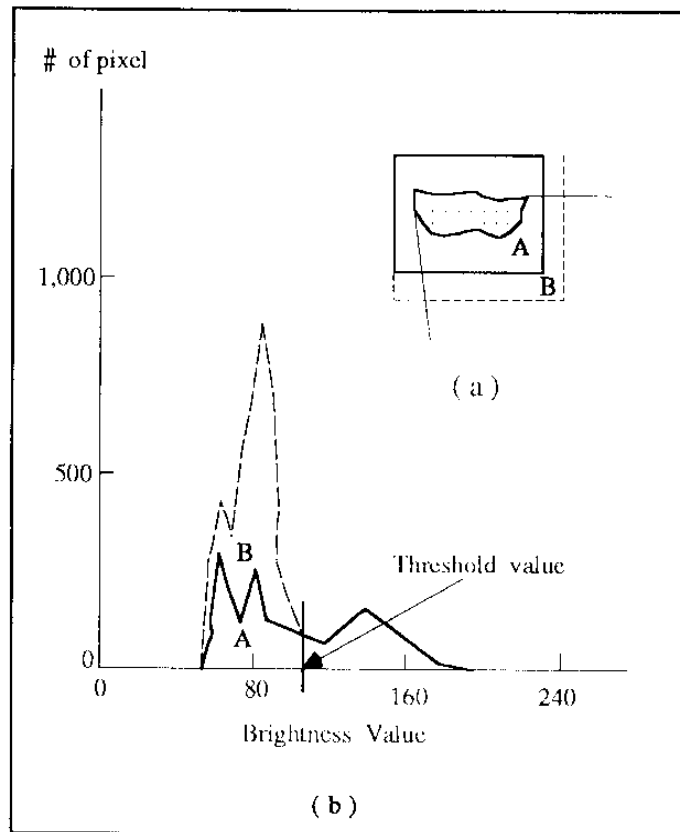


Fig. 2-13 Automatic thresholding 방법

나. 잡음제거(Noise filtering)

본 연구에서도 2진 처리한 공구마모 영상에서 공구면의 굴곡, 불균일한 조명상태 등에 의한 잡음성분이 포함되어 있어 영상해석에 장애요인이 되고있다. 이런 잡음성분 제거를 위해 Fig. 2-14과 같은 기하학적인 필터링 기법을 이용, 원영상의 축소(erosion), 확대(dilation) 단계를 거쳐 영상의 융합(fusion) 혹은 평활화(smoothing)하는 잡음제거 단계를 다음과 같이 적용한다.

- 1) 2진처리한 마모영상의 각 화소(pixel)에 대해 인접화소(neighboring

pixel)의 logical AND에 의해 모든 마모영상을 제거(255-화소에  
서 0-화소로의 변환)한다.(erosion filter)

$$g(i,j) = \begin{cases} 255 : \text{그 외의 경우} \\ 0 : f(i,j)=0 \text{ 혹은 } f(i,j) \text{의 } 3 \times 3 \text{ kernel 중 하나가 } 0 \text{인} \\ \text{경우} \end{cases}$$

- 2) 각 화소에 대해 축소(erosion)에 이용한 동일한 주변과 화소사이에  
OR logic을 적용하여, 영상의 255 영역(대상물 영역)을 원상태로  
복원(dilation)한다.

$$g(i,j) = \begin{cases} 0 : \text{그 외의 경우} \\ 255 : f(i,j)=0 \text{ 혹은 } f(i,j) \text{의 } 3 \times 3 \text{ kernel 중 하나가 } 1 \text{인} \\ \text{경우} \end{cases}$$

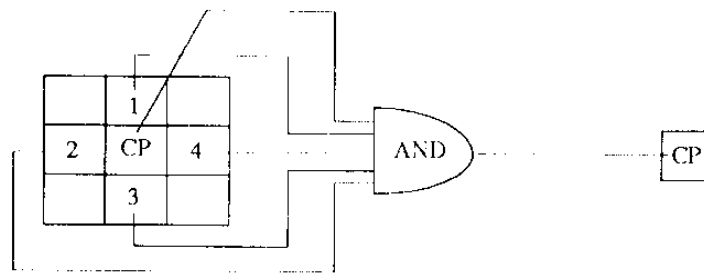
여기에서,  $f(i,j)$  = 입력영상의 pixel value

$g(i,j)$  = 출력영상의 pixel value

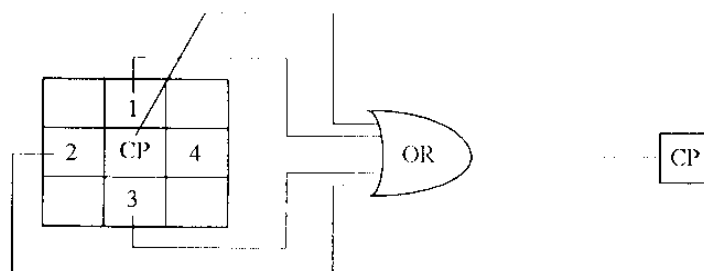
#### 다. 경계인식(Boundary extraction)

영상처리 하고자 하는 공구마모 영상은 사전연구에서 검토된 결  
과 거의 폐쇄형 도형으로 간단히 edge 및 영역분할이 가능하고, noise  
filtering 단계에서 처리하지 못한 마모영상 내의 암점 또는 별도의 분리  
된 섬모양의 암점을 제거하여 영역분할을 통한 공구마모 형상의 추출이  
필요하다. 따라서 임의의 시작점에서 시작하여 형상의 경계선을 따라가





(a) Erosion



(b) Dilation

Fig. 2-14 기하학적인 noise filtering 기법

면서 영역분할 및 공구마모 영상의 외형을 추출하는 경계선 추적 알고리즘을 개발(Fig. 2-15 참조)하였다. 개발한 알고리즘의 처리단계는 다음과 같다.

- 1) 2진 처리된 영상에서 상향 line scanning을 하면서 화소값(pixel value)이 0 (black)에서 255 (white)로 변하는 점을 시작점(starting point)으로 갖는다.
- 2) 선택된 시작점에서 근소화소(neighbor pixel)의 화소값을 비교하여 같은 화소값을 갖는 좌표점을 선정한다. 이 때에는 들어가는

방향에 대해 아래와 같은 rule에 의해 비교 sequence가 결정된다.

rule : left → straight ahead → right → back

- 3) 위의 2) 단계를 반복하면서 경계점(boundary point)이 처음 시작점으로 돌아올 때까지 경계점 좌표를 선정한다.
- 4) 이상에서 추출한 경계점을 토대로 추적한 경계점을 재배열한다.

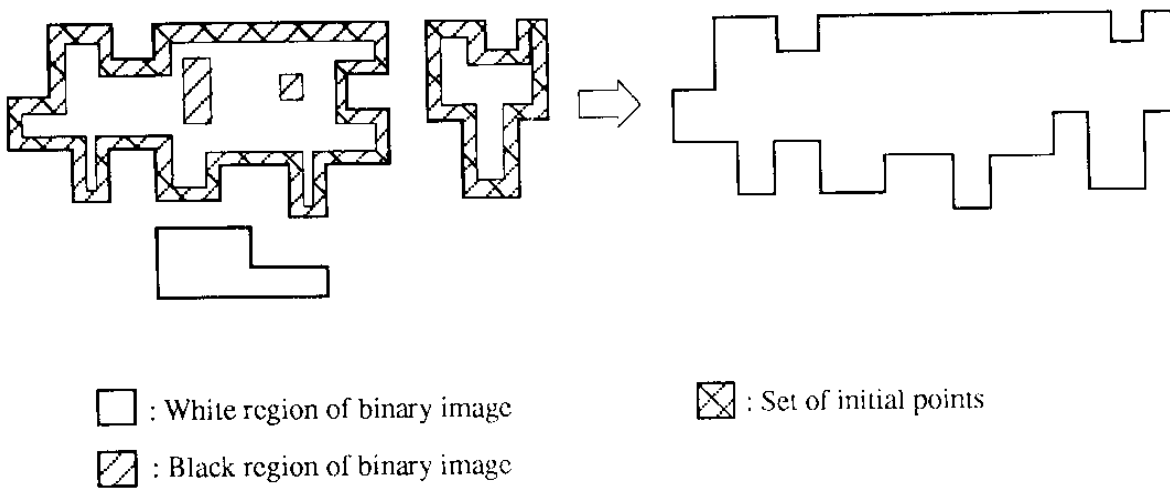


Fig. 2-15 경계선 추적법

## 5. 절삭가공 Database 구축모듈

공구마모 측정모듈에서 검출한 마모인자(VT, VBmean, VBmax)를 근거로 절삭가공 데이터 파일을 구성하는 것으로 분석 상황데이터 결과를 Fig. 2-16처럼 출력하고, 분석용 공구마모의 영상정보(image data)를 데이터 파일로 저장하여 절삭실험을 통한 절삭공구의 시간적 변화에 따른 공구마모 진행도, 공구수명곡선(VT선도) 등을 출력·확인하는 단계이다.

## Machining Database

1. Cumulative Cutting Time : ( 17 Min)
2. Tool Information  
    number = (SNMG120408)  
    material = (CARBIDE )
3. Cutting Condition  
    V , f , d = (150.0 ,0.12 ,1.0 )  
    work. material = (S45C )
4. Measurement Output (Flank Wear)  
    VT=(0.320 ) , VBmean=(0.291 ) , VBmax=(0.320 )
5. Database File Name = (machine.dat)

Fig. 2-16 절삭가공 Data Bank 구축모듈

### 제 5 절 시스템 제어 및 인터페이스

자동 절삭실험시스템을 운용하기 위해 채용된 MT--->PMC--->NC  
형의 입력 및 NC--->PMC--->MT 형 출력방식의 외부 입출력 장치는 다음  
과 같은 기능을 가지고 있어야 한다.

- 1) Auto mode에서 절삭이 진행중 외부와의 신호 입출력 기능
- 2) 입출력된 신호의 Data 처리 및 연산기능

### 3) 입출력된 신호의 변수처리 기능

따라서 입력은 CUSTOM MACRO를 이용한 MACRO Interface Input을 이용했으며, NC로부터 신호의 출력은 MACRO Interface Output 신호 및 보조기능 M코드를 사용한다. 특히 M Code는 Macro출력에 비해 비교적 간단한 구조로 되어 있어 별도의 연산을 필요로 하지 않는다.

본 연구에서는 외부에서 단접점 신호를 수신받기 때문에 출력신호로 M Code를 사용하기 위해 ROM 변경을 통해 Table 2-5와 같은 M Code 출력의 기능을 추가하였다.

Table 2-5 추가된 M 코드의 내용

분류	내 용
M80	M80/M81 공통접점 ON
M81	M80/M81 공통접점 OFF
M82	DGN 340에 의한 작동시간 조절용 ON
M83	DGN 345에 의한 작동시간 조절용 OFF

자동절삭실험을 수행하기 위해서는 NC, 컴퓨터 및 측정장치가 유기적으로 구성되어야 한다(Fig. 2-17 참조). NC에서 컴퓨터로는 각종 가공 정보가 전달되어야 하며, 컴퓨터는 전달받은 정보를 이용해 측정장치를 구동하기 위한 제어를 수행해야 한다. 이러한 목적수행을 위해 NC 내에서는 CUSTOM MACRO를 이용해 실험의 효율성을 높였다. 특히 본 연구에 사용한 CUSTOM MACRO는 변수의 정의 및 치환, 함수처리, 조건제어 등의

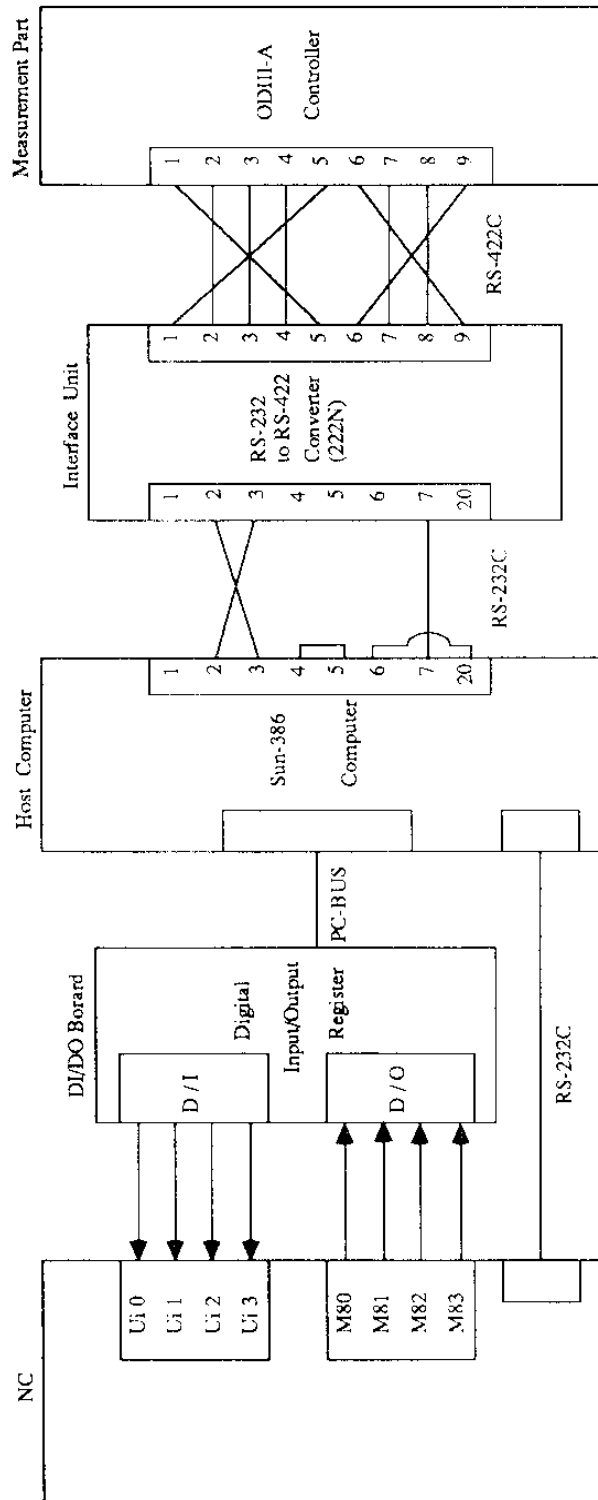


Fig. 2-17 NC부와 컴퓨터 및 D/I/O유니트의 결합관계

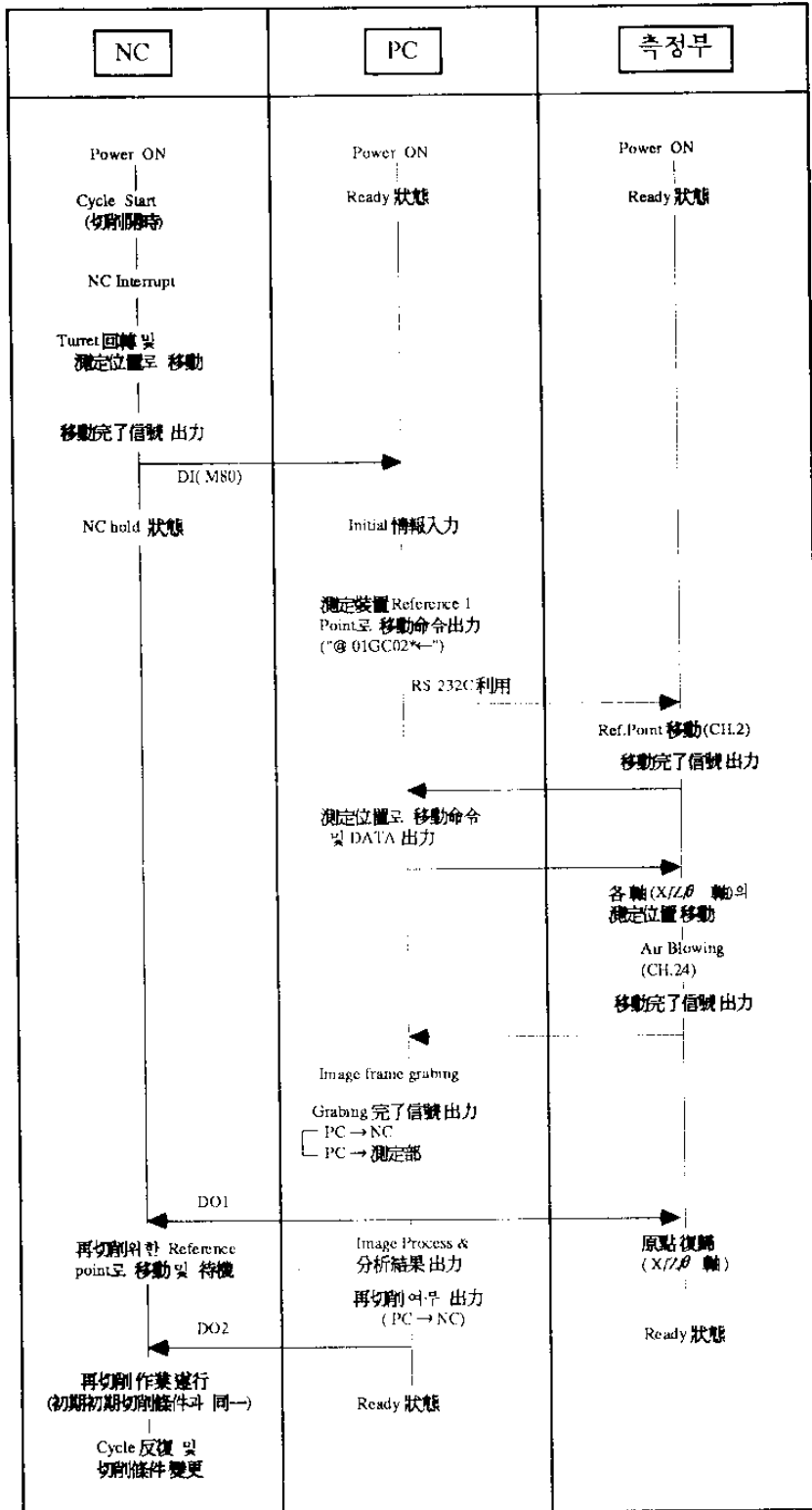


Fig. 2-18 자동 절삭실험시스템의 Sequence flow

연산 및 제어 기능을 가지고 있어 자동절삭실험을 위한 Sequence flow에 적합하기 때문에 이를 MACRO 프로그램화 하여 사용하였다. MACRO 프로그램을 운용하기 위해 각 프로그램간에 MACRO 프로그램을 호출하는데는 G65에 의한 단순호출방법을 사용했다.

자동절삭실험이 실행되기 위한 각 부분별 기능 Sequence flow는 Fig. 2-18과 같으며, 이상의 작업수행을 위해 1개의 주프로그램과 6개의 라이브러리 프로그램으로 구성된 자동 절삭사이클용 NC 및 Macro 프로그램을 작성하였다.

각 프로그램에 대한 내용은 Table 2-6과 같다.

Table 2-6 자동 절삭사이클용 NC 및 Macro 프로그램

program No.	comments
9001	Main program
9102	Turret move to initial cutting position regard for depth of cutting
9104	Machining regard for setting time and current position
9202	Cycle machining for continuous
9106	Turret move to measuring position
9108	Turret move to position measuring regard for condition of PC
9109	Time delay

MAIN PROGRAM

O 9001

G 65 P 9102 D100 A 350 B 100 K 3 V 200 T 120 F 300 ;  
 G 65 P 9104 ;  
 G 65 P 9106 ;  
 G 65 P 9108 ;  
 M 30 ;

SUB. MACRO PROGRAM

O 9102

G 28 U 0. W 0. ;  
 G 50 X 342. Z 531. T 01 ;  
 G 96 S [#22] M 03 ;  
 G 98 F [#9] ;  
 G 00 X #7 — #6 Z [#1 + 3.];  
 G 01 Z [#1] ;  
 #130 = #1 ;  
 #131 = #2 ;  
 #132 = #7 ;  
 #133 = #6 ;  
 #134 = #22 ;  
 #135 = #20 ;  
 #136 = #9 ;  
 M 99 ;

; Z Axis of A point  
 ; Z Axis of B point  
 ; Dia. of workpiece  
 ; Depth of cutting  
 ; Speed of cutting  
 ; Setting time

O 9104

#100 = FUP [#136/60] ;  
 #101 = #5042 — #131 ;  
 #102 = FUP [101 / #100] ;  
 ;  
 IF [#102 LT #135] GOTO 1 ;  
 ;  
 #120 = #100 \* #135 ;  
 #121 = #130 - #120 ;  
 ;  
 G 96 S [#134] ;  
 G 98 F [#136] ;  
 G 01 Z [#121] ;  
 ;  
 #145 = #5041 ;  
 #146 = #5042 ;  
 ;  
 M 99 ;  
 ;  
 N1 G 65 P 9202  
 M 99 ;

O 9202

#105 = #130 — #131 ;  
 #106 = 0.0 ;  
 ;  
 G 96 S [#134] ;  
 G 98 F [#136] ;  
 N1 G 01 Z [#131] ;  
 #140 = #5041 ;  
 #107 = #135 - #102 - #106 ;  
 G 00 X [#5041 + 5.] Z [#5042 + 5.] ;  
 G 00 Z [#130 + 3.] ;  
 G 01 X [#140 - #133] ;  
 #106 = #105 / #100 ;  
 ;  
 IF [#106 LT #107] GOTO 1 ;  
 ;  
 #125 = #100 \* #107 ;  
 #126 = #130 - #125 ;  
 G 01 Z [#126] ;  
 #145 = #5041  
 #146 = #5042  
 M 99 ;

O 9106

G 96 S [#134] ;  
 G 98 F [#136] ;  
 G 00 X [#5041 + 5.] Z [#5042 + 5.] ;  
 G 00 X 200. Z 200. T 05 ;  
 G 00 X 250. Z 150. ;  
 M 80 ;  
 M 99 ;

O 9108

G 96 S [#134] ;  
 G 98 F [#136] ;  
 N1 IF [#1032 EQ 1] GOTO 3 ;  
 IF [#1032 EQ 2] GOTO 2 ;  
 N2 M 81 ;  
 G 01 X 200. Z 200. ;  
 M 99 ;  
 N3 M 81 ;  
 G 01 X 200. Z 200. ;  
 G 01 X [#145] Z [#146] ;  
 G 65 P 9104 ;  
 M 99 ;

O 9109

#3001 = 0.0 ;  
 WHILE [#3001 LE 4000] DO 1 ;  
 END 1 ;  
 M 99 ;



## 제 6 절 절삭실험 및 결과분석

자동 절삭실험 시스템을 구성하는 목적에 부합되는 시스템이 되기 위하여 절삭성 데이터를 자동으로 수집하고, 절삭공구의 마모경과 곡선 및 공구수명을 검토할 수 있는 구성시스템의 신뢰성 정도 및 재현성에 중점을 두고 소결 코팅된 카바이트계(재질 : P10, 형상 : SNMG432) 선삭용 공구를 가지고 아래와 같은 절삭조건 하에서 실험을 실시하였다.

- 절삭속도(v) : 150, 170, 225, 300 m/min
- 이송량(f) : 0.2 mm/rev
- 절삭깊이(d) : 1.0 mm

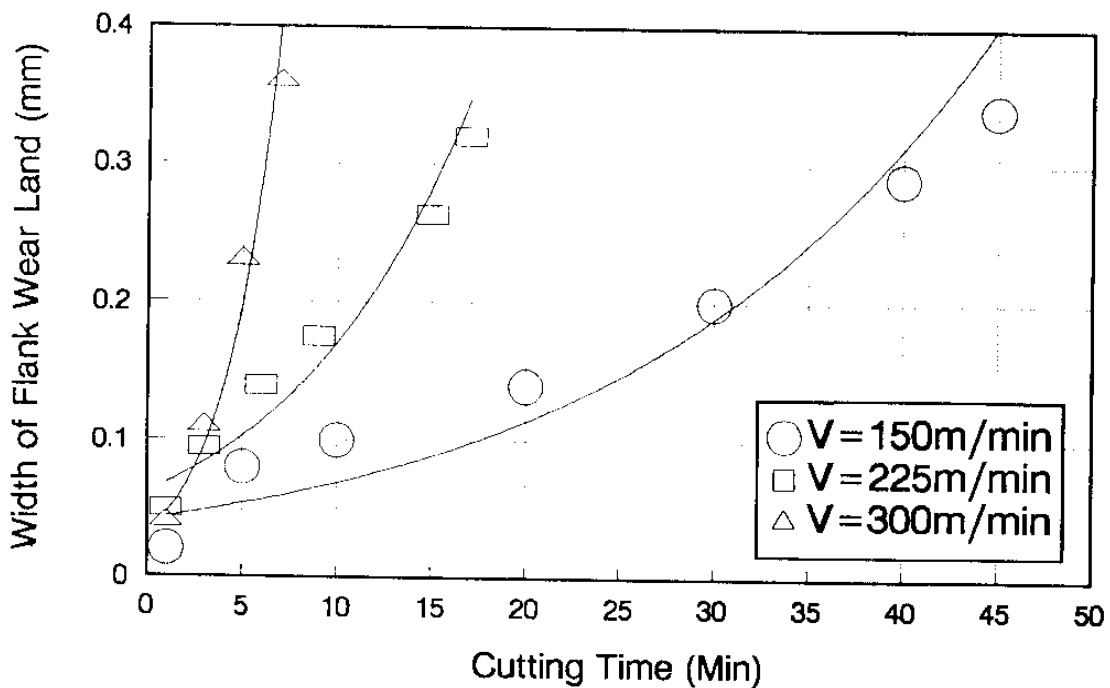


Fig. 2-19 공구마모경과곡선(VB-T Curve)

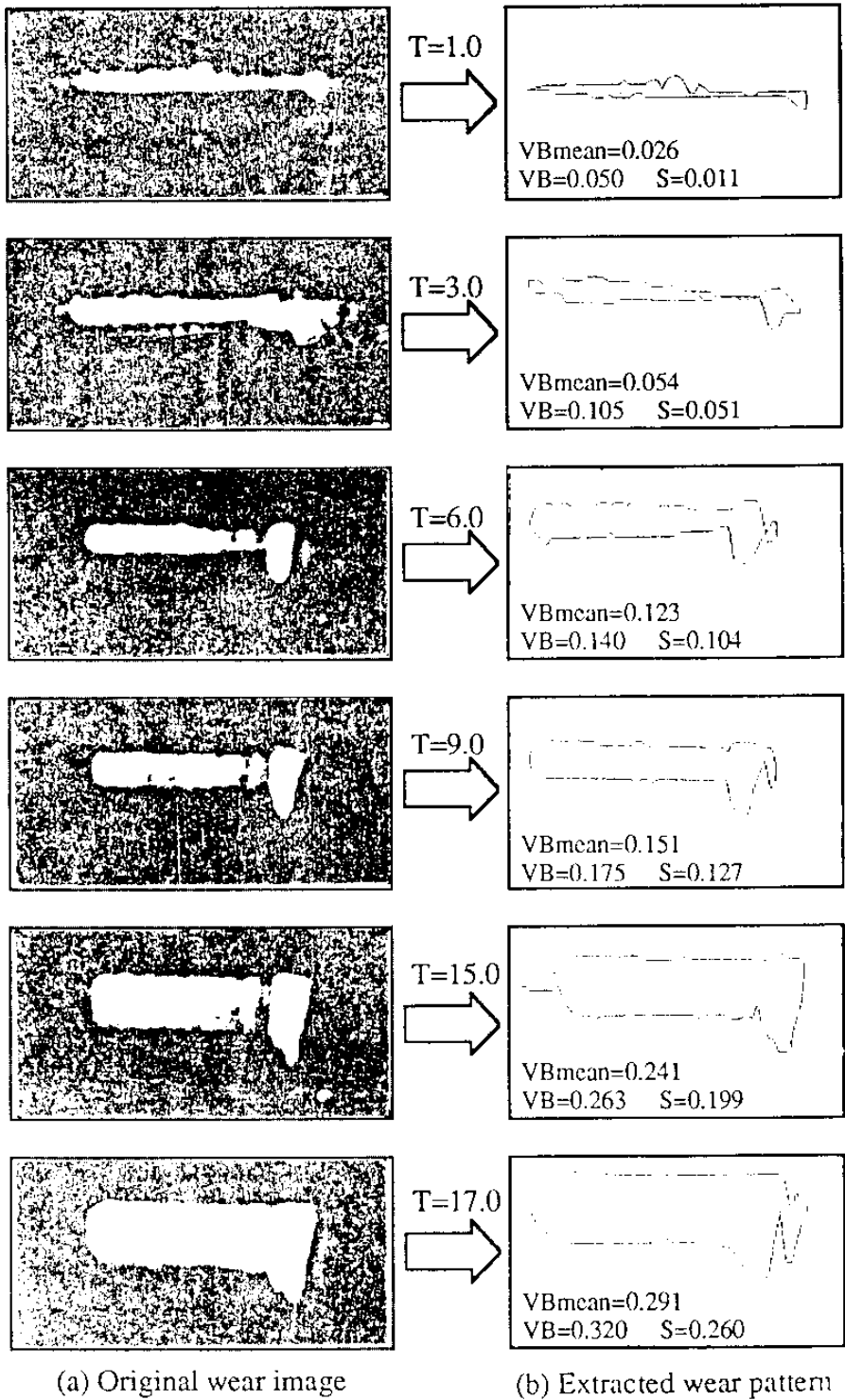


Fig. 2-20 시간경과에 따른 마모패턴 추출결과

이상과 같은 조건 하에서의 실험결과 공구마모경과곡선(Fig. 2-19)과 시간 경과에 따른 마모패턴(Fig. 2-20)을 얻을 수 있었으며, 이상의 측정데이터를 근거로 Fig. 2-21과 같은 절삭공구의 수명곡선 및 수명방정식을 산출한다. 실험결과로 얻어진 수명곡선의 유효성은 F-검정에 의해 95%의 신뢰성이 검증되었다.

또한 개발한 시스템은 실절삭시간을 제외한 공구상태 측정시간, 절삭데이터의 정리시간 등의 간접적인 실험시간에 약 20초 정도가 소요되어 수작업에 의한 방법에 비하여 1/10 정도로 시간 단축이 가능하였다(Fig. 2-22).

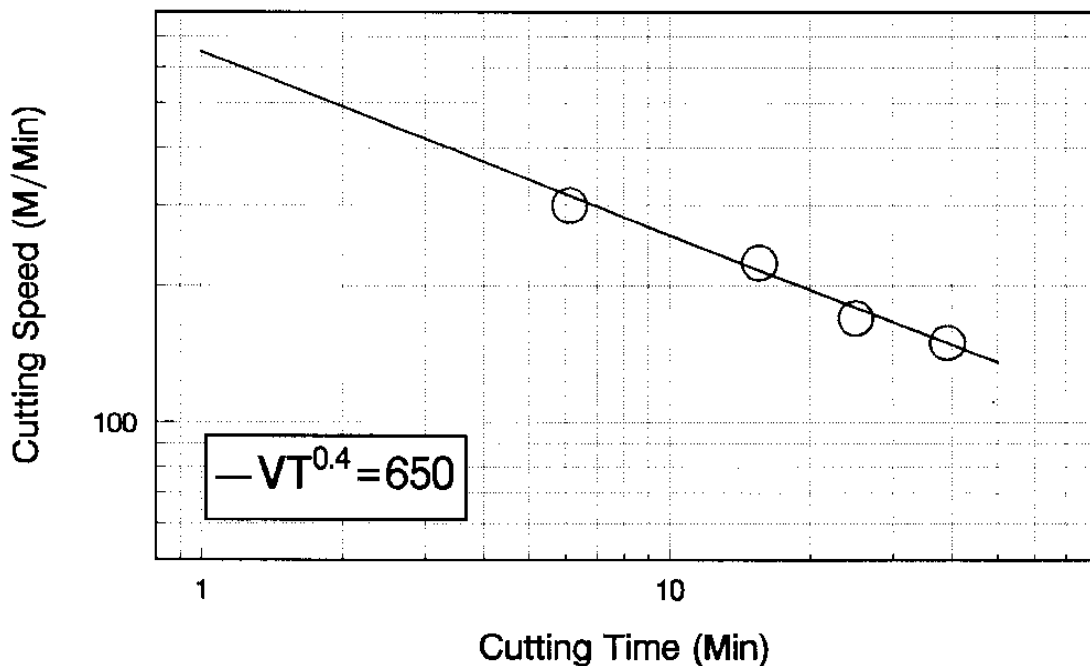


Fig. 2-21 절삭실험시스템에 의한 공구의 수명곡선 및 방정식

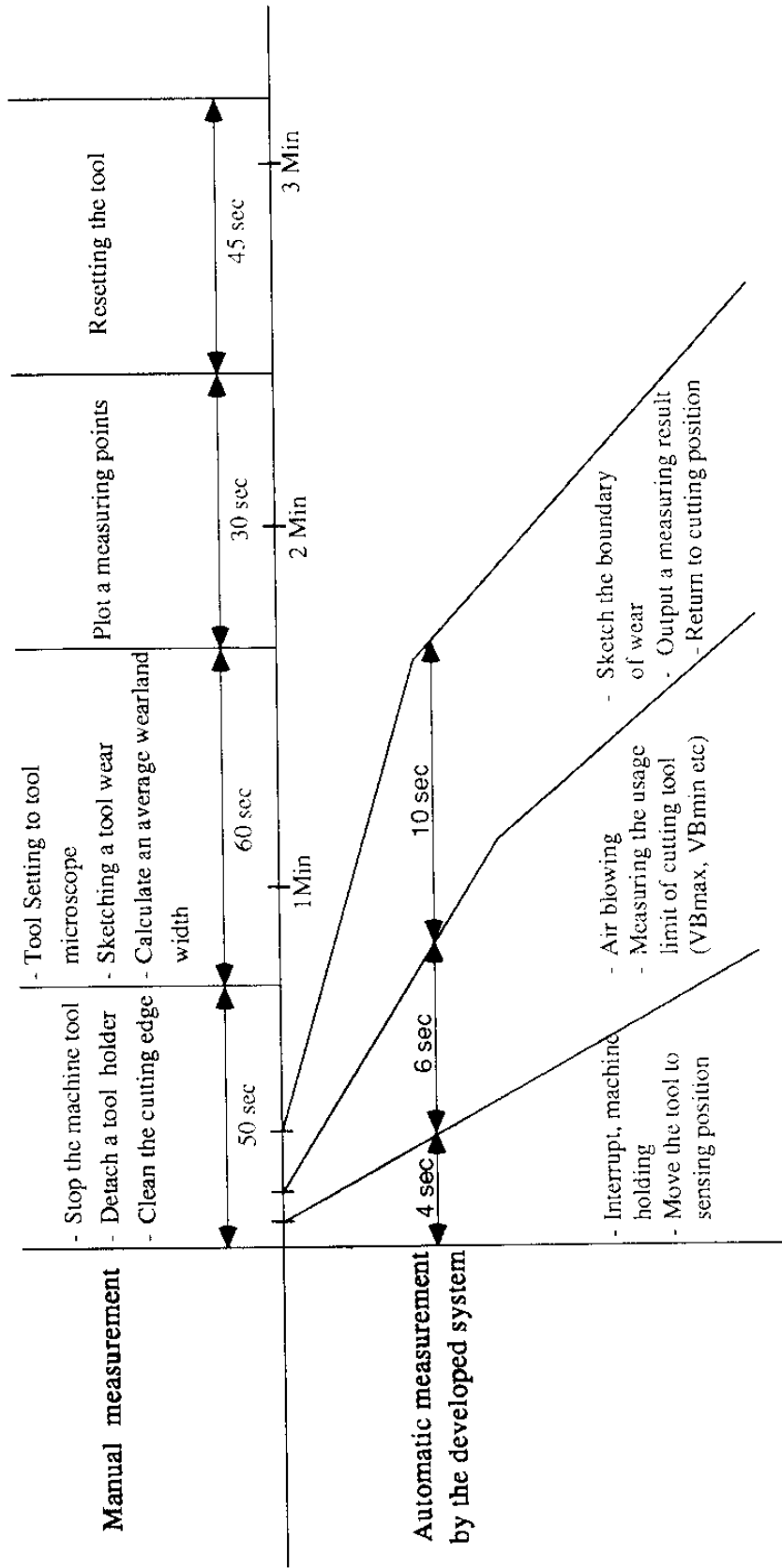


Fig. 2-22 전 절삭실험시간의 비교

## 제 3 장 복합센서에 의한 공구상태 감시기술

### 제 1 절 개 요

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 무인가공시스템을 성공시키는데 반드시 필요하다.

절삭가공중 발생하는 공구마모 및 파손, 칩핑(chipping) 등을 감시하는 방법으로는 앞장에서 기술한 광센서, 비전센서 및 접촉식센서(touch probe)를 이용한 직접적인 측정방법과 절삭력, AE 및 진동등을 이용한 간접적인 측정방법이 있다.

최근에는 복합센서를 사용하여 신경회로망을 이용한 방법도 시도되고 있으나 절삭중 공구 이상을 감시할 수 있는 시스템이 아직 상품화되어 현장에 적용된 예는 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 절삭중 공구파손을 실시간으로 검출할 수 있는 시스템을 구성하기 위한 일환으로 가속도센서와 전류센서 및 동작기계의 절삭동력계를 이용한 복합계측시스템을 구성하여 절삭특성 및 공구파손이 발생할 때의 신호특성을 해석한다.

## 제 2 절 복합센서의 특성 및 감시특성(monitring feature)

무인가공시스템이나 지식화된 시스템을 실현하기 위한 방법으로 여러가지 복합기술이 요구되고 있으나 이중에도 절삭공구의 이상검출이 실시간으로 감시되지 않으면 시스템의 신뢰성과 성능저하를 초래한다. 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 신호로부터 짧은 시간내에 이상특성을 추출하기 위해서는 센서별 감시특성(monitring feature)을 찾아야 한다. 따라서 이 감시특성(monitring feature)만을 해석함으로써 짧은시간내에 공구이상상태를 감시하고, 이상검출을 할 수 있다. 각 단위 센서별 특성은 다음과 같다.

### 1. 가속도 센서

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

링 형태의 가속도센서는 절삭공구를 스피들에 설치하는 드릴

이나 머시닝센터등 에서는 진동특성을 검출하기가 용이하다는 점은 있으나 공작기계의 스피들유니트를 조립하는 과정에서 설치해야 하기 때문에 설치하기가 쉽지 않다.

본 연구에서는 설치상의 문제를 고려하고, 공구의 진동을 검출하기 위해 가속도센서를 터릿(turret)의 공구 홀더에 설치해서 절삭특성을 검출했고, 사용된 가속도센서의 특성은 다음과 같다.

- 입력 감 도 : 20 mVp-p/G  $\pm$ 10%
- 횡 감 도 : 5% max
- 직 선 성 :  $\pm$ 5%
- 공진 주파수 : 8 KHz
- 응 답 성 : 5 Hz ~ 6 KHz  $\pm$  3dB

## 2. 전류센서 및 절삭동력계

전류센서는 홀소자나 전자유도형 마그네토미터를 사용하여 동선에 흐르는 전류를 측정할 수 있는 센서로, 본 연구에서는 주축 스피들모터의 전류특성의 변화를 검출하여 공구의 이상을 검출했다.

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 공구이상 발생할 때의 전류특성을 해석하면 절삭중 공구이상을 검출할 수 있다. 사용된 전류센서는 측정범위 0~75 Amp (AC,DC)이고, 센서의 출력

값은 2.23V (DC)의 특성을 가지고 있다.

또, 절삭중 CNC 선반의 스핀들유니트에 작용하는 절삭력의 변화를 찾기 위해서 스핀들서보유니트내의 절삭동력계로 부터 스핀들 모터의 최대출력에 대한 작용하는 힘의 백분율을 DC 값으로 검출했다.

### 제 3 절 절삭실험 및 결과분석

#### 1. 실험 방법

절삭실험은 표준절삭조건을 기준으로 절삭조건에 따른 신호특성과 절삭날의 상태에 따른 신호특성을 해석하기 위해서 다음과 같은 실험 조건을 사용했고, 실험장치는 Fig. 3-1과 같다.

- 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 슬롯을 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 이용했다. 전류센서의 경우 peak amplitude histogram을 이용하여 peak값의 평균값을 구했고, 동작기계의 절삭동력계의 신호는 동일한 시간영역에서의 진폭의 평균값을 구했다.

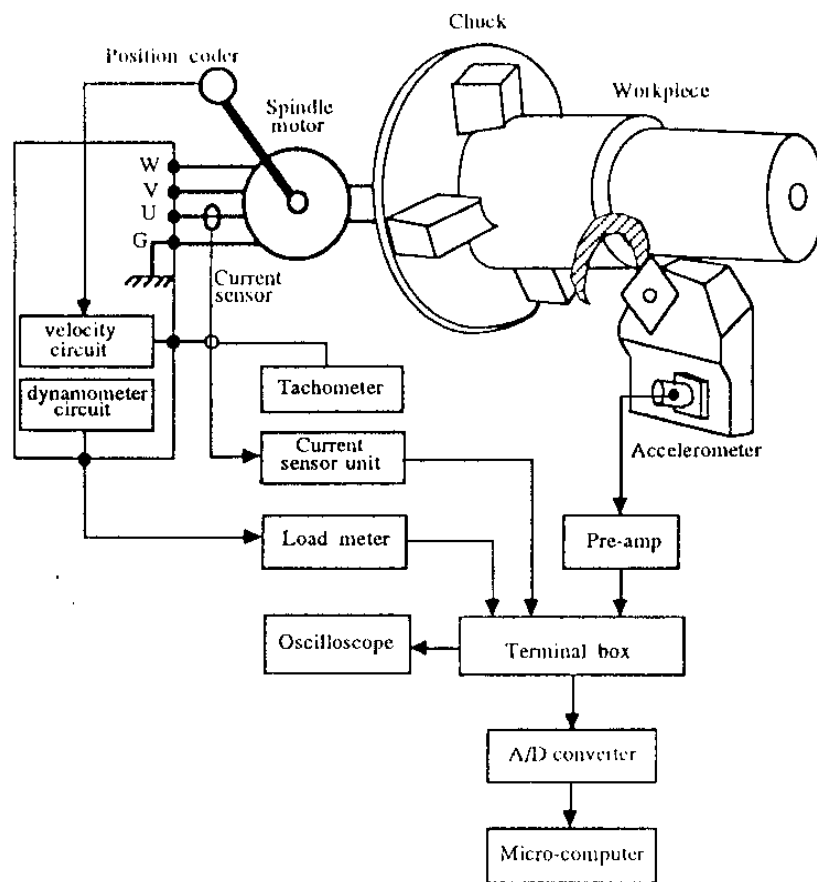


Fig. 3-1 Block diagram of experimental system

## 2. 결과 분석

절삭실험은 정상상태의 절삭특성과 공구이상이 발생했을 때의 신호특성을 비교/해석하기 위해서 전술한 바와 같이 다양한 절삭조건과 공구형태에 따라 검출했다. 여기서는 정상절삭시의 신호특성, 슬롯이 있

는 인서트를 이용하여 공구파손이 생긴 경우의 신호특성, 절삭날의 선단부의 파손(nose breakage)이 생긴 경우의 신호특성을 구분하여 기술한다.

### 가. 정상절삭시의 신호특성

정상 절삭실험은 공구이상이 생기지 않는 상태에서 발생하는 가속도센서, 전류센서 및 절삭동력계의 신호특성을 해석하기 위해서 매 실험마다 새로운 인서트로 교환하면서 신호를 검출했고, 이 신호는 동일한 절삭조건에서 공구가 파손된 경우와 신호특성을 비교함으로써 서로 다른 특성을 검출할 수 있다. 재질이 S45C인 가공물을  $v=180$  m/min,  $f=0.1$  mm/rev의 절삭조건에서 절삭깊이를 0.5, 1.0, 1.5 mm로 증가시킬 때 전류센서와 절삭동력계에서 검출된 신호 특성은 Fig. 3-2, 3-3과 같다.

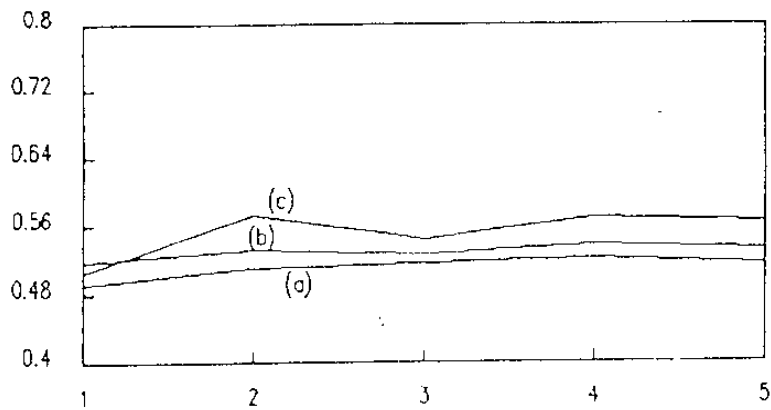


Fig. 3-2 Output signal of current sensor according to change of depth of cut : (a) 0.5 mm, (b) 1.0 mm and (c) 1.5 mm ( $V = 180$  m/min,  $f = 0.1$  mm/rev)

Fig. 3-2, 3-3에서 처럼 동일한 절삭조건에서 절삭깊이의 증가는 모터에 걸리는 부하를 증가시키기 때문에 이에 따라 전류센서의 진폭이 증가하고 있고, 또한 절삭동력계의 진폭도 절삭깊이가 큰 경우에 크게 나타났다.

Fig. 3-3의 경우 초기값은 비절삭시 즉 공회전시 발생한 신호특성이다.

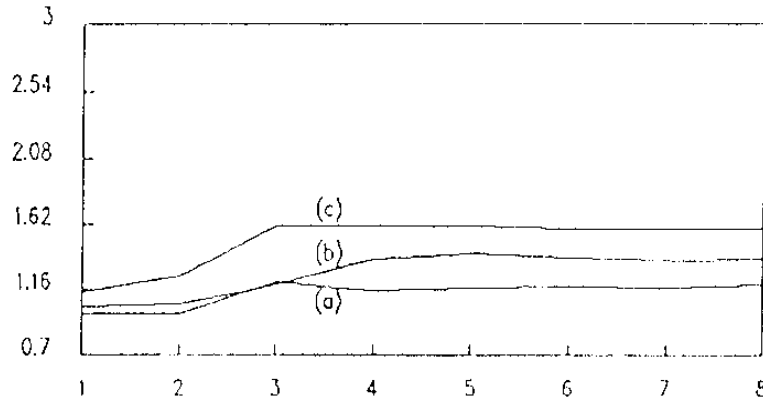
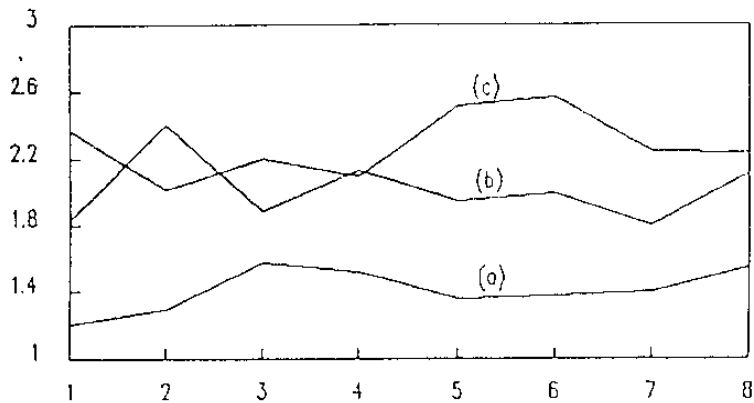


Fig. 3-3 Output signal of loadmeter according to change of depth of cut : (a) 0.5 mm, (b) 1.0 mm and (c) 1.5 mm  
( $V = 180 \text{ m/min}$ ,  $f = 0.1 \text{ mm/rev}$ )

한편 상기와 같은 동일 절삭조건에서 절삭깊이가 1.0, 1.5, 2.0 mm로 증가할 때 가속도센서의 진폭 평균값은 Fig. 3-4와 같이 크게 증가하고 있음을 알 수 있다. 여기서 진폭의 평균값은 가속도센서 진폭의 fluctuation이 크기 때문에 4096개의 데이터를 받은 후에 8개의 sweep에 대해서 평균값을 취한 것을 의미한다.

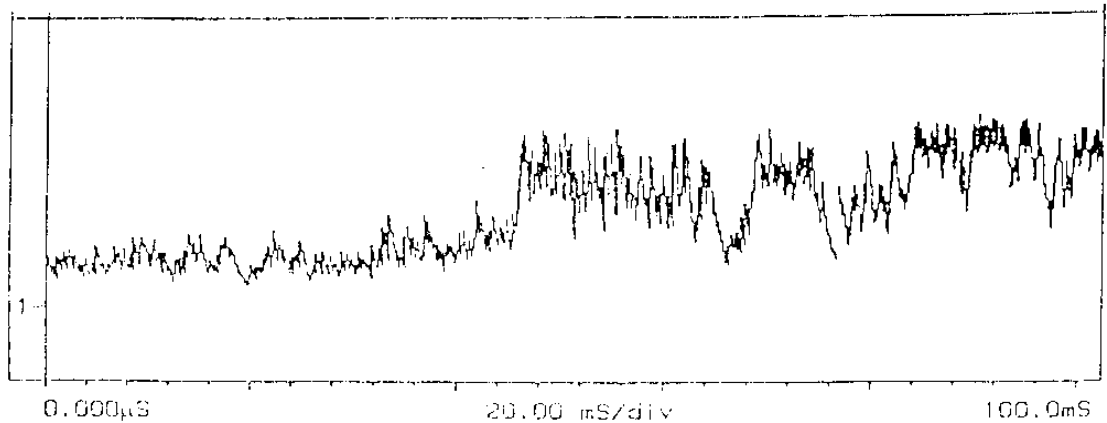
절삭깊이에 따라 스피들모터에 작용하는 전류와 절삭동력계에서 검출된 신호의 증가는 절삭깊이가 증가함에 따라 절삭량(material removal rate)의 증가로 인해서 스피들모터에 걸리는 부하가 증가하고, 이에 따라 스피들모터에 작용하는 전류가 증가한다. 또한, 절삭량의 증가로 스피들과 절삭공구에 작용하는 토크가 증가하기 때문에 절삭동력계의 신호특성이 증가한다.



**Fig. 3-4 Average of acceleration sensor amplitude according to change of depth of cut :**  
 (a) 1.0 mm, (b) 1.5 mm and (c) 1.0 mm

#### 나. 공구파손(massive breakage)시의 신호특성

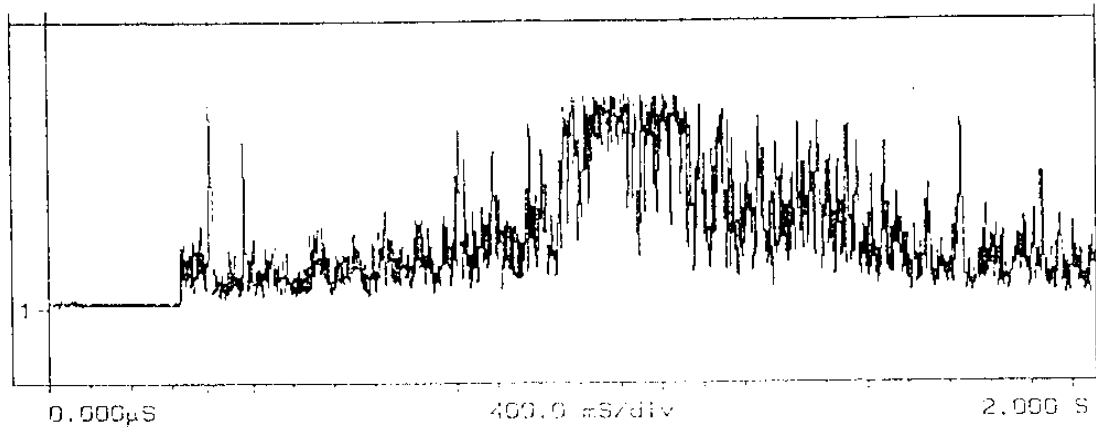
공구파손을 짧은 시간내에 발생시키기 위해서 슬롯이 있는 인서트를 사용하여 절삭속도 180m/min, 절삭깊이 2.0mm, 이송량 0.1mm의 절삭조건에서 공구파손이 발생했는데 이때 검출된 가속도센서의 신호특성은 Fig. 3-5 및 Fig. 3-6과 같다. Fig. 3-5와 같이 공구파손이 발생한 경우의 신호특성은 정상 절삭시의 경우와는 다르게 높은 진폭을 가지는 신호특성이 검출되는데 이는 큰 공구파손이 발생한 순간 나타난 특성으로 공구파손 후 공구의 절삭날과 가공물의 순간적인 비접촉과 공구가 파손되면서 생긴 가공물의 burr를 가공하면서 공구의 파손면과 가공물의 심한 마찰에 의해서 평균진폭의 유사한 특성이 나타났다.



**Fig. 3-5 Massive tool breakage signal**  
 (V=180 m/min, d = 2.0 mm, f = 0.1 mm/rev)

Fig. 3-6은  $v=180$  mm/min,  $d=2.0$  mm,  $f=0.1$  mm/rev의 절삭조건에서 S45C 가공물을 절삭할 때 가속도센서에서 검출된 신호특성을 나타내고 있는데 이때 사용된 인서트는 슬롯이 있는 것을 사용했고, 검출된 신호의 sampling time은  $500 \mu\text{s}$ 이다. 이 경우 초기에 공구의 절삭날이 파손되면서 고진폭 impulse가 나타난다. 이 공구파손 신호는 슬롯이 있는 인서트를 사용함으로써 절삭시작 순간 절삭력의 순간적인 overload에 의해서 발생한 것으로 판단 (Fig. 3-7 참조), 특히 Fig. 3-7(a)는 공구파손 직후 turret의 피이드를 홀드한 경우에 나타난 특성이고, (b)는 turret의 피이드 홀드를 하지 않음으로서 파손된 공구와 가공물의 마찰에 의해서 고진폭의 신호특성이 나타났다.

위의 절삭조건에서 피이드 홀드를 하지 않은 경우에 검출된 스펙트럼 모터의 전류와 절삭동력계의 신호특성은 Fig. 3-8과 같이 큰 변화를 나타내고 있다.

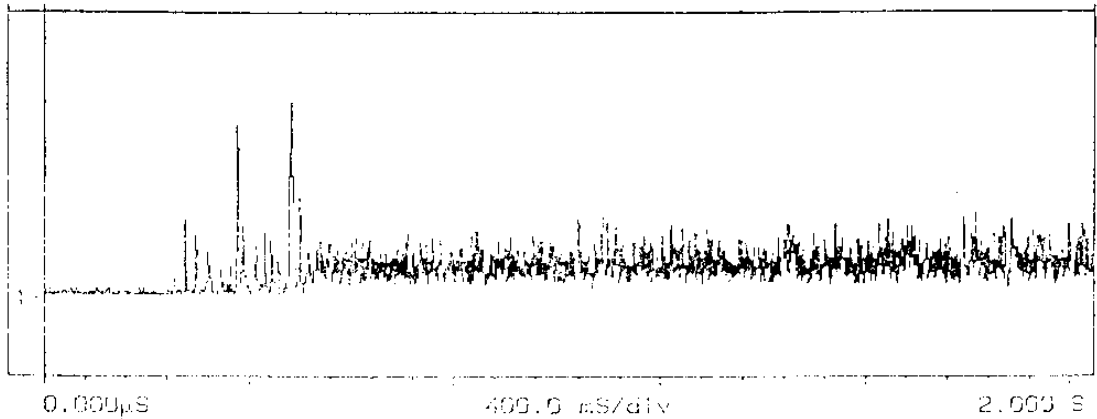


**Fig. 3-6 Characteristics of acceleration sensor signal by massive tool breakage**  
 (V=180 m/min, d = 2.0 mm, f = 0.1 mm/rev)

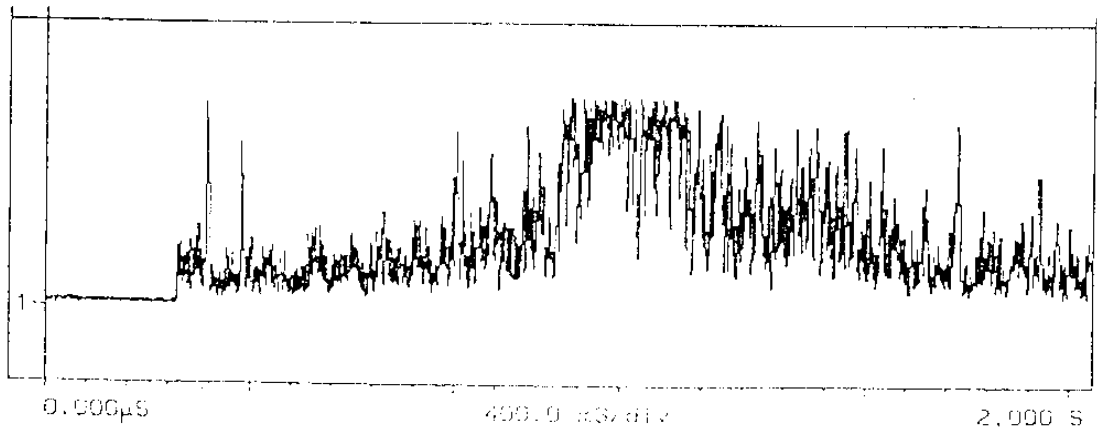
#### 다. 선단파손(nose breakage)시의 신호특성

절삭날 끝의 미소한 파손이 발생한 경우 가속도센서, 전류센서 및 절삭동력계에서 검출된 신호특성은 동일한 절삭조건에서 공구파손이 발생하지 않은 경우의 신호특성에 비해서 Fig. 3-9와 같이 큰 차이가 있음을 알 수 있다. Fig. 3-9(a)는 정상 절삭시의 신호특성을 의미하고, (b)는 공구의 선단파손이 발생한 경우이다.

가속도센서의 경우 정상절삭시 검출된 신호의 진폭(Fig. 3-9(a))이 약간 크게 나타났으나 큰 차이가 없이 유사한 특성을 가지고 있음을 알 수 있고, 전류센서에서 검출된 신호특성을 보면(Fig. 3-9(b)) 공구파손이 발생한 경우에 전류의 값이 크게 증가했음을 알 수 있다. 또, 절삭동력계에서 검출된 신호특성(Fig. 3-9(c))도 비교적 비슷한 경향과 특성을 가지고 있으나 절삭날의 선단부의 파손이 발생한 경우에 약간 큰 값을 가지고 있다. Fig. 3-9에서 가속도센서의 특성은 검출된 신호의 진폭 평균값을 나타낸 것으로, 공구의 선단파손이 발생한 경우에 전류센서의



(a)



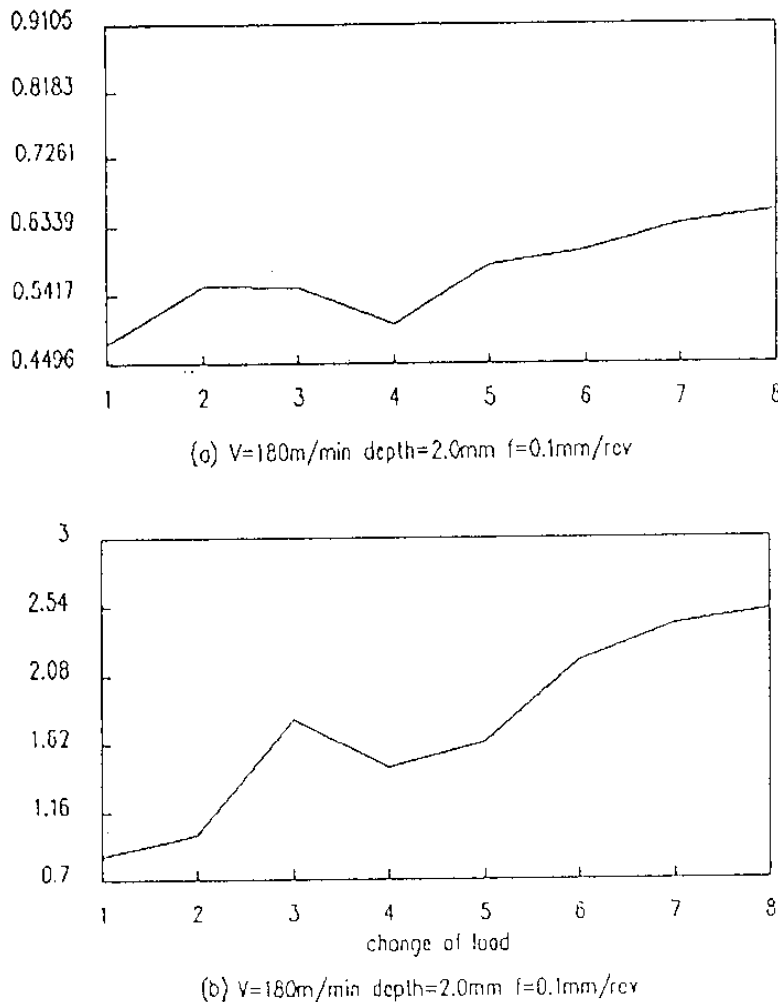
(b)

**Fig. 3-7 Characteristics of acceleration sensor signal (a) tool breakage signal and (b) tool breakage and friction between breakaged face and workpiece**

신호특성은 구분이 확실하게 나타났고, 절삭동력계는 미소한 차만큼 나타났다. 그러나 가속도센서의 특성을 보면 초기에는 공구파손이 발생한 경우에 큰 진폭이 나타나나 그 이후에는 정상절삭의 경우에 크게 나타나고 있다.

이러한 특성은 공구의 절삭날 부의 미소한 파손이 발생한 면과 가공물

의 연속적인 마찰 및 실삭에 의해서 공구의 진동은 미소한 변화를 나타낸 반면에 스피들 모터의 경우는 모터의 출력이 증가하면서 전류가



**Fig. 3-8 Averaged current sensor signal (a) and loadmeter signal (b) by massive tool breakage**

증가했으며, 이와 함께 절삭토크의 증가로 절삭동력계의 특성이 증가했다고 판단된다.

이러한 결과로 부터 가속도센서, 전류센서, 절삭동력계를 이용한 복합측시시스템의 경우 가속도센서를 이용한 검출방법으로는 진폭의 평균 값을 취하는 것보다 time domain(시간영역)에서 기준값(threshold value)에



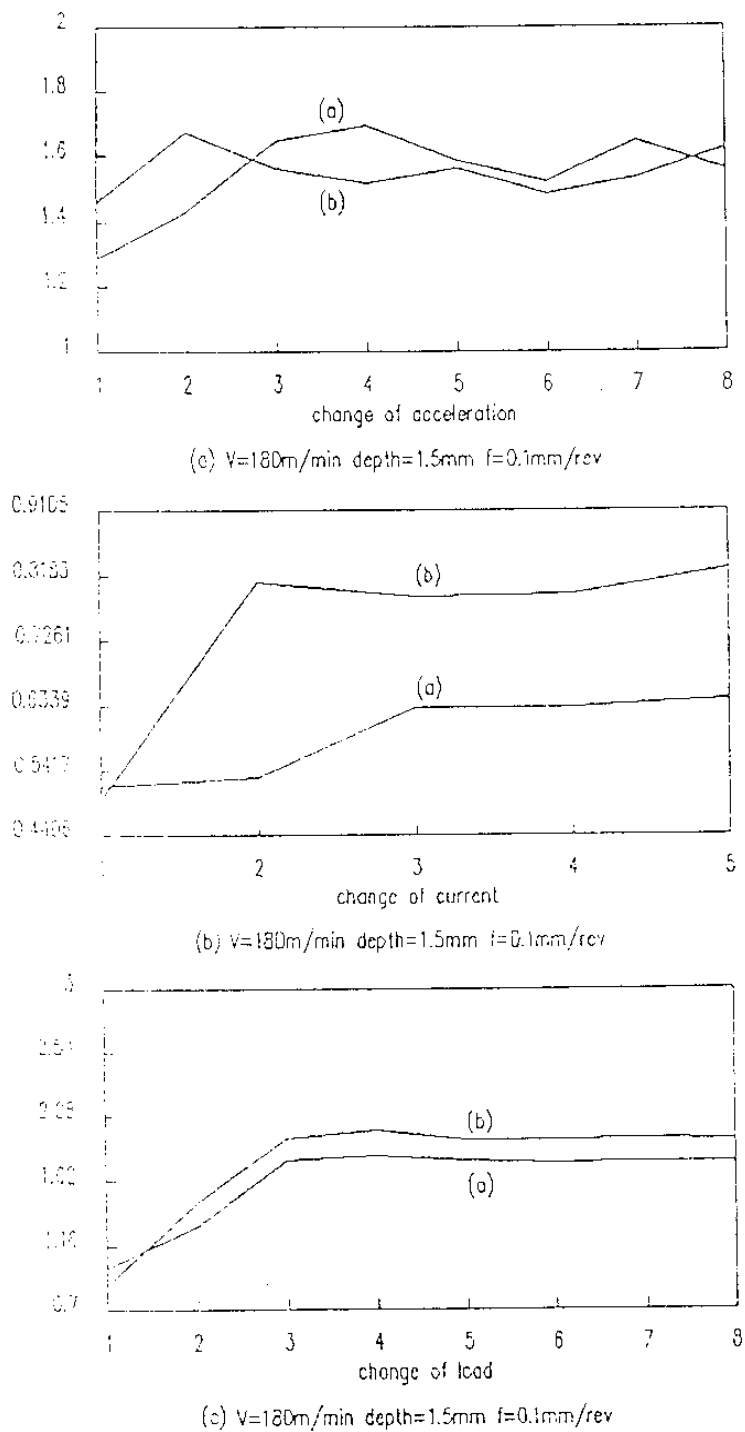
의한 burst impluse를 이용하는게 유리하다. 그러나 전류센서나 절삭동력계의 경우에는 진폭의 평균값을 취하는게 좋고, 특히 절삭동력계의 경우에는 진폭의 변화를 이용한 검출도 가능하다.

#### 라. 공구마모(tool wear)시의 신호특성

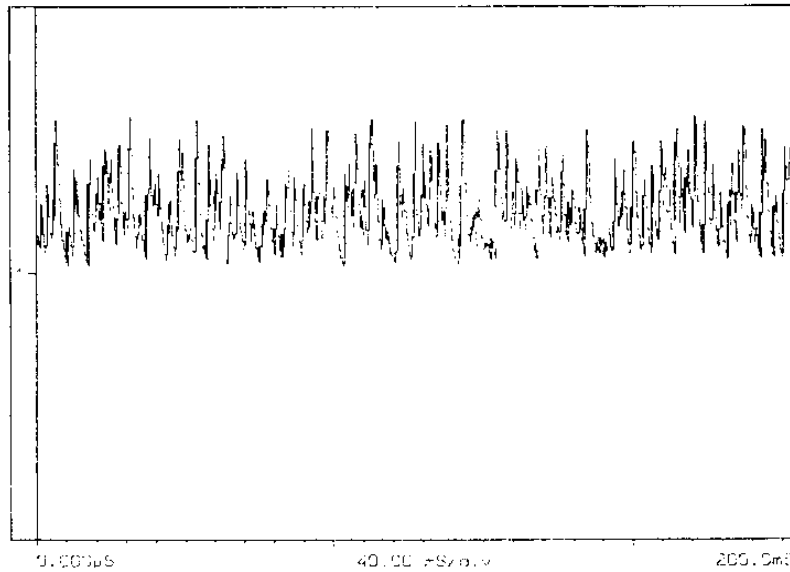
Fig. 3-10에 제시된 신호특성은 앞에서 실험한 경우와는 다르게 가속도센서를 공구 인서트 가까이(공구홀더의 헤드부)에 설치한 다음 평균마모폭(VB)이 0.3 ~ 0.4 mm정도 마모된 인서트를 이용하여 절삭했을 때 검출된 신호특성이다.

이 신호는  $v=180$  m/min,  $d=1.0$  mm,  $f=0.1$  mm/rev의 절삭조건에서 SCM 440 가공물을 절삭했을 때 sampling time 100  $\mu$ s로 검출한 것으로 전체적으로 고진폭의 신호특성이 반복적이고 다양하게 나타나고 있다.

이 신호는  $v=180$  m/min,  $d=1.0$  mm,  $f=0.1$  mm/rev의 절삭조건에서 SCM 440 가공물을 절삭했을 때 sampling time 100  $\mu$ s로 검출한 것으로 전체적으로 고진폭의 신호특성이 반복적이고 다양하게 나타나고 있다.



**Fig. 3-9 Characteristics of acceleration sensor, current sensor and loadmeter signals :**  
**(a) normal condition and (b) nose breakage**



**Fig. 3-10 Characteristics of acceleration sensor signal by tool wear**  
 (V = 180 m/min, d = 1.0 mm, f = 0.1 mm/rev)

#### 제 4 절 실험결과 및 고찰

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

여기서, 센서별 감시특성은 공구이상이 발생했을 때 이를 판단하기 위해 소요되는 시간을 감소시킴으로써 복합계측시스템의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 본 연구에서 얻은 실험결과는 다음과 같다.

- 1) 공구의 절삭날의 큰 파손(massive breakage)이 발생한 경우 가속도 센서의 진폭과 절삭동력계의 진폭은 증가했다.
- 2) 미소한 파손(nose breakage)이 발생한 경우 스피들모터의 전류 특성이 크게 증가했다.
- 3) 정상절삭의 경우 절삭깊이가 증가함에 따라 스피들모터에 작용하는 전류와 절삭동력계의 특성은 점차 증가한다.
- 4) 절삭동력계의 경우 미소한 절삭조건의 변화에 대해서는 감도가 낮다.

## 제 4 장 단속절삭에서의 공구상태 감시기술

### 제 1 절 개 요

비전센서(ITV camera)를 이용한 절삭공구의 직접적인 계측방법은 확실성, 재현성 면에서 높게 평가되는 방법으로 제 2 장에 기술한 선삭에서의 적용사례를 통하여 확인할 수 있었다.

그러나 선삭에 적용된 계측방법은 Inter-process 계측으로 가공과 계측작업이 별도의 sequence에 의해 이루어지는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 비전센서를 이용한 적용분야의 확대 및 In-process 계측기술로 발전시키기 위해 단속절삭 작업을 대상으로 측정장치의 구성과 성능 및 적용 실험을 실시토록 하였다.

적용할 face milling 절삭에서는 주축회전 중에 비절삭시간이 있어 주축회전부의 동기신호를 이용한 공구의 상태계측을 시도하는 기본원리로서 계측시스템을 구성한다.

### 제 2 절 측정장치의 구성

단속절삭 하에서의 공구상태의 In-process 측정기술 개발이란 측면에서 앞절에서 기술한 비절삭시간을 이용하여 주축회전부에서 1 회전마다 동기신호를 보내면 스트로보 라이트(strobo light)를 섬광시켜 동기로 비전센서에 의해 측정하는 이러한 원리에 착안하여 실험장치를 구성하였다.

실험장치는 Fig. 4-1에 제시된 것처럼 밀링머신(milling machine), 동

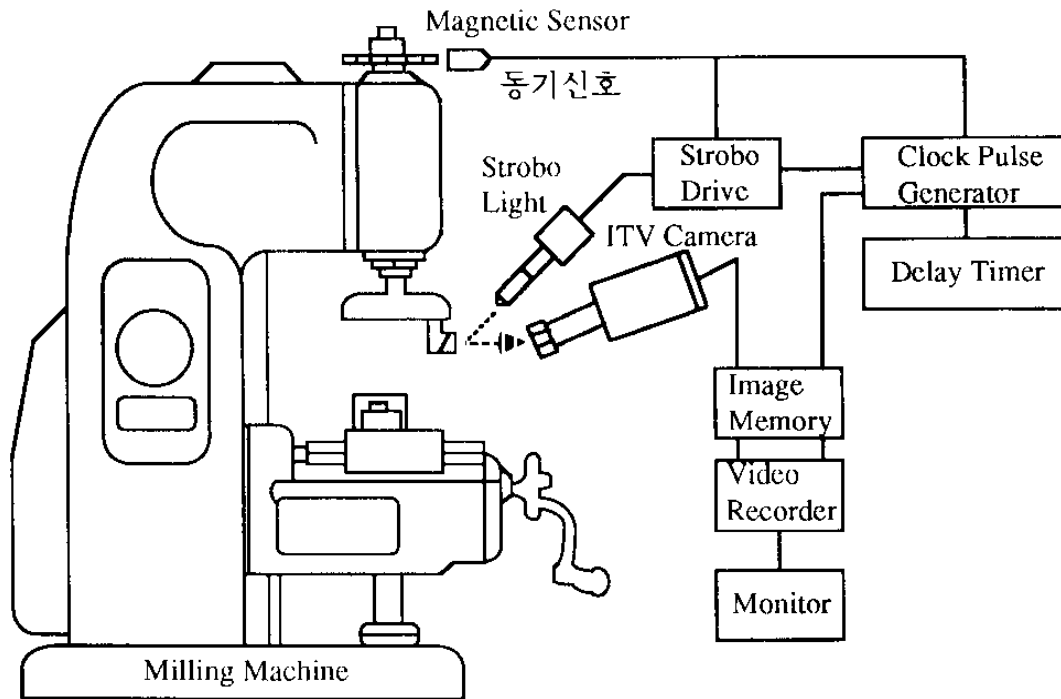


Fig. 4-1 실험장치의 구성도

기신호부, 신호처리부, 출력부로 구성된 시스템을 설계하였다

### 1. 동기신호부

밀링절삭에서는 공구절단부(cutting edge)가 회전하고 있기 때문에 고정된 광학계에서 정지된 영상으로 관측할 수 있도록 하는 부분으로 magnetic sensor, 스트로보 라이트, 비전센서 등으로 구성된다.

비전센서는 일정한 work distance를 갖고, 최소한 일정시간(1/30초)만큼 정지된 대상에서만 원하는 정보를 얻을 수 있다. 그러나 본 연구의 대상인 절삭공구의 절단은 회전하고 있어 일반적인 조명방법으로는 불가능하다. 따라서 고정된 광학계에서 정지된 영상으로 공구상태를 관측할 수 있도록 스트로보 라이트를 이용한 조명방식을 사용하였다.

또한 측정대상인 절삭공구의 마모는 일반적으로 대단히 작아서(~0.3 mm) 직접적인 결상시에는 영상인식의 어려움이 따르게 된다. 4차년도 까지 구성한 측정시스템에서는 공구현미경의 대물렌즈 및 확대렌즈를 이용한 방법과 extension tube kit를 이용하여 카메라의 work distance 조절에 의한 확대상을 얻는 방법이 고려되었으나, 이상의 방법은 Inter-process 계측으로 본년도에 적용할 In-process 계측에 적용하는데는 다음과 같은 문제점이 발생한다.

- 1) 절삭 중 칩의 유출로부터 광학계를 보호하는 문제
- 2) 일정한 작업거리(40 mm)에서 기존의 확대배율보다 높은 배율(약 50배)을 유지하는 문제
- 3) 조명으로 스트로보 라이트 사용에 따른 광량문제

이상과 같은 문제점을 해결하기 위해 비전센서에 작업거리가 특히 긴 망원현미경(Fig. 4-1 참조)을 사용하고, 조명의 광량을 높이기 위해 스트로보의 광을 집광렌즈에 집광시켜 절단부를 조명토록 하였다.

본 동기신호부를 구성하는 주요 구성기기의 사양은 다음과 같다.

■ Magnetic sensor

- Model # : ONO SOKKI, MP-981
- Scope : 0 ~ 20 kHz (0 ~ 20,000 rpm)
- Detection : Non-contact

■ Strobe light system

- Model # : SUGAWARA Lab., MS-230
- Flash time : 1, 4, 8  $\mu$  sec

- Frequency : 50 ~ 60 Hz

- Vision sensor(ITV camera)

- Model # : IWASAKI, CTC-6000

- Form : 2:1 interlace, EIA RS-170 format, Int/Ext Sync.

- Resolution : 512 X 512 pixels

- Intensity of illumination : 20 Lux.

- Auto Gain Control(AGC) function (1 ~ 1000 Lux)

- Dimension : 300(W) X 144(D) X 119(H) mm

## 2. 신호처리부

동기신호부의 magnetic sensor에서 감지된 신호를 절삭속도, 스트로보 라이트의 섬광시간 등의 부대조건을 비교,분석하여 동기신호를 발생시키는 부분으로 delay timer, clock pulse generator로 구성된다.

delay timer는 비전센서의 센싱위치에서 부터 주사까지의 이탈시간을 고려하여 동기신호의 발생시간을 조절한다. 또한 clock pulse generator는 delay timer에서 보내진 신호를 받아 strobo scope drive와 ITV camera에 동기신호를 보내는 역할을 담당한다.

이상의 구성장치들의 주요 사양은 다음과 같다.

- Clock pulse generator

- Model # : VIDEO SYSTEM Q-I

- Channel # : 5 CH.

- Input pulse range : 0 ~ 5 V



■ Delay timer

- Model # : VIDEO SYSTEM Q-1, KK

- Delay setting time : 1 ~ 9999 msec

1 ~ 1000  $\mu$  sec

3. 출력부

비전센서에서 EIA RS-170 형식의 디지털로 보내진 영상정보를 수집, 감시하며, 출력하는 부분으로 digital video memory, video recorder, TV monitor 등으로 구성된다.

입력된 영상정보는 연속적으로 TV monitor에 출력되나 공구영상의 출력은 주축 1회전(예: 145 rpm에서는 약 0.4초)마다 1회(4  $\mu$ s) 발생되기 때문에 모니터 상에서 순간적으로 감시하는 것은 불가능하다. 그래서 Fig. 4-2에 제시된 것처럼 영상메모리를 이용하여 정지된 영상을 얻도록 하였다. 이것은 1 화면(1/30초)분의 영상신호를 IC memory에 홀드시켜 놓고, 수직귀인과 동기로서 반복 재생시켜 영상을 출력하는 원리로서 메모리의 내용을 주축회전마다 발생하는 비디콘 출력으로 변환하는 방법이다.

이상과 같은 방법으로 작업자가 on-line 상에서 공구의 진행상태(마모, 파손 등)을 파악할 수 있다. 또한 출력된 비디오 정보를 추후 분석할 수 있도록 video recorder에 저장한다.

■ Digital video memory

- Model # : VIDEO SYSTEM Q-1, DVP-7000

- Resolution : 728(H) X 512(V) X 8 bit

- 64 gray levels, 4 fields

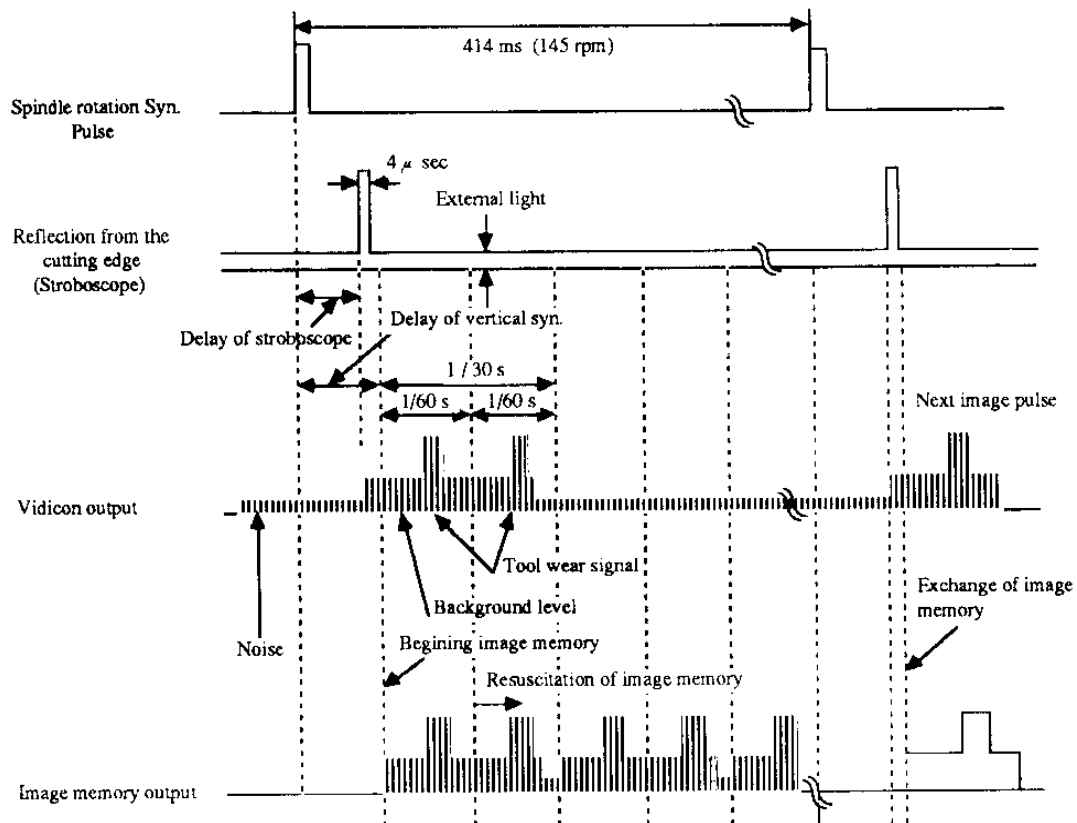


Fig. 4-2 스트로보 조명에 의한 비디오 신호

■ TV monitor

- Model # : IKEGAMI, PM-950
- Resolution : 512 X 512 pixels
- Frequency : 50 ~ 60 Hz
- Dimension : 218.5(W) X 226(H) X 235(D) mm

### 제 3 절 측정실험 및 분석결과

본 연구에서 구성한 측정장치는 단속절삭에서의 In-process 계측기술 개발을 목적으로 구성되어 비전센서의 적용성 및 재현성 여부, 주요 구성기기간의 상관관계 등을 측정실험에 의해 검토코자 한다.

측정실험에 의해 검토될 내용은 다음과 같다.

- 1) 주요 구성기기간의 상관관계(조합성 및 재현성)
- 2) 절삭 중 칩 응착에 따른 문제
- 3) 스트로보 조명 하에서 비전센서를 사용할 경우의 문제점

이상과 같은 문제점을 해결하고, 구성된 시스템의 on-line 계측기술의 가능성을 타진하기 위해 단속절삭을 대표하는 밀링절삭 작업을 대상으로 다음과 같은 절삭 및 측정조건 하에서 실험을 실시하였다.

- 절삭공구 : JIS SNG432, P10/P20
- 피삭재 : SC 46(HB=143), SKD 6(HB=251)
- Diameter of milling cutter :  $\varnothing$  300 mm
- 절삭속도 : 146 m/min(145 rpm)
- Work distance of ITV camera : 40 mm from cutter
- Flash time of strobo light : 4  $\mu$  sec

#### 1. 구성기기의 조합성 및 재현성

비전센서를 이용한 측정장치의 구성에 있어서 측정대상과 카메라

및 조명의 위치관계는 필요한 영상정보를 얻는데 중요한 변수로서 본 연구에서 적용, 구성할 측정기술에서도 이러한 문제가 대두된다.

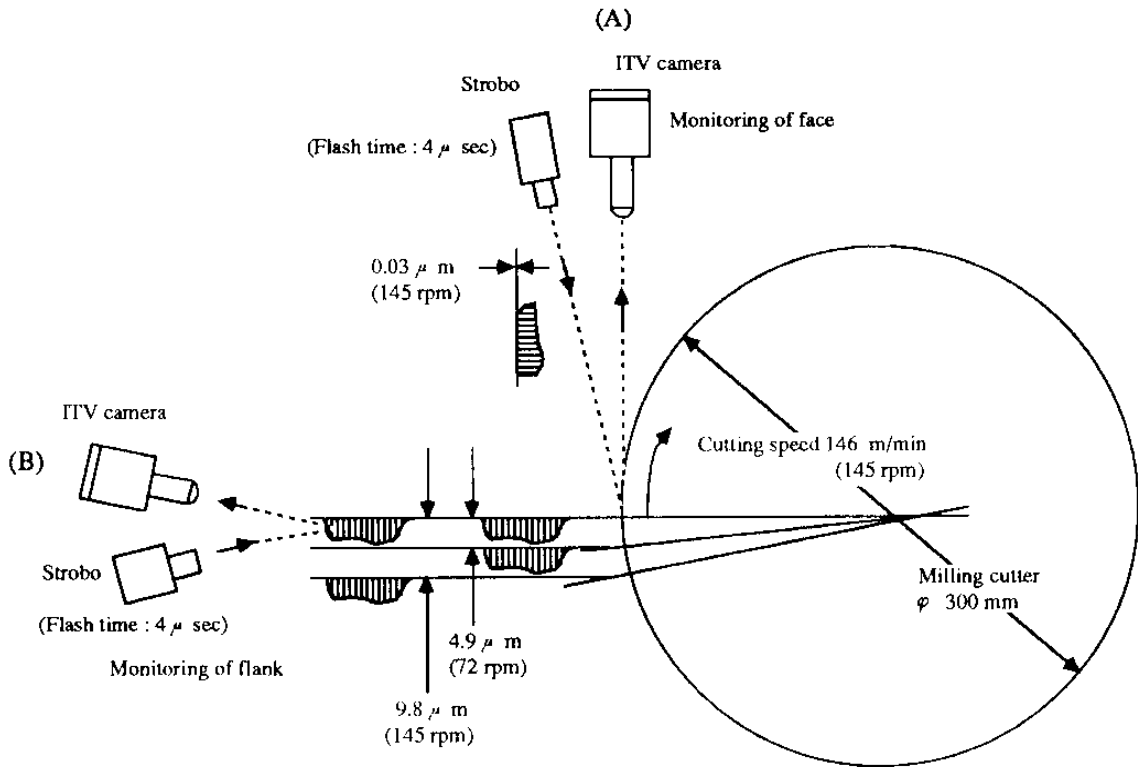


Fig. 4-3 공구절단부와 스트로브 라이트의 위치 관계

Fig. 4-3은 측정대상인 공구절단부와 카메라 및 조명으로 사용되는 스트로브 라이트의 위치관계를 표시한 것으로 (A)에 카메라를 설치하면 공구절단부의 크레이터면 관측이 가능하다. 또한 (B)에 카메라를 설치하면 플랭크면의 관측이 가능하나 피사체(절단부)의 이송속도가 크기 때문에 스트로브의 섬광시간을 짧게 할 수 없으며, 완전히 정지된 영상을 얻을 수가 없다.

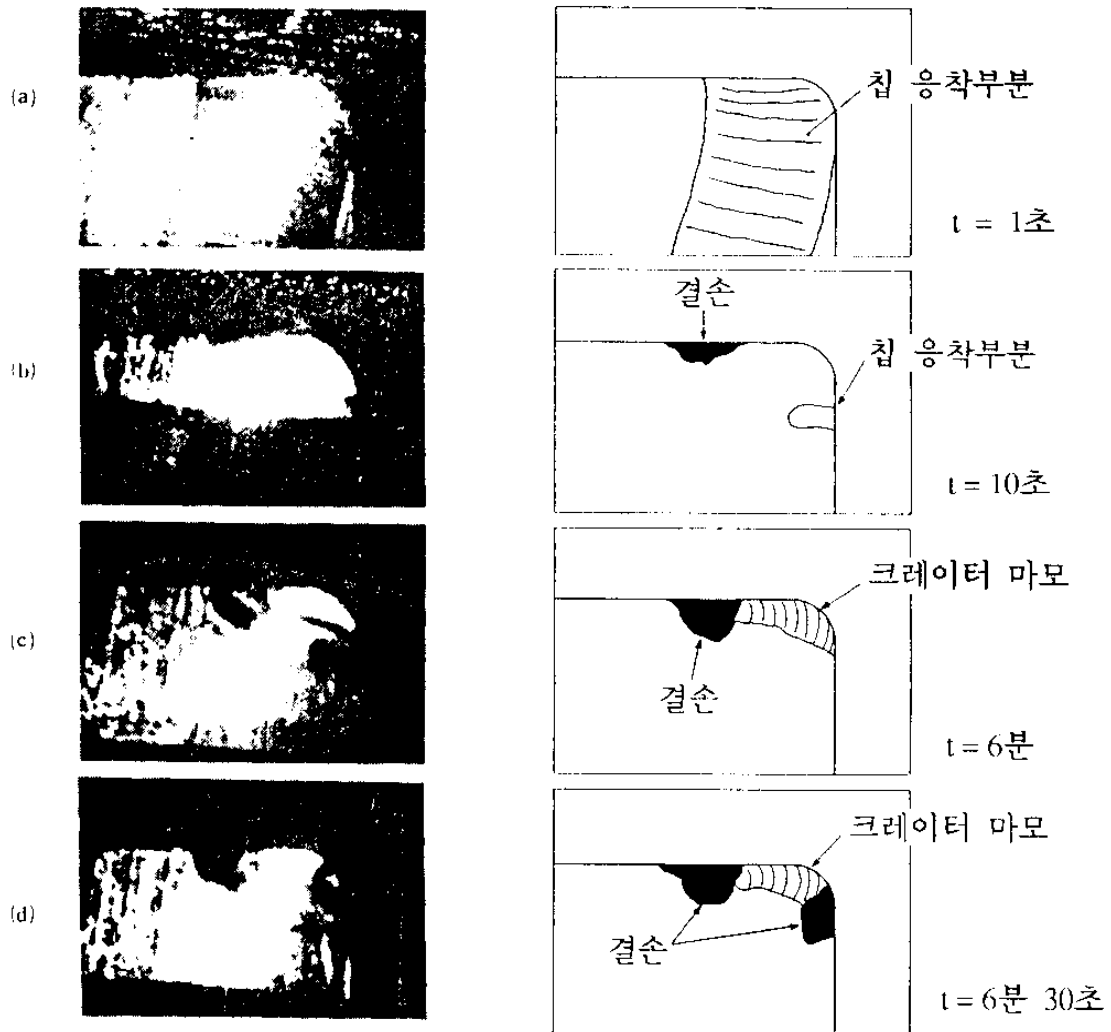


Fig. 4-4 크레이터면 마모의 ITV에 의한 감시결과

실험에 이용된 스트로보 라이트의 섬광시간(flash time)은  $4 \mu\text{s}$ 이기 때문에 절삭속도  $146 \text{ m/min}$ 에 있어서  $9.8 \mu\text{m}$ 의 영상 엇갈림이 발생하게 된다. 따라서  $1 \mu\text{m}$  정도의 측정이 요구된다면 섬광시간은  $0.4 \mu\text{s}$  이하에서 이루어져야 한다. 이러한 문제점에 대해 크레이터면의 경우에는 섬광시간  $4 \mu\text{s}$ 에서도 영상의 엇갈림이  $0.03 \mu\text{m}$  정도이기 때문에 무시될 수 있는 양이라 사려되지만 광축과 평행방향에 있는 절단 크레이터면의 이동량은  $9.8 \mu\text{m}$

정도로 엇갈림이 있으나 광학계의 피사체 심도내에 있다고 할 수 있다. 또한 동시신호의 발생에서 섬광개시까지의 순연시간의 변동도 앞에서 기술한 정도 하에서 관리하지 않으면 영상의 엇갈림이 발생하여 측정에 영향을 미치게 된다.

Fig. 4-4는 절삭 중의 공구절단부를 비전센서에 의해 관찰된 마모영상의 변화로서 (a)는 절삭 개시 1초후의 영상으로 공구의 크레이터면에 칩이 응착되어 실제의 공구면은 관찰이 안된다. (b)는 10초 경과후의 공구절인의 영상으로 절인부에 조금한 결손이 생기고 있다. (c)는 약 6분 경과후의 영상으로 (b)에서 확인된 조금한 결손이 크게 발달되어 플랭크마모가 생기고 있는 것이 확인되며, (d)에서는 절인부에 결손이 생하여 다음 회전에서 절인부가 균열되고 파손되는 결과를 확인할 수 있다.

## 2. 절삭 중 칩 응착문제

절삭 중 절삭 칩처리 문제 특히 공구절단부에 칩이 응착되는 것은 In-process 계측에 의한 공구상태 감시에 장애요인으로 대두된다. 제 2장에서 적용한 선삭가공에서는 이러한 문제 해결을 위하여 계측 전에 air blowing에 의한 장애요인을 해결하였으나 단속절삭의 경우에는 선삭과 달리 절삭 중의 계측기술로서 다른 차원에서의 해결책이 필요하다.

단속절삭에서는 Fig. 4-4(a)처럼 칩의 응착에 의해 직접 절인의 관찰이 불가능한 경우도 있으나, 본 연구에서는 이것을 밀링 커터와 피삭재의 위치관계(engage/disengage angle)에서 검토하여 이상과 같은 문제점을 해결토록 시도하였다.

즉 단속절삭에서는 절삭 종료시에 공구절단부가 이탈함으로써 칩

의 응착 정도가 변하기 때문이다. Fig. 4-5(a)에 제시된 것처럼 disengage의 상태에서는 약 50% 정도가 응착되고, (c)의 상태에서는 거의 100% 가까이 응착되는 것을 알 수 있다. 또한 공구결손률에서도 (c)에 비해서 (a)의 편이 이상적인 형태로 이것은 (a)의 상태에서는 이탈시의 절단부의 온도가 낮기 때문에 응착이 어려운 것이다. 그러나 이러한 복잡한 현상은 다른 피삭재, 공구 및 절삭조건에 따라 다른 현상으로 나타날 수도 있다.

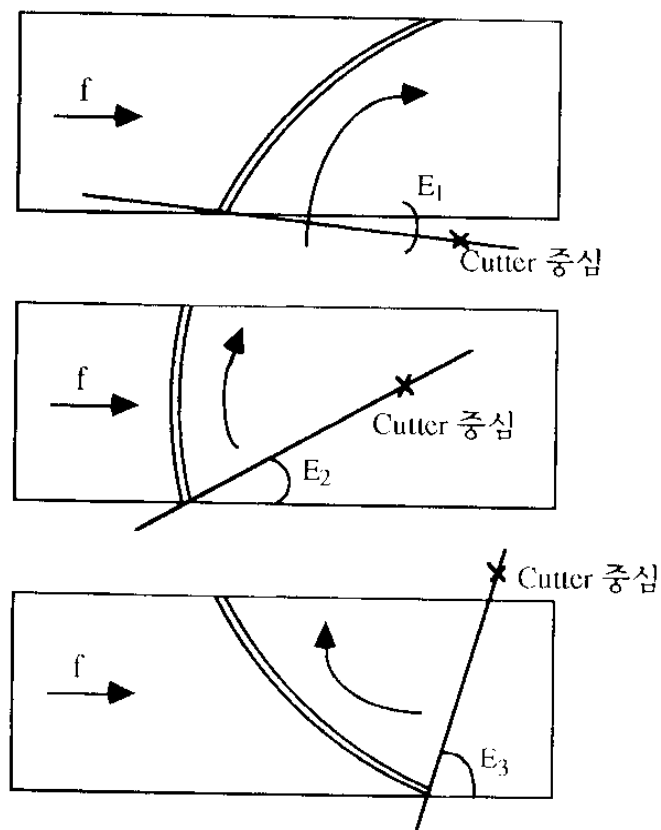


Fig. 4-5 칩 응착과 engage angle의 관계

### 3. 조명효과

조명으로 스트로보 라이트를 사용할 경우의 문제점에 대해 검토한다. 공구절단부는 스트로보 라이트에서  $4 \mu s$  간격으로 조명되면 그 반사

광이 비전센서의 영상관 감광면에 입사해서 전하상으로 입력된다. 입력된 전하상의 정보는 순차적으로 1 프레임(1/30초) 간격으로 읽혀지나 외부 조명에 의한 잡음이나 전기적 잡음이 프레임을 통해서 계속적으로 발생하기 때문에 영상의 S/N비(signal to noise ratio)는 섬광시간/프레임시간의 비율 만큼 저하하는 염려가 있다. 따라서 본 연구에서는 특히 잡음의 영향에 강하고, 감광도가 높은 실리콘 비디콘(silicon vidicons)을 사용함으로써 직사적으로 입력되는 외부 조명의 차단이 가능하게 되었다.

#### 4. 시험결과 및 고찰

밀링절삭과 같은 단속 절삭에서도 주축과 동기로 스트로보 조명을 이용해서 비전센서에 의해 공구상태를 정도 있게 관찰이 가능하다는 것이 입증되었으며, 다음과 같은 것이 필요하다.

- 1) 스트로보의 섬광시간은 충분히 짧아야 하며, 플랭크마모를 관찰할 경우에는  $0.4 \mu s$  이하의 섬광시간이 요망된다.
- 2) 공구의 영상정보가 발생하는 시간은 섬광시간 정도이기 때문에 전기적 잡음이나 외부 조명에 의한 영향이 크다. 따라서 촬상관은 잡음의 영향에 강하고, 감도가 높은 것을 선택하며 광량이 큰 스트로보 라이트를 사용할 필요가 있다. 또한 외부 조명의 직접적인 영향이 없도록 하여야 한다.
- 3) 공구의 크레이터면에 칩이 용착되는 경우에는 상태관측이 불가능하나 이러한 문제점은 disengage angle과 밀접한 관계에 있다는 것이 확인되었다.



## 제 5 장 결 론

기계가공의 정도, 능력은 절삭기능에 의존하고 있어 공구관리는 가공에 있어서 중요한 중점기술의 하나라고 할 수 있으며, 기계공장을 고도로 자동화 하고자 할 경우 체계화된 절삭데이터 및 공구의 열화 현상의 센싱기술에 의한 공구관리가 필요하다. 한편 국내외에 있어서도 FA화의 기운이 고조되면서 보다 신뢰성이 높은 절삭정보의 센싱 기술이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 일본 기계기술연구소(Mechanical Engineering Laboratory)와 공동으로 5개년 계획하에 절삭공구의 감시기술을 개발하고, 최종적으로는 무인화 공장에 필요한 In-Process 계측기술로 발전시키기 위한 제반연구를 수행하였다.

본 년도에는 4차년까지 수행한 연구내용을 토대로 다음과 같은 연구를 수행하였다.

- 1) 선삭용 자동 절삭실험시스템 개발
- 2) 복합센서에 의한 공구상태 감시기술
- 3) 단속 절삭에서의 공구상태 감시기술

이상과 같은 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

- 1) 선삭용 공구의 내마모성에 관한 기준 절삭데이터(마모특성, 사용한계 등)를 자동적으로 수집하고, 절삭공구의 절삭성 데이터 베이스를 구성할 수 있는 절삭실험 시스템을 개발하였다.
- 2) 절삭실험 작업의 효율성 부가를 위한 음성합성 기술 부가 및

공구수명 관리와 절삭성 데이터 산출을 담당하는 알고리즘 및 운영소프트웨어를 개발하였다.

- 3) 전류센서, 가속도 센서 및 절삭동력계로 구성된 공구이상 상태 감시용 복합계측 시스템 구성과 신호처리에 의한 상태 판정 알고리즘을 개발하였다.
- 4) 비전센서를 이용한 적용분야의 확대 및 In-Process 계측 기술로의 발전을 위해 단속 절삭 작업을 대상으로 한 공구상태 측정 시스템 구성과 성능 및 적용실험을 실시하였다.
- 5) 국내 절삭공구의 가공 Data Bank 구축에 따른 국내 공구 Maker에 최적 공구데이터 제공
- 6) 영상처리 알고리즘 및 소프트웨어의 하드웨어화에 의한 영상 처리의 실시간화와 응용분야의 확대

또한 Total 시스템적인 공구감시시스템 개발과 측정결과의 실시간 Feedback 및 판단기술, 절삭 Process 감시의 Hybrid화 및 On-Line화를 추구하기 위한 복합센싱기술 및 센서 기술의 지능화와 가공제어의 최적화 기술개발이 금후의 연구과제로 대두된다.

## 참 고 문 헌

1. Theo Pavlidis, Algorithms for Graphics and Image Processing, Computer Science Press, 1987
2. B.G.Batchelor, D.A.Hill, Automated Visual Inspection,IFS Ltd,UK, 1985
3. Y.H.Lee et al., "Cutting Tool Wear Measurement using Computer Vision", SME conference , 1986
4. A. K. Sood, et al., "Computer-Based approach to Tool Condition Monitoring", SME conference, 1985
5. F.Giusti, et al.,"On-line Sensing of Flank and Crater Wear of Cutting Tools" , Annals of CIRP , 1987
9. D. C. D. Oguamnam, S. D. Bhole, "Tool Wear Monitoring and Breakage Detection : A Machine Vision Approach", SME MS90-608, 1990
10. K. B. Pedersen, "Wear Measurement of Cutting Tools by Computer Vision", Int. J. Mach.Tools Manufact., 1990
11. D. G. Wildes, et al, "Tool Breakage Detection by Monitoring Ultrasonic Vibrations", Annals of the CIRP, 1988
12. S.Rangwala, D.A. Dornfeld, "Sensor Integration using Neural Networks for Intelligent Tool Condition Monitoring", J. of Eng. for Ind., Vol. 112, 1990
13. Y. Altintas, "In-process Detection of Tool Breakages using Time Series Monitoring of Cutting Forces", Int. J. of Mach.Tools Manufact., Vol. 112, 1988

14. FANUC Series O/O-Mate Programming Manual : Macro Compiler & Macro Executer, FANUC, 1989
15. M.A. Mannan, et al, "Monitoring and Adaptive Control of Cutting Process by means of Motor Power and Current Measurements", Annals of the CIRP, 1989
16. 柏川乙彦, 他, "切削データ自動収集システムの開発", 精密工學會論文誌, Vol. 42, No. 2, 1976
17. 村田良司, 宮坂金佳, 澤井信重, 高信頼性切削工具系に関する研究, 機械技術研究所報告 第131號, 1984
18. 村田良司, 他, "特輯: 實用化加工プロセス監視システム", 機械技術, 1990. 11
19. 西脇信彦, 他, "特輯: 生産加工におけるセンシング事例集", 機械と工具, 1990
20. 沼田恵照, 他, "FA, CIMに對應する計測技術", マシニスト, 1990
21. 渡邊茂, 秋山穰, 生産システムと最新自動化技術, 日本工業新聞社, 1991
22. 宋浚燁, 宮坂金佳, 澤井信重, "劃像處理による切削工具摩耗の自動測定", 日本精密工學會 秋季學術大會論文集, 1989. 11
23. 송준엽, 박화영, 澤井信重, "비전센서를 이용한 자동 절삭실험시스템의 개발", 대한기계학회 추계 학술대회 논문집, 1991
24. 이재종, 송준엽, 박화영, "복합센서를 이용한 공구이상 검출", 한국정밀공학회 추계 학술대회 논문집, 1992
25. 연구보고서, 절삭 가공정보의 계측기술 개발, 과기처, 1988 ~ 1991

---

## 부 록

---

- 연구성과의 발표상황
- 발표논문

## ■ 研究成果の 発表状況

- 1) 宋 浚 燁 金 仁 洙 朴 和 永, "Cutting Tool Wear Measurement using ITV Camera & Image Processing System", 韓國精密工學會 春季學術大會, 1988. 6
- 2) 澤井信重 宮坂金佳 宋 浚 燁 金 仁 洙, "工具摩耗の自動測定における最適照明位置の決定方法", 日本精密工學會 秋季大會, 昭和 63. 10
- 3) 澤井信重 宮坂金佳 宋 浚 燁 金 仁 洙, "劃像處理による切削摩耗測定システムの開發", 日本センシング技術研究會, 平成 元. 6
- 4) 宋 浚 燁 金 仁 洙 宮坂金佳 澤井信重, "劃像處理による切削工具摩耗の自動測定", 日本精密工學會 秋季大會, 平成 元. 11
- 5) 宋 浚 燁 李 載 鍾 朴 和 永, "The Automated Measurement of Tool Wear using Vision Sensor", 韓國機械研究所 所報, 第 19輯, 1989. 12
- 6) 澤井信重 宮坂金佳 宋 浚 燁 李 載 鍾, "オートフォーカスを利用したクレ-タ摩耗の測定手法", 日本センシング技術研究會, 平成 2. 3

- 7) 澤井信重 宮坂金佳 宋 浚 燁 李 載 鍾, "オ-トフオ-カスによる  
工具すくい面摩耗の自動測定", 日本精密工學會 秋季大會,  
平成 2.9
- 8) 宋 浚 燁 朴 和 永 澤井信重, "Measurement of Cutting Tool  
Crater Wear using Projected Line Beam", 韓國精密工學會  
春季大會, 1991. 6
- 9) 李 載 鍾 宋 浚 燁 朴 和 永, "Characteristics of AE Spectrum in  
Tool Breakage", 韓國精密工學會 春季大會, 1991. 6
- 10) 宋 浚 燁 朴 和 永 宮坂金佳 澤井信重, "Automatic Testing  
System using Vision Sensor", 大韓機械學會, 秋季大會, 1991. 11
- 11) 宋 浚 燁 朴 和 永 澤井信重, "Automated System for Testing  
Tool Life in Turning Process", 大韓機械學會 論文集, 1992
- 12) 李 載 鍾 宋 浚 燁 朴 和 永, "Dection of Tool Breakage using  
Multi-functional Sensor", 韓國精密工學會 秋季大會, 1992. 10

## Vision Sensor를 이용한 자동 절삭실험시스템 개발

\* 송준엽, 김선호, 박화영 (한국기계연구소)

宮坂 金佳, 澤井 信重 (일본기계기술연구소)

### 1. 서론

절삭가공 시스템의 효율적인 운영을 위해서는 신뢰성이 높은 절삭데이터가 요구된다. 절삭데이터가 불충분한 경우에는 가공제품의 품질이나 정도가 저하될 뿐 아니라 가공시스템 전체의 운전이 불가능하게 되는 경우가 있다. 최근처럼 고도로 자동화된 가공시스템에 있어서도 이러한 사정은 변하지 않고 있으며, 자동화의 정도가 진행될수록 더욱 정확한 절삭데이터가 요구되고 있다. 예를 들면 고도의 자동 가공시스템에서는 단순히 정도가 높은 공구수명데이터 이외에도 수명의 변동에 관한 데이터도 요구되게 되는 것이다.

절삭데이터는 절삭실험에 의해서 얻을 수 있으며, 절삭실험에는 상당한 숙련과 주의력을 갖춘 작업자가 장시간에 걸쳐 실시하지 않으면 안된다. 종래에는 한 재료의 피삭성을 파악하기 위해서 절삭속도, 이송, 절삭깊이, 공구재질 등 여러 조건 하에서 실험을 하는데 140 종류 정도의 절삭실험이 필요하게 되며, 데이터 정리에 소요되는 시간을 감안하면 작업자 1인이 약 3 개월 정도의 노력이 필요하였다 (1).

따라서 본 연구에서는 비교적 단순한 조작의 반복인 절삭실험을 자동화하고, 절삭공구의 내마모성에 관한 기준 절삭데이터(마모특성, 사용한계 등)를 자동적으로 수집·보고하여 최종적으로는 절삭공구의 가공 Data Bank를 구축하고자 자동 절삭실험시스템을 구성하였다.

### 2 시스템의 구성원리

절삭공구의 사용한계를 파악하기 위해서는 초고속 영역에서의 절삭도 필요하며, 위험을 동반한 작업도 있다. 실험시간을 단축하는 목적으로 실용절삭조건보다도 고속에서 실험하는 방법(가속실험), 절삭현상과 밀접한 관계에 있는 현상(예를 들면 마찰실험)으로 절삭실험을 대체하는 방법도 제안되어 있지만 실용화에는 도달하지 못하고 있는 실정이다.

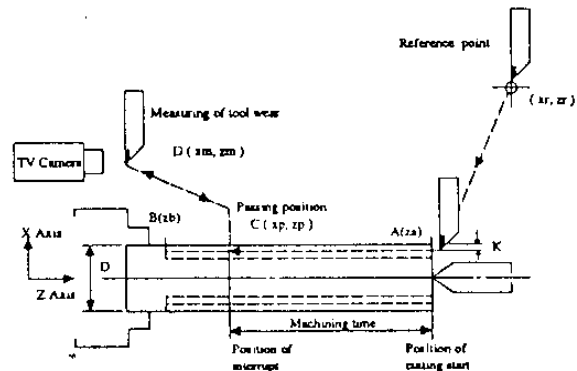


Fig. 1 자동 절삭실험시스템의 구성원리

일반적으로 NC 공작기계에는 미리 프로그램된 sequence에 따라 공구를 이동시키는 기능을 갖고 있어 본시스템의 구성은 Fig. 1에 제시된 것처럼 절삭개시점(A)과 종료점(B)를 지정하고, 공구마모의 시간적 변화를 알기 위해 지정한 일정시간마다 절삭을 중단시켜 공구마모를 자동으로 측정한후(D점), 절삭중단점까지 복귀하여 연속절삭을 계속하는 원리로서 개발되었다.

이상에서 설명된 원리를 반복할 수 있는 기능을 갖출 수 있도록 피삭재의 기하학적인 관계 및 이송, 절삭깊이 등에 대해서는 Macro program에 변수로서 지정하고, 공구마모 계측을 위해서 절삭 중단시간을 실험목적에 따라 외부 컴퓨터에서 지령하여 설정가공시간에 도달함과 동시에 NC 공작기계를 대기상태로 한다. 외부 컴퓨터에서는 계측처리를 실시하고, 처리 후에 절삭 중단점까지 복귀시켜 절삭을 재개한다. 이와 같은 원리에 의해 절삭실험을 수행함으로써 효과적인 실험 자동화가 가능하게 되었다.

### 3. 자동 절삭시스템의 설계

#### 3.1 하드웨어의 구성

자동 절삭실험시스템은 Fig. 2에 제시된 것처럼 가



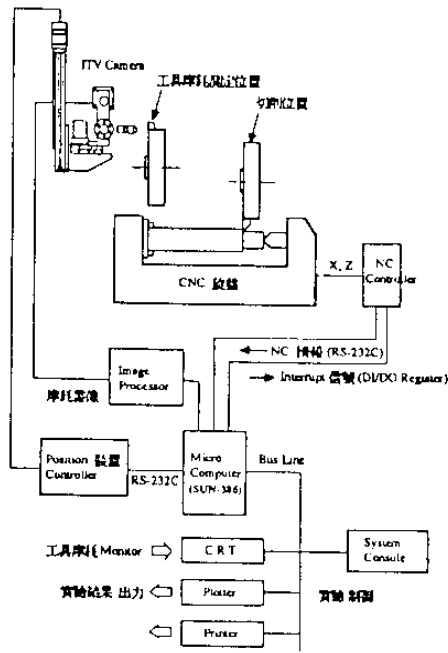


Fig. 2 자동 절삭실험시스템의 구성도

공을 담당하는 가공부, 측정부, 시스템 제어 및 정보처리부와 출력부(Multi sync. monitor, X-Y plotter)로 구성되며, 각 구성부의 주요 구성기기는 Table 1과 같다.

가공부는 NC 선반을 중심으로 하여 절삭실험에 필요한 소프트웨어 기능을 준비한 컴퓨터와 쌍방향 신호 cable인 RS-232C 및 Digital I/O master card로 연결하여 Direct control이 가능토록 구성한다. Interface unit에 의해 교환되는 정보는 Table 2이다.

측정부는 센서를 공구의 사양(entering angle, tool geometry 등)에 따라 측정위치로 이동시키고, 측정위치에서 공구마모의 형상을 주사하여 RS-170형식의 Analog신호로 출력, 영상해석 및 공구수명의 진행상황을 check 하기 위해 Image processor의 Look-up table에 입력한다.

한편 시스템 제어 및 정보처리부는 자동 절삭실험시스템의 중심부로서 영상처리용 Image processor, Position장치 제어용 controller와 interface unit, 시스템 제어 및 운영을 위한 Microcomputer와 Digital I/O master, 정보처리용 소프트웨어로 구성된다. Position controller는 시스템 운영소프트웨어의 입력단계에서 입력된 공구번호에 따라 Position장치의 각 축(X/Z/θ축) 이동량을 결정하여 RS-232C를 통하여 이동정보 전송 및 각 축 제어와 구동을 지시한다. 본 연구에서 구성한 Position장치의 구성도 및 사양은 Fig. 3이다. 또한 시스템 자동절삭사이클의 직접적인 통제 및

Table 1 자동 절삭실험시스템의 주요 구성기기

구 성 부	주요 구성 기기
가 공 부	CNC 선반(TWACHION ECOSTAR 3) Custom macro compiler & camera D
측 정 부	저조도 CCTV camera(PULNIX TM-545W) Flexible position & lighting 장치 Pinhole lens & Extension tube Laser generator & Fiber optic attachments
시스템 제어 및 정보처리부	Image processor (Image w.c. PC-100) Position controller(OHM ODIII-A) Host computer(SUN PC386) Interface unit & Digital I/O card
출 령 부	Multi sync. monitor(NFC 3D) RGB monitor(ECM 1311) X-Y plotter(ROLAND DXY-980A) Dot printer(EPSON LQ 1500)

Table 2 Interface Unit에 의해 교환되는 정보내용

경 보 내 용	Interface Unit
· 자동 절삭cycle 및 custom macro PIO · 절삭조건(절삭속도, 이송, 절삭길이 등) · 주속회전수 · 공구에서의 절삭공구의 변위치데이터	Sensu RS-232C
· 절삭가공 Interrupt 신호(Ui0-2) · 식별번호 신호(M80 - M82)	Digital I/O

정보전송을 위해 Macro user interface 입력신호(Ui0~2)와 NC 보조기능(M80~82)을 Digital I/O master card(Port address: &H2A8)에 연결시켜 채용하고, PC-bus(register base address: &H300, memory base address: &H90000)를 통해 컴퓨터와 Image processor간에 Interface가 이루어져 상호교환하며 영상처리 및 분석이 실시되도록 구성하였다.

### 3.2 소프트웨어의 구성

NC 선반에서의 가공 및 절삭정보교환, Vision sensor에 의한 공구마모 측정으로 공구수명관리 및 절삭성 데이터산출 등을 담당하는 소프트웨어로서 Fig.4와 같은 단계로 운영된다.

본 소프트웨어는 시스템 제어 및 운영 측면에서

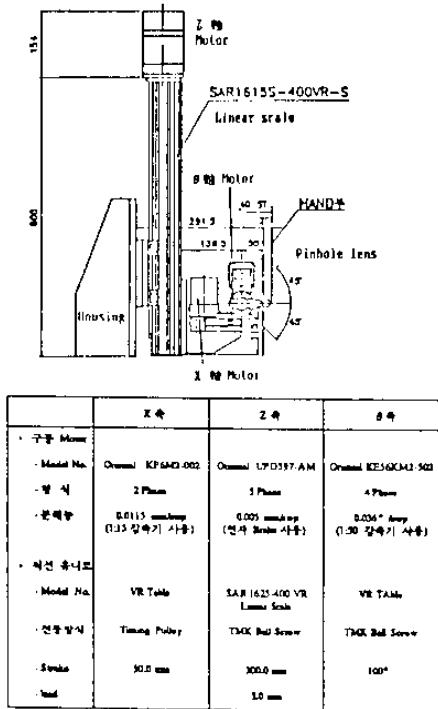


Fig. 3 Position 장치의 구성도 및 각축의 사양

Microsoft C language 을 base로 하고, 영상처리용 library ITEX-100 및 NC custom macro를 사용하여 프로그램하여 종합적으로 절삭실험을 수행할 수 있도록 구성한 소프트웨어이다. 한편 입력, NC drive & interrupt, 공구마모 측정 및 절삭가공 database 구축으로 크게 4 Module로 나누어져 구성된다.

(1) 입력 Module

절삭실험의 절삭조건 및 공구정보를 입력하는 단계로서 입력된 데이터는 추후 절삭가공 Data Bank 구축에 사용된다. 특히 공구정보 중 Tool holder번호는 절삭실험시스템의 Position장치를 측정위치로 이동시키기 위한 각 축의 이동량을 결정하는데 사용한다.

(2) NC drive & interrupt Module

절삭실험에 필요한 지령데이터, 즉 주축회전수, 이송, 자동절삭사이클 등을 작성, 수정하여 NC controller 에 출력하고, 절삭 중의 X/Z축의 현 위치데이터, 공구경보정데이터 등 동작기계 상태정보의 feedback전송을 담당하는 Module로, 전송방식은 쌍방향 신호 cable인 RS-232C 및 Digital I/O를 이용한 Direct control 시스템을 구성하였다.

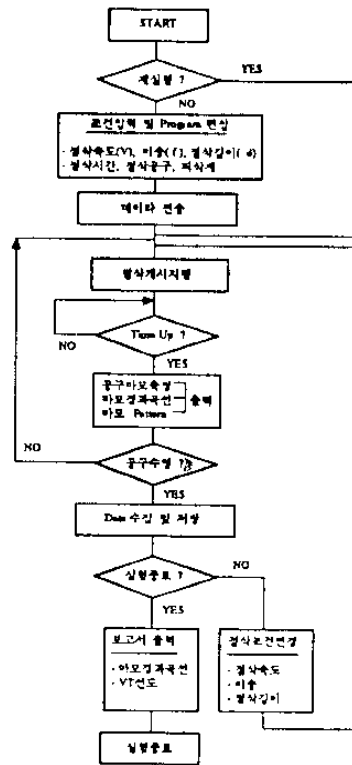


Fig. 4 자동 절삭실험시스템 운영 및 흐름도

(3) 공구마모 측정 Module

Vision sensor에서 얻어진 공구의 영상정보로부터 배경 및 공구의 비마모부와 마모부를 자동으로 식별하고, 필요한 마모패턴 및 인자검출을 위한 소프트웨어로 Fig. 5와 같은 영상취득, 자동 2치화, 잡음제거, 경계선추출 및마모인자 검출단계를 거쳐 결과를 출력한다.

(4) 절삭가공 Database 구축 Module

마모 측정단계에서 검출한 마모인자 (VT, VBmean, VBmax)를 근거로 절삭가공데이터 파일을 구성하는 것으로 시간적 변화에 따른 공구마모 진행도 및 공구수명곡선(VT선도) 등 분석결과를 출력하기에 출력하는 Module이다.

4. 성능실험 및 평가

자동 절삭실험시스템을 구성하는 목적에 부합되는 시스템이 되기 위하여 절삭성데이터를 자동으로 수집하고, 절삭공구의 마모경과곡선 및 공구수명을 check 할 수 있는 구성시스템의 신뢰성 정도와 재현성에 대하여 절삭실험을 통하여 실시하였다.

실험에 사용된 시편 및 절삭조건은 다음과 같다.

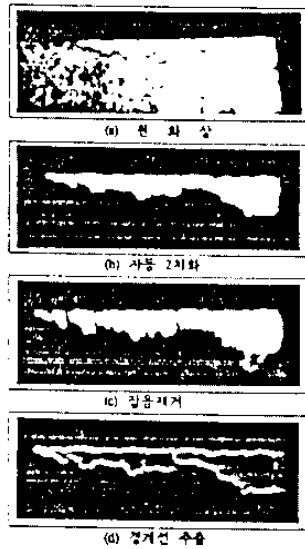


Fig. 5 공구마모 측정Module의 단계별 처리결과

- ① 시 편
  - 재질: P10(ISO)
  - 형상: JIS SNMG432
  - Carbide insert tip
- ② 절삭조건
  - 절삭속도(v): 250 m/min
  - 이 송(f) : 0.1 mm/rev
  - 절삭깊이(d): 1.0 mm

이상과 같은 조건 하에서의 실험결과 Fig. 6와 같은 시간경과에 따른 마모패턴을 얻을 수 있었다. 그러나 수명곡선 및 공구수명방정식을 산출하고, 절삭성 데이터를 수집하기 위하여 더 많은 실험과 측정이 수반되어야 한다.

### 5. 결론

자동으로 절삭실험을 수행하고, 절삭공구의 기존 절삭데이터를 자동적으로 수집·보고할 수 있는 실험시스템을 개발하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 외부컴퓨터와 계층구조 시스템으로 구성된 CNC시스템이 기본으로 되어 있기 때문에 광범위한 실험을 수행할 수 있다.
- 2) 공구마모가 자동적으로 측정되기 때문에 작업자와 관계되는 오차가 제거되며, 신속한 측정이 가능하다.

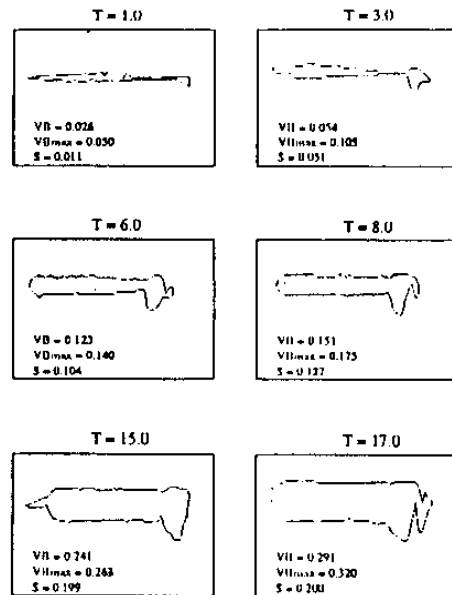


Fig. 6 절삭실험 중 마모패턴의 추출경과

- 3) 신뢰성이 높은 절삭데이터를 얻는데 필요한 마모경과곡선, 공구수명방정식 및 사용한계가 자동으로 수집된다.
- 4) 종래의 절삭실험에 비하여 전 작업시간의 1/10 정도로서 절삭데이터결과의 출력력이 가능하다.
- 5) 종합적인 공구감시시스템으로 발전시키기 위해서는 측정결과의 feedback 기능 및 시스템 구성요소들의 compact화를 시도하는 지속적인 연구가 필요하다.

### —참 고 문 헌—

- (1) 宮坂 金佳, "ITVによる工具切れ刃監視と工具摩耗検出 オトメーション, Vol. 31-12, PP76, 1987
- (2) F.Giusti, M.Santochi, "On-Line Sensing of Flank and Crater Wear of Cutting Tools", Jr. of CIRP, Vol. 36-1, PP31, 1987
- (3) 宋 浚燁, 宮坂金佳, 澤井信重, "画像処理による工具摩耗の自動測定" 日本精密工學會論文集, D08, PP108, 1989
- (4) D. C. D. Oguamnam, S. D. Bhoie, "Tool Wear Monitoring and Breakage Detection : A Machine Vision Approach", SME MS90-608, 1990

## 복합센서를 이용한 공구이상검출

### Detection of Tool Breakage using Multi-Functional Sensor

이 재 종, 송 준 업, 박 화 영

한국기계연구원 자동화연구부

#### 1. 서 론

무인가공시스템을 이용하여 제품의 정밀도와 시스템의 신뢰성 및 제품의 생산성을 높이기 위해서는 시스템을 구성하고 있는 장삭기계와 주변장치의 감시 및 진단기술이 필요하다. 특히, 절삭공구의 마모 및 파손을 작업중에 감출할 수 있는 in-process계측 기술과 가공상태의 조기 이상감시기술 및 공작물의 정확한 위치감시기술 등이 무인가공시스템을 성공 시키는데 반드시 필요하다.

절삭가공중 발생하는 공구마모 및 파손, 칩핑(chipping) 등을 감시하는 방법으로는 광센서, 비전센서[1], 접촉식센서(touch probe)를 이용한 직접적인 측정방법과 절삭력[3, 3], AE[4] 및 진동[2] 등을 이용한 간접적인 측정방법이 있다.

최근에는 복합센서를 사용하여 신경회로망을 이용한 방법도 시도되고 있으나 [3] 절삭중 공구 이상을 감시할 수 있는 시스템이 아직 상품화되어 현장에 적용된 예는 거의 없다.

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

#### 2. 복합센서의 특성 및 감시특성(monitoring feature)

무인가공시스템이나 지식화된 시스템을 실현하기 위한 방법으로 여러 복합기술이 요구되고 있으나 이 중에도 절삭공구의 이상검출이 실시간으로 감시되지 않으면 시스템의 신뢰성과 시스템으로서의 성능저하를 초래한다. 이러한 상황에서 공구이상을 검출하는데 따른 신뢰도를 높이고, 공구이상을 검출하는데 따른 시간을 간축하기 위해서 복합계측(multi-sensing)방법이 요구되고 있다.

복합 계측은 절삭시 발생하는 여러형태의 공구이상을 감출하기 위해서 공구의 이상형태에 대해 감도가 좋은 센서를 선택하고, 각 센서에서 검출된 신호로부터 짧은 시간내에 이상특성을 추출하기 위해서는 센서별 감시특성(monitoring feature)을 찾아야 한다. 따라서 이 감시특성(monitoring feature)만을 해석함으로써 짧은시간내에 공구이상 상태를 감시하고, 이상검출을 할 수 있다. 각 단위 센서별 특성은 다음과 같다.

##### 2-1. 가속도 센서.

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

링 형태의 가속도센서는 절삭공구를 스피들에 설치

차는 드릴이나 머시닝센터등에서는 진동특성을 검출하기가 용이하다는 점은 있으나 공작기계의 스핀들유니트를 조립하는 과정에서 설치해야 하기 때문에 설치하기가 쉽지 않다.

본 연구에서는 설치상의 문제를 고려하고, 공구의 진동을 검출하기 위해 가속도센서를 터릿(turret)의 공구 홀더에 설치해서 절삭특성을 검출했고, 사용된 가속도센서의 특성은 다음과 같다.

- 입력 감도 : 20 mVp-p/G ± 10%
- 횡 감 도 : 5% max
- 직 선 상 : 1.5%
- 공진 주파수 : 8 KHz
- 응 답 성 : 5 Hz ~ 6 KHz ± 3dB

## 2-2. 전류센서 및 절삭동력계

전류센서는 홀소자나 전자유도형 마그네토미터를 사용하여 동선에 흐르는 전류를 측정할 수 있는 센서로, 본 연구에서는 주축 스펀들모터의 전류특성의 변화를 검출하여 공구의 이상을 검출했다.

스핀들이 회전할 때 가공물의 절삭이나 공구 이상으로 인해서 절삭력이 변하거나 외부에서 작용하는 힘의 변화에 의해서 스펀들모터에 걸리는 부하가 변한다. 이에 따라, 모터에 작용하는 전류, 모터에 작용하는 토크에 비례하기 때문에 정상 절삭의 경우와 공구이상이 발생할 때의 전류특성을 해석하면 절삭중 공구이상을 검출할 수 있다. 사용된 전류센서는 측정범위 0~75 Amp(AC/DC)이고, 센서의 출력값은 2.23V (DC)의 특성을 가지고 있다.

또, 절삭중 CNC 선반의 스펀들유니트에 작용하는 절삭력의 변화를 찾기 위해서 스펀들서보유니트내의 절삭동력계로 부터 스펀들모터의 최대출력에 대한 작용하는 힘의 백분율은 DC 값으로 검출했다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3-1. 실험 방법

절삭실험은 표준절삭조건을 기준으로 절삭조건에 따른 신호특성과 절삭날의 상태에 따른 신호특성을 해석하기 위해서 다음과 같은 실험조건을 사용했고, 실험장치는 그림1과 같다.

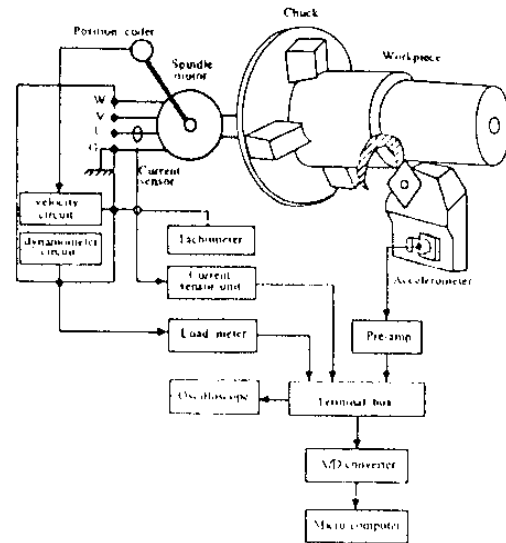


Fig. 1 Block diagram of experimental system

- o 가공물의 재질 : S45C, SCM440
- o 인서트의 종류 : 텅스텐카바이드
- o 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 길이 0.5mm의 슬롯을 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 이용했다. 전류센서의 경우 peak amplitude histogram을 이용하여 peak값의 평균값을 구했고, 공작기계의 절삭동력계의 신호는 동일한 시간영역에서의 진폭의 평균값을 구했다.

### 3-2. 절삭실험 결과 및 분석

절삭실험은 정상상태의 절삭특성과 공구이상이 발생했을 때의 신호특성을 비교/해석하기 위해서 전술한 바와 같이 다양한 절삭조건과 공구형태에 따라 검

출했다. 여기서는 정상절삭시의 신호특성, 슬롯이 있는 인서트를 이용하여 공구파손이 생긴 경우의 신호 특성, 절삭날의 선단부의 파손(nose breakage)이 생긴 경우의 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 S45C 인 가공물을 절삭속도 180m/min, 이송량 0.1mm/rev의 절삭조건에서 절삭깊이가 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm 일 때 스피들모터에 걸리는 전류의 변화와 절삭동력계의 신호특성은 그림 2, 그림 3과 같다.

정상절삭실험 결과 절삭깊이의 증가에 따라 스피들모터에 작용하는 전류와 절삭동력계의 신호는 증가함을 알 수 있고, 여기서, 초기값은 비절삭시 즉, 공회전시의 신호특성이다.

또, 절삭속도 180 m/min, 이송량 0.1mm/rev 의 절삭조건에서 절삭깊이가 각각 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm 일 때 검출된 가속도센서 신호의 진폭의 평균값은 그림 4와 같이 절삭깊이가 증가함에 따라 진폭인 큰 신호가 검출됐고, 검출된 신호의 평균값은 4096개의 데이터를 각 sweep별로 평균화한 것이다.

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

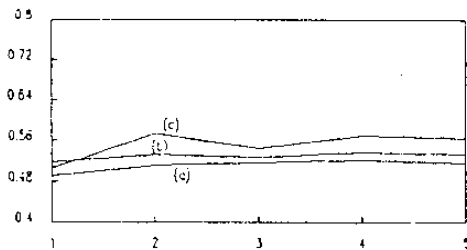


Fig. 2 Output signal of current sensor according to change of depth of cut : (a) 0.5mm, (b) 1.0mm and (c) 1.5mm (V=180 m/min, f=0.1mm/rev)

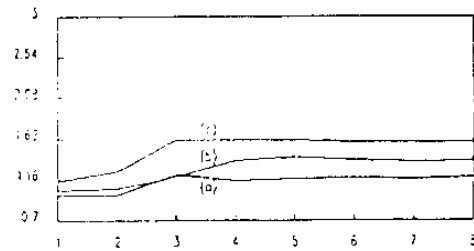


Fig. 3 Output signal of loadmeter according to change of depth of cut : (a) 0.5mm, (b) 1.0mm and (c) 1.5mm (V=180 m/min, f=0.1mm/rev)

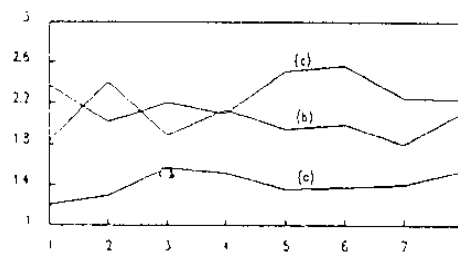


Fig. 4 Average of acceleration sensor amplitude according to change of depth of cut : (a) 0.5mm, (b) 1.0mm and (c) 1.5mm

### (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 이 때 검출된 가속도센서의 신호 특성은 그림 5, 그림 6과 같다. 큰 공구파손(massive breakage)이 발생한 순간 고진폭의 신호가 검출됐고(그림 5), 점차 고주파의 신호특성이 나타났는데 이 특성은 파손된 공구면과 가공물의 심한 마찰에 의해서 나타난 신호특성이다.

그림 6은 초기 고진폭의 신호는 공구의 절삭날이 파손 되면서 발생한 신호 특성으로 일차 파손이 발생한 후 파손된 공구와 가공물의 마찰에 의해서 고주파의 신호특성이 나타났다. 공구파손이 발생한 경우에(그림 6) 스피들모터의 전류와 절삭동력계의 신호 특성은 그림 7과 같이 변화가 크게 나타났다.

### (3) 선단파손(nose breakage)시의 신호특성

절삭날 끝의 미소한 파손이 발생한 경우 가속도센서, 전류센서 및 절삭동력계에서 검출된 신호특성은 동일

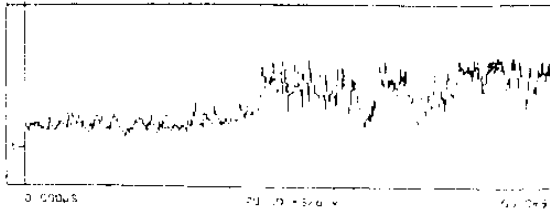


Fig. 5 Massive tool breakage signal  
( $V=180$  m/min depth=2.0mm,  $f=0.1$ mm/rev)

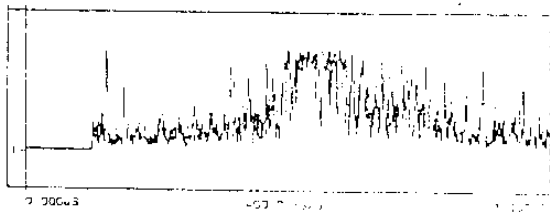


Fig. 6 Characteristics of acceleration sensor signal by massive tool breakage  
( $V=180$  m/min depth=2.0mm,  $f=0.1$ mm/rev)

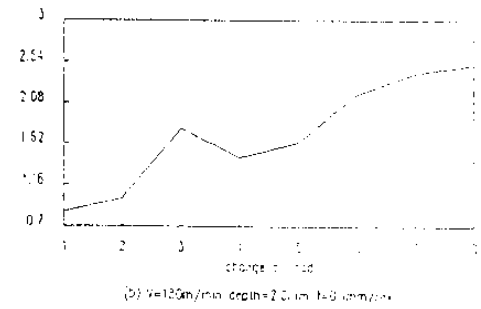
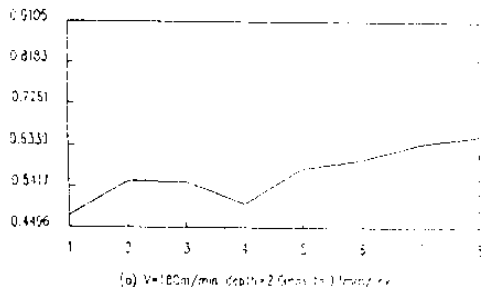


Fig. 7 Averaged current sensor signal (a) and loadmeter signal (b) by massive tool breakage

한 절삭조건에서 공구파손이 발생하지 않은 경우의 신호특성에 비해서 그림8과 같이 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

가속도센서의 경우 정상절삭시 검출된 신호의 진폭(그림8-a)이 약간 크게 나타났으나 큰 차이가 없이 유사한 특성을 가지고 있음을 알 수 있고, 전류센서에서 검출된 신호특성을 보면(그림8-b) 공구파손이 발생한 경우에 전류의 값이 크게 증가했음을 알 수 있다. 또, 절삭동력계에서 검출된 신호특성(그림8-c)도 비교적 비슷한 경향과 특성을 가지고 있으나 절삭날의 선단부의 파손이 발생한 경우에 약간 큰 값을 가지고 있다.

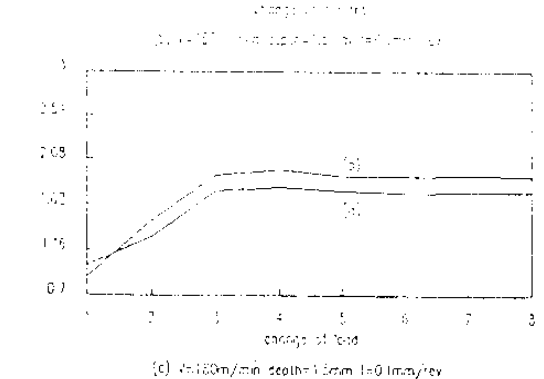
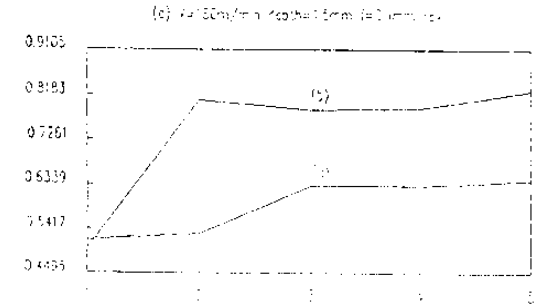
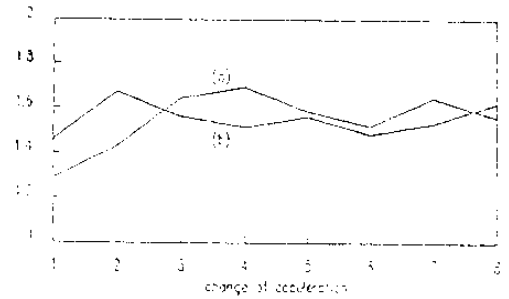


Fig. 8 Characteristics of acceleration sensor, current sensor and loadmeter signals : (a) normal condition and (b) nose breakage

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.

#### 4. 결 론

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

여기서, 센서별 감시특성은 공구이상 발생했을 때 이를 판단하는데 따른 시간을 감소시킴으로써 복합계측시스템의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 본 연구에서 얻은 실험결과는 다음과 같다.

- 1) 공구의 절삭날의 큰 파손(massive breakage)이 발생한 경우 가속도센서의 진폭과 절삭동력계의 진폭은 증가했다.
- 2) 미소한 파손(nose breakage)이 발생한 경우 스피indle 모터의 전류특성이 크게 증가했다.
- 3) 정상절삭의 경우 절삭길이가 증가함에 따라 스피indle 모터에 작용하는 전류와 절삭동력계의 특성은 점차 증가한다.
- 4) 절삭동력계의 경우 미소한 절삭조건의 변화에 대해서는 감도가 낮다.

#### 참 고 문 헌

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



機械技術研究所 ○沢井信重, 宮坂金佳  
 栃木県東南工業指導所 渡辺享昭  
 韓国機械研究所 宋 浚燁, 金 仁洙

1. まえがき

切削データは、機械加工システムを設計、運用する上で大変重要である。しかし、高精度、高信頼性の工具寿命データを把握するためには、多大の時間と労力を費やす。また、工具摩耗を測定する際の測定者の個人差によるバラツキが大きく、データの信頼性を確保するためには、統計学的に十分な実験量が必要であり、データ収集は能率的ではなかった。これらを解決するために、自動的に工具摩耗を測定することを目的とした研究<sup>1)2)</sup>が、多くの研究者によって行われている。筆者らはこれまでに、自動切削試験装置に装着した I T V システムを使用し、最適な横逃げ面摩耗画像がモニタリングできるように照明装置を設置した状態での工具摩耗画像の処理方法について検討した。

本報告では、工具顕微鏡に I T V システムを装着して、工具摩耗量を自動測定する際に大変重要である工具摩耗面への照明方法について種々検討した結果、工具摩耗面へ照射する照明装置の最適な位置を自動決定する手法を導きだしたので、その手法について述べる。

2. 実験装置および実験方法

2. 1 実験装置

図 1 に実験に使用した装置の全体図を示す。同図に示すように工具顕微鏡に小型の I T V カメラを装着し、左右の位置に照明装置を配置した。

図 2 A、2 B に装置の概略を示す。同図に示すように、この画像入力装置は、工具顕微鏡と独立に二方向（左右）から照射する照明装置を使用し、光源の照射角度および光量を自由に設定することが可能である。

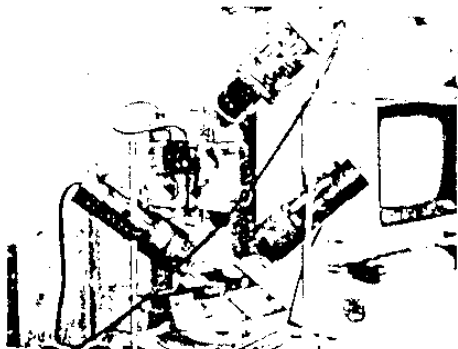


図 1 使用した顕微鏡 I T V カメラ装置

また工具摩耗面への照射方向を自由に変更できるようにするために、図 2 B に示すように工具顕微鏡のターンテーブルをそのまま使用し、光源を回転させずに、工具側を回転させ、操作性を良くした。実験に使用した顕微鏡は I T V カメラ (2/3 1/4 寸) の撮像素子上で 1.65 倍とした。

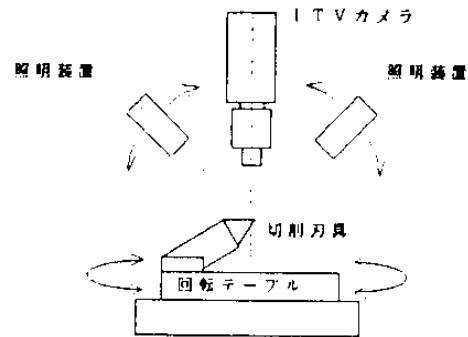


図 2 A 照明装置の照明角度

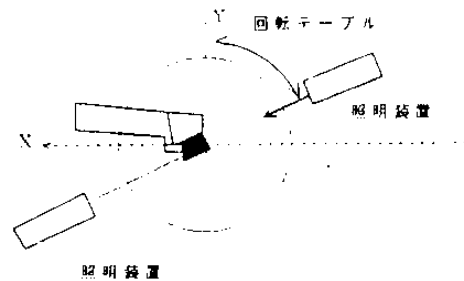


図 2 B 切削工具と照明装置の位置

2. 2 実験方法

切削工具の横逃げ面摩耗を I T V システムによって自動計測する場合、照明装置の位置が大変重要である。図 3 は照明装置を照明角度 45 度で切削工具へ照射し、ターンテーブルを回転させたときの照明装置の位置と工具摩耗の画像状態の関係を示している。同図に示すように照明位置 A ~ C では工具刃先の摩耗以外のノーズ部に平行に強い輝度が帯状に分布している。しかし、D 位置では工具摩耗部のノーズ部に強い輝度が分布し、

摩耗以外のノーズ部には、強い輝度が分布していない。

更に照明位置をEにすると横送り面摩耗部全体に強い輝度が分布しているが、Fの位置では工具切れ刃全体に輝度が分布しているものの上記D、E位置で示した強い輝度レベルの分布は存在していないことがわかる。同図に示すように、照明装置の最適な位置はEであることがわかる。

図4は、上記の照明装置AとEの各位置における画像を処理した時の輝度分布およびレベルの状態を切削工具のノーズ部分(A)と工具摩耗部分(B)についてそれぞれ示している。同図4AではA部の輝度レベルが高く、B部の輝度レベルは低い。一方図4Bでは、A部の輝度レベルは低く、B部の輝度レベルは高いことがわかる。

前述した各照明装置の位置における各部の輝度レベルと分布を表2に示す。同表で明らかのように工具刃先(A部)のノーズ部および摩耗部(B部)の輝度レベル、分布は照明装置A～C位置では、それぞれ35(H)ピクセルおよび15(W)ピクセル、B部では低くなりH、Wとも2～3ピクセルの輝度レベルとなっている。また照明装置D、Eの位置では、A部の輝度レベルが極端に低くなりH、Wとも2～3ピクセルとなっているが、画像処理範囲B部では、輝度レベルが35～40ピクセル高い輝度となり、工具摩耗を十分に確認することができる。したがって表2から次に示すことが確認できる。

- ① A部の輝度レベルおよび輝度分布が高く、B部のレベルが低い。
- ② A部の輝度レベルおよび輝度分布が高く、B部のレベルが高い。
- ③ A部の輝度レベルおよび輝度分布が低く、B部のレベルが高い。

工具摩耗を画像処理して摩耗量を計測する場合に、工具切れ刃を顕微鏡システムにセットし、照明装置の位置を回転させながらA部およびB部について、各々画像処理し、上記①～③の状態になるまで照明装置を回転させることにより、最適な工具摩耗画像を得ることが可能である。この時の画像を処理することによって高精度の工具摩耗を計測することができる。

### 3. おわりに

ITV装置により工具摩耗量を自動計測する場合、照明装置の位置を決定する手法次のように導きだした。切削工具のノーズ部分(A)と工具摩耗部分(B)についてそれぞれ画像処理し、A部の輝度レベルおよび輝度分布が低く、B部のレベルが高い状態になるまで照明装置を回転させることによって最適な工具摩耗面

像を得ることが可能となった。最適な画像を得ることにより、輝度の高い工具摩耗量を計測することができる。

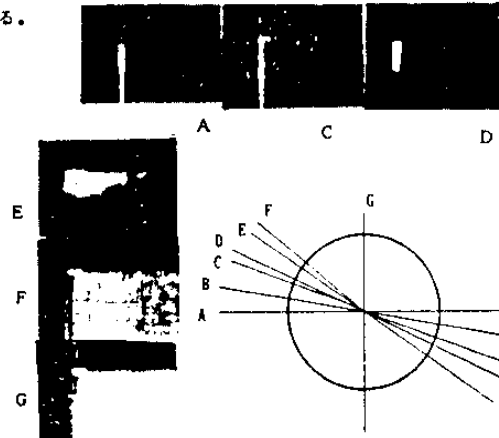


図3 照明装置の位置と摩耗画像の関係

表1 輝度レベルと輝度分布

照明位置 deg	輝 度	
	レベル(高)	分布(幅)
A (0)	35 ピクセル	15 ピクセル
B (10)	35	15
C (20)	30	13
D (25)	8	3
E (35)	2	3
F (40)	2	2

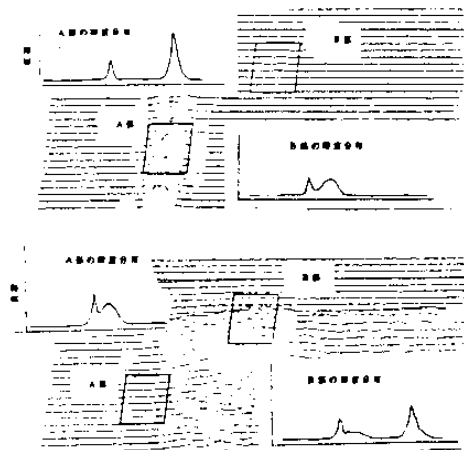


図4 ノーズ部と摩耗部の輝度分布

### 参考文献

- 1) 粕川乙彦、浅野克彦：切削データ自動収集システムの開発、精密機械、42-2、(1976)、40
- 2) 沢井信重、宮坂金佳、村田良司：自動切削試験システムの開発、機械技術研究所所報、V0141、NO. 5、1987

韓国機械研究所 金仁洙、宋汝燁

機械技術研究所 ○沢井 信重、宮坂 金佳

1. はじめに

切削加工システムを効率的に運用するためには、信頼性の高い加工データが必要である。もし、切削加工データが不備な場合には、加工製品の品質や加工精度が低下するだけでなく、切削加工システム全体が停止するような場合も生じる。特にF A、F M S等に代表される高度に自動化された加工システムでは、より正確な切削加工データが必要である。

前報<sup>1)</sup>までに横逃げ面摩耗を対象にした画像を解析し、摩耗レベルを自動的に算出するアルゴリズムと工具摩耗に最適な照明をするための2灯式照明装置の位置を自動的に決定する手法について報告をした。本報告では、測定精度および処理能力を更に高めるための処理手法を取り入れたので報告する。

2. システムの説明および画像処理技法

図1に開発した摩耗測定システムの概略図を示す。本システムは、ITVカメラにより撮影した工具摩耗画像を一旦イメージプロセッサに入力し、コンピュータへ転送して、画像解析をする手法を採用した。同図に示すように金属顕微鏡はITVカメラの撮像管(2/3インチのビジコン管)上で10倍になるようにレンズ系をセットした。また横逃げ面摩耗部へ最適な照明を可能にするため、自由に照射方向を変更することができる2分枝ファイバ光学系照明装置を使用した。

摩耗画像を一旦記憶するイメージプロセッサの画像メモリは512×512、階調256の分解能を持ち、摩耗画像の任意の部分についてズームすることができる。画像分析および計算処理を実行するコンピュータはIBM(PC/AT)コンピュータを使用し、工具摩耗のパターンおよび工具摩耗幅のデータを出力する装置としてX/Yプロッタを使用した。画像処理するためのアルゴリズムは、次に示すように工具摩耗画像のフィルタによるノイズ除去および境界トレースの処理を行った。

2. 1 ノイズフィルタ

ノイズは一般的に横逃げ面摩耗上に切り屑の小片が付着することによってできる斑点によって発生する。図2は画像内にある孤立した黒点(黒画素)または孤立した白点(白画素)を除去する手法である。任意の位置の4方向の画素をAND論理により検査し、4方向を白で囲まれた黒い画素は白画素(摩耗)または4方向を黒で囲まれた白い画素は黒画素(バックグラウンドまたは摩耗以外)に変更する。

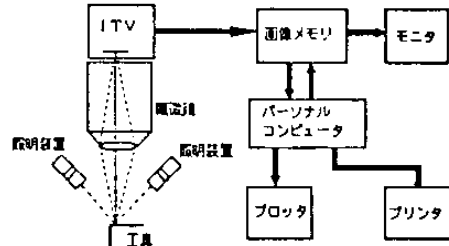


図1 装置の概略

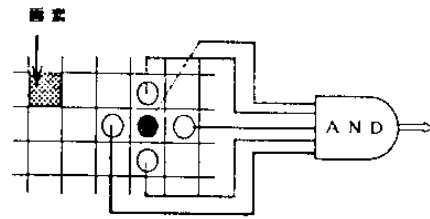


図2 ノイズフィルタ

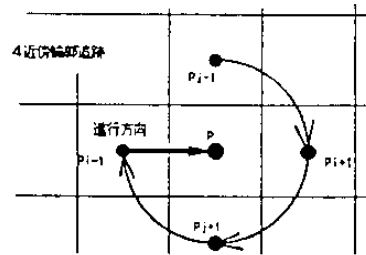


図3 (a) 摩耗輪郭のトレースルール

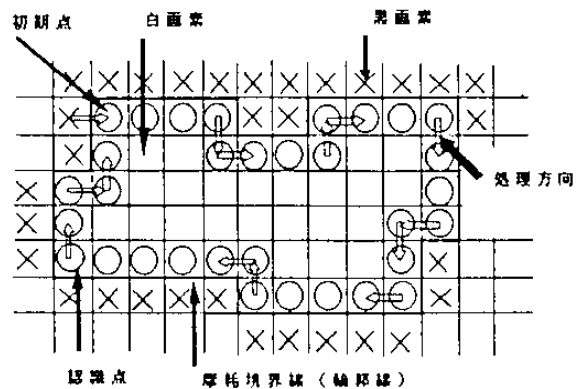


図3 (b) 摩耗輪郭の概念図

## 2. 2 摩耗輪郭のトレース

前述した2値化画像をノイズフィルタ処理した画像から、摩耗の輪郭を求める方法について説明する。本研究で用いた摩耗輪郭のトレースの方法は、基本的には、一筆書きの要領に準じたものである。

画像メモリの左上端部を原点とし、まず、この点から左右に各画素を調べていき、最初に見つかった白レベルの画素(初期点)を摩耗の輪郭の一部と考え、ここをトレースの初期点とする。

トレースのルールは、図3(a)に示すように、トレースの方向の優先順位を①左折、②直進、③右折、④後退と定め、優先順位の高い方向に白レベルの画素が存在すれば、その方向に進行し、同時にその画素を摩耗の輪郭の一部として認識して、次々にこの処理を繰り返すものである。

図3(b)は、このトレース方により摩耗輪郭を求める概念図であり、ルールにより輪郭に相当する画素を認識していき、一進して出発点に戻ったときに認識されている画素列が摩耗の輪郭を現わしている。

## 3. 測定結果

図4は開発した画像処理における各処理後の画像を示した。使用した切削工具は、チップブレイカ付きコーティング工具(工具材質:P20、チップ形状:CMNG120408)である。

図4(a)は、ITVカメラによってイメージプロセッサに入力した工具摩耗の画像上に画像分析のための二つのウィンドウを設定したものである。図4(b)は、最適しきい値に従ってモニタ上に出力した工具摩耗の画像を示した。

次に同図に示したデータをノイズフィルタ処理をすることにより図4(c)に示すような孤立点のない画像が得られる。この画像データを更に輪郭トレース処理をすることにより、図4(d)に示すような工具摩耗パターンを抽出することができる。図中のS、 $V_a$ 、 $V_r$ 、 $V_{aMAX}$ は画像解析した工具摩耗の各データを示している。

また図5に示すように5種類の工具摩耗について画像処理システムを使用して測定した例を示す。同図に示すように工具摩耗を、測定経験の豊富なオペレータによって測定(測定時間は約3分)をした結果と図中に示したデータ( $V_{aMAX}$ )を表1に示す。

同表に示すように各データの差は約3%以内であり、データ処理時間は約5秒である。このようにITVシステムを使用した画像処理技法を基礎とする切削工具摩耗測定システムは、短時間に切削工具の状態を高精度で計測することができる。また工具摩耗を直接的に見ることができる有効な監視システムの手段である。

## 参 考 文 献

- (1) 沢井信重, 宮坂金佳, 村田良司: 自動切削試験システムの開発, 機械技術研究所所報, Vol.41, No.6, 1987.
- (2) 沢井信重, 宮坂金佳, 渡辺享昭, 宋復輝, 金仁洙: 工具摩耗の最適照射手法について, 精密工学会秋季大会, 1988.

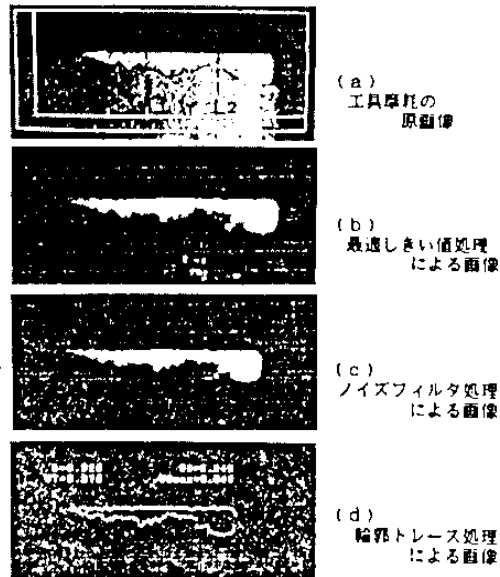


図4 各画像処理における画像

- (a) 工具摩耗の原画像
- (b) 最適しきい値処理による画像
- (c) ノイズフィルタ処理による画像
- (d) 輪郭トレース処理による画像

S: 摩耗面積  
 $V_a$ : 平均摩耗幅  
 $V_r$ : 摩耗の最大値  
 $V_{aMAX}$ : L1-L2間の最大値

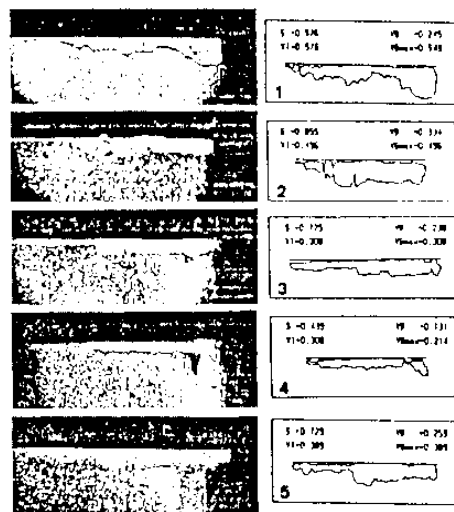


図5 工具摩耗の測定例

表1 画像処理と顕微鏡による摩耗測定

工具番号	画像処理 ( $V_{aMAX}$ )	顕微鏡計測 ( $V_{aMAX}$ )	差
1	0.54 mm	0.549 mm	1.6%
2	0.482	0.496	2.8
3	0.321	0.308	4.2
4	0.210	0.214	1.8
5	0.380	0.389	2.3

機械技術研究所 沢井信重、高坂金佳

韓国機械研究所 宋 浚燁、李 載錫

1. まえがき

信頼性の高い切削データの収集は、機械加工システムを設計、運用する上で大変重要である。これまでに、工具摩耗を自動的に計測する装置として、ITVカメラを用いた横逃げ面摩耗測定装置を搭載した切削自動試験システムを開発した<sup>1)</sup>。この装置は、加工シーケンスの切り替え時、あるいはタイマー割り込み等により、切削工具と被削材が離れた非加工時間内に切削工具の横逃げ面摩耗を撮影し、画像処理をすることにより工具状態を迅速に計測することを可能にしたものである。一方、すくい面摩耗を計測する手法としては、多くの研究者によって開発され<sup>2)</sup>、実用的な計測手法も存在している。本報告では、工具顕微鏡と自動焦点装置等を使用することにより、工具すくい面摩耗を自動的に計測する手法を開発したので、装置の概略と検出特性について述べる。

2. 実験装置および実験方法

図1、2は開発した自動焦点法を利用した工具すくい面摩耗用計測装置の全体図である。この計測装置は工具顕微鏡部、制御部、操作部、ITV装置等で構成されている。工具顕微鏡部のZ軸は自動焦点(以下AFとする)のセンサヘッドおよびAF駆動機構で構成し、AFセンサの出力からAFコントローラによって顕微鏡画像の合焦、非合焦を判別し、非合焦時にはAF駆動機構のZ軸のステッピングモータを駆動し、合焦点へ移動させる。Z軸の上下動の変化量はリニアスケールを介してパソコン側に伝送される。工具顕微鏡のX/Yテーブルの移動は、パソコン側からGPIBを介してX/Yテーブル用の専用コントローラ(中央精機、CAT2)によりすくいの面摩耗範囲全体をカバーできるように移動可能とした。また開発した装置は、すくい面摩耗の状態の観察、摩耗位置および合焦/非合焦の確認等を実験者が容易にできるようにITVテレビカメラを併用した。使用した工具顕微鏡の対物レンズの倍率は、 $\times 5$ 、 $\times 10$ 、 $\times 20$ 、 $\times 50$ 、 $\times 100$ の5種類であり、すくい面の計測時には高倍率のレンズを使用した。自動焦点の手法は、図2に示すように照明装置の光路内に図3-1に示すような縞状のパターンを設定し、これを顕微鏡の光学系を通じて工具摩耗表面に結像させる。この結像させたパターン

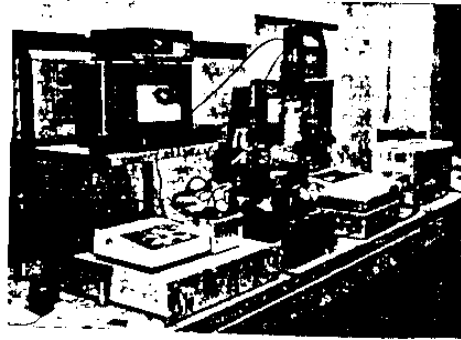


図1 すくい面摩耗の自動検出装置

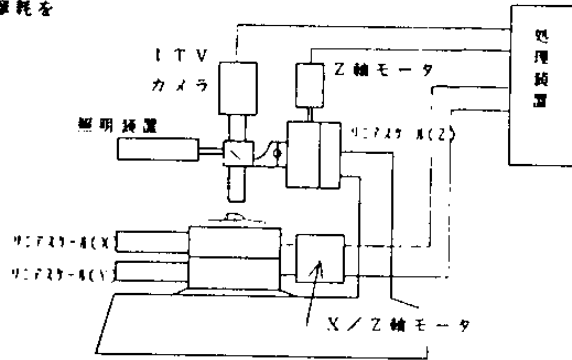


図2 検出装置の概略図

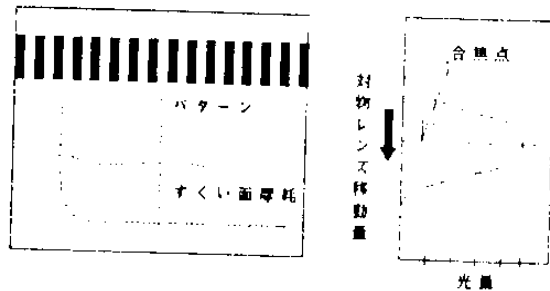


図3-1 パターンと工具位置

図3-2 合焦点と光量



図4 すくい面摩耗の計測位置とテーブル移動

をA Fセンサーで検出し、図3-2に示すように光量が最大になる点、すなわち合焦点にZ軸を移動させる。

### 3. 計測方法と実験結果

すくい摩耗を計測する場合には、図4の矢印方向にスキヤニングを行い、工具摩耗面上に対して常に合焦するようにZ軸をコントロールし、矢印方向の各座標位置におけるZ軸の変化を計測する。

次に波線矢印方向に移動し、同様にして計測を行い、すくい面摩耗全体が終了するまで計測を繰り返して実行する。計測実験の条件ではY方向の各座標位置の計測点のステップ量は $10\mu\text{m}$ 、X方向のステップ量は $300\mu\text{m}$ 、計測時の顕微鏡の光学系の倍率は、 $100$ 倍とした。

図5に階段状のサンプルを対象にした自動焦点法と仕上げ面あらさ計(タリサーフ4型)とによるZ軸の移動量の関係を示した。同図によれば、開発した自動焦点法は仕上げ面あらさ計による計測結果とほぼ同様の計測値を示しており、しかも直線性が良好であることを確認できる。

図6の1および2にすくい面摩耗写真の計測点(①、②、③)における工具すくい面摩耗を計測した結果を示した。同図6-1は自動焦点法の計測結果、図6-2は仕上げ面あらさ計による計測結果である。図6-1および図6-2の摩耗計測した状態を比較した場合、ほぼ同様の計測結果が得られている。

図7に切削実験による計測結果の一例を示した。同図に示すように、仕上げ面あらさ計による計測結果とオートフォーカスによる計測結果とも、ほぼ同様の状態を示していることが確認できた。

### 4. 結論

開発した自動焦点法を使用した工具すくい面摩耗の自動計測装置を使用することにより、微小三次元形状のすくい面摩耗を計測することを可能にした。今後は、更に計測精度の向上、信頼性の高いすくい面摩耗の計測を可能にするために、装置の改良を進めて行く。

### 参考文献

- 1) 沢井信重、宮坂金彦、村田良司：自動切削試験システムの開発 機械技術研究所報, 41.6.(1987)257.
- 2) 例えば 上原邦雄、竹下英夫：光切断による $V_a$ 、 $K_1$ および $K_2$ の視野内測定、精密工学会春季大会前刷集(1975)29.

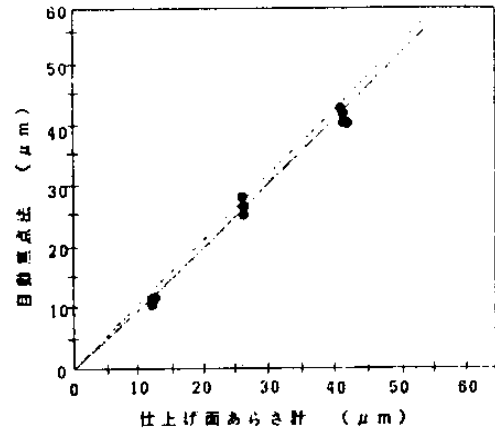


図5 仕上げ面あらさ計と自動焦点法のZ軸の移動比較

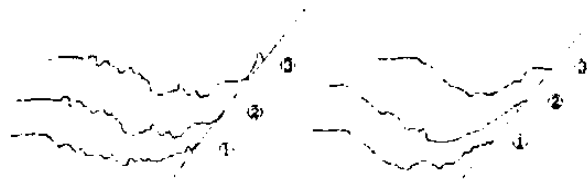


図6-1 自動焦点法による計測例

図6-2 仕上げ面あらさ計による計測例 (500倍)

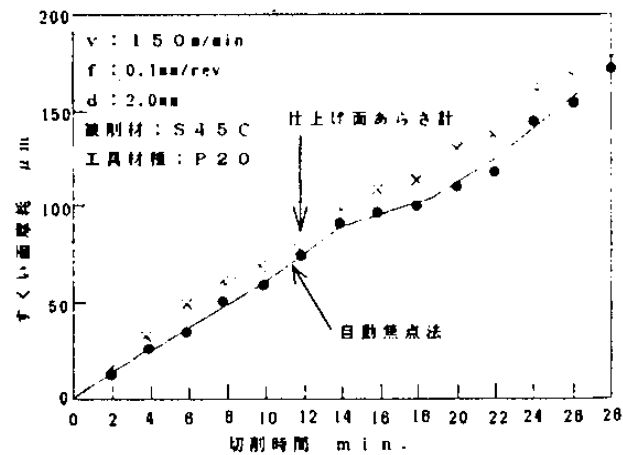


図7 切削実験例

## 주 의

1. 이 보고서는 과학기술처에서 시행한 특정연구개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 과학기술처에서 시행한 특정연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.