

## 방사온도계에 의한 칩 형태 인식

권혁준\*, 백인환\*\*, 정우섭\*\*\*, 심재형\*\*\*

### Identification of Chip Form Using Pyrometer

Hyeog-Jun Kweon\*, In-Hwan Paik\*\*, Woo-Seop Chung\*\*\*, Jae-Hyung Sim\*\*\*

#### ABSTRACT

A major problem in automation of turning operations is the difficulty in obtaining a sufficient and reliable chip control. Therefore it becomes desirable to find a method which can detect the chip form.

Newly born chips in usual metal cutting radiate infrared rays. When such chips run out of cutting point quickly, the radiated energy from the zone around the tool is low compared with that of the case when long tangled chips are staying around the tool. The difference in chip pattern can be detected from the output of pyrometer. But, strictly speaking, only the output of pyrometer does not identify the chip form because that is the removal of chip. Therefore, in this paper, a method of the identification of chip form using output of pyrometer and fuzzy inference is developed.

**Key Words:** chip control(칩처리), chip form(칩형태), emissivity(방사), pyrometer(방사온도계), fuzzy inference(퍼지 추론)

#### 1. 서 론

최근 절삭가공은 다량의 칩을 생성시킬 수 있는 고능률화를 지향하고 있으므로 공작기계의 능력을 충분히 이용하려면 고속가공에 따른 칩처리 문제가 선결되어야 한다. 고속가공시 발생하는 연속형 칩은 공구의 마모를 촉진하고 제품의 표면에 흠집을 내기도 하며 절삭점 부근에 칩이 엉기는 경우 여러 가지 트러블을 일으키게 되므로 가공계의 무인화, 자동화를 가로막는 가장 큰 요소가 되고 있다.<sup>(1)</sup>

칩의 생성, 배출의 문제는 이론적으로 매우 복잡하므로

칩처리 대책에 어떤 원칙을 세울 수 없고 임기응변적인 대응을 하는 것이 현 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 많은 논문에서 여러 가지 기법이 연구되어 왔다.<sup>(2-4)</sup> W.Kluft 등은 칩제어의 연구에 있어서 절삭점의 상부에 링 형상의 포토 다이오드를 배열하여 칩의 배출상태 및 유출방향을 인식할 수 있는 장치를 개발하였고 P. Klöör 등은 초음파를 절삭점에 조사하여 반사되는 신호로부터 칩배출상황을 인식하는 기법을 제안하였으며 Nakayama 등은 선삭에서 방사온도계를 사용하여 칩 배출 형태를 식별하는데 있어서 가장 좋은 식별을 위한 감시조건을 실험에 의하여 연구하였으며 이러한 감시기법에 의해서

\* 경주전문대학 자동차과  
 \*\* 부산대학교 공과대학 생산기계공학과  
 \*\*\* 부산대학교 대학원 생산기계공학과

원격점으로부터 감시가 가능하다는 것을 보여 주었다. Yee 등은 AE 신호에 의해 칩형태를 예측하는 기법을 연구하였다. 한편 칩 생성패턴은 이론적으로 예측하기가 쉽지 않으므로 지능적 알고리즘을 이용한 "block-box"형 접근 형태도 제안되고 있다.<sup>5)</sup>

본 연구에서는 방사 온도계를 이용하여 각 가공에 있어서 칩상태에 따른 방사온도계의 출력값을 검토한 후 퍼지 추론을 통하여 실시간으로 칩상태를 판별할 수 있는 알고리즘을 개발하여 실험을 통해 그 성능을 평가하였다.

## 2.이론적 배경

### 2-1 적외선 방사온도계

방사온도계의 원리는「모든 물체는 그 절대온도의 4제곱에 비례한 에너지를 표면에서 방사한다」라는 스테판 볼츠만의 법칙을 이용하며 식(1)과 같이 주어진다. 그러나 동일 온도일지라도 물체종류 혹은 표면상태에 따라 방사에너지가 변화하므로 스테판 볼츠만 법칙은 Fig.1에 나타낸 것과 같은 고유의 방사율을 이용하여 식(2)처럼 수정되어야 한다. 즉 식(1)은 물체자신에서 최대의 에너지를 방사하는 흑체의 경우에 해당하며, 모든 물체의 방사율은 흑체의 방사율 (1)에 대한 비율을 의미하는 것이다.<sup>6)</sup>

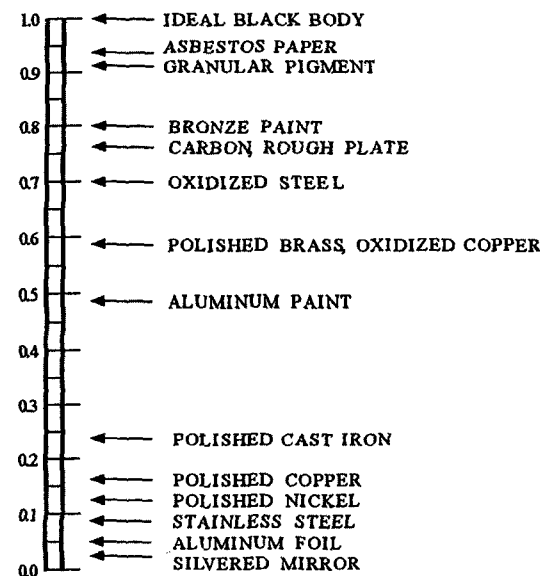


Fig. 1 Emissivity values for various common materials

$$P = \sigma \cdot T^4 [W \cdot cm^{-2}] \quad (1)$$

$$P = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 [W \cdot cm^{-2}] \quad (2)$$

여기서

- $P$  Radiated energy
- $\sigma$  Stefan - Boltzmann constant  
( $5.67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ )
- $\epsilon$  Emissivity
- $T$  Absolute temperature

적외선 방사 온도계는 Fig. 2에 나타낸 것처럼 열방사를 고효율로 집광하여 필요에 따라 특정파장대를 선택하는 소자, 집광된 열방사를 전기신호로 변화하는 검출소자 및 전기신호를 증폭처리하는 전기계로 구성된다.

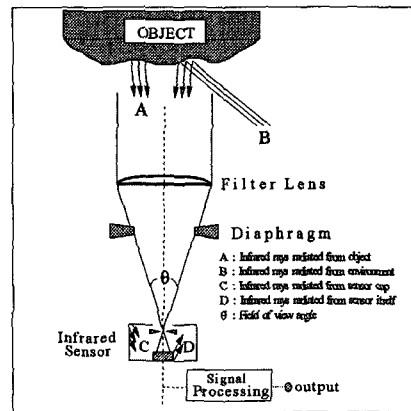


Fig. 2 Constitution of pyrometer

광학계는 검출소자에 에너지를 집중시키는 집광작용 외에 특정파장대를 선택하기 위해 광학필터로도 사용되며 검출소자에는 열방사를 열로서 받아들여 소자의 미소 온도변화를 전기적 신호로 변환하는 형태와 열방사를 빛으로 포착하여 광전효과를 이용하는 광량자형 등이 개발되어 있다. 방사에너지의 검출기로 가장 많이 사용되고 있는 서모 파일(Thermo Pile)은 열전대를 직렬로 집적한 것으로 Fig. 3의 구조를 가지고 있다. 실온상태에 있는  $T_2$ 와 광학부에 의해 집광된  $T_1$ 간에 온도차가 생기면 서모 파일에 열기전력이 흐르게 된다. 서모 파일의 감도를  $R$ , 필터의 투과율을  $\tau$ 로 표현하면 입사에너지  $P$ 와 서모 파일의 기전력은 식 (3)과 같은 관계를 가지며 식 (1)에 의해 온도를 계산할 수 있다.

$$V_T = R \cdot \eta \cdot P [V] \quad (3)$$

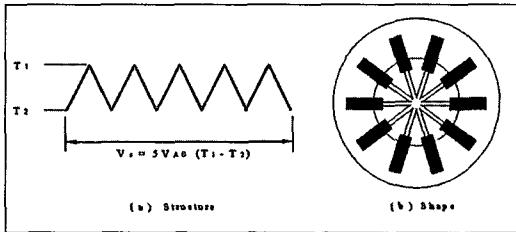


Fig. 3 Structure and shape of thermo-pile

이처럼 열형 적외선 센서는 물체로부터 방사 에너지를 받아서 수광부의 온도를 변화시키고 이로부터 출력신호를 얻는 것이며 수광부는 흑체로 되어 있으므로 검출감도에 파장 의존성이 없다. 따라서 파장특성은 사용하는 필터에 의해 정해지며 일반적인 서모 파일에서 사용하는 Si 필터의 투과파장영역은 1.2 - 15μm의 적외영역이다. 측정되는 온도는 시야에 잡히는 물체의 평균온도를 나타내므로 어떤 영역의 정확한 온도를 계측하려면 집광렌즈의 사용 또는 내면이 흑화된 실린더의 사용 등과 같은 시야를 한정하는 방법이 요구된다.

### 2-2 칩 처리 및 분류

선삭가공에 있어서 연성재료의 고속절삭시는 대부분 긴 연속형 칩이나 리본타입의 칩이 형성되며 이는 제품에 대한 손상 뿐 아니라 곧 칩이 뒤엉킨 동우리(nest) 형상으로 발전하기 때문에 공작기계의 능력을 가로막는 요인이 되고 있다. 즉 칩 nest를 제거하기 위하여 기계를 주기적으로 정지시켜야 하므로 생산성이 저하될 뿐 아니라 무인 자동화의 장애요인이 되는 것이다.

Lang은 칩패킹비(R)를 다음과 같이 제안하여 만족스러운 칩 처리를 위해서는 R의 값이 4정도가 되어야 하며 이를 위하여 주기적으로 칩을 끊어주어야 한다고 주장하였다.<sup>(7)</sup>

$$R = \frac{\text{volume of chip}}{\text{equivalent volume of uncut metal}} \quad (4)$$

즉 연속형 칩의 경우는 칩의 겉보기 체적이 증대하므로 칩 패킹비가 증대하게 되며 칩의 곡률반경의 조절 또는 이송량의 조절 등을 통해 칩을 분절시켜야 함을 의미한다. 이송량은 절삭조건 중 칩의 분절에 가장 큰 영향을 미

치며, 가공물의 표면조도가 큰 문제가 되지 않는 경우 이송량을 순간적으로 크게 하여 칩의 분절을 유도할 수 있다.

한편 칩의 형태는 CIRP(국제생산가공연구회의), 일본 기계진흥협회 및 INFOS(독일절삭정보센터) 등에 의해 분류되고 있지만<sup>(1)</sup> 그 주류는 동일하므로 본 연구에서는 INFOS의 분류(Fig. 4참조)에 기초하여 칩 상태를 판별하였다.

1		ribbon chips	unstable
2		tangled chips	
3		corkscrew chips	
4		helical chips	stable
5		long tubular chips	
6		short tubular chips	
7		spiral tubular chips	
8		spiral chips	
9		long comma chips	
10		short comma chips	

Fig. 4 Classification of chip pattern(INFOS)

### 3. 칩 체류에 따른 방사온도계의 출력

#### 3-1 실험장치 구성

본 연구에서 사용한 적외선 방사온도계에 의한 칩 상태 감시방법은 절삭가공이 이루어질때 그 발생온도의 낮아짐에 상관없이 적외선이 방출되며 칩이 절삭점을 빨리 벗어나는 경우와 공구주변에 엉겨붙는 경우에 있어서는 상당한 온도차를 발생하는 것을 이용한다. 즉 절삭점 부근을 방사온도계로 감시하여 만일 다량의 칩이 칩부근에 체류한다면 방사온도계로의 입사에너지가 증가하게 되어 가공상태를 감시할 수 있는 것이다.

본 실험에서는 Table 1과 같은 특성을 지닌 시판의 적외선 방사온도계(Watlow 사)를 이용하였다. 이 온도측정 시스템은 피삭재의 방사율을 정확히 설정하면 온도를 측정할 수 있지만 실험에서는 시야 내에 있는 칩으로부터 방사되는 에너지의 대소만을 측정할 수 있도록 실험장치를 구성하였다. 즉 Fig. 5처럼 온도출력용 인디케이터를 생략하고 적외선 온도센서의 전류출력 양단에 정밀저항

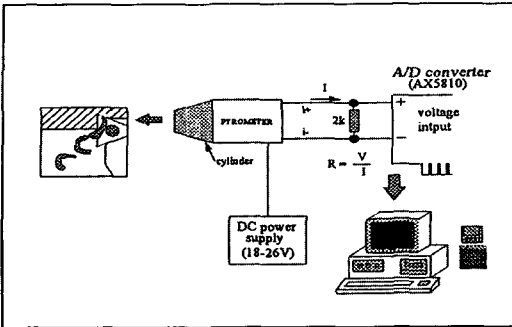


Fig. 5 Measurement system of emissivity energy

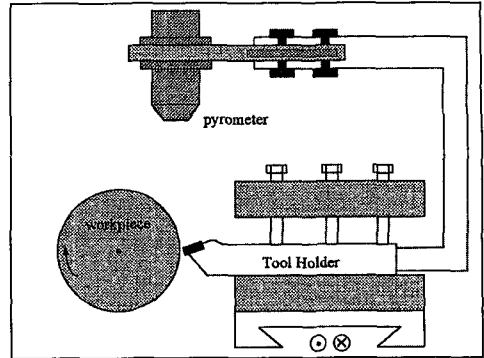


Fig. 6 Experimental setup in turning

Table 1. Specifications of temperature sensor

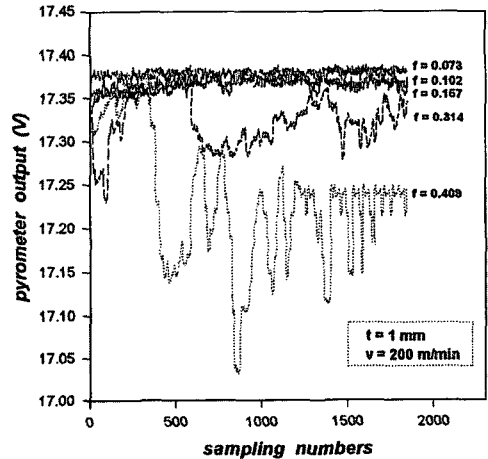
Type	IR Junior, JRA5 type
Temperature Sensing Range	0 to 538° C
Wavelength Response Band	8 to 14 microns
Accuracy	0.75% of span at 24° C
Operating Environment	0 to 80° C
Output Signal	4 to 20mA into a max. 600Ω load
Power	18 to 28 VDC
Emissivity	Fixed at 0.9
Field of View	

을 걸어 전압신호로 변환한 후 A/D 변환기가 내장된 컴퓨터에서 칩상태를 판별하도록 하였다.

### 3-2 선삭가공

이 절에서는 선삭가공의 경우 이송량과 절삭깊이에 따른 방사온도계의 출력을 검토하였다. 실험장치 구성시 입사거리와 입사각도를 일정하게 하고 방사온도계를 절삭점 부근에 90°로 조사할 수 있도록 지지대를 공구홀더에 직접 용접하여 설치하였다(Fig. 6 참조). 단 공구온도의 상승에 의해 방사온도계의 출력이 상승하는 것을 방지하기 위해 방사온도계의 시야부분은 주로 피삭재 위로 유동하는 칩 부분으로 하였다.

Fig. 7은 다른 절삭조건을 일정하게 하고 이송량을 변화시키면서 가공할 때 방사온도계의 출력을 나타낸 것이다. 정상상태의 절삭에서 칩은 필연적으로 나선형이 되고



Insert : SNGG120408R (carbide)  
 Tool Holder : PSBNR2020K12  
 Workpiece : SM20C  
 Cutting Speed : 200 m/min  
 Cutting Fluids : Dry Cutting

Fig. 7 Relationship between pyrometer output and chip pattern

나선형 칩의 분절은 칩의 곡률반경에 의해 좌우된다. 이러한 칩의 곡률반경은 칩의 두께가 두꺼워질수록 작아진다. 선삭에서는 칩의 두께를 결정하는 것이 이송량이다. 그러므로 이송량에 따른 칩의 형태를 살펴보는 것은 중요하다. 이송량에 따라 생성되는 칩의 형태를 Fig.4에서 나타난 INFOS의 분류에 따라 살펴보면 0.073 ~ 0.157 mm/rev의 작은 이송량에서는 칩 처리성이 불량한 분류번호 1~3까지의 연속형 칩이 생성되었으며 이송량 0.314mm/rev에서는 칩의 처리성이 양호한 분류번호 5,6의 칩이 생성된 것을 볼 수 있었다. 또 이송량을 더 많

이하여 0.409mm/rev의 경우는 칩이 더 미세하게 분절되어 공구와 공작물 주위로 재빨리 비산되는 파쇄형의 형태인 분류번호 9,10의 칩이 배출되었다. 방사온도계의 출력과 이송량과의 관계를 살펴보면 이송량이 작아질수록 방사온도계의 출력이 증가된 것을 나타내고 있는데 이는 연속형 칩이 발생하는 경우 다량의 고온 칩이 방사온도계의 시야에 들어오기 때문이다. 실험에서 0.073 ~ 0.157 mm/rev의 이송량 범위에서는 유사한 형태의 연속형 칩이 발생하여 각각의 출력값 차가 크지 않지만 0.314 mm/rev의 이송량에서는 분절형 칩이 발생하여 출력값이 급격히 떨어지고 있다. 특히 0.409 mm/rev의 이송량에서는 출력값이 적을 뿐 아니라 극히 미세하게 분절된 칩이 랜덤하게 비산되므로 출력값의 변동도 상당히 커지게 된다.

Fig. 8은 다른 절삭조건을 일정하게 하고 절삭깊이를 변화시키면서 가공할 때 출력을 나타낸 것이다. 선삭가공시 절삭깊이는 칩의 폭에 해당하므로 방사온도계의 출력을 높이는 인자가 되며, 연속형 칩이 발생하는 경우 방사온도계의 출력은 절삭깊이에 큰 영향을 받으며 분절형 칩 발생시는 영향을 크게 받지 않음을 확인할 수 있다.

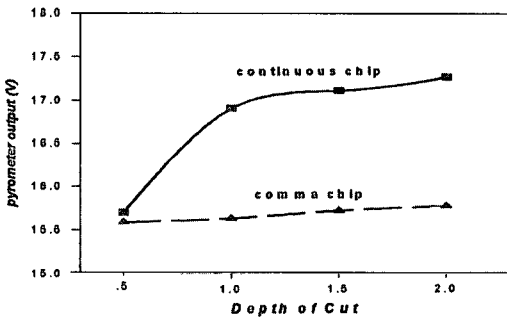


Fig. 8 Relationship between pyrometer output and depth of cut

#### 4. 퍼지추론에 의한 칩형태 예측

3장에서 검토한 방사온도계의 출력은 엄밀히 말하면 칩 배출량을 의미하는 것이고 칩형태를 정확히 인식하기는 부적절하며 한편 칩생성 패턴은 이론적으로 표현하기가 어렵기 때문에 본 연구에서는 선삭가공에 있어서 방사온도계의 출력과 퍼지추론을 이용하여 칩형태 인식기법을 개발하였다.

#### 4-1 칩 형태 인식기

퍼지추론은 Mamdani에 의해 처음 시도된 이후 지하철 운전, 원자력 발전소 제어 등과 같은 산업계에 널리 이용되어 왔다. 퍼지추론의 핵심적인 부분은 언어적 형식의 제어규칙이며, 이들의 추론에 의해 퍼지합성규칙이 생성된다. 퍼지인식에서 언어적인 형태로 기술된 규칙을 적용하기 위해서는 적절한 퍼지추론과정이 필요하며 본 연구에서는 식 (5)와 식(6)과 같은 min-max 추론법과 식 (7)로 출력되는 중심법에 의해 비퍼지화를 수행하였다<sup>(8)</sup>(Fig. 9 참조).

$$\mu_{c_i}'(z) = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0) \wedge \mu_{c_i}(z) (\wedge = \min) \quad (5)$$

$$\mu_c'(z) = \mu_{c_1}'(z) \vee \dots \vee \mu_{c_n}'(z) (\vee = \max) \quad (6)$$

$$z_0 = \frac{\int z \cdot \mu_c'(z) dz}{\int \mu_c'(z) dz} \quad (7)$$

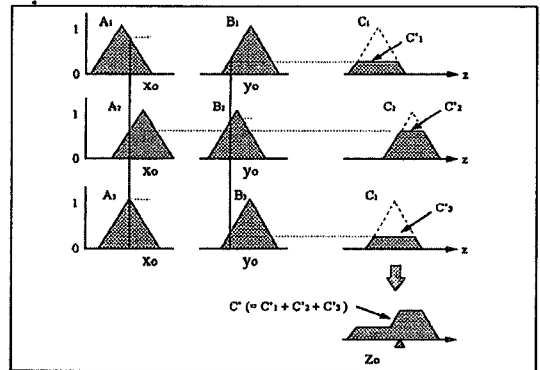


Fig. 9 Min-Max-Centroid method

퍼지규칙은 실험을 통해 습득된 절삭조건과 방사온도계 출력간의 관계에 의해 식 (8)과 같은 형태로 설정하였다.

Rule *i*: IF *E* is  $A_i$  and *CE* is  $B_i$   
 THEN *CHIP* is  $W_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

$$E(t) = V - V_{initial}$$

$$CE(t) = E(t) - E(t-1) \quad (8)$$

*E*는 가공중 방사온도계의 출력값과 가공이 개시될 때의 초기 출력값과의 차, *CE*는 *E*의 변화를 나타내는 입력변수를 의미하며 "CHIP"은 칩의 형태를 나타내는 퍼지인식

기의 출력변수이다. 입력변수에 E와 CE를 사용함으로써 연속형 칩으로 천이함에 따라 출력값이 증가하는 경우 혹은 절삭깊이의 증가에 의해 출력값이 증가하게 되는 경우를 효율적으로 판별할 수 있게 된다. 즉 방사온도계의 출력에 있어서 단편형 칩에서 연속형 칩으로 천이하는 경우는 샘플링 간격마다 CE의 값이 급증하게 되므로 효과적으로 가공상태를 판별할 수 있는 것이다. 퍼지 멤버쉽 함수는 Fig. 10과 같은 사다리꼴 형태를 취하였으며 전건부 함수는 (9)와 같은 언어변수를 사용하였고 후건부 언어변수는 INFOS의 10가지 분류(Fig. 4 참조) 중 포괄적 개념인 "stable", "usable", "unstable"을 사용하였다.

<i>E Very Small</i>	→	<i>VS</i>
<i>Small</i>	→	<i>SM</i>
<i>MEdium</i>	→	<i>ME</i>
<i>BIg</i>	→	<i>BI</i>
<i>Very BIg</i>	→	<i>VB</i>

<i>CE Negative MEdium</i>	→	<i>NM</i>
<i>Negative Small</i>	→	<i>NS</i>
<i>Zero</i>	→	<i>ZE</i>
<i>Positive Small</i>	→	<i>PS</i>
<i>Positive MEdium</i>	→	<i>PM</i>

(9)

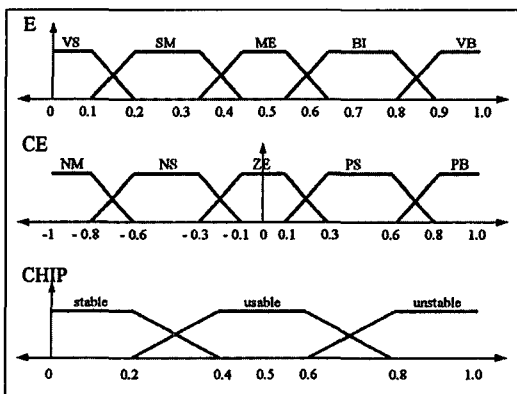


Fig. 10 Fuzzy membership function

#### 4-2 성능평가

이상과 같이 구축된 칩형태 인식기를 효과적으로 평가하기 위해 본 연구에서는 연속적인 이송량 변화에 대한 실험과 연속적인 절삭깊이 변화에 대한 실험을 수행하여

칩형태를 판별하였다.

Fig. 11은 연속적인 이송량의 변화에 대한 방사온도계 출력값을 나타낸 것으로 이송량이 감소할수록 방사온도계 출력은 증가하고 있고 가공 후반부에서는 칩이 공구주변에 뒤엉킨 상태로 되어 출력값이 급증하고 있음을 나타내고 있다. 이 상태의 출력값의 E, CE값을 퍼지 입력변수로 하였을 때 칩형태 인식기는 Fig. 11의 하단부 그래프처럼 가공상태를 판별하였다.

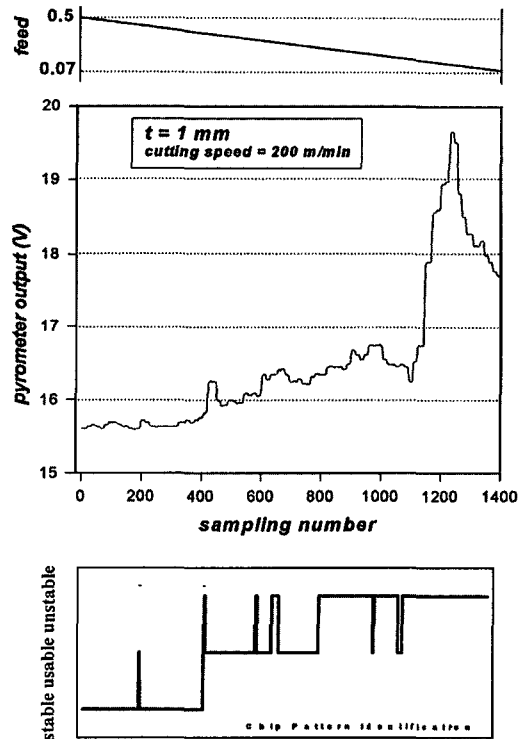


Fig. 11 Pyrometer output in feed change

Fig. 12은 테이퍼 가공된 피삭재 가공시 절삭깊이가 증가함에 방사온도계의 출력이 증가함을 나타내고 있다. 실험에서 사용한 이송량에서는 대부분 단편형 칩이 발생하게 되지만 샘플링 수 0~900 정도에서는 helical, long tubular, short tubular type의 칩이 때때로 발생하였으며 이는 방사온도계의 출력값을 통해 확인할 수 있다. 샘플링 수 900 정도부터는 안정적인 형태의 단편형 칩이 발생하지만 절삭깊이가 증가함에 따라 방사온도계의 출력도 증가하고 있다. 한편 칩형태 인식기에 의한 Fig. 12 하단부의 인식패턴은 칩형태 변화에 따른 출력값의 변동

과 절삭깊이 증가에 따른 출력값의 변동을 정확하게 판별하고 있으며 INFOS의 분류와도 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

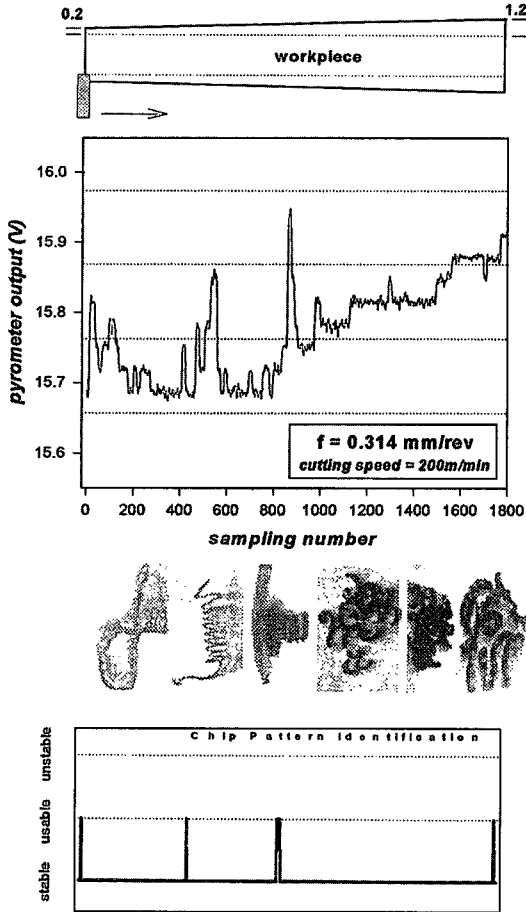


Fig. 12 Pyrometer output and chip pattern in change of depth of cut

### 5. 결 론

본 연구는 적외선 방사온도계를 이용하여 공구·공작물 주변의 칩체류상태 및 선삭가공에 있어서 칩형태 인식 기법을 개발하였으며 아울러 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 선삭가공에 있어서 방사온도계의 출력은 이송량 변화에 따라 연속형 칩이 될수록 증가하였으며, 절삭깊이를 변화시켜 칩의 폭이 넓어지는 경우에도 증가하였다.
- 2) 퍼지추론과 방사온도계의 신호를 이용한 칩 형태 인식 기법을 개발하였으며 실험에 통해 칩 형태 인식기의 성능을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

1. 新井, 切りくず處理の基礎と應用, 日刊工業新聞社, 1990.
2. W.Kluft, W. König, C.A. van Luttervelt, K. Nakayama, A.J. Pekelharing, "Present Knowledge of Chip Control", Annals of the CIRP Vol.28/2/, pp.441-455,1979.
3. P. Klöör, I. Svenningsson, A. Wernersson, "Coherent SODAR for automatic Monitoring of the Chip Breaking Process in Turning", Annals of the CIRP Vol. 34/1/, pp.91-94, 1985.
4. 新井 實, 中山一雄, 塚田康夫, 加賀美信明 "放射溫度計による切りくず排出状態の監視", 精密機械, 51卷, 4號, pp.123-127, 1985.
5. Sawai Sukvittayawong, Ichiro Inasaki, "Identification of Chip Form in Turning Process", JSME Vol.34, No.4, pp.553-560, 1991.
6. Nello Zuech, Handbook of Intelligent Sensors for Industrial Automation, Addison-Wesley Pub., 1991.
7. Milton C. SHOW, Metal Cutting Principles, Oxford Science Publication, 1991.
8. 水本雅晴, "ファジー制御に對する最近の手法", システム/制御/情報, Vol.38, No.11, 590-595, 1994.