

# 선삭에서 신경망 알고리즘에 의한 칩 형태의 인식과 제어

## Control of Identifier of Chip Form by Adjusting Feedrate Used Neural Network Algorithm

전재억 · 하만경 · 구 양

J. U. Jun, M. K. Ha and Y. Koo

**Key Words** : Chip Control(칩제어), Chip Form(칩형태), Feed Rate(이송량), Neural Network (신경회로망), Supervised Data(감독데이터)

**Abstract** : The continuous chip in turning operation deteriorates the precision of workpiece and can cause a hazardous condition to operator. Thus the chip form control becomes a very important task for reliable turning process.

Using the difference of energy radiated from the chip, the chip form is identified using the neural network of supervised data.

The feed mechanism is adjusted in order to break continuous chip according to the result of the chip form recognition and shows a good approach for precision turning operation.

### 1. 서론

현대 산업사회에서 기계적 생산의 궁극적인 목표는 가공정도의 향상과 생산성의 향상이다. 그러나, 생산성의 향상은 작업자의 안전을 고려한 생산이어야 한다. 사고로 인한 인명피해와 그에 따른 경제적 손실로 인하여 기계적 생산을 포함한 생산성의 향상에 있어서 많은 지장을 초래하게 된다.

그러므로 어느 한쪽에 치우치는 기계적 생산은 생산의 궁극적인 목표를 이룰 수 없다.

이로 인하여 생산현장에서는 공장의 무인화 및 자동화가 대표적으로 이루어지고 있으며, 이런 공작기계를 자동화하기 위한 제어방식은 주로 공구의 마멸, 공구의 휨, 공작물의 변형, 공구의 파손, 공작기계 자체의 불완전성, 그리고 절삭공정 중 발생하는 진동현상 등을 고려하여 작업자 또는 프로그래머의 경험이나 지식을 통한 최적의 절삭조건을 선정하는 일이다. 그러나 프로그래밍이 잘되었다고 하더라도 미리 프로그램된 절삭조건에 따라서만 가공을 하게 되면 가공중에 불안정한 현상이 유발되어 가공정도의 신뢰 및 기계와 공구의 파손

에 대한 대처 그리고, 칩의 발생 및 처리에 대하여 만족스러운 결과를 얻을 수 없게 된다.

앞에서 언급한바와 같이 공작기계에서 기계적 생산성의 장애 요인으로는 여러가지가 있으나, 그 중에서 중요한 요인의 하나가 가공 중에 발생하는 칩과 칩 처리에 관계된 문제이다<sup>1)</sup>.

짧은 시간동안에 연속적으로 발생하는 많은 양의 칩은 별도의 칩 처리 과정이 없을 경우 칩 등우리(Chip Nest)를 형성하고 이 칩 등우리는 제품의 표면을 긁어내는 등 공작물의 정밀도를 저하시키며, 기계에 무리를 주게되어 고장의 원인을 제공하고, 기계의 수명을 단축시킨다.

이에 칩의 처리는 현대의 절삭에서 중요한 요소로 대두되고 있으며, 이에 W. Kluft, P. Kloor, Nakayama 등<sup>2-7)</sup>의 많은 학자들이 경험적 데이터와 간단한 수학적 이론을 사용하거나, 여러 가지 센서 및 인공지능기법을 이용하여 절삭상태의 감시를 시도하였다.

본 연구에서는 선삭시 발생하는 칩을 신경회로망을 이용하여 그 형태를 판정하고 또한, 이송량 조절에 의하여 칩의 형태를 실시간 제어하여 연속형 칩을 분절형 칩으로 변화시키는 연구를 하였으며, 반복적인 이송량의 조절에 의해서 연속형 칩이 발생되지 않는 최적의 이송속도에 접근하도록 하였다.

접수일 : 2000년 9월 9일

전재억 : 부경대학교 대학원

하만경, 구양 : 부경대학교 기계공학부

## 2. 이론적 배경

### 2.1 칩의 분류

가공 중에 발생된 분절형 및 연속형 칩과 칩 등우리 등이 주위로 비산하거나, 작업자가 발생된 칩에 영키는 현상으로 인하여 실제 가공을 하는 작업자의 안전에 위험요소가 될 뿐만 아니라, 주위의 모든 작업자의 안전에 많은 위험요소가 되고 있다.

이러한 칩 처리의 문제를 해결하기 위해서는 칩 처리에 있어서 칩 처리성을 지배하는 3요소 - 형, 두께, 무른정도 - 의 제어가 필요하게 된다.

이 3요소 중에서 두께는 이송량의 지배를 받게 되고 이것의 변경은 가공면 거칠기와 절삭능률에 영향을 미치게 된다. 그러므로 칩처리와 필요성이 절실하며 현재는 바이트의 칩 브레이크에 그 의존도를 높이고 있으나, 절삭현상 중에 발생하는 빈번한 외부조건의 변화에 대하여서는 능동적으로 대처할 수 없는 것이 현실이다.

Lang은 이러한 이유로 다음과 같이 칩패킹비(R)을 제안하였으며 만족스러운 칩의 처리를 위해서는 칩패킹비(R)의 값이 4정도가 되어야 한다고 주장하였다<sup>8)</sup>.

$$R = \frac{\text{volume of chip}}{\text{equivalent volume of uncut metal}} \quad (1)$$

즉 연속형 칩의 경우 칩 등우리 등으로 인하여 칩의 겉보기체적이 증대하므로 칩패킹비가 증대하게 된다. 그러므로, 절삭량이나 이송량의 조절 등을 이용하여 칩의 곡률반경을 조정하고, 칩을 분절시켜야 함을 의미한다.

한편, 칩의 형태는 CIRP(국제생산가공연구회), 일본기계진흥협회 및 INFOS(독일절삭정보센터) 등에 의해 분류되고 있지만 그 주류는 동일하므로 본 연구에서는 INFOS의 분류(Fig. 1 참조)에 기초하여 칩의 상태를 판별하였다.

### 2.2 칩형태 인식과 제어 알고리즘

본 연구에서는 칩의 형태를 인식하기 위하여 시판된 적외선 복사온도계를 사용하였다.

사용된 적외선 복사온도계의 원리는 스테판 볼츠만의 “모든 물체는 그 절대온도의 4제곱에 비례한 에너지를 표면에서 복사한다.” 라는 법칙<sup>9)</sup>을 이용하여 다음 식으로 복사에너지를 측정하는 것이다.

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

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

Fig. 1 Classification of chip pattern(INFOS)

$P$  : Incident Energy

$\sigma$  : Stefan-Boltzmann constant  
( $5.67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ )

$T$  : Absolute Temperature

그러나 동일 온도일지라도 물체 종류 혹은 표면 상태에 따라 복사에너지가 변화하므로 스테판 볼츠만 법칙은 다음과 같이 수정된다.

$$P = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 [W \cdot cm^{-2}] \quad (3)$$

여기서  $\epsilon$ 은 물체의 방사율로 흑체의 방사율 “1”에 대한 비율을 나타낸다. 또한 식(2)은 물체 자신에서 최대의 에너지를 복사하는 흑체의 경우에 해당한다.

적외선 복사온도계는 Fig. 2에 나타난 것과 같이 열복사를 고효율로 집광하여 필요에 따라 특정 파장대를 선택하는 소자, 집광된 열복사를 전기신호로 변환하는 검출소자 및 전기신호를 증폭하는 전기계로 구성된다.

Fig. 3에서 나타난바와 같이 적외선 복사온도계의 출력은 이송량이 작아질수록 복사온도계의 출력이 증가하고, 이송량이 커질수록 복사온도계의 출력은 감소하는 것을 보이고 있다.

적외선 복사온도계의 출력 값의 대·소는 크기가 클 때 연속형 칩이 발생하고, 작을 때는 분절형 칩이 발생하였다.

이에 따라 칩형태의 인식은 적외선 복사온도계를 이용하여 전형적인 형태의 칩이 발생하는 구간에서 복사에너지의 양을 측정하여 감속데이터로

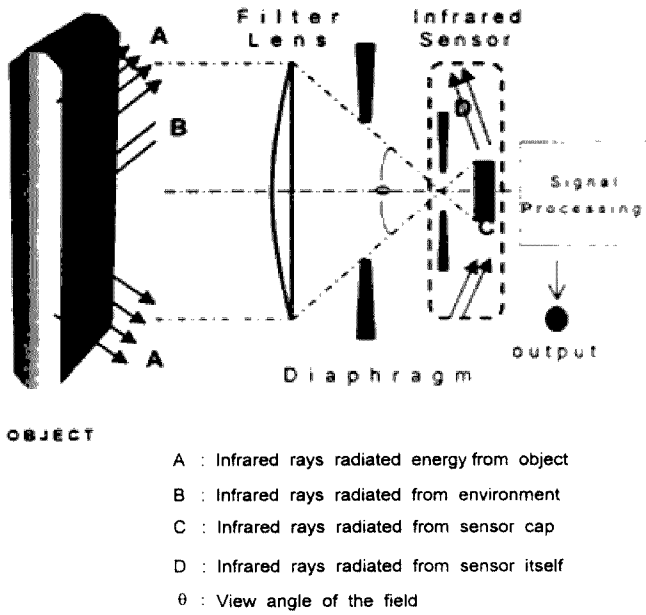
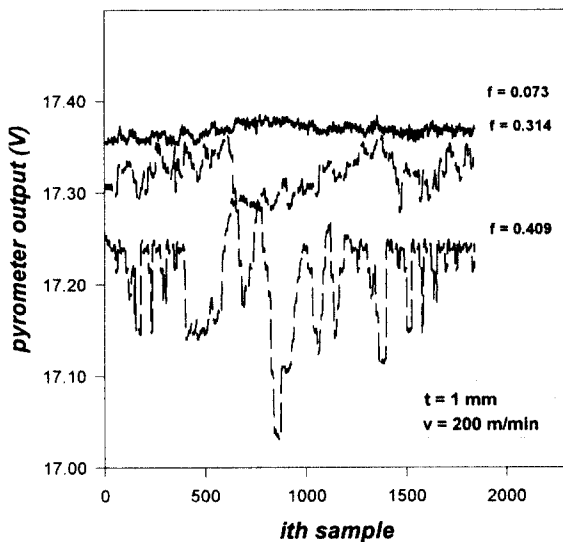


Fig. 2 Schematic diagram of pyrometer

하여 이를 신경회로망에 적용하였다.

감독데이터는 Fig. 3에서 이송량이 0.073, 0.314, 0.409mm/rev 일때의 결과치를 이용하였다. 패턴을



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

Fig. 3 Relationship between pyrometer output and chip pattern

Table 1 Supervised data for learning

Input Pattern						Desired Output			Result
$x_{ln-5}$	$x_{ln-4}$	$x_{ln-3}$	$x_{ln-2}$	$x_{ln-1}$	$x_{ln}$	Stable	Usable	Unstable	
0.366	0.366	0.367	0.369	0.370	0.370	0	0	1	Unstable
0.372	0.373	0.372	0.369	0.368	0.365	0	0	1	Unstable
0.382	0.382	0.381	0.380	0.381	0.381	0	0	1	Unstable
0.384	0.384	0.384	0.383	0.383	0.381	0	0	1	Unstable
0.375	0.374	0.372	0.370	0.371	0.372	0	0	1	Unstable
0.306	0.304	0.301	0.300	0.300	0.300	0	1	0	Usable
0.304	0.302	0.298	0.293	0.290	0.288	0	1	0	Usable
0.286	0.287	0.289	0.290	0.291	0.292	0	1	0	Usable
0.297	0.296	0.294	0.292	0.290	0.290	0	1	0	Usable
0.298	0.298	0.289	0.290	0.291	0.293	0	1	0	Usable
0.143	0.143	0.143	0.145	0.146	0.148	1	0	0	Stable
0.148	0.146	0.145	0.153	0.146	0.142	1	0	0	Stable
0.139	0.138	0.138	0.139	0.139	0.142	1	0	0	Stable
0.142	0.142	0.142	0.141	0.139	0.139	1	0	0	Stable
0.257	0.240	0.228	0.222	0.219	0.221	1	0	0	Stable

연구 위하여 각각의 실험 결과치에서 50회 단위로 샘플을 채취하여 부분평균을 낸 다음 평균에 가까운 패턴들을 선정하였다.

위의 결과를 바탕으로 3개의 출력조건에 대하여 각각 5개씩 15개의 감독 데이터를 선정하였으며, 선정된 감독데이터는 Table 1에 나타내었다.

신경망의 크기는 학습속도, 근사능력 등에 큰 영향을 미친다. 그러므로 본 연구에서는 적절한 신경망의 크기를 결정하기 위하여 노드수와 계층수를 변화 시켜가며 시뮬레이션을 한 결과 입력층-중간층-출력층의 노드 수가 6-10-10-3인 경우가 가장 우수한 근사능력을 보였다.

중간층의 개수나 각층의 노드수를 줄이면 학습속도는 빨라지는 반면, 출력오차가 커지고 이에 따라 칩 형태 인식결과도 칩의 형태가 급격히 변화하는 부분에서 부정확한 값이 나타났다.

이로 인하여 본 연구의 신경망은 각각 6개의 입력 유닛을 가지는 하나의 입력층(Input Layer)과 10개의 유닛을 가지는 2개의 중간층(Hidden Layer), 3개의 유닛을 가지는 하나의 출력층(Output)으로 신경망을 구성하였다.

입력데이터는 보통 각종 센서(sensor)의 출력 또는 이들의 분산 또는 자승평균제곱근(RMS)의 값이 사용되나, 이러한 방법은 센서들의 신호처리 과정이 복잡하고, 고비용이며, 실시간 데이터처리의 문제점을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 여섯 번의 샘플링 시간 동안 측정된 복사온도계의 출력값을 순차적으로 받아 입력데이터로 사용하였다. 샘플링시간은 분절형 칩이 발생하는 빠른 이송에

서의 칩 절단 주기인 초당 55회 보다 빠른 1/60초로 샘플링 하였다.

출력데이터에는 칩의 형태 분류에 사용되는 언어변수인 안정(Stable), 적용(Usable), 불안정(Unstable)을 사용하였다.

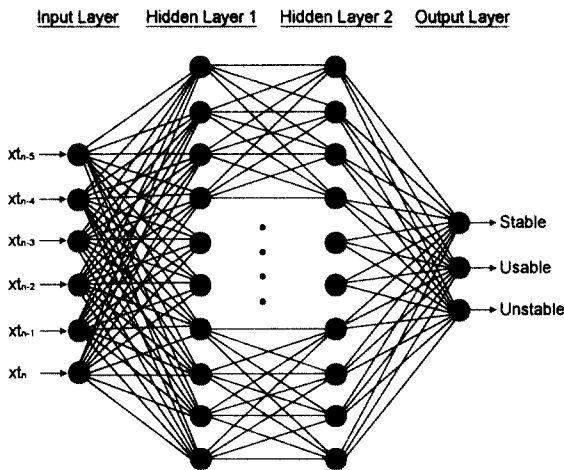


Fig. 4 Architecture of neural network

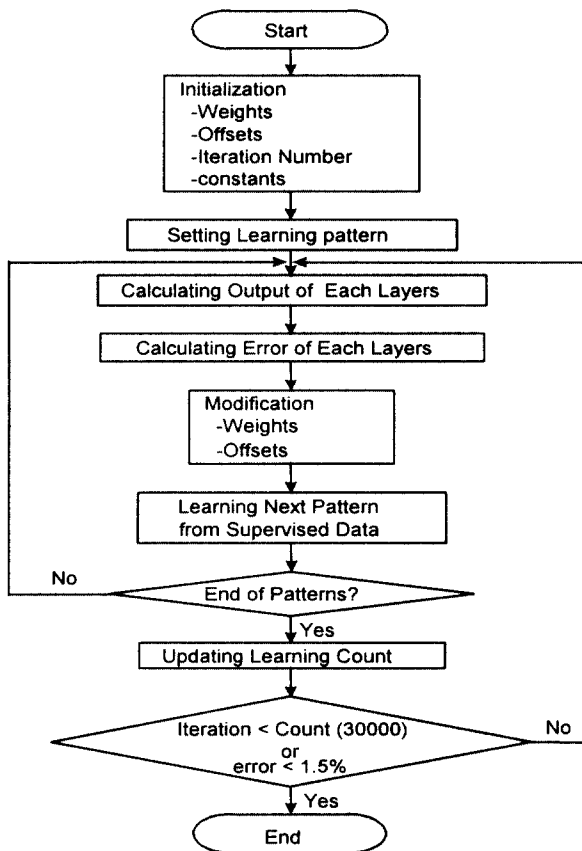


Fig. 5 Flow chart of Backpropagation

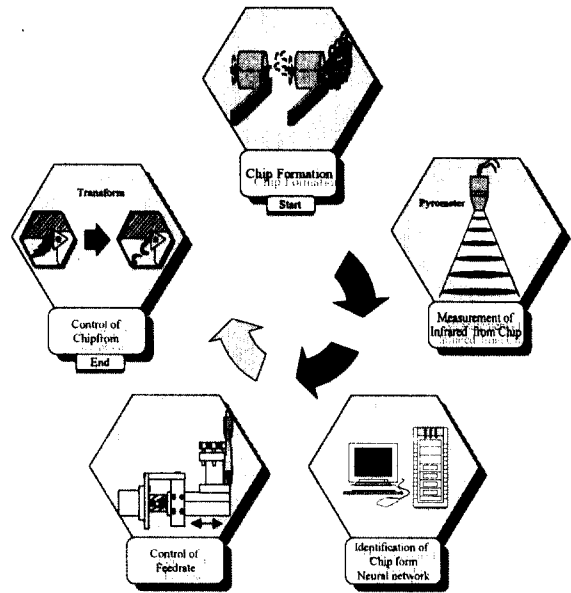


Fig. 6 Chip Control Algorithm

Fig. 4는 실험에 사용된 신경망의 구조를 도시하였으며, 칩 인식 알고리즘은 복사온도계의 신호로부터 칩 배출 상태를 나타내는 특징을 추출하고 역전파(Back Propagation) 알고리즘을 사용하여 학습을 수행하였으며, 신경회로망을 이용하여 선삭시 배출되는 칩형태를 인식하였다.

역전파 알고리즘의 학습과정은 Fig. 5와 같다. 그리고 Fig. 6은 전체적인 칩 제어 알고리즘을 나타내었다.

Fig. 7은 칩형태의 인식에서부터 제어까지의 칩 제어 시스템의 플로우 차트를 나타낸다.

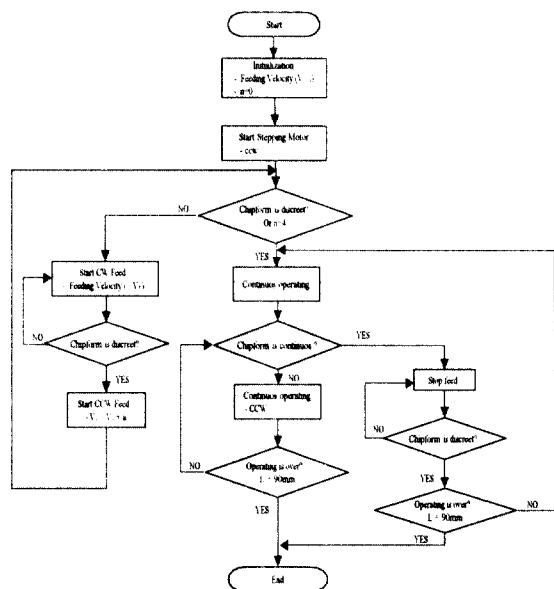


Fig. 7 Flowchart of chip form control algorithm

### 3. 실험장치 및 실험

#### 3.1 실험장치의 구성

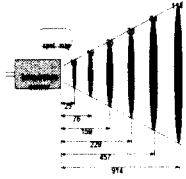
##### 3.1.1 적외선복사온도계의 장치구성

적외선 복사온도계에 의한 칩 상태의 감시는 절삭가공이 이루어질 때 칩이 발생하는 절삭점과 칩의 엉김 현상이 발생하는 공구의 주변을 적외선 복사온도계로 감시하도록 하였다.

본 실험에 사용된 적외선 복사온도계는 Table. 2의 특성을 지닌 시판의 적외선 복사온도계 (Watlow co.)를 이용하였다.

적외선 복사온도계의 온도측정시스템은 Fig. 8에 도시한 것과 같이 온도 출력용 인디케이터를 생략하고 적외선 온도 센서의 전류 출력 양단에 정밀 저항을 걸어 전압 신호로 변환한 후 A/D변환기가 내장된 컴퓨터에서 칩 상태를 판별하도록 하였다.

Table 2 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	

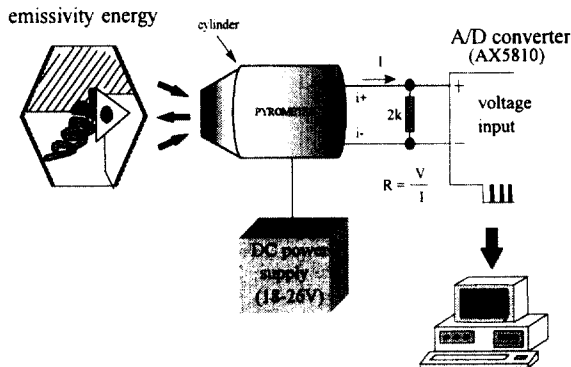


Fig. 8 Measurement system of emissivity energy

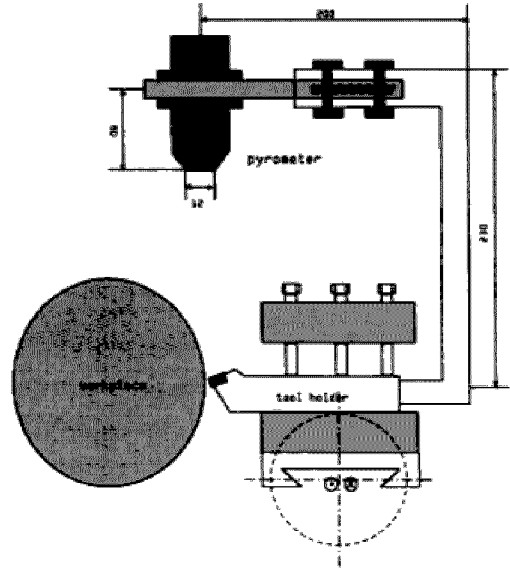


Fig. 9 Construction of radiated energy measuring system

그리고 선삭가공시 복사온도계로 들어오는 에너지를 취득하기 위한 실험장치를 Fig. 9에 나타내었다.

##### 3.1.2 공구이송대의 장치 구성

공구이송대에 스텝핑모터의 장착은 스텝핑모터를 지지할 수 있는 치공구(fixture)를 사용하여 장치하였다. 그리고 모터의 중심과 공구이송대의 축 중심을 일치시켜 장치를 구성하였다.

공구이송대에 적외선 복사온도계와 스텝핑모터를 설치한 장치를 Fig. 10에 나타내고 있다.

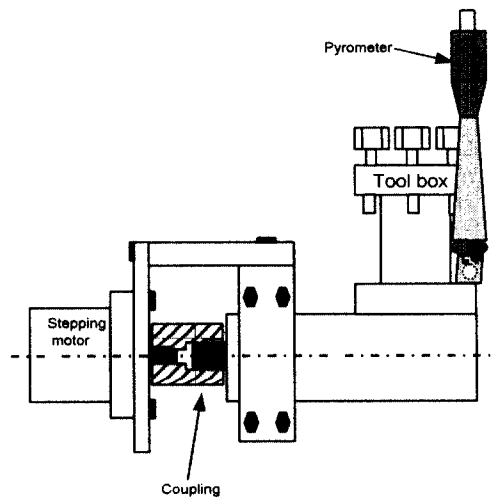


Fig. 10 Feeding system assembled stepping motor

전체적인 실험장치의 구성을 Fig. 11에 나타내었다.

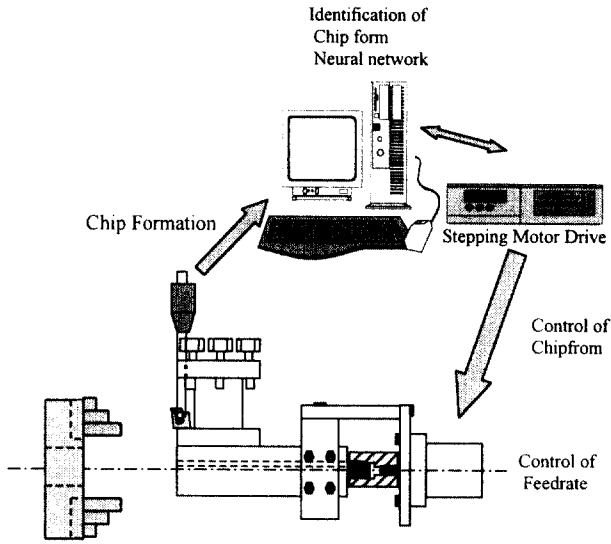


Fig. 11 Chip form control system

### 3.2 실험방법

#### 3.2.1 표면거칠기 비교실험

일반적인 정(+)-방향 이송과 칩형태의 제어를 위하여 행한 역(-)방향 이송에 있어서 그 표면거칠기는 거칠기의 정도가 다르게 발생한다. 그러므로 실제 선삭작업시 역방향 이송에 의한 표면거칠기가 정방향 이송시의 가공물의 거칠기보다 현저히 나쁘게 될 경우 실제 작업에 적용이 어렵다고 할수 있다.

그러므로 그 표면거칠기의 정도를 파악하기 위하여 일반적인 정방향 이송과 역방향(Backword) 이송에 의한 선삭시의 표면거칠기를 비교하였다.

실험에 사용된 재료는 SM20C로 선정하여 가공 길이는 90mm로 하고 절삭깊이는 1mm로 하였다. 또한 이송속도의 선정은 실험에서 사용된 선반이 가지고 있는 제일 빠른 이송속도인 0.511 mm/rev로 하였다. 그리고 가공에 사용된 공구는 인서트 팁(대한중석 KT350)을 사용하였다. 주축의 회전수는 920rpm으로 하였다.

#### 3.2.2 이송속도 제어에 대한 실험

일반적으로 선삭시의 칩의 발생형태는 발생 칩의 두께에 밀접한 관계를 가지므로 본 실험에서는 공구대의 이송속도를 조정하여 칩의 두께를 제어하여 칩의 형태를 제어하는 실험을 하였다.

실험방법은 최초, 작업자에 의해 설정된 공구이송대의 이송속도가 고속(0.511mm/rev), 중속(0.255mm/rev), 저속(0.127mm/rev)에 관계없이 앞 절의 플로우차트와 같이 최초의 이송속도 설정 값에서 절삭을 시작하여 분절형 칩이 발생될 경우

그대로 이송을 하고 연속형 칩이 발생할 경우 역방향 이송을 하여 칩을 분절시키고 다시 정방향 이송을 하여 가공을 한다. 이에 연속형 칩이 계속적으로 발생할 경우 앞 과정을 3회, 총 4회 반복하게되고 이때의 이송량은 설정된 이송량 값만큼 빠른 속도로 반복하게 된다. 부가 설정된 이송량은 0.05mm/rev이며 4회 반복 후, 분절형 칩이 발생하지 않을 경우 이송을 멈추고 칩을 절단하고 최고 이송속도를 최초로 하여 다시 이송을 반복하고 이송속도가 0.360mm/rev이 되면 이송을 멈추게 하였다. 이렇게 하여 스스로 칩 절단에 대한 최적에 가까운 이송량을 설정해 가는 가를 실험하였다.

본 실험은 한가지 재종에 국한하여 표면거칠기 비교실험에서 적용한 절삭조건을 똑같이 적용하였으나, 이송속도는 0.160mm/rev으로 연속형 칩을 발생시키기 용이한 저속의 이송량으로 초기 설정하여 실험하였다.

그리고 저속의 이송속도에서부터 발생하는 적외선 복사온도계의 출력 값을 통하여 신경회로망에 의해 칩의 형태를 판단하고 이송량을 조정하여 연속형 칩을 분절형 칩으로 칩의 형태를 제어할 때 적외선복사에너지의 출력 값과 칩의 형태를 분석하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 표면거칠기 비교실험의 결과 및 고찰

실험에서는 공구이송대의 역방향 이송시 생성되는 표면거칠기와 역방향 이송을 하지 않은 가공에서 생성되는 표면거칠기를 비교하였다.

Fig. 12과 Fig. 13의 표면거칠기 그림에서 각각 기준길이 L=8mm로 하였을 때 Fig. 12의 실험결과에서 Ra=5.97 μm, Rz=22.5 μm, Rmax= 23.9 μm의 값을 나타내었고, Fig. 13의 실험결과에서는 Ra=6.01 μm, Rz=28.4 μm, Rmax=35.5 μm의 값을 나타내었다

Fig. 12, 13은 각 실험 후의 표면거칠기 측정그래프이며 P는 과형도를 나타내고 R은 편의상 Ra 값만의 그래프를 표시하였다.

그림에서 보는바와 같이 역방향 이송을 한 경우와 역방향 이송을 하지 않은 경우의 표면거칠기에서 약간의 정도의 차이는 발생하고 있으나 본 실험은 선반가공 중에서 황삭의 범위에 대하여 실험을 하였으므로 실험에 나타난 값들은 황삭의 범위에 속하여 있으므로 역방향 이송을 한 표면거칠기와 하지 않는 것의 표면거칠기는 가공시에 큰 문

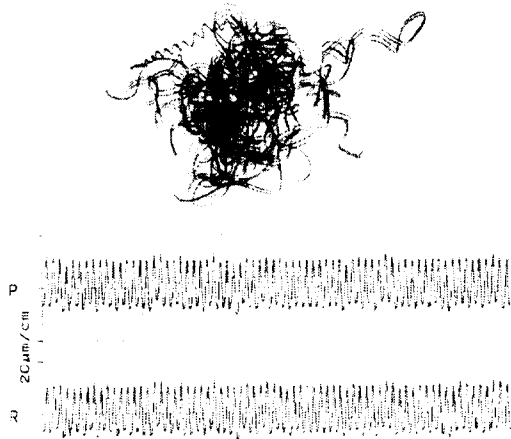


Fig. 12 Surface roughness in conventional turning and chip form

분절형 칩이 발생하였으며 적외선 복사온도계의 출력 값이 감소하여 일정 수준으로 유지되는 것을 알 수 있었다.

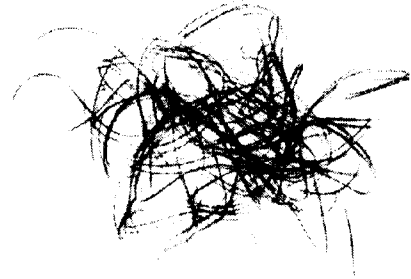


Fig. 14 The photo of chip in 0.160mm/rev without chip control

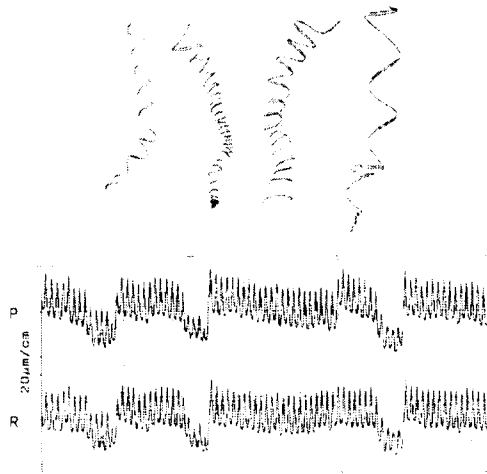


Fig. 13 Chip form and surface roughness in backward feed

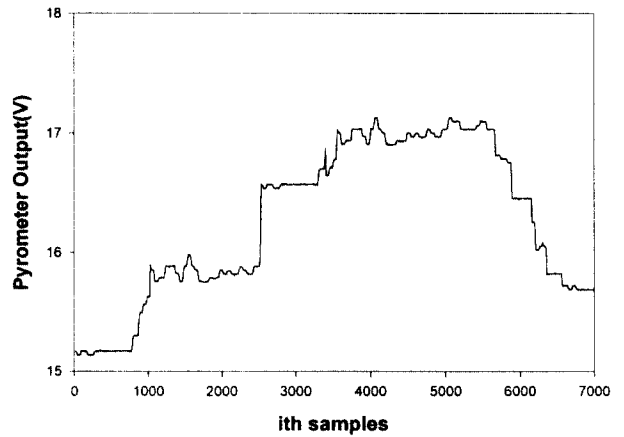


Fig. 15 Pyrometer output without chip control

제가 되지 않음을 알 수 있다.

#### 4.2 이송속도 조정 실험의 결과 및 고찰

역방향 이송을 하지 않은 선반가공에서는 Fig. 14과 같이 연속형 칩이 발생하였고, Fig. 15에서는 발생한 적외선 복사온도계의 출력 값을 표시하였고, 그때의 출력 값은 계속 증가하였다.

Fig. 16에서는 연속형 칩이 발생할 때 공구이송대 스스로 이송속도를 찾아 칩의 형태를 분절형 칩의 형태로 제어하고 난 후의 칩형태를 보이고 있으며, Fig. 17에서는 연속형 칩을 분절형 칩의 형태로 제어할 때 변화하는 적외선 복사온도계의 출력을 나타내고 있다.

이와 같이 공구이송대를 제어하여 이송속도를 제어한 결과 연속형 칩의 발생이 억제되고 또한

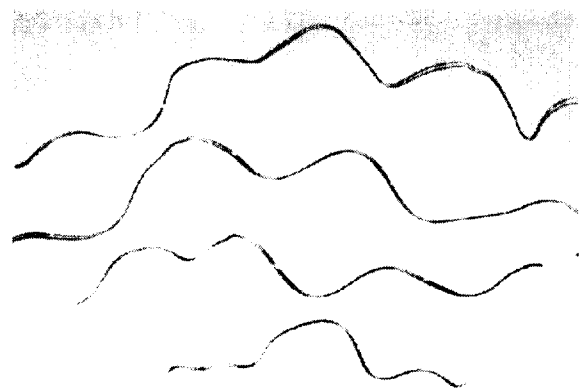


Fig. 16 The photo of chip in 0.160mm/rev with chip control

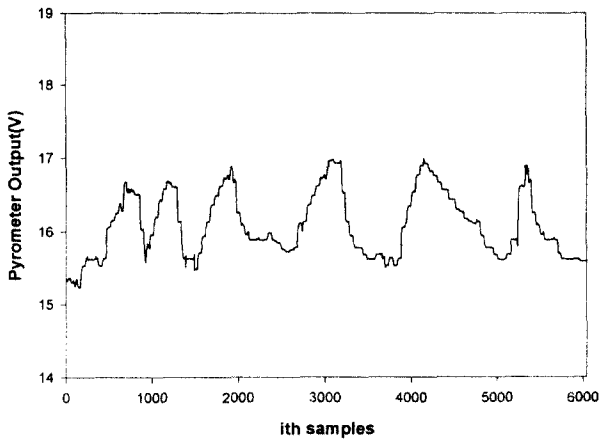


Fig. 17 Pyrometer output with chip control

## 5. 결론

본 연구는 적외선 복사온도계를 이용하여 선삭 시 발생하는 적외선 복사에너지의 양을 측정하고 그 복사에너지의 양을 신경망인식기를 통하여 칩 형태를 인식한 후 그 인식된 값을 이용하여 공구 대의 이송량을 조정함으로써 칩의 형태를 제어하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 이송량을 조정하면서 가공하는 경우의 표면거칠기를 측정한 결과 조정을 행하지 않은 가공물에 비하여 거칠기가 상대적으로 나빠졌으나 측정된 거칠기의 값이 황삭의 허용 범위 안에 존재하므로 무시할 수 있었다.
- 2) 공구이송대의 이송량을 0.160mm/rev에서부터 0.05mm/rev만큼 증가시켜 칩의 분절이 생성되는 이송량을 찾았다.
- 3) 또한, 이 과정을 4회 반복하여 0.360mm/rev의 이송량에 도달하더라도 칩이 분절되지 않을 경우에는 이송을 정지하여 칩을 분절시켰다.

## 참고문헌

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. Kluff et al., “Present Knowledge of Chip Control”, Annals of the CIRP Vol. 28, No. 2, pp. 441~455, 1979
3. P. Klöör, I. Svenningsson and A. Wernersson, “Coherent SODAR for automatic Monitoring of the Chip Breaking Process in Turning”, Annals of the CIRP Vol. 34, No. 1, pp. 91~

94, 1985

4. 新井 實 外 3人, “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. K. Y. Yee, D. S. Blomquist, D. A. Dornfeld, C. S. Pan, “An Acoustic Emission Chip-Form Monitor for Single-Point Turning”, Mach. Tool Des. Res. Conference, Proc. of the 26th. intl., pp. 305~311, 1986
6. P. A. S. Ralston, K. E. Stoll, T. L. Ward, “Fuzzy Logic Control of Chip Form During Turning”, Computer Ind. Engeer., Vol. 22, No. 3, pp. 223~230, 1992
7. 백인환 외 3인, “방사온도계에 의한 칩 형태 인식”, 한국정밀공학회, 제13권, 제7호, pp. 59~65, 1996
8. Milton C. Show, “Metal Cutting Principles”, Oxford Science Publication, 1991
9. Nello Zuech, “Handbook of Intelligent Sensors for Industrial Automation”, Addison-Wesley Pub., 1991