한국공작기계학회논문집 Vol.10 No.3 2001. 6.
Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers

선삭에서 이송량조정에 의한 칩의 형태 제어

전재억*, 하만경**, 백인환***

Control of Chip Form by Feedrate Adjustment

Jae-Uhk Jun*, Man-Kyung Ha**, In-Hwan Paik***

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.

The chip form is identified using the neural network of supervised data Through the measurement of energy radiated from the chip,

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

Key Words : Chip Control(칩제어), Chip Form(칩형태), Feedrate(이송량), Supervise Data(감독 데이터), Neural Network(신경망)

1. 서 론

현대 산업사회에서 기계적 생산의 궁극적인 목표는 가공정도의 향상과 생산성의 향상이며, 생산성의 향상은 작업자의 안전을 고려한 것이어야 한다. 그리고 기계적 생산에서 생산성의 장애 요인으로는 여러 가지가 있으나, 그 중에서 중요한 요인의 하나가 가공 중에 발생되는 칩과 칩 처리에 관계된 문제이다.

칩의 발생 및 처리는 생산의 경제성에 많은 관계를 가지고 있으며, 작업자의 안전에도 큰 영향을 미치고 있다.[1] 짧은 시간동안에 연속적으로 발생되는 많은 양의 칩은 별도의 칩 처리 과정이 없을 경우 칩 둥우리(Chip nest)를 형성하고 이 칩 둥우리는 제품의 표면을 긁어내는 등 공작물의 정밀도를 저하시키며, 기계에 무리를 주게되어 고장의 원인을 제공하여 기계의 수명을 단축시킨다. 이로 인하여 칩의 처리는 절삭에서 중요한 요소로 대두되고, 많은 학자들이 경험적 데이터와 간단한 수학적 이론을 사용하거나[2,3], 여러 가지 센서를 이용하여 절삭상태의 감시를 시도하였다.[4-10]

본 연구에서는 가공 중에 발생하는 칩의 형태를 복사온

* 부경대학교 대학원(전재억: junju@mail1.pknu.ac.kr)
** 부경대학교 기계공학부
*** 부산대학교 기계공학부

도계를 이용하여 그 출력 값을 측정하였고, 또한 각기 다른 종류의 피삭재를 가공함에 있어서 칩의 형태를 예측하며 그에 따른 복사온도계의 출력 값을 검토하고 절삭 중에 발생하는 칩을 신경망 인식기법으로 칩의 형태를 실시간적으로 인식하였다.

그리고, 이러한 분별에 의하여 공구이송대의 이송량을 조정하여 연속적인 칩을 분절형 칩의 형태로 제어하였으며 반복적인 이송량의 조정에 의해서 연속형 칩이 발생되지 않는 최적의 이송속도에 접근하도록 하였다.

2.이론적 배경

2.1 칩의 처리 및 분류

칩의 처리에서 선삭시 발생하는 연속형 칩의 엉킴(Chip nest)현상은 가공물과 같이 뒤엉키게 되어 가공물의 표면을 손상시켜 가공물의 표면거칠기와 정도를 저하시키는 요인이 되며 이로 인하여 공작기계의 생산능력이 저하되고 자동화의 큰 장애요인이 되고 있다. 그러므로 칩의 형태를 적당한 장애물(Chip former)에 의해 변화시켜야 한다.

이런 칩 처리의 첫 번째 과제는 칩을 적당한 크기로 분절시키는 것이고 그 분절을 통해 칩의 형을 제어하는 것이다.

Lang은 이러한 이유로 다음과 같이 칩패킹비(R)을 제안하였으며 만족스러운 칩의 처리를 위해서는 칩패킹비(R)의 값이 4정도가 되어야 한다고 주장하였다.[11]

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

즉, 연속형칩의 경우 칩둥우리 등으로 인하여 칩의 겉보기체적이 증대하므로 칩패킹비가 증대하게 되나, 절삭량이나 이송량의 조정 등을 이용하여 칩의 곡률반경을 조정하고, 칩을 분절시켜야 함을 의미한다.

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

2.2 칩형태 인식 및 제어 알고리즘

본 연구에서는 칩의 형태를 인식하기 위해 시판되고 있는 적외선 복사온도계를 사용하였다.

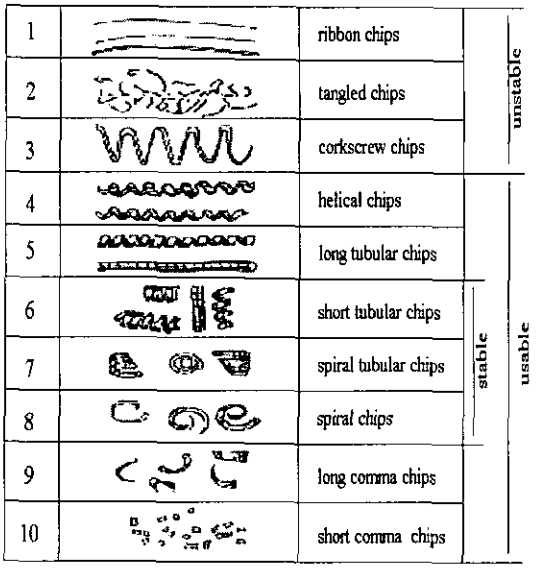


Fig. 1 Classification of Chip Pattern(INFOS)

적외선 복사온도계의 원리는 스테판 볼쯔만의 "모든 물체는 그 절대온도의 4제곱에 비례한 에너지를 표면에서 복사한다." 라는 법칙을 이용하여 다음 식으로 복사에너지를 측정하는 것이다.

사용된 적외선 복사온도계는 대상물이 방출하는 적외선 복사에너지의 양을 측정하는 것으로 적외선 복사온도계의 초점을 절삭점 부근에 한정하면, 이 시야에 채류하는 칩에서 발생하는 복사에너지를 측정할 수 있다. 이 에너지의 대소로 칩형태를 인식할 수 있다.

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

P : Incident Energy
σ : Stefan-Boltzmann constant
(5.67 10-8 W m^{-2} K^{-4})
T : Absolute Temperature

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

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

여기서 ε은 물체의 방사율로 흑체의 방사율 "1"에 대한 비율을 나타낸다. 또한 식(2)는 물체 자신에서 최대의 에너지를 복사하는 흑체의 경우에 해당한다.

칩형태의 인식은 적외선 복사온도계를 이용하여 전형적인 형태의 칩이 발생하는 구간에서 복사에너지의 량을 측정하여 이를 감독데이터로 하여 신경회로망에 적용한다.

그리고 본 연구에서의 신경망의 적용은 Fig. 2에서 나타난바와 같이 적외선 복사온도계의 출력은 이송량이 작아질수록 복사온도계의 출력이 증가하고, 이송량이 커질수록 복사온도계의 출력은 감소하는 것을 보이고 있다.

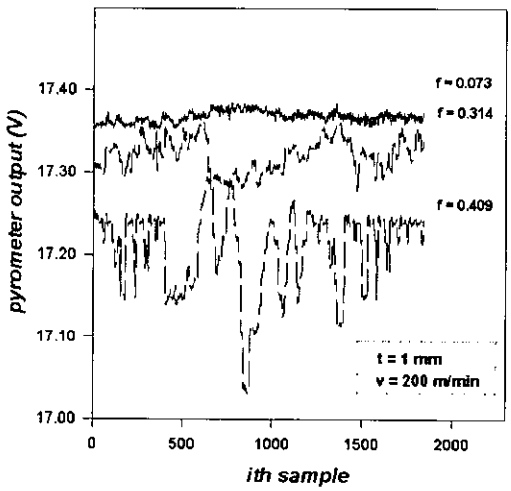
적외선 복사온도계의 출력 값의 대 · 소는 크기가 클 때 연속형 칩이 발생하고, 작을 때는 분절형칩이 발생하였다.

이에 따라 칩형태의 인식은 적외선 복사온도계를 이용하여 전형적인 형태의 칩이 발생하는 구간에서 복사에너지의 양을 측정하여 감독데이터로 하여 이를 신경회로망에 적용하였다.

감독데이터는 Fig. 2에서 이송량이 0.073, 0.314, 0.409mm/rev 일때의 결과치를 이용하였다. 패턴을 얻기

Table 1 Supervised Data for Learning

Input Pattern						Desired Output			Result
xt_{n-5}	xt_{n-4}	xt_{n-3}	xt_{n-2}	xt_{n-1}	xt_n	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



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

Fig. 2 Relationship between Pyrometer Output and Chip Pattern

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, 고비용

러한 방법은 센서들의 신호처리 과정이 복잡하고, 고비용이며, 실시간 데이터처리의 문제점을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 여섯 번의 샘플링 시간 동안 측정된 복사온도계의 출력 값을 순차적으로 받아 입력데이터로 사용하였다. 샘플링시간은 분절형 칩이 발생되는 빠른 이송에서의 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. 3은 실험에 사용된 신경망의 구조를 도시하였으며,

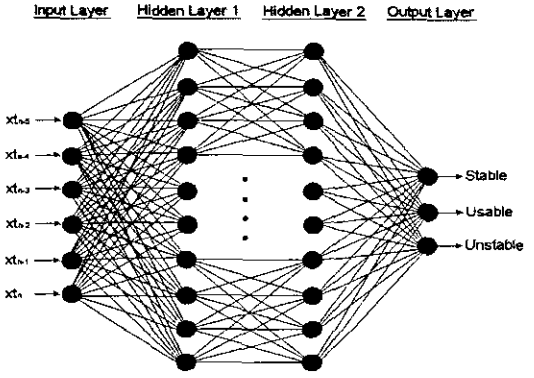


Fig. 3 Architecture of Neural Network

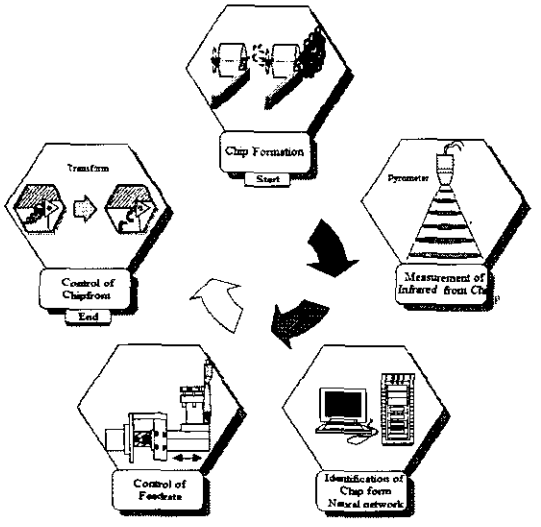


Fig. 4 Chip Control Algorithm

칩 인식 알고리즘은 복사온도계의 신호로부터 칩 배출 상태를 나타내는 특징을 추출하고 역전파(Back Propagation) 알고리즘을 사용하여 학습을 수행하였으며, 신경회로망을 이용하여 선삭시 배출되는 칩형태를 인식하였다.

Fig. 4는 전체적인 칩 제어 알고리즘을 나타내었다. 그리고 Fig. 5는 칩형태의 인식에서부터 제어까지의 칩 제어 시스템의 플로우 차트를 나타낸다.

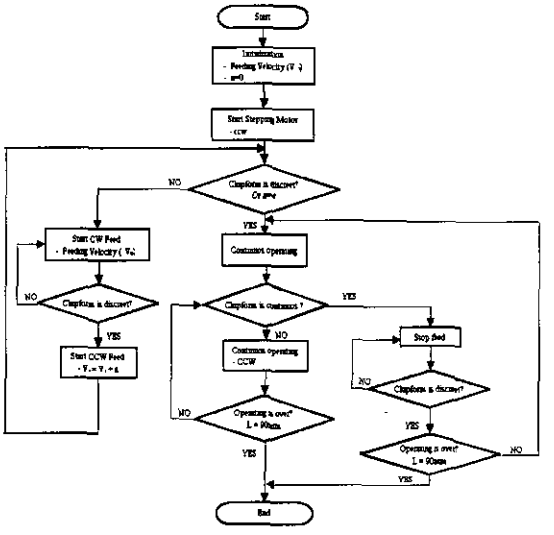


Fig. 5 Flowchart of Chip Form Control Algorithm

3.실험장치 및 실험

3.1 실험장치의 구성

실험 장치는 선삭시 발생되는 칩의 복사에너지를 측정하는 적외선 복사온도계와 신경망 인식기에 의해 판단된 칩의 형태를 제어하게되는 공구이송대 그리고 적외선 복사온도계와 스태핑 모터를 선반에 장착한 전체적인 실험장치로서 구성되었다.

또한, 온도 측정 영역을 최대한 공구 공작물로만 국한시키고, 칩의 유출에 의한 센서의 보호를 위하여 센서 앞부분에 별도로 내면을 흑화한 실린더를 만들어 부착하였다. 그리고 선삭가공시 복사온도계로 들어오는 에너지를 취득하기 위한 실험장치를 Fig. 6에 나타내었다.

그리고, 전체적인 실험장치의 구성은 Fig.7에 나타내었다. 또한 Fig. 8은 전체 실험장치의 사진을 나타내었다.

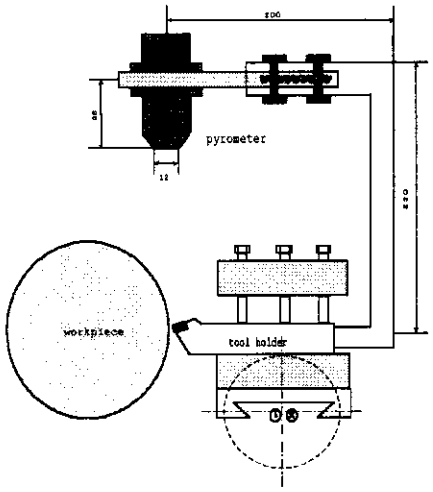


Fig. 6 Construction of Radiated Energy Measuring System

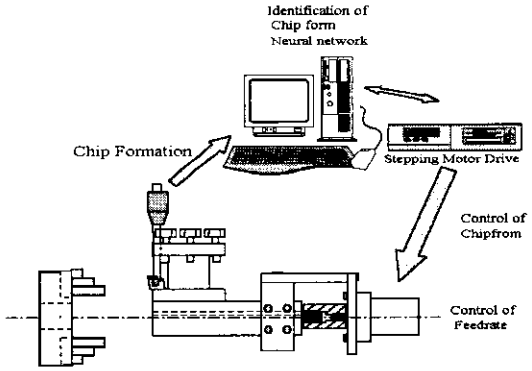


Fig. 7 Chip Form Control System

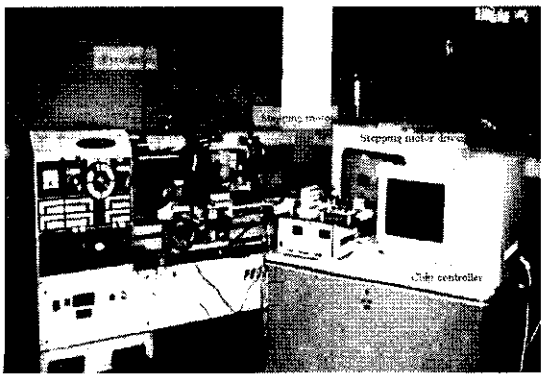


Fig. 8 Photo of Chip Form Control System

3.2 실험방법

3.2.1 이송속도에 따른 실험

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

최초, 작업자에 의해 설정된 공구이송대의 이송속도가 고속(0.511 mm/rev), 중속(0.255mm /rev), 저속(0.127mm/rev)에 관계없이 그 결과에 의하여 스스로 최적에 가까운 이송속도를 설정해 이를 조정해 나가는 가를 실험하였다.

실험은 한가지(SM20C) 재종에 국한하여 실시하였다.

주축회전수는 920rpm으로 하고 인서트 팁(KT350)을 사용하였다.

이송속도는 0.160 mm/rev로 하여 실험을 하였다. 본 실험에서는 같은 절삭조건으로 공구이송대의 이송량 만을 변화시켰다.

3.2.2 가공재료의 선정에 따른 실험

선삭시의 이송속도의 제어와 가공재료의 강성은 발생되는 칩의 형태에 중요한 요소로 작용한다. 선삭시 사용되는 재료는 연성의 재료에서부터 강도와 경도가 높은 고강성 재료에 이르기까지 다양한 물성치를 가진 재료를 가공하게 된다. 그러므로 앞 절에서 실험한 것과 같이 여러 가지의 재료를 사용할 경우에도 칩의 형태 제어가 이루어져야 할 것이다.

본 실험은 다양한 종류의 재료에 대하여 칩 제어가 이루어지는가를 목적으로 하여 실험하였다. 그러나 실제로 무수히 많은 실험 재료를 모두다 실험할 수 없기 때문에 널리 사용되고있는 재료를 선택하도록 하였다.

먼저 실험은 세 가지 재료 SM20C, SM30C 와 SM45C를 실험대상 재료로 선정하였다.

이송량은 연속형 칩이 발생하는 중저속 영역에 해당하는 0.160 (mm/rev)의 이송속도로 초기 설정하여 실험하였다. 그리고 주축회전수는 920rpm으로 하였고, 절삭깊이는 1mm로 하였으며, 사용된 공구는 인서트 팁(KT350)을 사용하였다.

실험시 공구이송대의 이송량 제어를 하기 이전 세 가지의 가공재료별 적외선 복사에너지의 출력 값을 각각 Fig. 13, Fig. 15, Fig. 17에 나타내었고 공구이송대 이송량의 제어가 있은 후의 적외선 복사에너지의 출력 값을 Fig. 14, Fig. 16, Fig. 18에 나타내었다.

4.실험결과 및 고찰

4.1 이송속도에 따른 실험의 결과 및 고찰

역방향이송을 하지 않은 선반가공에서는 Fig. 9과 Fig.10에서 나타난 것과 같이 연속형 칩이 발생하였을 때

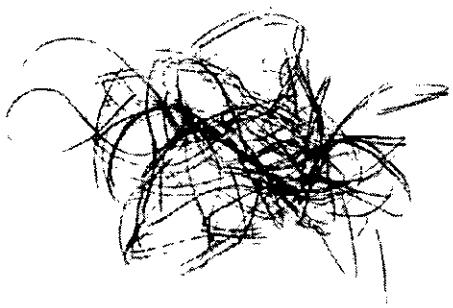


Fig. 9 Photo of Chip in 0.160mm/rev without Chip Control

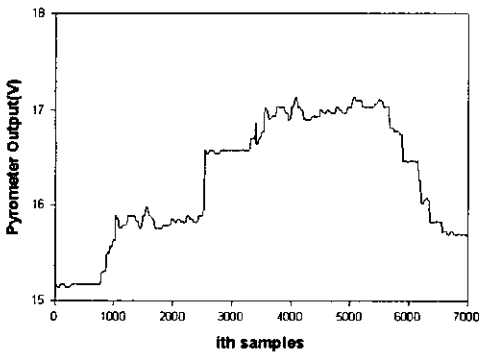


Fig. 10 Pyrometer Output without Chip Control

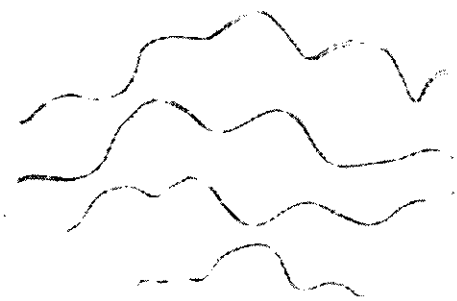


Fig. 11 Photo of Chip in 0.160mm/rev with Chip Control

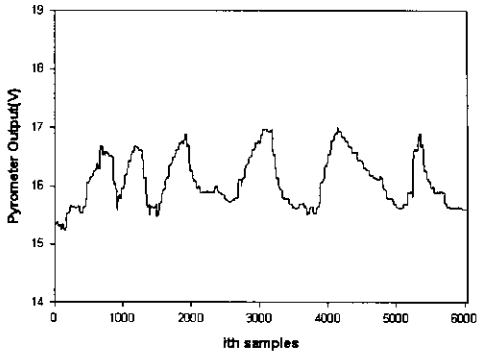


Fig. 12 Pyrometer Output with Chip Control

적외선 복사온도계로부터 얻은 출력 값은 계속 증가하였다.

앞의 실험과 달리 연속형 칩을 얻기 위하여 이송속도를 0.160mm/rev의 중저속 이송을 하였고, 주축회전수는 920rpm, 절삭깊이 1mm 사용된 바이트는 KT350으로 하여 실험을 하였다.

Fig. 11에서 나타나는 것과 같이 연속형칩이 발생할 때 공구이송대 스스로 이송속도를 찾아 칩의 형태를 분절형 칩의 형태로 제어하여 나타난 칩을 보이고 있으며 Fig. 12에서는 연속형 칩을 분절형 칩의 형태로 제어할 때 변화하는 적외선 복사온도계의 출력을 나타내고 있다.

공구이송대를 제어하여 이송속도을 제어한 결과 연속형 칩의 발생이 정지하고 분절형 칩이 발생하였으며 적외선 복사온도계의 출력 값이 감소하여 일정 수준으로 유지되는 것을 알 수 있다.

실험에 의해서 공구이송대의 이송량 제어에 의해 연속형 칩의 발생이 억제되고 분절형 칩이 생성되었다.

4.2 가공재료별 칩형태 제어의 결과 및 고찰

실험에서 이송량 조정에 의한 적외선 복사에너지의 출력 값은 각 재료마다 조금씩 다르게 나타나고 있다.

앞의 실험과 마찬가지로 이송속도 0.160mm /rev, 주축회전수 920rpm, 절삭깊이 1mm에서 실험을 수행하였다.

Fig. 13, Fig. 15, Fig. 17에서 나타난 것과 같이 공구대 이송에서 각 재료들로부터 방출되는 적외선 복사에너지 값으로 연속형 칩이 발생하는 것을 알 수 있다.

그러나 그림에서 보는 바와 같이 각 재료 별로 연속형 칩이 발생하는 적외선 복사에너지의 값은 조금씩 다르게 나타나고 있다.

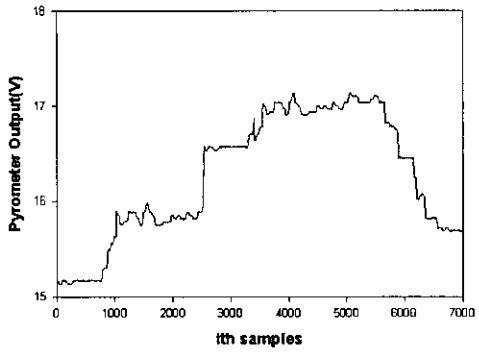


Fig. 13 Pyrometer output for SM20C without chip control

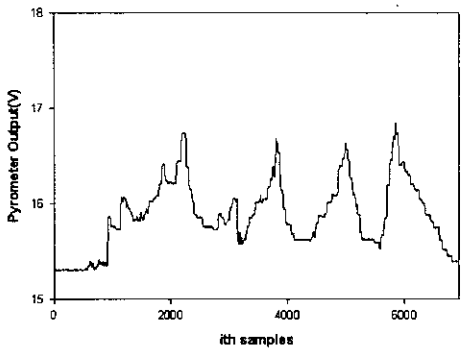


Fig. 16 Pyrometer output for SM30C with chip control

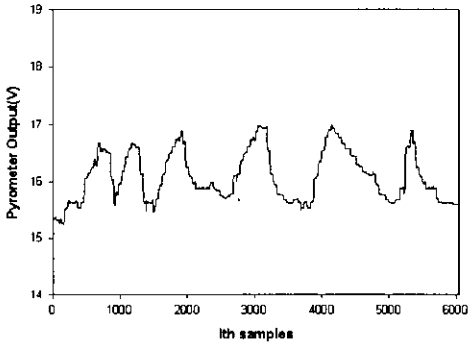


Fig. 14 Pyrometer output for SM20C with chip control

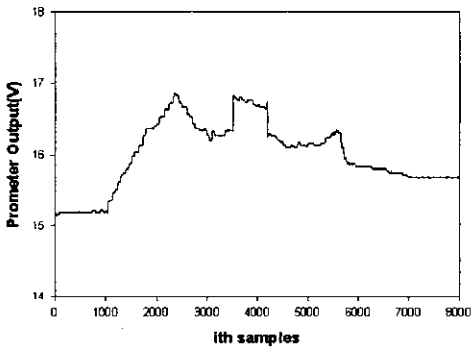


Fig. 17 Pyrometer output for SM45C without chip control

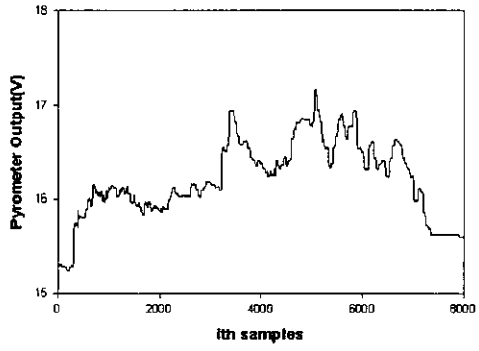


Fig. 15 Pyrometer output for SM30C without chip control

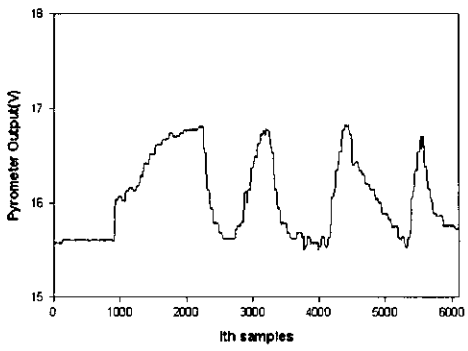


Fig. 18 Pyrometer output for SM45C with chip control

세 가지 실험재료 중 가장 무른 재료인 SM20C가 가장 높은 적외선 복사에너지 값을 나타내고 있으며, 강한 재료로 바뀌어 감에 따라 SM30C, SM45C의 차례로 적외선 복사에너지 값이 낮아짐을 알 수 있다.

이것은 재료의 강성이 증가되면 칩의 형태가 연속형에서 분절형으로 바뀌는 것 때문에 적외선 에너지가 적게 방출되어, 복사에너지의 출력이 떨어지는 것이다.

그리고 Fig. 14, Fig. 16, Fig. 18의 각각의 이송량 조정

에서 적외선 복사온도계의 발생 값도 점차로 줄어드는 것을 알 수 있다.

이 결과로 각 재종에 대하여 이송속도를 제어함으로써 칩의 제어가 잘되고 있음을 알 수 있고 실험에서 사용한 3가지 재료뿐만 아니라 그 외의 재료에 대해서도 좋은 응답을 보일 것으로 기대 된다. 그리하여 모든 재료에 대하여 재종의 변화에 상관없이 적외선 복사온도계를 이용한 공구이송대의 제어로 칩의 형태가 제어됨을 알 수 있다. 그러나 최적의 이송속도를 찾는 것은 다른 많은 종류의 재질에 대하여 적용하는 것은 많은 문제를 가지고 있다.

실험에서 보이는 것과 같이 역방향 이송을 통해 분절형 칩이 발생하는 최적의 이송을 찾기 위해 4번의 반복이송을 하였으나 기계구조용 강재의 특성상 연속형 칩이 고속의 영역에서도 발생되었으며, SM45C의 경우에는 연속형 칩과 분절형 칩이 같은 절삭조건하에서 번갈아 발생하는 것도 볼 수 있었다.

그러므로 연속형 칩이 발생하지 않는 최적의 이송속도를 찾는 것에 대한 많은 연구가 있어야 할 것이다.

5. 결 론

본 연구는 적외선 복사온도계를 이용하여 선삭시 발생하는 적외선 복사에너지의 양을 측정하고 그 복사에너지의 양을 신경망인식기를 통하여 칩형태를 인식한 후 그 인식된 값을 이용하여 공구대의 이송량을 조정함으로써 칩의 형태를 제어하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 공구이송대의 이송량을 0.160mm/rev에서 0.05mm/rev만큼 증가시켜 칩의 분절이 생성되는 이송량을 찾았다.

(2) 이 과정을 4회 반복하여 0.360mm/rev의 이송량에 도달하더라도 칩이 분절되지 않을 경우에는 이송량을 정지하여 칩을 분절시켰다.

(3) SM20C, SM30C, SM45C로 실험한 결과에서도 가공재료에 관계없이 칩의 형태가 제어되어 분절된 칩을 얻을 수 있었다.

(4) 개발된 칩형태 제어기를 통하여 연속형 칩의 발생에 따른 정밀도의 저하를 방지할 수 있었으며, 모든 과정이 사람이 없는 상태에서 이루어지므로 자동화된 시스템에 채용할 수 있는 가능성을 제시하였다.

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.K nig, C.A. van Luttervelt, K. Nakayama, A.J. Pekelharing, "Present Knowledge of Chip Control", Annals of the CIRP Vol.28, No.2, pp. 441~455, 1979.

(3) P. Kl r, I. Svenningsson, 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, 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狀態の監視", 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, Prec. 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) Sawai Sukvittayawong, Ichiro Inasaki, "Idenfication of Chip Form in Turning Process", JSME Vol.34, No.4, pp. 553~560, 1991.

(9) Y. L. Yao, X. D. Fang, "Assessment of Chip Patterns with Tool Wear Progression in Machining via Neural", Int. J. Mach. Tools Manufact., vol.33, No.1, pp. 89~102, 1993.

(10) 하만경 외 1인, "연삭 동력신호를 응용한 결함진단에 관한 연구", 한국공작기계학회, 제9권, 제 4호, pp. 108~116, 2000.

(11) Milton C. Show, Metal Cutting Principles, Oxford Science Publication, 1991.