

화상처리시스템을 이용한 유연성디스크 절삭가공에서 평면구간 측정 및 예측에 관한 연구

신관수^{a*}, 노대호^b

A study on the Flat Zone Length of Workpiece at Flexible Disk Grinder Cutting Process Measurement and Prediction using Image Processing

Kwan Soo Shin^{a*}, Dae Ho Roh^b

^a Dept. of Mechatronics, Incheon National University, Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon 406-772, Republic of Korea

^b Baik Yang C.M.P.co., Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	26	February	2013
Revised	29	March	2013
Accepted	17	April	2013

Keywords:

Disk grinding
Flat zone
Neural network
Image processing
Slop analysis

ABSTRACT

In this paper, the image processing for flexible disk grinding and the effect of the grinding conditions on the flat zone length of a workpiece are investigated, with the purpose of automating the grinding process. To accomplish this, three issues should be carefully studied. The first is finding the relationship between the flat zone length and the grinding conditions such as the cutting speed and feeding speed. The second is developing a neural network algorithm to predict the flat zone. The third is developing an image processing algorithm to measure the flat zone length of a workpiece. Slope analysis is used to determine straight and curved sections during the image processing. For verification, the estimated length and the length from the image processing are compared with the length measured by a projector. There is a minimum difference of 1.7% between the predicted and measured values. The results of this paper will be useful in compiling a database for process automation.

1. 서론

절삭가공에서의 높은 정밀도 및 표면조도를 얻기 위한 방법 중 연삭가공이 수반되고 있다. 반도체 산업에서 웨이퍼가공에 또한 연삭기술이 사용되고 절삭 시 발생하는 버 제거 등 가공품의 최종단계인 연삭기술의 활용면에서 새로운 공정이 많이 개발되고 있다. 특히 절삭가공에서 버의 제거작업이나 용접후의 잔류물 제거 등에서 최종적으로 완성시키는 디스크 연삭가공을 들 수 있다. 일반 연삭작업에서의 단단하고 미세한 입자를 결합하여 연삭숫돌을 고속 회전시켜 공작물의 평면이나 원통면을 소량의 미세가공을 하는 정

밀 가공법인 반면 디스크 연삭은 일반 연삭가공과 달리 유연성을 이용하여 절삭량을 크게 할 수 있어 생산성을 향상시킬 수 있다. 그러나 버의 완전한 제거와 형상에 의한 분석이 이루어지지 않고 숙련공의 수작업에 의한 경험에 의존하고 있는 실정으로 생산성 향상과 효율성 면에서 어려움을 겪고 있는 실정이다¹⁻⁴. 숙련자의 감각에 의존하던 공정을 핸드북과 같은 적절한 자료를 바탕으로 진행된다면 숙련자의 결과와 다르지 않은 결과를 얻을 수 있다. 근래들어 컴퓨터의 발전과 공정들의 자료화가 이루어짐에 따라 숙련자에 의존하던 작업을 비숙련자가 자료를 통하여 진행하여도 동일한 결과를 얻고자 하는 연구가 진행되고 있다⁵⁻⁸. 적절한 작업 조

* Corresponding author. Tel.: +82-32-835-8957

Fax: +82-32-835-4921

E-mail address: shin@incheon.ac.kr (Kwan Soo Shin).

건을 선정하기 위하여 연삭 숫돌의 회전, 이송, 깊이, 입도 등의 요건이 중요한 인자들이 된다. 디스크연삭가공의 가공물의 표면은 비평면의 형상이 나타나게 된다. 가공 표면의 형상은 초기, 중기, 말기의 3가지 단계로 구분되어 지는데 초기와 말기 단계는 과절삭이 일어나 라운딩 형상의 표면을 가지게 된다. 본 연구에서는 버를 제거하기 위한 디스크연삭작업의 자동화를 위하여 평면구간의 길이를 측정하고 그 결과를 예측하는 신경망을 구성하여 디버링을 위한 디스크 연삭의 데이터 베이스 구축의 기반을 마련하고 디버링된 제품의 품질을 높여 디버링 연삭 분야의 발전에 이바지 하고자 한다^[9,10].

2. 이론적 배경

2.1 디스크 연삭

유연성 디스크 연삭가공은 공구와 공작물 사이의 접촉 변화에 따라 진행되어 초기단계와 말기단계는 접촉면적의 변화로 인하여 연삭시편과 디스크 표면이 안정적인 형태를 갖추지 못한다. 초기단계의 경우 공구와 공작물이 선접촉으로 시작되어 접촉면적이 넓어짐에 따라 가공면이 곡선형태를 나타내게 된다. 중기단계는 연삭시편과 디스크 표면의 접촉 면적이 일정하며 안정적인 형태를 갖추게 되는 구간이다. 중기단계에서는 평면형태의 가공표면을 얻을 수 있어 가장 활용도가 높은 구간이다^[11]. 말기단계는 접촉면적의 감소 및 공구의 탄성에 의하여 가공면이 곡선 형태를 나타내게 된다. Fig. 1에서 Entrance stage는 초기단계로 공작물과 디스크의 접촉이 시작되어 디스크의 끝부분이 공작물과 접촉되어 지는 시점이다. Flat zone stage는 중기단계로 디스크 끝부분이 완전히 공작물에 접촉하여 디스크의 변형이 일정하게 유지되어 평형상태의 가공면을 얻을 수 있는 단계이다. Exit stage는 말기단계로써 중기이후부터 작업종료시점으로 변형되어 접촉되어 있던 디스크의 일부분이 절삭물과 분리가 되어 디스크가 원래의 상태로 되면서 과절삭이 발생하는 단계이다^[11].

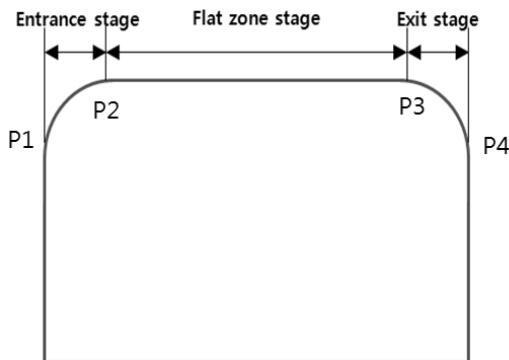


Fig. 1 Each stage of workpiece

2.2 신경망

인간의 뇌를 구성하고 있는 신경망(Neural network)은 신경세포에서 비선형적인 관계를 예측 및 측정하기 위해 상호작용을 모델화한 것으로 학습이론에 따라 여러 개의 정보를 분산해서 처리하는 것으로 신호처리, 제어 패턴인식, 의약, 음성인식 등의 분야에 사용하기 시작하였다. 비선형적인 입출력 관계를 학습할 수 있고 같은 수의 데이터에 대하여 통계적 모델보다 뛰어난 정확성과 예측성을 가지고 있다. 신경망을 이용하여 병행적인 상호작용의 계산능력에 여러 가지 작용을 이루고 있다. 이러한 계산능력에 의한 신경망의 구조는 입력층(input layer), 은닉층(hidden layer), 출력층(output layer)으로 구성되었으며, 서로 가중치로(weight)로 연결되어진다(Fig. 2~3). 입력층을 제외한 모든 층의 신경세포사이의 가중치들의 곱에 의하여 가중 합이 구해지며 오류역전파법을 사용하였다. 본 연구에서는 화상이 가지고 있는 잡음 등을 제거하기 위해 Matlab을 이용하였다. 화상을 이용 배열원을 화상원(pixel element) 또는 픽셀, 화소(pixel)라 부른다. 디지털 화상은 화상의 각 픽셀(pixel) 간에서의 광강도를 측정하여 그 정도를 일정구간의 자연수로 나타내는 방식에 의하여 메모리나 보조기억장치에 기억시키고 자료를 필요에 의해 구현시킬 수 있는 영상이다. 영상화면의 좌표를 (x, y)로 표시할 때 임의의 지점 픽셀은 (x, y)로 나타낸다. 픽셀(x, y)에서의 광강도는 대응하는 지점의 영상의 밝기를 의미하고 픽셀에서의 광강도를 $f(x, y)$ 로 표시한다. x와 y는 정수이다.^[7-12]

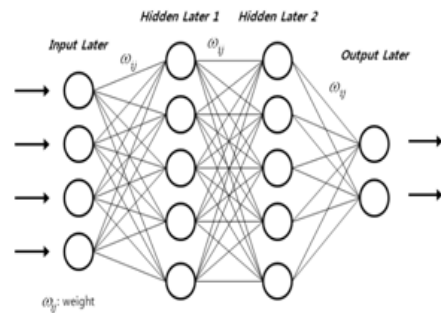


Fig. 2 Neural network

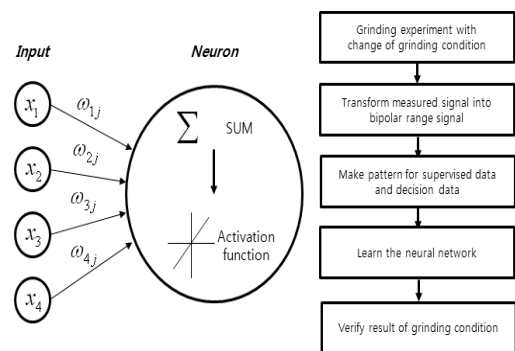


Fig. 3 Diagram of artificial neuron

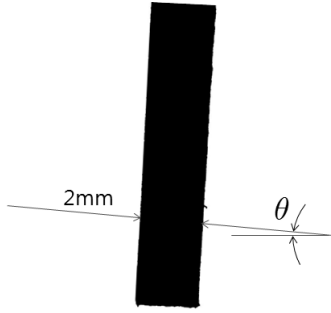


Fig. 4 Calibration bar

2.3 직선구간의 연산

Calibration bar (Fig. 4)의 두께 부분을 항상 화상과 평행하게 위치 할 수 없기 때문에 화상처리의 마스크를 이용하여 경계선을 취득 후 삼각함수를 이용하여 각 화소의 크기를 계산하였다. 화상에서 직선과 곡선부가 만나는 지점(특징점)을 구하기 위하여 기울기연산 방식(Eqs. 1~3)을 사용하였다. 여기서 α 는 기울기이며 P_i 는 i 번째 픽셀의 높이를 나타내고 있다. S_{pl} 은 기울기의 임계값으로 0.2이하의 값을 사용하였다 (Fig. 5). L_f 는 평면구간의 길이, S_p 는 화소하나의 실제 길이를 나타낸다. 시편전체의 x 방향의 길이 (L_0)에서 사편의 좌측끝(P_l)부터 좌측 특징점(P_{lx})의 길이를 빼고 사편의 우측끝(P_r)부터 우측 특징점(P_{rx})의 길이를 빼서 직선구간의 길이를 산출하였다.

$$\alpha = \begin{cases} -\frac{P_{i-20} - P_i}{20} : \text{Right side} \\ \frac{P_i - P_{i+20}}{20} : \text{Left side} \end{cases} \quad (1)$$

$$|\alpha| \geq S_{pl} \quad (2)$$

$$L_f = L_0 - S_p(P_{lx} - P_l) - S_p(P_r - P_{rx}) \quad (3)$$

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서는 밀링머신을 이용, $50 \times 80 \times 5$ mm의 탄소강 (SM45C)시편을 사용하여 각각의 절삭속도, 이송속도, 디스크각도, 절삭깊이의 인자를 주어 가공하였다. 연삭공구는 3 M사의 blue diamond 형의 직경 100 mm 디스크 연삭 공구를 사용하였다 (Fig. 6). 가공된 시편을 Mitutoyo PJ-A3000 (Table 1) 투영기를 사용하여 특징점 위치를 측정하였다.

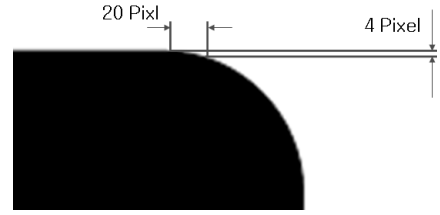


Fig. 5 Slope analysis method

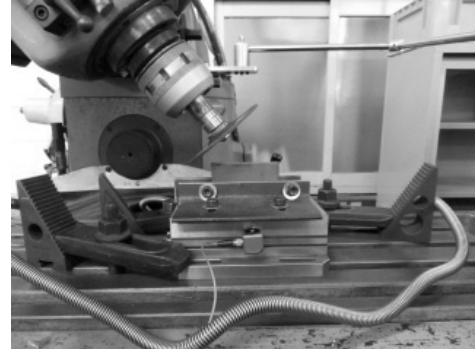


Fig. 6 Disk grinding system

3.2 실험방법

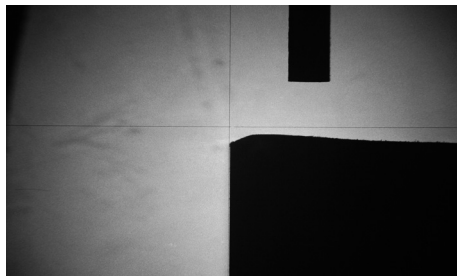
평면구간의 가공면을 확인하기 위하여 밀링머신의 주축에 3 M사의 디스크 연삭공구를 장착하고 $50 \times 80 \times 5$ mm의 시편을 가공조건인 인자(Table 2)를 주어 연삭 가공을 하였다. 가공을 마친 시편을 투영기의 테이블에 고정시키고 가공면을 기준으로 하여 각각의 P_1, P_2, P_3, P_4 점을 측정하였고 각각의 점을 화상촬영을 하였다 (Fig. 1). 측정된 데이터를 Matlab를 이용하여 평면구간의 길이계산을 하였다. 신뢰성 있는 데이터를 확보하기 위하여 5회 반복실험을 하였다.

Table 1 Profile projector system

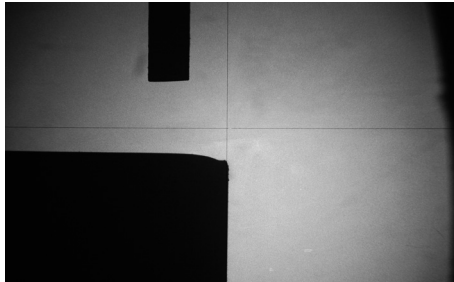
Mitutoyo PJ-A3000	
XY Stage travel range (mm)	50×50
XY Stage table top size (mm)	152×152
XY Stage effective area (mm)	82×82
stage glass No.	380405
Max workpiece loading (kg)	8
resolution (mm)	0.001

Table 2 Condition of experimentation

Cutting speed (m/sec)	3.14, 4.92, 7.67, 16.22
Feed rate (mm/min)	110, 185, 310
Cutting depth (mm)	3, 5
Contact angle (°)	25, 40



(a) Left side



(b) Right side

Fig. 7 Digital image of both side

3.3 화상처리

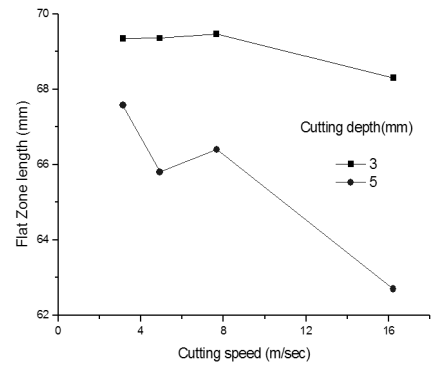
본 논문에서는 화상처리 기법을 이용하여 특징 점의 위치를 파악하였다. 해상도를 높이기 위하여 시편의 양 끝을 확대 촬영하여 화상처리의 해상도를 높였다 (Fig. 7). 카메라에서 취득한 영상을 이미지 처리하기 위하여 Eq. 4와 같이 이진화 처리를 실시 한 후 처리 시간을 단축하기 위하여 시편의 위치만을 취득하여 연산을 시행하였다. 여기서 P_{ij} 는 (i, j) 위치의 화소의 명도 값이다. 또한 길이 보정을 위하여 각 이미지 취득 시 2 mm의 길이의 시편을 두어 화소 당 길이를 측정하였다.

$$P_{ij} = \begin{cases} 1; & P_{ij} \geq Threshold \\ 0; & P_{ij} < Threshold \end{cases} \quad (4)$$

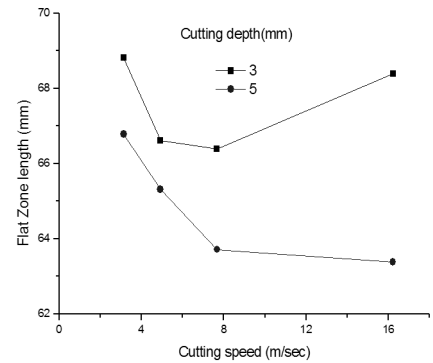
4. 실험결과 및 고찰

4.1 절삭속도에 따른 평면길이 공정 해석

시편과 연삭 디스크 공구와의 접촉각을 25°로 유지하고 공구의 회전 속도를 3.14, 4.92, 7.67, 16.22 m/sec으로 변화를 주고 절삭 깊이는 3 mm와 5 mm 두 종류에 관하여 평면 연삭 가공을 수행하면서 평면구간 길이를 관찰하였다 (Fig. 8(a)). 두 절삭 깊이 모두 절삭 속도와 직선구간의 길이는 전체적으로 반비례하는 경향을 보인다. 절삭 속도가 증가함에 따라 배분력의 크기는 감소하게 되어 출구부에서 더 큰 과절삭이 일어나는 구간이 길어지게 되어 직선부의 길이가 짧아지게 된다. Fig. 8(b)는 접촉각을 40°로 유지한 결과



(a) Feed rate : 110 mm/min, Cutting angle : 25°



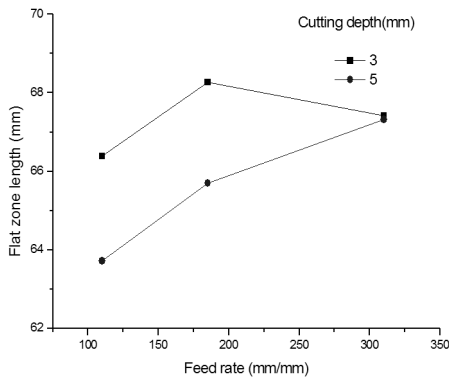
(b) Feed rate : 110 mm/min, Cutting angle : 40°

Fig. 8 Flat zone length for cutting speed

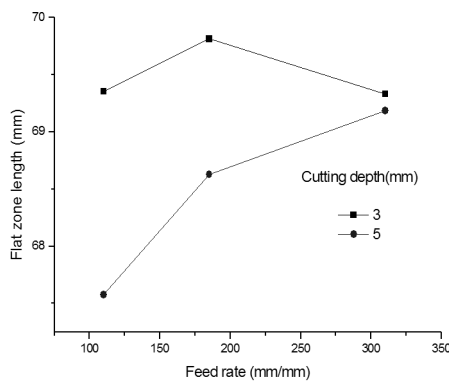
로 Fig. 8(a)와 유사하게 절삭 속도와 직선구간의 길이는 전체적으로 반비례하는 경향을 보인다. 접촉각이 증가함에 따라 공구 라버의 변형이 증가하여 공구가 원래의 형태로 돌아가려는 탄성이 증가한다. 따라서 공작물의 직선 길이가 짧아지는 현상을 관찰할 수 있다. 디스크 연삭 가공에서 공구의 회전 속도의 증가에 따라 배분력이 감소하여 공구 라버의 탄성력에 의한 출구부의 과절삭 증가로 인하여 직선길이가 짧아지는 모습을 볼 수 있었다.

4.2 이송속도에 따른 평면길이 공정 해석

시편과 연삭 디스크 공구와의 접촉각을 25°로 유지하고 이송 속도를 110, 185, 310 mm/min으로 변화를 주고 절삭 깊이는 3 mm와 5 mm 두 종류에 관하여 평면 연삭 가공을 수행하면서 평면구간 길이를 관찰하였다. Fig. 9(a). 두 절삭 깊이 모두 이송 속도와 직선구간의 길이는 전체적으로 비례하는 경향을 보인다. 이송 속도가 증가함에 따라 배분력의 크기는 증가하게 되어 공구의 탄성과 반대 방향의 힘이 강해지므로 출구부에서 과절삭이 일어나는 구간이 짧아지게 된다. Fig. 9(b)는 접촉각을 40°로 유지한 결과로 Fig. 9(a)와 유사하게 이송 속도와 직선구간의 길이는 전체적으로 비례하는 경향을 보인다. 따라서 디스크 연삭 가공에서 이송 속도의 증가에 따라 배분력의 증가로 공구 라버의 탄성력과 반대방향의 힘이 강해



(a) Cutting speed : 3.14 m/sec, Cutting angle : 25°



(b) Cutting speed : 7.67 m/sec, Cutting angle : 40°

Fig. 9 Flat zone length for feed rate

짐으로 인하여 출구부의 과절삭의 감소가 나타나 직선길이가 길어지는 모습을 볼 수 있었다.

5. 신경망 예측

본 논문에 사용된 신경망은 학습방법은 감독식 학습법 중 하나인 오류역전파(Backpropagation) 방법으로 근래 주로 사용되고 있는 학습법이다. 신경망에 적용하기 위하여 준비한 가공조건은 총 240개이다 (Table 3). 신경망을 학습시키기 위한 가공조건은 무작위로 216개를 선정하였으며 나머지 24가지는 결과의 검증에 위한 시험용으로 활용 하였다. 이 때 0.005%의 목적오차로 Delta 학습 방식을 이용하여 학습을 하였다. 신경망의 구조를 결정하기 위하여 은닉층 노드의 수를 변화하며 오차율을 관찰하였다. 입력인자는 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이, 절삭각도의 네 가지이며 출력인자는 평면구간의 길이이다. 은닉층의 노드수를 5개에서 15개까지 변화시키며 검증 데이터의 인식률을 확인해 본 결과 은닉층의 노드수 10개인 경우가 1.7%의 오차를 보여 디버깅을 위한 디스크 연삭 가공시 직선구간의 길이 예측을 가장 잘 하는 것으로 나타났다 (Fig. 10).

Table 3 Sensitivity of neural network

Process condition	Factor	Number of process condition
Cutting speed (v_c , m/sec)	3.14, 4.92, 7.67, 16.22	4
Feed rate (v_f , mm/min)	110, 185, 310	3
Cutting depth (d_c , mm)	3, 5	2
Cutting angle (a_c , °)	25, 40	2
Sum	5 times repeat	240

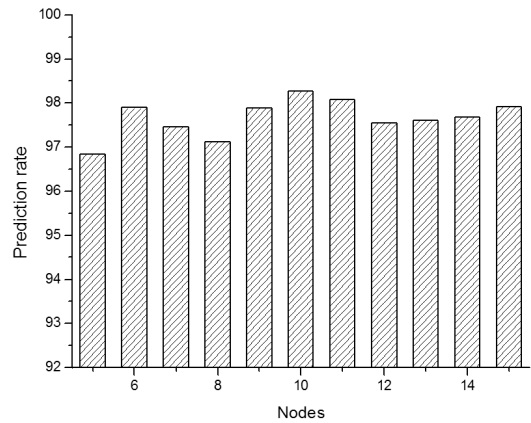


Fig. 10 Prediction rate of Neural Network

6. 결론

본 연구에서는 유연성디스크 공정을 숙련자에 의존하던 것을 신경망을 이용하여 자동화 데이터베이스 구축 기반을 마련하기 위한 목적으로 하고 있다. 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이를 인자로 평면부의 길이를 자동화공정에서 사용할 수 있는 화상처리의 분석결과와 신경망을 이용한 예측 값을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 절삭속도와 직선구간 길이는 전체적으로 반비례의 경향분석 결과가 도출되었다. 디스크 연삭 가공에서 공구의 회전 속도의 증가에 따라 배분력이 감소하여 공구 라버의 탄성력에 의한 출구부의 과절삭 증가로 인하여 직선길이가 짧아지는 결과를 얻을 수 있었다.
- (2) 절삭깊이와 직선구간의 길이는 전체적으로 반비례하는 경향을 보인다. 절삭 깊이가 증가함에 따라 공구라버의 탄성이 강해져

출구부에서 과절삭이 일어나는 구간이 길어지게 되어 직선부의 길이가 짧아지게 된다.

- (3) 높은 신경망의 예측을 얻기 위하여 입력인자와 은닉층의 변화에 따른 민감도를 분석하여 가장 우수한 4개의 입력인자, 10개의 은닉층, 1개의 출력층으로 구성된 구조를 선택하여 학습시켰다. 검증 데이터를 이용하여 98.3%의 예측율을 얻어 신뢰할 수 있는 수준의 예측을 할 수 있는 신경망을 구현하여 생산 자동화를 위한 데이터베이스의 구축 기반을 마련하였다.

위와 같은 결론으로 숙련된 작업자뿐만 아니라 이주어지던 디스크 연삭 가공의 직선구간의 형태를 재현하기 위한 데이터 베이스 구축의 기반을 마련함으로써 디스크 연삭의 자동화를 위한 기틀을 마련하였다.

후 기

이 논문은 인천대학교 2012년도 자체 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Roh, D. H., Lee, H. G., Park, H. S., Yoo, S. M., 2009, A Study on the Measurement and Analysis of FDGS Flat Zone, Proceedings of the Korean Society of Machine Tool Engineers Conference in Spring, 297-301.
- [2] Roh, D. H., 2012, A Study on the Analysis and Prediction of the Flexible Disk Grinding Process Flat Zone using Digital Image Slope Method and Neural Network, A Thesis for a Doctorate, Kyunghee University, Republic of Korea.
- [3] Yoo S. M., 2008, A Study on the Flexible Disk Grinding Process Parameter Prediction Using Neural Network, Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 17:5 123-130.
- [4] Yoo S. M., Kim Y. J., 2000, Modeling of flexible disk grinding process for automation of hand - grinding, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 26:4 376-383.
- [5] Kim J. M., Choi Y. W., Chung K. S., 2002, MPEG Video Segmentation using Two-stage Neural Networks and Hierarchical Frame Search, The Journal of the Korea Information Science 29:1 114-125.
- [6] Yoo S. M., 2004, A study on the linear motor feed flexible disk grinding system, Proceedings of the Korean Society of Machine Tool Engineers Conference in Spring, 381-386.
- [7] Kim S. J., 2000, A study on the Flexible Disk Grinding Process and Burr Analysis by using Neural Networks and Image processing, A Thesis for a Masterate, Kyunghee University, Republic of Korea.
- [8] Yoo S. M., 2007, A Study on the Flat Surface Zone of the Flexible Disk Grinding System, Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 16:6 125-132.
- [9] Lee S. W., Choi Y. J., Hoe N. H., Choi H. Z., 2006, The Optimum Grinding Condition Selection of Grinding System, Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Conference in Spring, 563-564.
- [10] Bae J. H., Yoo S. M., 2000, Analysis of Flexible Grinding Disk Deflection using Image Processing, Proceedings of the Korean Society of Machine Tool Engineers Conference in Fall, 314-319.
- [11] Park, K. W., Lee, J. H., Choi, B. O., Lee, M. K., 2000, Development of Robot Control and Measurement for Unknown Geometric Surface Grinding, Transactions of the KSME A, A 24:4 1039-1046.
- [12] Lee, S. W., Choi, Y. J., Hoe, N. H., Choi, H. Z., 2006, The Optimum Grinding Condition Selection of Grinding System, Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Conference in Spring, 563-564.
- [13] Lim, S. H., Jung, J. Y., Lee, C. M., 2006, A Study on the Development of CAD/CAM System for High Precision Cam Profile CNC Grinding Machine, Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 15:5 44-50.