

화상처리를 이용한 유연성디스크 가공 평면구간 측정에 관한연구

노대호*, 박환서⁺, 이홍국⁺, 신관수⁺⁺, 유승민⁺⁺⁺
(논문접수일 2010. 8. 4, 심사완료일 2010. 9. 15)

A Study on the Estimation of the Flat Zone Length by using Image Processing

Dae Ho Roh*, Hwan Seo Park⁺, Hong Guk Lee⁺, Kwan Soo Shin⁺⁺, Song Min Yoo⁺⁺⁺

Abstract

The goal of this study is to simplify the measurement process of the flat zone length produced by a flexible disk grinding system for the process automation. The image of workpiece in the grinding process is obtained, and the cutting speed and the feeding speed are controlled carefully to maximize the flat zone length. The gradient, the inflection point and the length of the line in the image are calculated, and the length is also measured by using a projector. Processing conditions and inversely proportional to flat zone length was changing. The flat zone length is estimated by Neural network algorithm considering the process conditions with the estimated error range as 0.06~3.61%, the Neural network algorithm for the grinding process estimation is found to be useful for building the process automation database.

Key Words : Disk grinding(디스크 연삭), Flat zone(평면구간), Processing condition(가공조건), Projector(투영기), Neural network(신경망)

1. 서론

기계가공에서 정밀도를 높이기 위한 방법 중 버를 제거

하는 새로운 공정이 많이 개발되고 있다. 이런 공정은 제품의 정밀도, 다듬질정도를 충족시키는 어려운 공정이다. 공작물의 정밀도를 만족시키는 방법 중 연삭작업으로 공작물의

* 경희대학교 기계공학과
+ 경희대학교 기계공학과
++ 인천대학교 기계시스템공학부
+++ 교신저자, 경희대학교 기계공학과
주소: 449-701 경기도 용인시 기흥구 서천동1

정밀도를 최종적으로 완성시키는 디스크 연삭가공을 들 수 있다. 디스크 연삭가공은 금형산업이나, 자동차, 선박산업에서 가공후의 잔류물인 버(burr) 및 용접후의 비디(bead)제거 작업에 사용되고 있다. 디스크 연삭은 일반 연삭가공과 달리 스톨의 유연성을 이용하여 공작물의 표면을 소량으로 연삭 절삭하는 가공법이라 할 수 있다. 그러나 생산성 향상을 위한 작업과 효율성이 거의 숙련공의 감각 의존으로 연삭작업을 하고 있는 실정이다.^(1,2) 체계적인작업을위해 숙련자에 의존하던 공정을 핸드북이나 전문가 시스템등 다양한 자료를 바탕으로 적절한 조건을 제시한다면 숙련자에 의존하던 작업을 컴퓨터의 발전과 더불어 자료화하여 비숙련자가 작업을 진행시켜도 동일한 결과를 얻고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.⁽³⁻⁷⁾ 또한 연삭가공에서 연삭기의 성능도 중요하지만 연삭에 따른 입자 및 입도도 대단히 중요하다. 알맞은 작업 조건을 선정하기위해 스톨의 회전과 이송, 절삭깊이, 스톨의 입도등의 연삭공정을 이용한 가공조건을 설정하여 공정시스템 기술개발도 중요하다고 본다. 디스크연삭 가공후의 공작물 가공표면은 비평면 형상을 나타낸다. 가공표면의 형상은 초기단계, 중기단계, 말기단계의 3단계로 구분이 된다. 초기와 말기단계는 디스크의 작업시작과 작업종료 시점이 되므로 공작물 표면의 과절삭이 일어나 라운딩 형상의 표면을 갖는다. 중기단계는 디스크의 끝부분이 공작물에 완전히 접촉하여 가공이 되므로 정상상태의 평면구간이 된다. 본 연구에서는 버를 제거하기 위한 연삭공정에서 디스크의 특성변화에 따른 평면구간을 직선구간으로 측정하기위한 길이에 대한 측정방법들 중 투영기에서 측정한 결과를 화상처리 기법을 이용한 결과와 비교하여 그 결과를 신경망을 통하여 예측하여 데이터베이스 구축을 하는데 이바지 하고자 한다.^(8,9)

2. 이론적 배경

2.1 연삭가공

공구와 공작물 사이의 기하학적인 구도의 변화에 따라 진행되는 유연성디스크 연삭가공은 용접비드와 가공잔류물인 버를 제거하는 작업으로 초기단계, 중기단계, 말기단계로 나눌 수 있다. 초기와 말기 단계는 연삭시편과 디스크 표면이 공작물에 완전한 접촉면적을 갖지 못하여 공작물의 표면이 안정적이지 못하다. 중기단계는 평면구간으로 가공면의 이상적인 가공결과라 할 수 있고, 가장 활용도가 높은 구간이다. Fig. 1은 유연성디스크 연삭가공으로 공구와 공작물의 경사각 변화에 따른 연삭가공이 진행된다.⁽¹⁾ P_1 - P_2 는 초기

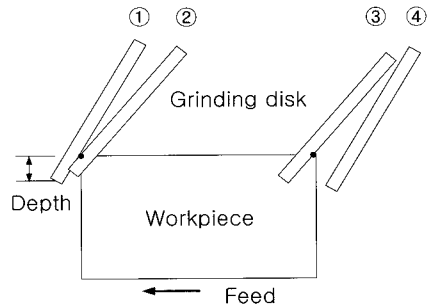


Fig. 1 Workpiece system

단계로 공작물과 접촉을 시작하여 끝부분까지 완전히 접촉될 때 까지의 시점이며, P_2 - P_3 는 중기단계로 디스크 끝부분이 완전히 공작물에 접촉하여 디스크의 변형이 일정하게 유지되며 평형상태의 가공면을 얻을 수 있는 정상단계를 말한다. P_3 , P_4 는 말기단계로써 중기이후부터 작업종료시점으로 변형이 되어 디스크가 원래의 상태로 되면서 과절삭이 발생된다.⁽¹⁰⁾

2.2 화상처리

화상의 에지(edge)를 이용 경계선 검출, 물체의 위치, 모양이나 크기를 입력영상을 통해 검출하는 방법이다. 에지를 검출하는 많은 방법들 중 특정한 용도에 잘 적용될 수 있으며 용도에 알맞은 에지를 검출하기 위해서 여러 차례의 실험이 요구된다. 본 실험에서는 화상이 가지고 있는 잡음등을 제거하기 위해 Matlab을 이용하였다. 디지털 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 밝기의 정도를 의미하고 픽셀에서의 광강도를 $f(x,y)$ 로 표시한다. x와 y는 정수이다.⁽⁶⁻¹¹⁾

2.3 직선구간의 연산

화상에서 직선과 곡선부가 만나는 지점(특징점)을 구해내기 위하여 구배 연산 방식을 사용하였다. 인접한 화소와 비교 시 연삭 작업에 의한 시편의 기울어진 가공면 또는 미세하게 기울어진 부분의 영향을 피하기가 어렵다. 따라서 식 1과

같이 좌우로 20개의 화소를 off-set하여 구배(α)를 연산하였다. 최적화 과정을 거쳐 식2와 같이 구배가 직선 임계값인 S_{pl} 이상되는 부분 중 일정구간 이상 연속되는 부분이 있는 시작 위치를 특징점으로 결정하였다(Fig. 2). 본 논문에서는 S_{pl} 의 값을 0.2로 설정 하였다. 양 특징점을 취득하여 화소의 수를 이용하여 양쪽 곡면의 부분의 길이를 연산하고 역산으로 직선구간의 길이를 산출하였다.

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

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

2.4 신경망

신경망(Neural network)은 비선형적인 관계를 예측 및 측정하기 위해 인간의 뇌를 구성하고 있는 신경세포들의 상호작용을 모델화한 것으로 학습이론에 따라 신호처리, 제어 패턴인식, 의학, 음성인식 등의 분야에 사용하기 시작하였다. 비선형적인 입력력 관계를 학습할 수 있고 같은 수의 데이터에 대하여 통계적 모델보다 뛰어난 정확성과 예측성을 가지고 있다. 신경망을 이용한 병행적인 상호작용의 계산요소들의 여러 가지 작용에 의해 이루어져 있다. 학습데이터의 신경망 구조는 입력층(input layer), 은닉층(hidden layer), 출력층(output layer)으로 구성되었으며, 서로 가중치(Weight)로 연결되어진다. 입력층을 제외한 모든 층의 신경세포에서 각 앞층의 신경세포사이의 가중치들의 곱에 의하여 가중합이 구해지며 역전파법(Backpropagation)을 사용하였다. 하위 층으로부터 나온 값이 가중치와 곱해지고 다시 합쳐져 다음 층의 입력값이 된다. 이 입력값은 다음 층으로 가기 위하여 활성화수에 의해 변환되게 된다.^(7,8)

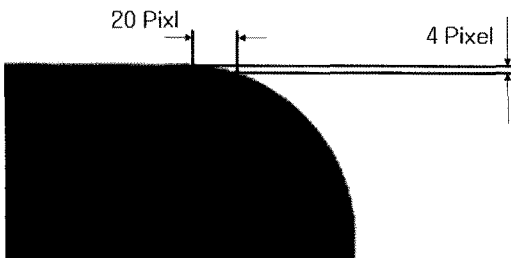


Fig. 2 slope analysis method

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서는 밀링머신을 이용, 50×80×5mm의 탄소강(SM45C)시편을 사용하여 각각의 절삭속도, 이송속도, 디스크각도, 절삭깊이의 인자를 주어 가공하였다. 연삭공구는 3M사의 blue diamond 형의 직경100mm 디스크 연삭 공구를 사용하였다(Fig. 3). 가공된 시편을 Mitutoyo PJ-A3000 (Table 1) 투영기를 사용하여 특징점 위치를 측정하였다.

3.2 실험방법

평면구간의 가공면을 확인하기 위하여 밀링머신의 주축에 3M사의 디스크 연삭공구를 장착하고 50×80×5mm의 시편을 가공조건외 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. 측정된 데이터를 Matlab를 이용하여 평면구간의 길이계산을 하였다. 신뢰성 있는 데이터를 확보하기 위하여 5회 반복실험을 하였다.

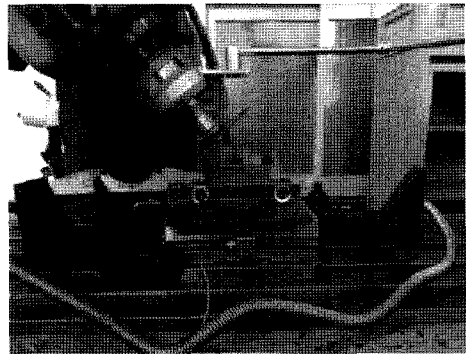


Fig. 3 disk grinding system

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)	188, 295, 460, 722
Feed rate(mm/min)	110, 185, 310
Cutting depth(mm)	5
Cutting angle(°)	40

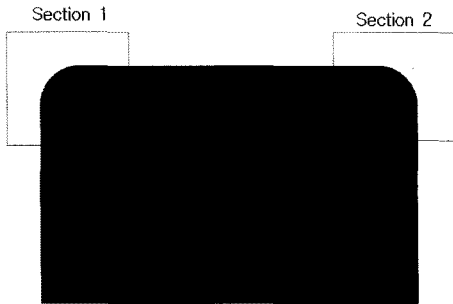
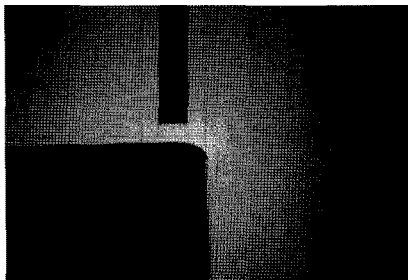


Fig. 4 Acquisition location of image



(a) calibration bar (b) Binary product image



(c) Acquisition image

Fig. 5 Image processing

3.3 화상처리

본 논문에서는 화상처리 기법을 이용하여 특징 점의 위치를 파악하였다. 해상도를 높이기 위하여 시편의 양 끝을 확

대 촬영하여 화상처리의 해상도를 높였다(Figs. 4~5). 카메라에서 취득한 영상을 이미지 처리하기 위하여 식 3과 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 2mm의 길이의 시편을 두어 화소 당 길이를 측정하였다(Fig. 5).

$$P_{ij} = \begin{cases} 1; & P_{ij} \geq Threshold \\ 0; & P_{ij} < Threshold \end{cases} \quad (3)$$

4. 실험결과 및 고찰

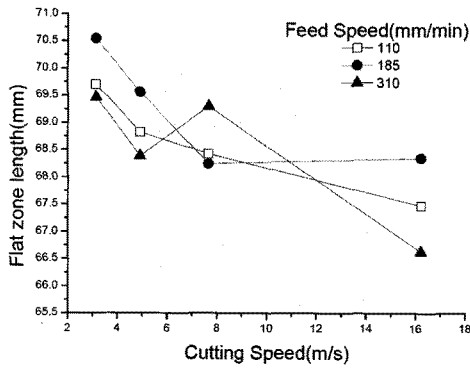
절삭시 발생하는 절삭력은 크게 F_x, F_y, F_z 로 분해할 수 있으며 각각 주분력, 이송분력, 배분력이다. 이와 같은 힘들은 연삭조건에 따라 변화하며 이는 또한 유연성 연삭디스크의 변형도 유발하게 된다. 유연성 연삭디스크의 경우 연삭단계(초기단계, 중기단계, 말기단계)에 따라 연삭디스크의 변형 형태가 변화하며, 이와 같은 변형은 초기 연삭각도 및 피삭재의 연삭량 그리고 절삭조건에 따라 피삭재의 굴곡의 발생량에 영향을 미친다. 그러므로 실험에 대한 분석은 절삭력 뿐 만 아니라 유연성 연삭디스크의 변형도 고려되어야 한다.

4.1 절삭속도에 의한 영향

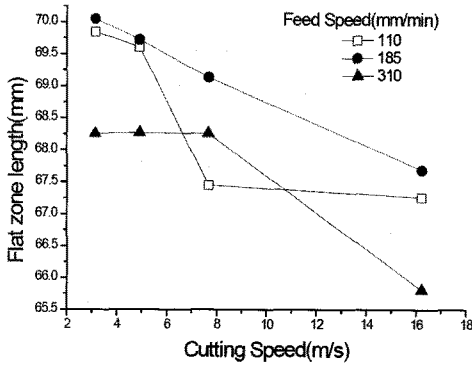
연삭속도에 의한 영향은 일반적으로 회전수가 감소하면 연삭시 필요한 힘을 충분히 받지 못하기 때문에 연삭력이 증가하게 되고, 회전수가 증가하면 미 변형 침투계가 감소하여 비 연삭 에너지가 증가하므로 연삭력이 증가하게 된다. 본 실험결과 절삭속도와 평면구간 길이는 반비례의 관계를 가지고 있으며(Fig. 6), 이송속도에 따른 경향의 변화는 거의 없다. 동일한 이송속도를 가지는 경우 절삭속도에 따른 평면구간 길이의 최대, 최소 변화량의 차이는 대략 2mm 가량 발생하며, 절삭속도가 증가하면 평면구간 길이가 감소하는 원인은 연삭력(F_x)의 증가에 따른 유연성 연삭디스크의 과도한 변형으로 추정되어 진다. Fig. 6(a)와 Fig. 6(b)는 각각 화상처리와 신경망을 이용하여 얻어낸 절삭 속도별 직선구간의 길이를 나타내고 있다.

4.2 이송속도에 의한 영향

연삭속도와 이송속도는 연삭입자에 의하여 연삭되어지는 연삭칩 두께와 높은 상관관계를 가지고 있다. 회전수가 일정

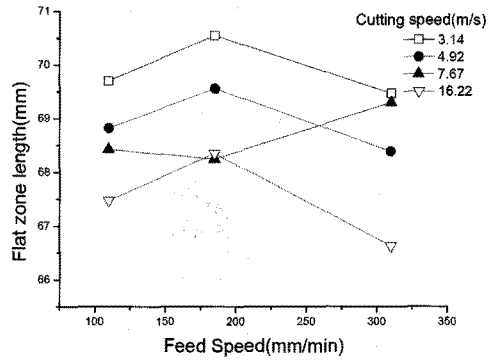


(a) Result of Image process

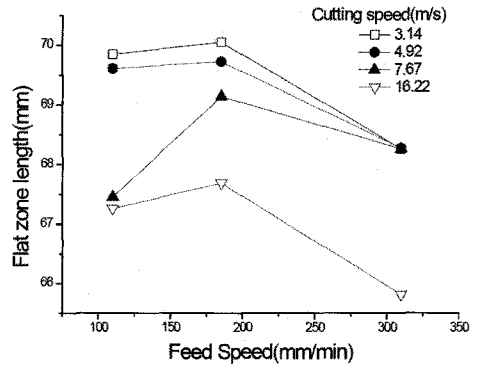


(b) Result of Neural Network

Fig. 6 Flat Zone Length vs. Cutting Speed



(a) Result of Image process



(b) Result of Neural Network

Fig. 7 Flat Zone Length vs. Feed Speed

할 때 이송속도가 증가하면 단일 연삭입자에 의해 제거되는 연삭칩의 두께는 증가하게 되며, 이송속도가 감소하게 되면 연삭칩의 두께가 얇아지면서 비 연삭에너지는 지속적으로 증가하게 된다. 이송속도가 너무 크게 되면 연삭입자의 연삭 깊이가 보다 연삭할 칩의 두께가 크므로 과도한 연삭력이 발생되고, 이송속도가 너무 작게 되면 연삭할 칩의 두께가 감소하며 비 연삭 에너지가 증가되므로 과도한 연삭력이 발생하게 된다(Fig. 7). 절삭속도가 7.67(m/s)인 경우를 제외하고 최적의 이송속도를 나타내고 있다. 동일한 절삭속도를 가지는 경우 평면구간 길이의 최대, 최소 변화량은 대략 2mm가량 발생하며 너무 낮거나 높은 이송속도는 연삭력 증가로 유연성 연삭디스크의 과도한 변형을 유발하여 평면구간 길이를 감소시키는 것으로 추정된다. Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)는 각각 화상처리와 신경망을 이용하여 얻어낸 이송 속도별 직선구간의 길이를 나타내고 있으며 Table 3은 데이터 베이스 구축을 위한 신경망 예측 결과를 보여주고 있다. 최대오차

Table 3 Result of Neural network prediction

Cutting Speed (m/s)	Feed (mm/min)	Flat Zone Length	Prediction	Error (%)
3.14	110	69.81	69.86	0.06
4.92	110	69.84	69.61	0.34
7.67	110	69.98	67.45	3.61
16.22	110	68.55	67.26	1.88
3.14	185	69.48	70.05	0.83
4.92	185	70.82	69.73	1.54
7.67	185	67.85	69.14	1.89
16.22	185	69.38	67.69	2.45
3.14	310	69.58	68.26	1.90
4.92	310	69.58	68.27	1.89
7.67	310	70.08	68.26	2.60
16.22	310	67.98	65.81	3.19

는 3.19%, 최소오차 0.06% 이며 평균오차는 1.85%로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 연삭단계에 따라 변형이 발생하는 유연성 연삭디스크에 대하여 각 연삭조건(Cutting Speed, Feed Speed)에 따라 피삭재의 평면구간을 투영기를 통하여 측정하고 이를 화상처리하여 평면구간을 정량화하였다. 연삭조건에 대한 실험적 고찰과 신경망의 예측을 통한 결과분석으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 적용한 가공조건에 대하여 산출한 평면구간의 길이는 반비례적으로 변화하는 것으로 나타났다.
- (2) 가공조건을 고려하여 산출한 평면구간 길이를 신경망시스템에 적용시켜 예측한 결과 오차는 최대 3.6%로 나타나 실제 제품의 품질을 비교적 정확한 범위 내로 예측할 수 있었다.

전문가의 확보가 어려운 분야에 상시 적용시킬 수 있는 데이터베이스의 확보가 가능하여 실제 가공조건 산출에 효율적으로 활용할 수 있는 기반을 구축할 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Yoo, S. M. and Kim, Y. J., 2000, "Flexible Disk Grinding Process," *Journal of the Korea Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 9, No. 5, pp. 13~24.
- (2) 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 Master, Kyunghee University, Republic of Korea.
- (3) Lee, S. W., Choi, Y. J., Hoe, N. H., and Choi, H. Z., 2006, "The Optimum Grinding Condition Selection of Grinding System," *Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Conference in Spring*, pp. 563~564.
- (4) Bac, J. H. and 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*, pp. 314~319.
- (5) Yoo, S. M. and Kim, Y. J., 2000, "Modeling of flexible disk grinding process for automation of hand grinding," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 26, No. 4, pp. 376~383.
- (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*, pp. 381~386.
- (7) Lee, J. B., Ju, S. Y., and Wang, G. N., 1997, "Selection of Machining Parameter of Electric Discharge Wire Cut Using 2-step Neuro-estimation," *The Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers* Vol. 10 No. 3, pp. 3125~3132.
- (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*, Vol. 16, No. 6, pp. 125~132.
- (9) 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*, Vol. 17, No. 5, pp. 123~130.
- (10) Roh, D. H., Lee, H. G., Park, H. S., and 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*, pp. 297~301.
- (11) Kim, J. M., Choi, Y. W., and Chung, K. S., 2002, "MPEG Video Segmentation using Two-stage Neural Networks and Hierarchical Frame Search," *The Journal of the Korea Information Science Society* Vol. 27 No. 2, pp 114~125.