

원통연삭시 휠속도 변화의 패턴인식을 이용한 채터감시에 관한 연구

A Study on the Monitoring of Chatter Vibration Using Pattern

Recognition in the Plunge Grinding

*이종렬(부산대 대학원), 송지복(부산대 정밀기계공학과), 하만경(부경대학교), 박재섭(부산대 대학원)

Jong Ryul Lee(Graduate school, Pusan Univ.)JI Bok Song(Pusan Univ.), Nam Kyeong Ha(Pukeyong Univ), Jae Seob Kwak(Graduate school, Pusan Univ)

ABSTRACT

Because the chatter vibration is a main factor to damage on the quality and integrity, The cure is required peticurity in cylindrical plunge grinding. The chatter vibration related with wheel speed, workpiece speed and infeed rate. Therefore, we expressed more credible normal signal and chatter signal Pattern in accordance with wheel speed and acquired RMS signal of the accelerrometer.

In this study, after finding the chatter pattern , we applied two parameters, standard deviation and Kurtosis, to Neural Network.

Key Word : Chatter Vibration(자러떨림), Acceleration(가속도계), Neural Network(신경망)

1. 서론

연삭 휠(Wheel)은 고속으로 회전하면서 무수히 많은 예리한 지립으로 피삭재를 깎아 면을 곱게 하고 정확한 크기의 완제품을 만드는 절삭공구이다. 이것은 제품의 생산공정 측면에서도 기계가공의 최종단계에 놓여 있기 때문에 가공정밀도가 제품의 품질에 직접 영향을 미치는 중요한 공정이다. 그러나 연삭가공은 다른 가공과는 달리 동일한 가공조건에서도 재현성을 얻기가 힘들고, 트러블 발생시 복잡한 파라메타들간의 직접적인 인과관계의 규명뿐만 아니라, 상호간의 정량화에도 어려움이 있다.^[1]

한편, 연삭기의 특성상 가장 필요로하는 고정밀가공을 실현하기 위해서는 가공물의 형상정도와 표면조도를 주로 지배하는 주축 회전계의 고정밀화가 요구된다. 일반적으로 범용연삭기의 유정압베어링 주축은 탄성체인 주축을 기본으로 몇 개의 유정압베어링이 임의의 위치에 조립되어 있는 시스템으로, 이들 구성부품의 치수 및 조립위치에 따라 주축시스템의 강성이 크게 변화하며, 이러한 강성은 정적처짐과 동시에 회전 모멘트를 가지게 됨으로써 연삭가공중에 진동현상이 발생하게 된다. 이러한 진동현상은 가공물의 형상정도와 표면조도에 큰 영향을 미치고, 연삭숫들의 급속하고 불균일한 마모현상으로 휠 표면의 파형(Wave) 형상을 증가시키게되고 연삭트러블중의 하나인 채터 진동의 주요 원인으로 발전하게 된다. ^[2-3]

연삭가공에서의 채터진동은 다른 가공공정의 채터진동과는 재생효과등의 면에서 상당히 다른 것으로 알려져 있다. 이러한 연삭가공에서의 채터 진동의 안정성을 해석하기 위하여 연삭가공계의 특성방정식의 근으로부터 채터 진동의 진전을 시간영역에서 검토한 연구, 기계적시스템을 변형, 즉 휠의 속도를 변형시키므로써 채터진동을 억제하는 연구가 있다. ^[4-5]

그러나 이들은 실제연삭가공에서 실용화적인 문제나 돌발사태를 배제한 연구가 되어왔기 때문에 종래의 연구방식을 보완한 불연속적인 진동의 패턴을 인식, 처리 시스템을 구축이 요구되고 있다.

본연구에서는 범용 원통 플는지 연삭가공에 있어서 휠의 회전속도를 바꿔줌으로써 채터진동을 억제하는 연구를 기초로 하여 가속도 센서를 이용하여 가속도 원신호(Raw Signal)를 RMS 변환하여 주기적인 외력의 신호와 불규칙 채터 신호의 패턴을 명확히 밝혀내고 밀도함수를 이용하여 표준편차와 쿠루토시스, 두 개의 파라메타를 선정하여 패턴을 인식하는 시스템을 구축하여 패턴인식기법중 신경회로망기법을 이용하여 감시시스템을 구축하고 휠속도를 인공지능기법으로 제어가 가능함을 서술하려 한다.

2. 연삭가공공정의 모델

연삭가공공정상태의 운동방정식을 다음과같이 표현하였다.

$$m\ddot{y}(t) + C\dot{y}(t) + K_e y(t) = F$$

이때 연삭가공변위모드는 다음과 같이 표현하였다..

$$y(t) = A e^{\sigma t} \sin \omega_d t + B e^{\sigma t} \cos \omega_d t$$

이와같은 시스템을 구성하는 매카니즘을 살펴보면 다음과 같이 서술할 수 있다.

2-1. 연삭주축의 기하학적인 모델

일반적으로 연삭기 주축시스템으로 많이 사용되는 두개의 유정압저어널베어링과 한 개의 양면 유정압스러스트베어링을 갖는 주축시스템을 간략하게 나타

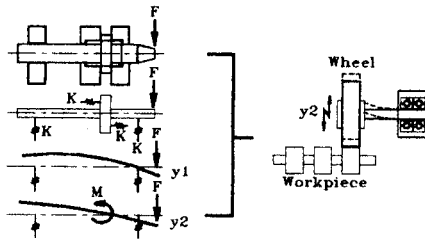


Fig.1. Deformation Modeling of Spindle System

내면 Fig1. 와 같다.

주축은 해석의 단순화를 위해 동일 직경의 보의 형태로 나타내었다. 주축의 시스템은 선단에서의 법선연삭력의 외부하중 F와 스러스트베어링에서 축의 굽힘으로 인해 스러스트원판이 주축의 회전중심축에 대해 미소각 θ 만큼 각변위하면서 발생하는 미지의 모멘트 M으로 구성된 부정정보의 구조물로 본다.

- y_1 : 주축의 회전중심축에 대한 미소각과 주축선단에서 받는 하중 F 로 인한 축의 처짐으로 본다.
- y_2 : y_1 의 처짐과 스러스트베어링에서의 모멘트 M에 의한 축의 처짐으로 본다.

이와같은 모델을 기초로 하여 연삭휠이 고속으로 회전중 공작물에 실제로 가해지는 절삭력은 법선방향의 연삭력만을 보았을 때, 시간에 따라 SINE함수로 연삭력이 전달된다고 가정하였으며, 절입이 진행됨에 따라 법선연삭력의 진폭은 지수적으로 증가 또는 감소 할수 있다고 가정하였다.

그식은 다음과 같다.

$$F = P_o e^{\sigma t} \sin \omega_d t$$

F : 실 연삭력

P_o : 회전오차와 축의 처짐으로 인한 진폭

$e^{\sigma t}$: 절입량의 조건에 따른 진폭의 증감.

2-2 연삭가공공정중 절입량에 따른 변위 모드.

연삭가공공정의 사이클에서 일정량 절입의 진행, 일정량 연삭가공, 스파크아웃으로 크게 구별할 수 있다. 이때 연삭숫돌의 변위모드는 연삭사이클에 따라 지수적으로 변위 진폭을 표현할 수 있다.

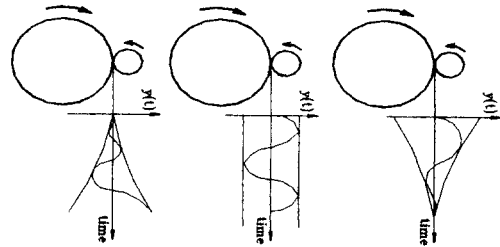


Fig.2. Deformation Classification in accordance with Grinding Conditions

$$y(t) = \bar{A} \sin \omega_d t + \bar{B} \cos \omega_d t$$

$$y(t) = A e^{\sigma t} \sin \omega_d t + B e^{\sigma t} \cos \omega_d t$$

σ : 절삭가공조건에 따른 상수

- (1) $\sigma = 0$ 일 때 일정한 절입속도로서 연삭공정이 이루어질때의 가공변위 모드
- (2) $\sigma > 0$ 일 때 접촉개에서부터 절입이 진행되고 있을때의 가공변위 모드
- (3) $\sigma < 0$ 일 때 Spark- Out가 진행되고 있을때의 가공변위 모드

이와같이 발생하는 연삭가공변위모드를

$$y(t) = A e^{\sigma t} \sin \omega_d t + B e^{\sigma t} \cos \omega_d t$$

연삭공정중에 가해지는 연삭력도 회전정밀도의 오차로 인한 절삭력의 가공변위를 지수적으로 증가 또는 감소함을 표현할 수 있다.

$$A = \frac{P_o [m(\sigma^2 - \omega_d^2) + (C\sigma + K_d)]}{[m(\sigma^2 - \omega_d^2) + (C\sigma + K_d)]^2 + [2m\sigma\omega_d + C\omega_d]^2}$$

$$B = -\frac{P_o [2m\sigma\omega_d + C\omega_d]}{[m(\sigma^2 - \omega_d^2) + (C\sigma + K_d)]^2 + [2m\sigma\omega_d + C\omega_d]^2}$$

따라서 위의 변위식에 대입하여 나타내면,

$$y(t) = \frac{P_0[m(\sigma^2 - \omega_d^2) + (C\sigma + K_e)]}{[m(\sigma^2 - \omega_d^2) + (C\sigma + K_e)]^2 + [2m\sigma\omega_d + C\omega_d]^2} e^{\sigma t} \sin \omega_d t - \frac{P_0[2m\sigma\omega_d + C\omega_d]}{[m(\sigma^2 - \omega_d^2) + (C\sigma + K_e)]^2 + [2m\sigma\omega_d + C\omega_d]^2} e^{\sigma t} \cos \omega_d t$$

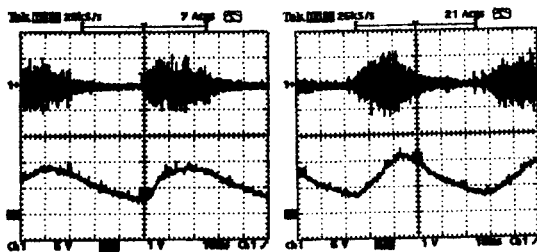
일정한 절입속도로 연삭가공이 진행되고 있을 때 $\sigma = 0$ 로 두고,

위의 식을 삼각함수 합성식으로 표현하면,

$$y(t) = \sqrt{\left(\frac{P_0[K_e - m\omega_d^2]}{[K_e - m\omega_d^2]^2 + [C\omega_d]^2}\right)^2 + \left(-\frac{P_0[C\omega_d]}{[K_e - m\omega_d^2]^2 + [C\omega_d]^2}\right)^2} \sin(\omega_d t + \phi)$$

와같이 표현이된다, 즉 결과적으로 시간에 따라 주기적으로 SINE함수로 가공변위가 발생하게된다.

휠의 회전속도는 1800rpm, 공작물 회전속도 50rpm, Infeed를 5 μ m/rev로 가공했을 때 가속도원신호와 RMS신호를 획득했을 경우 50ms의 주기적으로 신호가 발생하고 그변위또한 주기적으로 가공하고 있음을 알 수 있으며, 아래 Fig 3에서와 같이 가공변위는 SINE 커브를 잘따르고 있음을 알 수 있다.



(a) (b)

Fig.3. Acceration Raw and RMS Signal ; (a) Wheel Speed 1800rpm (b) Wheel Speed 1470rpm

3. 실험장치구성

3-1. 실험방법

실험장치는 Fig 4.에서 보는바와같이 구성하였으며, 원통 풀는지 연삭에서 가공상태를 감시하기위해서 공작물을 고정하는 Dead Center에 가속도계를 부착하였고, B&K가속도계에 전용으로 사용하는 증폭기를 이용하여 가속도의 원신호와 RMS회로를 이용하였고, A/D변환기를 이용하여 2 Channel로 동시에 데이터를 개인용컴퓨터에 저장하여 신호처리를 하였다. 이때 사용한 RMS변환기는 Analog Device Co. 의 AD536A를 사용하여 구성하였다.

일정한 절삭조건하에 연삭가공을 행하면 스톱표면에

마모가 발생하게 된다. 이러한 조건을 위해 처음 휠의 회전속도를 1800rpm,에서 떨림을 감시하고 다음 1740rpm에서 떨림진동이 발생할 때의 신호를 획득하여 비교분석해보았다. 그리고 공작물의 속도는 50rpm으로 일정하게 유지하고 절입속도를 회전당 5 μ m를 유지하였다.

휠의 회전속도를 1700~2000m/min, 공작물의 속도는 SCM4의 합금강일 경우 휠은 WA60K 계열을 사용하고 공작물의 회전속도는 6~20m/min을 사용하므로 이러한 절삭조건하에서 실험하였다

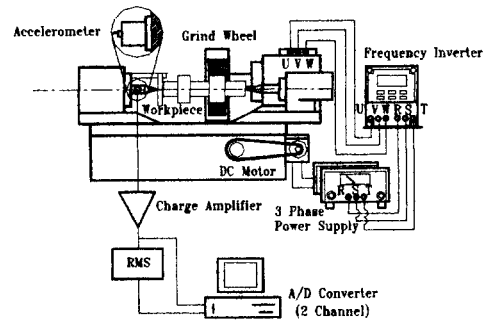


Fig.4. Experimental Set-Up.

3-2. 가속도센서에 의한 신호 검출

가속도 센서는 외부 진동에 의한 센서 내의 중추의 변위를 이용하여 가속도를 측정하는 센서로 0.2 [Hz] ~ 수십[kHz] 까지의 미소 진동을 검출할 수 있기 때문에 많은 부분에 다양하게 응용되고 있다.

본 연구에서는 가속도센서를 연삭력의 법선방향으로 데드센터(Dead Center)에 부착하여 연삭주축속도를 달리하여 공작물의 회전당 5 μ m로 가공할때의 진동신호를 원신호와 AD536A소자를 이용한 RMS신호를 동시에 획득하였다. 이러한 신호를 Fig.5.에 나타내었으며 Fig.5.에서 보는바와 같이 연삭주축의 회전정밀도로 인한 주기적인 진동신호와 채터가 발생하는 비주기적인 진동신호 이들을 RMS변환신도 역시 명확하게 패턴이 구별이 됨을 확실히 알수 있었다.

3-3. 실험결과

본 연구에서 정상상태의 연삭가공시 연삭숫들의 변위가 SINE파의 형태를 나타냄과동시 RMS신호역시 SINE에 가까운 신호의 형태를 지니고 있었다. 그에 반면 불규칙적인 채터신호가 발생할 경우의 가속도 원신호와 RMS신호 역시 비주기성을 지닌 불

규칙적인 신호가 나타 남으로써 채터신호와 정상상태신호의 패턴이 구별이 뚜렷하게 나타냄을 알수 있었다. 이러한 신호의 형태를 fig.5에 일정한 시간간격으로 휠 속도를 1800rpm과 1740rpm으로 변화시키며 신호를 획득한결과 얻을 수 있었다.

시간에 따라 획득한 RMS신호를 확률밀도함수로 구하여 정상연삭공정상태의 신호와 채터신호의 RMS밀도치를 나타낸 결과를 Fig 6에 나타낸결과 차이를 구별할수 있었다.

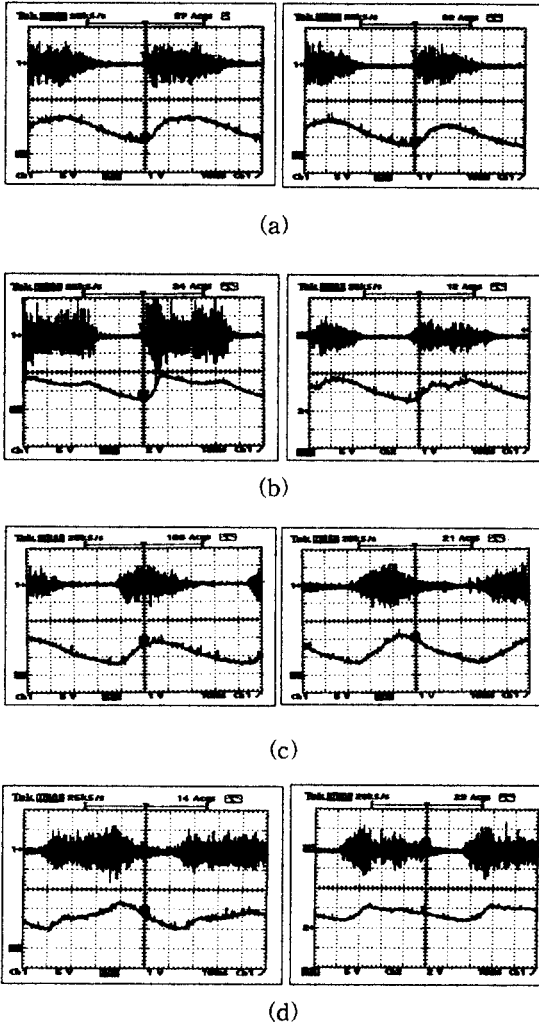


Fig.5 Acceration Raw and RMS Signal ;

- (a) Normal Signal When Wheel Speed 1800rpm
- (b) Chatter Signal When Wheel Speed 1800rpm
- (c) Normal Signal When Wheel Speed 1740rpm
- (d) Chatter Signal When Wheel Speed 1740rpm.

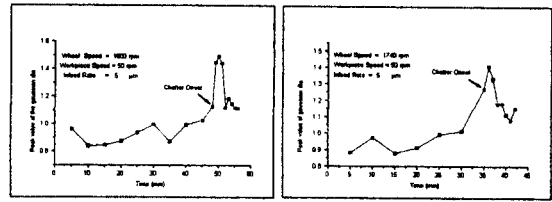


Fig.6 Peak Value of Gaussian Distribution function ; (a) Wheel Speed 1800rpm (b) Wheel Speed 1740rpm

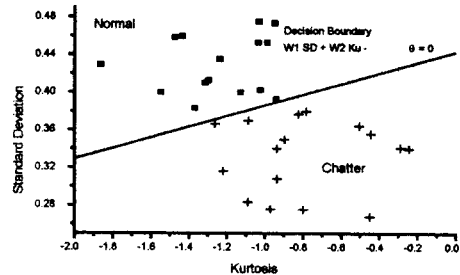


Fig.7 Linear Repartion for A Two-Dimensional, Normal-Chatter Pattern Classification.

4. 쿠루토시스(Kurtosis)

실효치의 평균값 m 에 대한 실표치빈도를 밀도함수의 형상의 정도(피크의 모양과 평탄한 형태의 관계성)를 나타내는 무차원양으로 그 정의는 다음식과 같다.

$$Kurt = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \left[\frac{x_i - m}{\sigma} \right]^4 \right\} - 3$$

여기서 -3은 정상분포에 대하여 0를 만들기 위한 상수이다.

5. 신경망 적용결과

본 연구에서는 연삭공정에서 발생하는 채터를 인식하기 위해서 패턴입력변수를 표준편차와 쿠루토시스를 사용하였으며, 신경회로망 프로그램은 상용프로그램인 Neural Works Professional II를 사용하였으며 퍼스널컴퓨터에서 실행하였다.

신경회로망의 구성도는 가속도의 RMS신호로 얻어진 2개의 입력층, 6개의 유닛을 갖는 1개의 중간층과 1개의 출력층으로 구성하였다. 이때 각 층에서의 뉴런을 활성화시키는 전달함수는 시그모이드 함수를 선정하였다.

Table 1. Supervised Data for the Learning

S · D	Ku	Learn Patten	S · D	Ku	Learn Patten
0.4125	-1.544	0	0.4707	-1.2339	0
0.4339	-1.6642	0	0.4205	-1.5417	0
0.3988	-1.4662	0	0.433	-1.2987	0
0.4236	-1.2665	0	0.4631	-1.2426	0
0.3997	-1.5215	0	0.361	-1.22	1
0.3558	-0.4455	1	0.2833	-1.0913	1
0.2759	-0.9718	1	0.308	-0.937	1
0.268	-0.4516	1	0.34	-0.2462	1
0.2755	-0.8	1	0.341	-0.2894	1

Table 2. Implementation Result.(I)

S · D	Ku	Result	S · D	Ku	Result
0.4125	-1.544	0.001	0.4707	-1.2339	0.001
0.4339	-1.6642	0.001	0.4205	-1.5417	0.001
0.3988	-1.4662	0.001	0.433	-1.2987	0.001
0.4236	-1.2665	0.001	0.4631	-1.2426	0.001
0.3997	-1.5215	0.001	0.361	-1.22	0.987
0.3558	-0.4455	0.987	0.2833	-1.0913	0.987
0.2759	-0.9718	0.987	0.308	-0.937	0.987
0.268	-0.4516	0.987	0.34	-0.2462	0.987
0.2755	-0.8	0.987	0.341	-0.2894	0.987

Table 2. Implementation Result.(II)

S · D	Ku	Result	S · D	Ku	Result
0.4661	-1.2447	0.001	0.4231	-0.9653	0.001
0.3983	-1.134	0.001	0.3958	-1.345	0.001
0.4125	-1.2143	0.001	0.4608	-1.3659	0.001
0.3469	-0.8216	0.987	0.4312	-1.341	0.001
0.3816	-0.8296	0.987	0.4633	-1.4876	0.001
0.3982	-1.0021	0.987	0.3655	-1.224	0.001
0.4095	-1.015	0.987	0.3466	-0.912	0.987
0.3558	-0.4455	0.987	0.2927	-0.9143	0.987

6. 결 론

가속도 신호를 이용하여 연삭공정상태를 연구함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연삭기, 연삭숫돌 그리고 공작물사이에 동적으로 연관되어 있는 정상연삭공정의 변위(주기적 변위)와 chatter발생시 불규칙적인 변위(비주기 적변위)는 RMS신호를 획득함으로써 패턴이 구별이 됨을 확인할 수 있었다.

2. 신경회로망을 적용하여 패턴인식을 통한 인 프 로세스 감시에 응용할 수 있었다.
3. 연삭 휠 속도의 변화로 chatter진동 억제연구를 기 초로하여 신경회로망을 이용하여 연삭휠의 속도를 On-Off제어가 가능함으로 알 수 있었다.

참고문헌

- (1)곽재섭, 김건희, 하만경, 송지복, 김희술 “신경회 로망을 이용한 연삭가공의 트러블검지” 한국정밀 공학회지 제 13권 제 11호 (1996.11)
- (2)이찬홍, 이후상, 박천홍 “연삭기용 유정압베어링 주축의 최적화에 관한연구” 한국정밀공학회지 제 13권 제 7호 1996.7
- (3) G.Xiao, S.Malkin “On-Line Optimization for Internal Plunge Grinding” Annals of the CIRP Vol. 45/1/1996
- (4) Tetsutaro Hoshi, Shigeru Matsumoto, Satoshi Mitsui “Suppression of Wheel Regenerative Grinding Vibration by Alterating Wheel Speed” Annals of the CIRP Vol. 35/1/1986
- (5) F. Hashimoto, A Kanai, M. Miyashita “Growing Mechanism of Chatter Vibration in Grinding Processes and Chatter Stabilization Index of Grinding Wheel” Annals of the CIRP Vol 33/1/1984.
- (6) K.Steffen, H.Follinger “A New Approach for Investigating Dynamic Effects in Grinding” Annals of the CIRP vol.34/1/1985.