

연삭기용 자동 밸런싱 장치의 설계 및 평가

장홍석* ,최대봉*** ,황주호***, 홍준희**

The design and evaluation of automatic balancing equipment for the grinding machine

Hong-Suk Jang*, Dae-Bong Choi***, Joo-Ho Hwang***, and Jun-Hee Hong**

(* 충남대 대학원, **충남대, ***한국기계연구원)

ABSTRACT

The balance of high speed spindle system with high precision rotation like grinding machine is very important. Traditionally, we use trial and error method to balance the spindle. It takes much time. So we are developing the automatic balancing equipment being used in the grinding machine. The balancing head we develop is wireless. It will be used high-speed grinding machine. We use influence coefficient method to control the automatic balancer. Experiments are based on automatic and manual balancing. We perform test of the vibration filter. It helps to remove noise. The filter and experiments with automatic balancing controller show that automatic balancing control can be successfully achieved with the quick response and good stability characteristics.

Key Words : Unbalance mass (불균형량), influence coefficient(영향계수), Manual balancing(수동밸런싱) Automatic balancing(자동밸런싱)

기호설명

- x_0 ; 복소수
- α ; 영향계수(influence coefficient)
- u_0 ; 자체 불균형
- u_c ; 교정질량
- u_i ; 시도질량

1. 서론

일반적으로 언밸런스의 수정방법에는 크게 나누어

2가지 방법이 있다. 하나는 기계의 외부(機外)에서 증력법을 사용하는 정적인 방법이 있고, 또 하나는 기상(機上)에서 원심력을 사용하는 동적인 방법이 있으며, 대부분의 경우 비용과 전문기술 부족의 이유로 전자의 방법을 이용하고 있는데, 이는 밸런스 수정에 많은 시간이 소요되고, 언밸런스량의 측정감도에 따른 밸런싱 수정효과 미흡, 그리고 연삭숫돌이 機外에서 초기밸런싱을 잘 수정했다 해도 기계에 부착후 가공시에는 연삭액의 침투가 숫돌의 밀도차이에 의한 언밸런싱 효과로 나타나게 되는 등의 문제점 때문에 회전축계를 실제적인 완전한 밸런싱 상태로 맞추는데에는 부족된 점이 많다. 그러므로 機上에서의 밸런싱 방법이 필요하며, 이에 의해 최근에는 외국에서 기구학적인 메카니즘을 이용한 방법, 유체를 이용한 방법들이 연삭기에의 전용품으로 개발되어 연삭숫돌 축에 부착 사용되고 있고, 국내에서도 가끔씩 이들을 고가로 수입하여 사용하고 있는 상황에 있다.

본 논문에서는 이와 같이 기상에서 밸런싱이 필요한 연삭기의 밸런싱 장치 중에서 자동으로 밸런싱을 해 줄 수 있는 장치를 설계 및 개발하는 것이다. 이는 크게 두 부분으로 나뉘는데, 기구부 설계와 Analog 및 Digital 신호 처리부 두 가지이다. 두 부분을 설계하고 완성된 자동 밸런싱 장치를 연삭기 주축 실험 장치를 구성하여, 그 특성인 회전정도, 온도의 변화에 따른 축 변위를 구하고, 이와 유사한 외국 제품을 동시에 실험을 통하여 특성을 파악하고 개발 품의 성능 및 특성을 파악해 보고자하는 것이 이 논문의 목적이다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 주축 실험장치

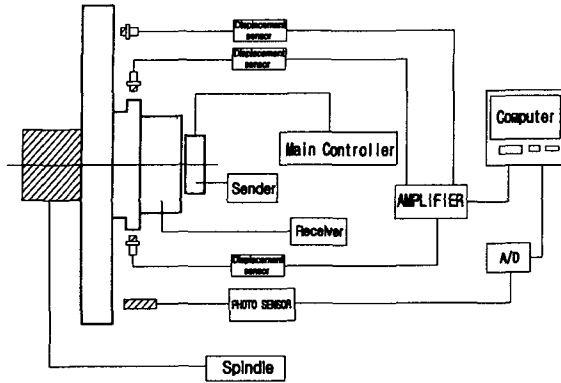


Fig.1 The schematic diagram of Automatic balancing equipment



Fig.2 The picture of experiment

위의 실험 장치는 벨트, 풀리에 의해 FANUC 2S/15000 모델의 AC 모터에 의해 구동이 된다. Fig.1은 개발된 실험장치를 주축 실험 장치에 부착한 그림이다. 원판 위에 무선으로 신호를 주고 받을 수 있는 수신기 및 송신기가 설치연결 되어 있고, 축 방향과 반경 방향의 변위를 측정하기 위한 센서가 1개씩 설치했고, 회전성분의 run-out 오차를 측정하기 위한 포토센서 및 변위 센서도 설치했다. 또한 실험 장치의 구동은 위와 같은 실험 장치를 구성하게 된 것은 연삭기 용으로 제작한 것이기 때문에 연삭기의 연삭휠과 같은 구조로 제작했다. 또한 중심을 기준으로 반경 방향 125mm에 30도 간격으로 언밸런스 량을 줄 수 있도록 교정 면에 나사 구멍을 만들었다. 기

본 실험으로서 잔류 불균형 량을 측정 할 때 이 홀에 Trial mass를 달고 실험을 했다. 이는 잔류 불균형 량이 존재하고 있는 상태에서 자동 밸런싱 장치가 어느 수준까지 진동을 제어 해 줄 수 있는가에 대해서 알기 위해서 이다. 이 실험과 같이 주축의 온도 변화를 측정하기 위해서 써모 커플을 축의 각 부분에 설치해 해서 열의 변화를 측정하였다.

또 다른 실험은 필터에 관련된 실험인데, 필터는 다음의 Analog 및 Digital처리 부의 설계에서 나오겠지만, 실험 중에 저주파의 진동이 들어오게 되었는데, 이때 자동 밸런싱 장치에서 약간의 이상이 발견이 되었는데, 이로 인해 개발된 필터의 실험을 통하여 어떤 문제인지를 파악하기 위해 필터의 실험도 함께 수행하였다.

3. 자동 밸런싱 장치의 설계

3.1 기구부 설계

Rotary Transformer로써 전력을 전달반송 파를 사용하여 방향정보를 변조시켜 함께 실어 보낸다. 수신 측인 Weight mass측에서는 원래의 방향정보를 얻기 위해 변조된 신호를 복조 시켜 모터를 구동한다. Fig.6에서 보면 balancer weight

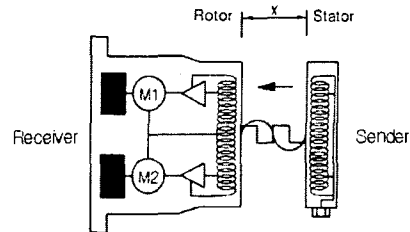


Fig.3 The schematic of Receiver and Sender

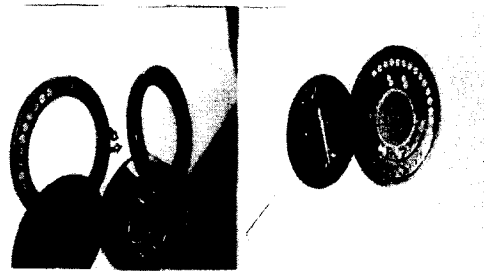


Fig.4 The structure of Receiver

3.2 벨런싱 장치의 구동방식

자동 벨런싱 장치에서 자동으로 벨런싱을 해주는 것만이 아닌, 수동으로 adapter를 이동하여 작업을 해주던 번거로운 좀더 개선한 방식을 적용하였다.

3.2.1 자동 벨런싱 방식

이 벨런싱 방법은 공차 및 공차범위를 입력을 해주면, Fig1.에서 보면 수신기가 원판에 장착되어 있는데, 수신기(Receiver)내는 두 개의 모터에 연결된 내장형 벨런서 웨이트가 있다. 이 둘이 회전하면서 언밸런스 량이 있는 위치의 반대편에 위치하게 되고, 공차 범위에 들어 올 때까지 정확한 위치를 찾게 된다. 공차 범위에 들어오는 위치를 찾게되면, 대기하고 다음 명령을 기다린다.

3.2.2 Manual 벨런싱 방식

$$x_0 = v_0 \exp(j\phi_0) = au_0 \quad (1)$$

$$x = v \exp(j\phi) = au = a(u_0 + u_t) \quad (2)$$

식(1)와 (2)에서 a 를 구하면

$$a = \frac{x - x_0}{u_t} \quad (3)$$

$$u_0 = \frac{x_0}{a} = \frac{u_t x_t}{x - x_0} \quad (4)$$

$$u_c = -u_0 = -\frac{x_0}{a} = \frac{u_t x_0}{x_0 - x} = m_c r e^{(j\phi_c)} \quad (5)$$

$$u_c = u_t e^{(j\psi + \alpha)} + u_t e^{(j\psi - \alpha)} \quad (6)$$

이 방법은 Automatic(자동) 벨런싱 내의 내장 웨이트의 제어범위 보다 불균형 량이 크게 되면 연삭 휠에 부착된 편자에 의해 제어를 하는 방식으로 단면 벨런싱의 방법 중에서 한가지인 영향 계수를 이용한 방법이다. 처음 어떤 a 라는 각을 가지고 편자를 위치시키는데 이는 영점을 잡기 위해서이다. 영점의 위치가 결정되어 장치를 구동시키면, 메인 콘트롤러에서 불균형 량을 구하게 된다. 이 양에 의해 편차의 위치가 스크린에 나타난다. 그 위치로 이동한 후, 수 차례 수행하

여 원하는 진동 량이 나오면 작동을 멈추게 된다.

3.3 Analog 및 Digital 신호 처리부

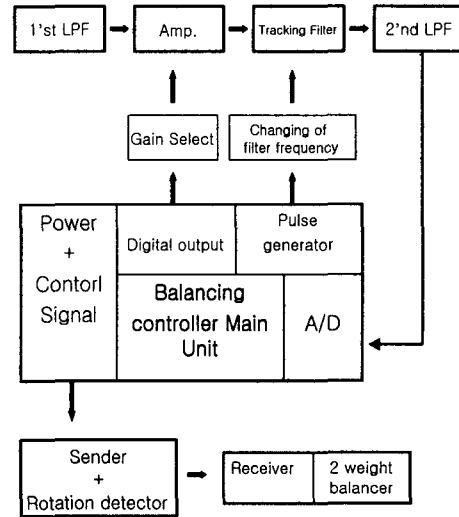


Fig.5 The algorithm of system process

3.3.1 Analog 신호 처리부

진동신호를 검출하는 센서에는 가속도 센서를 사용한다. 진동신호 검출부, Op Amp를 사용한 초단 Low pass filter부, 신호를 증폭하는 신호증폭부, 측정 회전수의 변화에 따라 진동 신호의 주파수도 변화 회전수를 검출하여 밴드패스필터(Band Pass Filter) 필터의 중심 주 파수를 연속 가변 하는 방법은 회전수에 비례한 클럭신호(Clock Signal)클럭신호를 연속 가변 공급하면,

회전수에 추종 진동 신호 획득하는 Tracking filter 누적 클럭성분을 제거하기 위한 필터 Op amp를 사용하여 2차 Low pass filter로 구성된다.

3.3.2 Digital 신호 처리부

Filter 처리된 입력 진동신호를 디지털 정보입력 8bit 분해능의 Analog to digital변환기 채택 A/D변환부, 회전수의 검출, 조작 Key입력, 벨런싱 조절 출력, 벨런싱 완료 신호출력, 조작 상태 표시를 위한 입출력 포트인 In/Output인터페이스부, Tracking filter에 공급하는 클럭발생과 RPM.을 카운트하기 위해 Timer/Counter가 필요하며,

조작상태표시, 회전수, 진동 량을 표시해주는 디스플레이부, 입력된 진동신호, 회전수, Reference신호를 판단 처리Weight mass를 진동상쇄 위치로 이동하는 Computer Processing부가 있다.

5. 실험결과 및 고찰

5.1 필터실험

회전 주파수 f_0 를 기준으로 하여 각 RPM.별로 실험을 행하였다. Input 신호는 실험 장치에서 나타난 것과 같이 MF10(Tracking Filter)를 구동하기 위해서 Clock Pulse를 신호로 주게 된다. 각 RPM.별로 구한 회전주파수를 가진 Sine파, Noise를 합성하여 정해진 주파수의 Sine파를 입력하였을 때, 회전 주파수에 해당하는 Sine정현파 이다. 입력과 출력을 식으로 나타내면 아래와 같다. 여기서 f_0 는 각 RPM.에 따라 변한다. 실험에서는 4000rpm에 대한 회전주파수에 의해 실험을 하였다.

<입력신호>

$$y(t) = \sin(2\pi f_0 t) + 3\sin(2\pi f t) + \text{noise}(3V)$$

<출력신호>

$$y(t) = \sin(2\pi f_0 t + \varphi)$$

그림과 같이 입력신호가 1000Hz의 고 주파수에서는 일정한 결과를 나타냈지만, 회전 주파수보다 낮은 주파수 대역에서는 일정한 결과가 나오지 않았다. 이로서 저주파에 대해 취약한 구조를 가지게 되어있는데, 주축이 공작기계에 조립이 되었을 때는 저주파 보다 고주파의 영향이 커진다.

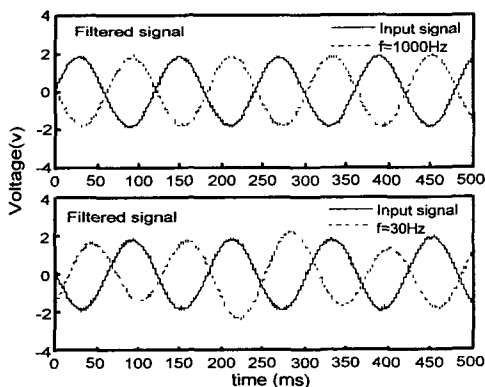
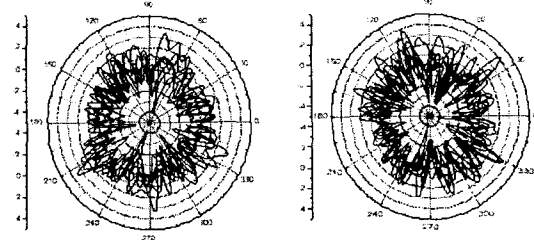
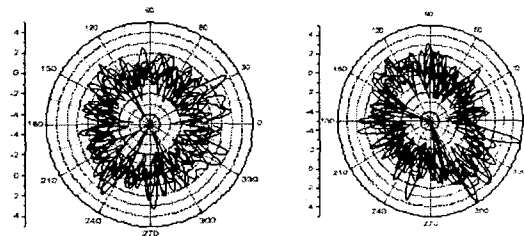


Fig.6. The comparison of filtered signals

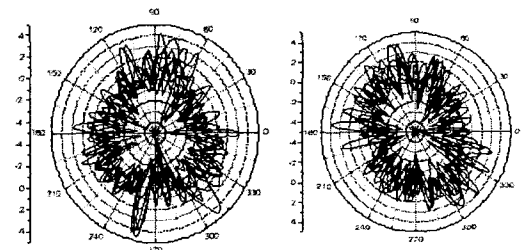
5.2 Rpm.에 따른 회전정도 평가(비교)



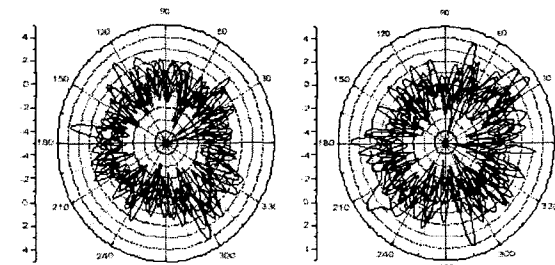
1000rpm(8.14 μm)(foreign) 1000rpm(12.95 μm)(korea)



2000rpm(10.47 μm)(foreign) 2000rpm(12.96 μm)(korea)



3000rpm(11.70 μm)(foreign) 3000rpm(13.47 μm)(korea)



4000rpm(13.97 μm)(foreign) 4000rpm(13.89 μm)(korea)

Fig.7 The comparison of roundness for rpm

5.3 자동밸런싱 작동·미작동시 온도, 축 변위

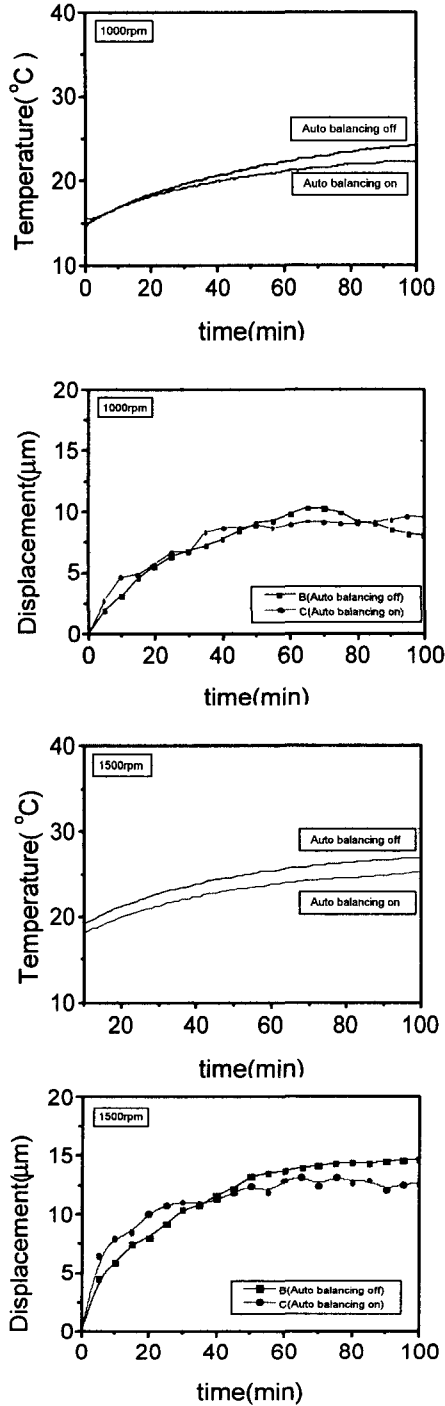


Fig.8 The comparison of displacement of temperature

5.4 온도변화에 따른 축 변위(비교)

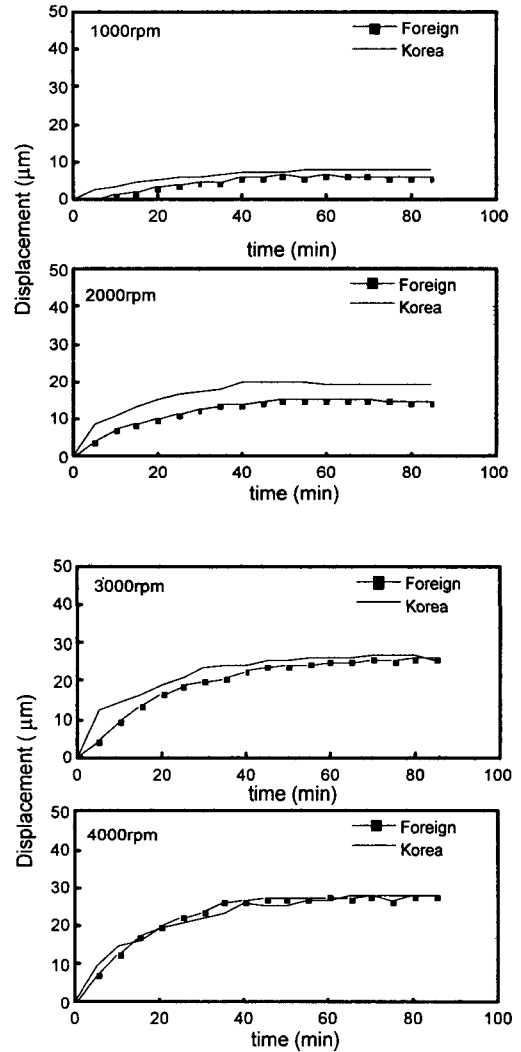


Fig.9 The comparison of axial displacement for RPM.

5.5 실험결과 및 고찰

Fig.6은 $f=1000\text{Hz}$ 인 노이즈와 $f=30\text{Hz}$ 인 노이즈가 들어갔을 때, Input signal 과 필터링 된 신호가 일치하는지를 보여주는 그림으로써, 첫 번째 그림에서는 일치하고, 두 번째 그림에서는 필터링 된 신호가 진폭이 커졌다 작아 졌다 하는 결과가 나왔다. 또한 위상 차가 두 그림 모두 180° 씩 나는데, 밸런싱 중에 서로 나누어지는 값이므로 진폭을

보면 된다. 이 그래프로 봤을 때, 저주파의 신호에 필터가 제대로 작동하지 않을 수 있다는 결과가 나왔다. 저주파신호를 제거 할 수 있는 필터링이 필요하다. Fig.7에서는 개발 품과 외국제품의 비교를 했다. RPM.이 증가하면 회전정도가 증가하는 방향으로 두 개의 제품이 같고, 회전정도는 1~2 μ m 정도의 차이로 유사한 회전정도가 나왔다. 이 결과로 볼 때 회전 정도는 일정 이상의 밸런싱이 행해지면, 많은 차이는 없다는 것을 알 수 있다. Fig.8에서는 자동 밸런싱 장치를 진동이 가장 작은 부분이 될 때까지 작동을 시켜 놓고, 계속 회전을 시켰을 때, 1000rpm에서의 온도 변화이고, 처음에는 온도의 변화가 없다가 20분이 경과하면서, 온도가 2~3 $^{\circ}$ C 가 떨어진 상태에서 수렴하는 결과가 나왔다. 이때 변위도 2번째 그림을 보면 30분 경과 후 부터 밸런싱이 off 되어 있을 때보다 2~3 μ m작게 수렴하고 있다. 이 결과로서 밸런싱이 좋아지면 좋아질수록 온도의 변화가 적어지고, 수렴도 빠른 시간 내에 진행이 되며, 변위 또한 같은 결과가 나타난다. Fig.9는 개발 품과 외국제품의 비교를 한 것이다. 전반적으로 외국제품과 유사하지만, 2000rpm에서는 조금 떨어지는 결과가 나왔다. 각 RPM.별로 그래프를 보면 1000rpm에서는 가장 적은 변위 에서 수렴했고, 2000, 3000, 4000rpm으로 갈수록 좀더 큰 변위에서 수렴을 했다. 이는 아마도 RPM.이 높아질수록 회전에서 발생하는 열이 크기 때문에 열변형에 의해 변위가 늘어나는 것이다.

6. 결과

이 논문은 연삭기용 자동 밸런싱 장치의 설계 및 평가에 관련된 논문이고 결과는 아래와 같습니다.

1. 필터링 실험을 통하여 회전중심 주파수보다 작은 주파수의 노이즈나 외란이 들어오면, 필터가 오 동작을 일으킬 수 있다.
2. 자동 밸런싱 장치를 작동해서 가장 작은 값에 수렴 할 때까지 작동을 하는 것이 초기의 온도나 변위는 크지만, 시간이 지날수록 수렴하는 값이 작아지고, 이에 따라서 더 좋은 결과가 나타난다.

3. 회전정도의 비교에서 온도에 따른 회전정도의 변화는 실험결과 큰 차이는 없었고, 자동 밸런싱을 사용했을 때와 하지 않았을 때도 큰 차이는 없었다. RPM.이 높아질 수록 회전정도는 커진다.
4. 축 변위의 비교에서 개발 품과 외국 제품 사이에서의 변위는 거의 유사하게 나타났다.
5. 결과적으로 기상에 부착되는 개발된자동 밸런싱의 특성평가에서, 외국 제품과 비교했을 때, 유사한 결과가 나왔다.

7. 참고 문헌

- (1) 이동환, 김영일, 1999, 현장 밸런싱의 사례연구, 한국기계연구원
- (2) J. VAN De VEGTE, 1978, Balancing of rotating systems during operation, University of Toronto
- (3) ISO 1940/1 - 1986(E)
- (4) 김동혁, 1989, 회전기계 진동의 비접촉 측정기술 개발 및 축진동 해석기술 개발, 한국 표준 연구소, pp 106 ~138
- (5) 박준호, 1995, 정밀 측정 시스템공학, 야정 문화사, pp243~256
- (6) 이영섭, 이종원, 회전체 밸런싱 장치의 성능 평가시험, 한국과학기술원 기계공학과