

Auto Balance System 개발

°권혁현, 권순걸*, 서기영*, 이현우*
동환시스템, *경남대학교

Development of the Auto Balance System

°H.H. Kwon, S.K. Kwon*, K.Y. Suh*, H.W. Lee*
Donghwan System Co. Ltd., *Kyungnam University

ABSTRACT

In this treatise, we developed a balance grinding appointment main axis of auto balancing that can control all vibrancy components and instability of cutting area, disturbance etc.. including high speed unbalance quantities more than 6,000 rpm on the basis of estimate control technology that consider grinding mechanism to purpose balancing on the top of machine.

1. 서 론

기계가공분야에 있어서 연삭가공에 관한 자동화, 무인화는 다른 가공방법에 비하여 매우 저조한 실정이다. 이것은 연삭이 최종 마무리 공정이라는 점, 가공 파라미터가 많다는 점 등에 기인되며, 특히 초고속화로 접근해 가면서 CNC화에 따른 고정밀화나 자동화를 추구함에 있어서는 자동 밸런스의 기술이 무엇보다도 중요한 요인으로 대두되기 때문에 필수적인 기술 분야로 취급되고 있다. 즉, 연삭가공에서 회전축계에 언밸런스가 있으면 고속회전이 될수록 강제진동이 발생하며 이것은 베어링에 주기적인 힘의 변동을 주어 연삭기 전체에 진동을 발생시키게 되고, 이로 인하여 연삭면의 가공정밀도(표면거칠기)를 저하시키게 됨은 물론 드레싱 수명과 베어링수명 및 나아가 기계전체의 수명단축을 가져오게 된다.

일반적으로 언밸런스의 수정방법에는 크게 나누어 2가지 방법이 있다. 하나는 기계의 외부(機外)에서 중력법을 사용하는 정적인 방법이 있고, 또 하나는 기상(機上)에서 원심력을 사용하고 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 밀도 차이에 의한 언밸런싱 효과로 나타나게 되는 등의 문제점 때문에 회전축계를 실제적인 완전한 밸런싱 상태로 맞추는데에는 부족한 점이 많다. 그러므로 機上에서의 밸런싱 방법

이 필요하며, 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.

2. 밸런싱 제어장치의 구성

2.1 아날로그 신호 처리부

2.1.1 진동신호 검출부

신호 검출부는 주축 회전시 발생하는 주축과 주축에 장착된 부착물체의 진동신호를 검출한다. 언밸런싱 진동신호를 검출하는 센서에는 가속도센서를 사용하였다. 선택된 진동센서의 사양은 다음의 표와 1과 같다.

표 1. 진동 센서 사양

Table 1. Specification of vibration sense

규격	0.002 ~ 65 μ m.
PRE_AMP.	내장형
DIEMENSION	\varnothing 50 × 50

2.1.2 초단 저역통과 필터

진동검출센서의 출력에는 진동신호 외에 예상 할 수 없는 고주파성분이 포함되어 있을 수 있다. 예를 들면, 예상 최대 회전수를 12000RPM으로 할 경우 약 200Hz 이상의 주파수 신호는 외란신호 일 수 있으므로 이를 제거 할 필요가 있게 된다. OP-AMP를 사용한 2차 저역 통과 액티브 필터를 구성하였다.

2.1.3 신호 증폭부

미약한 진동신호를 증폭하기 위해 이득을 변화시킬 수 있는 증폭부로서, 진동 센서부의 출력은 수십 μ V~수십 mV 정도로 미소하기 때문에 신호처리를 하기 위해서는 신호의 증폭이 필요하며 센서 출력 진동레벨에 따라 증폭도를 2단 (10배/100배)으로 전환할 수 있도록 설계하였다.

2.1.4 트래킹 필터부

측정 회전수의 변화에 따라 진동신호의 주파수도 변화하

므로, 밸런싱을 수행할 때의 회전수를 검출하여 밴드패스 필터(BAND PASS FILTER)의 중심주파수를 바꿔주어야 하는데, 이에 적합한 용도의 트래킹 필터에는 NS사의 MF-10을 사용하였으며, 필터의 중심주파수를 연속 가변하는 방법은 회전수에 비례한 클럭신호를 주면 된다. 클럭신호를 연속 가변 공급하면, 회전수에 추종하여 필터링이 이루어지며 필요한 진동신호를 얻을 수 있다. 밴드패스 필터에 사용된 MF-10의 사양은 다음의 표 2와 같다.

표 2. 밴드패스 필터에 사용된 MF-10의 사양
Table 2. Specification of MF-10 by using band-pass filter

MODEL NO.	MF-10 (NS社)
필터 주파수 범위	$f_0 \times Q < 200\text{kHz}$
최고 클럭주파수	1.5MHz
클럭 누설	10mV

2.1.5 종단 Low Pass Filter

트래킹 필터부를 통과한 신호특성에 약간의 클럭성분 신호가 누설될 수 있다. 미세하지만 보다 완전한 신호파형을 얻기 위해 누설 클럭성분을 제거하기 위한 필터이다. 밴드패스 필터의 중심주파수 보다 50 또는 100배의 클럭을 사용하므로 이 영역 이상의 주파수를 제거하는 OP-AMP를 사용하여 2차 저역 통과 필터로 구성하였다.

2.2 디지털 처리부

입력된 진동신호, 회전수, 기준(REFERENCE) 신호를 판단 처리하여 WEIGHT MASS를 진동상쇄 위치로 이동시키기 위한 중심적인 역할을 하기 위해 CPU의 속도와 처리능력, 인터럽트 및 입출력처리를 위한 편리성 등이 고려되며, 소프트웨어 작성을 위한 환경은, 고속처리 및 기계어 실행코드의 축소를 위해 어셈블리 언어를 사용하였다.

2.2.1 아날로그/디지털 변환부

필터링 처리된 아날로그 입력 진동신호를 디지털 정보로 변환하기 위해 8 BIT 분해능의 A-D 변환기를 채택하였다.

2.2.2 입출력 인터페이스부

회전수의 검출, 조작 KEY입력, 밸런싱조절 출력, 밸런싱 완료 신호출력, 조작상태 표시를 위한 입출력 포트로 Z84C004를 사용하여 인터럽트 입력과 범용 입출력을 함께 해결할 수 있었다.

2.2.3 TIMER/COUNTER부

트래킹 필터에 공급하는 클럭발생과 RPM을 카운트하기 위해 타이머/카운터가 필요하므로 상기 두 기능을 구현할 수 있는 적절한 제품으로 I82C54-2를 채택하여 설계하였다.

2.2.4 표시장치부

조작상태표시, 회전수, 진동량 표시를 위해 저소비전력과 입수하기 용이한 표준 20자 4줄 LCD MODULE을 채택하여 다양한 정보를 표시 가능하게 하였다.

2.2.5 전력/정보 신호 송신부

전력/정보신호 송신부는 전력전송 발진부, 전력전송 파워 앰프부, 전력전송 코일 및 에리검출부, 방향정보 신호 변조기 및 송출코일부로 구성되며, 밸런서 구동부가 회전축에 부착되어 있으므로 어떤방법으로든지 밸런서 구동부의 모터 및 제어회로에 전력과 방향정보를 전달하여야 한다. 밸런서 구동부와 약 5mm 정도의 거리를 선 연결없이 무선으로 전력과 정보신호를 송신하는 기능을 가진다.

2.2.6 송신 코어헤드 및 회전수 검출부

고주파 전력 송신용 페라이트 코어와 축의 회전수를 검출하는 부분으로 이루어진다. 밸런서 구동부(수신측)와 5mm 정도의 거리를 유지하며 전력과 정보를 전달한다.

그림 1은 위에서 설명한 밸런서의 구성도이다.

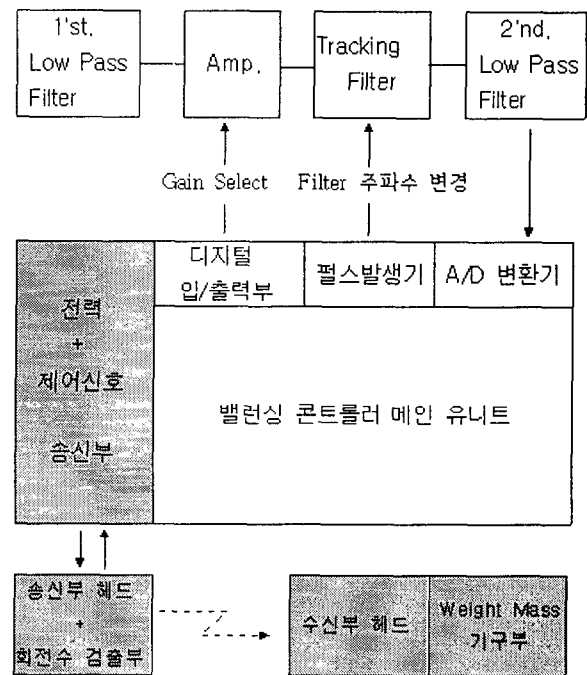


그림 1. 밸런서의 구성도

Fig. 1. Configuration of balancer

2.3 밸런싱 콘트롤러의 중요부 기술

2.3.1 진동입력 신호의 필터처리

센서에서 입력된 진동신호에는 필요한 진동신호 외에 여러가지 주파수를 가진 외란 성분이 섞여있게 된다. 따라서 어떤 방법으로든지 원래의 신호와 잡음신호를 분리하여야 하는데 필터가 필요하다. OP-AMP를 사용한 액티브(ACTIVE) 필터는 간단하게 설계할 수 있고 확실하게 동작된다. 그런데, 설계한 필터의 주파수 특성을 바꾸려 할 때, 또는 연속 가변으로 필터링을 할 경우는 매우 곤란하다. 즉, 액티브 필터나 패시브(PASSIVE) 필터에서는 대부분의 경우 2개 이상의 부품 상수값을 동시에 바꿔야 할뿐만 아니라 필터 주파수에 따른 부품의 상수값도 어중간한 값이 되어, 부품을 구입하기 어렵게 된다. 그래서 최근 스위치 커패시터

필터라고 하는 새로운 동작이론에 의거한 연속가변형 필터를 사용하여 해결하였다. 이 필터는 필터주파수를 가변하기 위한 방법으로 부품내부에 존재하는 적분회로의 입력상수를, 클럭주파수를 가변하여 인제든지 바꿀 수 있다. 그래서 정확한 진동신호만을 필터를 통해 얻을 수 있으며, 필터주파수는 회전신호에 비례한 클럭을 인가하면 된다. 다음의 그림 2는 스위치 커패시터 필터의 원리도이다.

그림 3의 측정파형은 필터링 되지 않은 원래의 입력신호와 트래킹 필터를 통과한 파형을 비교한 것이며 필터후의 파형의 진폭이 다른 이유는 계인을 가진 OP-AMP 출력측에서 측정했기 때문이다.

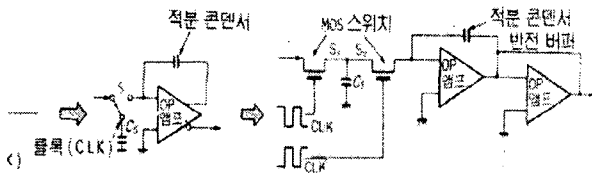


그림 2. 스위치 커패시터 필터의 원리도
Fig. 2. Principal circuit of switched capacitor filter

2.3.2 CPU처리 프로세스(PROCESS)

기준신호에 따른 최대 진폭의 위상을 카운터로 측정하고 진폭을 A-D 변환기로 읽을 수 있다. 진동상태를 위한 위치로 WEIGHT_MASS를 이동시키는 알고리즘을 구현하여 밸런싱 사이클을 완성시킨다. 아래의 그림 3파형은 기준(RPM) 신호와 진동신호의 위상 및 진폭을 나타낸다.

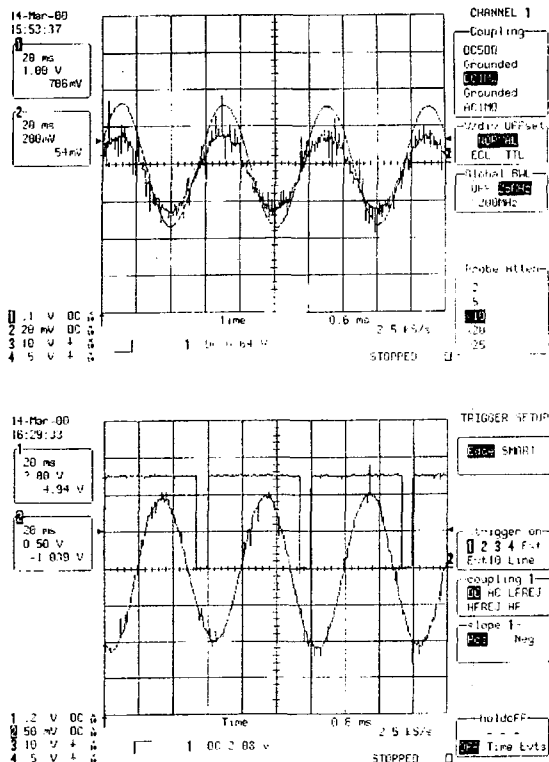


그림 3. 기준신호와 진동신호의 위상 및 진폭 파형
Fig. 3. Phase and width waveform of reference and vibration signal

2.3.3 BALANCE WEIGHT MASS 구동법

CPU에서 처리된 결과를 회전중인 WEIGHT_MASS측에 전달하는 방법으로 유선접속이 아닌 무선으로 구동모터에 구동 전력과 구동 방향정보를 동시에 전달하는 기술이 요구된다.

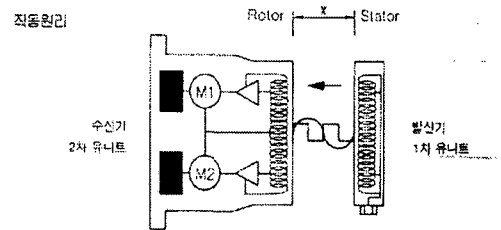


그림 4. 밸런서 웨이트의 무선구동방법
Fig. 4. Wireless driving method of balancer weight

본 제어장치에 채택된 방법은 일종의 로터리 변환기로서 전력을 전달 할 때, 전력선 통신기술인 반송파를 사용하여 방향정보를 변조시켜 함께 실어 보낸다. 물론, 수신측인 WEIGHT_MASS측에서는 원래의 방향정보를 얻기 위해 변조된 신호를 복조시켜 해당 모터를 각각 구동하였다.

2.3.4 모터구동 및 방향제어

밸런서 구동부는 전력 수신용 코일, 방향정보 수신용 코일, 제어부 기판, 2개의 모터, 그리고 기구부로 구성된다. 전력수신용 코일에 유도된 교류성분의 전압을 정류하고 평활하여 모터 및 제어기판의 전원으로 공급하고, 방향정보 수신용 코일에 유도된 변조성분의 신호는 전용 해독기를 거쳐서 모터1, 모터2가 각각 회전할 수 있게 한다.

3. 밸런싱 제어처리 프로그램

CPU 프로세싱의 시스템 초기화 처리로는 병렬 입/출력 포트(8bit x 4port) 초기화, 타이머 & 카운터 (16bit x 6port) 초기화, LCD.모듈(16문자 x 4라인) 초기화, 작업용 메모리 영역 초기화, 그리고 초기 작업 상수값 세트하였고, 디지털 입/출력 포트 처리로는 병렬 입/출력 포트처리를 위한 8 bit x 4 Port로 구성하여 KEY입력 처리, 상태표시 출력 처리, 회전수 입력을 인터럽트 처리, 그리고 필터 및 증폭도를 선택 처리를 하도록 작성 하였다.

타이머/카운터 처리부로는 회전수 측정처리하고, 트래킹 필터에 필요한 가변주파수 생성 출력 처리, 제어용 타이밍 처리 및 기준(rpm) 신호에 따른 진동위상 측정처리 하도록 하였다. 또한 진동변위 측정 및 연산처리부에서는 진동변위량 및 위상측정 데이터를 연산하여 2개의 밸런서 웨이트를 구동하는 이동량과 방향정보를 처리, 밸런싱 처리 가능한 진동형태 및 진동량 분석처리(최소,최대값 제한), 밸런싱 처리 시간 제한처리 등을 수행하도록 작성하였다.

파라미터 설정부에서는 밸런싱 수동회전수 설정, Low/

High balance tolerance 설정, 밸런서 구동출력 펄스시간 설정, 밸런싱 수행 주기 설정하였으며, 자동/수동 동작 처리부에서 수동 밸런서 조작 처리를 할수있도록 하였다. 그리고, 에러검출 및 처리부에서는 회전수 입력 에러, 최대 불균형값 초과 에러, 전력/방향정보 출력 에러 등을 처리할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 6,000rpm/7.5kw급 Auto-Balancing 주축 시스템의 고속·고정밀 연삭스핀들 설계 및 제작기술 개발과 고속 Auto Balancing 장치 개발로 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) 주축계의 정·동역학적 구조설계에 의한 진동모드, 위험 속도, 불균형 응답 해석을 통한 6,000rpm 연삭기용 고속·고강성 주축 시스템의 설계/제작기술을 정립하였다.
- 2) 연삭시 불균형에 대한 이론 정립과 밸런싱에 대한 기초 실험을 수행하여 연삭기 밸런싱의 기본특성 및 데이터를 축적하였다.
- 3) 진동신호, 필터링, 신호처리, COMPUTER PROCESSING 부 등 컨트롤러의 요소부를 제작하여 테스트한 결과 기능상 이상이 없었으며 Auto-Balancing 컨트롤러 및 밸런싱 헤드의 설계 및 제작기술 축적하였다.
- 4) Auto-Balancing 장치의 잔류불균형을 측정된 결과 최고 속도인 6000rpm 기준으로 Grade 0.287이 구현 가능하였으며 이는 정밀연삭기의 G0.4 등급을 이내이다.
- 5) 6,000rpm에서는 전반부베어링의 경우 3°C 상승하여 냉각 효과에 의해 양호한 결과를 얻었다. 이때의 변위는 3,000rpm인 경우 축방향으로 약 10 μ m, 반경방향으로 3 μ m, 6,000rpm인 경우 Z축으로 8 μ m, Y축인 경우 4 μ m 정도로 양호하다.

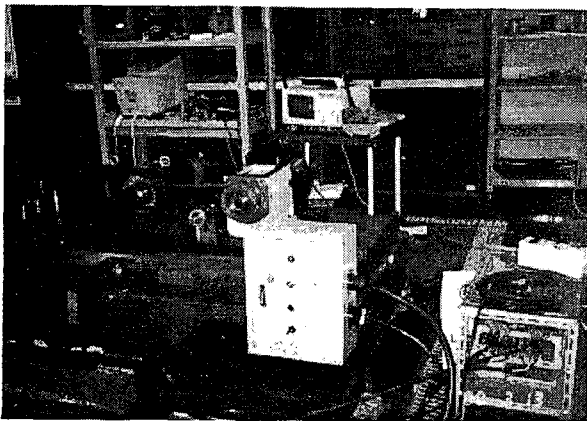


그림 5. 밸런싱 실험장면
Fig. 5. View of balancing experiment

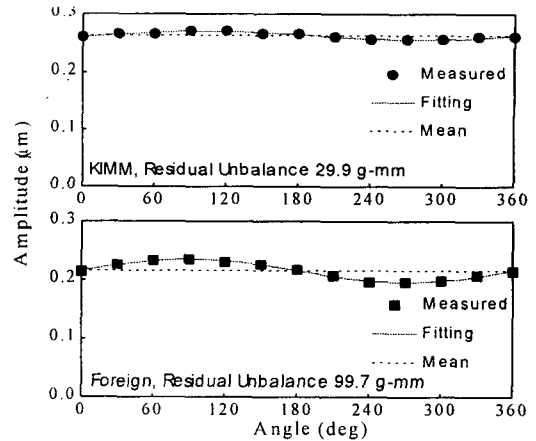


그림 6. 잔류불균형 평가 결과
Fig. 6. estimation result of current unbalance

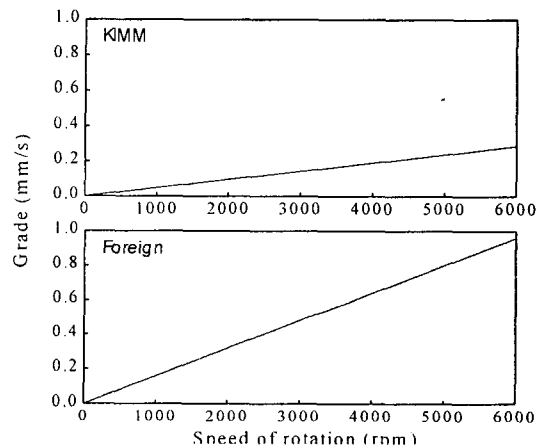


그림 7. 사용속도에서 불균형 수준 비교
Fig. 7. Unbalance level comparing with using speed

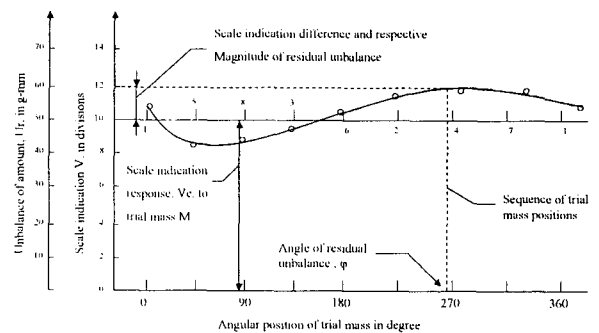


그림 8. 시도질량의 위치변화에 의한 진동크기변화
Fig. 8. vibration dimension variation by position variation of trial mass

참 고 문 헌

- [1] 권혁현, 이현우 외 3, "Auto Balance System 개발", 대한전기학회 경남지부 춘계학술발표회 논문집, pp. 186-188, 2002.4.20.