

홀 이펙트 센서를 이용한 밸런싱 머신 개발

The Development of Balancing Machine Using Hall Effect Sensor

장인훈¹, 남원기², 심귀보¹, 오세훈²

¹ 중앙대학교 전자전기공학부

E-mail: kbsim@cau.ac.kr

² 중앙대학교 기계공학부

E-mail: osh@cau.ac.kr

요 약

회전 기기에서 회전체의 편심은 언밸런스를 유발하는데 이를 보정하는 밸런싱은 회전 기기에서의 방진 및 저소음 설계에 중요한 항목일 뿐 아니라 회전기기의 안정성과 사용수명에 큰 영향을 미치기 때문에 매우 중요하다.

이러한 밸런싱 머신을 구현하기 위하여 편심을 정확히 측정하여야 하는데, 본 논문에서는 기존의 밸런싱 기기에 일반적으로 사용되고 있는 계측 원리와는 다르게 홀-이펙트 센서를 이용하여 편심을 측정하는 방식을 제안함으로써 저가의 계측 시스템 구성이 가능함을 보이고, 밸런싱 머신의 편심 측정부를 PC통신을 이용하여 제어하고자 한다.

Key Words : Balancing machine, Hall effect sensor, eccentricity, rotary machine

1. 서 론

ISO 1925(1990) 「평형잡기 용어」에 의하면, 평형잡기(또는 균형잡기)는 「회전체의 질량분포를 조사하고, 필요하면 이것을 조정하여 저널에 작용하는 회전속도와 동기인 진동이나 힘을 어느 지정 한도 이내로 되도록 하는 작업」으로 정의하고 있다. 즉, 회전체의 불평형(unbalance)이 작으면 작을수록 외력으로 작용하는 불평형 원심력이 작게 되어, 이에 따른 불평형 진동도 작게 된다. 따라서, 평형잡기 작업은 이 불평형을 ISO 규격 등에서 정의하는 허용 잔류불평형 이하로 수정하는 작업이다. [2].

이처럼 평형을 잡기 위하여 측정에 관한 수많은 소프트웨어가 개발되었고 편심 측정 그리고 밸런싱 작업에서 고성능 소프트웨어의 개발이 급진전되고 있다. 따라서 회전기기의 진동을 검출하여 편심 데이터를 획득하는 계측 시스템에 대한 연구와 설계는 의미가 있다고 할 수 있다.

본 논문에서는 회전기기의 편심 측정 장치로는 마이컴과 홀센서를 사용하고 편심 측정 장치의 제어 및 모니터를 위해서는 PC를 사용하는 밸런싱 머신을 제안하고자 한다.

특히 제안하는 편심측정기가 현재 밸런싱 기

기에 일반적으로 사용되고 있는 계측 원리와는 다르게 홀-이펙트 효과를 이용함으로써 기존에 비해 크기와 구조를 매우 간단하게 할 수 있으며 이를 통해 매우 저가로 시스템을 구현할 수 있음을 보이고자 한다.

이를 위해서 2절에서는 회전체에 있어서 발생하는 불평형과 밸런싱과 같은 제반 이론을 설명하며 그 필요성에 대해 언급한다. 그리고 3절에서는 본 논문에서 제안하는 편심측정기의 구성과 원리에 대해서 설명하고 4절에서는 측정기기를 통해서 우리가 얻은 데이터를 기반으로 해석을 하고 본 제안의 타당성을 보이겠다.

2. 밸런싱

2.1 불평형

불평형은 정적 불평형, 짝힘 불평형 그리고 이들이 조합된 준정적 불평형(Quasi-Static Unbalance)과 동적 불평형(Dynamic Unbalance)등으로 분류할 수 있다[3,4].

회전체에 불평형이 있다는 것은 어딘가 Heavy Spot이 있어서 회전체의 무게 중심이 맞지 않다는 것이다. 예를 들어서 커플링 허브를 커다란 도구를 내리쳐서 제거한다면 모서리

부분이 변형이 생기게 되고 무게 중심이 달라지며 회전시 편심에 의한 진동이 생기게 된다. 또한, 회전체에 이물이 불균일하게 부착되는 경우에도 편심이 생기며 회전체의 화학적 부식이나 물리적 부식 역시 편심의 원인이 된다[5].

많은 원인으로 인해 발생한 편심은 회전체의 진동을 발생시키게 되며 시간이 지날수록 그 변위는 점점 커지는데 한계 변위에 도달하게 되면 축의 약한 부위가 변형을 일으키거나 과도한 피로에 의해 파손되게 된다.

즉, 회전체의 불균형에 의한 주기적인 진동은 마모와 파손의 원인이 되며 이러한 현상은 정적 하중보다 기계에 치명적인 영향을 미친다. 따라서 회전체의 균형은 기계장치의 안전한 운전과 수명연장에 반드시 필요하며, 이를 위해 회전체의 불균형 질량을 보상해주는 밸런싱 작업이 전제되어야 한다[2].

3. 편심 측정기 구성과 원리

본 과제에서는 밸런싱 머신의 편심 측정부를 구성하기 위하여 기구부와 제어부를 설계 및 제작하였으며 그 결과를 PC에서 모니터링하고 분석할 수 있는 시스템을 구성하였다.

3.1 기구부의 구성 및 측정원리

제안하는 편심 측정기의 기구부는 그림 1에서와 같이 크게 변위 측정부, 모터 구동부, 위치 측정부의 세 부분으로 구성되어진다.

변위 측정부는 측정 대상 회전체의 편심을 측정하기 위한 부분으로 회전체를 상단에 체결할 수 있으며 홀센서를 포함한 하우징으로 구성되어 있다.

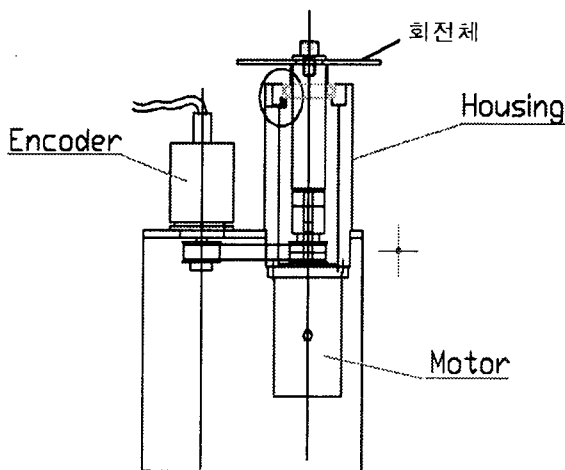


그림 1. 편심 측정기 전체도

모터를 포함한 모터 구동부는 측정 대상 회전체와 엔코더에 동시에 연결되어서 회전체를 회전시킴과 동시에 회전체의 회전위치를 측정할 수 있도록 설계되어 있으며 전원노이즈를 방지하기 위해 변위측정부와 전원이 분리되어 있다. 모터가 구동하게 되면 축과 축에 고정되어 있는 회전체가 회전하게 되는데 축이 자유롭게 회전할 수 있도록 축은 하우징의 상단에서 베어링으로 체결하였다.

위치 측정부를 구성하는 엔코더는 모터와 함께 회전하는 회전체의 회전위치를 측정하기 위한 것이며, 모터의 회전축과 엔코더의 회전축은 모터가 회전함에 따라 엔코더가 동작하도록 그림2와 같이 벨트로 연결되어 있다.

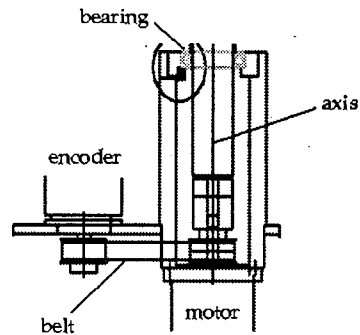


그림 2. 편심 측정기

3.1.1 편심의 유발과 측정변위의 발생

하우징 속의 축은 모터에 의해 회전운동을 하며, 축에 고정된 회전체는 축과 함께 회전한다. 이 때, 축에 고정된 회전체는 측정의 대상이며 실험을 위해 임의로 편심을 주었으며 이를 위해 그림 3의 왼쪽 그림과 같이 균일하게 연마한 원형 강체의 임의의 위치에 구멍을 뚫어 제작하였다.

강제로 편심을 주어 제작된 회전체의 회전운동은 축의 불균형을 유발하는데 이러한 불균형을 구속하지 않도록 모터와 축의 연결부위는 플렉서블 커플링으로 체결하였다. 이렇게 구속되지 않은 불균형 운동으로부터 편심을 측정하기 위해 하우징 상단은 그림 3의 오른쪽 그림과 같이 구성하였다.

그림에서 하우징 가장자리와 축의 베어링 사이에 일정한 간격으로 위치한 물질은 우레탄이다. 베어링과 하우징 외벽 사이에 탄성을 가진 물질을 사용하여 축의 이탈을 방지함과 동시에 편심에 의한 불균형 원운동을 일정하게 할 수 있도록 한다.

하우징 상단의 이러한 구조에서 자석을 베어링에 고정하여 불균형 원운동에 따른 진동을 하게하고 홀센서를 하우징에 고정시키면 회전시

에 자석은 고정된 홀센서에 대해 변위를 가지게 되며 결과적으로 편심에 따른 각 각도의 변위를 측정할 수 있다.

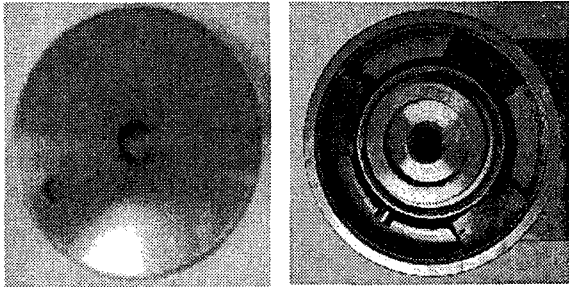


그림 3. 편심을 가진 회전체와 하우징 상단

3.1.2 자석과 홀 센서

적절한 자석을 선정하고 홀센서와 자석을 배치시키는 방법은 여러 가지가 있는데 본 제안에서는 그림 4의 박스그림처럼 배치시키고 홀센서를 자석의 N극에서 S극을 따라 평행하게 슬라이딩하도록 하였다. 그림 4는 자석의 중심에 대해 홀 센서 변위에 따른 센서 출력값을 나타낸다[5,6,7]. 그림에서 센서 출력값은 홀센서가 자석의 중심에 위치할 때 영점을 갖는다. 그리고 센서가 S극으로 움직이게 되면 출력값은 선형적으로 증가하고 반대로 N극으로 움직이면 선형적으로 감소한다.

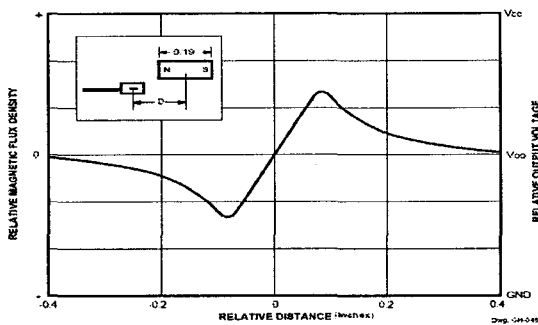


그림 4. 홀센서 출력 특성[5]

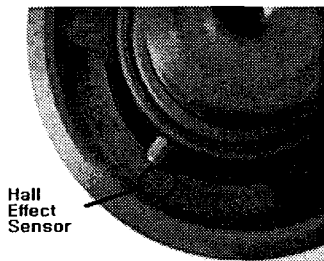


그림 5. 베어링에 위치한 자석과 센서의 배치위치

그림 4와 같은 특성을 이용하기 위하여 변위 측정부에서는 하우징 상단의 베어링에 자석을 그림 5와 같이 적절히 위치시키고 자석위에 홀센서를 배치한다. 특히, 센서가 선형 특성을 갖

는 범위 내에서 동작하도록 하였다.

베어링에 고정된 자석은 바깥쪽이 N극이 되도록 하였기 때문에 홀센서의 값은 자석 반대편으로 변위가 생길 때 양의 값을 갖는다.

3.1.3 엔코더

위치 측정부는 회전체의 진동에 따른 홀센서 출력값과 1:1로 대응하는 회전체의 위치를 검출하는데, 각 변위에 해당하는 위치각에 대한 정보를 획득하기 위해 위치 측정은 모터에 벨트로 연결되어 있는 엔코더가 수행한다.

위치 측정부에서 사용된 엔코더는 애플루트(SA58 series, Metronix) 타입이다[9]. SA58 엔코더의 출력 신호는 Gray code이며 분해능은 1024(10bit)이다. 엔코더로부터 얻은 위치 데이터들은 제어부에서 각각의 홀센서 출력값과 조합되어 회전체의 편심이 발생하는 위치에 대한 정보를 제공한다.

3.2 제어부와 모니터부

제어부는 Atmel사의 ATmega128를 사용하여 매우 간결하게 구성할 수 있었다[10].

PC와 RS232 시리얼 통신을 이용하여 획득한 데이터들을 전송하였으며 PC에서는 모니터 프로그램을 이용하여 편심위치를 확인하였다. 모니터 프로그램은 위치와 변위 그리고 최소 홀센서 값의 데이터를 실시간으로 출력한다.

4. 실험 결과 및 고찰

편심 측정기로부터 컴퓨터가 획득하는 데이터는 진동에 따른 변위와 그 때의 위치이며 얻어진 데이터를 분석하고자 10회에 걸쳐 데이터를 얻었다. 이에 대해 그림 6과 같이 분산형 그래프를 그리고 각각의 경우의 경향을 파악하고자 3차식의 추세선을 사용하였다.

그림에서 볼 수 있듯이 데이터 자체는 매우 많은 노이즈를 포함하고 있지만 추세선을 그리게 되면 10번의 실험결과가 거의 일치하기 때문에 실험결과는 유의성을 가진다고 할 수 있겠다.

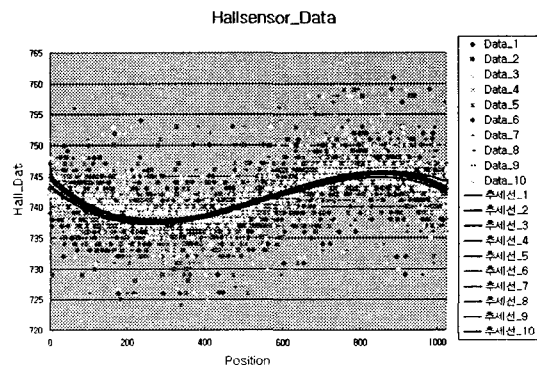


그림 6. 홀센서 데이터를 이용한 추세선

본 실험에서 편심의 위치는 홀센서 출력 전압이 가장 작은 값이 되며 따라서 획득한 변위와 위치의 정보들 중에 최소값을 가지는 위치가 최대 편심을 가지는 위치로 생각할 수 있다.

밸런싱 머신을 그림 7과 같이 모델링 한 후 문제를 정리하게 되면 다음과 같다.

$$m_1 \ddot{x}_1 + c_1 \dot{x}_1 - c_1 \dot{x}_2 + k_1 x_1 - k_1 x_2 = f_0 \sin \omega t$$

$$m_2 \ddot{x}_2 - c_1 \dot{x}_1 + (c_1 + c_2) \dot{x}_2 - k_1 x_1 + (k_1 + k_2) x_2 = 0$$

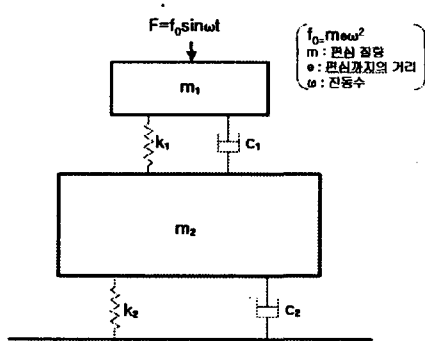


그림 7. 밸런싱 머신의 모델링

위의 식에서 m_1 , m_2 는 각각 지지대와 하우징의 질량이라고 놓고 k_1 , c_1 은 지지대의 고정부를 대략적으로 잡은 것이다. k_2 , c_2 는 우레탄의 물성치이다.

하우징의 상단부에 가해지는 힘

$$F = (m\omega^2)e \sin \omega t$$

이며, 이는 편심에 의해 가해지는 힘을 나타낸다. 이러한 조건을 고려하여 식을 계산하면,

$$X_1 = A \sin \omega t, \quad X_2 = B \sin \omega t$$

의 꼴로 표현하게 되어 진다.

여기서 우리가 주목할 것은 X_1 으로 우리가 Data로부터 얻은 것과 마찬가지로 싸인파 형태의 곡선으로 표현됨을 알 수 있는데 그림 6의 추세선으로 나타나는 경향과 일치함을 알 수 있다. 다만 실제 역학적으로 계산을 할 경우와 비교 해서는 약간의 위상차가 존재한다는 결과를 얻을 수 있었다.

5. 결론 및 향후과제

회전체의 편심은 회전기기의 안정성이나 수명에 치명적인 영향을 미칠 수 있기 때문에 회전체의 편심을 보정하는 것은 매우 중요하다. 이러한 밸런싱 작업에서 먼저 수행되어야 하는 것은 편심의 정확한 측정이며 편심 측정은 밸런

싱에 관련된 분야에서 기본적인 과정이라고 할 수 있다. 본 과제에서는 밸런싱의 기초가 되는 편심 측정을 위해 기구부와 제어부를 설계 제작하고 시리얼 통신으로 연결된 PC를 이용하여 결과를 모니터링하였다. 그리고 이를 통해 이러한 목적에 부합하는 범위 내에서 기존의 고가 계측 시스템을 대신하기 위해 홀 이펙트 센서를 이용한 저가 계측 시스템을 제안하였으며 그 가능성을 시제품과 실험결과를 통하여 제시하였다.

모듈화된 프로그램을 기반으로 최종 데이터를 산출하여 계측 시스템을 확인하게 되면, 실제로 우리가 찾고자 하는 편심의 위치를 확인할 수가 있었다. 하지만 실제와는 약간 다른 위치를 출력하게 되는데 이는 탄성체로 사용된 우레탄의 영향으로 위상차가 발생한 때문이다. 향후 과제로 탄성체의 정확한 탄성계수를 이용하여 이를 보정한다면 정확한 편심의 위치를 알 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] Daniel J.Inman, "최신기계진동학," 피어슨 에듀케이션 코리아, 2002.
- [2] 양보석, "회전기계의 진동 : 해석, 평가, 설계 및 대책," 인터뷰전, 2002.
- [3] 호프만 코리아, Technical Data, [Online] <http://www.hofmann.co.kr/jaryo.htm>
- [4] 장일현, "불균형(언바란스)의 형태," 밸런스 테크, [Online] <http://www.balancetech.co.kr>
- [5] Joe Gilbert and Ray Dewey, "Linear Hall-Effect Sensors", Applications Information, Allegro Micro- systems, Inc., Application Note 27702
- [6] 장인훈, 심귀보, 오세훈, "홀 이펙트 센서를 이용한 유성기어 감속기 모터의 동력 모니터링 시스템 개발," 한국 퍼지 및 지능시스템 학회, 2004. 12
- [7] Allegro MicroSystems, Inc., "3503 Ratiometric, Linear Hall-effect sensors", [Online]<http://www.allegromicro.com/data-file/3503.pdf>
- [8] William T. Thomson, "기계진동 : 이론과 응용," 사이텍미디어, 1998.
- [9] 메트로닉스, "로터리 인코더," pp.134-135, SA58Series, 데이터시트, [Online] <http://metronix.co.kr/product/download.php?no=72&file=file1>
- [10] ATMEL, "ATmega128(L) Complete," Datasheet, [Online] http://atmel.com/dyn/products/datasheets.asp?family_id=607