

홀 이펙트 센서를 이용한 유성기어 감속기모터의 동력 모니터링 시스템 개발

Development of the Mechanical Power Monitoring System for Planetary Reduction Motor using Hall Effect Sensor

장인훈¹, 오세훈², 심귀보¹

¹중앙대학교 전자전기공학부, ²중앙대학교 기계공학부

In-Hun Jang¹, Se-Hoon Oh², and Kwee-Bo Sim¹

¹School of Electrical and Electronic Engineering, Chung-Ang University, Seoul, Korea, E-mail: kbsim@cau.ac.kr

²School of Mechanical Engineering, Chung-Ang University, Seoul, Korea
E-mail: cauosh@cau.ac.kr

Abstract

감속기가 사용되어지는 경우 부하의 변동이나 구동부의 상태변화에 따라 모터의 토크, 회전 수 등이 변하는데 이러한 값들을 모니터링 하면 부하의 변동이나 구동부를 진단할 수 있다. 본 논문은 유성기어를 이용한 기어드 모터를 제작하고, LCD를 포함하는 간단한 사용자 인터페이스를 통해 전달 Torque, 전달회전수(rpm), 전달동력을 확인할 수 있는 소형의 표시기가 있는 감속기에 관한 것이다.

일반적으로 전달 토크를 측정하는 장비는 크기가 크고 고가이며 계측기를 연결하고 측정하는 과정이 매우 번거로울 뿐만 아니라 지속적인 유지보수가 필요한 단점이 있다.

본 논문에서 제안하는 유성기어를 사용하면 간단히 모터의 토크 및 회전수를 측정할 수 있고 측정값을 표시하는 표시기를 모터에 부착할 수 있다. 측정 및 표시기는 기존 가격에 비해 매우 값싸게 제작할 수 있고 유지보수가 필요 없으며 검출 값을 시스템 제어부에 피드백 시키면 자기진단이 가능해진다. 특히 블루투스를 이용한 무선 통신기능을 부과하면 원격 모니터링이 가능하고 복수 모터유닛의 네트워크 구성이 용이하며 인터넷을 통한 데이터 통신으로의 확장이 가능하다.

Keyword : Planetary gear train, Torque, RPM, Power, Ubiquitous motor

1. 서론

대부분의 모터는 모터 단독으로는 구현할 수 없는 큰 토크나 저속을 얻기 위해 감속기를 연결하여 사용한다. 실제 감속기는 여러 종류의 기어박스 형태로 응용되어 사용되고 있는데 각각의 감속비를 조정함으로써 원하는 토크와 속도를 얻는다. 많은 종류의 기어박스들이 사용되고 있지만 그 중에서 유성기어의 역할은 갈수록 중요해지고 있다. 유성기어의 이점으로는 높은 토크 효율, 소형화와 경량화가 가능하다는 점 등이 있다.

이러한 이유로 유성기어는 바퀴와 크랭크의 구동뿐만 아니라 큰 부하를 가지고 저속으로 회전시키는 구동부에 널리 쓰이고 있다[1].

따라서 본 논문에서 제안하고자하는 방법 또한

이 유성기어의 구조적인 특성을 이용한 것이다.

회전체가 회전할 때 회전 속도와 토크는 감속기 출력 측에 연결된 부하의 변동이나 구동부의 상태 변화에 따라 함께 변한다. 이는 역으로 회전속도와 토크를 측정함으로써 부하의 변동이나 구동부의 상태를 모니터링 할 수 있다. 또한 이들 값으로부터 엔진, 모터, 터빈 또는 기타 회전체가 발생시키고 소비하는 동력(power)을 계산해낼 수도 있다.

산업체에서는 ISO 9000과 그와 같은 종류의 품질제어표준에서는 특히, 조이는 기구가 사용될 때, 제조사로 하여금 그 토크를 측정하게끔 규정하고 있다[3].

토크센서를 이용하여 나사와 조립기계 상에 필

요한 토크측정을 자동으로 하기도 하는데 이렇게 측정되어진 데이터들은 제어와 감시의 목적으로 저장되어진다. 그 밖에 토크센서는 금속기계의 마모율 측정; 토크 장비와 센서들의 보상; 접촉력 또는 마찰력 측정; 스프링 테스트 등에 이용되어지고 있다. 토크를 측정하는 방법으로 스트레인게이지와 브리지회로를 이용하는 방법이 많이 사용되고 있다. 스트레인게이지는 샤프트에 직접 연결되어 사용되어진다. 토크측정을 위한 스트레인게이지로는 포일(foil), 확산 반도체(diffused semiconductor), 얇은 필름 타입 등이 사용된다. 이러한 것들은 납땜이나 접착제를 이용하여 샤프트에 직접 부착된다[3].

그러나 이것은 접촉식 방법이기 때문에 회전속도와 사용시간에 따른 수명을 가지며 유지보수를 위해 일부 또는 전체의 교체를 필요로 한다. 그리고 이를 위한 시스템은 부피가 크고 가격이 비쌌 뿐만 아니라 측정 전에 사전준비 작업이 여간 번거로운 것이 아니다.

토크와 함께 회전수(rpm)는 회전체의 상태를 알아낼 수 있는 중요한 또 다른 요소이다. rpm 측정을 위한 방법은 크게 3가지 그룹으로 분류할 수 있다. 기계적인 방법, 광센서를 이용한 방법 그리고 스트로보스코프(Stroboscope)를 이용한 방법이 있다[4].

광센서를 이용한 rpm 측정법이 가장 널리 사용되고 있는데 그 측정 범위는 0 ~ 100,000rpm이다. 측정 장치로부터 적외선을 회전하는 물체에 비추고 회전하는 물체의 반사 테이프로부터 그 빛이 반사되어 측정 장치가 그 반사된 빛을 이용하여 rpm을 측정하는 방법이다.

스트로보스코프(Stroboscope)를 이용한 방식은 주기적으로 점멸하는 빛을 운동하는 물체에 조사(照射)하여, 정지한 것과 같은 상태에서 운동체를 관측하는 장치인 스트로보스코프를 이용한다. 이 방법의 장점은 매우 작은 물체나 접근하기 힘든 장소에 있는 물체의 rpm을 측정할 수 있다는 것이며 그 측정범위는 100 ~ 20,000rpm정도이다.

본 논문에서는 또 다른 비 접촉방식으로서 유성기어의 구조적 특성과 함께 홀센서를 이용하여 토크와 rpm을 측정하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 토크와 RPM 측정

유성기어의 일반적 구조는 그림 1과 같이 선기어와 그 주위의 유성기어 그리고 내접원에 기어가 있는 링 기어로 이루어져 있다. 흥미로운 점은 이 세 종류의 기어 가운데 어떤 기어를 입

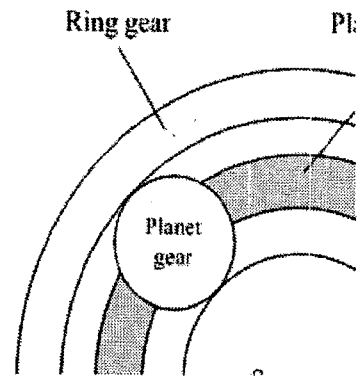


그림 1 유성기어의 일반적 구조

력으로 하고 어떤 기어를 출력으로 하느냐, 그리고 어느 기어를 고정하느냐에 따라서 감속비가 달라진다는 것이다. 감속뿐만 아니라 증속 또한 가능하다. 본 논문에서 제안하는 방법은 두 가지 경우에 관해서이다. 하나는, 선 기어를 입력으로 하고 링 기어를 고정시키며 출력축 샤프트를 유성캐리어(Planet Carrier)에 연결하는 것이고, 또 다른 하나는 입력을 유성캐리어로 하고 링 기어를 고정시키며 출력축 샤프트를 선 기어에 연결하는 것이다.

2.1 모터가 회전할 때 발생하는 변위

모터가 회전하면 작용-반작용의 힘에 의해 링 기어와 링기어 지지대 사이에 변위가 발생하게 된다. 발생 변위의 크기에 따라 홀 센서 출력 전위가 함께 변하게 된다. 회전력이 크면 클수록 반작용에 의한 변위는 커지며 이 변위의 센싱 값인 홀 센서 출력값은 그만큼 커진다.

링 기어 지지대의 재질로 탄성이 강한 소재를 사용하면 이 변위를 극대화 할 수 있다.

2.2 변위의 측정

홀센서의 실제 적용에 있어서 주로 영구자석과 한 쌍을 이뤄 사용되어진다. 선형성을 극대화하기 위해서는 발생하는 변위에 대해 자속세기가 큰 폭으로 변화될 필요가 있다. 그러므로 선형성이 필요한 대부분의 적용에는 일반적으로 자속의 세기가 큰 자석이 필요하다.

자석으로는 Samarium-cobalt 또는 Alnico 8의 재질이 추천되고 있다[6].

자석과 홀 센서를 배치시키는 방법에는 여러 가지가 있는데 그림2에서처럼 홀센서와 자석을 위치시키고 자석의 양극의 중심을 기준으로 슬라이딩하게끔 하면 그 중심(zero-field center)을 기준으로 음과 양의 출력값을 얻을 수 있다.

그림2의 그래프 상에서 보듯이 자석의 중심점

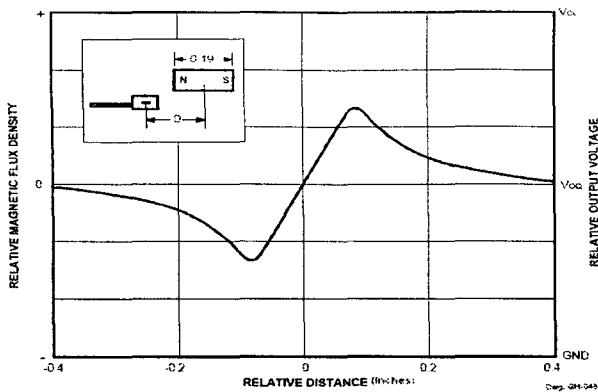


그림 2 Hall output voltage in sliding magnet[6]

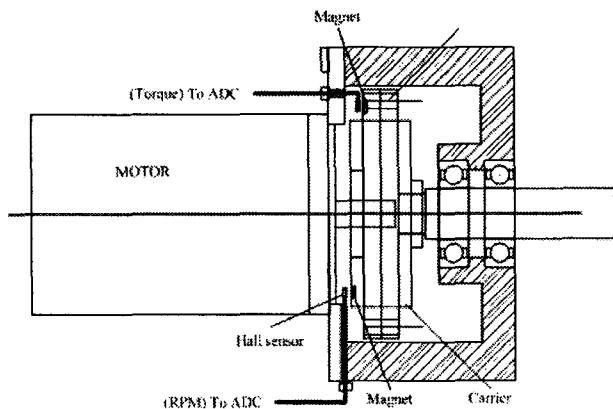


그림 3 홀센서와 영구자석의 부착

을 기준으로 비교적 좋은 선형성을 보이고 있기 때문에 본 논문에서 하고자하는 변위값 측정에 알맞은 방법이라고 할 수 있다.

그림 3과 같이 적절히 선택되어진 자석을 링 기어상의 몰드물에 구멍을 뚫고 직접 장착하였으며 링 기어지지대에 구멍을 뚫어 외부로 신호선을 빼내고 홀센서를 자석과 마주보게 하여 위치시키는 방법으로 홀센서를 간단히 부착하였다.

홀센서의 출력전압은 신호선을 통해 모니터링 시스템의 ADC입력값으로 들어간다.

변위와 토크와의 관계는 모터의 크기, 용량 그리고 타입에 따라 변한다. 따라서 여러 가지 기준 더미 토크를 이용하여 각각에 대한 변위를 측정하고 그로부터 기준 토크와 변위에 대한 관계식이나 LUT(Look Up Table)을 이끌어내야 한다. 본 논문의 실험에서는 홀센서의 비선형성과 흡사나 존재할 수 없는 알 수 없는 요소들을 고려하여 LUT를 이용하였다.

2.3 RPM의 측정

그림 3과 같이 캐리어상에 영구자석을 부착시키고 영구자석 반대편에 홀센서를 부착시켰다. 이 경우의 홀센서의 출력전압 또한 신호선을 통

해 모니터링 시스템의 ADC 입력값으로 들어간다. 만약 ADC 입력값이 기준값보다 크면 카운팅 플래그는 셋 될 것이며 반대이면 클리어 될 것이다. 우리는 이 플래그의 시간 주기를 계산함으로써 RPM을 계산해 낼 수 있다.

3. 토크, 회전수(RPM), 동력의 계산

3.1 출력 토크

ADC의 출력 값은 관계식이나 LUT를 이용하여 소프트웨어적으로 보상(Calibration)되어야 한다. 이렇게 보상된 값은 측정 토크값(Measuring torque)이 되고 측정 토크 값으로부터 다시 다음의 값에 의해 계산되어진 값이 화면에 표시되는 출력 토크(Output torque)가 된다.

$$T_o = T_3(z_1 + z_3)/z_3 \quad (1)$$

T_o : output torque to display

T_3 : measuring torque

z_1 : number of teeth of the sun gear

z_3 : number of teeth of the ring gear

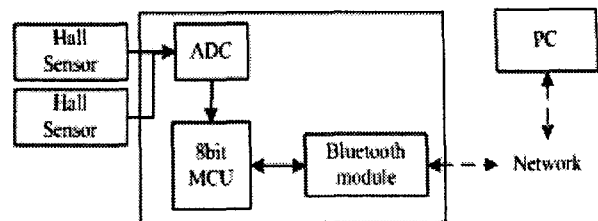


그림 5 모니터링 시스템의 블록도

3.2 측정 RPM(w_0)의 화면표시

홀센서 입력을 플래그 ON/OFF 하여 만들어진 소프트웨어적인 펄스를 이용하면 모터의 rpm을 쉽게 계산할 수 있으며 w_0 는 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$w_0 = 60,000,000 / T \quad (2)$$

T : time interval in one rotation(usec)

3.3 전달 동력(W)

전달 동력은 종종 상술한 토크와 회전수 보다 더 중요하고 유용한데 사실 이 전달 동력 값은 개념적으로 측정 토크값과 rpm의 곱으로 계산되어지는 값이다. 출력 토크가 아닌 측정 토크 값임에 주의해야한다.

$$W = T_3 w_0 (z_1 + z_3)/z_3 \quad (3)$$

4. 네트워크 기능

제측기에 무선이든 유선이든 통신기능을 갖추는 것이 추세이며 모바일 환경은 근래에 들어 더욱 더 중요해지고 있다. 특히 유비쿼터스는 큰 이슈가 되고 있다.

본 논문에서는 블루투스 모듈을 사용한 무선 기능을 갖춘 제어부(Control unit)를 제안한다.

가능한 작은 사이즈로 기어드 모터에 부착되게 하고 제어부는 홀 센서로부터의 출력값을 수집하여 무선 통신을 이용해 원격의 PC나 노트북 등으로 전송하는 역할을 한다. 사용자는 PC상에서 수집된 원시 데이터로부터 최종의 데이터 연산을 처리하도록 한다. 또한 이 기능은 TCP/IP에 기반한 인터넷 상에서의 원격 모니터링으로 간단히 확장시킬 수 있다.

블루투스는 비교적 근거리(10m)의 무선 연결을 위한 기술이며 휴대용이든 고정용이든 전자제품 상호간의 케이블을 대체하기 위한 목적으로 제안된 기술이다. 주요한 특징은 복잡하지 않고 저전력, 저가란 점이다. 또한 블루투스는 주파수 노이즈 환경을 고려해서 설계되었으며 주파수 홉핑 방식(Frequency hopping)을 이용한다. 블루투스 무선 모듈은 2.4GHz에서 작동하면서 패킷을 송신 또는 수신한 후에 새로운 주파수로 주파수를 변경함으로써 다른 신호들과의 간섭을 회피한다.

기본적으로 블루투스는 또한 하나의 마스터에 최대 7개까지의 슬레이브로 이루어지는 피코넷(piconet)을 쉽게 구성할 수 있다. 많은 산업 현장에서 대부분의 시스템은 하나 이상의 모터들을 포함하며 각각의 모터들은 서로 연관성을 가지고 작동한다. 이 경우 블루투스를 이용하여 피코넷을 구성하면 원격 모니터링에 더해 또 다른 이점을 가질 수 있는 것이고 이 점이 본 논문에서 블루투스를 고려한 또 다른 이유이다.

5. 결론 및 향후과제

이상 유성기어에 연결된 모터에 의해 발생하는 기계적인 토크를 측정하는 방법을 제안하였다.

제안된 방법은 모터의 rpm과 토크를 포함하여 전달동력을 측정하는 매우 간단하고, 매우 작고, 매우 저렴한 방법이다. 그리고 이 방법은 비접촉식이기 때문에 추가적인 유지보수를 필요로 하지 않는다. 더구나 제안된 비 접촉식방법은 기대했던 것 보다 훨씬 더 많이 모터의 소음과 진동을 줄여준다. 이는 훨씬 더 정확한 토크 검출이 가능하다는 것을 또한 의미한다.

또한 무선 통신을 통한 동력, 토크 그리고

rpm의 모니터링은 매우 유용하여 많은 부문에 응용될 것으로 기대된다. 더욱이 힘 제어를 위해 로봇 손가락 등에 응용할 수 있도록 모터유닛을 더 작게 만들 수도 있다.

결론적으로 본 논문에서 제안된 방법은 제품의 크기, 비용, 무선 통신이 가능하다는 점에서 강점을 가진다. 그리고 제안된 방법은 모터를 사용한 응용제품에 있어서 적용성과 확장성이 용이하여 무궁무진한 응용이 가능하다고 본다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 서울시 중소기업청 산학연 공동기술개발 컨소시엄사업의 연구비를 지원 받아 수행하였습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

6. 참고문헌

- [1] Brevin, "Planetary gearboxes are the preferred solution," in Technical background article received on 7 May 2003
- [2] *Omegadyne Pressure, Force, Load, Torque Data book*, Omegadyne, Inc., 1996
- [3] Omega engineering, inc., <http://www.omega.com/literature/volume3/force3.html>
- [4] *rpm measurement*, library, user information, Testo, http://www.testo.de/US/lig/upload/mwmlus_1034594_216515_1.pdf
- [5] "Sensors Overview and System solutions," Micronas Semiconductor Holding AG, <http://www.micronas.com/products/overview/sensors/index.php>
- [6] Joe Gilbert and Ray Dewey, "Linear Hall-Effect Sensors", *Applications Information*, Allegro Micro- systems, Inc., Application Note 27702
- [7] *Hall IC*, Data sheet, Samsung Electro Mechanics
- [8] *Hall Sensor*, Data sheet, Samsung Electro Mechanics
- [9] *3503 Ratiometric, Linear Hall-effect sensors*, Allegro MicroSystems, Inc., <http://www.allegromicro.com/data-file/3503.pdf>
- [10] Riku Mettala. 25th Aug 1999, "Bluetooth Protocol Architecture", https://www.bluetooth.org/foundry/sitecontent/document/whitepapers_presentations