

탄성 변형을 이용한 동력이 표시되는 감속기 Speed reducer be indicated a power using of elastic strain

노수영·남원기·강현국·김남일·김영탁·오세훈

S. Y. Noh, W. K. Nam, H. K. Kang, N. I Kim, Y. T. Kim and S. H Oh

Key Words : Speed reducer(감속기), Torque meter(토크미터), Silicon rubber(실리콘 고무), Low-cost(저가)

Abstract : In this paper, a noncontact type torque meter using silicone rubber to measure the exact torque value and reduce a vibration and a noise, was developed. When planetary gear speed reducer runs, torque, RPM etc.. of motor change according to load or speed change. So, it needs a device to detect load's change or to diagnose the state of the whole drive department by monitoring these result values. The noncontact type torque meter using silicone rubber that we're trying to develop this time is low-cost and can measure RPM and torque value simply. Also, it calculate a power using this value and indicate them on screen.

1. 서 론

감속기는 모터의 회전수를 필요한 회전수로 감속하는 동시에 큰 Torque를 얻을 수 있도록 하는 기구적 장치이다. 예로 엘리베이터나 에스컬레이터가 가장 쉽게 찾을 수 있는 감속기가 사용되는 곳이다. 적절한 속도로 감속해서 승강기의 경우 60m/min, 90m/min, 120m/min 등으로 천천히 움직이도록 한다.

원하는 회전수로 감속하기 위해 많은 경우 기어를 이용하며 기어비를 조정해서 원하는 감속비를 얻는다. 감속기가 사용되는 경우 부하의 변동이나 구동부의 상태변화에 따라 모터의 토크, 회전수 등이 변하는데 이러한 값들을 모니터링 하면 부하의 변동이나 구동부를 진단할 수 있다.

종래의 유성기어감속기에는 일반적으로 회전하는 요소의 중심축에 설치되어 회전요소의 토크치를 검출하는 회전형 토크미터를 사용하였으나 이는 내부구조가 복잡하고 고가인데다 회전요소의 중간에 불필요한 공간을 차지하게 되는 문제점이 발생되었다 [1]. 또한, 최근에는 이러한 문제점을 보완하기 위해 회전요소가 아닌 고정요소로부터 토크치를 검출하는 토크미터가 사용되고 있으나 고정요소의 반력을

지지하기 위한 지지부재 등의 별도의 장치를 필요로 하며 이에 따른 진동 및 소음 등의 문제점이 발생되었다. 또한 지지장치의 파손 및 지지장치에 따른 편중된 힘에 의해 정확한 토크치의 검출에 오류를 가져오는 문제점이 발생되었다. 이에 본 연구에서는 유성기어 감속기에 실리콘 고무와 홀센서를 이용하여 쉽고 간단하게 토크와 회전수를 측정하고 동력을 화면에 표시할 수 있는 비접촉식 동력이 표시되는 감속기를 개발하였다.

2. 토크, 토크미터, 유성감속기, 실리콘고무

2.1 토크

토크는 대상물이 회전하게 되는 경우에 대상물에 가해지는 힘이 어느 정도 인가를 측정하는 척도입니다. 그 대상물은 pivot 포인트라고 부르는 중심축 'O'에 대하여 회전을 하게 됩니다. pivot 포인트에서 힘이 작용하는 점까지의 거리를 모멘트 팔길이라고 부르며 'r'로 표기한다. 'r'은 회전 중심축에서 힘이 작용하는 지점까지의 벡터로 표현이 가능하다[2].

2.2 토크미터

토크 측정에 대한 기술은 종래부터 현재, 미래에 이르기까지 다양하게 발전되고 있으며 여러 가지 방법이 사용되고 있다. 기본 토크의 측정은 역학적 인 기본관계를 이용하여 수동식으로 설정하여 측정할 수 있으나 값이 부정확하여 적합하지 않다. 현재는 스트레인 게이지나 마그네틱바를 이용하여 전자,

접수일 : 2006년 10월 9일, 채택확정 : 2006년 11월 10일

오세훈(책임저자) : 중앙대학교 기계공학부

E-mail : osh@cau.ac.kr Tel. 02-820-5314

김영탁 : 중앙대학교 기계공학부

노수영 : 벽산

심재현, 남원기, 강현국 : 중앙대 기계공 로봇공학연구소

기계식으로 측정하는 방식을 채택하고 있다[3].

스트레인 게이지를 이용한 토크센서는 0.01에서 100,000Nm의 측정범위 및 0.05%까지의 정확도를 가질 수 있으며 일반적으로 내부회로는 full bridge가 이용된다. 즉 4개의 스트레인게이지가 장착된다. 스트레인게이지는 샤프트에 직접 연결되어 사용되어 지는데 샤프트가 회전하기 때문에 토크센서는 슬립 링을 통해 연결되어진다.

토크측정을 위한 스트레인게이지로는 포일(foil), 확산 반도체(diffused semiconductor), 얇은 필름 타입 등이 사용되며 이러한 것들은 납땜이나 접착제를 이용하여 샤프트에 직접 부착된다.

그러나 이 방법은 접촉식이기 때문에 회전 속도와 사용시간에 따른 수명을 가지게 되며 이에 대한 유지보수를 위해 측정 장비의 일부 또는 전체의 교체를 필요로 한다. 또한 일반적으로 장비의 부피가 크고 가격이 비쌀 뿐만 아니라 측정 전의 사전준비 작업이 매우 번거롭다.

Angular twist-type torque meter는 적당한 비틀림 강성을 가진 회전축의 양 끝에 동일치수 형상의 원판을 붙이고 원판의 원주사이에 새긴 슬릿을 정지하고 있는 센서로 검출하여 그 검출신호 펄스열의 위상차(phase differenc)로부터 축의 비틀림각을 측정하는 것이다. 신호펄스는 원판의 슬릿을 광센서로 검출하는 방법과 원판을 기어로 대체하여 톱니수를 자기 센서로 검출하는 방법이 있다.

이러한 방식은 회전부에 센서를 붙일 필요가 없으므로 축을 가늘게 할 수 있고 그래서 미소한 토크의 검출이 가능하다. 또한 회전수도 동시에 검출할 수 있으므로 연산에 의해 전달동력도 계산할 수 있다. 그러나 회전축을 정지시키면 펄스가 발생하지 않으므로 정지 중에는 토크의 측정이 불가능한 단점이 있다.

2.3 유성기어

통상 차량의 변속기 등 회전동력을 이용하는 동력장치에 있어서, 유성기어장치는 동력원으로부터 전달된 토크를 요구되는 토크로 변환시키기 위해 사용되는 증감속기의 한 형태이다. 일반적인 유성기어의 구조는 아래의 그림1과 같다.

이러한 유성기어장치는 일반적으로 내접기어인 링기어와, 이 링기어의 내측에 위치한 다수의 유성기어들과, 이 유성기어들에 결합되어 연동하도록 하는 캐리어와, 유성기어들의 중심에 위치한 선기어로

구성된다. 또한, 유성기어장치에 의한 기어비의 변경, 즉 증속 혹은 감속을 수행하기 위해서는 동력 전달시 링기어, 선기어, 캐리어들 중 선택된 하나가 고정된 고정요소를 이루며, 다른 두 요소는 회전하며 증속 혹은 감속되는 방식을 취하게 된다[4].

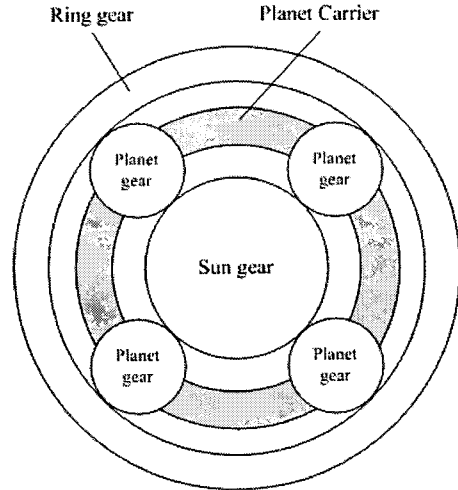


Fig. 1 The general structure of Planetary gear

유성기어감속기는 소형, 경량이며 효율이 좋은 특징을 가지고 있다. 또한 발생 열량이 적어 오일의 온도 상승이 비교적 낮으며 물림 속도가 적어 진동, 소음이 낮은 특징을 가지고 있다. 그러나 부품수가 다소 많고 높은 제작 정밀도가 요구되는 단점도 있다. 유성 감속기의 적용분야로는 공작기계, 다관절 로봇, 포장기계, 겐트리로봇, 정밀제어 매니플레이터, 전동 사출기 등이 있다.

2.4 실리콘고무

실리콘 고무는 어떤 다른 탄성체보다도 일반적으로 널리 사용되고 있으며 최대한의 신뢰성과 안정성을 요하는 방위 산업 및 항공 산업, 자동차 산업 등에서 널리 쓰이고 있다. 또한 실리콘 고무는 우수한 전기적 특성으로 고도의 전기, 전자 산업에서도 널리 응용되고 있다. 품질이 좋은 실리콘 고무는 탄성을 요하는 부품에 사용될 때 탄성을 고려해서 설계하지 않아도 좋을 만큼 우수하다.

실리콘 고무의 일반적인 특성으로서 600F의 고열에도 그 특성을 유지하며 일반 유기 고무보다 훨씬 월등한 인장강도, 신축율 및 내마모성을 가지고 있다. 120F와 500F의 온도사이에서도 누르면 원형으로 돌아오는 복원 특성이 있으며 불소 고무의 경우 용제와 화학물질에 저항성이 극히 우수하며 넓

은 범위의 온도에서 내성을 가지고 있다. Table 1은 실리콘 고무의 복원력을 나타낸다. 이외에도 실리콘 고무는 인체에 무해하며 다른 일반 유기 고무보다 월등한 강도를 가지고 있다.

Table 1 Resilience of various types of Silicone Rubber[5]

Silicone rubber	Bashore Resilience Range, Percent
General purpose(VMQ)	40 to 65
High Performance(VMQ)	30 to 60
Fluorosilicone(FVMQ)	10 to 35

3. 토크와 RPM 측정

3.1 토크의 측정

유성기어 내에서 링기어는 탄성을 가진 링기어 지지대를 통해 하우징에 고정된다. 모터 회전시, 걸리는 부하는 작용-반작용에 의해 정지한 요소인 링기어와 회전 요소인 선 기어와 캐리어에 변형을 가한다. 이러한 변형은 탄성소재를 바깥쪽으로 밀어 약간의 변위를 만들고 그 변위에 의해 토크가 발생한다. 변형을 측정하는 일반적인 방법과 비교해 우리는 유성기어의 구조적 특징과 변형에 의해서 발생한 변위를 구할 수 있다. 우리는 홀센서와 한 쌍의 자석을 이용하여 그 변위를 구할 수 있다[Fig.2][6].

3.2 RPM의 측정

우리는 유성기어의 캐리어에 적당한 자석을 붙이고 자석의 반대쪽에 다른 홀센서를 설치한다. 이때 모터가 회전하게 되면, 유성기어 캐리어에 붙은 자석도 같이 회전을 하고 매회전마다 고정된 홀센서를 지나간다[Fig.2].

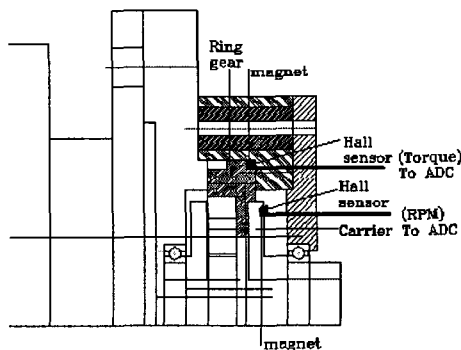


Fig. 2 Attachment of the Hall sensor and magnet

이 홀센서의 출력 전위가 관찰하고자 하는 비교 측정기의 입력이 된다.

4. 출력토크와 회전수 측정

4.1 토크값 계산

ADC의 출력값은 관계식이나 LUT를 이용하여 소프트웨어적으로 보상(Calibration)되어야 한다. 이렇게 보상된 값은 측정 토크(Measuring torque)이 되고 측정 토크 값으로부터 다시 다음의 값에 의해 계산되어진 값이 화면에 표시되는 출력토크(Output torque)가 된다[7].

$$T_0 = T_3(z_1 + z_3)/z_3. \quad (1)$$

T_0 : 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

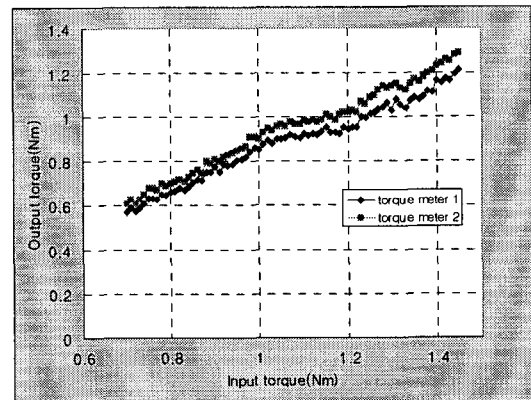


Fig. 3 Input torque and Output torque

위와 같은 결과를 토대로 다음 그림과 같은 오차율을 구할 수 있었다.

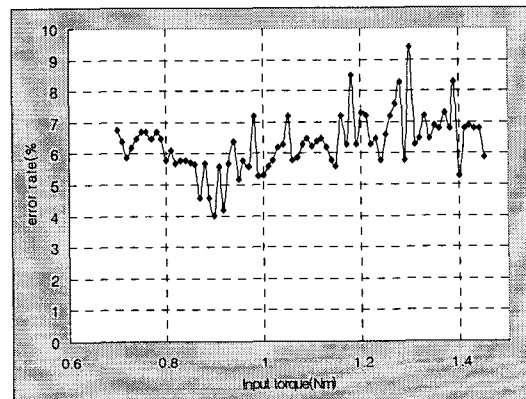


Fig. 4 Error rate

오차율은 대략 4~10%내에서 변동되었다.
 입력토크와 출력 토크값을 비교하여 그림5와 같이 유성감속기의 효율을 구할 수 있었다.

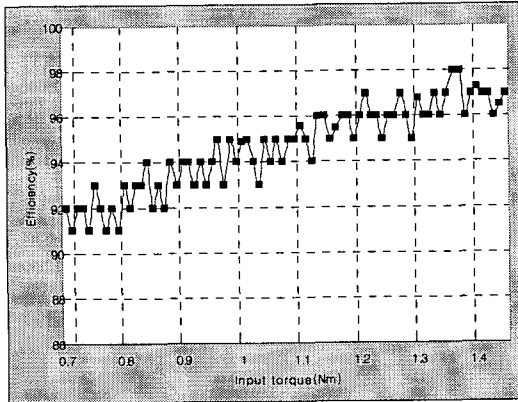


Fig. 5 Efficiency of Speed reducer

4.2 RPM 계산(ω_0)

모터의 회전 전달수는 홀 센서나 홀 스위치의 출력 펄스를 카운팅 함으로써 쉽게 계산할 수 있다.

$$\omega_0 = 60 \times cnt.Rotate. \quad (2)$$

cnt.Rotate : revolution per every second

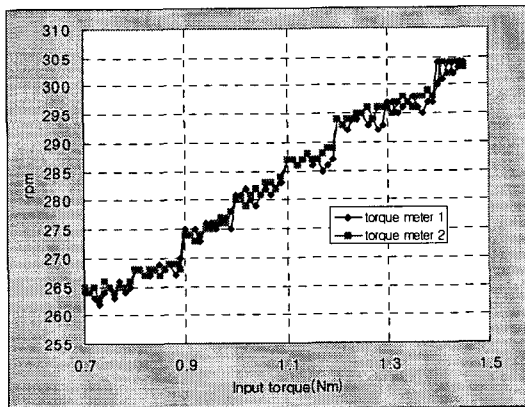


Fig. 6 RPM and Input torque

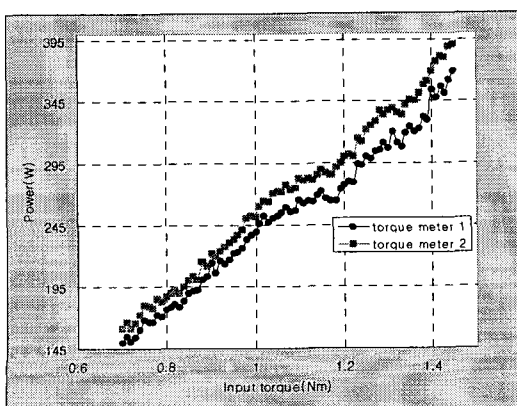


Fig. 7 Output power

4.3 전달 동력(W)

전달 동력은 종종 상술한 토크와 회전수 보다 더 중요하고 유용한데 사실 이 전달 동력 값은 개념적으로 위에서 측정되어진 전달토크와 전달회전수의 곱으로 계산 되어지는 값이다.

$$W = T_0 \times \omega_0. \quad (3)$$

5. 감속기의 제작 및 시험

감속기를 설계하여 그림 8과 같이 제작하였다. 실험용 모터는 3상유도 전동기를 사용하였다.

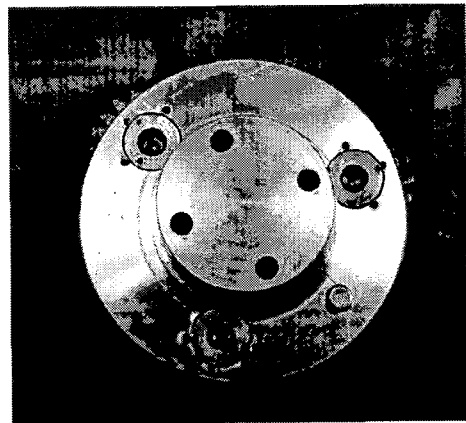


Fig. 8 Planetary gear

그림 8에서 보는 바와 같이 선기어에 3개의 유성기어가 맞물리고 이를 캐리어로 고정하였다. 이때 입력측은 선기어가 되고 출력측은 캐리어가 된다. 선기어의 기어 잇수는 18개이며 유성기어의 기어 잇수는 19개이다.

그림 9에서 보는바와 같이 링기어를 실리콘 고무와 함께 성형하여 결합하였다.

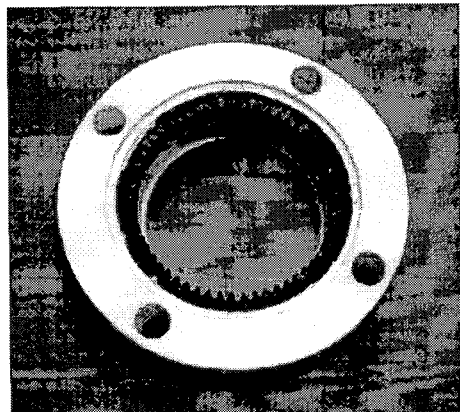


Fig. 9 Ring gear

제작과정을 살펴보면 먼저 성형틀을 만들고 그것에 링기어를 체결한 다음에 실리콘 고무와 경화제를 1:1로 혼합한 액을 성형틀에 붓고 경화시킨다. 성형물과 성형틀과의 원활한 분리를 위해서 성형틀을 분리형으로 설계하였다. 실리콘 고무를 경화시키는 데 약 12시간 정도 소요되었다. 온도 및 습도, 실리콘 고무와 경화제의 비율에 따라서 경화시간이 조금씩 차이를 보이게 된다.

실험원리는 실리콘 고무를 탄성을 이용하는 것이다. 즉 링기어가 힘을 받으면 이 힘이 실리콘 고무로 만든 하우징에 전달되어 탄성에 의해서 링기어가 변위를 일으키게 된다. 이 변위를 측정하여 관련식으로 연산하고 이를 통해 감속기의 토크값을 계산할 수 있게 하였다.

그림2와 같이 출력축 캐리어에 구멍을 뚫어 자석을 붙이고 링기어측에도 자석을 붙여 고정하였다. 그리고 각각의 자석 맞은편에 홀센서가 올수 있도록 설계하였다.

이때 자석과 홀센서의 적절한 간격을 유지하기 위해서 홀센서를 결합한 나사를 그림10과 같이 제작하였다. 이를 통해서 감속기에 홀센서를 쉽게 체결할 수 있었으며 자석과 홀센서의 간격을 임의로 조절할 수 있었다. 캐리어에 부착한 자석에 대응하는 홀센서를 통해서 회전수를 측정하고 링기어에 부착된 자석에 대응하는 홀센서를 통해서 변위를 측정하여 토크값을 산출할 수 있다[9, 10].

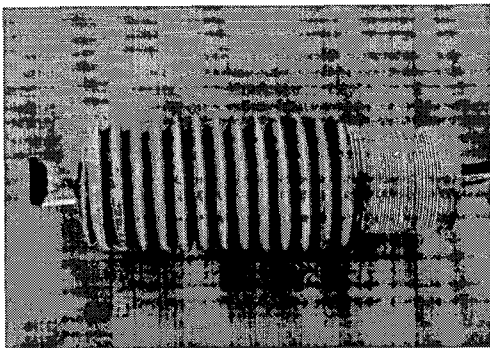


Fig. 10 Hall sensor

토크 측정을 위해서 회전축에 마찰 브레이크를 설치하였다. 마찰 브레이크의 손잡이를 잡아당김으로서 모터 회전축에 부하가 걸리고 이 힘이 링기어에 전달되어 실리콘 고무로 만든 링기어 하우징이 변위를 일으킴으로서 링기어에 부착된 자석 또한 변위를 일으키게 된다. 이 변위를 홀센서를 통해서 측정할 수 있었다.

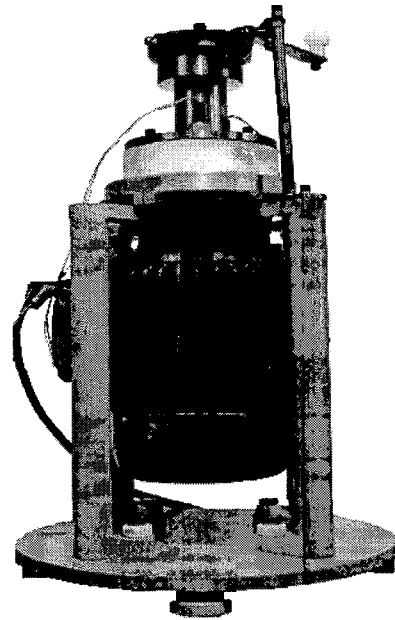


Fig. 11 Speed reducer with Brake

6. 결과 및 토의

실험결과 회전수는 정확한 값을 얻을 수 있었다. 토크값에 있어서 링기어가 미세한 변위를 일으키는 것을 알 수 있었다. 이 변위를 측정하여 토크값을 계산하고 최종적으로 동력값을 얻을 수 있었다.

토크값의 측정에 있어서 여러 가지 다양한 방법이 제안된다. 첫째는 자석과 홀센서를 일체형으로 설계하는 것이다. 그래서 측정하고자하는 지점에 자석을 부착하고 변위를 측정하여 토크값을 얻는 것이다. 이 방법은 자석과 홀센서의 간격이 일정하게 유지됨으로서 좀 더 정확한 토크값을 얻을 수 있을 것이다. 또한 측정하고자하는 임의의 점에 간단하게 자석을 붙이면 되기 때문에 편리하다[11, 12].

다음으로는 모터 회전축에 부하가 걸릴 때 유성기어도 힘을 받게 되는데 이 힘에 의해서 링기어 하우징이 수평으로 움직이는 것을 관찰할 수 있었다. 그리고 부하의 크기에 따라 링기어 하우징의 변위가 일정하게 변하는 것을 볼 수 있었다. 이의 해석을 통해서 우리가 원하는 토크값을 얻을 수 있을 것이다.

본 연구에 있어서는 링기어 하우징의 재질을 실리콘 고무로 하였는데 다양한 재료를 사용하여 토크값을 측정할 수 있을 것이다. 특별히 복합재료의 경우 사용자가 원하는 성질의 재료로 만들 수 있으므로 토크 측정에 있어서 다양하게 적용 될 수 있을 것이다.

7. 결 론

본 연구에서는 진동 및 소음을 저감하는 동시에 간단하게 토크값을 측정할 수 있도록 실리콘 고무와 홀센서를 이용한 동력이 표시되는 감속기를 설계하였다.

이 방법은 기존 방법에 비해 장비크기가 작고, 저렴하며 소형 모듈화 할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 비접촉식이기 때문에 센서파손이나 부품수명에 의한 추가적인 유지보수를 필요로 하지 않는다. 더구나 제안된 비접촉식방법은 기대 이상으로 모터의 소음과 진동을 줄여주었는데 소음과 진동이 줄어들면 적용범위가 더 넓어질 뿐만 아니라 훨씬 더 정확한 토크 검출이 가능하게 될 것이다.

향후 무선통신 기능을 부가하여 감속기의 상태에 대한 원격 모니터링이 가능하도록 하며 궁극적으로는 인터넷을 통한 원격 모니터링까지 확장시킬 수 있을 것이다. 이를 통해서 데이터의 피드백을 실시하여 자기진단 기능 등이 필요한 구동시스템에 사용할 수 있을 것이다. 그리고 단순한 다단기어 모터를 사용하면서 이러한 기능이 필요한 곳에는 본 감속기가 그 자리를 대체하는 효과를 가져 올 것이다. 일반적인 용도로는 기계 모니터링에 의한 자가 진단 시스템을 구축할 수 있기 때문에 엘리베이터와 같이 인명을 중시하는 곳에 설치하여 안전사고를 예방할 수 있을 것이다. 또한 간단하게 동력 시험기를 개발하는 것에도 사용되리라 기대된다.

참고문헌

1. Brevin, "Planetary gearboxes are the preferred solution," in Technical background article received on 7 May 2003.
2. 토크의 정의 및 물리적, 전기적 특성 및 현상에 대하여 <http://www.emobile-tech.com/21331A.htm>
3. Se-Hoon Oh, "The properties of a steel-composite hybrid flexspline" Composite Structures Vol.38 No.1~4, pp.251~260, 1997
4. Peter Lynwander, "Gear Drive Systems," Marcel Dekker, Inc., pp.293~323, 1983
5. "Rubber Physical and Chemical Properties", http://www.dowcorning.com/content/rubber/rubberprop/mech_resilience.asp
6. 토크의 정의 및 물리적, 전기적 특성 및 현상에 대

하여 <http://www.emobile-tech.com/21331A.htm>

7. 金智雄, 位相差 檢出方式을 利用한 토크미터의 解析 및 開發
8. Anthony Bedford, Wallace Fowler, Engineering Mechanics : Dynamic 2nd edition
9. "Hall IC", Data sheet, Samsung Electro Mechanics
10. "Hall Sensor", Data sheet, Samsung Electro Mechanics
11. James M. Gere, Mechanics of materials 6th ed.
12. Marion, Thornton, Classical dynamics of particles and systems 4th edition