

마이크로 모터의 미소토크 측정에 관한 연구

정인성, 성하경
전자부품연구원 정밀기기연구센터

A Study on the Small Torque Measurement of Micro-Motors

In-Soung Jung, Ha-Gyeong Sung
Precision Machinery Research Center, Korea Electronics Technology Institute

Abstract - In this paper, we deals with a torque measurement method of micro motors having very small torque values. The commercial motor torque dynamometers are examined, and the performance of a prototype micro-torque measurement system is investigated.

1. 서 론

사회 및 기술의 발전에 따라 모터의 종류 및 크기도 매우 다양화되고 있으며, 이러한 모터의 한가지 발전 방향으로 초소형화를 들 수 있다. 이러한 모터의 초소형화는 정보통신분야, 의료분야 등의 사회적 신규수요 및 정밀 제작기술의 발전에 따라 지속적으로 발전하고 있다.

이러한 마이크로급 모터들은 현재 외경 4mm의 모터가 휴대폰의 진동모터로서 널리 사용되고 있으며 특수용도를 겨냥하여 이보다 더 작은 모터의 개발사례들이 보고되고 있다.

초소형 모터의 가장 큰 수요분야로는 우선적으로 정보기기 분야를 들 수 있다. 과거 정보기기의 주된 발전방향은 PC용 HDD, FDD, ODD, VCR, 프린터 등의 정지형 기기들을 중심으로 이루어졌다고 할 수 있다. 이러한 기기에 채용되는 모터는 주로 고속화 및 고정밀도화가 주된 기술 흐름이었다. 일례로 ODD(Optical Disk Drive)용 모터를 보면 배속의 지속적 증가에 따라 수천 rpm에서 20,000 rpm 수준까지 변화 발전하였으며 Laser beam printer용 polygon 모터의 경우에도 현재 30,000rpm 이상의 수준에 있다. 또한 세트의 성능향상에 따라 NRRO, Jitter 등의 모터 정밀도 수준이 높아지고 있다. 최근에는 각종 정보기기들이 소형화 및 이동기기화 되면서 모터의 고속/고정밀도와 함께 소형/박형화가 진행되고 있다. 노트북의 각종 정보장치, 디지털 카메라, 캠코더 등의 각종 구동모터들이 그 예로서, 현재 6 ϕ , 4 ϕ 의 모터들까지 채용이 되고 있으며, 향후 휴대폰, PDA 등의 정보단말기에 대한 모터채용 등 모터의 초소형화 요구는 지속될 것으로 예측된다 [1].

이밖에 산업용 정밀기기, 의료기기 분야, NT 관련 산업분야, 엔터테인먼트 분야, 군사 및 우주항공 분야 등 다양한 산업분야에 초소형 모터가 적용될 것으로 예상되고 있다. 인체삽입 내시경, 마이크로 펌프, 마이크로 비행기, 마이크로 로봇 등이 이러한 분야에서의 초소형 모터 수요분야의 일례들이다.

초소형 모터를 개발하기 위해서는 모터 설계기술, 정밀 가공 및 조립기술, 특성평가기술 등이 필요하다. 본 연구에서는 날로 소형화되는 모터들의 특성평가기술의 일환으로 토크 측정방안에 대하여 다루고자 한다. 현재 세계적으로 상용화되어 있는 모터 토크측정기들의 측정 사양들을 비교 검토하며, 자체 제작한 간이형 미소토크 측정장비를 이용한 측정결과를 제시, 제작한 미소토크 측정장비의 측정가능 범위 및 제한사항 등에 대하여 논하고자 한다.

2. 본 론

2.1 마이크로 모터의 개발 사례

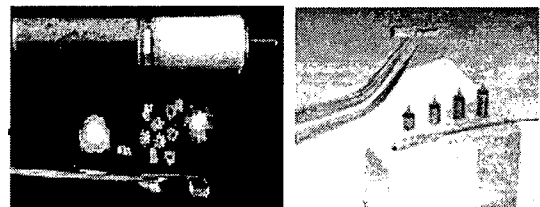
현재 크기면에서 가장 작은 모터는 MEMS 기술을 이용한 靜電형 모터로서 회전자 지름이 수백 μ m 수준으로서, 토크는 pNm 수준인 것으로 보고되고 있다.

전자기력을 이용한 電磁형 모터로는 외경 1mm 이하의 것은 보고되지 않고 있으며, 현재까지는 약 2mm 수준이 세계 최소의 모터이다. 여러 논문에 발표된 내용들을 보면 지름 수 mm 이하의 모터를 제작하기 위하여 스테핑 방식, wobble 방식, axial BLDC 방식, radial BLDC 방식 등 여러 구조가 시도되고 있으며, MEMS 기술을 이용하여 전자형 모터(발전기)를 제작한 사례들도 보고되고 있다.

이러한 모터들중 상용화에 근접한 모터들을 살펴보면, 스위스 minimotor (Faulhaber Group)의 외경 1.9mm의 코어리스형 BLDC 모터가 있다. 본 모터는 외경 1.9 ϕ , 길이 5.5 mm이며, 무부하 최고속도는 100,000 rpm, 최대토크는 7 μ Nm 수준인 것으로 보고되고 있다. 또한 본 모터에는 외경 1.9 ϕ 의 유성치차형 기어헤드가 부착되어 있어 토크의 증대를 꾀하고 있다.

일본의 나미끼 사에서는 외경 2.0 ϕ 의 모터에 외경 2.4 ϕ 의 기어헤드를 부착한 BLDC 모터를 개발하였으며 센서리스 구동방식이다.

이밖에 스위스에서 외경 3.0 ϕ 의 코어리스 방식 BLDC모터가 개발되었으며, 일본에서 외경 4.0 ϕ 의 스테핑 모터가 개발되어 카메라 제품에 채용이 되고 있는 것으로 보고되고 있다.



(a) 1.9 ϕ 모터(스위스) (b) 2.4 ϕ 모터(일본)

그림 1. 마이크로 모터의 개발사례

2.2 상용 모터토크 측정기

모터의 용량이 매우 다양하므로 세계적으로 상용화되어 있는 모터 토크측정기(모터 다이내모미터)의 용량도 매우 다양하다. 모터 토크측정기의 기능을 크게 나누면 부하 인가부와 토크 측정부로 나눌 수 있다.

부하를 인가하는 방법으로는 능동부하 방식으로 DC 모터 또는 서보모터를 사용하는 방식이 있으며, 수동부하 방식으로 히스테리시스 브레이크를 사용하는 방법, 파우더 브레이크를 사용하는 방법, eddy current 브레이크

이크를 사용하는 방식 등이 있다. 또한 파우더 브레이크 및 eddy current 브레이크는 각각 속도-부하 특성이 다르므로 이를 직렬로 연결하여 사용하는 tandem 방식도 있다.

토크를 측정하는 방식으로는 회전형 토크센서 (Torque Transducer)를 측정모터와 부하장치 사이에 연결하여 측정하는 방식과 부하장치가 자유롭게 회전할 수 있도록 하고 측면에 로드셀을 연결, 부하장치를 구속하여 부하가 회전하려는 토크를 계산(토크 = 로드셀에 계측되는 힘 × 로드셀과 부하회전축과의 거리)하는 방식이 있다.

상용 토크센서중에서 가장 작은 용량은 독일 제품으로 0.03 Nm (300 gfcm)의 것이 있으나[2] 이보다 작은 토크센서는 아직 보고되지 않고 있다.

로드셀을 이용한 토크측정기로는 vibro-meter사의 eddy current 브레이크 방식 0.06 Nm (600 gfcm) 용량의 것이 있으며[3], 일본 SUGAWARA사의 히스테리시스 브레이크 방식 0.005 Nm (50 gfcm) 용량의 측정기가 있으며, 그림 2와 같이 에어 베어링을 사용하여 마찰토크를 최소화한 것이 특징이다. 또한 상기 회사에서는 부하축도 함께 회전하는 특수한 eddy current 브레이크 방식을 채용한 0.001 Nm (10 gfcm) 용량의 측정기를 최근 발표한 바 있다[4].

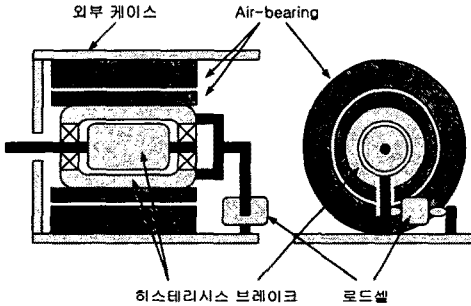
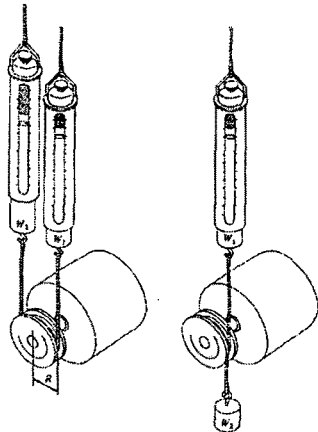


그림 2. 에어 베어링을 사용한 소형 다이내모미터(일본)

2.3 미소토크 측정장치의 시제작 및 실험

이러한 상용 측정기들은 앞서 기술한 것과 같이 수 μNm 수준의 마이크로모터의 토크를 계측하기에는 측정기 용량이 너무 크기 때문에 계측이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 미소토크를 계측하기 위한 한가지 방안으로 실과 풀리를 이용하여 부하를 인가하며 토크를 계측하는 전통적인 토크측정 방법과 유사한 접근을 시도하여 보았다.



(a) two-scale method (b) one-scale method

그림 3. 용수철저울을 사용한 모터 토크측정법

그림 3에 1개 또는 2개의 용수철 저울과 실/풀리를 사용한 토크측정 방법을 나타내었다. 본 연구에서는 계측값의 정확도를 높이기 위하여 용수철 저울 대신에 2개의 로드셀을 사용하였다. 로드셀은 국내에서 생산되는 제품중 제일 작은 용량인 150 gf의 것을 사용하였으며, 로드셀의 선형성 및 감도를 확인하기 위하여 모터 토크의 계측 전에 로드셀 단체에 대한 시험을 수행하였다.

그림 4는 로드셀의 성능시험 결과이다. 부하로는 약 0.1g의 핀과 약 0.03의 스페클러 알을 사용하여 로드셀의 전반적 및 국부 영역의 선형성 및 감도를 측정하였다. 시험결과 분해능 0.01g 수준까지 판별이 가능하며 선형성에도 문제가 없음을 확인하였다. 그러나 큰 힘이 가해진 이후에는 이후 힘을 제거하여도 약간의 응력이 남는 특성이 있었다.

그림 5는 시제작한 측정장치의 개략도 및 사진을 나타내고 있다. 부하력을 변화시키기 위하여 1축 정밀 스테이지를 사용하여 한쪽 로드셀을 이동시킬 수 있도록 하였으며, 피측정 모터의 회전수는 별도로 스트로보스코프(stroboscope)로 계측하였다. 또한 전압전류계를 사용하여 입력을 측정하였다

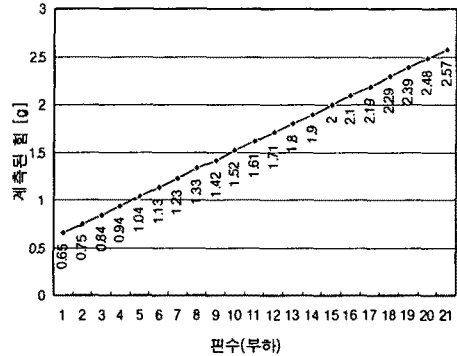
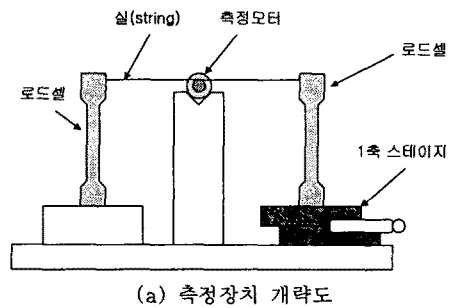
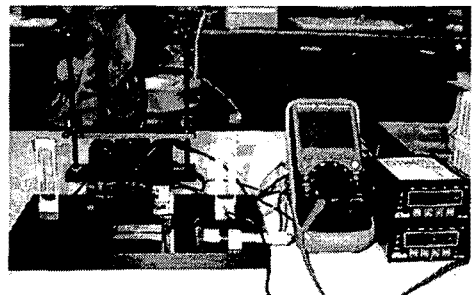


그림 4. 미소부하를 이용한 로드셀의 특성시험



(a) 측정장치 개략도



(b) 측정장치 사진

그림 5. 시제작한 미소토크 측정장치

그림 6은 일본 SUGAWARA사의 50 gfc_m 용량의 소형 토크측정기를 사용하여 외경 8φ의 DC 모터를 측정된 결과를 나타내고 있다. 구속토크는 약 3.4 gfc_m로 나타났으며, 에어 베어링을 사용하여 마찰토크를 최소화 하였음에도 불구하고 풍손 등의 영향으로 약 1.5 gfc_m 이하에서는 측정이 불가능하였다. 또한 본 모터의 무부하시의 회전속도를 별도로 측정한 결과는 16,000 rpm으로 나타났다. 따라서 모터의 N-T 특성이 선형이라고 보면 측정손실로 인하여 모터 회전시의 토크가 다소 작게 측정됨을 알 수 있다.

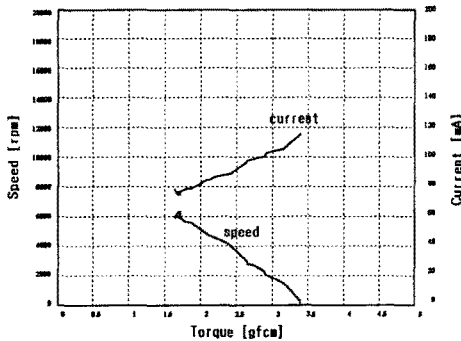


그림 6. 상용 토크측정기를 이용한 8φ DC 모터의 측정결과

그림 7은 시제작된 측정장치를 사용하여 동일 DC 모터를 측정된 결과이다. 모터의 샤프트 직경은 1.5 mm로서 별도의 풀리를 사용하지 않고 실을 샤프트에 그대로 감아 측정을 하였다. 초기 무부하 상태에서부터 시작하여 로드셀을 조금씩 이동시켜 실의 장력을 증가시킴으로써 부하를 증가시켜가면서 구속점까지 측정을 하였으며, 토크의 계산은 두 로드셀의 측정값의 차에 회전축 중심과 실의 거리를 곱하여 구하였다. 측정결과를 그림 6에 나타내었던 상용 측정기를 이용한 결과와 비교해보면 구속토크값이 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한 무부하 회전수 16,000 rpm에서부터 토크가 선형적으로 감소하는 것으로 계속되었다. 이로부터 본 장비의 토크 측정값이 신뢰성이 있음을 확인하였으며, 매우 약한 부하지점에서든 원하는 만큼의 부하 조정이 가능함을 확인하였다.

그림 8은 휴대폰에 장착되는 4φ 실린더형 진동모터의 토크를 측정된 결과이다. 실제로는 이보다 큰 토크를 가지지만 측정가능한 미소토크의 범위를 알기 위하여 전압을 낮추어 측정된 결과로서, 역시 풀리를 사용하지 않고 0.7φ의 샤프트에 실을 그대로 감아서 측정을 하였다. 측정결과 구속토크는 약 0.13 gfc_m (13 μNm)로서 매우 작은 미소토크에 대한 측정이 가능함을 확인하였다.

향후 매우 작은 샤프트의 직경에 따른 오차 파악, 실(string)의 선택 및 세팅방법 또는 보다 효과적인 부하인가방법 등에 대한 시험이 보강된다면 미소토크의 측정 방안으로 효과적인 것으로 판단된다.

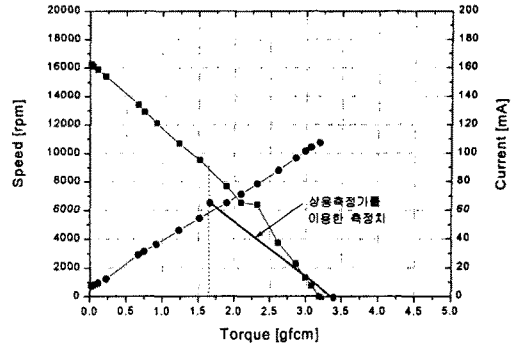


그림 7. 시제작된 토크측정기를 이용한 8φ DC 모터의 측정결과 (그림 6과의 비교)

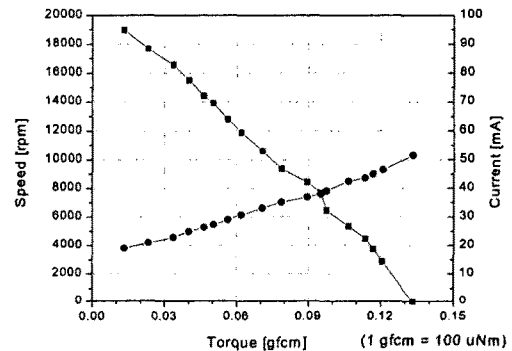


그림 8. 4φ 진동모터에 대한 토크측정결과 (DC 1V)

3. 결 론

본 연구에서는 수 μNm 정도의 미소토크를 계측하기 위한 방안에 대하여 논하였다. 두 개의 정밀 로드셀을 사용하고 실을 이용한 측정법을 통하여 마이크로 모터의 매우 작은 미소토크에 대한 측정이 가능함을 확인하였다. 향후 여러 시험조건에 따른 오차 연구가 보강되고 보다 효과적인 부하 인가방법 등에 대한 연구가 되면 극소형 모터의 개발 및 평가시 효과적인 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1]菅野泰平, 情報機器用 モーター技術, 2001, Japan
- [2] www.dr-staiger-mohilo.de
- [3] www.vibro-meter.com
- [4] www.sugawara-labs.co.jp
- [5] Takashi Kenjo, Permanent Magnet and Brushless DC Motors, Sogo Electronics Publishing Company, 1984, Japan