

# 소형 직류모터의 간략한 효율예측에 관한 연구

## A Study on a Simple Efficiency Estimation of Small DC Motor

원성홍<sup>†</sup>  
(Sung Hong Won)

**Abstract** - This paper proposes a novel efficiency measurement method without dynamometer. In case of small motor, the measurement of efficiency is not easy because the percentage of mechanical loss is comparably huge and the mechanical loss is not easy to be measured. In this paper, the authors proposes a method which can measure the efficiency with two test motors. This method can be useful to engineers who study small electrical motors.

**Key Words** : Small DC motor, Measurement, Efficiency

### 1. 서론

소형DC모터는 산업용, 가정용 및 완구용 등 일반적으로 가장 많이 사용되는 모터이지만, 모터의 성능평가를 위한 효율측정이나 정확한 출력 측정 등을 위해서 사용할 수 있는 계측기는 실질적으로 많지 않다. 특히 모터의 기계적 출력 측정을 위해서는 일반적으로 다이내모메터를 이용하게 되는데, 다이내모메터의 경우는 동력측정을 위해 토크메터를 사용하게 되며, 이 토크메터의 경우 스프링계이지 방식의 측정을 하도록 되어있어, 일정한 측정범위를 벗어날 정도로 매우 작은 출력을 내는 소형 DC모터의 경우는 다이내모메터를 이용하여 측정이 어려운 경우가 많다. 특히, 소형DC모터의 경우 측정을 위해 사용할 수 있는 측정장비는 전기적 입력이나 역기전력 측정 등 전기적 특성치를 측정하는 것은 어렵지 않지만 출력이 작기 때문에 어느 정도 이상의 기계적 손실을 가지고 있는 기계적 출력 측정 장치를 이용하는 것은 큰 측정오차를 포함하는 결과를 가져오기도 한다[1][2].

또한, 소형DC모터는 일반적으로 회전자가 작기 때문에 높은 속도에서 효율이 좋도록 설계된 경우가 많은데, 이런 모터를 실질적으로 사용하는 부하는 일반적으로 저속에서 구동되는 경우가 많아 회전속도범위를 변경할 수 있는 감속기어 등을 사용하여 저속에서 구동하는 경우가 많다. 이런 기어를 사용하는 모터의 효율측정을 위해서 기계적 출력을 그대로 측정하게 되면 기어에서의 기계적 손실분을 포함하게 되어 실질적인 모터의 효율은 알기 어려운 경우가 많고, 사실상 모터의 손실보다 기어의 손실이 더 큰 상태에서 구동되는 경우도 많이 있다[3].

소형DC모터가 사용되는 주요용도가 완구용이나 간단한 액세서리, 소형가전의 간단한 동작으로부터 전장용의 펌프, 사이드미러 동작용 모터에 이르기까지 매우 다양하기 때문

에 이런 모터들을 위한 별도의 측정 장치를 구성하는 것도 용의하지 않은 일이 되며, 반면 속도의 범위는 매우 다양하고, 어느 정도 이상의 출력을 가지고 있는 경우에도 토크보다는 속도가 높은 경우가 많아 직접적인 기계적 출력을 측정하는 것이 어려운 경우가 발생한다[4].

반면, 소형모터의 경우는 개별 단가가 저렴하기 때문에 시제품의 경우에도 여러 대의 모터를 만들어 그 특성을 측정할 수 있고, 각 모터가 거의 유사한 특성을 가지기 때문에 이를 활용한 다양한 모터의 특성평가가 가능하다[5].

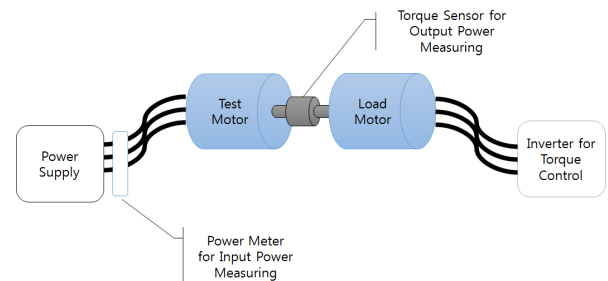


그림 1 일반적인 모터의 출력 측정

Fig. 1 Ordinary output measurement of motors

본 논문에서는 소형DC모터의 기계적인 출력을 측정하는 대신 같은 특성을 가지는 2개의 모터를 직결하여 전기적인 입력에 대해 전기적인 출력을 측정하는 방법으로 모터의 효율을 측정하는 방법을 사용한다. 이 경우 측정이 어려운 기계적 출력 대신 비교적 측정이 용이하고 정확하게 측정할 수 있는 전기적 출력을 측정하는 방법으로 모터의 효율을 측정할 수 있으며, 기계적 손실이나 기어의 손실에 의한 영향을 최소화 할 수 있으며, 소형모터의 측정을 위한 별도의 지그나 측정용 설비를 갖출 필요가 없어 간이측정을 위해 매우 효과적인 방법이라고 볼 수 있다.

### 2. 소형DC모터의 효율측정

소형모터의 효율을 측정하기 위해 두 개 이상의 같은 모

<sup>†</sup> 교신저자, 정회원 : 동양미래대학교 조교수 · 공학박사

E-mail : sagewide@dongyang.ac.kr

접수일자 : 2014년 2월 4일

수정일자 : 2014년 8월 13일

최종완료 : 2014년 8월 18일

터를 이용하여 두 모터의 전기적, 기계적 특성은 같다고 가정하여 측정을 실시한다. 이 경우 두 모터의 회전축을 직결하여, 하나는 전원을 인가하여 구동을 시키는 모터와 회전축으로부터 기계적 입력을 받아 역기전력을 발생시키는 발전기로 동작하는 모터로 나뉘게 된다. 이 역기전력과 역기전력의 리플을 측정하여 모터의 역기전력 평균치와 회전속도를 알 수 있다. 또한 발전기로 동작하는 모터의 단자에 저항성 부하 또는 전자부하를 연결하여 모터의 부하 시 효율 측정에 사용할 수 있다.

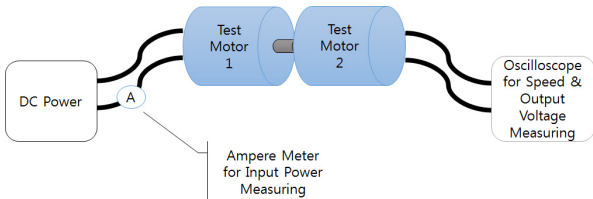


그림 2 제안된 소형모터의 측정방식  
Fig. 2 Proposed small DC motor measure method

2.1 동손의 측정을 위한 등가 권선저항

동손은 일반적으로 정지시의 권선의 저항을 측정해서 사용하는 방법을 많이 쓰지만, BLDCM이나 PMSM같이 권선에 전기적인 입력을 가해주기 위한 브러시가 없는 경우는 이 측정치를 그대로 사용할 수 있지만, 효율의 측정을 위해 브러시를 사용하는 DC모터를 사용하는 경우는 실제 권선저항에 브러시에 의한 접촉저항이 더해지게 되어 동손의 측정에 어려움이 있게 된다.

또한, 실제 실험에서 측정을 위해 사용한 모터는 일반적으로 많이 사용되는 브러스타입 DC모터로서 권선전류에 의한 동손과, 회전자 및 고정자코어의 철손이 있고, 축계의 기계적 손실에는 브러시의 접촉에 의한 손실이 포함된다.

동손을 계산하기 위해 사용되는 권선의 저항은 실제 권선의 저항 외에도 브러시가 회전하면서 접촉되는 면적이 계속 변하기 때문에 정지 상태에서 측정한 권선의 저항을 사용할 수 없으므로, 인가된 전압에서 역기전력성분을 제외한 전압강하와 측정된 전류량을 이용해서 등가 권선저항을 측정하여 사용해야 하며, 모터의 회전속도에 따라 약간씩 변화하는 값을 가지게 된다.

$$R_w = \frac{V_i - E_o}{i_a} \tag{1}$$

여기서  $R_w$ ,  $V_i$ ,  $E_o$ ,  $i_a$  는 각각 등가 권선저항, 구동모터 인가전압, 발전모터 역기전력, 구동모터 권선전류이며, 이 식에 대한 등가회로를 그림에 나타내었다.

2.2 단계 별손실

전원으로부터 구동모터의 회전축을 통해 전달된 회전력은 발전모터의 축을 구동하여 단자에 역기전력을 유기하게 되

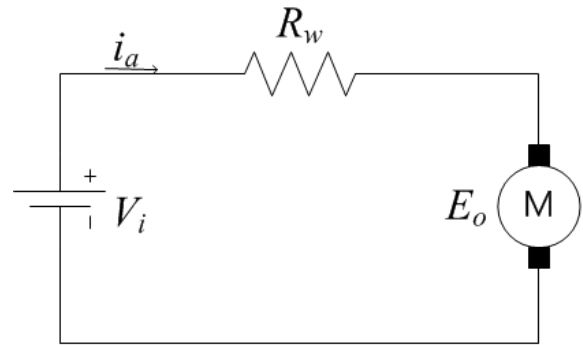


그림 3 저항측정을 위한 등가회로  
Fig. 3 Equivalent circuit for the resistance measurement

므로 각 단계별로 발생할 수 있는 손실을 알면 최종적인 효율을 계산할 수 있게 된다.

전원에서 전달된 전류는 구동모터의 회전자를 통해 자계를 발생하게 되는데, 이때 권선에 흐르는 전류는 구동모터의 동손을 발생하게 된다. 전 절에서 고찰하였듯이 구동모터의 동손은 단순히 권선저항과 전류의 곱으로 계산하는 값이 아니라 브러시의 접촉저항이 모터의 회전속도에 따라 달라지는 경향이 있기 때문에 인가전원과 역기전력차를 구동전류로 나눈 값을 이용해야 한다.

구동모터가 공극을 통해 토크를 발생하기 위해서는 적층 철심에 자속이 발생하며 이 과정에서 히스테리시스손실, 와전류손실 등의 철손이 발생하게 된다. 이 철손은 회전자계의 주파수에 따라 변하는 값이 되므로 회전축을 통해 연결되어있는 구동모터와 발전용 모터는 같은 값을 갖는다고 가정할 수 있다.

또한 구동축을 지지하는 베어링 등의 축계와 모터 내부의 공기에 의한 회전자 풍손, 그 외의 표류부하손 등이 존재하는데, 이들 손실은 모두 구동모터와 발전모터에 동시에 존재하며 같은 값을 가진다.

최종적으로 발전용 모터에 유기되는 역기전력은 손실을 제외한 출력성분만을 가지고 있으나, 부하상태의 측정을 위해 발전모터의 전원단자에 부하저항 또는 전자부하를 연결한 경우 발전모터의 동손분이 추가되게 된다. 각 단계별로 손실과 출력을 표시하면 아래의 그림 4와 같다.

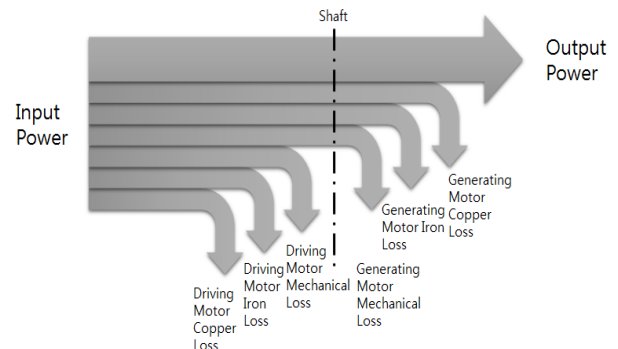


그림 4 부하시 입력출력 파워와 손실  
Fig. 4 Input and output power and losses with load

### 2.3 부하시 효율의 추정

상대적으로 측정이 어려운 토크와 속도를 이용한 기계적 측정법을 이용하는 대신 특성이 같은 두 개의 모터를 이용하여 전기적 입력과 전기적 출력을 측정하는 방식으로 손실분과 입출력 파워를 분리한 후 각 손실은 양 측 모터에 같은 양만큼 존재한다고 가정하여 전체시스템의 입력과 출력파워를 이용하여 손실에 해당하는 전력을 분리해 내면 모터의 효율을 추정할 수 있게 된다.

발전용 모터에 부하저항이나 전자부하를 연결하여 구동모터의 전류와 같은 크기의 전류를 흐르도록 설정하게 되면 아래의 식에 의해 효율을 측정할 수 있게 된다[6].

$$P_{in} = L_{m,copper} + L_{mech+fe} + P_{m,out} \quad (2)$$

$$P_{m,out} = L_{mech+fe} + L_{g,copper} + P_{g,out} \quad (3)$$

$$P_{in} = L_{m,copper} + 2 * L_{mech+fe} + P_{g,out} + L_{g,copper} \quad (4)$$

$$L_{mech+fe} = \frac{P_{in} - P_{g,out} - L_{m,copper} - L_{g,copper}}{2} \quad (5)$$

$$\eta = \frac{P_{in} - L_{m,copper} - L_{mech+fe}}{P_{in}} \quad (6)$$

$$= \frac{1}{2} + \frac{P_{g,out} - L_{m,copper} + L_{g,copper}}{2P_{in}}$$

여기서  $P_{m,out}$ ,  $P_{g,out}$ ,  $L_{m,copper}$ ,  $L_{g,copper}$ ,  $L_{mech+fe}$ ,  $\eta$  는 각각 구동모터의 기계적출력, 발전모터의 전기적출력, 구동모터의 동손, 발전모터의 동손, 구동모터 및 발전모터의 철손과 기계손과 효율이다.

### 2.4 무부하시 효율의 추정

발전용 모터의 전기적 출력단자에 부하를 연결하지 않고 역기전력만 측정하는 경우 발전용 모터의 동손은 없고, 이 경우에도 발전용 모터의 기계적 손실 및 철손은 존재한다고 볼 수 있다. 그러므로 구동용 모터의 동손과 나머지 손실을 분리하여 나머지 손실은 발전용 모터와 동일하다고 가정하고, 구동용 모터의 동손은 측정된 등가저항과 전류 값으로 계산이 가능하므로 이를 이용하여 효율을 계산할 수 있다.

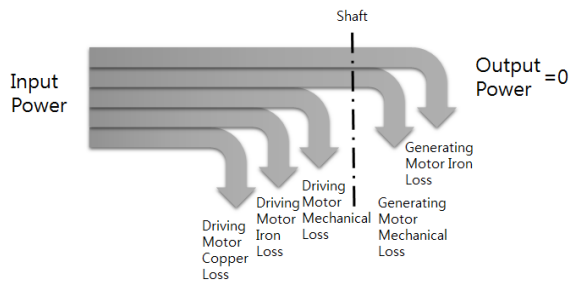


그림 5 무부하시 입출력 파워와 손실  
Fig. 5 Input and output power and losses without load

이때는 발전용 모터의 전기적 출력이 없는 상태이므로 구동용 모터의 기계적 출력은 발전용 모터의 철손과 기계손과 같다. 이 철손과 기계손은 구동용 모터에도 같은 양이 존재

하므로 결론적으로 구동용 모터의 동손을 제외한 손실은 기계적 출력과 같아져서 구동용 모터의 동손이 매우 적은 경우에도 모터의 출력이 손실을 넘을 수 없으므로 모터의 효율이 50%이상인 구간은 측정할 수 없다.

$$P_{in} = L_{copper} + L_{m,mech+fe} + L_{g,mech+fe} \quad (7)$$

$$= L_{copper} + 2 * L_{m,mech+fe}$$

$$\eta = \frac{P_{m,out}}{P_{in}} = \frac{L_{g,mech+fe}}{P_{in}} = \frac{(P_{in} - L_{copper})/2}{P_{in}} \quad (8)$$

$$= \frac{1}{2} - \frac{L_{copper}}{2P_{in}}$$

여기서  $P_{m,out}$ ,  $L_{copper}$ ,  $L_{m,mech+fe}$ ,  $L_{g,mech+fe}$ 는 각각 구동모터의 기계적출력, 구동모터의 동손, 구동모터의 철손과 기계손, 발전모터의 철손과 기계손이다.

이렇게 발전용 모터에 부하를 연결한 경우와 연결하지 않은 경우에 있어서 효율을 측정할 수 있는 한계가 존재하기 때문에 모든 속도, 토크 영역에서의 모터효율측정이 어렵다는 한계는 존재하지만, 토크센서를 이용하여 기계적 출력을 직접 측정하는 방식에 비해 매우 간편하고, 쉽게 실험세팅이 가능하다는 점이 장점으로서, 소형 DC모터의 경우는 효율이 50%가 안 되는 경우가 많다는 점을 감안하면 간이 측정방법으로서 효용성이 있다는 것을 알 수 있다.

### 3. 실험 및 측정

실제 두 개의 소형 DC모터를 사용하여 효율을 간이측정 방법으로 측정해 보고, 그 타당성을 알아보았다. 소형DC모터의 경우 다이내모미터를 이용한 측정이 쉽지 않으며, 특히 출력이 매우 작은 소형 DC모터의 경우에는 토크미터의 측정범위가 소형모터를 측정할 수 있는 범위에 있다고 해도, 측정용 지그나 설비자체의 기계적 손실과 부하가 커서 측정이 곤란한 경우가 많고, 측정용 커플링이나 고정 장치가 모터의 외형과 맞지 않아 측정에 어려움을 겪는 경우가 많다.

실험에서는 전원인가를 위한 DC 전원공급기와 역기전력 측정을 위한 오실로스코프, 그리고 전류를 측정하기 위한 전

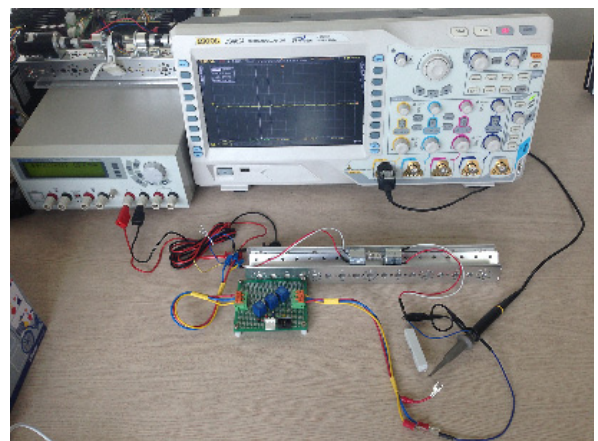


그림 6 실험장치와 실험용 DC모터  
Fig. 6 Test equipments and DC motor for the measurement

류센서와 부하시 실험을 위한 세라믹 저항을 이용하였다. 전류센서는 디지털멀티미터로 대체하여 사용하여도 무방하다.

실험에 사용한 소형DC모터는 수W 이하 급의 소형DC모터로서 Matsushita MDN4RA3ETA모터를 이용하였고, 커플링으로 두 모터의 축계를 결합하여 각각 구동용 및 발전용 모터로 사용하였다. 이 실험을 이용하여 모터의 특성을 측정 후 모터의 특성치와의 비교를 위해 모터 데이터시트상의 스펙과 측정치의 비교를 실시하였다.

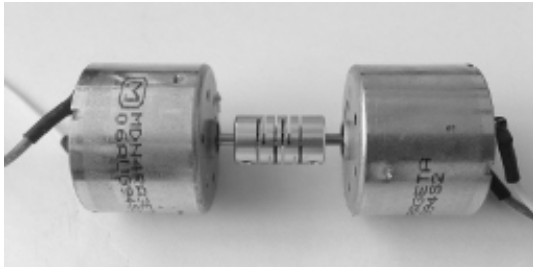


그림 7 측정용 소형 DC모터  
Fig. 7 Small DC motor for the measurement

이 두 모터를 이용하여 구동과 측정을 하게 되면 동력계를 이용한 모터의 직접효율측정과는 다르게 원하는 모든 구동지점에서 모터의 효율을 측정할 수는 없으며 간이 적으로 몇 가지 운전점에서 측정이 가능해 진다. 특히 무부하시의 효율측정의 경우는 원하는 모든 구간이 아닌 모터의 기계적 손실과 철손이 모터의 부하로 작용하는 경우의 운전점이 측정되므로 측정되는 운전점이 효율측정이 필요한 영역인지를 잘 파악할 필요가 있다.

3.1 무부하시 효율의 측정비교

무부하시의 측정에 의해 Matsushita의 소형DC모터를 측정한 결과는 다음과 같다.

이 실험에서 무부하는 실제로는 발전용 모터의 기계적 손실분과 철손 분을 부하로 걸어준 것과 같으므로 실제 모터의 무부하 상태와는 차이가 있다. 측정된 방법의 효용성을 알아보기 위하여 Matsushita MDN4RA3ETA모터를 대상으로 측정하여 데이터 시트상에 나타난 시험용 모터의 특성과 비교하였다. 데이터 시트상에 표기되어 있는 데이터에 의하

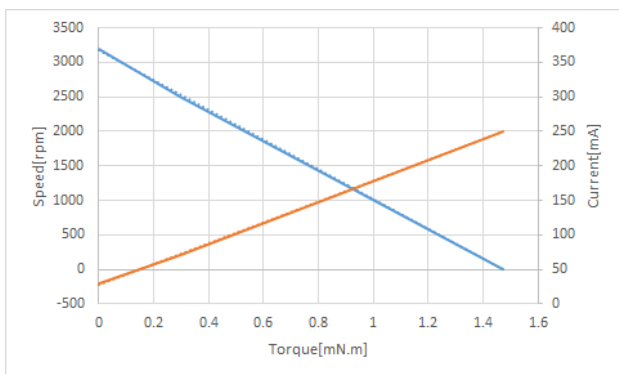


그림 7 Matsushita MDN4RA3ETA의 T-N-I특성  
Fig. 7 Matsushita MDN4RA3ETA의 T-N-I Characteristics

면, 3V구동 시 모터의 속도가 2800rpm정도에 이르렀을 때 전류는 약 54mA, 이때의 토크는 약 0.172mNm가 된다.

Matsushita MDN4RA3ETA모터를 인가전압을 달리 하면서 효율을 측정한 결과는 표 1과 같다. 여기서 각 항목의 의미는,  $V_{in}$ ,  $I_{in}$ ,  $P_{in}$ ,  $E_{out}$ , rpm에 대해 각각 구동전압, 구동전류, 입력전력, 발전용모터의 역기전력, 모터의 회전속도이다.

표 1에 제시한 측정된 3V에서의 효율 0.392를 적용하여 모터의 축 출력을 계산해 보면 약 50mW이며 이를 축 토크로 환산해 보면 약 0.173mNm로서 데이터 시트와 거의 유사한 값을 보이는 것을 알 수 있다.

표 1 Matsushita MDN4RA3ETA의 무부하시 전압별 측정 결과

Table 1 Matsushita MDN4RA3ETA의 Measurement Data according to voltage variance without the load resistance

$V_{in}$	$I_{in}$	$P_{in}$	$E_{out}$	rpm	효율
2	0.0375	0.075	1.48	1762	0.37
3	0.0431	0.1293	2.35	2798	0.392
4	0.0469	0.1876	3.25	3869	0.406
5	0.0513	0.2565	4.14	4929	0.414
6	0.0573	0.3438	5.01	5964	0.418

일반적으로 소형DC모터는 양산된 모터라 하더라도 모터간의 특성편차가 비교적 큰 편이므로 데이터 시트상의 모터특성과 실제의 모터에는 약간의 오차가 있음을 감안하면 비교적 잘 맞는 모터 특성 값이 측정됨을 알 수 있다.

3.2 부하시 효율의 측정비교

부하가 가해진 상태의 Matsushita의 MDN4RA3ETA모터의 효율을 측정하기 위하여 저항부하를 연결하여 측정하였다. 전자부하를 이용할 경우 다양한 운전영역에서의 모터의 효율측정이 가능하지만 간편한 측정비교를 위해 10Ω, 10W의 세라믹저항을 이용하여 모터의 무하시 효율을 측정해 보고 이를 모터의 데이터 시트상의 특성과 비교하여 부하 시 측정의 효용성을 알아보았다.

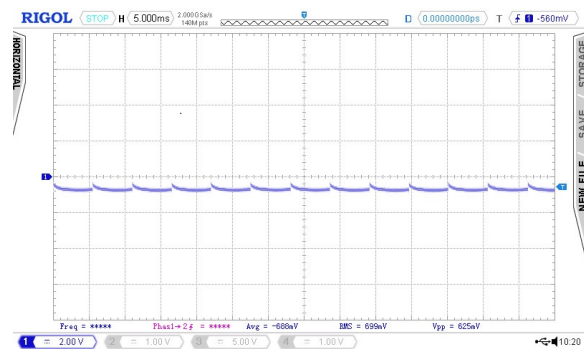


그림 8 10Ω 부하시 3V에서의 발전모터 역기전력측정  
Fig. 8 Generating Motor BackEMF Measurement at 3V with 10Ω load

그림 8에 부하시 역기전력 측정화면을 제시하였다. 이 화면상에서 발전모터의 역기전력 전압값과 정류자판의 전류절환시의 시간간격을 측정하면 모터의 회전속도를 정확하게 측정할 수 있다. 구동모터의 발전모터의 회전속도측정을 위해 별도의 타코미터 등으로 이용할 수 있지만, 오실로스코프상에 나타나는 역기전력 파형만으로도 충분히 회전속도 측정이 가능하므로 별도의 장치를 추가할 필요는 없다.

10Ω, 10W의 세라믹저항을 부하저항으로 연결한 상태의 모터는 부하저항에 전류를 공급하기 위해 축의 기계적 출력에 부하출력이 더해지게 되어 무부하시에 비해 입력전류가 증가한 것을 관찰할 수 있으며, 이때 발생하는 전류는 전류 센서 또는 디지털 멀티미터를 이용하여 측정한다.

**표 2** Matsushita MDN4RA3ETA의 부하시 전압별 측정결과

**Table 2** Matsushita MDN4RA3ETA의 Measurement Data according to voltage variance with the load resistance

V <sub>in</sub>	I <sub>in</sub>	P <sub>in</sub>	E <sub>out</sub>	rpm	효율
2	0.0773	0.1546	0.46	1042	0.368
3	0.104	0.312	0.7	1786	0.42
4	0.13	0.52	0.82	2000	0.437
5	0.155	0.775	1.13	3125	0.461
6	0.18	1.08	1.33	3788	0.465

Matsushita MDN4RA3ETA모터의 데이터 시트상에 나타난 특성커브를 이용하면 3V구동시 현재 10Ω의 저항이 연결된 상태에서의 회전속도인 1786rpm에서 약 0.641mNm의 토크가 발생하게 되는데, 실제 측정에 의하면 3V전압인가시 10Ω의 부하가 연결된 상태에서의 효율은 약 42%가 되고 이때의 축 출력을 계산하면 0.131W로서 1786rpm에서의 토크로 환산하면 약 0.7mNm가 된다. 데이터시트상에서 표기된 0.641mNm와 비교하면 데이터시트상의 토크가 측정치의 약 91%로서 오차는 9%이며, 간이측정법에 의한 토크측정치와 비교할 때 대략 10%이내의 오차를 가지는 것을 알 수 있다. 데이터시트의 값이 여러 양산모터의 평균치를 나타낸 것이고, 측정법이 간이측정임을 감안할 때 간이측정법이 효용성이 있음을 알 수 있다.

표 2에 전압을 변화시켜가면서 부하시의 모터의 효율을 측정한 결과를 나타내었다.

**4. 결 론**

본 논문에서 제안된 소형DC모터의 간이효율예측을 위한 방법은 실제로 정밀한 전력분석계와 동력계를 이용한 효율 측정만큼 정확한 값을 가지는 것은 아니다. 또한 전자부하를 이용하여 부하를 조절해 가면서 여러 운전영역에서의 효율을 측정할 수 있다고 하여도 정확하게 사용자가 원하는 운전영역의 특성을 측정하기 위해서는 발전모터에 인가된 부하 뿐 아니라 발전모터의 기계적손실과 철손까지도 구동모터의 부하에 포함되게 되므로 실질적인 정확한 운전영역을 파악하는 과정이 간단하지 않다는 단점도 존재한다.

그러나 수 와트급 이하의 소형 DC모터의 경우는 실제로는 기계적 출력을 측정할 수 있는 매우 소형의 동력계를 구하기도 힘들며, 소형모터의 특성상 축계의 형태가 매우 다양해 정확한 측정을 위한 지그와 커플링을 구하기도 쉽지 않은 경우도 많다. 이런 이유로 소형DC모터는 실제로 효율을 측정하기 보다는 실제 구동을 위한 장치에 장착이 된 후 소비전류나 소비전력을 측정하여 상대적인 효율을 측정하는 경우가 많은데, 이런 경우에는 모터의 효율뿐 아니라 장착된 시스템의 기계적 구동장치의 동력전달 효율이 포함되는 경우가 많아 모터자체의 특성을 파악하기는 매우 어려운 경우가 대부분이다.

따라서, 본 논문에서 제시된 소형 DC모터의 전기적 특성치 측정을 통한 간이 효율예측법을 이용하면 모터단품의 효율을 예측할 수 있고 시스템에 장착되기 이전에 모터의 특성을 평가할 수 있어 소형DC모터를 이용한 제품개발에 응용할 시 매우 큰 생산성의 향상과 개발기간의 단축을 이룩할 수 있으리라 예상된다.

또한 본 논문에서는 소형DC모터의 경우에 한정하여 측정하였지만, 영구자석의 위치에 따라 일정하게 전류가 절환되는 소형BLDC의 경우에도 측정이 가능하도록 확장될 수 있을 것이라 판단되며, 부하각이 수시로 변동되는 PMSM이 아니라면 다른 형태의 소형모터 측정에도 응용될 수 있을 것으로 예상되어 추후 추가적인 연구가 필요하리라 생각된다.

**감사의 글**

본 연구는 2013년도 동양미래대학교의 교내 학술연구지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

**References**

- [1] T Oikawa, T Tajima, K masumoto, H Akita, H Kawaguchi, "Development Of High Efficiency Brushless DC Motor With New Manufacturing Method Of Stator For Compressors", International Compressor Engineering Conference, Purdue University Purdue e-Pubs, 2002
- [2] Yuji Nakahara, 2001, "Study of manufacturing technology of middle and small sized motors with dividing stator cores", The journal of the Japan society for precision engineering, Vol. 67, No. 3, 2001
- [3] Ju Lee, Energy Conversion Lab., "Electric Machinery", Hongrung Publishing Company, 2011.2.25
- [4] Sanghun Kim, "DC,AC, BLDC Motor Control", Bogdoo Publishing Company, 2010.8.20
- [5] Korea Electric Association Editorial Dept., "High Efficiency Industrial Motors", Electric Journal 2002.9, pp.77-82
- [6] "Determining Electric Motor Load and Efficiency", U.S. Department of Energy

---

저 자 소 개



**원 성 홍 (元 聖 弘)**

1993. 2 : 한양대학교 전기공학과 졸업  
1995. 2 : 한양대학교 전기공학과 석사  
1995~ 2004 삼성전기 중앙연구소 CAE그룹

2007.2 한양대학교 전기공학과 박사  
2007~2008 한양대학교 BK21연구교수

2009~현재 동양미래대학교 전기시스템과 조교수

E-mail : sagewide@dongyang.ac.kr