

# PC 기반 가상계측시스템에 의한 유니버설 모터 성능 시험법 확립

論 文  
52B-3-4

## Establishment of Performance Tests Methods of Universal Motors Using PC-Based Virtual Instrumentation System

李成浩\* · 張錫明\*\* · 金永寬\*\*\* · 金德鎭<sup>§</sup>  
(Sung-Ho Lee · Seok-Myeong Jang · Young-Kwan Kim · Deok-Jin Kim)

**Abstract** - This paper deals with an experimental study for on-line monitoring the performance of a universal motor for vacuum cleaner. Performance tests are conducted on the PC-based virtual instrumentation system designed using the graphical programming language LabVIEW. The proposed monitoring system is capable of performing real time measurement functions, including data acquisition, display, and analyses in the time and frequency domains, as well as data archiving. The measured mechanical and iron loss, voltage, current, input power, power factor, torque, and efficiency characteristics are presented as function of speed.

**Key Words** : On-line monitoring, PC-based virtual instrumentation, universal motor, Performance tests, LabVIEW

### 1. 서 론

기존의 모터 성능 모니터링 법은 동력계와 같은 별도의 계측기기를 이용하거나, 힘측정 센서의 신호를 계측기에서 읽어들이고, 데이터를 GPIB 인터페이스 또는 시리얼 통신을 통해 PC에서 수집하여 처리 및 디스플레이를 하는 과정으로 오프-라인으로 이루어졌다 [1]-[3].

특히, 중·저속으로 운전되는 회전형 기기의 토크는 일반적으로 동력계 등을 이용하여 측정을 하나, 고속으로 운전되는 회전형 기기는 고속 운전에 따른 토크 측정에 적합하도록 고가의 동력계를 별도로 제작 및 구성하여 측정을 하여야만 한다. 그러므로 고가의 동력계를 이용한 측정 시스템이 아닌, 고속용 회전기기의 성능에서 가장 중요한 요소인, 토크 및 효율을 실시간 모니터링 하는 방법이 절실히 요구된다.

따라서 본 연구에서는 그래픽 프로그램 언어인 LabVIEW, A/D 보드 및 시그널 컨디셔너 등을 이용하여, 동력계에 의존하지 않으면서, 고속으로 회전하는 회전기기의 실시간 및 신뢰성이 보장된 성능 모니터링을 할 수 있는 가상 계측시스템을 구현하여, 이를 유니버설 모터의 성능 모니터링에 적용하였다. 또한 제안된 모니터링 시스템을 이용한 유니버설 모터의 성능에 관한 측정결과들을 제시하고자 한다.

### 2. 유니버설 모터 성능 모니터링을 위한 기본 이론

유니버설 모터는 단상 직권 전동기로서 교류전원과 직류 전원 어느 것으로도 동작하는 모터이다. 그림 1은 계자, 전기자, 정류자 및 브러시로 구성되는 유니버설 모터의 등가회로이다.

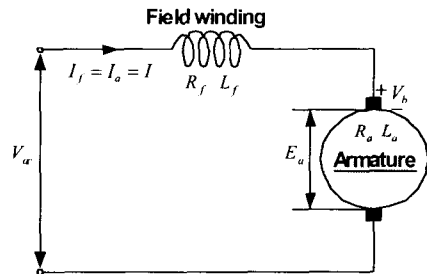


그림 1 유니버설 모터의 등가회로  
Fig. 1 Equivalent circuit of universal motor

#### 2.1 기본 특성방정식

1) 전기자 권선에서의 유기기전력 및 토크 특성식 [4]-[6]  
그림 1의 전기자 권선에서 유도되는 기전력은 회전수  $N$  (rpm)를 변수로 하는 식 (1)로 표현된다.

$$\begin{aligned} E_a &= B \times L \times \frac{\pi DN}{60} \times \frac{z}{2a} \\ &= \frac{2pz}{2a} \times \phi \times \frac{N}{60} \\ &= k_e \times \phi \times N \end{aligned} \quad (1)$$

\* 正 會 員 : 忠南大學校 電氣工學科 博士課程  
\*\* 正 會 員 : 忠南大學校 電氣工學科 教授 · 工學博士  
\*\*\* 正 會 員 : LG 電子 DA研究所 要素技術 그룹 責任研究員  
<sup>§</sup> 正 會 員 : LG 電子 DA研究所 要素技術 그룹 主任研究員  
接受日字 : 2002年 10月 21日  
最終完了 : 2003年 2月 10日

여기서,  $B$ 는 자속밀도,  $L$ 은 전기자 도체의 유효길이,  $2p$ 는 극수,  $z$ 는 전기자 유효 도체수,  $2a$ 는 전기자 병렬 회로수,  $k_e = \frac{pz}{60a}$  이다. 식 (1)을 이용한, 유니버설 모터의 전자기적 토크는 식 (2)로 계산된다.

$$T_{em} = 9.55k_e\phi I_a \quad (2)$$

여기서,  $\phi$ 는 극당 자속,  $I_a$ 는 전기자 전류이다.

### 2) 출력 및 효율

유기기전력 특성식 (1)을 이용한 모터의 출력 특성식은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} P &= E_a \times I_a \\ &= \frac{2pz}{2a} \times \phi \times \frac{N}{60} \times I_a \\ &= k_e \times \phi \times N \times I_a \end{aligned} \quad (3)$$

그림 2는 유니버설 모터의 에너지 흐름도를 도시한 것이며, 입력  $P_{in}$  과 축에 전달되는 기계적 출력  $P_{out}$ 은 회전속도를 변수로 하여, 식 (4)로 각각 계산된다.

$$\begin{aligned} P_{in} &= V_a I_a \cos \theta \\ P_{out} &= \tau_{app} \omega_m = \tau_{app} \cdot N/9.55 \end{aligned} \quad (4)$$

그러므로, 효율은 식 (5)로 산출될 수 있다.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (\%) \quad (5)$$

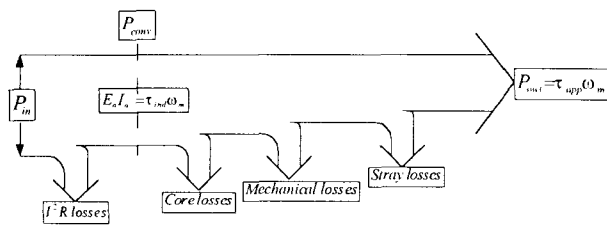


그림 2 에너지 흐름도  
Fig. 2 Energy flow for motoring operation

### 2.2 전기적 특성 모니터링을 위한 이론

인가 전압과 전류의 순시적인 아날로그 신호에 대한 실효치는 식 (6)에 의해 각각 연산된다.

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V^2(i)} \\ I_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I^2(i)} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,  $n$ 은 한주기동안 샘플링 된 데이터의 수이다. 식 (6)으로 구해진 전압 및 전류 실효치에 의해 피상전력은 식 (7)로 계산된다.

$$VA = V_{rms} \times I_{rms} \quad (7)$$

순시적인 전압, 전류에 의해 유효전력은 식 (8)로 구해진다.

$$Watts = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V(i) \cdot I(i) \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)을 이용하여 무효전력은 식 (9)에 의해, 역율은 식 (10)에 의해 각각 연산된다.

$$Var = \sqrt{VA^2 - Watts^2} \quad (9)$$

$$pf = \frac{Watts}{VA} \quad (10)$$

또한, 전압 또는 전류의 순시적인 아날로그 신호는 식 (11)로 표현되는 이산 푸리에 변환(DFT)에 의해 주파수 성분 분석이 이루어진다.

$$X_k = \sum_{i=0}^{n-1} x_i e^{j2\pi i k/n} \quad k = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (11)$$

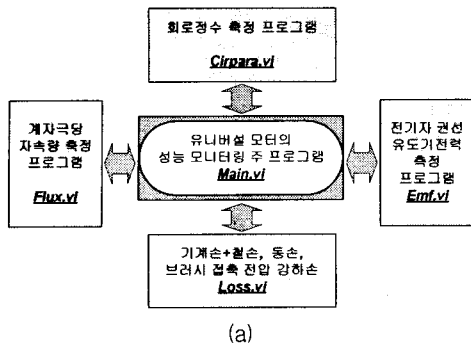
$$x_i = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} X_k e^{-j2\pi i k/n} \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

여기서,  $n$ 은 주파수 영역과 시간영역 모두에서의 샘플링 수이다.

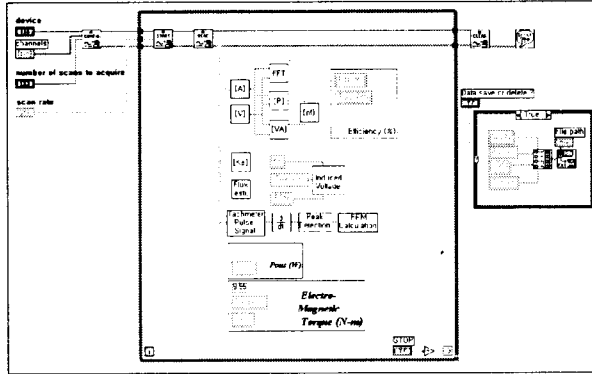
## 3. 제안된 성능 모니터링 프로그램 및 시스템

### 3.1 모니터링을 위한 프로그램

그림 3(a)는 성능 모니터링에 필요한 데이터들을 획득하기 위한 프로그램 구성도이다. 주 프로그램은 회로정수 측정 프로그램, 손실측정 프로그램, 자속량 측정 프로그램, 및 유도 기전력 측정 프로그램들과 상호 연계되도록 구성하였다. 그림 3(b)는 그래픽 프로그램 언어인 LabVIEW를 이용하여 구현한 프로그램 블록 다이어그램을 도시한 것이다. 또한, 모터의 성능을 실시간 모니터링 하기 위해, 전기적인 양과 기계적인 양이 동시에 모니터링 되도록 프로그래밍 하였다. 전기적인 양인 실효치 전압, 전류 및 피상전력, 유효전력, 역율은 각각 식 (6)에서 식 (10)을 이용하여 연산되며, 식 (11)을 이용한 이산 푸리에 변환을 통해 수집된 신호의 주파수 성분 분석이 가능하도록 프로그래밍 하였다. 전자기적 토크 및 효율은 식 (2)와 식 (5)에 의해 각각 연산되며, 전자기 노이즈의 영향이 강인하도록, 회전수는 타코미터의 출력펄스 신호를 미분한 후, 피크치를 검출하여 산출되도록 하였다 [3].



(a)



(b)

그림 3 프로그램 구성도 (a) 및 그래픽 프로그램 언어인 LabVIEW를 이용하여 구성한 모니터링 프로그램 블록도 (b)

Fig. 3 Block diagram of monitoring program using the graphical programming language LabVIEW

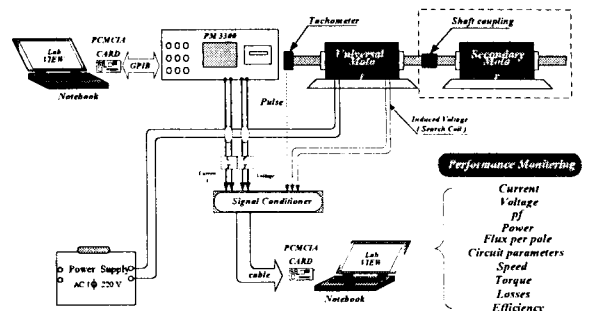
### 3.2 제안된 모니터링 시스템

#### 1) 시스템 구성

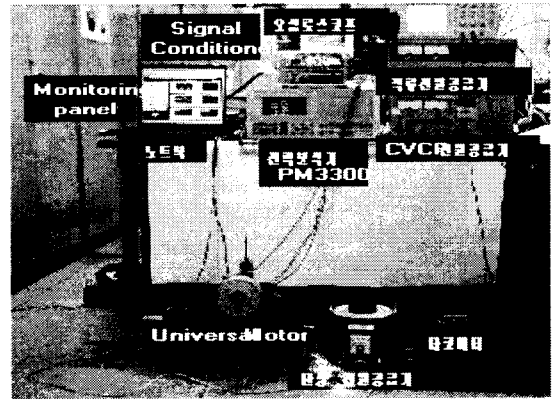
그림 4는 모터 성능 실시간 모니터링 시스템의 전체 구성도 및 사진을 보인다. 구현된 모니터링 시스템은 CT/PT를 포함한 신호 컨디셔너, 속도 측정을 위한 타코미터, PCMCIA 카드, LabVIEW 소프트웨어, 노트북 및 모니터링 시스템의 전기량 측정결과를 검증하기 위한 전력분석기 PM3300으로 구성된다. 구현된 모니터링 시스템으로부터 그림 4(a)에서 보여지듯이, 유니버설 모터의 성능에 관련된 파라미터인 전류, 전압 실효치 및 파형, 역률, 입력전력, 속도, 전자기적 토크와 회로정수에 해당하는 권선저항 및 인덕턴스, 각 손실 및 효율이 온라인 모니터링 된다.

#### 2) Signal Conditioner

PCMCIA 카드에 입력 가능한 신호 범위인  $-10(V) \sim +10(V)$ 내의 전압을 얻기 위하여 CT와 PT를 포함하는 하드웨어 장치 즉, 신호 컨디셔너를 그림 5에서 도시된 사진과 같이 구성하였다. 구현된 신호 컨디셔너는 시간간조파를 함유하는 전원 (예: 인버터) 에서도 신뢰성 있게 사용이 가능하다. 또한 단상 및 삼상 전원 시스템 모두에 사용될 수 있다. 전류비 및 전압비는 각각 10:1 과 100:1로 설계·제작되었다.



(a)



(b)

그림 4 제안된 성능 모니터링 시스템: (a) 전체 구성도 (b) 사진  
Fig. 4 Proposed performance monitoring system: (a) system block diagram and (b) photograph

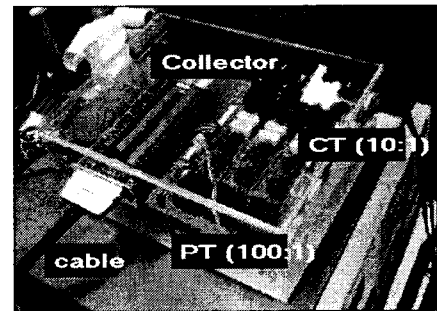


그림 5 제작된 신호 컨디셔너 사진  
Fig. 5 Photograph of the manufactured signal conditioner

### 4. 전기량 모니터링 결과의 검증

그림 4의 모니터링 시스템에서 보는 바와 같이, 전기량 측정 결과의 정밀성 검증을 위해, Voltech사의 전력분석기(모델명: PM3300)을 이용하여 제안된 모니터링 시스템으로 측정된 결과와 상호 비교·검토하였다. 이 경우에 계측기 PM3300의 측정결과가 GPIB를 이용한 통신을 통해 PCMCIA카드가 장착된 노트북에서 수집·처리될 수 있도록 LabVIEW를 이용한 별도의 계측시스템을 그림 6과 같이 구성하였다. 그림 7은 그림 6에 도시된 전기량을 검증하기 위한 시스템에서, GPIB를 이용하여 Voltech사의 전력분석기

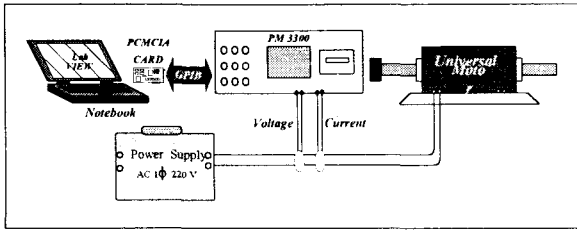


그림 6 상용 전력분석기 PM3300을 이용한 전기량 측정결과 검증 시스템

Fig. 6 Testing apparatus for measuring the electrical quantities using the commercial power analyser PM3300

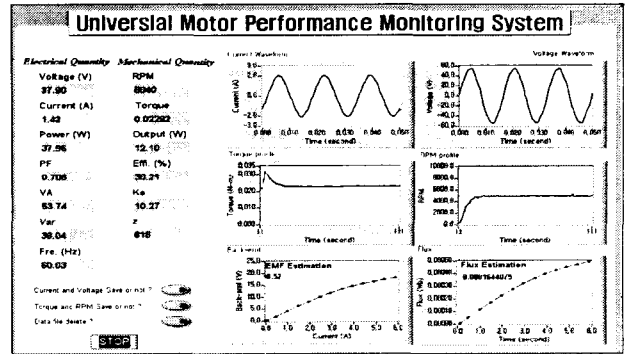


그림 9 실시간 모니터링 된 데이터들이 도시되도록 구현한 패널 (①전류 vs. 시간 ②전압 vs. 시간 ③전자기적 토크 vs. 시간 ④회전수 vs. 시간 ⑤유도기전력 vs. 전류 ⑥자속 vs. 전류)

Fig. 9 Panel for displaying test results monitored in real-time

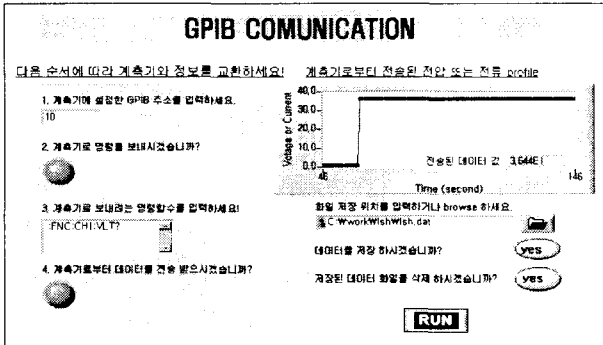
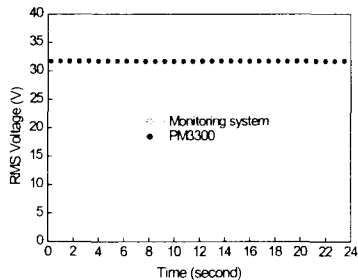
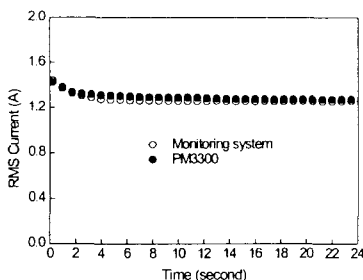


그림 7 PM3300으로부터 획득된 데이터가 노트북 화면에 도시될 수 있도록 구현한 패널

Fig. 7 Panel for displaying test results monitored using the commercial power analyser PM3300



(a) 전압



(b) 전류

그림 8 구현된 모니터링 시스템과 전력분석기 PM3300의 전기량 측정결과 비교

Fig. 8 Comparison the test results on the electrical quantities obtained using the proposed monitoring system with that measured using the power analyser PM3300

PM3300으로 측정된 결과들이 노트북 화면에 도시될 수 있도록 구현한 패널을 보인다. 그림 8은 그림3과 그림 4로 구현된 모니터링 시스템의 전기량 측정 결과와 그림 6으로 구현한 검증 시스템, 즉 PM3300의 전기량 측정 결과를 모터 기동시에서 정상상태까지의 전압, 전류 실효치 변화에 대해 상호 비교하여 도시한 것이다. 그림 8에서 볼 수 있듯이, 고가장비인 PM3300의 측정결과와 상대적으로 저가로 구현한 제안된 모니터링 시스템의 측정결과가 매우 잘 부합됨을 알 수 있다.

## 5. 제안된 시스템으로 모니터링된 결과

### 5.1 전체 성능 모니터링 결과

그림 9는 유니버설 모터의 전체 성능에 관한 특성을 실시간 온라인 모니터링 하기 위해 구현한 패널을 보인다. 전기적인 양과 기계적인 양을 각각 분리하여, 측정된 결과가 수치적으로 도시되도록 구성하였으며, 전압, 전류, 전자기적 토크, 회전수 등은 파형으로도 도시된다. 또한, 푸리에 변환을 통해 주파수 성분 분석결과가 수치 및 바 그래프로 도시된다. 그림 9에 도시된 출력은 전자기적 출력이며,  $k_e$ 는 식 (1)의 관계에 의해 산출된 값이고, 전기자 총 유효도체수  $Z$ 는 시험대상 모터의 전기자 슬롯수, 코일수, 코일당 턴수, 병렬회로수에 의해 계산된 값이다. 그림 9에서 획득된 결과들은 스위치를 작동시켜, 미리 셋팅된 전압을 인가함으로써 모터의 기동시에서 정상상태까지 모니터링된 데이터들을 도시한 것이다.

### 5.2 회로정수 및 손실 측정결과

#### 1) 브러시 접촉 전압강하

브러시 접촉 전압강하는 정류자 면에 축침을 접촉시켜 브러시와 정류자편 수점 간에 전압을 인가하여 전압과 전류를 측정할 후, 평균을 구해 측정된다. 또는 등가적으로 브러시

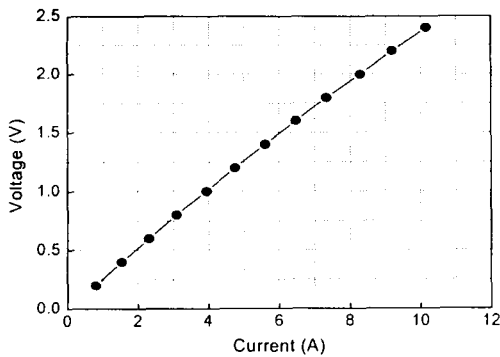


그림 10 브러시 접촉 전압강하 측정결과  
Fig. 10 Test results on the brush voltage drop

재질에 대한 전압-전류 특성 곡선으로도 구할 수 있다. 그림 10은 브러시 접촉 전압강하 측정결과를 도시한 것이다.

2) 저항 및 인덕턴스

스텝 전압을 인가하는 모터 정지시험시, 정상상태 인가전압, 전류의 비로 계자 및 전기자 권선 저항의 합인  $R = R_f + R_a$  을 구할 수 있다. 또한 권선저항 측정과 동일한 시험 상태에서 스텝 전압을 인가하면, 전류는 정상상태에 도달하기까지 시간지연이 발생된다. 그러므로 이러한 시간지연으로부터 정상상태 전류의 약 63%에 해당하는 전류 값에 대응하는 지연시간인 전기적인 시정수  $\tau$ 로부터, 인덕턴스를 산출할 수 있다. 그림 11은 스텝응답을 이용하여, 권선저항 및 인덕턴스 측정을 위한 모니터링 시스템 동작과 측정 결과를 도시하기 위해 구성한 패널이다. 저항 측정시, 그림 10에서 제시된 브러시 접촉 전압강하분을 고려해야 하며, 측정된 저항값 및 인덕턴스 값은 각각 7.33 ( $\Omega$ )과 73.3 ( $mH$ )이다. 또한 시정수  $\tau$ 는 0.01 (second)이다.

3) 기계손+철손

기계손은 브러시 마찰손과 축손 및 풍손으로 이루어지며, 기계손+철손 측정방법은 모터를 무부하 상태로 운전하여, 그 때의 입력 전력으로부터 무부하 운전시, 식 (12)와 같이 모터에 인가되는 전류에 의한 구리손 및 브러시 접촉전압 강하손을 빼는 것에 의해 구할 수 있다.

$$P_m + P_{iron} = P_{in} - P_{cu} - P_{brush} \quad (12)$$

여기서,  $P_m$  : 기계손,  $P_{iron}$  : 철손,  $P_{in}$  : 입력전력,  $P_{cu}$  : 동손,  $P_{brush}$  : 브러시 접촉전압강하손 이다.

그림 13은 그림 12에 도시된 모터들, 즉 임펠러 유무에 따른 모터의 기계손+철손 측정을 위한 모니터링 시스템 동작과 측정결과를 도시하기 위해 구성한 패널이다. 인가전류, 전압의 실효치 및 순시파형, 브러시 접촉 전압강하, 입력전력 및 모터 회전수에 대한 기계손+철손을 수치화 및 파형으로 도시된다. 그림 14는 그림 12에 도시된 두 시험모터의 임펠러

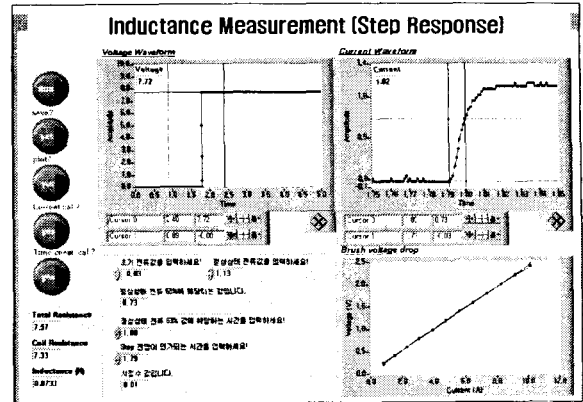


그림 11 스텝응답 및 권선저항, 인덕턴스 측정을 위한 모니터링 시스템 동작과 측정 결과를 도시하기 위해 구성한 패널(①전압 vs. 시간 ②전류 vs. 시간 ③브러시 전압강하 vs. 전류)

Fig. 11 Panel for operating the monitoring system and displaying test results, such as the step response, winding resistance, and inductance



(a) 임펠러가 있는 경우 (b) 임펠러를 제거한 경우

그림 12 기계손+철손 측정에 사용된 모터들  
Fig. 12 Test motors with and without impeller used for measuring the mechanical or iron loss

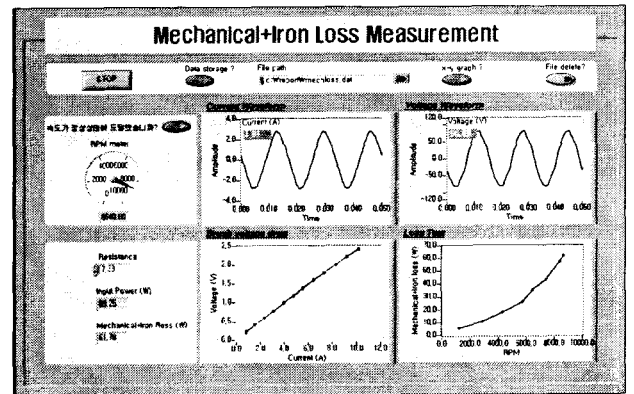


그림 13 기계손+철손 측정을 위한 모니터링 시스템 동작과 측정결과를 도시하기 위해 구성한 패널(①전류 vs. 시간 ②전압 vs. 시간 ③브러시 전압강하 vs. 전류 ④기계손+철손 vs. 회전수)

Fig. 13 Panel for operating the monitoring system and displaying test results on the mechanical and iron loss

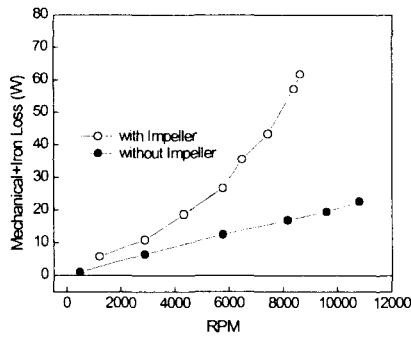


그림 14 임펠러 유무에 따른 기계손+철손 측정결과 비교  
 Fig. 14 Comparison of the test results on the mechanical and iron loss of test motors with or without impeller

유무에 따른 기계손+철손의 측정결과를 상호 비교하여 나타낸 것이다. 그림 14로부터 모터의 회전수가 증가함에 따라 기계손의 증가로 인하여, 임펠러가 장착된 모터의 기계손+철손이 임펠러가 제거된 모터에 비해 크게 증가됨을 알 수 있다.

4) 계자 극당 자속량

유니버설 모터의 주 자속은 교번하기 때문에, 계자극 내부에 서치코일을 감아, 내부 코일에 유도되는 전압을 측정함으로써 운전 중, 계자극에서 발생하는 자속량을 측정할 수 있다. 즉, 식 (13)을 이용하여 한 극당 자속량을 측정할 수 있다.

$$\phi = -\frac{1}{N_s} \int e dt = \frac{e}{4.44 \times N_s \times f} \quad (13)$$

여기서,  $\phi$ 는 한 극당 자속량,  $N_s$ 은 서치코일의 턴수,  $e$ 는 서치코일에 유도된 전압,  $f$ 는 전원 주파수이다. 그림 16은 그림 15의 서치코일이 시행된 시험모터에 대한 극당 계자 자속량 측정을 위한 모니터링 시스템 동작과 측정결과를 도시하기 위해 구성한 패널이다. 계자코일에 인가된 여자전류의 실효치 및 순시파형, 서치코일에 유도된 전압, 인가 여자전류에 대한 식 (13)의 연산을 통해 산출되는 자속량 곡선 및 자속량 측정 시험이 끝난 후, 측정결과를 fitting한 그래프가 도시된다. 그림 16의 자속량 측정 결과로부터, 인가 여자전류가 증가함에 따라 계자부 코어의 포화에 의해 자속량의 증가가 서서히 둔화되고 있음을 볼 수 있다.

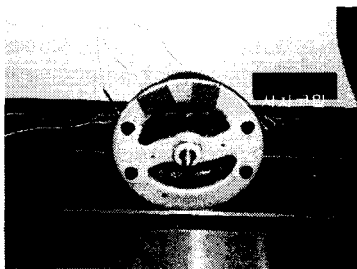


그림 15 서치코일이 시행된 자속량 측정을 위한 시험 모터  
 Fig. 15 Test motor wound the search coil for measuring the flux per pole in the field winding

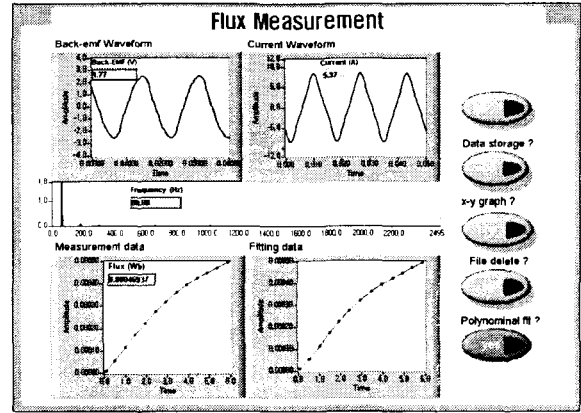


그림 16 계자 자속량 측정을 위한 모니터링 시스템 동작과 측정결과를 도시하기 위해 구성한 패널(①서치코일 유도기전력 vs. 시간 ②전류 vs. 시간 ③자속 vs. 전류 ④Fitting 곡선)

Fig. 16 Panel for operating the monitoring system and displaying the test results on the flux per pole due to field excitation

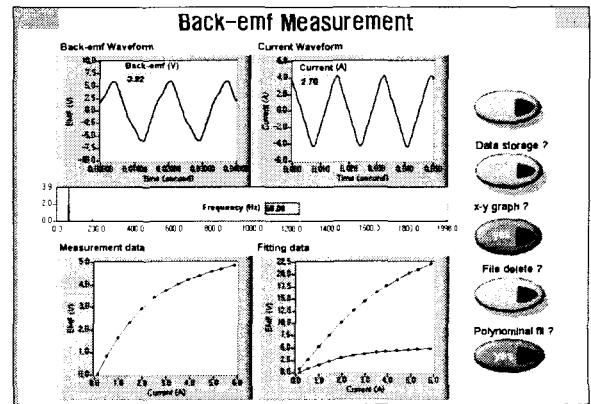


그림 17 전기자 코일에서의 역기전력 측정을 위한 모니터링 시스템 동작과 측정결과를 도시하기 위해 구성한 패널(①전기자 유도기전력 vs. 시간 ②전류 vs. 시간 ③유도기전력 vs. 전류 ④Fitting 곡선)

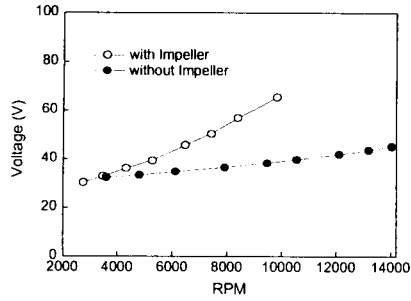
Fig. 17 Panel for operating the monitoring system and displaying the test results on the voltage induced in the armature coil

5) 전기자 유기기전력 측정

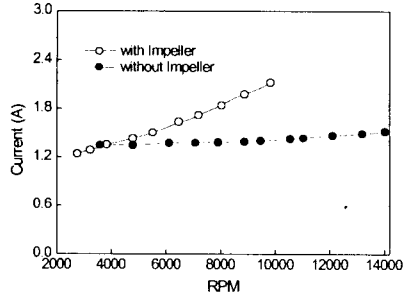
시험모터를 직권여자하여, 식 (13)에 의해 산출되는 인가 전류에 따른 계자 극당 자속량, 회전수 및 기하학적 상수값인  $k_f$ 를 구하여, 식 (1)에 각각 대입함으로써 전기자 코일 유도기전력을 산출해 낼 수 있다. 그림 17은 전기자 코일에서의 유도기전력 측정을 위한 모니터링 시스템 동작과 측정결과가 표시된 패널이다.

5.3 회전수에 따른 모터성능 측정결과

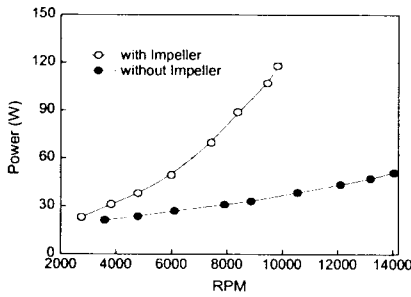
그림 18은 그림 3 및 그림 4에서 제시된 측정 시스템을 이용하여, 그림 12에서 도시된 임펠러 유·무에 따른 두 시



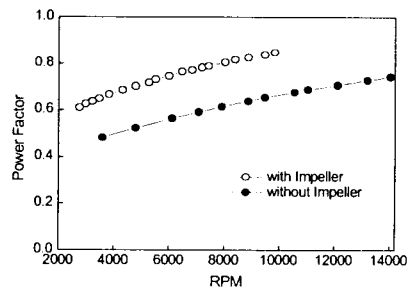
(a) 전압



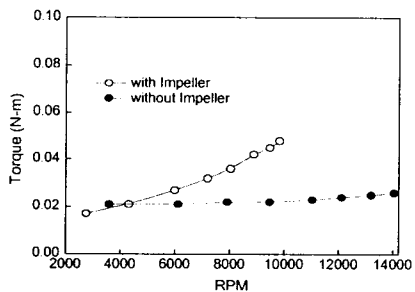
(b) 전류



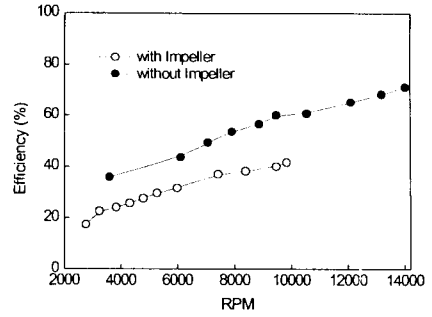
(c) 입력전력



(d) 역율



(e) 전자기적 토크



(f) 효율

그림 18 회전수에 따른 유니버설 모터 성능 측정결과  
Fig. 18 Test results on the performance of universal motor according to RPM

협모터 들에 대한 모터 성능 측정결과들을 비교한 것이다. 즉, 회전수에 따른 인가전압, 전류, 입력전력, 역율, 전자기적 토크, 효율에 관한 측정결과 들을 제시하였다. 임펠러가 있는 모터에서, 임펠러를 제거한 모터와 비교하여 회전수가 증가함에 따라 더 많은 전기에너지를 필요로 하며, 전자기적 토크가 크을 알 수 있다. 또한, 임펠러가 제거된 시험모터의 효율특성이 임펠러가 장착된 시험모터에 대하여 좋음을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구를 통해, 운전성능 특성의 측정 및 파악이 어려운 고속으로 회전하는 기기의 운전특성 모니터링이 용이하고, 실시간 온라인으로 측정, 시험 할 수 있는 저가의 모터 성능 모니터링 시스템을 구현하였다. 또한 제안된 모니터링 시스템은 GUI를 기반으로, 모니터링 시스템 동작 및 측정결과를 도시하기 위한 패널을 구현함으로써, 보다 편리하게 모니터링 시스템을 운용할 수 있으며, 모터 성능에 관한 전기량 및 기계량을 동시에 실시간으로 수집, 처리, 디스플레이, 저장할 수 있는 가상계측시스템이 제시되었다.

## 참 고 문 헌

- [1] K. Thara and T. Abe, "Constants measurement and characteristics calculation of universal motors", RM-97-24, pp. 105-109.
- [2] I. Boldea and S.A. Nasar, *Electric machine dynamics*, Macmillan Publishing Company, New York, 1986.
- [3] 장석명, 이성호, 장건우, 정상섭, "유도형 리니어모터 성능의 온·라인 모니터링을 위한 가상계측시스템 구현", 대한 전기학회 논문지, 5호, 제 50권, pp. 205-213, 2001.
- [4] Chee-Mun Ong, *Dynamic simulation of electric machinery*, Prentice Hall PTR, 1998.
- [5] M.M. El-Shanawany, "Operation and performance cyclo-converter for universal motor", IECON'94, IEEE Industrial Electronic Society in Technical

Co-Sponsorship, Bologna, Italy, Step. 5-9, 1994.

[6] R.H. Wnag and R.T. Walter, "Modeling of universal motor performance and brush commutation using finite element computed inductance and resistance matrices", IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 15, no. 3, pp. 257-263, Step. 2000.

저 자 소 개



**이 성 호 (李 成 浩)**

1971년 11월 1일생. 1997년 충남대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 석사 졸업. 1999년~현재 동 대학원 박사과정 수료

Tel : 042-822-4933

E-mail : shlee@ee.cnu.ac.kr



**김 영 관 (金 永 寬)**

1967년 11월 21일생. 1990년 한양대 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 석사 졸업. 현재 LG 전자 디지털 어플라이언스 연구소 요소기술그룹 책임연구원

Tel : 02-818-7961

E-mail : kwani@lge.com



**장 석 명 (張 錫 明)**

1949년 7월 3일생. 1986년 한양대 대학원 박사과정 졸업(공학박사). 1989년 미국 Univ. of Kentucky (방문연구교수), 1978년~현재 충남대 전기공학과 교수, 현재 당학회 평의원, 전기기기 및 에너지 변환 시스템 부분회 부회장 및 편집

위원장

Tel : 042-821-5658

E-mail : smjang@ee.cnu.ac.kr

Homepage : iemechas.cnu.ac.kr



**김 덕 진 (金 德 鎭)**

1972년 10월 14일생. 1998년 한양대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 석사 졸업. 현재 LG 전자 디지털 어플라이언스 연구소 요소기술그룹 주임연구원

Tel : 02-818-3652

E-mail : kdj91@lge.com