

VIS를 이용한 전기기기 특성 해석

이인용 , 김양우 , 김영문
(주)삼진기술 , 마산대학

Characteristic Analysis of Motor using VIS

I. Y. Lee , Y. W. Kim , Y. M. Kim
SAMJIN TECH CO.,LTD , Masan College

Abstract - This paper presents the way to analyze the static and dynamic characteristics of the Compound motor and 3 phase slip ring motor using VIS(Virtual Instrument System) and Agilent VEE, GUI(Graphics User Interface) tool. This method is composed of real time measuring of various characteristics, which can't measure using analog meter and analyzer, and presenting and analyzing the static and dynamic characteristics by table, which calculates the measured parameter. Also, this can apply to the various parts.

1. 서 론

전기기기는 원리와 구조 그 특성을 이해하기가 간단치 않은 않다. 또한 MOTOR류의 제작기술과 설계기술에 따라 특성이 다양화되고 효율이 달라져 제조사가 제시하는 일반적 사양에 의존할 수 밖에 없는 실정이다.

본 연구에서는 복권 모터와 3상 권선형 모터류를 대상으로 GUI tool인 Agilent사의 VEE 프로그램을 사용하여 실시간 계측값을 위주로 모터류의 정특성과 동특성을 나타내어 특성 해석을 쉽게 할 수 있도록 하였으며 제조사와 용량에 관계없이 다양한 해석을 실시간 계측에 의해 이루어질 수 있도록 절차화하였다.

실시간 계측값과 계산값을 단순식의 포맷에 의해 가상 계측기화 하여 나타내었고 특성해석은 Table화 한 파라미터에 의해 다양한 형태로 표시될 수 있음을 나타내었다. 이 절차에 따라 전기기기 제조업체별 분류에 따른 해당 MOTOR류의 단순비교부터 다양한 특성 비교와 실험실 연구개발 전기기기류의 종합 TEST에 이르기까지 다양하게 쓰일 수 있음을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 직류복권전동기

2.1.1 직류복권전동기의 이론적 특성

이 논문에서 다루는 가동 복권 전동기의 경우는 계자 권선의 자속이 부하 전류에 의하여 증가되므로 속도 변화는 있으나 분권 전동기에 비하면 과부하 내력이 크다.

부하 전류에 관계없는 분권 계자 Φ_{sh} 와 전기자 전류에 비례하는 직권 계자속 $\Phi_{se} = K_3 I_a$ 가 서로 합한 계자속으로 되기 때문에 속도는 식 (1)과 같다. 그리고 토크는 식 (2)와 같이 나타내어진다.

$$N = \frac{V - I_a(r_a + r_s)}{K_1(\Phi_{sh} + \Phi_{se})} = \frac{V - I_a(r_a + r_s)}{K_1(\Phi_{sh} + K_3 I_a)} \text{ [rpm]} \quad (1)$$

여기서 V : 전동기 단자 전압

I_a : 전동기 전기자 전류

r_a : 전동기 전기자 저항

r_s : 전동기 계자 저항

Φ : 계자의 자속

$K_1 K_3$: 비례 정수

Φ_{sh} = 일정 : 분권 계자의 자속

$\Phi_{se} = K_3 I_a$: 직권 계자의 자속

$$\tau = K_2(\Phi_{sh} + \Phi_{se})I_a = K_2\Phi_{sh}I_a + K_2K_3I_a^2 \quad (2)$$

로 된다. 특성은 그림 1과 같이 분권 전동기와 직권 전동기의 중간이 된다. 가동 복권 전동기는 무부하의 경우에도 분권 계자속 Φ_{sh} 가 존재하지 때문에 직권 전동기와 같이 무부하에서 고속도로 되지 않는다.

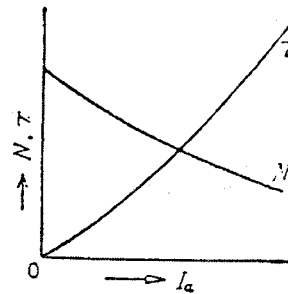


그림 1. 가동 복권 전동기의 특성

효율은 입력 $P_1[W]$, 출력이 $P_2[W]$ 인 경우에 출력과 입력의 비이다.

효율을 η 라 하면

$$\eta = \frac{\text{출력}}{\text{입력}} * 100 = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{손실}} * 100 \text{ [%]} \\ = \frac{\text{입력} - \text{손실}}{\text{입력}} * 100 \text{ [%]} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{VI - (P_k + I_a^2 r)}{VI} * 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

그리고 최대 효율이 될 때의 부하는 (5)와 같다.

$$\text{부하손} = \text{고정손} (I_a^2 r = P_k) \quad (5)$$

2.1.2 직류복권전동기의 실험을 통한 특성파악.....

그림 2는 VIS(Virtual Instrument System; 가상계측시스템)과 실제 전동기 실험 세트 사이에 연결해주는 그림이다. VIS에서는 Agilent VEE 프로그램을 이용하여 필요한 물리적 특성 데이터를 실시간으로 수집하여 모니터링해준다.

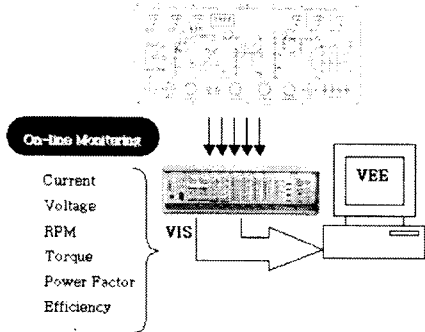


그림 2. 가상 계측 시스템 구성도

그림 3은 직류 복권 전동기 실험의 회로를 나타낸 것이고 그림 4는 그림 3의 내용을 실제 플랜트로 만든 것이다. 여기에서는 측정하고자 하는 모든 포인트를 보여주고 있다. 그림 5는 VIS를 이용하여 전압 4개(공급전압, 역기전력, 유기기전력, 부하전압), 전류 3개(공급전류, 계자전류, 부하전류), RPM 1개의 포인트를 동시에 측정하고 있다. 그리고 수집된 데이터를 이용하여 그림 5와 같은 간단한 프로그램으로 전력, 토크, 효율 등을 계산하여 실시간으로 보여준다.

표 1. MOTOR SPECIFICATION

Spec	Description
Winding Type	Shunt & Series (DC Machine)
Speed	1250~1800 RPM
Shunt Field Exciting	120V, 0.4A Approx.
Number of Pole	2 Pole
Motor Input	115V, 3.5A Approx.
Motor Power	1/3 HP
Shunt Rheostat	0~300Ω, 50W
Armature Rheostat	0~10Ω, 80W

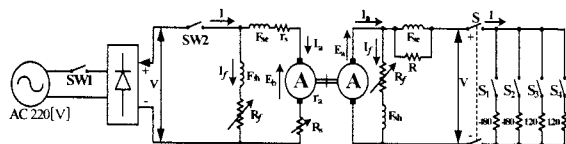


그림 3. 직류 복권 전동기의 실험 회로

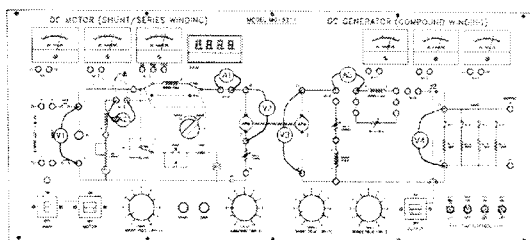


그림 4. 직류 복권 전동기-직류 복권 발전기 세트 장치도

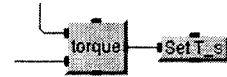


그림 5. 데이터처리프로그램 예

그림 6은 직류복권전동기의 동특성 화면이다. 이 실험 화면은 VEE 프로그램을 이용하여 간단하게 관찰하고자 하는 데이터값과 그 변화 추이를 보여주고 있으며 동시에 그 정보를 저장하고 있다. 그림 6을 통해 우리는 초기에 기동전류가 순간적으로 발생하는 것을 관찰할 수 있고 부하를 가변함에 따라 전류값이 커지는 변화를 관찰할 수 있다.

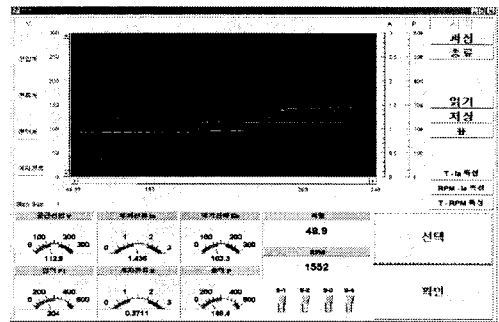


그림 6. 직류 복권 전동기의 부하 기동/운전 화면

그림 7은 부하 실험에 대한 각 parameter table이다. 실험을 통해 수집한 데이터 값과, 이 데이터를 처리하여 식 (2), 식 (3)을 통한 토크나 효율 등을 한 화면에서 볼 수 있다.

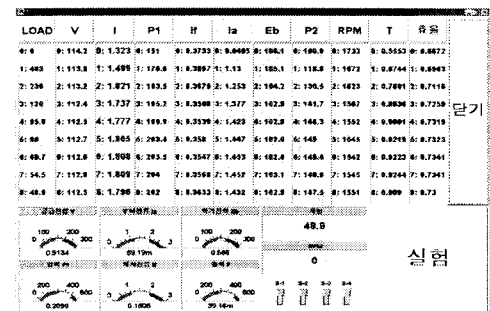


그림 7. 직류 복권 전동기의 부하 실험 결과표

그림 8은 직류 복권 전동기에서 부하 전류에 따른 RPM의 변화량 곡선이다. 여기서 부하가 무부하에서 최대부하까지 변할 때 RPM이 1733에서 1551으로 줄어드는 것을 관찰할 수 있다. 같은 조건의 최대 부하에서 분권전동기에서는 1713으로 줄어드는 것을 감안했을 때, 복권전동기에서는 식 (1)과 같이 분권 전동기에 비하여 계자 권선의 자속이 부하 전류에 의하여 증가하므로 속도 변화가 크다는 것을 알 수 있다.

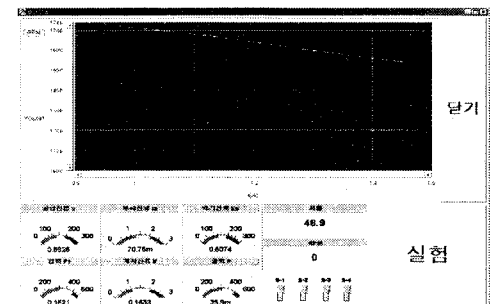


그림 8. 직류 복권 전동기의 속도 특성 곡선

그림 9는 직류 복권 전동기에서 부하 전류에 따른 토크의 변화량 곡선이다. 식 (2)와 같이 전류에 비례하여 토크값이 커지는 것을 알 수 있다.

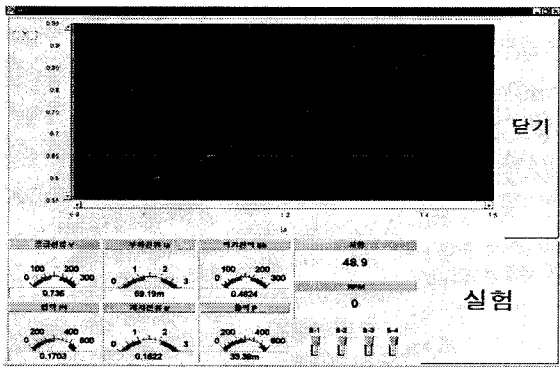


그림 9. 직류 복권 전동기의 토크 특성 곡선

2.2 3상 권선형 유도 전동기

2.2.1 3상 권선형 유도 전동기의 실험

3상 권선형 유도 전동기의 실험 세트 화면은 그림 10과 같다. 3상 AC전압 실험에서는 데이터를 수집하기에 까다로운 점이 있다. 우선 삼상전력계가 필요한데 일반적으로는 열전형변환기를 하여 기계식이나 전자식으로 변환한 전력계를 사용하는데 VIS(가상 계측 시스템)을 이용할 경우 전압과 전류사이의 위상차를 구하여 그 역률값을 이용해 전력을 측정할 수 있다. 또한 각 상에서 나오는 전압을 isolation시켜준다는 것도 VIS의 장점이다.

표 2 MOTOR SPECIFICATION

Spec	Description
Winding Type	3상 Wound Rotor Motor
Speed	1500~1750 RPM
Input Voltage	208V, 3φ
Full Load Current	1.7A Approx
Frequency	60 Hz
Number of Pole	4 Pole
Motor Power	1/3 HP
Speed Control	0~50 Ω (3상)

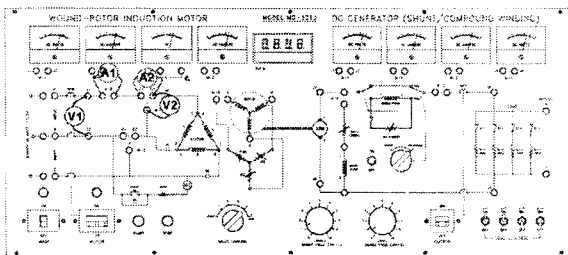


그림 10. 3상 권선형 유도 전동기 셋트 장치도

그림 11은 3상 권선형 유도 전동기의 부하실험 동특성을 나타낸 것이다. 전동기에 부하를 가변함에 따라 전류변화를 나타내고 있다.

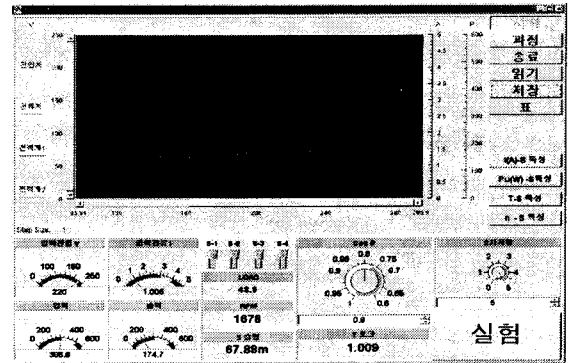


그림 11. 3상 권선형 유도 전동기 부하실험 동특성

그림 12는 부하실험에 대한 각 parameter table로서 실시간 측정값과 계산값을 동시에 나타내고 있다..

부하	V	I	입력	출력	2차저항	RPM	T	S
0: 0	0: 219.3	0: 0.8144	0: 247.4	0: 138.7	0: 0.6	0: 1731	0: 0.7853	0: 38.3m
1: 48.3	1: 219.4	1: 0.8453	1: 256.8	1: 144	1: 0.8	1: 1712	1: 0.8002	1: 48.7m
2: 239	2: 219.1	2: 0.875	2: 265.7	2: 148.4	2: 0.8	2: 1698	2: 0.8412	2: 58.1m
3: 120	3: 219	3: 0.9265	3: 281.1	3: 157.1	3: 0.8	3: 1678	3: 0.9048	3: 68.7m
4: 95.6	4: 219.3	4: 0.9492	4: 288.4	4: 160.7	4: 0.8	4: 1671	4: 0.9184	4: 71.8m
5: 80	5: 219.8	5: 0.9704	5: 284.3	5: 164.5	5: 0.8	5: 1664	5: 0.944	5: 75.7m
6: 60.7	6: 219.9	6: 0.9838	6: 292.4	6: 163	6: 0.8	6: 1663	6: 0.95	6: 78.3m
7: 60.7	7: 219.8	7: 0.9892	7: 297.1	7: 165.9	7: 0.8	7: 1659	7: 0.9525	7: 78.6m
8: 60.7	8: 219.8	8: 0.995	8: 292.4	8: 163.5	8: 0.8	8: 1660	8: 0.9472	8: 78m

그림 12. 3상 권선형 유도 전동기의 부하 실험 결과표

그림 13에서 보여주는 P, I 특성은 식 (5)의 특징을 나타낸 것이다.

$$P_1 = \sqrt{3} VI \cos \theta * 10^{-3} \text{ [kW]}$$

$$P = P_1 \eta = \sqrt{3} VI \cos \theta \eta * 10^{-3} \text{ [kW]}$$

$$I = \frac{P * 10^3}{\sqrt{3} V \cos \theta} = \frac{P_1 * 10^3}{\sqrt{3} V \cos \theta} \text{ [A]} \quad (5)$$

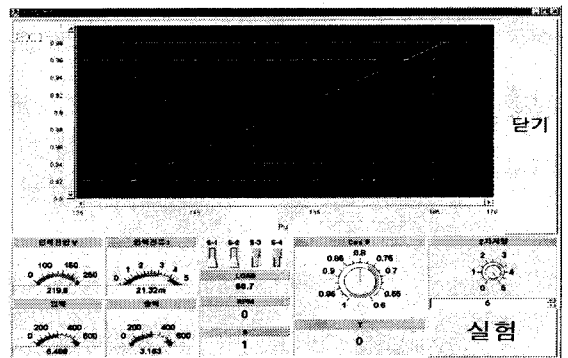


그림 13. 3상 권선형 전동기의 출력 대 전류 특성

※ 슬립
$$s = \frac{N_M}{N_S} = \frac{f_2}{f_1} \quad (6)$$

그림 15는 속도 특성, 그림 16은 슬립 특성, 그림 17은 토크 특성에 대해 나타낸 그래프이다. 그림 15는 출력이 커질수록 속도가 줄어듦을 보여준다. 그림 16의 슬립특

성은 식 (6)으로 구하였고 슬립과 토크의 특성은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau = K\Phi I_2 \cos \theta_2$$

$$\Phi = \frac{E_2}{4.44_2 K_w f w_2} = K_1 E_2, \quad K_1 = \frac{1}{4.44_2 K_w f w_2}$$

$$\tau = K_o E_2^2 \frac{s r_2}{r_2^2 + (s x_2)^2} \quad \text{단, } K_o = K K_1$$

또, $E_2 = K_2 E_1 \doteq K_2 V_1$ 이므로

$$\tau = K_o V_1^2 \frac{s r_2}{r_2^2 + (s x_2)^2}$$

단, $K_o' = K_o K_2^2$, 이 식으로부터 기동 토크 τ_s 는

$$\tau_s = K_o E_2^2 \frac{r_2}{r_2^2 + x_2^2}$$

$$\tau = K_o E_2^2 \frac{r_2}{x_2^2} \cdot \frac{1}{s}$$

즉, τ 은 s 에 반비례한다.

다음에 운전 상태에 있어서는 $s \doteq 0$ 이므로 $(s x_2)^2 \ll r_2^2$ 으로 되어 r_2^2 에 비해서 $(s x_2)^2$ 은 무시되므로

$$\tau = K_o E_2^2 \frac{1}{r_2} \cdot s$$

즉, τ 은 s 에 비례한다.

그러므로 s 에 대한 의 특성은 그림 14와 같이 된다.

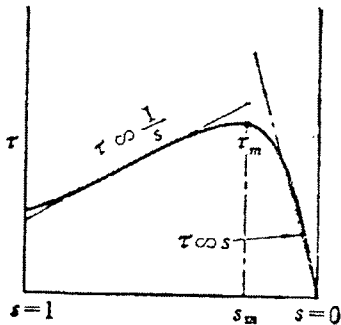


그림 14. 속도 - 토크 특성

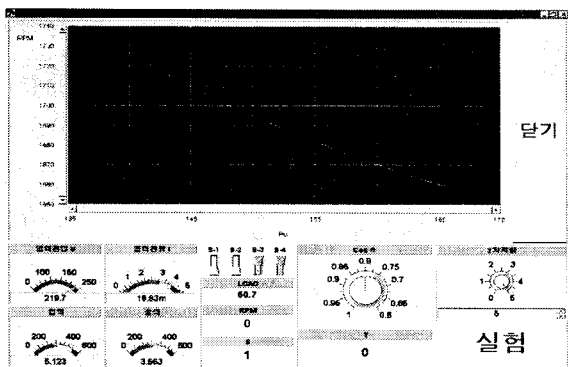


그림 15. 3상 권선형 전동기의 출력 대 속도 특성

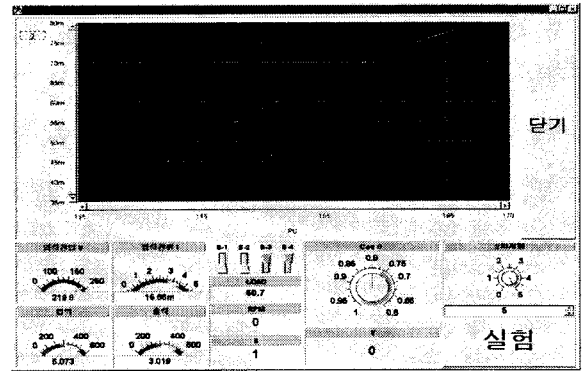


그림 16. 3상 권선형 전동기의 출력 대 슬립 특성

그림 17을 보면 그림 14에 제시된 토크의 특성이 실제로도 적용됨을 알 수 있다. 그림 17에서는 X축의 슬립값이 0->1로 변화하는 데 따른 토크의 변화를 나타낸 것이므로 그림 14를 좌우대칭시켜 비교하면 된다.

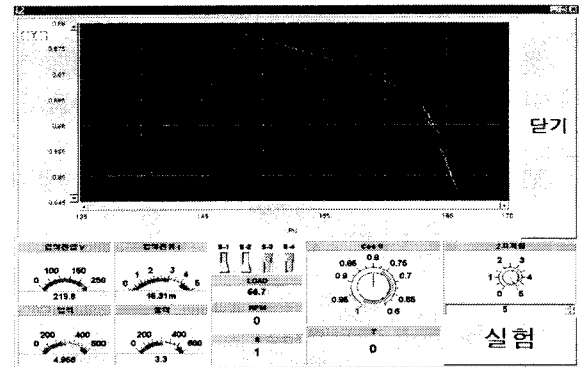


그림 17. 3상 권선형 전동기의 출력 대 토크 특성

3. 결 론

본 논문에서는 VIS를 이용한 복권전동기와 삼상 권선형 유도전동기의 정특성과 동특성을 GUI를 이용하여 해석하는 방법을 제안하였다.

복권 전동기는 부하를 가변함에 따른 속도특성과 토크 특성을 살펴보고, 삼상 권선형 유도전동기는 부하를 가변함에 따른 전류특성, 속도특성, 슬립특성, 토크 특성을 살펴보았다.

본 논문에서의 다양한 특성 해석은 전기기기류의 각 제 조사와 실험실 등에서도 별다른 변경없이 적용가능하리라 생각되며 정밀한 데이터값과 특성은 table에 저장된 file양으로 조절이 가능하다는 것을 나타내었다. 특성의 정량화와 판독여부는 향후 각 전기기기의 분류에서 우수한 성능을 가진 것을 모델로 하여 비교 검증하는 절차를 가진다면 보다 유연성 있는 전기기기 특성해석 시스템이 될 수 있으리라 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김영문, "최신전기기기실험", 효성출판사, 2004