

전동기의 온도상승시험에서 권선 인덕턴스를 고려한 열저항 측정방법 연구

이민욱*, 백두산*, 안호진*, 김경식*, 권재혁*, 이현**, 표세호**
 이레산업(주)*, 경남테크노파크**

The Measurement Method Research of Thermal Resistance Considering Winding Inductance On Motor Temperature Rise Test

Min-Uk Lee*, Du-San Baek*, Ho-Jin An*, Gyeong-Sik Kim*, Jae-Hyeok Gwon*, Hyeon Lee**, Se-Ho Pyo**
 iREA System Industry*, GNTP**

Abstract - In this paper, the winding resistance was measured at intervals of time when performing the temperature rise test suggested in the standard KS C IEC 60034-1. A Dynamo system was constructed to perform the temperature rise test. The purpose of this research is to analyze the motor efficiency results according to the time interval using an automatic measuring system designed in advance for the thermal resistance of the motor in consideration of the winding inductance.

1. 서 론

국제 표준 IEC 60034-1은 변속기기를 포함하는 에너지 효율 전동기의 선택 및 응용 가이드로서 전동기 시스템의 전형적인 유형의 응용 기기에 대한 에너지 효율, 변속기기 및 전동기의 기술적 특성에 대해서 가이드를 제공한다.[1]

본 논문에서는 한국 표준 KS C IEC 60034-1에서 제시하고 있는 전동기 성능시험 중에서 온도상승시험을 통해 저항 계측기의 측정 트리거 경과시간에 따른 열저항과 효율을 비교하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전동기 온도상승시험

전동기 온도상승시험에 있어서 권선의 온도를 측정하는 방법으로 온도계법, 매입 온도계(ETD)법 그리고 저항 측정법이 인정된다. 그 중 온도계법은 권선에 열전대 온도계 혹은 저항 온도계 등을 부착하여 온도를 측정하는 방법이며, 저항 측정법은 온도 상승에 따른 권선 저항의 증가로부터 권선의 온도를 산출하는 방법이다.

2.1.1 저항 측정법

한국 표준 KS C IEC 60034-1에서는 일반적인 상황에서 전동기의 권선온도를 측정하기 위해서는 저항 측정법을 적용하여야 한다고 명시되어 있다. 저항 측정법에서 제시하는 온도 산출식은 아래와 같다. (단, 냉각제를 사용하지 않은 경우이다.)

$$\theta_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (k + \theta_1) + \theta_1 \quad (1)$$

위의 식(1)에서 θ_1 은 시험 전 저항 측정시의 권선 온도, θ_2 는 시험 종료 시의 권선 온도, R_1 은 시험 전 측정된 권선 저항, R_2 는 시험 종료 시 측정된 권선저항, k 는 온도 계수의 역수로 구리의 경우 235, 알루미늄의 경우 225의 값을 가진다.

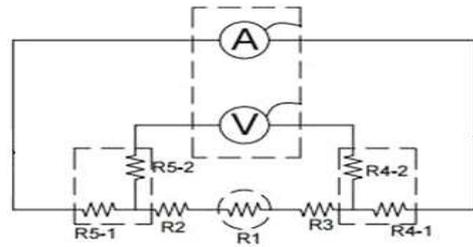
저항 측정법을 통한 저항 측정 시, 전동기의 온도가 급격히 떨어지게 된다. 그렇기 때문에 신속한 전동기의 회전정지 및 저항 측정이 필요하다. 한국 규격 KS C IEC 60034-1에서는 아래 표1과 같이 시간 간격 t_s 를 규정하고 있다.

<표 1> 허용 가능한 측정 시간 간격 t_s

정격 출력	전원 개로 후 시간 간격 t_s
50kW 이하	30초
200kW 이하	90초

2.2 권선저항 자동 측정

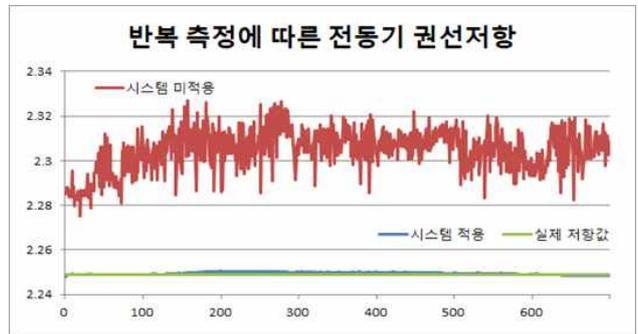
한국 표준 KS C IEC 60034-1에서 저항 측정법을 통하여 권선 온도를 구하는 경우, 사전에 철저한 계획과 숙련된 다수의 인원이 필요하게 된다. 이는 상황에 따라 시험자체가 불가할 수 있기 때문에 아래 그림 2와 같이 자동으로 권선 저항을 측정할 수 있는 시스템을 구성하여 이를 해결하고자 한다.



<그림 1> 자동 저항 측정 시스템 개요도

그림 2에서 전압계와 전류계는 저항 계측기 내부에 존재하는 장치이고, R_1 은 전동기 권선저항, R_2 와 R_3 는 전동기와 저항 계측지점 까지 전선저항, R_4 와 R_5 는 각각 릴레이 내부 저항이다.

그림 2의 시스템을 적용 여부에 따른 전동기의 권선저항 R_1 을 측정된 결과는 아래 그림 3과 같다.

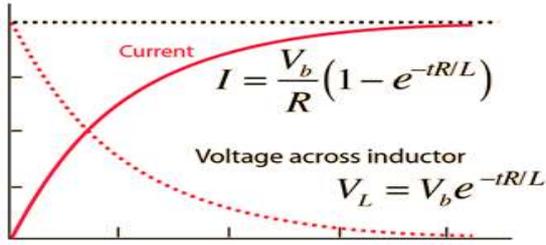


<그림 2> 자동 저항 측정 시스템 개요도

저항을 수동으로 측정하는 경우에는 저항 계측기의 프로브가 저항에 닿으면 측정되는 반면, 저항을 자동으로 측정하려는 경우에는 저항 계측기에 측정 트리거를 전달해야 한다.

2.2.1 전동기의 인덕턴스 문제

전동기는 내부 코일에 의해 권선 인덕턴스가 수반된다. 그래서 저항 계측기로부터 권선 저항을 측정하기 위한 입력 전압 바이어스가 바로 상승 하지 못하고 아래 그림 4와 같이 지수 함수적으로 증가하게 된다.

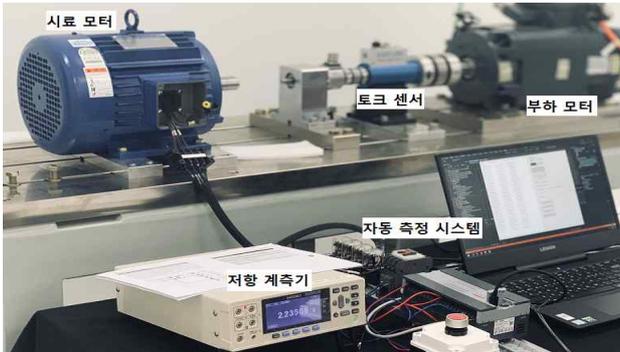


<그림 3> 권선 인덕턴스에 의한 전압, 전류 변화

이러한 권선 인덕턴스로 인하여 권선 저항을 측정하게 되면 권선 저항이 높은 상태에서 점차 낮아지는 형태로 측정된다. 이를 통하여 저항 계측기에 인가되는 측정 트리거의 지연시간 t_d 에 따라 측정되는 권선 저항의 값이 상이하며, 그에 따른 전동기의 효율 결과도 달라질 것으로 예측할 수 있다.

2.3 시험 및 저항 측정

전동기 온도상승시험을 진행하기 위해 다이나모 시스템을 구성하였다. 시험에 사용된 다이나모 시스템은 10kW급 부하 모터, 권선 저항을 측정할 시료 모터, 시료 모터 구동을 위한 AC 전원 공급기 그리고 저항 계측기(RM3545)로 구성되어 있다.



<그림 4> 구성된 다이나모 시스템을 이용한 시험 진행

전동기 온도상승시험을 위해 준비된 시료 모터의 정보는 아래 표2에 제시되어 있다.

<표 2> 시험에 사용된 시료 모터 정보

출력	3.7kW	전압	380V
주파수	60Hz	극 수	2극
결선	Y결선	형식	전폐형

시료 모터의 온도상승시험이 종료된 후, 시료 모터의 전원을 차단하고 시료가 멈출 때까지 대기한다. 시료 모터가 정지한 뒤, 그림 1에서 제시한 시스템을 통해 열저항을 측정하였다. 열저항 측정은 저항 계측기의 트리거 신호가 입력된 후, 1초 간격으로 3회 측정하였으며, 열저항 예측을 위하여 총 5회 반복 하였다.

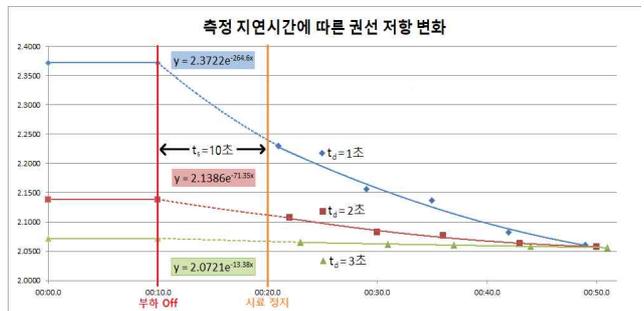
2.3.1 시험 결과

아래 그림 5는 트리거 신호가 입력된 후, 1초 간격으로 3회 측정하였으며, 총 5회 반복 측정된 결과이다.



<그림 5> 측정 지연시간 별 권선 저항 반복측정

한국 표준 KS C IEC 60034-2-1 : 2014에서는 외삽법을 통하여 부하 Off시의 열저항을 예측하도록 되어 있다. 아래 그림 6은 MS Office의 Excel 프로그램에서 제공하는 추세선 기능을 사용하여 예측한 열저항 값을 나타낸다.



<그림 6> 측정 지연시간에 따른 권선 저항 변화

아래 표3은 측정 지연시간 t_d 에 따른 열저항, 총 손실 그리고 효율을 계산한 데이터이다. 여기서 계산된 효율은 한국 표준 KS C IEC 60034-2-1에서 개별손실 합산에 의해 계산된 값이다.

<표 3> 측정 지연시간 t_d 에 따른 효율 변화

측정 지연시간 t_d	열저항	총 손실	효율
1sec	2.3722Ω	513.3W	87.8%
2sec	2.1386Ω	495.4W	88.2%
3sec	2.0721Ω	490.3W	88.3%

3. 결 론

본 논문에서는 한국 표준 KS C IEC 60034-1에서 제시하는 온도상승시험을 진행할 때, 권선 저항을 시간 간격을 두고 측정 하였다. 전동기의 권선 저항을 자동으로 측정할 경우, 전동기의 권선 인덕턴스에 따라 측정 지연시간 t_d 를 고려하여 측정하여야 한다는 결론을 도출하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 우경일, 박한석, 김대경, 최환석, 전희득. (2014). 전동기와 드라이브의 국제 규격 및 규제에 관한 현황 연구. 전기학회논문지, 63(3), 437-443.
 [2] 문지훈, 이지, 고명진, 최두성, 김용식. (2021). 평균법에 의한 현장 측정 열저항의 실내·외 온도차변동성에 따른 수렴조건 분석. 한국생활환경학회지, 28(1), 95-102.
 [3] 강병용, 박승익, 박효순. (2000). 평판형 현장 열저항 측정기의 정확성 평가 및 성능개선 연구. 한국태양에너지학회 학술대회논문집, 145-152.