

부분방전 특성을 이용한 고압 유도전동기 고정자 권선 열화진단

Deterioration Diagnosis of Stator Windings in High Voltage Induction Motor Using Partial Discharge Characteristics

김 덕 근*, 정 영 일, 이 은 석, 임 용 배, 김 중 서

Kim Duck-Keun*, Jung Young-Il, Lee Eun-Suk, Lim Yung-Bae, Kim Jong-Seo

Abstract

High voltage induction motors are widely used in industrial factory because have many benefits. But the insulated materials of induction motor are aged by using time, electrical, thermal, circumstantial stresses and so on. Motor failures are occurred by these deterioration phenomena and give rise economic problems to user. In many motor failures, insulated material problems of stator winding happen frequently and occupy high percentages in the failure source.

In this paper, the testing specimen(motorette) is manufactured by modeling of stator winding of high voltage induction motor and accelerating test is carried out. Partial discharge signals detected by RF sensor are used to analyze deterioration condition of stator windings. According to aging time, the 3D (Φ -Q-N) distribution and skewness of partial discharge signals are changed.

Key Words : Motor, Partial Discharge, High Voltage, Skewness, Diagnosis

1. 서 론

산업의 발달과 정보화 시대로 변화가 이루어지면서 전력설비들의 안정적 운전상태 유지 및 효율적 운용·관리에 대한 요구가 증가하고 있으며, 전력설비의 정전상태 측정법은 정전에 따른 경제적 손실을 수반하게되므로 무정전 상태에서 전력기기의 열화정도나 운전상태 등을 측정할 수 있는 새로운 진단기법의 개발 및 사고예방과 유지·보수의 효율성을 높이기 위한 연구가 필요하다.

유도전동기는 전원을 간단히 얻을 수 있고, 구조가 간단하며, 운전이 쉽고, 부하의 증감에 대한 속도의 변화가 적기 때문에 널리 이용되고 있지만, 부하의 상태, 운전시간, 기동/정지 횟수, 사용환경 등 다양한 요소들에 의해 열화가 발생하며, 열화특성도 각각의 조건에 따라 다르게 나타난다.

전동기 고장실태를 분석해보면 절연체의 전기적 절연열화, 축과 베어링 등의 기계적 열화, 과부하에 의한 열열화에 의한 발생빈도가 높고, 고장부위별로는 고정자, 베어링, 회전자 순으로 나타나고 있다.

따라서 본 연구에서는 유도 전동기의 고장요인과 고장부위 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 고정자 권선 절연체의 전기적 열화를 분석하기 위하여, 고정자 코일과 슬롯부분을 모델링한 motorette(코어 일부분에 성형코일을 삽입하고 lead 절연처리한 것으로 ass'y에 대한 시험을 대응하기 위한 모델)를 제작하여, 인가전압과 파괴수명에 대한 부분방전 신호의 통계적 해석을 통해 방전특성을 분석하였다. 또한 무정전 상태에서 부분방전 패턴변화를 이용하여 전동기의 열화상태를 진단할 수 있는 측정기술의 적용가능성에 대하여 연구하였다.

2. 부분방전 특성

전극사이를 완전하게 연결하지 못하는 전기적 방

전기안전시험연구원

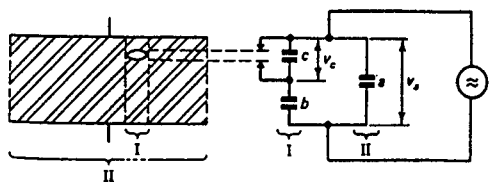
Fax : 031)580-3111

E-mail : mailcode@lycos.co.kr

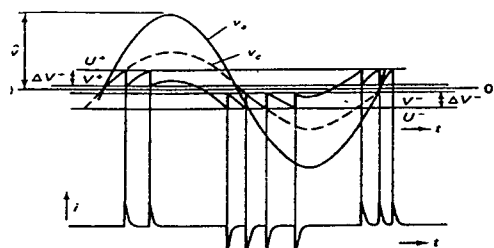
전을 부분방전이라고 한다. 이러한 방전의 크기는 비록 작지만, 점진적인 절연성 저하를 진행시키고 궁극적인 파괴의 원인이 된다.

교류전압에서 내부방전의 작용은 잘 알려진 a-b-c회로를 사용하여 설명된다. 내부 공극의 용량은 절연파괴 경로에 의해 분기되는 정전용량 c로 표현하고, 공극에 직렬로 연결된 절연재료의 용량은 정전용량 b, 정전용량 a는 절연재료의 정상적인 부분이다. Fig. 1(a)에서는 절연재료의 결합이 존재하는 부분을 영역 I로, 정상적인 부분은 영역 II로 구분하였다. Fig. 2(b)는 방전의 발생과 반복에 대한 기본적인 메카니즘을 보여주고 있다. 절연재료에 걸린 고전압은 V_a 이고, 공극에 걸린 전압은 V_c 이다. V_c 가 공극의 절연파괴전압 U' 에 도달하면 공극에서 방전이 발생하고, 방전 후 V_c 는 방전전류전압 V' 로 떨어진다. 전압강하 시간은 10^{-7} [sec]이내에 일어난다. 방전이 방전전류전압에 도달한 후에는 인가전압의 변화에 따라서 V_c 가 변화한다.

V_c 는 인가전압에 의한 전계와 마지막의 방전 후에 잔류된 공극벽에서 표면전하의 전계와의 중첩으로 발전되고, V_c 에 걸린 전압이 다시 U' 에 도달하면 새로운 방전이 일어난다. 이것은 절연재료에 인가되는 고전압 V_a 로 인하여 V_c 가 새로운 방전이 일으키는 방전패턴을 관측할 수 있다.



(a) The a-b-c equivalent circuit



(b) Current and voltage of partial discharge

Fig. 1. Partial discharge mechanism occurred inner void.

3. 실험방법

3.1 시료제작

고압 유도전동기 고정자 권선과 슬롯의 절연체에서 발생하는 절연열화 모의실험을 위해 3 ϕ 3300[V], 6극 100[HP] 유도 전동기의 권선과 슬롯을 모델링하였으며, 절연계급은 F종이다. 시료(motorette)의 구조를 Fig. 2에 나타냈다.

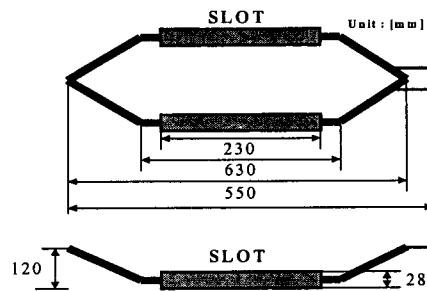


Fig. 2. The structure of motorette.

3.2 실험방법

Fig. 2와 같이 제작한 시료에 10~15[kV] 사이의 교류전압을 인가해 가속실험을 실시하였다. 이때 발생하는 열화특성을 분석하기 위해 고전압 인가선과 접지선에 각각 CT형 센서를 설치하고, 전원선을 통해 나타나는 부분방전 신호는 활성RF진단장비를 이용해 측정하고, 접지선에서 부분방전 신호는 부분방전 스펙트럼 분석기를 통해 측정하였다.

전압 인가시간에 따른 시료의 열화정도를 파악하기 위하여 측정된 부분방전 분포패턴에 대하여 인가 시간과 절연체 열화의 상관관계에 대하여 통계적 분석방법을 적용하였다. Fig. 3은 본 연구에 이용한 모의실험용 측정장치 구성도이다.

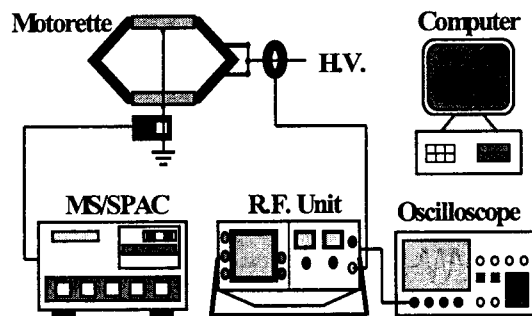


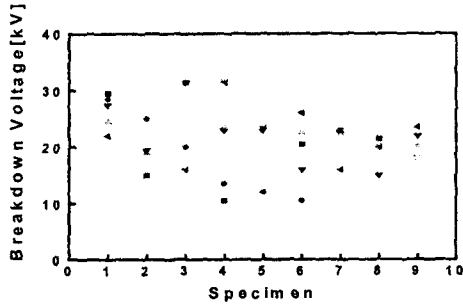
Fig. 3 Measurement unit of modeling test.

4. 실험결과 및 고찰

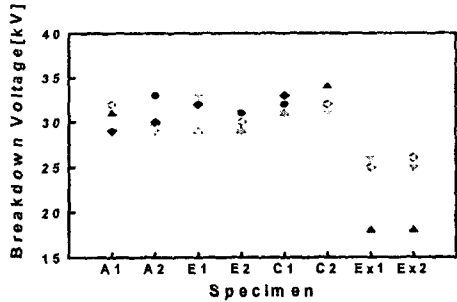
전압에 의한 절연체의 열화특성을 비교·분석하기 위하여 각 시료의 파괴전압을 측정하고, 활성상태에서 전원선과 접지선에서 부분방전 신호를 검출하였다.

4.1 교류파괴전압 특성

절연파괴가 발생할 때까지 전압을 계속 승압하여 파괴전압을 측정된 결과를 Fig. 4에 나타냈다. A사 시료의 경우 파괴전압은 약 10.5~31.5[kV]사이의 값을 갖으며, 파괴전압의 평균값은 22.6[kV]로 나타났다. B사 시료의 파괴전압은 18~34[kV]사이의 값이며, 평균값은 29.5[kV]로 나타났다. 파괴전압의 평균값은 B사 시료가 약 6.9[kV]정도 높기 때문에 절연체의 교류 내전압 특성은 우수하다고 할 수 있지만, 각 시료마다 파괴전압 편차가 상당히 크다. 이것은 제품의 신뢰성이 낮아질 가능성이 높으며, 고압 유도전동기 운전중 제작결함에 의한 사고가 발생할 수 있는 확률이 높아진다. 따라서 제조회사에서는 내전압 특성의 향상과 더불어 생산과정에서 제품의 균일성과 신뢰성 측면도 함께 고려해야 한다.



(a) 'A' company



(b) 'B' company

Fig. 4 Testing results of breakdown voltage.

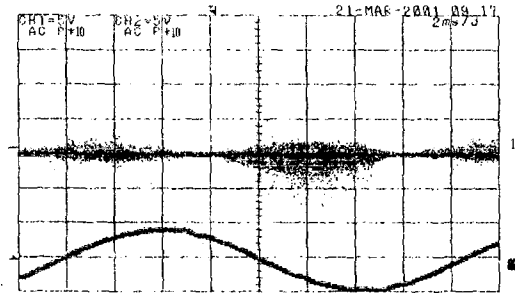
4.2 부분방전 특성측정

절연체의 전체적인 절연파괴가 아니라, 코로나와 같은 국부적인 대기중 방전과 절연체 내에 존재하는 보이드에서 발생하는 내부방전 등의 부분방전에 의해 절연체가 점차로 열화되어 절연파괴에 이른다.

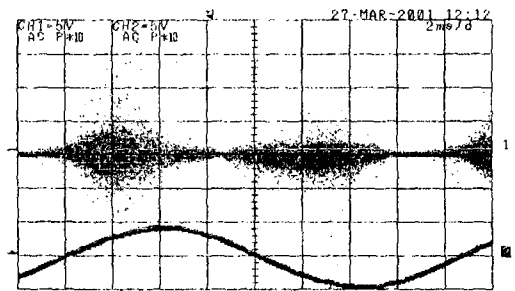
발전기나 전동기 같은 회전기에서 발생하는 부분방전의 형태는 크게 도체-절연체 사이의 보이드에

의한 내부방전, 슬롯 가장자리의 코로나 방전, 철심과 절연체 사이의 방전으로 나눌 수 있다. 이런 방전의 형태에 따라서 부분방전의 패턴에 변화가 따른다. 본 연구에서는 슬롯 가장자리의 코로나 방전이 주된 부분방전으로 나타났다.

Fig. 5와 Fig. 6은 시료에 고전압을 인가해 절연파괴가 발생할 때까지의 부분방전 패턴중 초기와 말기의 특성 결과이다. 인가전압 및 열화시간에 따라 각 시료마다 최대방전량(Q_{max})은 차이가 있지만 열화 초기단계에서부터 말기까지의 방전위상(θ)에 대한 방전량(Q)과 빈도수(N)의 패턴변화가 발생한다.

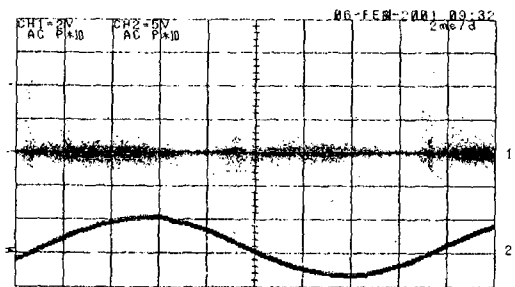


(a) Initiation

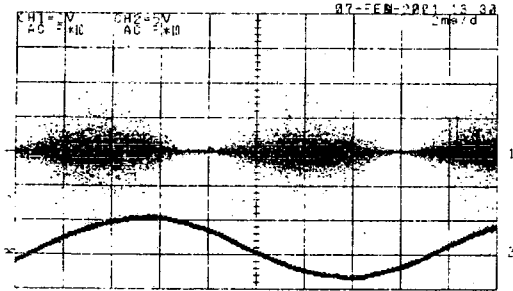


(b) 140[h]

Fig. 5 Partial discharge patterns of 'A' company according to aging time(applied voltage : 14[kV])



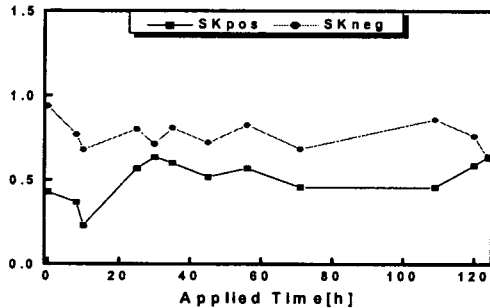
(a) Initiation



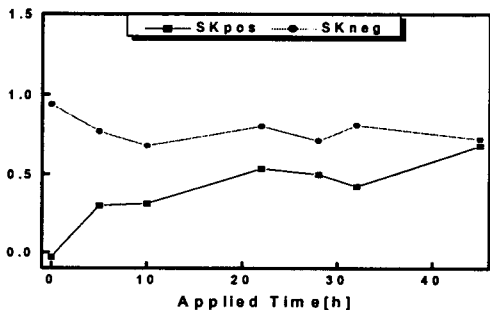
(b) 25[h]

Fig. 6 Partial discharge patterns of 'B' company according to aging time(applied voltage : 20[kV])

방전신호의 위상분포를 살펴보면, $0\sim 90^\circ$ 와 $180\sim 270^\circ$ 의 위상에서 분포도가 높게 나타나고 있으며, 열화말기 단계로 진행되면 방전량의 빈도수와 방전량의 크기가 증가하며, 방전신호의 분포위상이 변화하는데 이것은 다음의 왜도특성 결과에서 잘 나타나고 있다. 따라서 열화시간에 대한 부분방전 패턴변화를 분석하면 전동기의 열화상태와 진행 정도를 파악할 수 있고, 사고방지와 효율적인 유지·보수를 할 수 있을 것으로 예측된다.



(a) A-5 specimen



(b) A-6 specimen

Fig. 7 The change of skewness according to applied time

방전신호는 펄스의 형태로 비주기성을 나타내므로 재현성이 낮을 경우에는 신호해석에 어려움이 많고, 짧은 시간동안 측정된 데이터를 이용해 열화를 판정할 경우 신뢰성 문제가 발생한다. 따라서 일정시간 이상의 누적분포를 통해 방전신호를 통계적으로 분석하는 방법이 필요하다. 왜도(skewness)는 데이터(방전신호)의 분포패턴이 어떻게 변화하는지에 대한 특성을 쉽게 파악할 수 있다.

열화시간에 대한 방전신호의 왜도 변화특성을 분석한 결과, Fig. 7처럼 열화가 진행됨에 따라 positive과형의 왜도는 증가하고, negative과형의 왜도는 감소하는 특성을 나타낸다.

5. 결론

고압 유도전동기 고정자 권선과 슬롯을 모델링한 시료(motorette)에 고전압을 인가하여 가속열화시키고, 이때 발생하는 부분방전 신호를 활선상태에서 검출하여 절연체 열화특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 절연체 열화가 진행되면 부분방전 패턴변화가 발생하므로, 활선상태에서 부분방전 신호검출을 통한 패턴분석은 고압 유도전동기 고정자 권선의 열화상태 검출에 적용이 가능하다.
- (2) 방전신호의 분포는 주로 $0\sim 90^\circ$ 와 $180\sim 270^\circ$ 사이에서 크게 나타나며, 열화가 진행되면 방전신호의 위상분포가 변화한다.
- (3) 열화가 진행되면 positive의 방전과형 왜도는 증가하고, negative의 방전과형 왜도는 감소하는 특성을 나타낸다.

참고 문헌

- [1]. 日本 電氣計算 1月號, "電動機 코일의 絶緣診斷テクニック", pp. 211-214, 1985.
- [2]. A. Krivda, "Automated Recognition of Partial Discharges", IEEE Trans. Dielectric and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 5, pp. 796-812, 1995
- [3]. IEEE Std. 930, "IEEE Guide for the Statistical Analysis of Electrical Insulation voltage Endurance Data", pp. 1-27, 1987.
- [4]. IEEE Std. 117, "IEEE Standard Test Procedure for Evaluation of System of Insulating Materials for Random-Wound AC Electric Machinery", pp. 7-24, 1977.