

## 고압전동기 고정자권선 결함 부분방전패턴

박재준\* · 김희동\*\*

### 요 약

정상적인 기계의 동작동안, 부분방전측정이 고전압전동기 고정자권선을 모의하여 터빈제너레이터 분석기(TGA)를 이용하여 실행하였다. 모의한 고정자권선에 인가된 전압은 4.47[kV]와 6.67[kV]을 인가하였다. 모의 고정자권선을 갖는 전동기들은 단자함에 80[pF]용량성 커플러를 설치하였다. 인가전압 위상각을 고려한 부분방전패턴의 경우 2차원, 3차원적으로 보여주었다. TGA는 정규화된 펄스수(NQN)DHK 부분방전펄스크기(Qm)으로서 두개의 정량화된량을 나타내었다. 결론적으로, 우리는 모의한 고정자권선에 대한 내부방전과 표면방전의 차이를 TGA를 이용하여 식별할수 있었다. 고정자권선의 결함에대한 특징을 추출하기위한 기법으로서 이산웨이블렛 변환기법 및 주파수분석법을 이용하여 결합신호에 대한 특징을 추출할 수 있었다.

## 1. 서론

고압전동기 고정자 권선 결함은 제작시에 존재하거나 장기간 운전되는 동안에 열적, 전기적, 기계적 및 환경적인 열화를 통한 복합적인 열화에 의하여 형성된다.

결함의 형성 및 위치에 따라 내부방전, 슬롯방전, 도체표면에서 방전 그리고 불평등 전계하에서발생되는 트리잉방전 등 발생원에 따라 부분방전 패턴도 서로다르게 발생된다. 이러한 부분방전 패턴신호를 고압전동기에 적용하여 운전중 및 정지중 절연재료에서 열화정도를 판정하고 있다[6].

일반적으로 정지중과 운전중에 부분방전을 측정하는 장비가 서로 다르지만 부분방전 패턴은 상호 일치성을 갖고 있다[6]. 고압전동기 고정자 권선 단자박스에 에폭시-마이카 커플러(epoxy-

mica coupler)를 설치하고 TGA(turbine generator analyzer)를 사용하여 운전중에 부분방전을 측정하고 있다[1]. TGA는 고정자 권선에서 전체적인 방전활동을 파악하기 위해 NQN(normalized quantity number)과 부분방전 크기(Qm)를 주로 측정하여 경향을 분석함으로써 이상여부를 판단한다.

본 연구에서는 고압전동기 및 발전기에서 장기간 운전하게되면 결국 결함이 발생하게 된다. 이러한 결함의 발생을 인공적 결함을 모의하여 정격전압 4.16kV, 6.6kV급 고압전동기 고정자 권선의 운전중 부분방전 패턴을 추출하기위하여 웨이블렛 변환기법을 적용하였고, 신호해석을 위하여 고조파성분에 대한 분석이루어졌다. 동시에 TGA를 사용하여 운전중 고압전동기 고정자 권선의 절연열화 발생 위치의 부분방전패턴을 평면 및 3차원적으로 확인 할수 있었다.

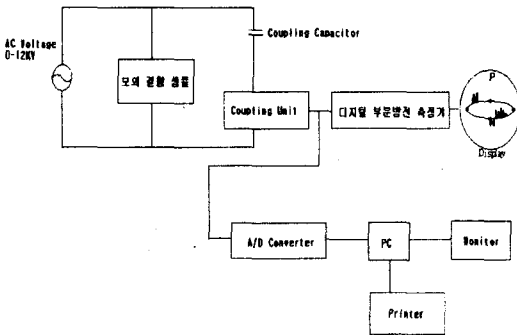
\* 중부대학교 전기전자공학과 부교수

\*\* 한전전력연구원

## II. 실험

### 2.1. 실험장치

고압전동기 고정자 권선 단자박스에 에폭시-마이카 커플러(80pF epoxy-mica coupler, Iris Power Engineering)를 설치하였다. 운전중에 고압전동기 고정자 권선의 부분방전 시험을 측정하기 위해 부분방전 분석기(turbine generator analyzer : TGA, Iris Power Engineering)를 사용하여 NQN, 최대부분방전 크기 및 부분방전 패턴 등을 분석하여 절연열화 상태와 정도를 분석하였다. 부분방전 펄스 갯수, 부분방전 크기 및 위상을 2차원과 3차원으로 나타냈으며, 부분방전 패턴 분석을 통해 결함 발생 원인을 규명하였다.



(fig. 1) Experiment Setup

고정자 권선에 웨빙브리지(Tettex Instruments)를 연결 교류전압을 인가하며, 커플링 캐패시터(Tettex Instruments, 4,000pF)는 권선에서 유입되는 전원 잡음을 제거한 다음 커플링 유니트(Coupling Unit, Tettex Instruments AKV 572)에 보내어 증폭한 후에 디지털 부분방전 측정기

(Tettex Instruments TE 571)에서 위상각을 포함한 부분방전 펄스 분포패턴과 A/D변환기를 통한 부분방전 신호를 Data Acquisition 시스템을 통하여 데이터가 획득하게 된다.

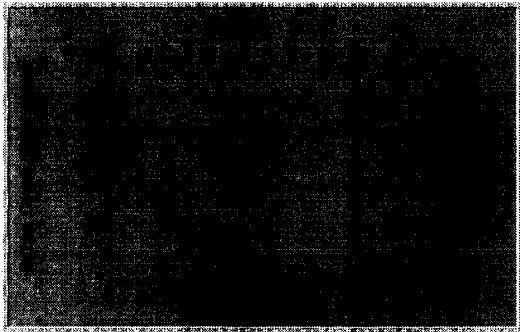
한쪽 방향으로의 종래의 제측된 위상각을 포함한 진단기법과 다른 한쪽은 새롭게 개발된 웨이블릿 변환 기법을 적용하여 부분방전 형상과 파라미터를 구하기 위한 기법으로 이분적인 신호계측이 동시에 이루어지게 된다.

## III. 결과 및 고찰

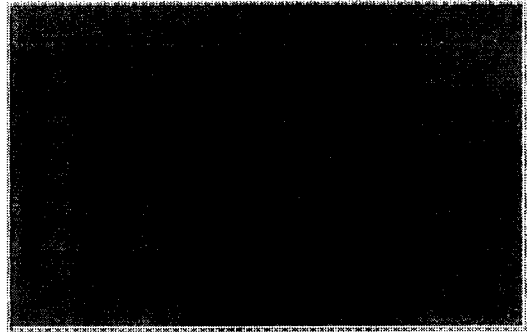
### 3.1. 인가전압위상각을 고려한 경우

모의 결함한 고정자권선에 교류 4.7 및 6.6KV를 고정자 권선에인가하여 운전중 부분방전 특성을 분석하기 위해 TGA를 사용하여 NQN과 최대부분방전 크기(Qm)를 나타내었다. 모의 고압전동기 고정자권선에 에폭시-마이카 커플러 1개를 설치하고 전압을 상전압(2.4kV)에서 정격전압(4.16kV)까지 증가하면서 NQN과 Qm의 크기를 측정하였다.전압이 증가함에 따라 NQN과 Qm은 증가하였다. 모의결함은 내부방전을 일으키도록 결함을 모의 하였다.

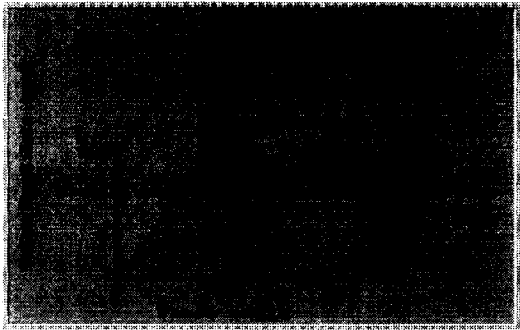
그림 2(a), (b)에서 나타낸 바와 같이 고압전동기는 부극성 펄스와 정극성 펄스(positive pulse)가 거의 일치하고 있으며 정극성 PD와 부극성 PD가 거의 동일하므로 부분방전 패턴이 내부방전(internal discharge)으로 분석되었다[3]. 내부방전의 원인은 장기간 운전에 의해 절연재료 내부의 평면(flat) 보이드 부분에서 방전이 발생되고 있으며, 주로 신규발전기 혹은 고압전동기에서 거의 60%정도를 점유하고 있다.



(a) 2-Dimension



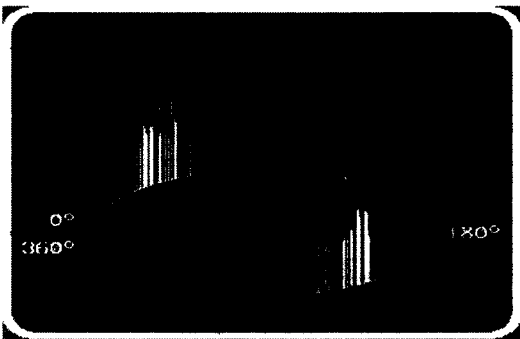
(a) 2-Dimension



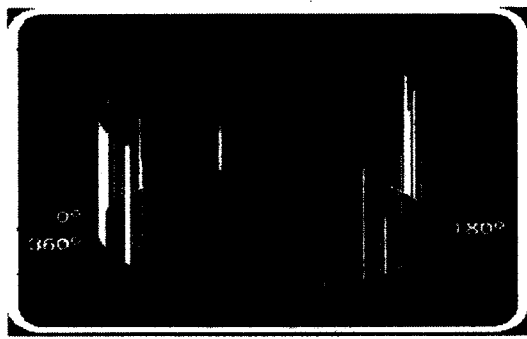
(b) 3-Dimension



(b) 3-Dimension



(c) Internal Discharge



(c) Surface Discharge

(fig. 2) PD Pattern at Internal Discharge

(fig. 3) PD Pattern at Surface Discharge

그림 3(a),(b),(c)에서 나타낸 바와 같이 고압 전동기 결함신호는 정극성 펄스(positive pulse)에 비해 부극성 펄스(negative pulse)가 우세하

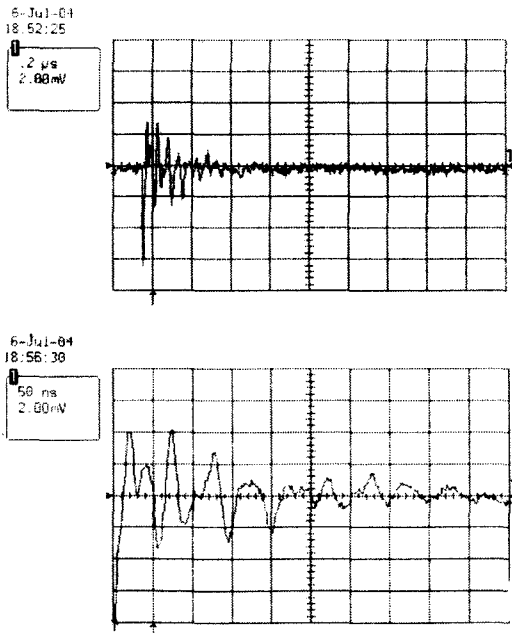
게 나타났으며, 정극성 PD에 비해 부극성 PD가 높기 때문에 부분방전 패턴이 도체표면에서 방전(discharge at conductor surface)으로 분석되

었다[5].

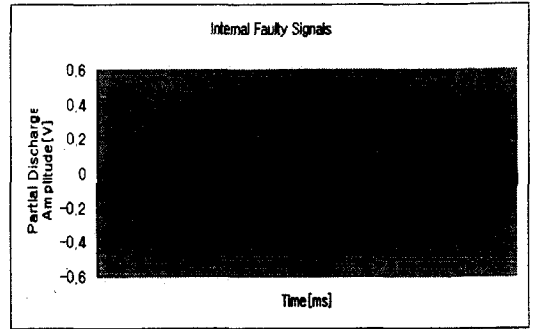
도체표면에서 방전은 주절연과 소선절연 사이의 미소 공극(void)에 의해 발생하며, 합침 바나쉬나 수지에 의해 완전히 채워지지 않은 소선 사이와 전이된 소선의 교차점에서 형성된다. 미소 공극은 운전중에 열적 싸이클에 의해 역시 발생되고 주절연에서 분리된 동도체에서도 야기된다. 미소 공극에 의해 발생한 부분방전은 전기적 트리로 진전되며, 주절연, 소선 및 턴절연을 마모시키고 소선-소선, 턴-턴 사이를 단락시킨다[6].

### 3.2. 웨이블릿 변환을 이용한 경우 결함신호의 특징추출

그림3에서는 모의한 고정자권선에서 발생한 내부방전시 발생한 부분방전 신호를 에폭시-마이크라 커플러인 센서를 통하여 출력된 부분방전



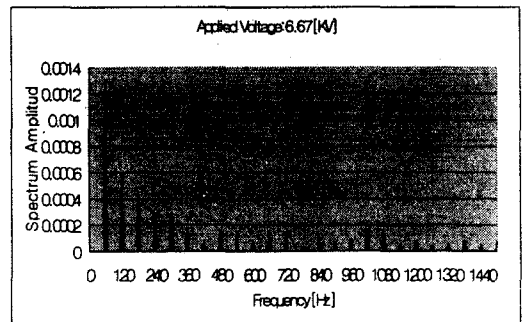
신호를 디지털오실로스코프를 이용하여 컴퓨터에서 원격계측되었다. 계측한 내부방전 모의 고정자권선으로부터 계측된 신호를 나타내고 있다. 4.47KV을 인가할 때 보다 6.67KV인가시 진폭이 큼을 알수있다.



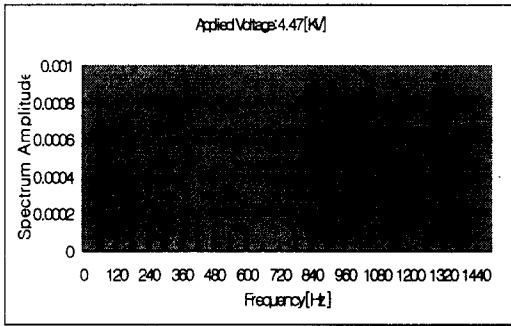
(fig. 3) Waveform at Internal Discharge

그림4에서는 두가지의 인가전압에 따른 고조파성분분석을 통하여 한 원도우가 50ms동안의 파형에서 출력전압의 값이크면 고조파성분도 크게됨을 볼 수 있다.

그림5(a)(b)에서는 다운비치 웨이블릿 변환기법을 적용한 결과 인가전압의 크기에 따라 웨이블릿 변환시 발생된 계수의 차이를 발견할수 있었다. 또다른 특징추출에는 웨이블릿 각 레벨의

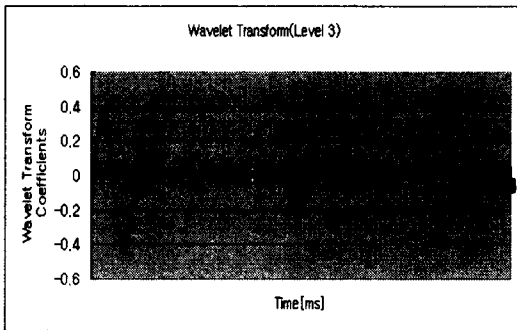


(a) Spectrum Analysis (Applied Voltage: 6.67KV)

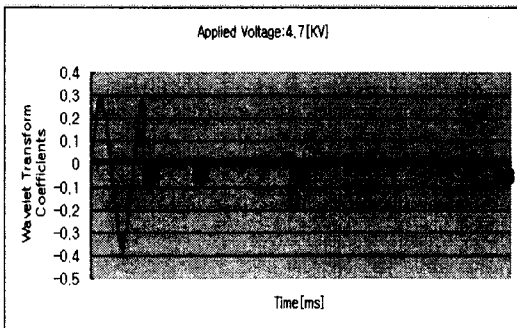


(b) Spectrum Analysis(Applied Voltage: 4.47KV)

(fig. 4) Spectrum Analysis at Internal Discharge



(a) Wavelet Transform at Applied Voltage 6.67KV



(b) Wavelet Transform at Applied Voltage 4.47KV

(fig. 5) Application of Discrete Wavelet Transform Technique

평균값 및 총합의 결과를 통하여 검토가 필요할 것으로 사료됨.

## IV. 결론

운전중 및 정지중 고압전동기의 결합진단은 무엇보다 중요하다 할 것이다. 실험실상에서 모의결합한 고정자권선을 이용하여 결합신호의 부분방전 패턴의 특징을 추출하기 위하여 이산웨이블렛 변환기법을 적용하였고, 동시에 인가전압 위상각을 고려한 TGA를 이용하여 부분방전 패턴중 내부결합에 의한 신호임을 알 수 있었다. 향후 TGA를 이용한 진단기법도 중요하지만 또다른 특징추출을 위한 연구가 대단히 필요하다고 사료됨.

## 참고문헌

- 1) 박재준(1999), "변압기 부분방전 발생 패턴인식에 의한 열화진단", 「기초전력공학공동연구소(최종결과보고서)」.
- 2) H. Zhu, V. Green, M. Sasic. and S. Halliburton(1998), Capacitive couplers with increased sensitivity on-line PD measurement in stator windings, *IEEE International Symposium on Electronic Insurance*, pp. 261-265.
- 3) V. Warren, G. C. Stone and M. Fenger(2000), Advancements in partial discharge analysis to diagnose stator winding problems, *IEEE International Symposium*

- on *Electrical Insulation*, pp. 497-500.
- 4) G. C. Stone(2001), *Partial discharge seminar*, Iris Power Engineering Inc., *Vol.1*, pp. 56~78.
  - 5) I. M Culbert, H. Dhirani, and G. C. Stone, (1989), Handbook to assess the insulation condition of large rotating machines, *EPRI, EL-5036, Vol.16*, pp. 3-25~3-28, 5-13~5-14.
  - 6) 김희동(2001), “회전기 고정자 권선의 절연상태 평가”, 「대한전기학회 하계학술대회 논문집」, pp. 1706-1708.
  - 7) 김희동(2000), “회전기 고정자 권선에서 부분방전 패턴 분석”, 「한국전력공사 전력연구원 기술개발」, 제42집, pp. 201-214.

## Pattern of partial discharge for stator windings fault of high voltage motor

Jae-Jun Park\* · Hee-Dong Kim\*\*

### Abstract

During normal machine operation, partial discharge(PD) measurements were performed with turbine generator analyzer(TGA) in imitation stator winding of high voltage motors. The motor was energized to 4.47kV, 6.67, respectively. Applied voltage to Imitation winding was used two voltage level , 4.47[KV]and 6.67[KV].Motors having imitation stator winding were installed with 80pF capacitive couplers at the terminal box . Case of PD Pattern regarding applied voltage phase angel, the PD patterns were displayed two dimensional and three dimensional . TGA summarizes each plot with two quantities such as the normalized quantity number(NQN) and the peak PD magnitude(Qm). As the result , we could discriminate using TGA the difference of internal and surface discharge for imitation stator winding. We have used the other technique, in order to feature extraction of faulty signals on stator winding, Daubechies Discrete wavelet transform and Harmonics analysis(FFT) about faulty signals.

Key words : wavelet transform, partial discharge, stator winding, phase angel of applied voltage, feature extraction

---

\* Department of Electrical Electronic Engineering, Joongbu University,

\*\* KEPRI