

# 1000 pF 커플러를 이용한 견인전동기 부분방전특성

## Partial Discharge Tests for Traction Motor Using 1000 pF Couplers

고병훈\*                      박현준\*\*                      권삼영\*\*                      나해경\*\*\*                      이형우\*\*  
Byeonghun Ko              Hyun-June Park              Sam-Young Kwon              Hae Kyung Na              Hyung-Woo Lee

---

### ABSTRACT

With the development of high speed railway, traction motors play a critical role in the operation of railway vehicle. This paper describes the use of 1000 pF coupler as a on-line partial discharge (PD) measurement for the assessment of railway traction motor. The PD tests are performed with developed PD analyzer and the 5 model coils such as thermal, electrical, mechanical and environmental aging respectively at various AC voltages. On-line PD tests using 1000 pF couplers show that PD patterns can be detected successfully at 2.3 kV.

---

### 1. 서 론

미국 EPRI (Electric Power Research Institute)의 보고서에 따르면 고압회전기의 고장은 베어링과 고정자 파손에 의해서 가장 많이 발생한다고 발표했다.[1] 특히, 철도차량의 견인전동기는 반복적인 기동과 정지 그리고 인버터를 통해 기동함으로 큰 스트레스에 노출된다. 이와 같은 열악한 환경으로 인해서 고정자의 절연물에 열화가 가속화 되며 최종적으로 파손에 이르게 된다.[2~4] 따라서 견인전동기의 열화를 진단할 수 있는 여러 가지 방법이 연구가 진행 중이며, 그 중에서 부분방전을 이용한 절연 진단이 가장 확실하고 보편적인 방법이다.[5] 견인전동기의 고정자 결함들에서 발생하는 부분방전은 각기 다른 패턴을 가지므로 이것을 분석함으로써 정비를 요하는 견인전동기 고정자 권선의 고장여부와 종류를 판별 할 수 있다.[6]

본 연구 부분방전을 이용한 2.3 kV급 도시철도차량용 견인전동기 고정자의 열화진단에 관하여 기술하였다. 비교적 정격의 높은 고압회전기의 부분방전 진단에 사용되던 500 pF 이하가 아닌 1000 pF 에폭시-마이카 커플러 (epoxy-mica coupler)와 인위적으로 결함을 갖도록 제작한 모의권선을 이용하여 견인전동기 고정자의 절연상태를 진단하였다.

---

\* 과학기술연합대학원대학교, 미래첨단교통시스템공학과, 정회원

E-mail : bhko@krri.re.kr

TEL : (031)460-5416 FAX : (031)460-5459

\*\* 한국철도기술연구원

\*\*\* 성균관대학교

## 2. 실험방법

### 2.1 모의권선의 제작

견인전동기가 노후 됨에 따라 고정자의 권선에는 다양한 결함이 발생한다. 고정자 권선의 결함에는 소선단락, 도체표면 공극발생, 주절연재료 공극발생 및 반도체층 제거 등이 있으며 이를 부분방전으로 측정할 경우 각기 다른 패턴을 가진다. 바꾸어 말하면 부분방전 패턴 분석을 통하여 정비를 요하는 미지의 고정자 권선의 고장여부와 종류를 판별할 수 있다. 견인전동기 고정자의 부분방전 패턴을 분석하기 위해서 표 1과 인위적으로 결함을 갖도록 모의권선을 제작하였다. 모의 권선의 제작은 도시철도차량용 견인전동기 표준사양설계를 따랐다.[7]

표 1. 결함요소별 견인전동기 고정자 종류 및 권선수

권선결함	소선단락	도체표면에서 공극	주절연재료 내부에서 공극	반도체층이 제거된 권선	정상권선
권선수	10개	10개	8개	10개	10개

### 2.2 고장자 권선의 부분방전 측정

견인전동기 고정자의 부분방전을 측정하기 위한 회로도를 그림 1에서 나타냈다. 회로는 커플러, 전원장치, 터미널박스, 온라인 부분방전 진단기 및 측정용 컴퓨터로 구성된다. 커플러는 에폭시-마이카 1000 pF으로 부분방전측정의 센서에 해당한다. 전원장치는 모의권선에 전압을 인가하고, 터미널박스는 커플러와 계측장비를 연결한다. 온라인 부분방전 진단기는 자체 제작하였으며 3개 채널이 존재하기 때문에 3개 권선에서 동시에 부분방전을 측정할 수 있다. 측정용 컴퓨터는 온라인 부분방전 계측장비로부터 전송받은 데이터를 분석하거나 저장한다.

견인전동기 고정자 모의권선에 교류전압이 인가되면 권선의 결함부에서 부분방전이 발생하고 이것은 에폭시-마이카 커플러에서 측정 되어 터미널박스를 통해 온라인 부분방전 진단기로 전달된다. 온라인 부분방전 진단기로 전달된 신호는 증폭, 필터링 및 변조 등의 처리 과정을 거쳐 TCP/IP 네트워크를 통해 측정용 컴퓨터로 전송된다. 측정용 컴퓨터는 전송받은 데이터를 이용하여 부분방전의 크기, 위상 및 분포패턴을 다양한 형태로 분석한다. 그림 2는 견인전동기 고정자 권선의 부분방전을 측정하는 사진이다.

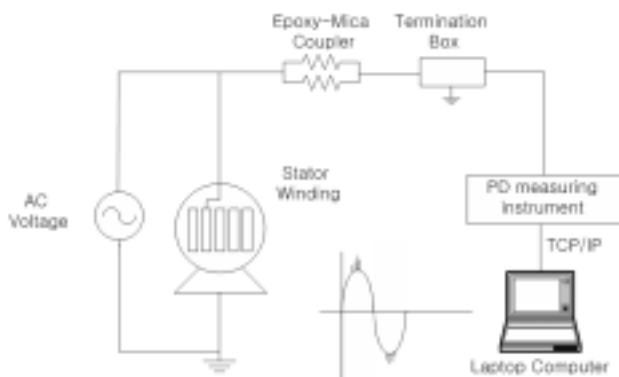


그림 1. 부분방전 측정회로도



그림 2 부분방전 측정 사진



그림 3 부분방전 측정 인터페이스 화면

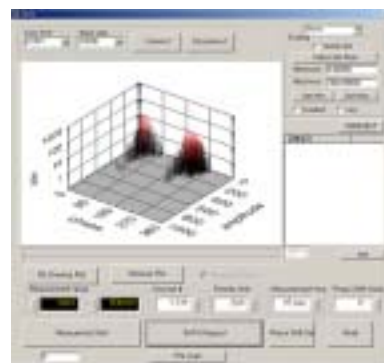
그림 3은 측정용 컴퓨터에 나타난 측정용 인터페이스이며 온라인 부분방전 측정 시스템으로부터 전송받은 데이터를 부분방전의 크기와 횟수 위상으로 표현한다. 데이터 추적 환경설정을 통해서 측정된 데이터의 스케일을 변경하거나 측정횟수 등을 조정 할 수 있다.

## 2. 2 부분방전 측정결과 및 고찰

부분방전의 크기, 위상 및 방전횟수를 그림 4 ~ 그림 7에 나타냈다. 시험결과 2.3 kV 이하 시험에서 소선단락, 도체표면 공극, 반도체층 제거된 권선 및 정상권선에서 부분방전이 크기가 낮기는 했으나 일정한 패턴으로 측정되었다. 주절연재료에 내부 공극이 있는 권선은 2.3 kV 정격이하에서 소손되었다. 소손하지 권선들은 3.0 kV를 가압하여 부분방전을 측정하였다. 소선단락 권선의 경우 그림 4와 같이 2.3 kV에서 부분방전의 크기, 위상 및 방전 횟수가 모두 낮게 나와서 패턴을 인식하기 불가능했으나, 3.0 kV에서는 부분방전이 0°~90°, 180°~270°에서 넓게 분포하는 패턴을 보였다. 도체표면 공극의 권선의 경우 2.3 kV에서는 부분방전이 전 위상에 걸쳐 넓게 분포하였으며, 3.0 kV에서는 부분방전이 45°~90°, 200°~270°에 집중적으로 분포하는 그림 5과 같은 패턴을 보였다. 그림 6은 반도체층이 제거된 권선의 부분방전 패턴을 나타낸다. 2.3 kV에서는 부분방전이 전 위상에 걸쳐 고르게 분포하였다. 3.0 kV에서는 200°~270°에 집중적으로 분포하기는 했으나 45°~90°에서도 부분방전이 나타났다. 정상적인 권선은 그림 7과 같으며 다른 결합권선과 마찬가지로 2.3 kV에서는 부분방전이 전 위상에 걸쳐 고르게 분포하는 패턴이었었고, 3.0 kV에서는 부분방전이 45°~90°, 200°~270°의 위상에서 200 pC ~600 pC사이 전압이 집중적으로 나타는 패턴이었다.



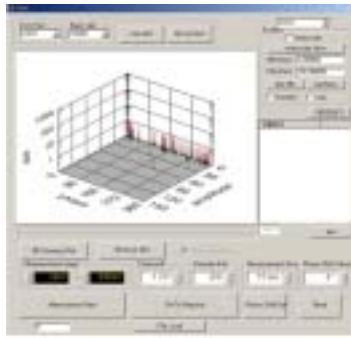
(a)



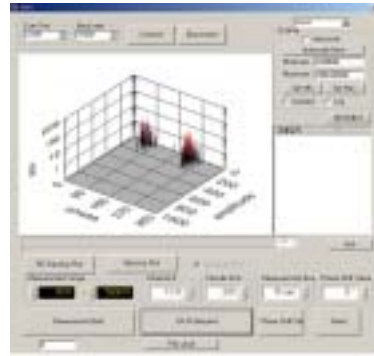
(b)

그림 4. 인가전압에 따른 소선단락 권선의 운전중 부분방전 패턴

(a) 2.3 kV, (b) 3.0 kV

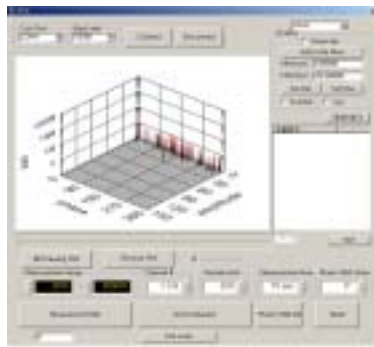


(a)



(b)

그림 5. 인가전압에 따른 도체표면결함 권선의 운전중 부분방전 패턴  
(a) 2.3 kV, (b) 3.0 kV

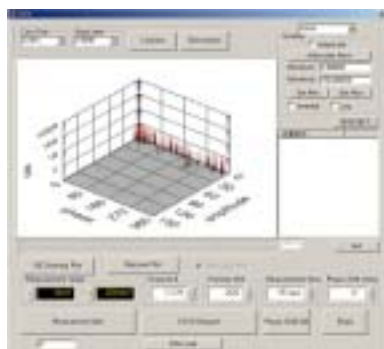


(a)

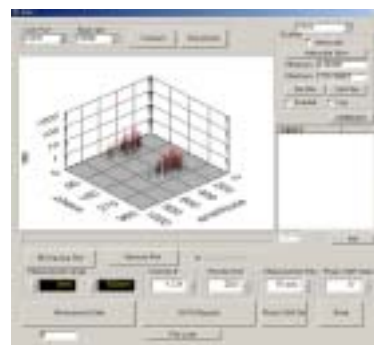


(b)

그림 6. 인가전압에 따른 반도체층이 제거된 권선의 운전중 부분방전 패턴  
(a) 2.3 kV, (b) 3.0 kV



(a)



(b)

그림 7. 인가전압에 따른 정상적인 권선의 운전중 부분방전 패턴  
(a) 2.3 kV, (b) 3.0 kV

그림 4 ~ 그림 7에서 보는바와 같이 2.3 kV에 비해서 3.0 kV에서 부분방전의 크기와 방전횟수가 더욱 뚜렷하게 관찰되었다. 따라서 고정자권선의 결함을 보다 정확히 진단하기 위해서 전압을 높여야 하는데, 정격이상으로 가압하면 고정자의 열화가 진행되어 절연물의 수명이 줄거나 소손이 일어날 수 있으므로 커플러를 교체하는 것이 바람직하다. 부분방전 측정하기 위해 사용하는 커플러의 커패시턴스가 높을수록 낮은 전압에서도 부분방전 측정 할 수 있기 때문에 향후 높은 커패시턴스의 커플러를 사용

한다면 보다 정확한 부분방전을 측정할 수 있다.

### 3. 결론

견인전동기 유지보수효율화와 신뢰성 증대를 위해 본 연구를 실시하였다. 지금까지와는 달리 1000 pF 커패시터와 모의권선을 이용하여 2.3 kV와 3.0 kV에서 부분방전을 측정하였다. 2.3 kV 이하 시험에서 주절연재에 공극이 있는 결합권선이 소손되었으며, 나머지 권선은 모두 유사한 방전패턴을 보였다. 3.0 kV를 가압한 시험에서 모의권선의 결합별 다양한 부분방전 패턴을 얻었으며 이 연구결과를 이용하여 정비를 요하는 견인전동기의 고정자권선에 대한 고장여부와 종류를 판별 할 수 있을 것이다. 향후 견인전동기 고정자의 복합적인 결합에 대한 연구와 실제 견인전동기 운영환경과 같은 인버터구동에 의한 절연열화특성 관한 연구 등이 다양하게 진행되어야 할 것으로 보인다.

### 참고문헌

- [1] G. Stone and J. Kapler(1998), "Stator Winding Monitoring", IEEE Industry Applications Magazine, pp15~20.
- [2] I. M Culbert, H. Dhiranni and G. C. Stone(1989), "Handbook to assess the Insulation Condition of Large Rotating Machines" EPRI, EL-5036, pp 3-25 ~ 3-28, 5-13~5-14.
- [3] H.G Sedding, R. Schwabe, D. Levin, J. Stein and B.K Gupta(2003). "The Role of AC & DC Hipot Testing in Stator Winding Ageing", IEEE Electrical Insulation and Electrical Manufacturing & Coil Winding Congerence, pp455~457.
- [4] 김희동(1999), “고압전동기 고정자 권선 절연재료의 미세구조 특성” 한국전기전자재료학회 춘계학술대회, pp513~517.
- [5] V. Warren, G.C Stone, M. Fenger(2000), "Advancement in Partial Discharge Analysis to Diagonse Stator Winding Problems" Conference Record of the 2000 IEEE Internation Symposium on Electrical Insulation, pp497.
- [6] 김희동(2006), “견인전동기 고정자 권선의 절연진단 특성” , 대한전기학회 춘계학술대회 논문집.
- [7] 추진제어장치 연구개발 결과보고서(1999), 건설교통부, pp156 ~ 173.