

부분방전 측정에 의한 저압용 유도전동기의 절연성능 평가

Evaluation on Insulation Performance of Low-voltage Induction Motors by Partial Discharge Measurement

박대원† 최수연* 최재성* 길경석** 이강원***
Dae-Won Park Su-Yeon Choi Jae-Sung Choi Gyung-Suk Kil Kang-Won Lee

ABSTRACT

In this paper, we dealt with a partial discharge (PD) measurement method that has been accepted as an effective and non-destructive technique to estimate insulation performance of low-voltage induction motors. The PD measurement system consists of a coupling network, a low noise amplifier, and associated electronics. A shielded box was used to reduce environmental noise. Frequency characteristic of the coupling network was estimated by a sinusoidal signal input, and the low cut-off frequency of the coupling network was 1 MHz (-3 dB). Also, we carried out a calibration test for the PD measurement system. Sensitivity of the system was of 84 mV_{max}/pC between stator winding and enclosure. In application test on a low-voltage three phase induction motor (5 HP), we could detect 88 pC at AC 800 V_{max}.

1. 서론

유도전동기는 전기철도나 전기자동차에서 주요 동력원으로 사용되고 있으며 차량의 특성상 빈번한 기동과 정지, 진동과 같은 열악한 환경조건하에 있다. 차량의 구동방식으로 PWM (Pulse Width Modulation) 을 이용한 가변속 제어가 일반적으로 사용되고 있으며 인버터의 고속 스위칭 동작에 의한 과도전압의 문제가 발생하고 있다. 600 V이하 저압 유도전동기의 운전시에도 μs 이하의 상승시간당 최고 수 천V의 과도전압이 발생할 수 있으며 전동기 권선에 불규칙적인 전압분포를 야기시켜 최종적으로 유도전동기의 절연파괴를 초래한다^[1-5]. 또한, 유도전동기의 제조시 결함이나 고온, 흡습 등 운전환경에 의해 절연성능이 저하될 수 있으므로 이에 대한 평가가 주기적으로 이루어져야 한다. 전동기의 절연성능을 평가하는 방법은 내전압시험, 서지시험, 절연저항측정시험, 유전정접시험 등 여러 가지 방법이 있으나 대부분 내전압시험과 절연저항측정시험으로만 절연성능을 평가하고 있는 실정이다. 내전압시험은 1 kV 이상의 비교적 높은 전압을 인가하므로 절연물의 성능저하를 초래하며 절연저항시험은 직류전압을 인가하므로 절연체 내부 결함을 측정하기 어렵다. 그러므로 전동기의 절연성능에 영향을 주지 않으면서 효과적으로 절연성능을 평가할 수 있는 방법이 요구되고 있으며 시험 전압을 가능한 낮게 설정함으로써 피시험기에 손상을 주지 않는 부분방전 측정에 의한 절연평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[6]. 본 논문에서는 유도전동기의 절연성능평가를 위해 부분방전 측정시스템을 설계·제작하였으며, 고정자 권선간 및 고정자 권선과 외함간에서 발생하는 부분방전을 측정하였다.

† 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 박사과정, 정회원
E-mail : dwpark77@hhu.ac.kr

TEL : (051)410-4893 FAX : (051)403-1127

* 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 석사과정, 정회원

** 한국해양대학교 전기전자공학부 교수, 정회원

*** 한국철도기술연구원 바이모달수송시스템연구단, 정회원

2. 부분방전 측정시스템

2.1 설계 및 제작

일반적으로 부분방전 신호는 상승시간이 수~수십 ns 정도의 고주파 전류 펄스 형태로 발생하기 때문에 결합콘덴서 및 검출임피던스로 구성되는 결합회로망이 필요하다^[7]. 따라서 본 논문에서는 결합콘덴서와 검출임피던스로 구성된 결합회로망을 구성하였으며 내부 방전이 없는 콘덴서를 사용하였다. 결합회로망은 60 Hz의 상용주파수 전압을 -270 dB로 감쇄시키며, -3 dB의 저역차단주파수는 1 MHz로 부분방전 신호를 충분히 검출할 수 있는 특성을 갖는다. 결합회로망의 구성도와 주파수 특성을 그림 1에 나타내었다.

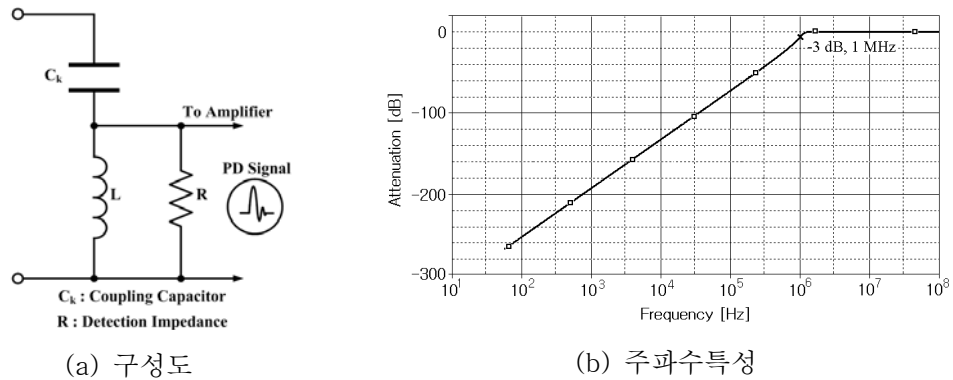
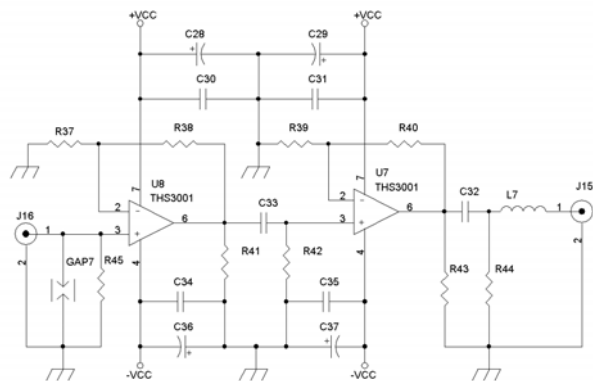


그림 1 결합회로망

부분방전신호는 그 크기가 매우 작아 외부 노이즈의 영향을 받기 쉬우므로 이에 대한 대책이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 외부잡음의 영향을 최소화 하기위해 측정시스템을 차폐함내에 설치하였다. 또한, 미소 부분방전 신호를 증폭하기 위해 광대역, 저잡음 특성의 연산증폭기를 사용하여 그림 2와 같이 2단으로 구성된 증폭회로를 설계하였다. 연산증폭기의 주파수 범위는 DC ~ 420 MHz로 부분방전 검출에 충분한 주파수특성을 가지며, 입력 off-set 전압은 3 mV_{max} 로 대단히 낮은 잡음 레벨 특성을 갖는다.



(a) 회로도



(b) 사진

그림 2 부분방전 증폭회로

증폭회로는 40 dB의 이득을 갖도록 설계하였으며 신호발생기를 이용하여 정현파 입력전압에 대한 출력 전압의 비율로서 주파수특성을 분석하였다. 증폭회로의 주파수대역은 그림 3과 같으며 -3 dB의 주파수 대역은 100 kHz ~ 30 MHz로 결합회로망에서 전달된 부분방전 펄스를 감쇄없이 증폭시킬 수 있다.

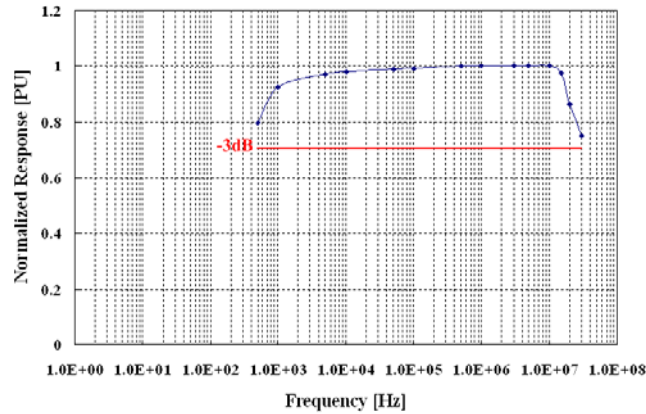
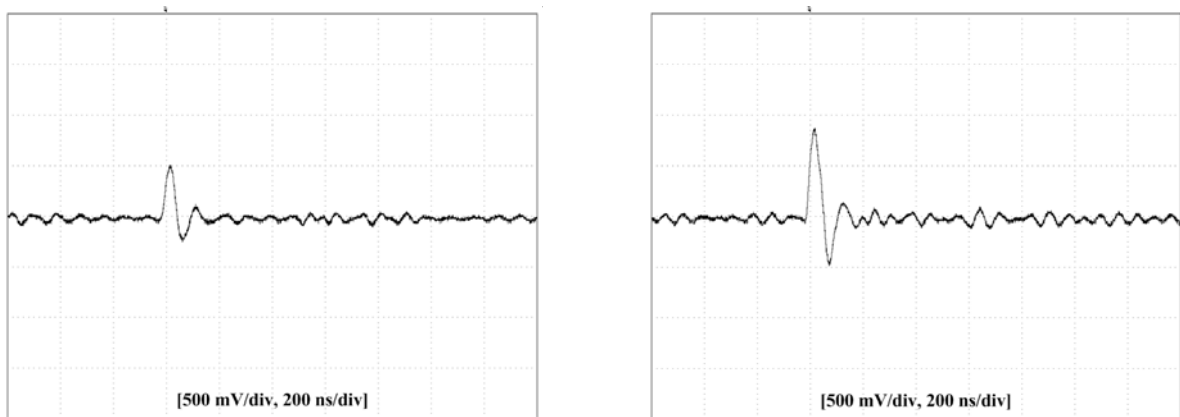


그림 3 증폭회로의 주파수 특성

2.2 교정실험

측정시스템의 교정실험은 전용의 교정기 CAL 1A(PD Diagnostix, 1 pC ~ 100 pC)를 이용하였다. 교정펄스 신호는 선로의 길이, 교정기의 설치위치, 유도전동기의 구조적 특성에 따라 펄스의 형태 및 교정값이 달라지므로 동일한 조건에서 실험을 수행하였으며 차폐함 내에서 잡음레벨을 평가한 결과 3.19 mV_{p-p}로 나타났다. 유도전동기 고정자권선간 및 고정자권선과 외함에 교정펄스를 주입하고 증폭회로를 통하여 오실로스코프 (DL9140, YOKOGAWA, 1 GHz, 5 GS/s)로 측정하였다. 그림 3에 교정펄스의 측정과형을 나타내었다.



(a) 고정자 권선-고정자 권선(5 pC)

(b) 고정자 권선-외함(10 pC)

그림 3 교정펄스의 측정과형

증폭회로는 5 pC ~ 100 pC의 입력교정펄스에 대하여 그림 4와 같이 전구간에서 선형적인 출력특성을 나타내었다. 교정실험결과로부터 부분방전 측정시스템의 검출감도는 고정자 권선간에서 102 mV_{max}/pC, 고정자 권선과 외함간에는 84 mV_{max}/pC으로 산출되었다.

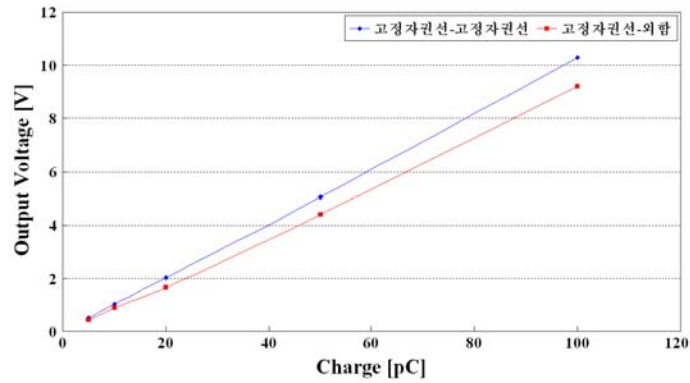


그림 4 고정필스에 대한 출력특성

3. 측정 및 분석

저압용 유도전동기의 절연성능평가를 위해 부분방전 측정시스템을 이용하여 3상 5마력 유도전동기를 대상으로 부분방전을 검출하였다. 유도전동기의 고정자권선간 및 고정자권선과 외함간에 고압변압기 (220V/5kV)를 연결하여 전압을 인가하였으며 인가전압에 따른 부분방전을 측정하였다. 실험계의 구성은 그림 5와 같다.

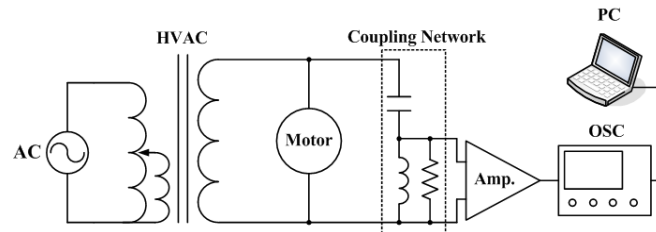
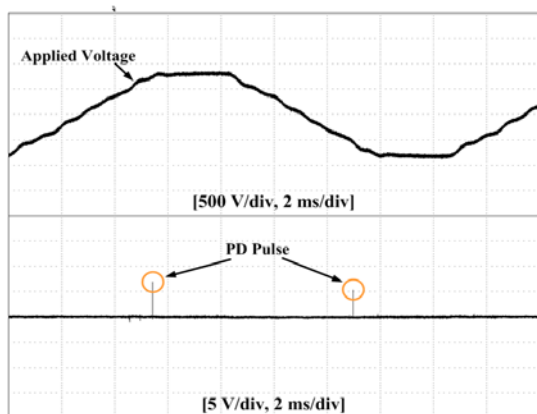
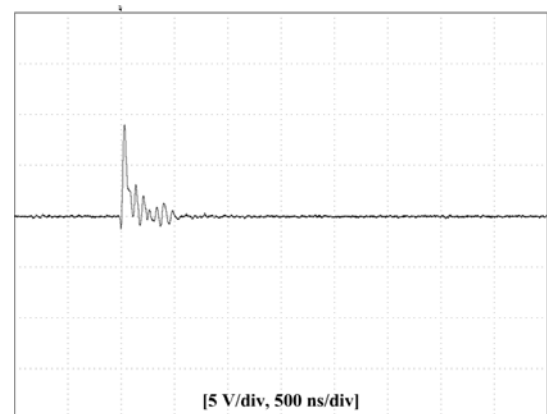


그림 5 실험계의 구성

인가전압에 따른 부분방전발생과형을 그림 6에 나타내었으며 권선간 및 권선과 외함간에서 $800 V_{max}$ 에서 부분방전이 발생하였다. 부분방전펄스의 크기는 고정자 권선간에서 최대 9 V, 고정자 권선과 외함에 서 최대 6.9 V로 측정되었다. 이는 각각 88 pC, 84 pC의 방전전하량에 해당한다.



(a) 인가전압-부분방전



(b) 부분방전펄스

그림 6 측정과형의 예

4. 결 론

본 연구에서는 저압용 유도전동기의 절연성능평가를 위한 부분방전 측정시스템을 설계·제작하였으며, 교정실험 및 적용실험으로부터 부분방전을 측정하였다. 외부 잡음에 대한 평가결과, 잡음신호 레벨은 최대 $3.19 \text{ mV}_{\text{p-p}}$ 로 나타났으며, 교정실험결과 측정시스템의 감도는 고정자 권선간에서는 $102 \text{ mV}_{\text{max}}/\text{pC}$, 고정자 권선과 외함간에서는 $84 \text{ mV}_{\text{max}}/\text{pC}$ 으로 나타났다. 3상 5마력 유도전동기를 대상으로 적용실험을 수행한 결과 $800 \text{ V}_{\text{max}}$ 에서 고정자 권선간 88 pC , 고정자권선과 외함간 84 pC 의 부분방전펄스를 검출하였다. 실험결과로부터 부분방전 측정시스템으로 내전압시험보다 낮은 전압에서 유도전동기의 절연성능을 평가할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계 효율화사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

- [1] H. Brandes and J. A. Allison, (2000), "Insulating Systems for Inverter-Driven Motors; Status and Developments", Power Engineering Journal, Vol.14, No.4, pp.164-168
- [2] L. Gubbala, A. Von Jouanne, P. N. Enjeti, C. Singh, H. A. Toliyat (1995), "Voltage Distribution in the Windings of an AC Motor Subjected to High dv/dt PWM Voltages", Power Electronics Specialists Conference, 1995. PESC'95, 26th Annual IEEE, Vol.1, pp.579-585
- [3] Christopher J. Melhorn, Le Tang (1997), "Transients Effects of PWM Drives on Induction Motors", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.33, No.4, pp.1065-1072
- [4] G. Suresh, H.A.Toliyat, D.A. Rendusara, P.N.Enjeti, (1999), "Predicting the transient Effects of PWM Voltage Waveform on the Stator Winding of Random Wound Induction motors", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.14, No.1, pp.23-30
- [5] A. H. Bonnett (1996), "Analysis of the impact of pulse-width modulated inverter voltage waveforms on AC induction motors", IEEE Trans. on IAS, Vol.32, pp.386-392
- [6] A. Cavallini, M. Conti, A. Contin, and G. C. Montanari (2003), "Advanced PD Inference in On-Field Measurements. Part 2: Identification of Defects in Solid Insulation Systems", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.10, No.3, p.527
- [7] F. H. Kreuger (1989), "Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment", p.129