고주파 부분방전 측정에 의한 초고압 접속함 신뢰성 평가 기술

論 文
49C-3-7

A Evaluation Technique for Reliability of Extra-High Voltage Cable Accessories using High Frequency Partial Discharge Measurement

辛 頭 星* · 李 昌 榮* · 金 忠 植** · 田 承 益** · 金 東 郁*** · 朴 完 基***
(D. S. Shin · C. Y. Lee · C. S. Kim · S. I. Jeon · D. W. Kim · W. K. Park)

Abstract - In this paper, partial discharge (PD) measurement was performed to evaluate the quality of the cable joint and termination constructions. The resistive coupling technique for PD detection using resistivity of semiconducting layer of the cable was developed and metal foil sensors were installed on the surface of semiconducting layer of the cable in the accessories, such as joints and terminations. With high frequency PD (HFPD) measurement, an excellent sensitivity below 20pC could be achieved under unshielded condition. The localization of the defects in the accessories could be identified. During heating cycle, PDs were monitored and analyzed. At that time, the PDs were dependent on the temperature of the heating cycle and showed cyclic behaviors, which were attributed to local delamination of the interfaces, between epoxy unit and stress relief cone(SRC) and between SRC and cable, due to the difference of thermal expansion. As a conclusion, HFPD measurement technique was proven to be an effective diagnostic method for qualification of extra high voltage (EHV) cable accessories. With this technique, the optimal design of the components of the accessories could be verified not only in an early stage but also under operating condition. This technique would result in the improvement of the reliability of the EHV cable accessories.

Key Words : EHV cable accessory, High frequency partial discharge (HFPD), Interface

1. 서 론

전력 케이블 선로의 초고압화 및 지중화의 경향에 따라 전력 케이블의 신뢰성에 대한 관심이 점차로 증가하고 있다. 특히 초고압 케이블의 경우에는, 돌발 사고시 경제적인 손실뿐만 아니라 파급 효과가 매우 크기 때문에 이러한 사고의 조짐을 미연에 검출하는 비파괴 진단기법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

이러한 비파괴 진단기법의 하나로 부분방전(Partial Discharge : PD) 측정에 의한 송전급 케이블 선로의 진단에 대한 연구는 일본과 유럽의 선진국을 중심으로 활발하게 연구되고 있다 [1-5].

PD 측정시 가장 문제가 되었던 것이 외부 노이즈 문제이다. 차폐가 잘 되어 있는 실험실 또는 공장 내에서는 이러한 외부 노이즈가 큰 문제가 되지 않으나 현장과 같은 옥외 환경하에서는 이러한 외부 노이즈로 인하여 부분방전 측정 자체가 불가능하였다. 그림 1에 공장내 옥외 환경하에서 부분방전 측정시 외부 노이즈 예를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 수 백 pC 이상의 노이즈로 인하여 노이즈 레벨이 하에서 부분방전 측정이 곤란함을 알 수 있다. 실제 현장에서의 노이즈는 때에 따라 수백 pC ~ 수천 pC에 달한다고 보고 되고 있다 [6].

따라서 PD 측정에 의한 송전급 케이블 선로 진단에 관한 연구는 외부 노이즈 환경하에서 PD를 검출하는 방법에 관한 연구가 집중적으로 이루어져 왔다.

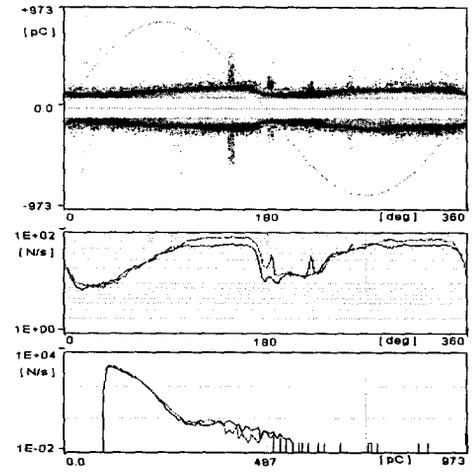


그림 1 옥외 PD 측정시 외부 노이즈의 예
Fig. 1 The example of external noise in the case of PD measurement

* 正 會 員 : LG電線(株) 電力硏究所 主任硏究員
** 正 會 員 : LG電線(株) 電力硏究所 先任硏究員
*** 正 會 員 : LG電線(株) 電力硏究所 責任硏究員
接受日字 : 1999年 7月 30日
最終完了 : 2000年 2月 15日

이러한 연구 중에 가장 현실성 있는 연구가 외부 노이즈 대역이 적은 고주파 또는 초고주파 대역에서 PD를 측정하는 고주파부분방전(High Frequency Partial Discharge : HFPD) 측정기술에 대한 것이다.

일본의 경우 노이즈 대 신호비가 가장 큰 최적 주파수를 자동으로 스캐닝하여 PD를 검출하는 시스템을 실제 선로에 시적용하고 있으며, 유럽에서는 GIS 또는 접속함에서 수백 MHz 대역의 고주파 대역에서 PD를 검출하는 기법을 적용하고 있다 [7-9].

그러나, 국내에서는 이러한 고주파 대역에서의 PD 측정에 대한 연구는 기초적인 수준에서 접근하고 있으며 실제 초고압 케이블 및 접속함에 적용된 사례는 아직 없다.

본 연구에서는 초고압 케이블의 접속함 내부에 PD 검출용 금속 포일 센서를 내장하여, 고주파 대역에서 PD를 측정 및 교정하는 기술에 대하여 기술하였으며, 특히 계면에 결함을 인위적으로 모의한 접속함 내부에서 발생하는 부분방전 신호를 고주파대역에서 고감도로 검출하였다. 또한 실제 운전중의 조건과 동일한 Heat Cycle 중에 이러한 결함에서 발생하는 부분방전의 특성에 대하여 조사하였다.

2. 본 론

2.1. PD 검출용 금속 포일 센서 및 측정원리

일반적으로 전력 케이블에서의 사고의 대부분은 접속함에서 발생하며, 접속함 사고의 대부분이 현장에서의 시공 불량 등으로 포설 초기에 발생한다고 알려져 있다.따라서 초고압 케이블 선로의 접속함에서의 부분방전을 측정하여, 초기에 결함을 검출하는 것이 매우 중요하다.

본 논문에서는 접속함에서 PD를 검출할 수 있도록, 접속함 내부에 금속 포일 센서를 설치하여 고주파 대역에서 PD를 측정하는 기술을 연구하였으며, 개략도 및 실제 설치 모습을 그림 2와 그림 3에 각각 나타내었다.

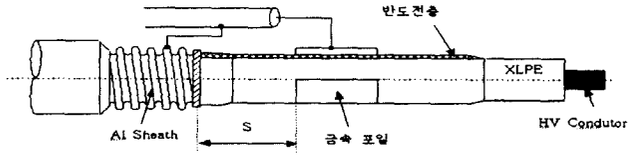


그림 2 접속함 내부 PD 센서 설치도

Fig. 2 The configuration of PD sensor installed in the accessory

측정 센서부 가까이에서 PD가 발생하게 되면, 그림 4의 PD 전류 펄스를 전압원 대신 전류원으로 등가화할 수 있으며, 또한 센서가 설치된 접속함 내부에서 PD가 발생하는 경우에는, PD 펄스의 전파 경로가 비교적 짧기때문에 감쇄의 영향 Z_0를 무시할 수 있다. 금속 포일 센서의 정전용량과 반도전층의 저항은 High Pass Filter 역할을 하게 되며, 고주파 PD 신호를 내장된 금속 포일 센서에서 검출하는 방식이다.

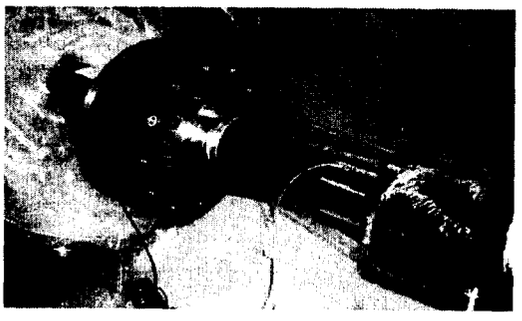


그림 3 접속함 내부 PD 센서 사진

Fig. 3 The picture of PD sensor in the accessory

센서가 설치된 측정부에서 상당히 떨어진 곳에서 PD가 발생하게 되면, PD 신호는 PD 펄스가 진행하면서 전파거리에 비례하여 신호의 크기가 감쇄할 뿐만 아니라 펄스의 폭이 넓어진다. 고주파에서 PD 펄스의 전파거리는 다음과 같이 대략적으로 설명 가능하다. 예를 들어 10MHz의 측정 중심주파수에서 PD를 측정한다고 가정하면 이러한 주파수에서의 파장 λ는,

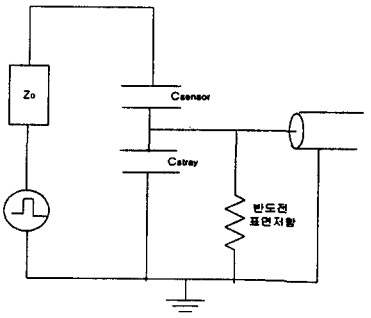
$$\lambda = \frac{v}{f} \tag{1}$$

과 같다. 여기서 v는 펄스의 전파속도(진공중의 전파속도 $v=c=3\times10^8$m/s), f는 주파수 이므로, λ는 약 30m가 되므로 1 m 이내의 거리에서도 케이블 위치에 따라 전압크기 및 위상이 달라지게 되기 때문에 분포정수 회로로 해석해야 함을 의미한다.

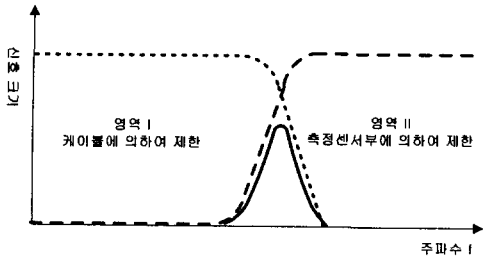
이러한 펄스 감쇄의 원인이 되는 케이블의 특성임피던스 Z_0는 일반적으로 30Ω 정도이지만, 케이블의 구조와 재료의 특성에 따라 조금씩 차이가 있다. 따라서 PD 측정 주파수 대역은 PD가 발생한 발생원으로부터의 전파거리와 PD 펄스 자체의 파두장 및 파미장에 의하여 결정되는 주파수 영역(영역 I)과 센서부의 정전용량 및 표유 정전 용량과 반도전 표면 저항에 의하여 결정되는 주파수영역(영역 II)에 의하여 결정된다. 그림 4에 이러한 PD 검출 등가회로와 주파수 특성을 나타내었다.

일반적인 전력케이블의 경우, 영역 I의 Cut-off frequency는 약 2 MHz ~ 20 MHz 정도이며, 영역 II의 경우에는 센서의 설계에 따라 달라지게 된다.

따라서 측정 중심 주파수를 외부 노이즈의 크기가 작고 신호의 크기가 큰 주파수 대역에 설정하면, 현장과 같이 외부 노이즈가 심한 환경에서도 고감도로 부분방전을 검출하는 것이 가능하다. 본 연구에서는 PD 측정 중심 주파수 대역을 2 ~ 20 MHz에 들도록 측정 센서를 설계하였다.



(a) 측정 센서의 등가회로
(a) The equivalent circuit of PD sensor

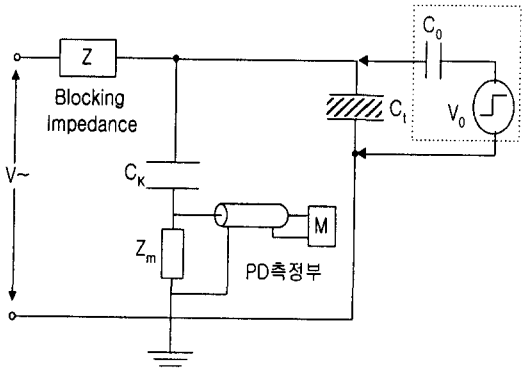


(b) 주파수 스펙트럼
(b) The frequency spectrum of PD sensor

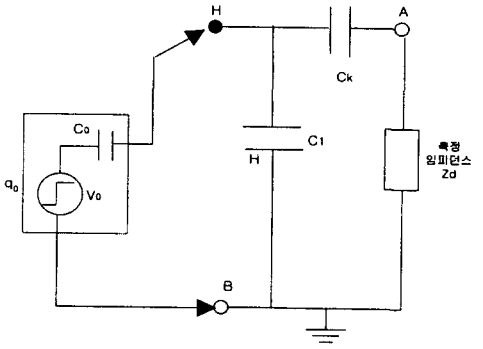
그림 4 PD 센서의 등가회로 및 주파수 특성
Fig. 4 The equivalent circuit and frequency characteristics of PD sensor

2.2 고주파 PD 센서의 교정 방법

PD 측정에 있어서 교정은 측정 못지 않게 중요하지만 케이블 길이가 (케이블 선로를 분포정수 회로로 간주하지 않을 정도로) 길지 않거나, 케이블 및 전력기기 등을 만드는 제조사에서 행하는 전수시험(Routine Test)에서와 같이 저주파 대역에서 PD를 측정할 때에는 수십m 길이의 케이블 선로는 단일한 C값을 가진 단일정수회로로 취급하여도 무방하기 때문에 교정 방법 또한 간단하다.



(a) 종래의 교정 회로
(a) The circuit of conventional calibration



(b) 종래의 교정 등가회로
(b) The equivalent circuit of conventional calibration

그림 5 일반적인 교정 방법
Fig. 5 The conventional calibration method

일반적으로 사용되는 교정 방법은 그림 5에서 보는 바와 같이, 측정 케이블 종단의 고전압측과 저압측에 기지의 전하량을 직접 주입하여, PD 측정 시스템에서의 측정한 전압 신호와의 비를 구하는 방식으로, 교정 팩터 k는,

$$k=\frac{\text{교정 주입 전하량 } q_0}{PD \text{ 측정 시스템의 출력}} \tag{2}$$

와 같이 식 (2)에 의하여 구할 수 있다 [10].

그러나 수 십 MHz대역의 고주파 신호의 경우 케이블 선로에 의한 감쇄의 영향으로 이러한 직접 주입에 의한 교정은 정확하지 않다. 따라서, 고주파 PD 신호의 교정은 이러한 케이블의 감쇄 특성을 고려하여야 한다. 전력 케이블에서 고주파 신호의 감쇄는 (1) 케이블 도체의 인덕턴스 및 저항으로 인한 길이 방향의 감쇄와, (2) 케이블의 절연재료 내의 유전손실 및 반도전층의 저항성분에 의한 변위전류의 손실로 인한 케이블 반경방향으로의 감쇄로 구분할 수 있다 [11].

따라서, 케이블의 재료와 구조에 따라 이러한 감쇄 특성은 차이를 보이지만, 전력 케이블과 구조가 유사한 동축 케이블의 경우, 앞의 (1)항의 감쇄 정수를 α_r, 그리고 (2)항의 감쇄정수를 α_g 이라고 하면, 각각 식 (3)과 (4)로 나타낼 수 있다 [12].

$$\alpha_r=0.0629\cdot\sqrt{\varepsilon\cdot f}\,\frac{\sqrt{\rho_1}/d_1+\sqrt{\rho_2}/d_2}{\log(d_2/d_1)} \tag{3}$$

$$\alpha_g=90\cdot 9\cdot\sqrt{\varepsilon}\cdot f\cdot\tan\delta \tag{4}$$

여기에서, ε : 절연층의 비유전율,
f : 측정주파수,
$\tan\delta$: 케이블 절연층의 유전정접,
ρ_1, ρ_2 : 내, 외도체의 고유저항,
d_1, d_2 : 내, 외도체의 직경이다.

아래의 그림 6에서 보는 바와 같이, 직선 절연 접속함의 양측에 금속 포일 센서의 정전용량 C_{sensor}와 케이블 반도전의 표면저항 값 R이 동일하게 설치하였다고 가정하고, 표류 정전용량 C_{stray}는 C_{sensor}에 비하여 매우 작기 때문에 무시하기로 한다. 이렇게 가정하면, PD 측정용 센서는 동일하게 되며, 각 센서의 교정 팩터 또한 동일하다.

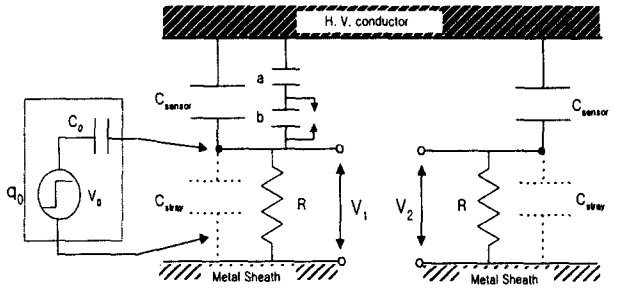


그림 6 새로운 간접 교정 방법

Fig. 6 The new calibration method : Indirect calibration

그림 6에서 보는 바와 같이, 이제 한쪽 센서에 캘리브레이터를 사용하여, 기지의 q_0 값을 주입하고, 각 센서에서 측정한 신호의 크기를V_1, V_2라하고 두 센서간 거리를 l이라고 하면 V_1과 V_2의 비는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{V_2}{V_1} = \alpha_g \cdot \alpha_r l \cdot \alpha_g \tag{5}$$

여기에서 접속함 내부에 설치된 측정 센서 간의 거리 l은 매우 짧기 때문에, 케이블 도체 저항에 의한 감쇄를 무시 ($\alpha_r l \approx 0\ [dB]$)하면, 감쇄 정수 α_g는

$$\alpha_g = \sqrt{V_2 / V_1} \tag{6}$$

가 되며, 접속함 내부에서 발생한 PD 신호의 크기와 센서에 의하여 측정되는 신호의 크기의 비가 감쇄정수 α_g 이므로, 교정 팩터 k는

$$k = \frac{1}{\alpha_g} = \sqrt{V_1 / V_2} \tag{7}$$

과 같이 된다. 따라서, 고압 도체측에 직접 주입하지 않고 교정이 가능하기 때문에, 실선로에서도 간편하게 교정을 할 수 있다.

3. 실 험

3.1. 교정 실험

앞서 전술한 바와 같이, 종래의 저주파 측정법은 측정 원리상 PD가 발생하게 되면, 커플링커패시터에 의하여 전류가 측정 임피던스에 흐르면서 전압신호로써 검출되는 원리를 이용한 방법이다. 이에 비하여 고주파 측정법은 발생한 PD 신호의 진행파(travelling wave) 특성을 이용하는 것이다. 따라서 이러한 고주파 교정 실험을 수행하였으며, 전체적인 실험의 개략도를 아래의 그림7에 나타내었다.

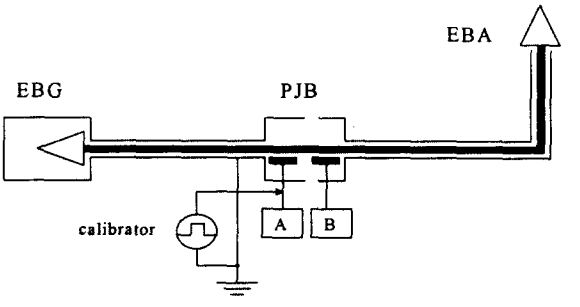


그림 7 교정 실험 선로 (154kV, 선로 길이 45m)

Fig. 7 The test cable for calibration (154kV, cable length of 45m)

상용 캘리브레이터(CAL1A, Power Diagnostix Systems GmbH)의 주파수 스펙트럼을 스펙트럼 어낼라이져를 사용하여 분석하였다. 교정 펄스의 주파수 스펙트럼은 약 70MHz까지도 측정이 되고 있으며, 약 2MHz에서 20MHz까지의 주파수 대역에서는 교정의 신호의 감쇄가 크지 않음을 확인할 수 있었다. 그림 7에서 보는 바와 같이 A측 센서에 100pC의 전하량을 직접 주입하고 A측과 B측 센서에서 이 교정 펄스를 측정하였다. 교정 펄스를 주입하는 쪽의 센서인 A측 센서에서 측정된 신호의 주파수 특성 데이터를 아래의 그림 8에 나타내었다.

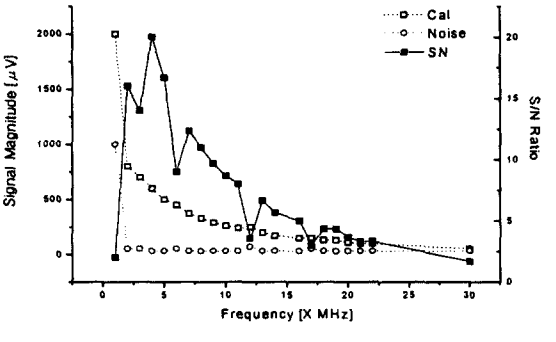


그림 8 센서 A에서 측정된 신호의 주파수 특성

Fig. 8 The frequency characteristics of the signal measured at sensor A

그림 8에서 보는 바와 같이, 신호는 주파수가 증가함에 따라 거의 지수함수적으로 감쇄하는 것을 알 수 있다. 외부 노이즈가 없는 고주파 대역에서는 주로 신호의 감쇄에 의하여 S/N비가 결정됨을 알 수 있다. 가장 감도가 좋은 주파수 대역은 4MHz 대역이며, 4MHz에서 10MHz까지에서는 감도가 우수하다는 것을 알 수 있다.

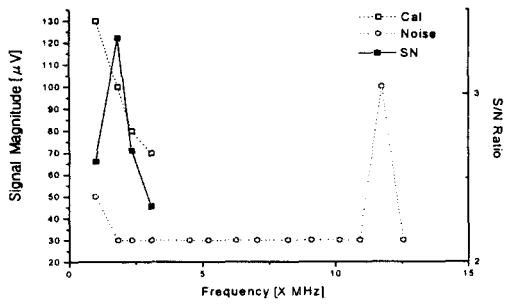


그림 9 센서 B에서 측정된 신호의 주파수 특성
Fig. 9 The frequency characteristics measured at sensor B

그림 9는 B측 센서의 주파수에 따른 교정 특성을 나타낸 그림이다. 1MHz 이하에서는 노이즈 레벨이 매우 크기 때문에 100pC의 교정 신호는 이러한 노이즈 레벨에 묻혀서 측정되지 않으며 약 2MHz에서 10MHz까지에서는 노이즈 레벨이 30μV로 매우 낮기 때문에 측정 감도는 교정의 신호의 감쇄 특성에 주로 지배 받음을 알 수 있으며, 대략 20 ~ 30 pC의 수준이었다. 노이즈 감도가 가장 좋은 측정 중심주파수는 대략 1~ 2 MHz이었다.

3.2 PD 측정 실험

고주파 PD 측정을 위한 케이블 선로의 구성 및 센서의 설치도를 아래 그림 10에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, 측정 선로는 과통전이 가능하도록 기중 종단 접속함(EBA) 2개, 조립형 직선 접속함(PJB) 2개 및 Vertical-type 가스 절연 접속함(EBG) 2개의 총 6개의 접속함을 포함하여 루프로 구성되어 있으며, 전체 선로의 길이는 약 60m이다.

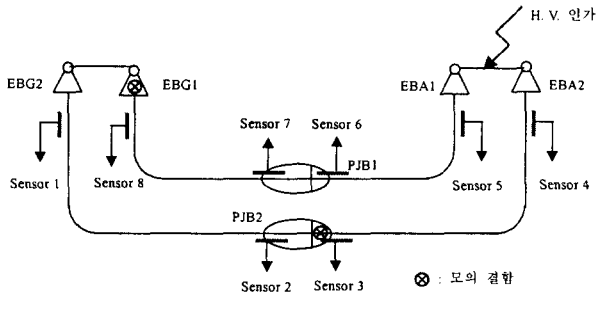


그림 10 PD 시험용 케이블 구성
Fig. 10 The exprimental setup of cable and accessories for PD measurement

사전에 IEC 270의 부분방전 시험 규정에 따라 시험을 행하여, 규정시험전압에서 PD가 발생하지 않음을 확인하였으며, 그 결과 중 한 예를 그림 11에 나타내었다.

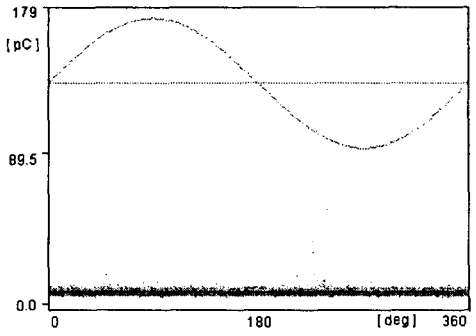


그림 11 센서 4에서 측정된 신호예
Fig. 11 The example of the signal measured at sensor 4

일반적으로 접속함의 주요 부품은 전계완화를 위한 Stress Relief Cone(SRC)과 Epoxy Unit이며, 이러한 스트레스 콘과 에폭시 유니트 사이의 계면과 스트레스콘과 케이블 외도사이에 계면이 존재하게 된다. 구조적으로 이러한 계면이 전기, 기계적인 취약지점이지만, 접속함의 설계시 이러한 계면에서의 밀착성 및 계면 압력은 실제 운전조건과 뇌서지 및 개폐서지 등을 고려하여 전기적, 기계적 및 열적으로 충분한 신뢰성을 확보하도록 설계되어진다.

본 연구를 위하여, 조립형 직선 접속함(그림 10의 PJB2)의 우측부와 가스중 종단 접속함(그림 10의 EBG1)의 에폭시 유니트와 스트레스콘 계면에 그림 12와 같이 인위적인 결함을 생성시켰다.

우선, 이러한 조립중에 계면상에 발생하는 보이드를 모의하기 위하여 투명 유니트를 제작하여 계면에서 보이드가 생성되도록 스프링 유니트의 압력 조건을 설정하였다. 이러한 계면압력 조건에 의하여 발생한 보이드는 상당한 시간이 경과하여도 없어지지 않음을 확인하였다. 이때 계면상의 보이드는 SRC 선단부에서 40%지점과 60%지점에서 다수 발생하였으며, 최대 직경은 약 20mm 정도였다.

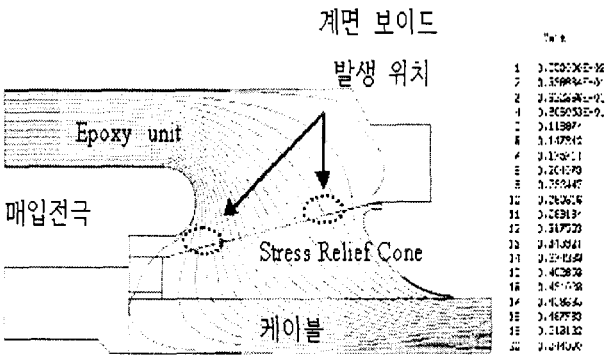
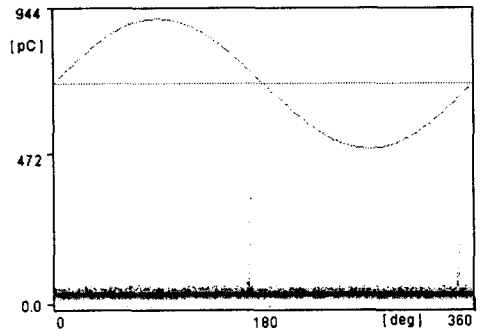


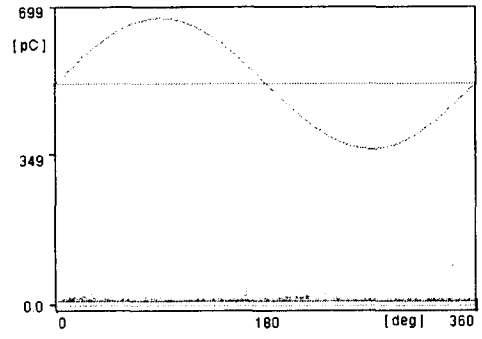
그림 12 인위적인 결함의 위치
Fig. 12 The location of artificial defects

이러한 방법을 사용하여, 동일한 계면 상태 및 압력 조건으로 접속함을 재조립하여 PD를 측정하였으며, 그 결과를 그림 13에 나타내었다.



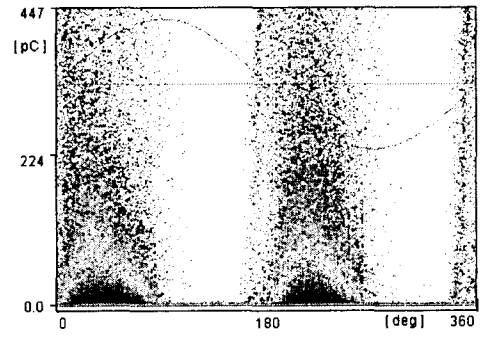
(a) 센서 1에서 측정된 신호

(a) The signal measured at the sensor 1



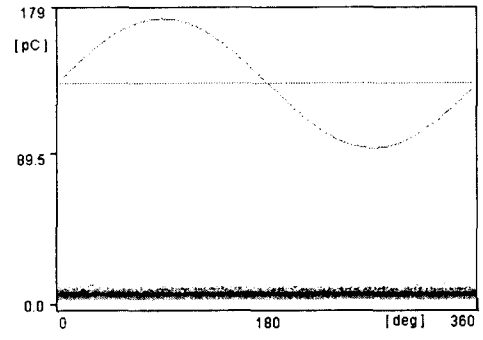
(b) 센서 2에서 측정된 신호

(b) The signal measured at the sensor 2



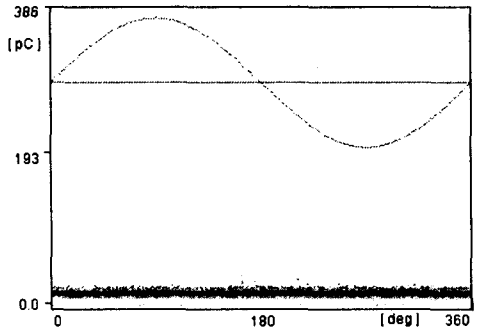
(c) 센서 3에서 측정된 신호

(c) The signal measured at the sensor 3



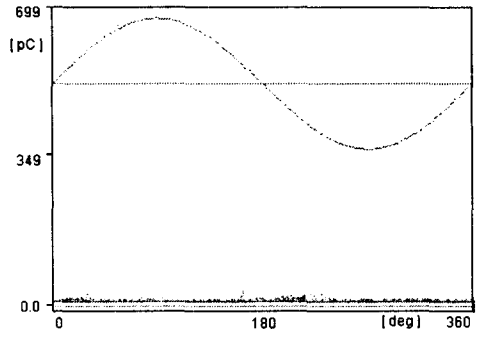
(d) 센서 4에서 측정된 신호

(d) The signal measured at the sensor 4



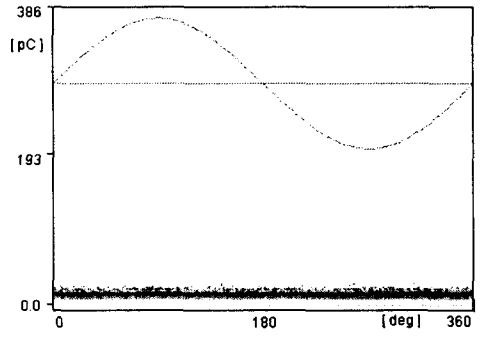
(e) 센서 5에서 측정된 신호

(e) The signal measured at the sensor 5



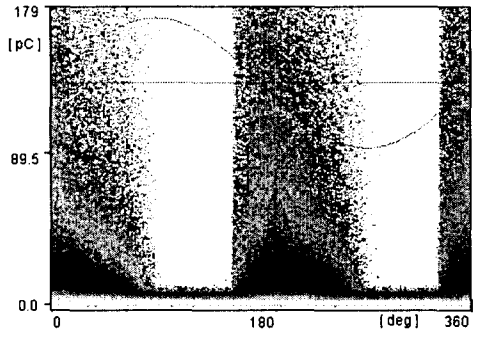
(f) 센서 6에서 측정된 신호

(f) The signal measured at the sensor 6



(g) 센서 7에서 측정된 신호

(g) The signal measured at the sensor 7



(f) 센서 8에서 측정된 신호

(f) The signal measured by sensor 8

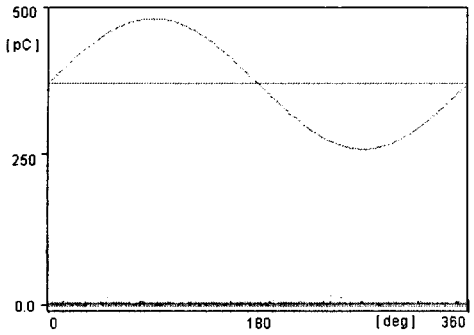
그림 13 각 센서에서 측정된 부분방전 신호

Fig. 13 PD Signals measured at each sensor

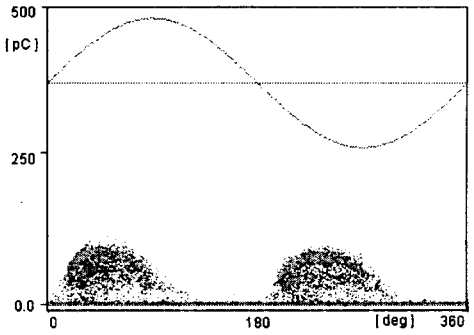
그림 13에서 보는 바와 같이, 인위적인 계면 보이드를 생성시킨 접속함(PJB2 우측과 EBG1)에서만 PD가 발생함을 확인하였다. 이렇게 고주파 PD 측정에 의하여 접속함에서 결함의 위치를 추정하는 것이 가능하다는 사실을 알 수 있다.

4. 실험 결과 및 토의

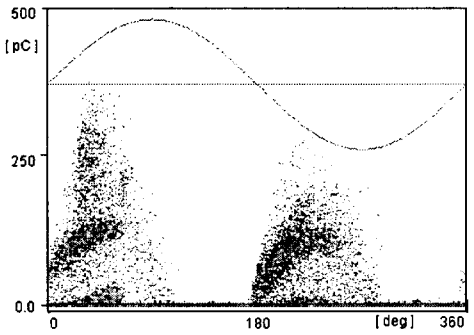
초고압용 접속함을 실 운전할 때, 접속함 내에 존재하는 결함으로부터 발생하는 PD와 운전상태에 따른 PD의 변화를 연구하기 위하여 케이블 시스템을 Heat Cycling하는 과통전(전압, 전류 인가) 시험을 실시하고 각 상태에서의 PD를 측정하였다.



(a) 도체 온도 T_c=60℃
(a) Conductor temperature T_c=60℃



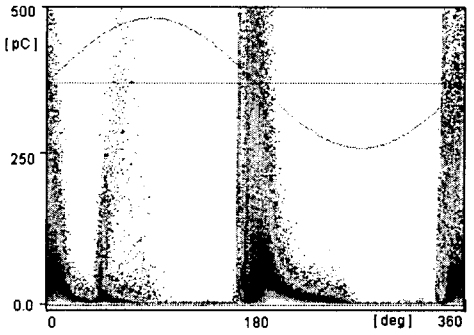
(b) 도체 온도 T_c=50℃
(b) Conductor temperature T_c=50℃



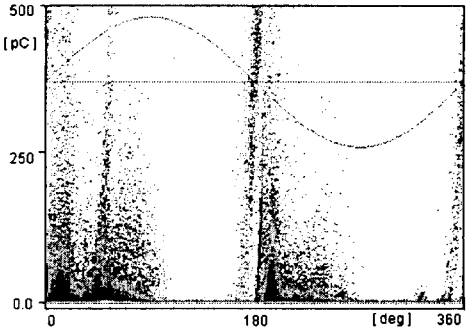
(c) 도체 온도 T_c=30℃
(c) Conductor temperature T_c=30℃

과통전시에 케이블 여러 부위의 온도를 Thermocouple로 측정하였다. 시험 규정 요구조건인 도체온도(T_c)와 절연체 온도 (T_i)는 케이블 시스 온도(T_s)를 이용하여 수치해석기법으로 계산하였다.

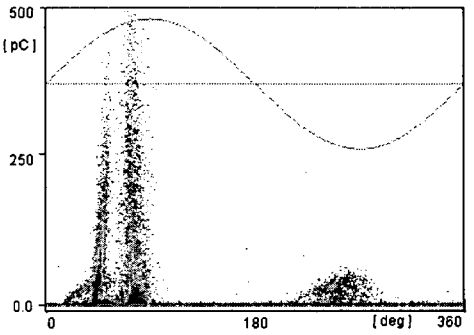
Heat Cycle 중의 PD를 30분 간격으로 1분씩 측정하였으며, 각 센서에서 적어도 1 Cycle 이상 데이터를 획득하였다. 특히, 인위적인 결함을 지닌 접속함에서 발생하는 PD 데이터를 집중적으로 측정하고 분석하였다.



(d) 도체 온도 T_c=20℃
(d) Conductor temperature T_c=20℃



(e) 도체 온도 T_c=40℃
(e) Conductor temperature T_c=40℃

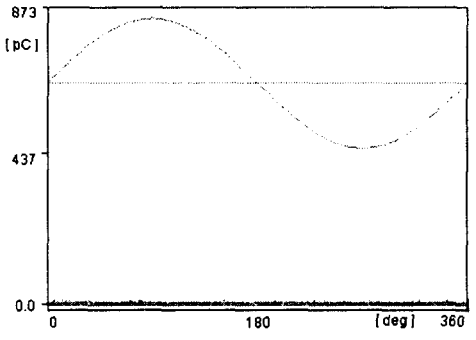


(f) 도체 온도 T_c=50℃
(f) Conductor temperature T_c=50℃

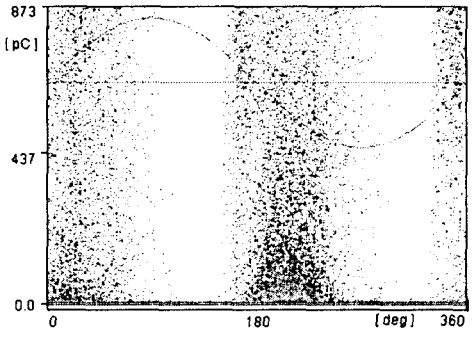
그림 14 도체 온도에 따른 센서3(PJB2 우측)에서의 PD 패턴
Fig. 14 PD Patterns of sensor 3(right side of PJB2) depending on the conductor temperature

결함이 없는 건전한 접속함에서는 PD가 발생하지 않았으나, 센서 3번(그림10의 PJB2 우측)과 8번 (그림 10의 EBG1)에서 PD가 검출되었다.

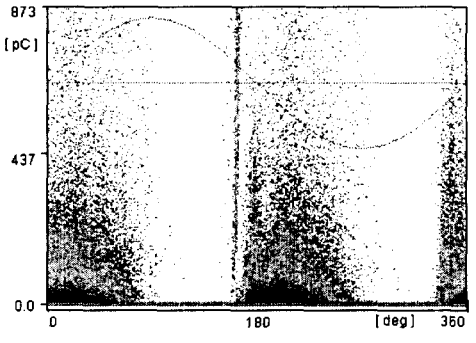
그 측정결과 중 일부를 그림 14와 그림 15에 각각 나타내었다. 그림 14의 (b)에서 보는 바와 같이, PD 패턴이 양극성과 음극성에서 동일하게 발생하는 전형적인 보이드 패턴임을 알 수 있으며, 시간이 경과함에 따라 패턴이 주기적으로 변하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 측정 결과를 보다 정량적으로 분석하기 위하여, 측정한 PD 데이터 중 최대값의 분포를 그림 16과 그림 17에 각각 나타내었다.



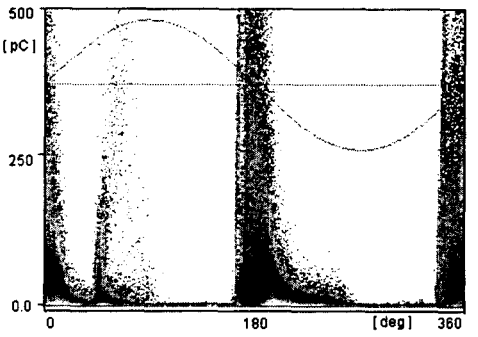
(a) 도체 온도 T_c=60℃
(a) Conductor temperature T_c=60℃



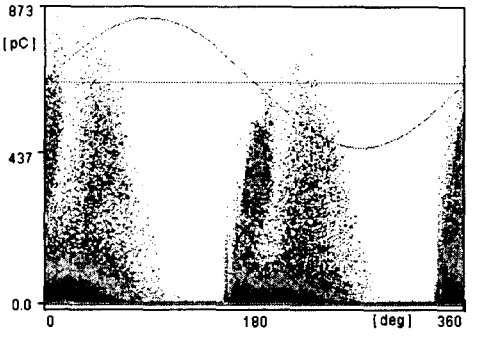
(b) 도체 온도 T_c=40℃
(b) Conductor temperature T_c=40℃



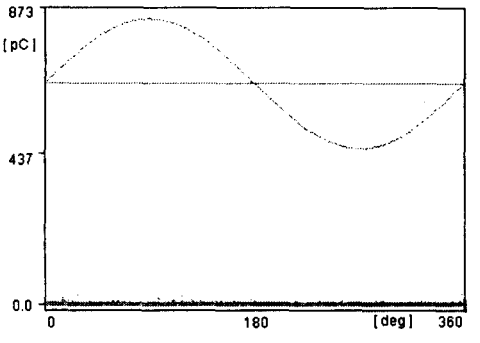
(c) 도체 온도 T_c=30℃
(c) Conductor temperature T_c=30℃



(d) 도체 온도 T_c=20℃
(d) Conductor temperature T_c=20℃



(e) 도체 온도 T_c=40℃
(e) Conductor temperature T_c=40℃



(f) 도체 온도 T_c=60℃
(f) Conductor temperature T_c=60℃

그림 15 도체 온도에 따른 센서 8(EBG1)에서의 PD 패턴
Fig 15 *PD patterns of sensor 8(EBG1)*
depending on the conductor temperature

그림 16과 17에서 보는 바와 같이, Heat cycle에 의한 온도 변화에 따라 PD 크기가 변화하고 있음을 알 수 있다. 이것은 초기에 보이드가 있는 계면에서 온도가 상승함에 따라 열팽창에 의하여 이러한 보이드가 사라져서 PD가 발생하지 않으나, 온도가 저하되는 경우 열 수축에 의하여 계면에 보이드가 다시 발생하여 PD가 이에 상응하게 발생하기 때문으로 생각된다.

발생한 PD 크기는 PJB에서의 PD 크기가 다소 작으며, 이것은 PJB에서의 계면의 불완전한 밀착에 의하여 발생하는

공극의 크기가 EBG에 비하여 작음을 의미한다. 이러한 결과는 스트레스 콘의 크기 자체가 EBG가 PJB의 것보다 크기 때문인 것으로 생각된다.

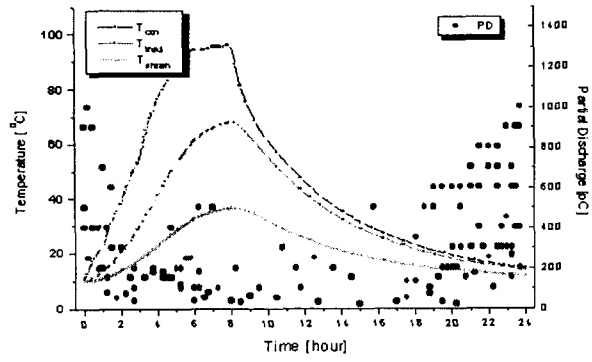


그림 16 Heat Cycle중 센서 3(PJB2 우측부)에서의 PD 크기

Fig 16 PD magnitude of sensor 3(right side of PJB2) during heat cycling

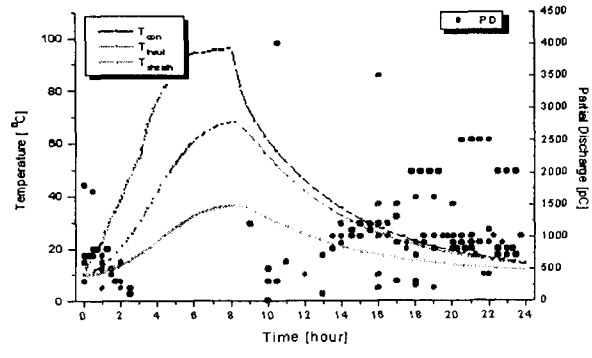


그림 17 Heat cycle중 센서 8(EBG1)에서의 PD 크기

Fig 17 PD magnitude of sensor 8(EBG1) during heat cycling

이러한 실험 결과로부터, 접속함 계면의 불완전한 밀착에 의하여 PD가 발생하면, 실제 운전중의 케이블 시스템의 온도 변화에 따라 계면에서의 보이드 역시 동적인 거동을 보이게 되며, PD 패턴 역시 이에 상응하게 변하게 됨을 알 수 있다.

따라서, 실제 송전급 케이블 및 접속함 시스템의 열화 진단 기법으로서 PD 측정시 단발적으로 PD를 측정하여 PD 발생 유무에 의하여 열화정도를 판별하는 것은 큰 의미가 없으며, 일정 기간 이상 지속적으로 PD의 경시 변화를 감시하는 것이 보다 바람직하고 합리적인 진단방법이라고 생각된다.

또한, 실제 운전 조건하에서 접속함의 계면에서 상당한 PD가 발생하였음에도 불구하고 수년 이상 고장 혹은 파괴에 이르지 않았다는 보고를 미루어 볼 때 [13], PD 크기와 케이블 및 접속함의 수명에 대한 상관관계는 아직까지 명확하게 밝혀져 있지 않으며, 다만 PD의 발생 원인과 장소에 따라 달라질 수 있으리라고 추정된다. 따라서, 향후 이러한 PD와 케이블 및 접속함의 수명에 대하여서는 장기적인 실증 실험을 통하여 연구하여야 할 과제라고 생각된다.

5. 결 론

본 논문에서는, 초고압 케이블의 접속함에서의 고주파 PD 측정 기술 및 교정 기술에 대하여 연구하였다. 접속함 내부에 설치한 금속 포일 센서를 이용하여, 인위적으로 생성시킨 접속함 계면 결함에서 발생한 PD를 외부 노이즈가 심한 옥외환경 하에서 비교적 고감도로 검출이 가능하였을 뿐만 아니라 결함이 있는 접속함의 위치 표정도 가능하였다.

또한, 실제 접속함의 계면 결함에서 발생하는 PD의 특성을 연구하기 위하여, 과통전 조건에서 장기간 PD를 측정하여, 케이블 및 접속함의 온도변화에 따라 PD 패턴이 변화함을 실험적으로 확인하였다.

향후, 최적 S/N비에서의 측정 및 노이즈 게이트 등의 기법을 사용하면, 보다 고감도로 PD 측정이 가능할 것으로 기대되며, 현재 고주파 PD 측정기술에 의한 실제 포설된 송전급 케이블 선로에서 PD 측정을 계획 중에 있다. 실선로 측정 경험을 쌓고, 보다 장기적인 실증 실험에 의하여 PD와 케이블 및 접속함의 수명에 대한 상관관계에 대한 연구를 지속하면 멀지 않은 장래에 PD 측정에 의한 송전급 케이블 및 접속함의 열화진단이 가능하여지리라고 생각된다.

참 고 문 헌

[1] Heizmann, "On-site Partial Discharge Measurements on Premoulded Cross-Bonding Joints of 170kV XLPE and EPR Cables" , IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 13 No. 2, pp. 330~335, 1998

[2] N. H. Ahmed and N. N. Srinivas, "On-line Partial Discharge Detection in Cables", IEEE Trans. on DEI, Vol. 5 No. 2, pp. 181~188, 1989

[3] B. T. Phung, Z. Liu, T. R. Blackburn and R. E. James, "On-line Partial Discharge Measurement on High Voltage Power Cables", 11th International Symposium on High Voltage Engineering, Vol. 4, pp. 328~332, 1999

[4] Atsushi Toya, Kenichiro Tanaka, Hirotaka Eshima, Tomoaki Imai, Hiroshi Suzuki and Takeshi Endoh, "Development of Partial Discharge Automatic Monitoring System for Extra-High Voltage XLPE Cable Lines Using Neural Network", Trans. of Institute of Electrical Engineers of Japan B, Vol. 119 No. 2, pp. 195~203, 1999

[5] Yoh Yasuda, Takehisa Hara, Kenichi Hirotsu, Min Chen and Shigeki Isoshima, "An Analog Parallel Neural Network Circuit for Auto-Detection of Partial Discharge in Power Cables", Trans. of Institute of Electrical Engineers of Japan B, Vol. 118 No. 11, pp. 1271~1276, 1998

[6] Nezar Ahmed and Nagu Srinivas, "The Noise Effect in Conducting On-line Partial Discharge Testing in

Distribution-Class Cables", Procedings of the 1998 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Vol. 1, pp. 319~322, 1998

[7] T. Huecker and J. Gorablenkow, "UHF Partial Discharge Monitoring and Expert System Diagnosis", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13 No. 4, pp. 1162-1167, 1998

[8] R. Kurrer and K. Feser, "The Application of Ultra-High-Frequency Partial Discharge Measurements to Gas-Insulated Substations", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13 No. 3, pp. 777-782, 1998

[9] T. Sakakibara, H. Murase, E. Haginomori, S. Wakabayashi, K. Emoto and A. Ogawa, "Study of Propagation Phenomena of Partial Discharge Pulses in Gas Insulated Substation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13 No. 3, pp. 768~776, 1998

[10] F. H. Kreuger, *"Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment"*, Butterworths, pp. 76~78, 1989

[11] Steven Boggs, "High Frequency Attenuation in Shielded Solid Dielectric Power Cable and Implications Thereof for PD Location" , IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 12, No. 1, pp. 9~16, 1996

[12] 日本電信電話公社, "同軸ケーブル必携", 電氣通信協會, p. 63, 1991

[13] E. Pultrum, "Test After Laying, Diagnostic Testing Using Partial Discharge Testing At Site", CIGRE, 15/21/33-12, pp. 1~6, 1995

저 자 소 개

신 두 성 (辛 頭 星)

1971년 1월 7일생. 1994년도 2월 서울대 전기공학과 졸업(학사). 1996년 2월 동 대학원 졸업 (석사). 1998년 2월 동대학원 박사과정 수료. 1998년 1월 ~ 현재 LG전선(주) 전력연구소 주임연구원

Tel : 0546-469-7623, Fax : 0546-469-7121

E-mail : shindoo@cable.lg.co.kr

이 창 영 (李 昌 榮)

1970년 12월 1일생. 1993년 2월 부산대 전기공학과 졸업(학사). 1995년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 12월 ~ 현재 LG전선(주) 전력연구소 주임 연구원

Tel : 0546-469-7626, Fax : 0546-469-7131

E-mail : cylee@cable.lg.co.kr

김 충 식 (金 忠 植)

1963년 2월 24일생. 1988년 2월 한양대 전자통신공학과 졸업(학사). 1988년 1월 ~ 2000년 2월 LG전선(주) 전력연구소 선임연구원. 2000년 2월 ~ 현재 일본 나고야대학 박사과정

E-mail : cskim@cable.lg.co.kr

전 승 익 (田 承 益)

1963년 1월 22일생. 1985년 2월 서울대 전기공학과 졸업(학사). 1995년 2월 동 대학원 졸업 (석사). 2000년 2월 동 대학원 박사과정 수료. 1984년 12월 ~ 현재 LG전선(주) 전력연구소 전임 연구원

Tel : 0546-469-7620, Fax : 546-469-7131

E-mail : sijeon@cable.lg.co.kr

김 동 욱 (金 東 郁)

1961년 12월 11일생. 1984년 2월 한양대 전기공학과 졸업(학사). 1992년 2월 동 대학원 졸업(석사). 1999년 3월 일본 오오사까대학 전자공학과 졸업 (공박). 1983년 12월 ~ 현재 LG전선(주) 전력연구소 전력연구실장

Tel : 0546-469-7596, Fax : 0546-469-7131

E-mail : dwkim1@cable.lg.co.kr

박 완 기 (朴 完 基)

1957년 8월 21일생. 1980년 2월 서울대 전기공학과 졸업(학사). 1989년 2월 Technical Univ. of Aachen 졸업 (석사). 1994년 12월 Technical Univ. of Darmstadt 졸업 (공박). 1995년 ~ 현재 LG전선(주) 전력공장장

Tel : 0546-469-7615, Fax : 0546-469-7120

E-mail : wkpark@cable.lg.co.kr