

## 154 kV XLPE 전력케이블의 부분방전 측정을 위한 FSA의 적용 및 표준화 연구

### A Study on FSA Application and Standardization for Partial Discharge Measurement of 154 kV XLPE Cable

신동훈<sup>1,a</sup>, Kyawsoe Lwin<sup>1</sup>, 양종석<sup>2</sup>, 황두현<sup>3</sup>, 임종천<sup>3</sup>, 박노준<sup>4</sup>, 박대희<sup>4</sup>  
(Dong-Hoon Shin<sup>1,a</sup>, Kyawsoe Lwin<sup>1</sup>, Jong-Seok Yang<sup>2</sup>, Doo-Hyun Hwang<sup>3</sup>, Jong-Chun Lim<sup>3</sup>,  
Noh-Joon Park<sup>4</sup>, and Dae-Hee Park<sup>4</sup>)

#### Abstract

The measuring system of the Partial discharge(PD) is very essential to investigate the hazard defects in the insulation systems of the high voltage engineering. We will discussed this research which has included two parts. The proposed method of Foil Sensor Array(FSA) and the normally used method in the practice. Firstly, it will be shown the improved sensitivity of a FSA sensor, which is our aim, compare with the existing normal foil sensor. And then, the linearity of detecting sensitivities of various kinds of FSA sensors was shown. According to our experiments, we can see that FSA sensor is more sensitivity than normal foil sensor and the linear increment property of FSA sensitivities.

**Key Words** : PD(Partial discharge), FSA(Foil sensor array), Cable diagnosis

#### 1. 서론

1977년부터 시작된 전력케이블의 지중화는 2006년 1월까지 전력설비의 11.7 %를 차지하고 있으며 계속 진행되고 있는 상황이다[1]. 전력케이블이 증가하게 되고 그에 따른 지중 전력케이블의 유지보수가 중요하게 여겨지고 있으며, 올바르고 효율적인 진단을 통한 전력케이블의 사고를 미연에 방지하는 것이 무엇보다 중요하다[2,3]. 일반적으로 지중 전력케이블의 이상유무를 판단하기 위해 부분방전 측정방법을 이용한다. 지중 선로 공사 방식에

따라 측정 방법들에 따라 약간의 차이는 있지만 크게 2가지로 분류 하자면, 고주파 전류를 이용하여 전력케이블 중선선에 유기되는 이상 신호를 측정하는 HFCT (High Frequency Current Transformer) 측정 방법과, 용량성 특성을 지닌 금속 포일을 측정부위에 위치하여 부분방전을 검출하는 용량성 박-센서 검출방법이 있다[4-7]. 지중 전력케이블의 중간 접속함 내 부분방전 진단에 있어서 가장 큰 문제가 되는 것은 외부 노이즈 환경에서 부분방전 검출이 가능해야 한다는 것이다. 이 미 앞에서 제시한 용량성 박-센서는 노이즈에 대한 영향이 적은 고주파 대역에서 부분방전을 검출하는 원리이기에 부분방전 측정에 효과적으로 이용되고 있다[7]. 하지만, 현재 사용되어지고 있는 용량성 박-센서의 경우, 진단 방법에 대한 규격화가 제대로 이루어지고 있지 않은 관계로 측정되는 부위의 면적에 따라 얻어지는 부분방전 신호가 제각각 이다. 따라서 본 논문은 규격화된 금속박센서의 배열에 따른 검출 감도 비교를 통해 표준화하고자 한다.

1. 원광대학교 일반대학원 전자재료공학과  
(전북 익산시 신용동 344-2)  
2. (주)대양소재  
3. 대한전선(주) 전력사업부 시공그룹  
4. 원광대학교 전기전자및정보공학부  
a. Corresponding Author : shin99@wonkwang.ac.kr  
접수일자 : 2007. 3. 6  
1차 심사 : 2007. 4. 11  
심사완료 : 2007. 4. 20

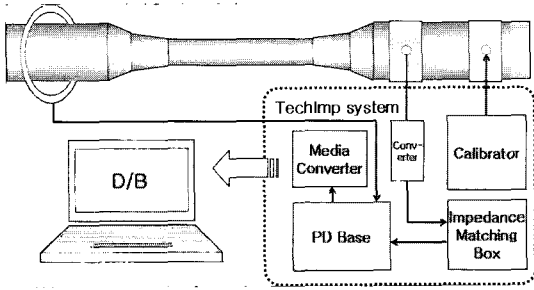


그림 1. 부분방전 측정 시스템.  
Fig. 1. Measuring system of PD.

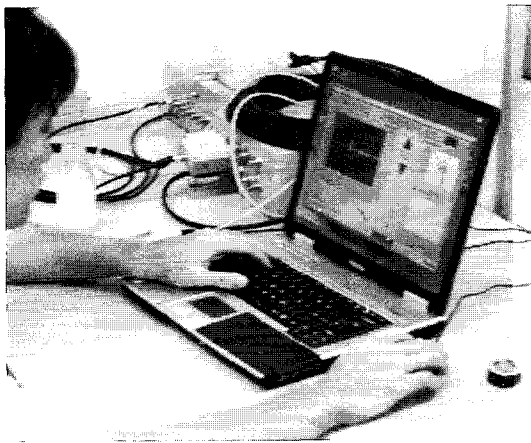


그림 2. 부분방전 신호분석.  
Fig. 2. PD signals analysis.

## 2. 실험

### 2.1 측정시스템 구성 및 실험방법

그림 1은 본 연구에 사용된 Techimp 장비의 구성도 및 부분방전 측정원리이다. Calibration 신호를 입력센서에 주입하고 검출센서를 통해 획득한 신호를 Techimp 장비(Techimp社 PDBase Systems)에서 오실로스코프와 스펙트럼 및 PRPD(Phase Resolved Partial Discharge)분석하며, 각각의 결과값을 그림 2와 같이 PC에 보여주는 원리이다[8,9].

그림 3은 Techimp System을 이용하여 부분방전을 측정하기 위한 등가회로이다. 분압기를 통해 얻어진 이상신호가 Techimp 장비중 하나인 PD Base에 입력하게 되고, 입력된 이상신호는 Base에 저장되어 있던 기존의 이상신호와 비교하여 PD의 유무를 판별하는 원리이다[7].

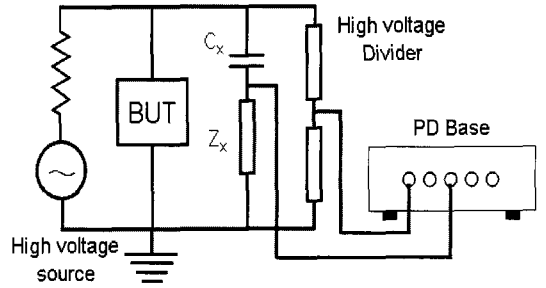


그림 3. PD측정 등가회로.  
Fig. 3. Equivalent circuit of PD measurement.

측정회로의 등가 임피던스는 결합 캐패시터의 캐패시턴스 C와 저항 R의 직렬연결과 같으며 다음과 같이 식으로 표현하였다.

$$V = \frac{1}{2\pi fC} \sqrt{\frac{P_R(1+(2\pi fCR)^2)}{R}} \approx \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{377C} \quad \text{for } f=60\text{Hz} \quad (1)$$

$$V = \frac{1}{2\pi fC} \sqrt{\frac{P_R(1+(2\pi fCR)^2)}{R}} \approx \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{314C} \quad \text{for } f=50\text{Hz} \quad (2)$$

또한 제작된 FSA의 면적대비 선형성을 확인하기 위해 FSA의 크기별 Calibration 신호 검출을 측정을 하였다. 각각의 센서(1×1, 1×2, 1×3, 1×4, 2×1, 2×2, 2×3, 2×4, 3×1, 3×2, 3×3, 3×4)를 30, 50, 70, 100 pC의 신호들을 주입하여 검출되는 신호특성을 파악하였다.

### 2.2 모의 선로 및 센서 제작

그림 4는 실험을 위해 구성된 모의 선로이다. 실험에 사용된 케이블은 154 kV용 1core 200 [SQ mm] 이고, 2 m의 길이로 제작하였다. 무가압 상태에서 Calibration 신호를 주입 하였다.

그림 5는 기존의 박-센서와 제작된 FSA의 규격을 나타낸 것이다. FSA의 규격은 실제 케이블의 규격에 맞추어 제작 되었으며, 부착위치에 따라 FSA의 크기를 조절할 수 있는 Fold type으로 제작되었다.

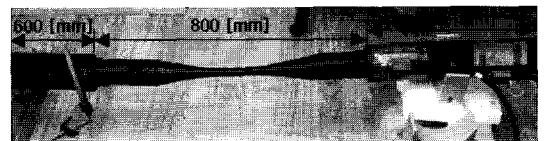


그림 4. 실험용 모의 선로.  
Fig. 4. Simulate line for test.

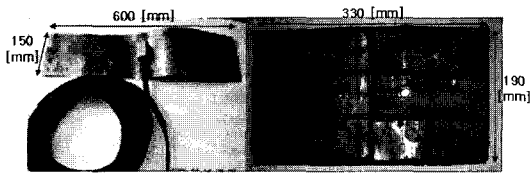


그림 5. 기존 박-센서와 3×4 FSA의 규격.  
Fig. 5. Size of conventional foil sensor and 3×4 FSA.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 Frequency domain 분석

일반적으로 센서가 가지고 있는 신호 검출 대역은 센서의 고유 임피던스에 따라 다르다. 기존의 부분방전 진단 센서가 가지고 있는 주파수 대역은 용량성 센서를 기준으로 8-65 MHz에 대역폭을 가지고 있으며, 이러한 검출대역 안에서 이상신호가 발생하게 된다. 기존의 부분방전 진단센서를 기준으로 하여 제안된 FSA의 부분방전 발생 대역의 동일함을 확인 하고자 한다.

그림 6은 기존의 사용된 용량성 박-센서와 제안된 각각의 사이즈로 조합된 FSA의 주파수 영역을 Techimp 시스템의 스펙트럼 분석을 통한 결과이다.

그림 6에서 볼 수 있듯이 모든 센서에 100 pC의 Calibration 신호를 주입했을 때 25 MHz 대역에서 검출신호의 특성이 발견됨을 확인 할 수 있었고, 동일한 주파수 대역을 확인 할 수 있었다. 또한 실험 시 주변에서 발생된 잡음의 검출대역을 확인한 결과 마찬가지로 10 MHz의 동일한 주파수 특성을 확인 할 수 있었다.

#### 3.2 Time domain 분석

부분방전이 발생할 경우 발생한 부분방전 신호의 크기에 따라 전력케이블의 수명 예측 및 교체를 판단하게 된다. 따라서 검출 신호의 고감도 특성을 지닌 센서의 제작이 무엇보다 중요한 부분이다.

그림 7은 100 pC의 Calibration 신호를 기존의 사용된 용량성 박-센서와 제안된 각각의 FSA에 주입했을 때 검출되는 부분방전 전압특성을 나타낸 것이다. 제안된 FSA는 기존의 센서에서 검출된 37 mV의 Peak Voltage와 비교하여 평균적으로 20~40 mV의 Peak Voltage로 검출됨을 확인하였으며, 검출된 신호의 크기가 1×1에서 3×4로 갈수록 증가하며 FSA의 면적대비 검출결과와 선형적 증가를 확인할 수 있었다.

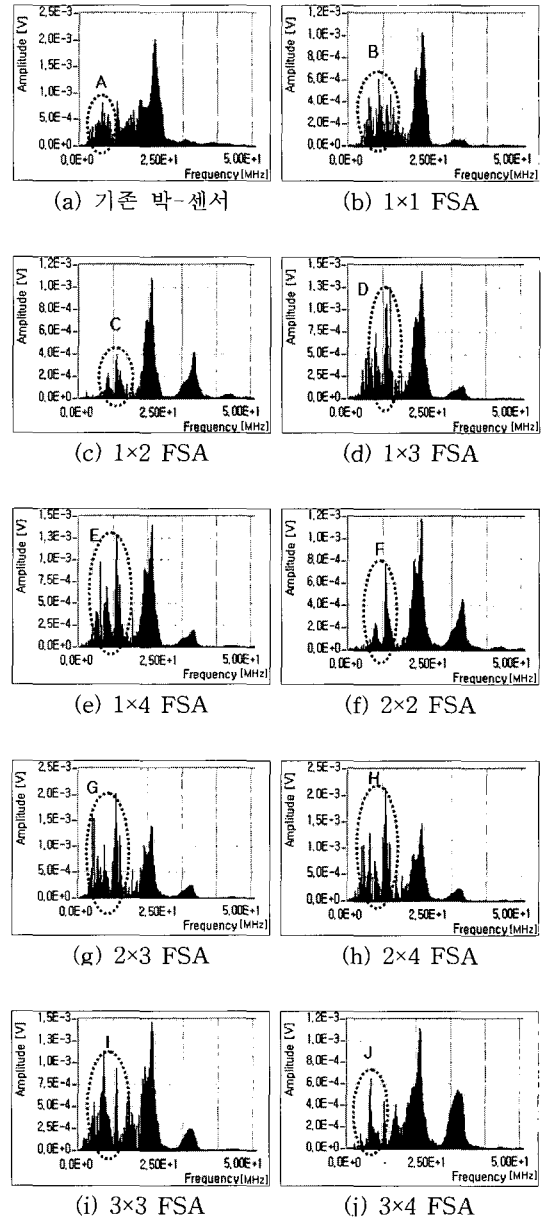


그림 6. 각 센서별 Frequency domain 분석 결과.  
Fig. 6. Analysis results in the frequency-domain for each sensor.

더욱 자세한 신호검출감도 확인을 위해 FSA의 Array에 따른 Peak voltage의 관계를 그림 8의 그래프를 통해 알아보았다.

전체적인 데이터 분석 결과, 면적이 가장 작은 1×1 FSA가 가장 작은 PD Level을 보였으며, 면적이

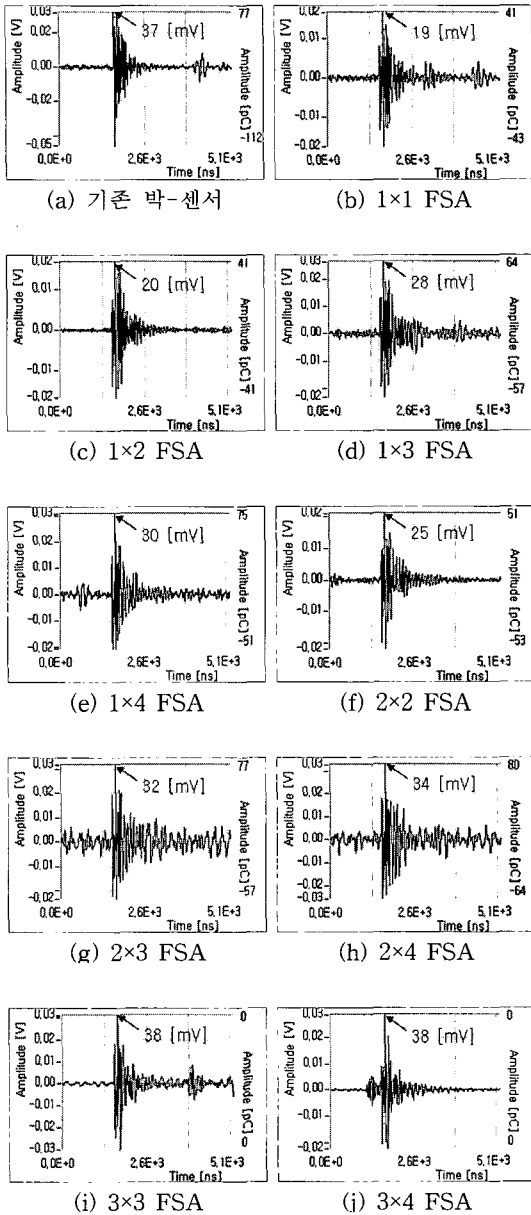


그림 7. 각 센서별 Time domain 분석 결과.  
Fig. 7. Analysis results in the Time-domain for each sensor.

같은 1x2와 2x1, 1x3와 3x1, 2x3와 3x2의 PD Level 은 비슷한 검출결과를 나타냈다. 또한 면적이 가장 큰 3x4 FSA의 검출특성은 다른 FSA들 보다 큰 PD Level 특성을 나타냈으며, 기존의 박 센서와 비교 시 Calibration 신호 100 pC 주입 시에 1 mV 우세한 특성을 나타냈다.

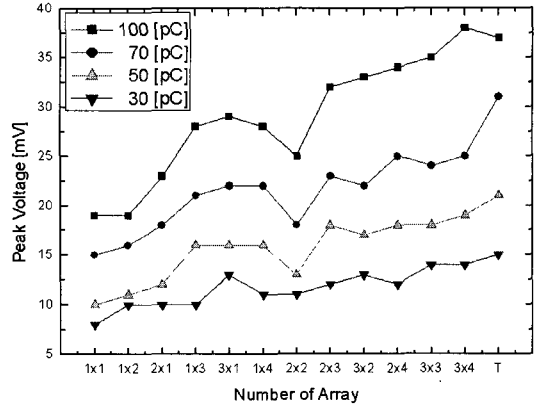


그림 8. 각 센서별 PD Level 비교.  
Fig. 8. Comparison of PD levels.

#### 4. 결론

본 논문은 FSA를 적용하여 부분방전 검출 능력의 면적대비 선형성을 확인하고, 결과를 바탕으로 박-센서의 규격화를 하고자 연구하였다.

첫째, 주파수 영역 분석 결과 기존에 사용되어지고 있는 박 센서에서 검출된 주파수 특성과 각 FSA의 주파수 특성이 25 MHz로 동일함에 따라 센서의 기준에 적합한 특성을 확인 하였다.

둘째, 시간영역 분석 결과 제작한 각각의 FSA는 센서면적대비 검출 특성의 선형성을 나타냈으며, 기존의 박 센서보다 제안된 3x4 FSA가 1 mV의 우세한 검출감도 차이를 확인 하였다.

따라서 본 논문에서 적용한 FSA를 현장에 적용시 규격화된 센서를 측정부위 위치할 수 있는 장점과 함께 기존에 사용된 용량성 박-센서의 새로운 규격화가 가능할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원사업(I-2004-0-074-0-00) 및 Post BK21 사업에 의해 작성되었습니다.

#### 참고 문헌

[1] 한국전력공사, “2006년도판(2005년 실적) 한국전력통계”, p. 83, 2006.

- [2] 박성희, 이강원, 강성화, 임기조, "XLPE 전력용 케이블 시편의 부분방전원 분류", 전기전자재료학회논문지, 17권, 8호, p. 898, 2004.
- [3] 이창중, 김진수, 박강식, 한상욱, "전력케이블 절연접속계면의 절연과피 특성에 미치는 열처리 효과", 전기전자재료학회논문지, 11권, 7호, p. 502, 1998.
- [4] J.-T. Kim, "Separation of partial discharge data by analyzing pulse wave shapes", 8th International Conference on Properties and applications of Dielectric Materials, p. 365, 2006.
- [5] Bjorn R. and Edward G. "Fundamental aspects of on-line PD measurements on distribution power cables", 2001 IEEE 7th International Conference on Solid Dielectrics, p. 408, 2001.
- [6] Turner, G. R., and Hofsajer, I. W., "Rogowski coil for short duration ( $>10^6$  A/s) pulsed current ( $<10$  kA) measurements", Africon, 1999 IEEE, Vol. 2, p. 759, 1999.
- [7] C.-Y. Lee, "High frequency partial discharge measurement by capacitive sensor for underground power cable system", IEEE International Conference on Power System Technology, Vol. 3, p. 1517, 2000.
- [8] G. C. Montanari, "Insulation diagnosis of high voltage apparatus by partial discharge investigation", Proceedings of the 8th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Vol. 1, p. 1, 2006.
- [9] TECHIMP, "Partial discharge based integrated diagnostic system", Operator Manual, Vol. 2.0, p. 47, 2003.