

# 초고압 XLPE 케이블 접속함의 부분방전 펄스파형 시뮬레이션

## Pulse Waveform Simulation of Partial Discharges for HV XLPE Cable Joints

김 정 태\*  
(Jeong-Tae Kim)

**Abstract** - In this study, the simulation of partial discharge pulse waveform have been performed for the typical joints such as EBA and PMJ in the HV underground transmission XLPE cable system in order to improve the understanding of partial discharge pulse waveform and the on-site measurement accuracy of partial discharges. FDTD simulation technique was adopted for the simulation and has been shown to be suitable for partial discharge simulation of power cables in terms of pulse propagation characteristics and waveform formation. The simulation results for the EBA showed that the second not-so-large opposite polarity peak appeared after the first negative polarity peak and the measurement sensitivity was the highest near the bottom of the EBA copper box. In the analysis results for PMJ, the magnitude of the second opposite polarity peak was large enough to compare with the first peak, and the measurement sensitivity at the end of the PMJ copper box was the highest. These simulation results show considerable similarity with the on-site measurement, and it would be very useful for the partial discharge measurement of HV XLPE cable systems.

**Key Words** : Partial discharge(PD), Pulse waveform, Simulation, XLPE cable, EBA, PMJ

### 1. 서 론

지중송전 XLPE 케이블의 건설 또는 운영시 신뢰성 확보를 위한 현장 진단방법으로 부분방전 측정이 보편화 되고 있으며, 특히 MHz 대역 이상의 고주파 대역에서는 주위 노이즈에 비해 부분방전 신호의 S/N비가 높아 효과적인 측정이 이루어지고 있다. 부분방전 진단은 첫째 PRPD(Phase Resolved Partial Discharge) 분석기법 등을 토대로 측정된 부분방전의 패턴인식을 통해 부분방전 발생의 가능성을 파악하고, 부분방전 위치 추정을 통해 그 위치의 절연구조에 따른 부분방전 패턴 도출 가능성을 분석하여, 부분방전 진단이 수립되어야 한다.

이러한 측면에서, TF(Time-Frequency) 기법 [1], 펄스파형 특성분석기법 [2] 등 부분방전 펄스파형의 특징을 추출하여 노이즈를 제거하거나, 3PARAD(3 Phase Amplitude Related Diagram) 기법 [3] 등 3상 동시 측정신호를 비교하여 노이즈를 제거하는 기법을 통해 현장 부분방전 패턴인식의 정확도를 제고하고 있다. 아울러, TDR(Time Domain Reflectometry) [4] 또는 2개 센서를 이용한 TOA(Time of Arrival) 기법 및 시간차 분석 기법 [5] 등을 통해 부분방전 발생 위치에 대한 분석으로 부분방전 위치추정과 진단 정확도가 향상되고 있다.

그러나, 아직도 현장에는 많은 외부 노이즈와 부하 노이즈로 인해 명확한 부분방전 진단이 어려울 뿐 아니라, 특히 EBA와 같

이 센서를 접속함 양단에 설치할 수 없는 경우나 절연접속함의 크로스본딩과 같이 신호의 전파가 복잡한 경우에는 위치추정이 어려워 개선방안이 요구되고 있다.

부분방전 펄스파형은 결합의 종류에 따라 파형이 영향을 받지만 대체로 ns 수준의 매우 빠르고 짧은 펄스의 형태로서 [6,7], 실제 케이블에서 측정되는  $\mu$ s 수준의 긴 파형과는 다르다. 이것은 부분방전 펄스파형이 결합의 종류에 의한 것 보다는 전파 경로에 따라 크게 좌우되기 때문이다. 특히 케이블의 접속 부분은 다양한 종류의 절연체와 구조를 갖기 때문에 부분방전 펄스가 결합에서 발생하여 센서로 입력되기까지 경로에 존재하는 다양한 임피던스를 거치게 되며 여기서 감쇠 뿐 아니라 반사파가 발생하여 이들이 합성되어 파형이 만들어지게 된다.

즉, 실제 순수한 부분방전 펄스파형은 펄스의 맨 앞 부분 아주 짧은 피크이고 나머지는 반사파에 의한 것이다. 이처럼 부분방전 펄스파형은 절연시스템의 구성에 따라 결정된다. 케이블의 경우, EBA(End Bushing in Air), EBG(End Bushing in Gas), EBO(End Bushing in Oil) 등의 단말 또는 PMJ(Pre-Moulded Joint) 및 PJ(Prefabricated Joint) 등의 중간접속함에서 각각의 임피던스 특성이 다른 만큼 여기에 존재 가능한 결합에서 발생하는 부분방전의 파형은 각각 어느 정도 정형화될 수 있다고 추정된다.

최근 FDTD(Finite Difference Time Domain) 시뮬레이션을 통해 전력설비 내에서 시간과 공간 측면에서 부분방전이 전파되는 특성을 해석하는 연구가 전력용 변압기를 중심으로 수행되고 있어 [8] 부분방전 진단의 정확성을 높이고자 추진되고 있다. 그러나, 케이블 분야에서 이에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 대표적인 지중송전 XLPE 케이블 시

\* Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering,  
Daejin University, Korea.  
E-mail: jtkim@daejin.ac.kr

Received : August 22, 2017; Accepted : December 20, 2017

스텝의 접속함인 EBA 및 PMJ에서 발생하는 부분방전 펄스파형에 대해 시뮬레이션을 수행하고 현장 측정결과와 비교하여 현장 부분방전 측정의 정확성을 높이고자 하였다.

## 2. 시뮬레이션 방법

### 2.1 FDTD 시뮬레이션 알고리즘

본 연구에서는 송전 XLPE 케이블 접속함의 부분방전 펄스파형에 대한 시뮬레이션으로 시간과 공간에 대한 전자파 전송을 다루어야 하므로 이에 가장 적절한 해석방법인 FDTD(Finite Difference Time Domain) 시뮬레이션 기법[9]을 적용하였다. FDTD 시뮬레이션 기법에서는 맥스웰 방정식의 편미분을 이용하여 직각 좌표계의 기하학적인 영역 내 구조물을 유한 개수의 Yee cell로 구성된 영역으로 나누고 이웃하는 각 cell 사이의 역학관계를 시간영역에 대해 반복적으로 계산하여 전자계를 분석한다.

그림 1은 단위 Yee cell을 표현한 것이다. 단위 Yee cell은 직사각형 형태를 가지며, 전계 및 자계로 구성되어 있다. 직사각형 형태의 격자는 임의의 좌표(i, j, k)로 구성되어 있다. 직사각형의 모서리의 1/2 지점에는 전계 벡터가 존재하며, 직사각형의 각 면의 중앙점에는 자계 벡터가 존재한다.

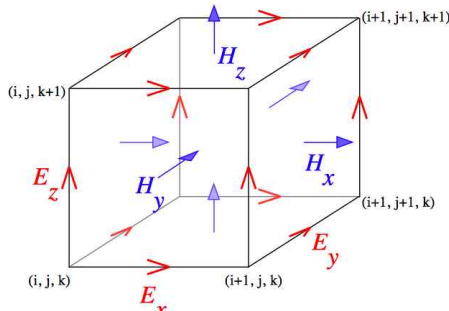


그림 1 FDTD 시뮬레이션의 Yee cell 구조

Fig. 1 Yee cell structure of FDTD simulation

일반적으로 정확한 근사해 값을 얻기 위한 Yee cell의 크기는 입력되는 펄스 파장의 1/10 정도의 Yee cell을 구성할 경우 비교적 정확한 근사해를 구할 수 있다. 본 연구에서는 FDTD 시뮬레이션을 위해 Lumerical 사의 범용 S/W인 'FDTD Solutions'를 이용하였다.

### 2.2 'FDTD Solutions' 범용 S/W에 대한 사전 검증

본 연구에서는 'FDTD Solutions' 범용 S/W를 이용하여 부분방전 특성해석을 처음 시도하였기 때문에 기본적으로 케이블에 적용될 수 있는지 다음과 같은 사전 검증을 수행하였다.

기본적으로 XLPE 케이블에서 부분방전 펄스의 전파속도는 165~170 [m/μs] 정도이며[10], 도체, 절연체 및 반도전층의 두께

와 물성치에 따라 달라진다. 'FDTD Solutions' 범용 S/W를 이용하여 이러한 결과가 도출되는지 검증하기 위해 표 1과 같이 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

표 1 XLPE 케이블 FDTD 시뮬레이션 적용 물성치

Table 1 Values of FDTD simulation for XLPE cables

구성요소	크기	도전율 [S/m]	비유전율
도체	30 [mm]	PEC	-
내부반도전층	2 [mm]	1	3
XLPE 절연층	10 [mm]	$1 \times 10^{-16}$	2.3
외부반도전층	2 [mm]	1	3
금속 시스	3 [mm]	PEC	-
케이블 길이	5 [m]	-	-

\* PEC : Perfect Electric Conductor  
(완전도체로 도전율 무한대 적용)

부분방전 펄스 전파 시뮬레이션을 위한 부분방전 펄스 파형은 그림 2와 같이 펄스 폭 1ns를 갖는 가우시언형 펄스를 사용하였다. 일반적으로 결함 자체에서 발생하는 부분방전 펄스 파형은 매우 빠른 파형으로 주위 매질에 따라 0.1~10 ns 정도[6,7]이므로 본 연구에서는 상기 값을 적용하였다. 주입한 펄스의 크기는 0.9 [V]로 적용하였다.

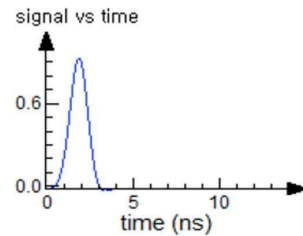


그림 2 모의 부분방전 주입펄스 형태

Fig. 2 Artificial partial discharge(PD) pulse waveform

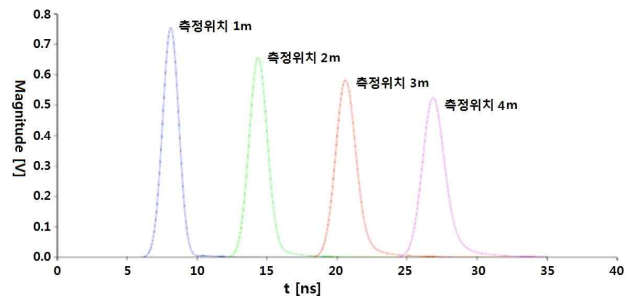


그림 3 모의 XLPE 케이블에 대한 부분방전 펄스 전파 시뮬레이션 결과

Fig. 3 Simulation result of PD pulse propagation for the XLPE cable

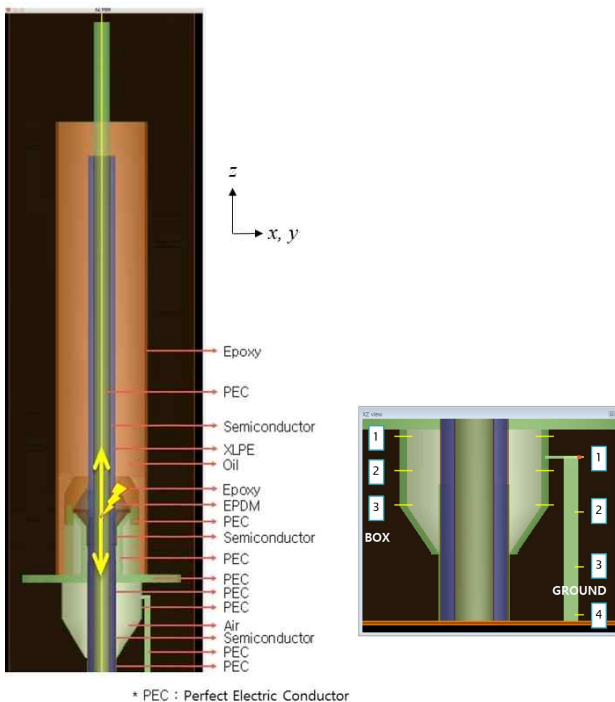
그림 3은 표 1의 모델케이블에 대해 그림 2와 같은 펄스가 케이블의 0m 위치에 주입되었을 때 각각 1, 2, 3, 4m 위치에서 나타난 시뮬레이션 결과로서, 반도체층의 존재로 인해 크기가 크게 감소하는 것을 볼 수 있으며 이 때 계산된 펄스 전파속도는 약 165m/μs로 계산되었다. 이러한 결과는 일반적인 XLPE 케이블에서 펄스 전파속도[10]에 해당하는 것으로 나타나 본 시뮬레이션이 타당함을 확인하였다.

표 2 EBA 및 PMJ 부분방전 펄스전파 시뮬레이션의 적용 물성치

Table 2 Values of PD pulse propagation simulation for EBA and PMJ

구성요소	도전율 [S/m]	비유전율
도체	PEC	-
내부반도체층	1	3
XLPE 절연층	$1 \times 10^{-16}$	2.3
외부반도체층	1	3
고무 (EPDM)	$1 \times 10^{-14}$	3
고무 (LSR)	$1 \times 10^{-14}$	3
금속 시스	PEC	-

\* PEC : Perfect Electric Conductor



(a) EBA modelling (b) Position of installed sensors

그림 4 EBA 부분방전 펄스 파형 시뮬레이션 모델 및 파형 측정 센서 위치

Fig. 4 Simulation model of PD pulse waveform for EBA and positions of installed sensors

### 3. XLPE 케이블 시스템 EBA(기중중단 접속함)에서의 부분방전 펄스전파 시뮬레이션

#### 3.1 EBA 모델링

송전 XLPE 케이블 EBA에서 부분방전 펄스파형 시뮬레이션을 위한 모델과 적용한 물성치를 각각 그림 4 및 표 2에 나타내었다. XLPE 케이블 도체의 단면적은 1200 mm<sup>2</sup>로 하였으며, 그림 4와 같이 XLPE 케이블 시스템에서 가장 고장이 많이 발생하는 접속함의 스트레스콘(SRC) 3중점 부분에 모의 부분방전 펄스를 주입하였다. 부분방전 펄스는 발생 후 케이블 시스템의 양쪽 방향으로 전파하게 되므로 +z축 방향 및 -z축 방향에 대해 시뮬레이션 한 뒤 2가지 경우를 합성하였다. EBA에서 부분방전 펄스 시뮬레이션 파형을 확인하고 센서 설치 위치에 대한 적절성 파악을 위하여, 현장 측정에서 전자파 센서의 경우 EBA 하단 동박스에 부착하여 측정하고 HFCT(High Frequency Current Transformer)의 경우에는 접지선에 장착하므로 이를 감안하여 그림 4(b)와 같이 센서 위치에 대해 동박스에 3곳 및 접지선에 4곳을 고려하여 비교하였다.

#### 3.2 EBA에서 부분방전 펄스파형 전파 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 5는 'Box 2' 위치에서 부분방전을 측정할 경우 나타난 시뮬레이션 파형이다. 모의 부분방전 펄스가 주입된지 약 7ns 후에 -z 방향으로 먼저 전파된 파형이 측정되고, 이어서 +z 방향으로 전파한 펄스가 접속함내부 구성요소들의 임피던스 차이에 의한 반사파가 발생하여 첫 피크 이후 반대극성의 피크가 나타나고 있으며 그 이후 파형은 상당히 감소되는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 접속함 구조로 인해 나타나는 것으로 부분방전 펄스 파형의 해석에 매우 중요한 부분으로 판단된다. 한편 접속함 스트레스콘의 3중점에 주입한 모의 부분방전 펄스는 약 7ns 정도 후에 센서에 도착하고 있으므로 1m 정도 떨어진 거리를 고려하면 약 140m/μs로 계산된다. 이는 케이블에서의 전파속도인 165m/μs 보다 늦은 속도로서 접속함의 임피던스가 케이블과는 다르기 때문인 것으로 해석된다.

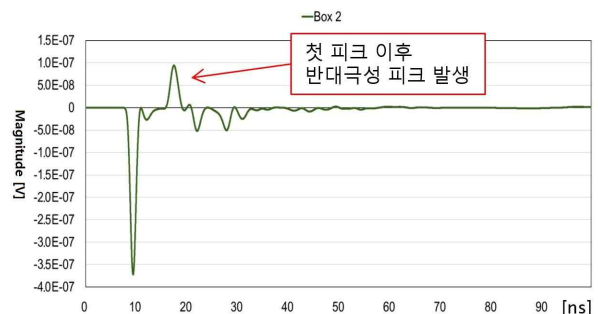
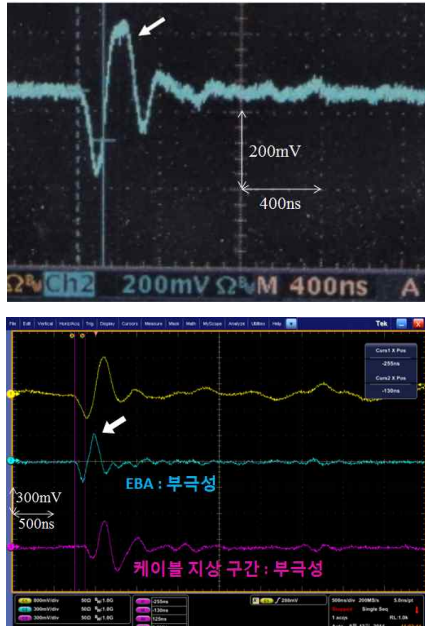


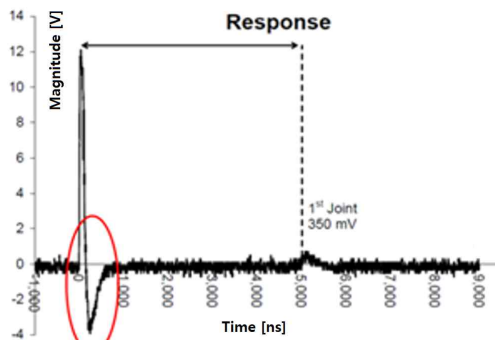
그림 5 EBA 동박스 하단 Box 2 위치에서의 시뮬레이션 모델 결과

Fig. 5 Simulation result at the position of Box 2 in the EBA copper box

그림 6은 현장에서 EBA 부분방전 신호로 추정되는 파형과 준공시험시 모의 펄스를 주입한 경우의 파형이다. 모든 경우 첫 번째 피크에 이어서 반대 극성의 두 번째 피크가 발생하고 있다. EBA의 크기, 구성품의 재질, 펄스 발생 위치 등에 따라 파형이 다르게 나타날 것으로 분석되지만, 기본적으로 첫 번째 피크에 이어 반대극성의 반사파 피크가 뒤따르는 형태가 독특한 특성으로



(a) 345kV XLPE 케이블 EBA 부분방전 추정 파형의 2가지 사례  
 (a) Two examples of on-site measured PD pulse waveform in EBA of 345kV XLPE cable system



(b) 송전 XLPE 케이블 EBA 도체인출봉 모의 펄스 주입시 측정 파형 [4]  
 (b) Measured waveform for the artificially injected pulse to the conductor of EBA of transmission XLPE cable system [4]

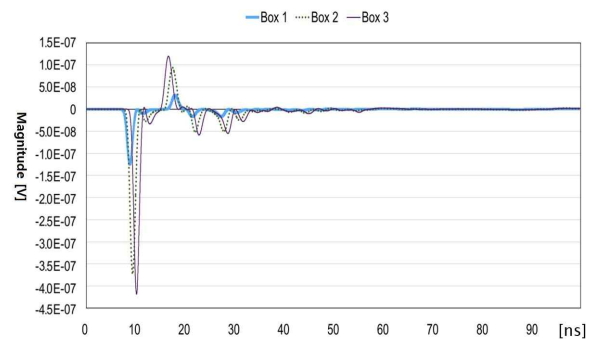
그림 6 EBA 부분방전 추정 펄스파형 측정 사례

Fig. 6 Examples of on-site measured PD pulse waveform in EBA

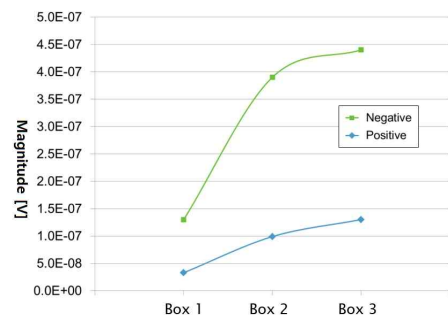
판단된다. 현장 측정의 경우에 비해 그림 5의 시뮬레이션 파형은 상당히 높은 주파수 성분을 보이는 차이가 나타나고 있는데, 이것은 1ns 가우시언형 펄스를 주입하여 고주파 성분이 그대로 시뮬레이션 되었고, 현장에서는 케이블 구조 및 재질의 차이와 설치형태의 다양성, 시스외부에서의 TEV(Transient Earthing Voltage) 발생과 전파 및 센서의 측정원리 및 주파수 특성 등으로 인해 측정파형이 달라지기 때문으로 해석된다. 이러한 부분을 감안하면 본 연구의 시뮬레이션은 현장 측정과 상당한 유사성을 가져 시뮬레이션이 효과적인 것으로 판단된다.

그림 7은 동박스에서 설치위치에 따른 부분방전 펄스파형 시뮬레이션 결과이다. Box 3 위치 쪽 즉, 동박스 하단 쪽으로 갈수록 반사파로 인하여 전체적인 펄스 파형이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 7(b)의 시뮬레이션 펄스 파형의 정극성과 부극성 피크의 크기를 비교한 것을 보면 동박스 하단 쪽으로 센서를 설치하는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

한편 그림 8은 동박스에 연결된 접지선에 나타나는 모의 주입 펄스의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 동박스에서의 측정과 유사한 양상으로 나타나지만 반대극성의 두 번째 피크가 동박스



(a) 동박스 표면에 센서 설치 위치별 파형 특성  
 (a) Waveform characteristics according to the different position of installed sensors at the copper box of EBA



(b) 동박스 표면에 센서 설치 위치별 파형의 크기  
 (b) Magnitudes of waveform according to the different position of installed sensors

그림 7 EBA 모델 동박스 위치별 시뮬레이션 파형

Fig. 7 Simulated waveform according to the different sensor position at the copper box of EBA model

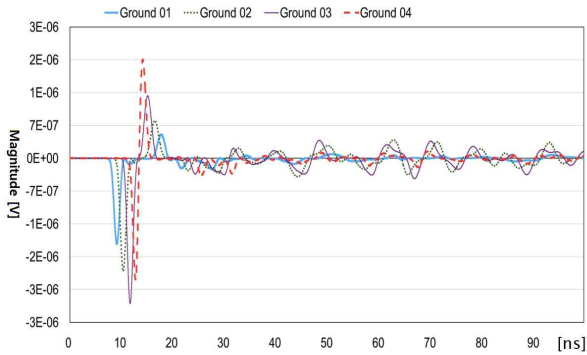


그림 8 EBA 접지선 위치별 시뮬레이션 파형  
 Fig. 8 Simulated waveform according to the different sensor position at the ground wire of EBA model

의 경우에 비해 크게 나타나고 있다. 그러나, 일반적으로 접지선에는 HFCT 센서를 적용하며 대부분 측정 주파수 상한이 100MHz 이내이므로 고주파의 측정은 이루어지지 않아 본 시뮬레이션 결과와는 다소 다른 파형으로 추정되며 특히 센서 위치에 따른 파형 차이는 명확하지 않을 것으로 사료된다.

#### 4. XLPE 케이블 시스템 PMJ(중간접속함)에서의 부분방전 펄스전파 시뮬레이션

##### 4.1 PMJ 모델링

송전 XLPE 케이블 PMJ(Pre-Moulded Joint)에서 부분방전 펄스파형 시뮬레이션을 위한 모델링을 실시하였다. 전술한 EBA와 유사하게 XLPE 케이블의 도체는 1200mm<sup>2</sup> 로 하여 그림 9와 같이 PMJ를 모델링하였고 여기에 적용한 각 부분의 물성치는 표 2와 같다. 부분방전 펄스도 가장 고장이 많이 발생하는 반도체 디플렉터 부분에 주입하였으며, 펄스는 +z축 방향 및 -z축 방향의 양쪽으로 전파하도록 하여 각각 시뮬레이션 한 뒤 2가지 경우를 합성하였다. 한편, 그림 9에 나타난 바와 같이 PMJ 동박스 표면의 4곳에 센서 설치위치를 선정하여 접속함 각각의 측정위치에 따라 펄스 파형이 어떻게 달라지는지 확인하였다.

##### 4.2 PMJ에서 부분방전 펄스파형 전파 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 10은 PMJ의 각 위치에서 시뮬레이션 결과로 나타난 펄스 파형이다. PMJ의 접속부가 있는 쪽 보다는 시공시 작업 공간으로 비어있는 쪽의 끝 부분이 아주 큰 펄스가 나타나고 있다. 아울러 펄스의 두 번째 반대극성의 피크가 첫 번째 피크의 크기에 상당하는 수준으로 나타나, EBA와는 다소 다른 양상을 보이고 있다. 아울러 그림 11은 PMJ의 각 위치에서 시뮬레이션 파형 크기 비교를 나타낸 것으로 접속함 비어있는 쪽 끝 부분인 Case 4의 신호가 매우 크게 나타나 센서 설치의 최적의 위치인 것을 보이고 있다.

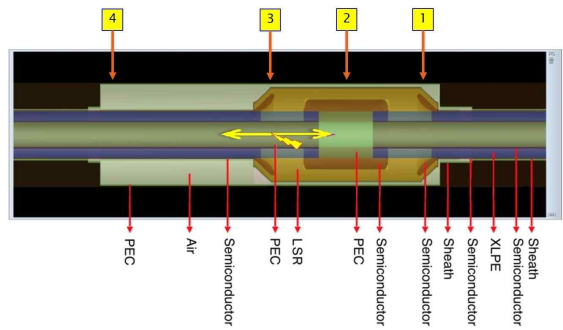
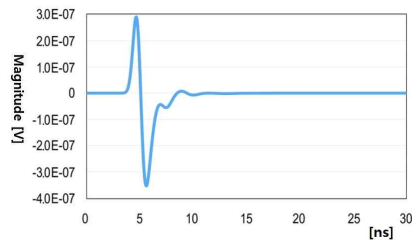
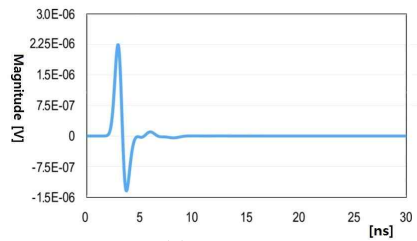


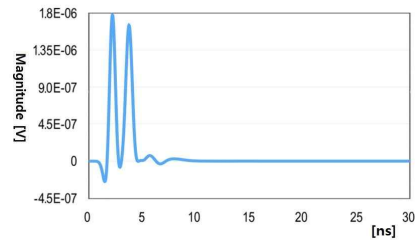
그림 9 중간접속함(PMJ) 모델의 구성 및 센서 위치  
 Fig. 9 Simulation model of PD pulse waveform for PMJ and positions of installed sensors



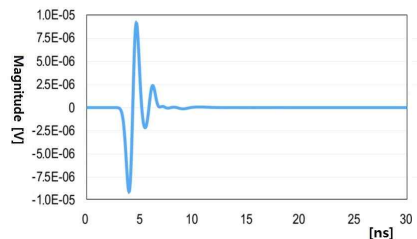
(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3



(d) Case 4

그림 10 PMJ의 각 위치에서 시뮬레이션 결과 파형  
 Fig. 10 Simulated waveform according to the different sensor position at the PMJ model



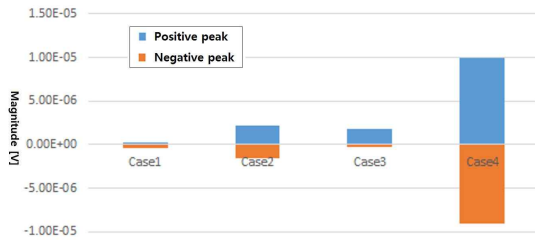


그림 11 PMJ의 각 위치에서 시뮬레이션 파형 크기 비교  
 Fig. 11 Magnitudes of waveform according to the different position of installed sensors in PMJ

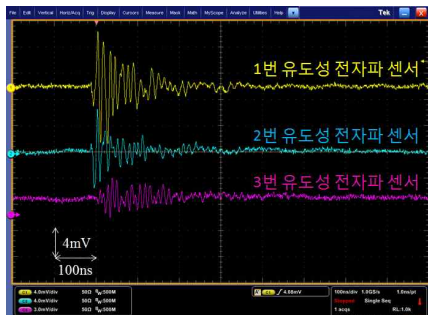
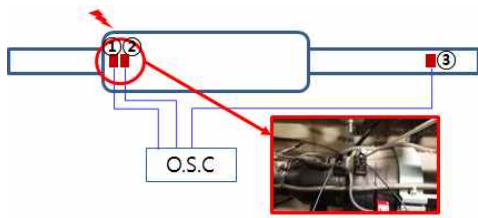


그림 12 현장 PMJ 부분방전 추정신호 측정 사례  
 Fig. 12 Examples of on-site measured PD pulse waveform in PMJ

그림 12는 현장에서 PMJ 부분방전 신호로 추정되는 파형을 전자파센서를 이용하여 측정된 사례이다. 접속함 끝 부분의 신호가 다른 부분에 비해 크게 나타나고 정부극성의 피크의 크기가 유사한 점이 본 시뮬레이션 결과와 유사하다. 다만, 실제 측정에서는 진동되는 피크들이 많이 나타나고 있는데, 이것은 실제 구조가 모델링한 것보다는 복잡하고 동박스 외부에서 측정할 경우 TEV(Transient Earthing Voltage)가 다양하고 복잡하게 중첩이 일어나기 때문으로 사료된다. 또한 현장 측정의 경우에는 시간 축으로 긴 파형이 나타나고 있는데, 그림 10의 경우 매우 짧은 펄스로만 나타나는 것은 주입파형의 차이, 케이블 구조와 재질 및 현장 설치조건의 차이, 케이블 시스템 외부 측정과 적용 센서의 특성 등에 기인한 차이 때문인 것으로 분석된다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 지중송전 XLPE 케이블 시스템의 EBA 및 PMJ

에서 부분방전 현상에 대한 이해와 측정의 정확성을 향상시키기 위해 부분방전 펄스파형 시뮬레이션을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

본 연구에서 적용한 FDTD 시뮬레이션 기법은 펄스의 전파특성 및 파형 형성 측면에서 실제 측정결과와 비교할 때 전력케이블에 대한 부분방전 시뮬레이션에 적절한 것으로 나타났다. EBA에 대한 시뮬레이션 결과는 첫 번째 피크 이후 크지 않은 반대극성의 두 번째 피크가 나타나는 양상을 보였으며 EBA 동박스 하단 쪽이 측정감도가 가장 높은 것으로 분석되었다. PMJ에 대한 해석 결과에서는 반대극성의 두 번째 피크의 크기가 첫 번째 피크에 상당하는 정도로 크기 나타났으며 PMJ 동박스 끝 쪽의 측정감도가 가장 높은 것으로 분석되었다.

이상의 결과는 현장 측정결과와 상당한 유사성을 보여 본 시뮬레이션이 매우 적절하였다고 판단되며, 현장 부분방전 측정에 매우 유용할 것으로 사료된다. 향후 보다 실제적인 구조 및 타 설비가 설치된 상태에서의 부분방전 펄스파형 시뮬레이션을 통해 전력 케이블의 부분방전 현상 해석에 기여하고자 한다.

### 감사의 글

이 논문은 2017학년도 대전대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

### References

- [1] A. Cavallini et al, "Advanced PD Interference in On field Measurements. Part 1 : Noise Rejection", *IEEE Trans on DEI*, Vol. 10, No. 2, pp. 216~224, 2003.
- [2] Jeong-Tae Kim, Ji-Hong Kim, Yong-Moo Chang, Ja-Yoon Koo, "Pulse Analysis Algorithms for Distinguishing Discharge Sources using Different Types of Sensors", *IEEJ Trans. FM*, Vol. 128, No. 5, pp. 350-356, 2008.
- [3] R. Heinrich, S. Schaper, W. Kalkner R. Plath A. Bethge, "Synchronous Three Phase Partial Discharge Detection on Rotating Machines", ISH 2003, Paper 542, Delft, Netherlands, August 25-29, 2003.
- [4] K. Rethmeier, C. Balkon, A. Obralic, W. Kalkner and R. Plath, "PD Localization by Time Domain Reflectometry with PD Decoupling at Joints of High Voltage Cable Systems - Advantages and Limits", 13<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering, T7-533, 2007.
- [5] LEE J.S., KIM J.T., KOO J.Y., "The analysis of the partial discharge pattern to the artificial defects introduced at the interface in an XLPE cable joint using laboratory model", *Jicable 03*, pp. 682-688, 2003.
- [6] S. Ohtsuka, K. Fukuda, A. Sogabe, "Measurement of PD Current Waveforms in SF6 Gas with a Super High

- Frequency Wide Band Measurement System”, 17<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering, D-074, Hannover, Germany, August 22-26, 2011.
- [7] P. Morshuis and J. Smit, “Partial Discharges at dc Voltage: Their Mechanism, Detection and Analysis,” *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 12, pp. 328-340, April 2005.
- [8] A. Itose, Y. Tai, M. Kozako, M. Hikita, “Partial Discharge Detection by TEV Sensors and Signal Propagation Analysis in Transformer Model”, 19th International Symposium on High Voltage Engineering, Paper 567, Pilsen, Czech Republic, August, 23-28, 2015.
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/Finite-difference\\_time-domain\\_method](https://en.wikipedia.org/wiki/Finite-difference_time-domain_method).
- [10] E. Wen Shu and S. Boggs, “Dispersion and PD Detection in Shielded Power Cable”, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 24, No. 1, pp. 25-29, January/February 2008.

---

## 저 자 소 개



### 김 정 태 (Jeong-Tae Kim)

1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업(학사).  
 1987년 한양대 공대 전기공학과 졸업(석사).  
 1992년 한양대 공대 전기공학과 졸업(공박).  
 현재 대진대 공대 전기공학과 교수. 2007년~2008년 : 미국 Mississippi State University 교환교수. 2000년~2008년 CIGRE SC-B1 Insulated Cables, Regular Member. 관심분야 : 고전압 절연설계, 절연 수명, 전력설비 절연진단 등.  
 E-mail : jtkim@daejin.ac.kr