

3상 전력케이블 크로스본딩 접속에서 부분방전 펄스 전파 특성 고찰

김정태*, 김동욱*, 김지홍**

* 대전대학교, ** 칼버스 인스트루먼트

Considerations on the Propagation of Partial Discharge Pulse in 3-Phase Power Cable Systems including Cross-Bonding Joints

Jeong-Tae Kim*, Dong-Uk Kim*, Ji-Hong Kim*

* Daejin University ** Calvus Instrument

Abstract - In this study, the propagation characteristics of partial discharge(PD) pulses in the 3-phase cable systems including crossbonding joints were discussed. For the purpose, experiments for 22.9kV CNCV cables were performed using simulated PD pulses, and on-site partial discharge measurements were carried out for the 345kV XLPE cable system.

1. 서 론

송전케이블은 부하전류가 크고 거리가 배전케이블 보다는 길기 때문에 시스 유기전압이나 시스 순환전류가 크게 발생하며, 이를 줄이고 3상 케이블의 선로 임피던스를 동일하게 가져가기 위해 크로스본딩을 시행한다. 크로스본딩이란 가공선로의 3상 임피던스를 같게 하기 위한 연가와 유사하지만 도체의 위치를 바꿔주는 가공선로와는 달리 시스를 변경시키게 된다. 즉, 케이블 접속시 시스를 끊어주는 절연접속을 설치하고 A상 시스는 B상으로 B상 시스는 C상으로 그리고 C상 시스는 A상으로 전환시키는 방법이다. 2개의 절연접속이 이루어지면 시스의 변경은 한 바퀴가 이루어지게 된다.

부분방전 신호는 케이블 도체 쪽이 정극성이면 케이블 시스 쪽은 부극성의 신호로서 케이블을 전파하게 되는데, 보통 접속에서는 관계없지만 절연 접속의 크로스본딩에서는 시스가 타상으로 변경되므로 신호는 타상으로도 전파된다.[1,2] 따라서 신호가 케이블을 따라 전파하다가 크로스본딩을 지나면 타상에서도 측정되며 절연접속에서는 보통접속보다 큰 반사파가 일어나므로 케이블 3상 전체에서 신호가 측정되는 복잡성을 띄게 된다. 이에 따라 A상에서 부분방전이 발생되어도 B상이나 C상에서도 모두 상당한 크기의 부분방전이 측정되므로 어느 상에서 발생된 신호인지 파악이 어려워진다.

따라서, 본 연구에서는 송전 XLPE 케이블 시스템에서 크로스본딩에 대한 부분방전 신호전파 특성을 파악하고자, 실제 22.9kV CNCV 케이블을 3상으로 크로스본딩 구성을 한 뒤 모의 펄스를 주입하여 신호전파특성을 분석하였다. 아울러, 345kV XLPE 케이블 현장에서 측정된 결과를 토대로 신호 전파특성을 검증하였다.

2. 본 론

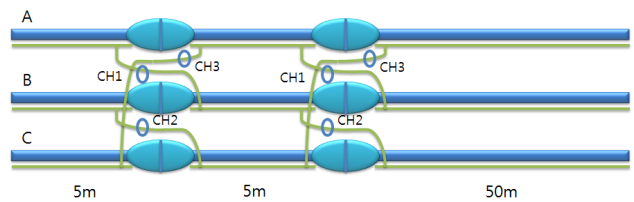
2.1 모의 실험방법

실험실에서 크로스본딩 신호전파 실험을 수행하기에는 케이블의 길이에 한계가 있어 수행하기 쉽지 않다. 따라서, 본 연구에서는 본 실험실에서 적용가능한 수준으로 경향 파악만을 하였다.

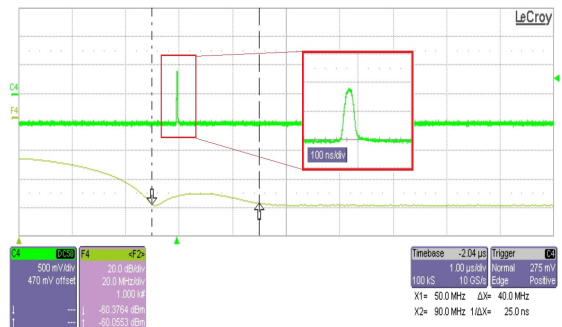
실험실에서 송전급 케이블에 대한 실험은 거의 불가능하므로, 배전급 22.9kV CNCV 케이블을 이용하여 실험 시스템을 구성하였다. 크로스본딩의 각 구간의 길이는 5m-5m-50m 로 적용하였다. 일반적으로 크로스본딩의 각 구간의 길이는 거의 같게 하지만 본 실험에서는 경향 파악만을 위해 길이가 다르지만 구성하였다. 이에 따른 크로스본딩 신호전파 실험을 위한 3상 케이블 시스템 구성은 다음과 같다 : 좌중단(0m)-케이블(5m)-절연접속(접속재이용, 5m 지점)-케이블(5m)-절연접속(기준연결, 10m 지점)-케이블(50m)-우중단(60m 지점). 이러한 케이블을 3상으로 동일하게 구성하고(A상: CH1, B상: CH2, C상:CH3) 신호를 A상에 주입하였다. 그림 1에 모의 실험 구성도를 나타내었다.

부분방전 펄스로서 실제 보이드 방전과 같은 실제 부분방전을 일으켜 실험할 수도 있지만, 정확한 경향 파악을 위해 모의펄스를 사용하였다. 모의 펄스는 파두/펄스폭이 5/20ns 인 파형으로 1V의 크기로 주입하였다. 그림 2는 모의펄스의 파형을 나타낸 것이다. 약 100MHz 정도까지의 고른 주파수 스펙트럼 특성을 보이고 있다.

부분방전 측정에는 1~200MHz의 주파수 대역을 갖는 동일한 응답 특성의 RFCT(Radio Frequency Current Transformer)를 3개 사용하였다.



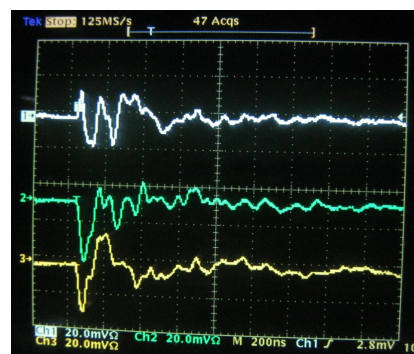
<그림 1> 모의 실험 케이블 시스템(크로스본딩) 구성



<그림 2> 5/20ns 모의펄스의 파형과 주파수 특성

2.2 모의실험 결과

그림 3은 좌중단 0m 지점의 A 상에 5/20ns 1V의 모의펄스를 주입하고 5m 지점의 직선접속부(크로스본딩)의 시스에서 측정하였다. 그림에 나타난 바와 같이 주입상인 A상은 정극성으로 나타나고 B상 및 C상은 부극성으로 나타나, 타 문헌[1,2]과 유사한 결과를 보이고 있다. 특히 B상과 C상의 크기가 유사하게 나타난 점은 정확하게 일치하고 있다. 다만 주입상인 A상은 크기가 작게 나타났는데, 이것은 케이블의 구간이 5m로 짧아 반사파가 빠르게 발생 중첩되어 줄어든 것으로 생각된다.



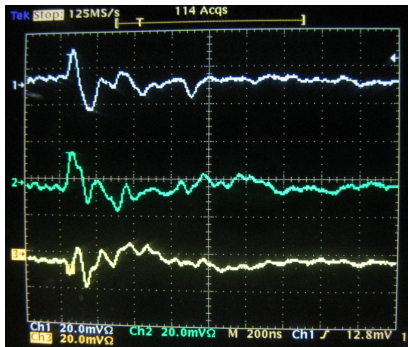
<그림 3> A상 0m 지점 모의펄스 주입시 5m 지점 크로스본딩 시스 측정 결과

이러한 양상은 60m 지점 우중단에서 신호주입시 10m 지점 기준연결 크로스본딩을 거친 후 5m 지점의 직선접속 크로스본딩 시스템에서 측정된 결과에서도 나타나고 있다. 그림 4에 그 결과를 나타내었다. A상과 B상은 크기와 극성이 같은 반면 C상의 극성과 크기가 달라졌는데, 이것은 60m 지점 A상에서 주입된 펄스가 10m 지점의 크로스본딩을 거치면

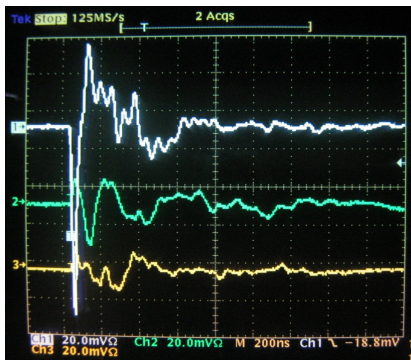
서 C상으로 시스가 연결되어 전파하여 결국 5m 접속부에서는 C상에서 신호가 나타나게 된 것으로 해석된다. 이 경우에도 짧은 구간에서의 반사파로 인해 C상의 신호가 크게 줄어들었다고 생각된다.

한편 절연접속부에서 부분방전이 발생한 것을 가정하여 A상의 10m 지점 절연접속부에 신호를 주입하고 그 위치인 10m 절연접속부의 도체에서 측정된 결과를 그림 5에 나타내었다. 주입상과 타상 신호의 극성은 반대로 나타났고 크기도 주입상이 상당히 크게 나타났다. 이러한 결과는 문헌 [2]의 결과와 잘 일치하는 것이다.

전력케이블 크로스본딩 구조에 대해 모의필스를 이용하여 얻어진 결과는 대체로 외국 문헌의 결과와 일치하였다. 그러나, 케이블 구간이 너무 짧아 반사파의 영향이 너무 심해 정확한 펄스 파형의 관측은 쉽지 않아, 경우에 따라서는 변형되거나 다른 결과가 도출되기도 하였다. 하지만 이러한 결과는 후술하는 현장 측정결과에서 보다 명확해 진다.



<그림 4> A상 60m 지점 모의필스 주입시 5m 지점 크로스본딩 시스템 측정 결과



<그림 5> A상 10m 지점 모의필스 주입 10m 지점 크로스본딩 도체 측정 결과

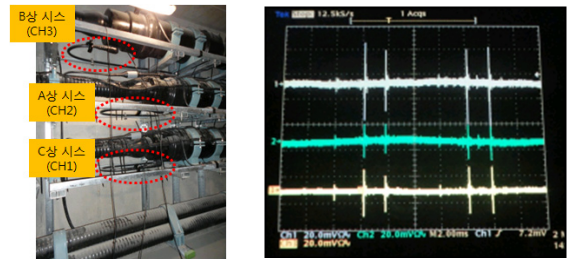
2.3 345kV XLPE 케이블 현장 측정 및 분석

크로스본딩 접속이 2곳 설치되어 있는 약 1km 345kV XLPE 케이블에서 이상신호가 발생하여 현장 측정을 실시하였고, 크로스본딩을 거치면서 상기한 바와 같은 신호전파 특성이 나타나는 것을 확인하였다.

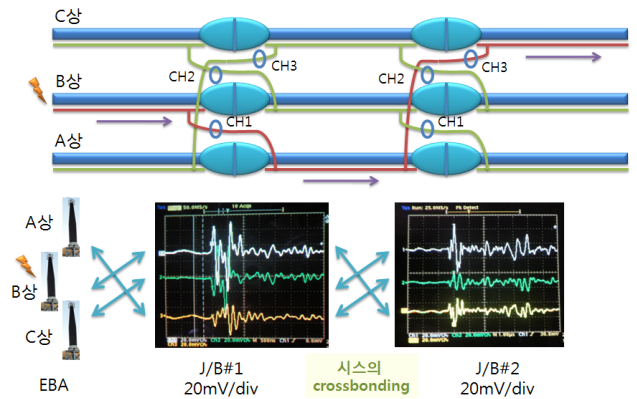
345kV XLPE 케이블 구성은 좌중단(EBA)-330m-JB#1(절연접속)-330m-JB#2-330m-우중단(EBA)으로 되어 있으며, JB#2 접속구간부터 부분방전을 측정하였다. 그림 6에 JB#2에서의 측정결과를 나타내었다. 케이블은 아래부터 A상, B상, C상이지만 좌중단에서 이어지는 시스템을 고려하면 C상(CH1), A상(CH2), B상(CH3)으로 된다. 그림 6.(b)의 1주기 파형에서 보면 C상(CH1) 신호가 제일 크고 B상(CH3) 및 A상(CH2)의 순서로 되어 마치 C상에서 발생한 신호로 보인다. 하지만 그림 7의 JB#2 파형에 나타낸 바와 같이 CH3의 신호만이 정극성이고 다른 상은 부극성이다. 아울러 JB#1의 파형을 보면 CH1의 첫 번째 피크가 정극성으로 가장 크고 다른 상은 부극성으로 작게 측정되었으며, JB#2보다 첫 번째 피크가 커서 펄스 파형의 포락선 상승이 빨라지고 있다. (이것은 방전원에 보다 가깝다는 것을 의미한다.) 결국 좌중단의 EBA 측을 측정한 결과, 가공선로의 B상에서 발생하는 노이즈성 신호로 밝혀졌다. 즉, B상 가공선로 신호가 케이블을 타고 전파되었으며, 이때 크로스본딩으로 인해 신호 특성이 다른 채널로 넘어가게 된 것이다. 그림 7에 B상 시스템 연결에 따른 전파경로를 나타내었다.

이상의 현장 측정 결과로부터 외부 유입신호는 그림 3 ~ 그림 5의 모의실험 결과에서 나타난 바와 같이 부분방전이 발생한 상의 펄스파형 극성은 타상과는 반대로 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 타 상의 경우에는 크로스본딩에서의 반사파로 인해 극성이 반대로 나타나게 된다. 아울러, 이러한 펄스파형은 크로스본딩을 거치면서 시스템이 연결되는 쪽으로 전파되는 것을 알 수 있다. 즉, 시스템이 연결된 상에서 같은 극성으로 전

파되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 타 문헌[1,2]에서의 결과와 일치하는 것이다.



(a) JB#2 측정 (b) 1 주기 측정 (2ms/div)
<그림 6> JB#2 시스템에서의 측정결과 (CH1: C상, CH2: A상, CH3: B상)



<그림 7> 크로스본딩에 따른 B상 신호 전파 경로 및 파형

그러나, 이러한 결과는 좀 더 검토되어야 한다. 현장의 상황이나 포설 조건 접지상태 부분방전 발생 위치 등에 따라 다른 결과가 도출될 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 측면을 감안하여 추가 검토할 예정이다.

3. 결 론

본 연구에서는 초고압 지중케이블 시스템에 적용하는 크로스본딩 시스템에서 부분방전 펄스가 전파되는 양상을 검토하기 위하여, 모의 실험과 현장 측정을 수행하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

부분방전 펄스의 극성은 부분방전이 발생한 상과 타 상에서 반대로 나타났으며, 이는 크로스본딩에서의 반사에 의한 영향으로 판단된다.

3개 상에서 측정되는 부분방전 펄스들의 시간차이는 거의 나타나지 않아 반사파에 대한 분석은 용이하지 않았다.

발생원으로부터 멀리 떨어질수록 펄스의 첫 번째 피크보다는 두 번째 이후의 피크들이 크게 나타났으며, 심지어 타상에서의 부분방전 펄스 크기가 더 크게 나타나기도 한다. 이는 반사파의 영향으로 보이며, 이에 따라 펄스의 첫 번째 피크를 분석하여야 정확한 부분방전 해석이 가능하다.

향후 다양한 경우에 대한 분석을 토대로 크로스본딩을 포함하는 3상 송전급 케이블 부분방전 진단 알고리즘의 개발을 완성할 계획이다.

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (2009T100100563)주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] E. Gulski1, B. S. Munir, J.J. Smit, B. Quak, P.P. Seitz, "PARTIAL DISCHARGE SIGNAL ANALYSIS IN CROSS-BONDING JOINTS", 16th International Symposium on High Voltage Engineering, Paper D-39, 2009
- [2] Wei Wang, Chong Liu, Caipeng Yue, Hui Sun, Yanlong Yu, Sheng Li, "The Experimental Study of Transmission Characteristics of the PD and Interference Signals in the Cross-bonding link-system", 2010 ISEL, pp.1-4, 2010