2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2005. 7. 18 - 20

지중송전계통에서 배전선 불평형전류 유입에 따른 영향 검토

강지원*, 장태인, 홍동석, 정채균, 윤동수, 윤종건, 김형호
한국전력 전력연구원 원광대 한국전력공사

Analysis of induced voltage of CCPU with unbalanced current from Distribution Line on Underground Transmission Cable System

J.W.Kang*, T.I.Jang, D.S.Hong C.K.Jung D.S.Yoon, J.K.Yoon, H.H.Kim
KEPRI Wonkwang Uni. KEPCO

Abstract - This paper analyses the induced voltage characteristic of CCPU with unbalanced current from distribution line on underground transmission power cable systems. In switching surge strokes, in order to obtain the data of induced voltage/current on CCPU, the actual proof test carried out. This paper is expected to contribute the establishment of proper protection methods of CCPU against the unbalanced current from distribution line on underground transmission power cable systems.

1. 서 론

최근 인구 집중현상에 따른 대도시의 전력수요 증가 및 환경적 요인으로 인하여 지중송전선로뿐만 아니라 변전소 구간의 송전선로가 가공 및 지중으로 혼합되어 건설되는 사례가 증가하고 있는 추세이다[1~2].

한편, 국내 지중송전계통은 경과지 확보 어려움에 따른 편단접지개소 발생으로 뇌 및 개폐써지 유입시 접속함에서의 과전압 유기문제 뿐만 아니라 동일한 전력구내에 송전 및 배전케이블계통이 포설되는 경우 각 계통을 단독접지 시키기 보다는 보통접속함(NJ) 등에서 공통접지를 하는 관계로 공통접지선을 통한 상시 배전계통으로부터 불평형전류 유입 등의 현실적인 문제점을 안고 있는 실정이다.

또한, 송전선로 경과지 선정의 어려움 및 분기선로 추가 건설에 따른 편단접지개소 발생에 따른 과도상태시 상대적 열악 조건 내포 및 최근 4년간의 절연통보호장치 소손사례 중 대부분이 이러한 편단접지개소 및 제 1 크로스본드 구간에서 발생하고 있는 점 및 절연통보호장치 소손사고시 증거물이 소실되어 그 원인을 추정하기가 어려운 현실 감안시 면밀한 검토를 통한 대책마련이 요구되는 현실이다.

따라서 본 논문에서는 편단접지된 접속개소에서의 개폐써지 실측결과 및 배전계통에서의 불평형전류 유입 정도에 따른 CCPU 양단 유기전압 특성 검토결과 등을 토대로 대책(안)을 제시하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 절연통보호장치(CCPU) 고장 현황 분석

최근 4년간의 절연통보호장치(CCPU)의 고장현황 및 분석결과를 표 1에 나타내었다. 표 1에서 알 수 있듯이 최근의 CCPU 소손사고는 편단접지된 구간에서 주로 발생하고 있음을 알 수 있다(전체 사고의 86.7[%]).

참고로 그림 1은 본 논문에서 주로 검토하고자하는 지중송전계통 편단접지개소에서 발생한 절연통보호장치 소손사례를 나타낸 것이다.

표 1. 절연통 보호장치 고장현황 분석('00~'04)

	고장구간	선로형태	종류
1	편단	혼합	절
2	편단	단일	L/B
3	1크	단일	L/B
4	편단	혼합	절
5	편단	단일	절
6	편단	혼합	절
7	편단	단일	절
8	편단	단일	절
9	편단	단일	절
10	1크	단일	절
11	편단	혼합	절
12	편단	단일	L/B
13	편단	혼합	절
14	편단	혼합	L/B
15	편단	단일	절
	15건		

○ 구간 : 편단(편단접지구간), 1크(제 1 크로스본드구간)
○ 선로형태 : 단일(전부 지중선로), 혼합(가공+지중)
○ 종류 : 절(절연통보호장치), L/B(Link Box)

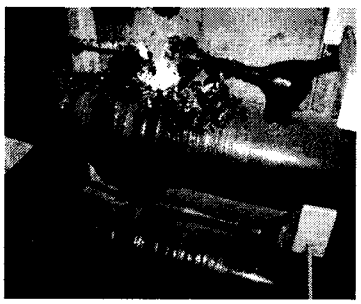


그림 1. CCPU 소손사례(편단접지개소)

2.2 해석을 위한 모델 계통도

실선로 편단접지개소에서 개폐써지 유입시의 절연통보호장치 양단의 전압 및 전류를 실측함으로써 CCPU의 동작특성을 알아보고자 하였으며 시험대상선로의 계통도 및 포설형태는 다음 그림 2와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 대상선로는 154kV XLPE 2000[mm^2]의 총긍장 2.9[km] 지중송전 실선로로써 전력구식 및 관로식이 혼합되어 포설되어 있으며, J/B #1과 J/B #6 두개의 접속함이 편단접지로 되어 있어 시스템상으로 다소 불안정한 요소를 내포하고 있는 선로이다.

한편, 표 2에 시뮬레이션에 사용되어진 해당선로의 전원 임피던스(Source Impedance)를 나타내었다.

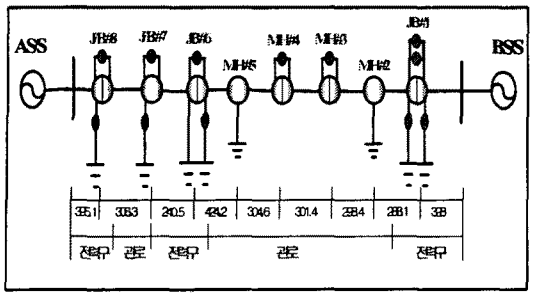


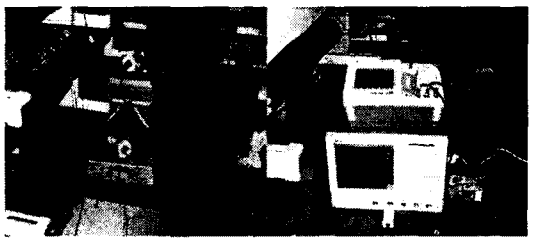
그림 2. 해석을 위한 실선로 계통도

표 2. 시뮬레이션에 사용된 Source Impedance

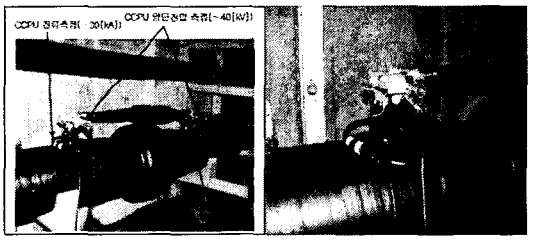
임피던스	정상분[Ω]	영상분[Ω]
도곡 S/S	0.1565 + j2.5993	0.4008 + j2.5993
개포 S/S	0.1542 + j2.6182	0.4032 + j2.5993

2.3 편단접지개소 개폐써지 실측 결과

개폐써지 실측시험은 그림 2의 편단접지개소인 J/B #1에서 실시하였으며, 차단기 동작은 수전단인 B S/S은 상시 Open하고, 전원단인 A S/S의 차단기를 On, Off 조작하는 방법으로 시행하였다. 참고적으로 실측시험은 총 6차례에 걸쳐 시행하였으며, 계측기를 이용한 측정당시의 사진을 그림 3에 나타내었으며 금번 시험에 사용된 주요 계측장비의 사양으로 전류는 로고스키 코일을 사용하여 30[kA]까지, 전압은 고압 Probe를 사용하여 40[kV]까지 측정 가능하도록 하였다.



(a) 개폐써지 실측 사진



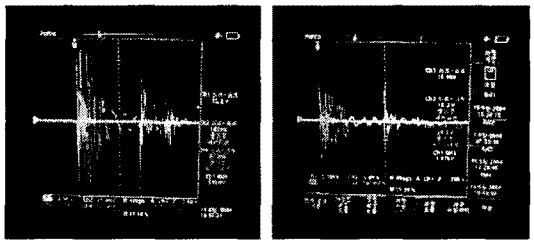
(b) CCPU 양단전압 및 전류 측정장면

그림 3. 개폐써지 실측을 위한 장비 setting 과정

한편, 그림 2의 검토선로에 대한 개폐써지 실증시험시 J/B #1 CCPU 양단에서 실측된 전압, 전류 파형을 그림 4에 나타내었다.

측정결과 교락비접지방식 CCPU의 양단 전압은 최대 약 9[kV]로써 상당히 큰 전압 및 그에 상응하는 전류가 흐름이 확인되었다. 일반적으로 CCPU ZnO 소자의 경우 상용주파수 동작개시전압과 제한전압의 감소, 누설전류의 증가, 절연저항의 감소 등 전기적 특성변화에 의해 열화가 진전되며, 누설전류의 경우 초기에는 용량성전류의 특성을 보이나 열화 진행과 함께 저항성전류의 특성(열화가 진행되면서 제 3 고조파성분이 증가하면서 최종적으로는 전압, 전류의 위상이 동상이 됨)을 보이게 되며, 지속 또는 간헐적인 과도상태 발생시 CCPU는 열화 가능성이 있는 것으로 보고 되고 있다[6~8].

따라서 금번 개폐써지 실측 결과값이 절연통 소손 정도의 전압 크기는 아니나 지속적인 과도전압 유입은 CCPU 열화의 한 요소로 작용할 수 있으므로 운영상 편단접지개소에 대한 세심한 관찰이 필요할 것으로 판단된다.



(a) B상 전압파형(1차 투입) (b) A상 전압파형(5차 투입)

그림 4. 개폐써지 실측화면

2.4 배전계통 불평형전류 유입에 의한 영향 검토

현재 국내에 포설된 지중송전케이블 계통은 전력구내 배전선로와 동시 포설시 접지는 공용으로 사용하고 있는 실정이다. 따라서 본 절에서는 배전케이블과 그림 2의 검토 대상선로와의 공통접지선을 통해 배전선로의 부하 불평형으로 인한 불평형 접지전류가 송전케이블로 유입되는 경우 절연통보호장치(CCPU) 양단 유기전압 및 전류에 대해 검토하였으며, 그 결과에 대해서 아래에 기술하였다.

한편, 배전계통 불평형전류에 의한 영향을 분석하기 위한 시뮬레이션 CASE는 표 3과 같이 크게 송전선로만 모의했을 경우(CASE 1), 송전선로와 배전 D/L의 상호영향을 무시한 공동포설의 경우(CASE A)와 상호영향을 고려했을 경우(CASE B)로 나누어 검토하였다. 또한, 공통접지선으로 유입되는 불평형전류의 크기(불평형전류 1의 경우 평균 불평형율은 17.5[%], 2는 28.5 [%], 3은 37.5[%])를 표 4와 같이 변화를 주어 표 3과 같이 7가지의 CASE를 설정하여 분석하였다. 이때 배전 D/L과의 공통접지는 실계통 조건을 고려하여 편단접지개소인 J/B #1에서만 이루어진 것으로 하여 검토하였다.

표 3. 검토 CASE 설정

	CASE	설명
송전	CASE 1	송전(그림 2 참조)
상호영향 무시	CASE A-1	송전 + 배전(배전부하불평형 1)
	CASE A-2	송전 + 배전(배전부하불평형 2)
	CASE A-3	송전 + 배전(배전부하불평형 3)
상호영향 고려	CASE B-1	송전 + 배전(배전부하불평형 1)
	CASE B-2	송전 + 배전(배전부하불평형 2)
	CASE B-3	송전 + 배전(배전부하불평형 3)

표 4. 배전케이블 부하 불평형율

부하	부하 불평형율		
임피던스	R	X	평균
배전 부하불평형 1	20[%]	15[%]	17.5[%]
배전 부하불평형 2	27[%]	30[%]	28.5[%]
배전 부하불평형 3	42[%]	33[%]	37.5[%]

그림 5,6에 본 검토에서 적용된 모든 CASE의 계통도

를 각각 나타내었으며, 각 그림에서 송전 T/L과 배전 D/L과의 공통접지선에 나타낸 전류는 CASE별 시뮬레이션시 흐르는 불평형전류의 크기를 나타낸 것이다.

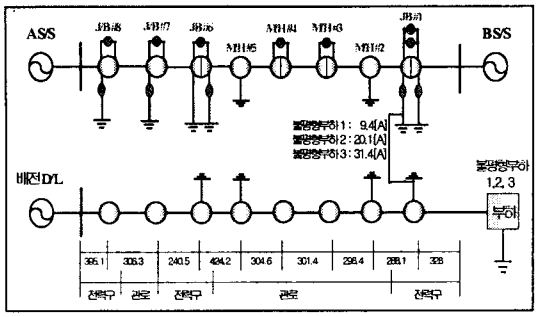


그림 5. CASE A(상호영향을 고려하지 않은 경우)

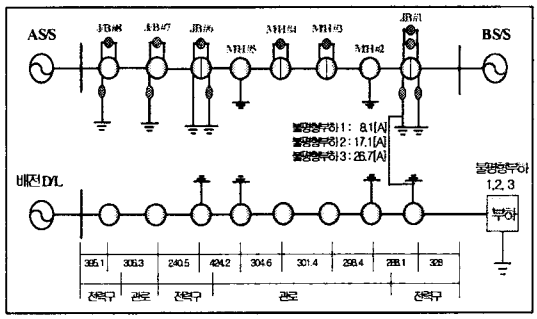


그림 6. CASE B(상호영향을 고려한 경우)

아래 표 5, 6에서는 그림 2의 해당선로의 접속함중 편단접지개소인 J/B #1, 6에 설치된 CCPU 양단 유기전압의 계산결과를 나타내었으며, 각 표에서의 단위는 전압의 경우 [V], 전류의 경우 [A]이며, '교락'은 교락비접지방식 CCPU, '대지간'은 대지간접지방식 CCPU를 의미하며 J/B #1의 경우 대지간 CCPU가 2개이나 본 논문에서는 B S/S측 CCPU의 양단 유기전압만을 나타내었다.

표 5. CASE별 CCPU 양단 유기전압(J/B #1)

CASE	A상		B		C	
	교락	대지간	교락	대지간	교락	대지간
CASE 1	6.4	2.8	6.8	3.0	6.3	3.0
CASE A-1	6.4	97.2	6.7	92.6	6.4	93.7
CASE A-2	6.4	204.1	6.7	198.9	6.4	202.3
CASE A-3	6.4	316.4	6.7	311.7	6.4	314.0
CASE B-1	44.0	94.5	33.4	89.6	36.8	91.4
CASE B-2	87.6	196.3	76.0	191.5	83.6	194.9
CASE B-3	134.6	305.3	122.3	299.3	128.8	303.1

표 6. CASE별 CCPU 양단 유기전압(J/B #6)

CASE	A상		B상		C상	
	편단	대지간	편단	대지간	편단	대지간
CASE 1	7.9	8.0	8.2	8.2	8.9	8.9
CASE A-1	7.9	8.1	8.4	8.4	9.0	9.0
CASE A-2	8.0	8.1	8.2	8.4	9.0	9.0
CASE A-3	8.1	8.1	8.4	8.4	9.0	9.0
CASE B-1	70.0	70.0	55.8	55.8	56.6	56.6
CASE B-2	142.8	142.8	125.9	125.9	132.0	132.0
CASE B-3	219.8	219.8	202.7	202.7	205.6	205.6

표 5, 6에서와 같이 배전계통과의 공용접지로 인한 배전 불평형전류 유입에 따른 CCPU의 전기적 특성 검토 결과를 요약하면 다음과 같다. 즉, 송전만 고려한 계통(CASE 1)의 경우 시스 및 CCPU에는 특이 현상이 발생하지 않았음을 알 수 있다.

한편, CASE A의 경우에는 J/B #1 구간, CASE B의 경우에는 J/B #1 구간 뿐 아니라 J/B #6 편단 구간에서도 불평형전류에 의한 접지점에서의 대지전위 상승으로 CCPU의 단자전압이 상승할 뿐만 아니라 만약 어떤 원인에서든 CCPU 소손사고가 발생하고 불평형 정도가 심할 경우 접지점의 대지전위 상승으로 인해 케이블 지지앵글이 근접해 있는 경우에는 아크 발생의 가능성도 있을 것으로 추정된다.

또한, 배전 D/L과의 공통접지와 배전선 부하 불평형으로 인한 불평형 전류가 유입될 경우 그 불평형 정도 및 당시 부하전류의 크기에 따라 편단접지 CCPU에는 100 ~ 300[V]의 전압이 유기될 수도 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 편단접지된 접속개소에서의 개폐써지 실측결과, 배전계통에서의 불평형전류 유입정도에 따른 CCPU 양단 유기전압 특성을 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 국내에서는 최초로 개폐써지 유입시 절연통보호장치 양단 유기전압 및 전류를 실측하여 그 값을 제시하였으며, 지속적인 과도전압 유입은 CCPU 열화의 한 요소로 작용할 수 있으므로 운영상 편단접지 개소에 대한 세심한 관찰이 요구된다.

2) 한편, 배전 D/L로부터의 불평형전류 유입의 정도가 심한 경우 어떤 원인에서든 CCPU 소손사고가 발생하면 접지점의 대지전위 상승으로 인해 케이블 지지앵글이 근접해 있는 경우에는 아크 발생의 가능성도 있으므로 가능한 한 편단접지개소에서는 배전계통과의 접지는 분리할 필요성이 있을 것으로 검토되었다.

향후 편단접지개소 CCPU 누설전류 실측/분석 및 실증시험 등을 통한 CCPU 운영 및 관리방안 수립을 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1] 전력연구원, "지중송전 케이블의 써어지 보호 대책에 관한 연구(최종보고서)", 1993. 6

[2] 전력연구원, "지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구(최종보고서)", 1998. 1

[3] 전력연구원, "송전케이블의 허용전류 산정 프로그램 개발 연구(최종보고서)", 2001. 12

[4] 일본전기학회 기술보고 , "케이블계통에서의 써지현상과 대책". 제 366호(Ⅱ부), 1991. 4

[5] 일본전기협회, "지중송전규정 JEAC 6021-2000", 2000

[6] 한빛EDS, "765kV 피뢰기 진단시스템 개발, 최종보고서)", 2001.09

[7] 길경석 외, "뇌충격전류에 의한 산화아연형 피뢰기 소자의 전기적 특성 변화", Vol. 48, No. 7, 대한전기학회 1999. 7월 논문집

[8] 이종혁 외, "다중 뇌충격전류에 의한 피뢰기 소자의 전기적 특성 변화", 2000년, 대한전기학회 하계학술대회, pp.2035~2037