

케이블 방식층보호장치의 결선방식에 대한 고장전류해석

정성환^o
한국전기연구소

최인혁
한국전력공사 전력연구원

A Study on Fault Current Analysis for CCPU Connection Method

Jeong Seong Hwan^o
KERI

Choi In Huk
KEPRI

Abstract-This paper is one-phase fault current analysis of 154kV underground transmission power cable. Its purpose is to gain knowledges of connecting the CCPU and to show the merits as its method. There are many methods of connecting CCPU, i.e., a conventional method, CIGRE method, inter-connection between sheaths with grounding, and inter-connection between sheaths without grounding. These methods will be compared in this paper.

1. 서론

지중케이블의 시스를 접지하는 방식은 케이블 접속구간마다 시스의 한 쪽만 접지하는 편단접지방식과 접속구간마다 시스의 양 쪽을 접지하는 양단접지방식, 3개 접속점을 한 개의 케이블 접속구간으로 하여 접속구간 양 쪽을 양단접지하고 구간내 시스를 서로 교차접속하는 크로스본드접지방식이 있다.

크로스본드접지방식은 상시시스유기전압에 의해 시스에 흐르게 되는 전류를 최소화하여 시스손실을 감소시켜 케이블의 송전 용량을 확보할 목적으로 널리 사용되고 있다. 그러나, 크로스본드접지방식은 시스전류를 억제할 수 있지만, 시스를 서로 교차 접속시킨 접속점에 유기된 상시유기전압은 유기전압의 제한치(예, 50V)를 초과하게 되는 경우가 발생할 수 있으며, 고장시 고장전류에 의해 발생하는 시스와 대지간 전압 및 시스와 시스간(절연통양단) 전압이 케이블 외장의 절연내력을 초과할 수 있다.

그래서, 고장 및 뇌서지와의 같은 과전류에 의해 발생하는 전압이 케이블 외장의 절연내력을 초과하는 것을 억제하기 하여 방식층보호장치를 시스에 연결하여 접지한다.

본 논문은 방식층보호장치의 결선방식에 따라 1선지락사고시 케이블 방식층에 유기되는 상용주파과전압을 해석하여, 결선방식별 유기전압과 과전류의 크기를 비교하여 각 결선방식별 특성을 비교하였다.

2. 케이블외장(방식층)의 내전압치

2-1 일본

내전압치는 시스이상전압의 크기와 방식층의 기계적 강도에 의해 결정된 방식층의 두께에 따라 표<2-1>과 같이 정하고 있다. 여기에서 시스에 발생하는 이상전압의 크기기는 15-20%가 되기 때문에 66kV급 이상되는 케이블에 대해서만 규정하고 있다. 154kV케이블의 방식층 내전압은 재료의 가열, 흡수에 의한 경년변화, 반복 통전시험에 의한 열영, 포설시의 손상 등에 의한 절연내력의 감소에도 불구하고 절연특성을 보장하는 값이다.

표<2-1> 일본의 방식층 충격파내전압

공칭전압 [kV]	충격파 시험전압 [kV]	
	방식층	절연접속함 양단
66	40	40
77	40	40
110	50	50
154	50	50
187	50	50
220	50	50
275	50	50
500	50,60	-

2-2 CIGRE

이상전압의 종류, 시스보호장치의 유무에 따라서 방식층의 보호강도를 구분하고 있다. 즉, 시스보호장치가 없는 계통인 경우 절연접속함의 시스-시스간의 절연강도 및 시스-대지간의 절연강도는 전력케이블의 각 전압계급별 BIL에 대하여 각각 50%와 25%로 하고 있다. 또, 시스보호장치가 있는 계통인 경우 절연접속함의 시스-시스간 절연강도는 시스보호장치의 제한전압에 25%의 여유를 둔 것으로 하고 있으며, 시스-대지간의 절연강도는 시스-시스간의 절연강도의 50%를 각각 제안하고 있다. 표<2-2>는 CIGRE에서 제안하고 있는 방식층에 대한 충격파 내전압을 나타낸 것이다.

표<2-2> CIGRE의 방식층 충격파내전압치

구 분		공칭전압[kV]	36	72.5	154
시스보호 장치가 없는 계통	케이블전용 계통	절연접속함양단	30	60	120
		방식층	15	30	60
	가공선과 연결된 계통	BIL [kV]	195	325	650
		절연접속함 양단	100	170	330
		방식층	50	85	165
시스보호장치가 있는 경우		절연접속함 양단	제한전압에 25%여유		
		방식층	상기 값의 50%		

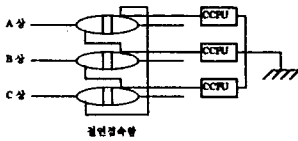
3. 방식층보호장치의 결선방식

방식층보호장치는 써지의 침입에 따라 발생하는 절연접속함 접지단자의 양단전압과 절연접속함의 접지단자와 대지간의 전압을 케이블외장의 절연내력 이내로 제한할 목적으로 크로스본드 접지를 하는 접지단자에 설치한다. 이때, 접속함의 접지단자를

서로 연결하는 접지선은 접지선의 임피던스에 의해 접지선에 유기되는 써지전압에 의해 방식층보호장치의 동작특성에 영향을 줄 수 있으며, 또 접지선의 용단사고도 발생할 수 있기 때문에 가능한 한 저 임피던스의 접지선을 사용하고 길이를 짧게 하는 것이 좋다. 따라서, 방식층보호장치의 결선방식은 가능한 한 저 임피던스의 접지선을 사용하여 짧은 길이로 연결함으로써 방식층보호장치의 동작특성을 좋게 하고, 절연접속함에 걸리는 전압을 낮출 수 있어야 한다. 결선방식은 기존의 방식과 더불어 CIGRE방식, 동판방식, 교락접지방식, 교락비접지방식등이 고려되고 있다.

(1) 기존의 방식

삼상일렬형 또는 단상형 보호장치를 설치하며, IV전선을 접지선의 리드선으로 사용하여 보호장치와 절연접속함의 접지단자를 연결한다. 리드선의 길이가 길 경우에는 보호장치의 단자전압을 제한할 수 있어도 절연접속함의 양단자 전압을 억제할 수 없는 경우가 많다. 그림(3-1)은 기존방식의 결선도를 나타낸 것이다.



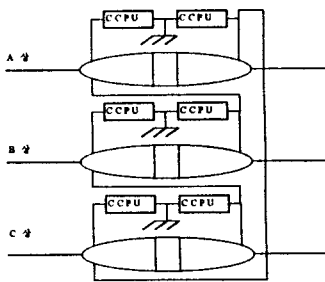
그림(3-1) 기존의 결선방식

(2) CIGRE 방식

CIGRE방식은 기존방식의 IV절연전선을 대신하여 동축케이블을 사용하는 것을 제외하고는 그의 기존의 방식과 유사하다. 동축케이블을 사용한 것은 IV절연전선에 비해 써지임피던스가 적기 때문이다.

(3) 교락접지방식

소형의 보호장치를 절연접속함의 상부에 취부하여 결선 길이를 극히 짧게 할 수 방식으로, 접지단자간의 시스유기전압을 억제할 수 있지만, 보호장치가 직렬로 2개가 연결되어야 하므로 보호회로의 이상시(단락또는 단선)에는 다른 방식에 비해 위험하다. 그림(3-2)는 교락접지방식의 개략도이다.



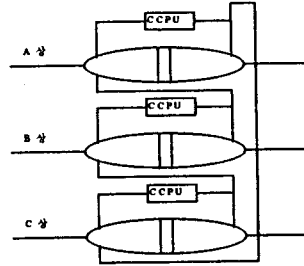
그림(3-2) 교락접지방식

(4) 동판방식

동판방식은 교락접지방식과 유사하며, 리드선의 고주파 임피던스를 저감하기 위해 보호장치에 동판을 설치하는 방식이다.

(5) 교락비접지방식

교락비접지방식은 교락접지방식과 같으나 절연접속함안에 한 개의 보호장치를 설치하는 방식이다. 절연접속함 양단 전압을 충분히 낮출 수는 있으나, 접속함의 접지단자와 대지간의 전압을 제한할 수 없는 단점이 있다. 그림(3-3)은 교락비접지방식의 개략도이다.



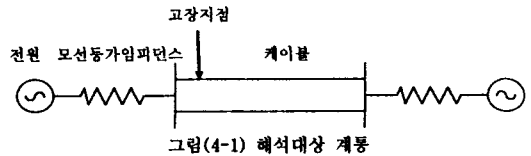
그림(3-3) 교락비접지방식

4. 고장해석의 상정 조건

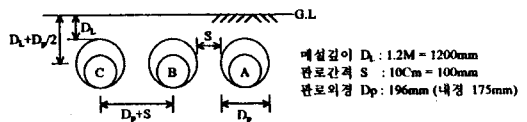
기존의 방식층보호장치와 교락접지방식 및 교락비접지방식에 대한 고장해석을 위하여 아래와 같이 상정조건을 가정하였다.

4-1 해석대상 계통

해석하고자 하는 케이블계통의 개략도는 그림(4-1)과 같으며 그림(4-2)와 같이 직배포설의 수평배열을 가정하였다. 크로스본드의 접지상태는 그림(3-1), 그림(3-2) 및 그림(3-3)과 같다.



그림(4-1) 해석대상 계통



그림(4-2) 케이블배열상태

4-2 상정조건

- 1) 케이블 1선지락 사고지점은 케이블방향 첫 번째 절연접속함의 접지단자에서 발생하는 것으로 한다.
- 2) 154kV계통의 최대지락전류가 $i_{sr}=50kA$ 이지만 이것을 그대로 모의하면 케이블에 너무 가혹한 조건이 되므로 해석에 사용된 3상지락전류 i_{sr} 는 25kA로 가정한다. 따라서 1선지락전류는 보통 3상 지락전류의 70-90%인데 70%로 가정하여 17.5kA로 한다.
- 3) 모션임피던스의 등가임피던스는 위 2)의 고장전류로 가정하여 다음에 의해서 계산된다. 일반적으로 저항분은 등가임피던스의 5-10%를 가정하는데 여기서는 10%로 한다.

$$I_{3f} = \frac{V_1}{\sqrt{3}Z_1}, I_f = \frac{\sqrt{3}V_1}{Z_0 + 2Z_1}$$

4) 방식층보호장치의 리드선 저항과 인덕턴스는 각각 $R=8.6E-5\Omega/m$, $L=1.3\mu H/m$ 로 가정한다.

5) 방식층보호장치의 공칭방전전류와 제한전압은 각각 10kA와 14kV로 가정한다.

6) 케이블계통에서 이웃하는 접지점사이의 거리는 300m로 가정한다.

7) 심선피뢰기는 고려하지 않는다.

4-3 해석에 사용된 데이터

- 1) 케이블 종류
 - 선종 : OFAZE 1200mm
 - 길이 : 300m, 9구간(크로스본드 대구간 3개)

2) 방식층보호장치의 V-i 특성

전류 I [A]	전압 [kV]	전류 I [A]	전압 [kV]
10^{-3}	8.5	100	9.9
10^{-2}	8.65	1,000	10.95
10^{-1}	8.85	5,000	12.6
1.0	9.0	10,000	14.0
10	9.3	20,000	15.0

3) 등가임피던스 ($i_{3r}=25kA$, $i_f=17.5kA$ 로 가정)

영상분임피던스 $Z_0 = 0.8129 + j8.1290$

정상분 및 역상분 임피던스 $Z_1 = 0.3556 + j3.5564$

5. 고장해석 결과

5-1 고장전류분포

각 결선방식별 고장해석을 통해서 얻은 고장전류의 분포는 표<5-1>, 표<5-2> 및 표<5-3>과 같다.

표<5-1> 기존방식의 고장전류 분포

접지저항 [Ω] (계통/케이블)	고장선로				접지점			
	도체 →시스 귀환 고장 전류	시스 귀환 전류	A상 →B상 크로스 본드선 전류	방식층 보호 장치 임력 전류	변전소 귀환 전류	제1 크로스 본드 중성점	제2 크로스 본드 중성점	제1구간 보통 접속함
	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]
1/10	58.972 (100)	42.750 (72.5)	16.221 (27.5)	•	23.741 (40.2)	1.316	2.284	1.299
10/10	45.621 (100)	27.824 (60.9)	17.797 (39.0)	•	5.360 (11.7)	4.192	4.130	5.203
10/25	36.726 (100)	24.035 (65.4)	12.691 (34.5)	•	7.620 (20.7)	2.610	2.608	3.020

표<5-2> 교락비접지방식의 고장전류 분포

접지저항 [Ω] (계통/케이블)	고장선로				접지점			
	도체 →시스 귀환 고장 전류	시스 귀환 전류	A상 →B상 크로스 본드선 전류	방식층 보호 장치 임력 전류	변전소 귀환 전류	제1 크로스 본드 중성점	제2 크로스 본드 중성점	제1구간 보통 접속함
	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]
1/10	58.526 (100)	42.931 (73.3)	15.182 (25.9)	0.433	26.826 (46.8)	•	•	2.630
10/10	33.715 (100)	22.345 (66.3)	11.043 (32.8)	0.327	8.420 (24.9)	•	•	8.315
10/25	27.534 (100)	19.145 (69.5)	8.061 (29.3)	0.327	9.720 (36.3)	•	•	3.872

표<5-3> 교락접지방식의 고장전류분포

접지저항 [Ω] (계통/케이블)	고장선로				접지점			
	도체 →시스 귀환 고장 전류	시스 귀환 전류	A상 →B상 크로스 본드선 전류	방식층 보호 장치 임력 전류	변전소 귀환 전류	제1 크로스 본드 중성점	제2 크로스 본드 중성점	제1구간 보통 접속함
	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]
1/10	58.841 (100)	41.801 (71.0)	16.352 (27.8)	0.633	23.396 (39.8)	1.307	1.290	2.288
10/10	45.763 (100)	28.276 (61.9)	16.204 (25.4)	1.251	5.285 (11.5)	4.184	4.164	5.198
10/25	36.644 (100)	23.812 (64.9)	11.938 (32.6)	0.893	7.607 (20.8)	2.601	2.597	2.995

5-2 고장전류에 의한 유기전압해석

각 결선방식별 고장전류에 의해 절연접속함의 접지단자에 유기되는 과전압의 크기는 표<5-4>, 표<5-5> 및 표<5-6>과 같다.

표<5-4> 기존 결선방식의 절연접속함의 과전압의 크기

접지저항 [Ω] (계통/케이블)	절연공간 전압 [kV]		시스-대지 전압 (교장측) [kV]		시스-대지 전압 (CCPU측) [kV]	
	교장시	최고시	교장시	최고시	교장시	최고시
1/10	-59.821	0.372	-21.191	23.759	37.906	23.386
10/10	-66.608	0.490	-42.661	53.416	23.947	52.926
10/25	-66.656	0.380	-41.606	76.300	25.049	75.919

표<5-5> 교락비접지방식의 절연접속함 과전압의 크기

접지저항 [Ω] (계통/케이블)	절연공간 전압 [kV]		시스-대지 전압 (교장측) [kV]		시스-대지 전압 (CCPU측) [kV]	
	교장시	최고시	교장시	최고시	교장시	최고시
1/10	-48.453	4.039	-23.334	29.032	25.114	24.993
10/10	-48.452	4.208	-23.338	86.475	25.113	82.267
10/25	-48.452	4.279	-23.338	99.520	25.114	95.240

표<5-6> 교락접지방식의 절연접속함 과전압의 크기

접지저항 [Ω] (계통/케이블)	절연공간 전압 [kV]		시스-대지 전압 (교장측) [kV]		시스-대지 전압 (CCPU측) [kV]	
	교장시	최고시	교장시	최고시	교장시	최고시
1/10	-40.927	0.508	-22.288	23.646	18.639	23.138
10/10	-53.540	0.532	-37.916	53.273	15.624	52.740
10/25	-53.622	0.412	-36.017	75.959	17.604	75.547

5-3 결과분석

5-3-1 고장전류의 크기

고장전류의 분류율은 표<5-7>과 같다.

표<5-7> 고장전류의 분류율

접지저항 [Ω]	시스귀환전류	크로스본드선	변전소귀환전류
1/10	71~73%	25~27%	39~45%
10/10	60~66%	25~39%	11~24%
10/25	64~69%	29~34%	20~35%

5-3-2 과전압의 크기

(1) 절연공간전압의 크기(교장시)

교락접지방식 < 교락비접지방식 < 기존의 방식

(2) 시스-대지전압 (교장측)

교락비접지방식 < 교락접지방식 < 기존의 방식

(3) 시스-대지전압 (교장시, CCPU측)

교락접지방식 < 교락비접지방식 < 기존의 방식

(4) 시스-대지전압 (최고시, CCPU측)

교락접지방식 < 기존의 방식 < 교락비접지방식

이상과 같이 교락접지방식이 절연공간의 전압 및 시스-대지간전압의 크기가 다른 결선방식보다 낮다. 그러나, 교락접지방식이 교락비접지방식에 비해 방식층보호장치가 더 많이 소요된다.

6. 결론

1선지락고장전류에 대한 각 결선방식별 절연접속함의 접지단자에 유기되는 전압은 교락접지방식, 교락비접지방식 및 기존의 방식의 순으로 과전압의 크기를 억제할 수 있다.

또, 고장전류의 분류율을 알 수 있어서 각 접지점에 흐르는 고장전류의 크기를 예상할 수 있어서 접지선의 크기를 결정할 수 있는 기초자료를 확보하였다.

7. 참고자료

- (1) 전기협동연구 제 44권 제3권, (일)전기협동연구회, 1989
- (2) 吉川舜二의, "케이블이불 방식층보호대책의 연구"
- (3) ATP rule book
- (4) "지중송전케이블의 써어지 보호대책에 관한 연구", 한국전력공사, 1993