

고장전류에 의한 154kV 지중케이블의 작용 전자력 해석

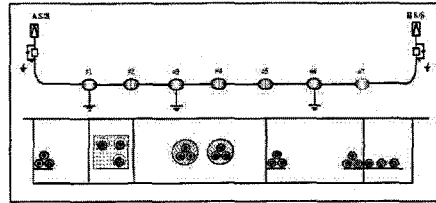
장태인*, 박홍석*, 강지원*, 윤형희*, 홍동석**
 한국전력공사 전력연구원*, 대한전선(주)**

Electromagnetic Force Analysis for 154kV Underground Cable by Fault Current

Tae-In Jang*, Hung-Sok Park*, Ji-Won Kang*, Hyung-Hee Yoon*, Dong-Suk Hong**
 KEPCO*, TAIHAN ELECTRIC WIRE**

Abstract - 본 논문은 지중송전케이블을 사고 시 수반되는 고장전류가 케이블에 미치는 전자력 영향에 대한 내용을 다룬다. 지중송전선로는 도심지 및 인구밀집 지역의 안정적 전력공급에 필수불가결한 송전방식이나 전력구 등의 제한된 설치 공간으로 인하여 최대한 밀집배치 되므로 고장 시 고장전류에 의한 전자력의 상호작용이 가공선로에 비하여 매우 커서 이에 대한 면밀한 검토가 필요하다. 본 문에서는 전력구내 포설 형태와 고장상황에 따른 케이블 상호간 작용 전자력에 대하여 심층적으로 분석하여, 향후 전자력 영향 감소 및 해소를 위한 지지용 금구류 등의 개선 및 개발을 위한 기본 자료로 활용하고자 한다.

열로 존재되어 1.281km가 포설된 실제선로를 모델로 하고 있으며, 모델링된 선로의 계통도는 <그림 2>와 같다.



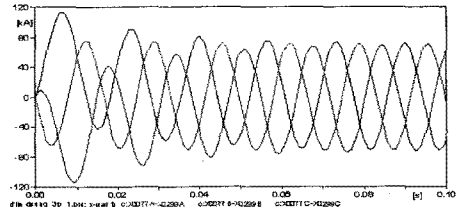
<그림 2> 전자력 계산을 위한 모델 계통도

1. 서 론

지중케이블 고장은 대부분 케이블의 지락 및 단락과 같은 현상을 동반하며, 이러한 경우 케이블에 고장 대전류가 흐르게 된다. 최근에는 지중케이블 계통이 복잡 및 복잡화되어 전체 고장전류 크기가 커지는 경향이 있어 사고발생시 고장전류에 의한 케이블 악영향이 더욱 우려가 되고 있다. 특히, 변전소 근단에서 발생한 단락고장의 경우에는 발생하는 큰 고장전류의 크기로 인하여 케이블에 심각한 손상이 우려가 되고 있다.

2.1.3 모의계통 고장전류 검토

<그림 3>과 <그림 4>는 모의 계통의 전원단 부근에서 3상 단락 및 2상 단락 상황을 가정하여 단락 고장전류를 시뮬레이션 한 결과이다. 예상한 바와 같이 초기 1/2사이클에서 고장전류가 최대 Peak를 나타내고 점차 일정한 교류분 전류로 수렴함을 알 수 있다.



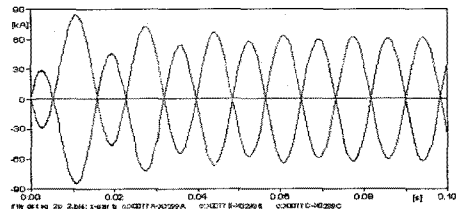
<그림 3> 모델 계통의 3상 단락 고장전류

2. 본 론

2.1 케이블 고장전류 해석을 위한 모의계통

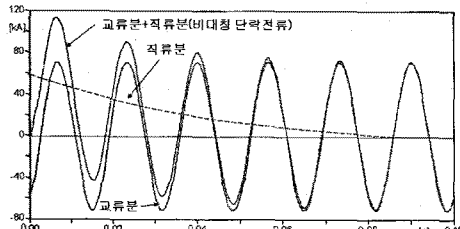
2.1.1 고장전류의 특징

고장전류는 아래의 <그림 1>과 같이 초기 몇 사이클 동안에는 직류 성분 포함되어 고장발생 초기에 고장전류가 매우 크게 나타나는 특징을 보이며, 정상상태인 교류분 RMS 전류값과 Peak치 사이의 비율인 AF(Asymmetry Factor)는 계통상황에 따라서 1.4(√2)에서 2.8(2√2) 정도의 범위를 갖는다. 시간의 흐름에 따라 First Cycle Fault Current(초기 1/2Cycle 시점에서의 가장 큰 고장전류), Interrupting Fault Current(차단기 접점이 개시되는 시점 3/8Cycle 사이의 고장전류, Steady State Current(안정화된 고장전류)로 나누어진다.



<그림 4> 모델 계통의 2상 단락 고장전류

3상 단락전류는 50kA의 RMS 값에서 115kA의 Peak 치를 나타내어 AF=2.3이며, 2상 단락인 경우에는 44kA의 RMS값과 85kA의 Peak를 나타내어 AF=1.93정도를 나타내고 있다.



<그림 1> 고장전류의 일반적 특징

2.1.2 단락전류 검토를 위한 선로모델링

고장전류를 모의하여 케이블 상호간의 전자력 계산에 사용하기 위한 기본 선로는 154kV 1200mm² OF케이블이 정상각배열, 직각배열, 수평배

2.2 포설형태에 따른 케이블 상호간 전자력 해석

2.2.1 전자력 계산식 및 포설조건

케이블 상호간에 작용하는 전자력의 계산에 적용되는 방식은 아래의 ①~③과 같다. ①~③의 방식을 사용하여 각각 전자력을 계산하고 그 결과치를 비교한다.

① 평행한 두 도체에 흐르는 전류에 의해 상호 작용하는 힘을 이용하여 기하학적 배치에 따라 합성

$$F = 0.2 \times I_1 I_2 / S \quad [N/m]$$

$$S : \text{두 도체 사이의 거리}$$

$$I_1, I_2 : \text{단락전류}[kA]$$

(1)

② European Standard(EN 50368, 2003) 적용식 (2)~(4)를 이용[1]

$$F_o = (0.16 \times 10^{-4}) \rho^{1/2} \quad)/S \quad (\text{수평 배열, 바깥쪽 도체}) \quad (2)$$

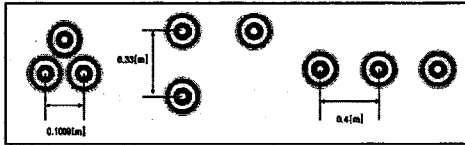
$$F_m = (0.17 \times 10^{-4}) \rho^{1/2} \quad)/S \quad (\text{수평 배열, 가운데 도체}) \quad (3)$$

$$F_t = (0.17 \times 10^{-4}) \rho^{1/2} \quad)/S \quad (\text{삼각 배열}) \quad (4)$$

I_p : Peak 전류

③ Maxwell 2D 프로그램 전자기력 계산루틴 이용

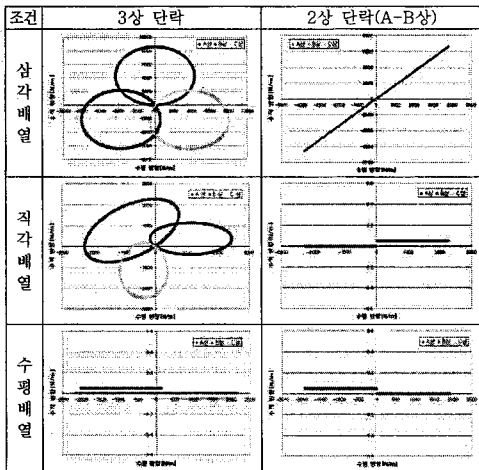
<그림 5>는 케이블 상호간의 전자기력을 계산하기 위한 포설조건을 나타낸 배치도이다. 실선로 포설조건을 최대한 반영하였다.



<그림 5> 전자기력 계산을 위한 케이블 포설조건

2.2.2 교류성분 전자기력 해석결과

포설조건 및 단락조건에 따른 직류성분을 제외한 교류분 고장전류만을 고려한 전자기력 해석 결과는 <그림 6>과 같다. 포설조건 및 단락 조건에 따라 전자기력의 작용방향 및 크기가 상이하며, 3상 단락전류에 의한 전자기력이 현저하게 나타남을 알 수 있다. 작용 힘의 방향은 기하학적 배치에 따라 다르나 대체로 케이블 배치의 중심에서 바깥쪽으로 작용한다.



<그림 6> 포설 및 단락조건에 따른 전자기력

참고로 2.2.1에 나타난 전자기력 계산방법에 따른 계산결과를 비교한 결과는 어느 쪽으로든지 계산지에 별 차이가 없음을 보여주고 있다.

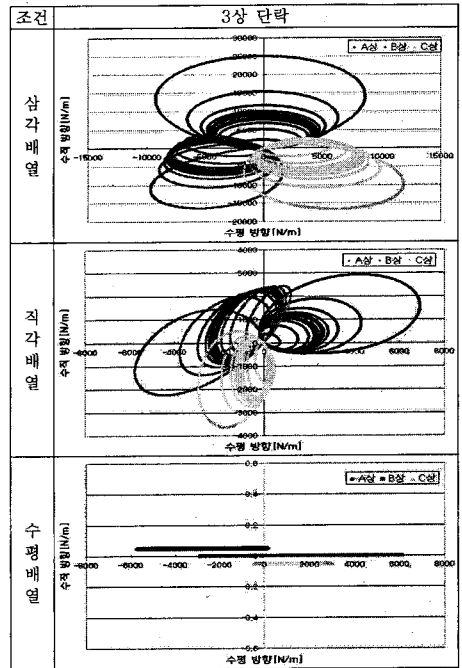
<표 1> 전자기력 계산방식에 따른 결과 비교

케이블 배열	계산방법	전자력[N/m_peak]	오차율[%]
삼각배열	Maxwell	8580	-
	EN 50368	8422	1.84
	계산방법①	8583	0.035
직각배열	Maxwell	2484	-
	EN 50368	-	-
	계산방법①	2487	0.12
수평배열	Maxwell	2165	-
	EN 50368	2124	1.89
	계산방법①	2165	0

2.2.3 직류성분을 포함한 전자기력의 크기 및 جهت

다음은 초기 직류성분을 포함하여 계산한 케이블 상호간의 전자기력을 나타낸다. 정삼각 배열의 경우 상호작용 전자기력의 크기가 17485 ~ 25075[N/m]로 나타나 직각배열이나 수평배열의 경우에 비하여 극단적으로

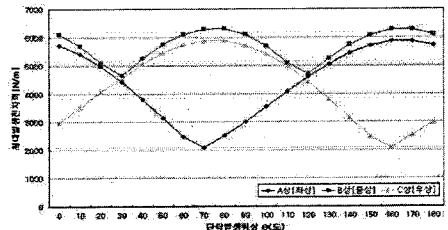
크다. 초기 1/2사이클의 직류분 단락전류가 큰 영향을 미치고 있음을 보여주고 있다.



<그림 7> 직류분 단락전류를 고려한 전자기력

2.2.4 수평배열 위상에 따른 전자기력 해석

수평배열에서 3상 단락고장 발생 위상에 따른 전자기력의 최대치는 <그림 8>과 같이 표현된다. 삼각배열인 경우에는 각상이 동일한 형태를 보이고 있으나 수평배열인 경우에는 가운데 위치한 B상이 가장 큰 전자기력의 영향을 받고 있음을 알 수 있다.



<그림 8> 위상에 따른 전자기력 변화추이(수평배열)

3. 결 론

지중 송전케이블 사고 시 고장전류가 케이블 및 접속부에 미치는 영향을 분석하기 위하여 포설형태 및 고장상황에 따른 전자기력을 분석하였다. 전자기력은 삼각배열 케이블에 가장 크게 작용하며, 또한 초기 직류성분에 의한 영향 때문에 초기 1/2 Cycle에서의 고장전류가 가장 큰 영향을 미치고 있다. 따라서 초기 고장전류에 의한 전자기력을 바탕으로 대책을 세워 나가야 할 것으로 사료된다. 본 논문의 해석결과는 향후 케이블 시스템에 대한 고장영향 최소화화를 위한 대책 마련을 위한 케이블 클리트 간격조정 및 신 클리트 등의 개발에 사용될 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] "Cable Cleats for Electrical Installations", CENELEC, European Standard 50368, November 2001.
- [2] F. Donazzi, R. Gaspari, and et al., "Research on the Performance of 400kV Extruded Cable System under Short Circuit Conditions", CIGRE 1996: 21-235