2008년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2008. 7. 16 - 18

지중케이블 고장전류에 의한 단락전자력 영향분석

김남열, 김정년, 김성윤, 김충식, 전승익
LS전선(주) 중앙연구소

The Analysis of the Electromagnetic Force Generated by the Fault Current of Cable

N,Y Kim, J,N Kim, S,Y Kim, C.S Kim, S.I Jeon
Advanced R&D Centr, LS Cable Ltd

Abstract - 전력의 안정적 공급, 공급 신뢰도 향상 및 도심지 인구밀집 지역의 전력공급 및 미화 등의 측면에서 송전분야에서의 지중화는 필수적이며 지속적으로 증가추세에 있다. 그러나 제한적인 지중공간을 활용함에 따른 여러 문제가 발생하고 있다. 지중선로 고장상황으로 1선지락, 2선지락, 선간단락, 3상단락 등의 사고가 있으며 이러한 고장상황에서 발생하는 고장전류에 의한 열거동은 지중선로에 악영향을 준다. 그러므로 각 고장상황에 따른 지중선로의 영향에 대한 세부적인 검토가 필요하다. 본 논문에서는 각 고장상황에 따른 검토조건으로 1회선과 2회선일 경우와 상배열이 정삼각배열, 수평/수직배열, 직각배열일 경우를 선정하여 지중선로에 미치는 영향을 EMTP, IDEARS, MARC를 활용하여 분석하였다.

1. 서 론

국내 전력계통은 특성상 도심을 중심으로 한 환상루프 방식으로 구성되어 있으며 도심내부에서는 지중 전력구 혹은 관로등을 적용하여 전력을 공급받고 있다. 지중은 전력선 이외에도 통신선을 비롯한 여러 시설이 제한적인 영역을 공용하고 있으므로 전력선을 포설하는데 있어서 공간적인 제약을 받게 된다. 그로 인하여 각 구간별 상배열, 구간길이, 회선수 및 간격등이 최적의 구성을 갖기 어려운 경우가 있으며 지속적으로 설비가 증가하면서 복합적인 고장의 발생빈도가 증가하고 있다. 또한 지중케이블 고장은 필연적으로 대전류가 발생하게 되며 고장전류는 고장 케이블 자체와 인접해 있는 타 선로 및 통신선등에 악영향을 미칠 가능성이 크고 초고압케이블의 운전전압레벨이 지속적으로 증가하고 있는 상황에서 그 위험도가 지속적으로 증가하고 있다. 그런데도 현재 지중케이블 포설시에 각각의 환경 조건에 맞는 검토가 진행되지 못하고 일괄적인 기준을 적용하여 시공이 이루어지고 있다. 그러므로 본 논문에서는 국내 대표적인 포설형태인 정삼각배열, 수평/수직배열, 직각배열로 구성된 선로를 대상선로로 선정하여 EMTP를 활용한 고장분석을 수행하고 최대 고장전류에 대한 각 회선별/상배열별 단락전자력의 영향을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 케이블 고장전류

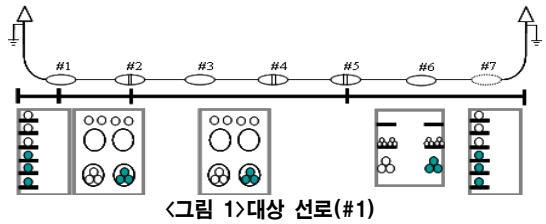
계통에 고장이 발생한 경우 고장전류는 횡축에 대하여 비대칭인 전류가 흐르고 이는 또한 대칭분 교류전류와 DC성분으로 분류될 수 있다. 고장전류의 직류분은 회로정수인 X/R비에 의해 그 크기가 정해지며 이 직류분은 시간경과에 따라 감쇄하는 형상을 갖는다. 만약 계통에 회전기가 연결되어 있는 경우에는 교류 대칭분 고장전류도 시간에 따라 변화하는 형태를 갖는다. 고장전류중에서 1/2 cycle 시점에서의 고장전류를 First Cycle Fault Current 라 하고 차단기가 동작하게 되는 수 cycle 후의 즉, 3~8cycle 후의 고장전류를 Interrupting Fault Current라 하며 회전기에 의한 영향이 소멸되어 안정화 된 후의 고장전류를 Steady State Fault Current라 한다. 고장분석시 지락(1선지락, 2선지락)과 단락(선간단락, 3상단락)등의 고장상황에서 발생하는 직류전류성분에 대한 검토가 필요하다.

2.2 모의 계통

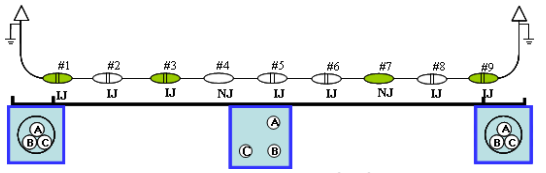
국내 지중송전계통은 전력구와 관로가 환경적인 영향에 따라 혼용되어 있으며 전력구내에서는 정삼각배열, 수평/수직배열 그리고 관로내에서는 수평배열과 직각배열로 구성되지만 직각배열이 상당수를 차지한다. 그러므로 검토대상 선로는 일반적인 적용방식인 정삼각, 수평/수직, 직각배열이 적용된 선로로 선정하였으며 추가적인 검토로 회선간 영향을 보기 위해 대상선로를 총 2회선 구성으로 구성하였다.
선정된 두 선로는 그림 1, 2와 같으며 계통특성은 표 1과 같다.

<표 1> 시험선로 상배열

상배열	구조	상간격[m]
	삼각배열	0.095
	수평배열	0.4
	직각배열	0.23



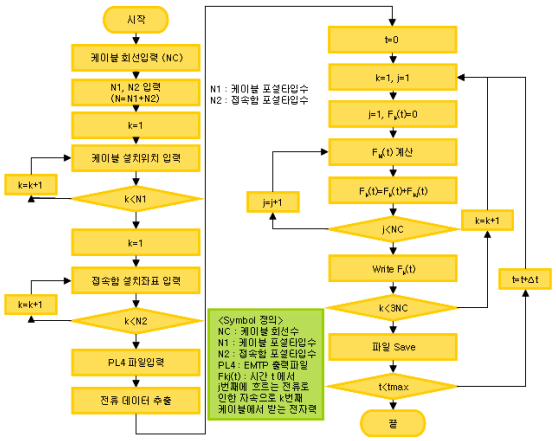
<그림 1>대상 선로(#1)



<그림 2>대상 선로(#2)

2.3 계산방법

고장전류에 대한 단락전자력을 검토하기 위해 그림3과 같이 단락전자력 계산절차를 작성하였으며 과도해석프로그램의 결과데이터를 활용하여 단락전자력을 계산하였으며 EN50368 규격에 의거한 계산 결과와 비교를 통해 정확성을 확인하였다.



<그림 3> 단락전자력 계산 순서

2.4 분석조건

국내 전력계통 구성에 대한 정확한 단락전자력을 검토하기 위해 선정된 두 개의 검토대상 선로는 다음과 같은 분석조건에 따라 설정되었으며 각 구간별 접지방식은 동일한 조건을 적용하였다.

1) 회선/상배열
- #1 : 1회선 or 2회선 / 정삼각배열, 수평 or 수직배열
- #2 : 1회선 / 정삼각배열, 직각배열

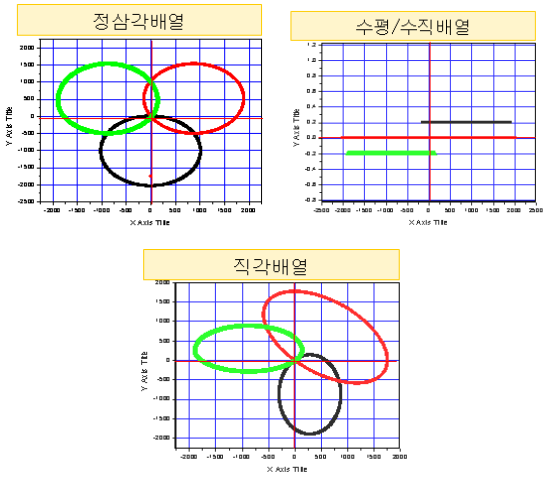
3)분석항목
- 각 상배열에 따른 단락전자력 계산

- 케이블 상배열에 따른 변형 및 응력 계산
- 크리트/볼트/행거의 강도평가

2.5 전기적 검토 및 결과

각 모의 계통에서 회선 및 상배열에 따른 고장종류별 최대 고장전류를 검토하기 위해 과도해석프로그램인 EMTP를 활용하였다. 고장종류에 대한 모의 계통에 대한 검토결과 1선지락, 2선지락, 선간단락 과 3상단락고장에 대한 고장전류의 피크값은 모두 40kA~48kA의 범위에 속했으며 최대값은 3상단락시에 최대고장전류가 유기되었다. 그리고 2회선 모델의 경우 고장T/L에 대해서는 고장종류에 따라서 40kA~80kA이며 최대고장전류는 3상단락의 경우에 80kA가 유기되었다. 2회선고장시 건전 T/L의 경우 1선지락과 2선지락의 경우 10kA미만이었지만 선간단락과 3상단락의 경우 최대값으로 40kA가 발생하였다.

위의 고장종류별 고장전류 검토 결과에서 최대 고장전류값에 대한 단락전자력을 검토하였으며 각 상별 전체 궤적에 대한 평균을 내면 그림 4와 같다.

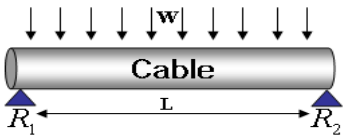


〈그림 4〉 케이블 상배열에 따른 단락전자력 결과[1회선]

위의 그림 4의 계산 방법의 정확성을 평가하기 위해 유럽규격인 EN50368계산식에 따른 계산결과와 비교를 수행하였으며 계산결과 오차는 정삼각배열이 1.9%, 수평/수직배열이 A,C상은 1.9%, B상은 0.05%로 나타났으며 직각배열은 결과가 거의 일치하였다.

2.6 구조적 검토 및 결과

위의 전기적인 결과값인 방향성 단락전자력 결과에 따라 케이블 및 기타 금구류에 미치는 기계적인 악영향을 검토하기 위한 케이블 응력계산 모델은 그림 5에 나타내었다.



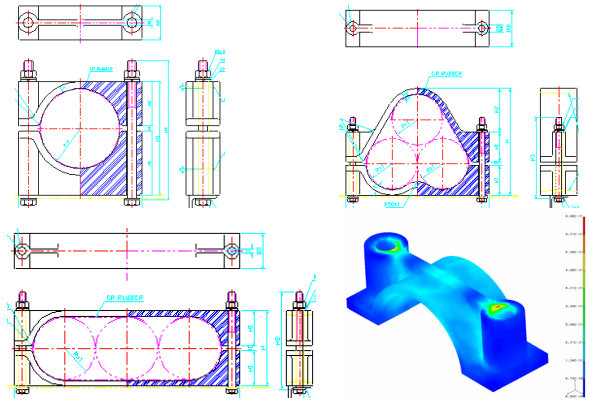
〈그림 5〉 케이블 응력계산 모델

위의 그림 5와 같은 모델에서 케이블에 대한 굽힘모멘트, 전단력, 최대 처짐 및 지지점의 반력을 계산하려면 케이블 재질과 단면적에 따른 탄성계수와 굽힘강성계수를 먼저 알아야 한다. 본 논문에서 고려한 케이블의 탄성계수와 굽힘 강성계수는 표 2와 같다.

〈표 2〉 케이블 물성데이터

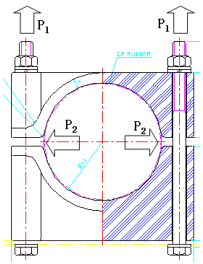
특성	탄성 계수 [kgf/mm²]		굽힘 강성 [kgf mm²]	
	단심	3심	연피	Al 피
값	0.5×10^4	0.3×10^4	$251\times d_s^{3.5}$	$14.4\times d_s^{3.94}$

결과적으로, 상배열에 따른 크리트 반력은 수평배열에서는 A상과 C상에서 최대이며, 직각배열에서는 중앙의 B상이 최대이고, 정삼각배열에서는 3상이 모두 동일한 크기로 나타났다. 결과적으로 정삼각배열인 경우가 케이블의 처지는 정도와 굽힘 응력 및 최대 전단응력이 최대였다.
다음으로 케이블에 대한 강도 평가 결과는 그림 6과 같다.



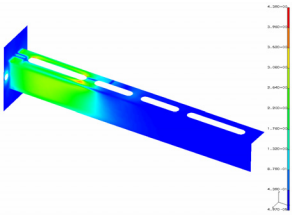
〈그림 6〉 단상/삼상/수평크리트 강도 평가

크리트의 강도 평가 결과 수평배열일 경우 최대값이 A/C상으로 응력은 0.63kgf/mm²정도였으며 직각배열일 경우 최대값은 B상으로 응력이 0.67kgf/mm²이였다. 다음으로 크리트 볼트부의 강도평가를 축방향과 수직방향에 대해 검토하였으며 그림 7과 같다. 여기서, P_1:축방향하중, P_2: 수직방향하중 이다.



〈그림 7〉 볼트부의 강도평가(축/수평)

결과적으로 볼트부의 축방향 강도는 수평배열일 경우 A/C상이 0.46kgf/mm²였으며 직각배열일 경우 최대값은 B상으로 0.48kgf/mm²이었다. 그리고 수직방향 강도는 수평배열일 경우 A/C상이 8.1kgf/mm²이었으며 직각배열일 경우 B상이 8.5kgf/mm²였다.
다음으로 행거의 강도평가 결과는 그림 8과 같다.



〈그림 8〉 행거의 강도평가 결과

행거의 강도평가 결과 수평배열일 경우 최대값은 A/C상에서 4.18kgf/mm²이었으며 삼각배열일 경우 최대값은 4.39kgf/mm²이었다.

3. 결 론

본 논문은 지중송전케이블의 고장상황에서 발생하는 고장전류로 인한 단락전자력이 케이블의 회선/상배열에 따라 케이블에 미치는 영향과 전력구 포설에 적용되는 크리트, 행거 등의 금구류에 미치는 영향을 과도 해석 프로그램으로 EMTP를 활용하고 구조해석 프로그램으로 IDEAS와 MARC를 활용하여 분석하였다.

결과적으로 본 논문에서 고려한 상배열에 대해서 케이블 고장전류가 케이블 자체와 금구류에 일정부분 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

[참 고 문 헌]

[1] W.Riger, “Mechanical short-circuit effects of single-core cables”, IEEE Transmission on Power Delivery, pp.68-74, 1989
[2] Charles A Damell, "Cable cleats-A global technique to protect three-phase single conductor cables during short-circuits" IEEE Transmission on Power Delivery, pp.143-150, 2004
[3] Michel Landry, "De-icing EHV overhead transmission lines using electromagnetic forces generatied by moderate short-circuit currents", IEEE Transmission on Power Delivery, pp.94-100, 2000