

Study on the Distribution of Electromagnetic Force for 154 kV Power Transmission Cable on Dual Underground Lines by Normal and Earth Fault Current

지중 2회선 154 kV 송전케이블의 정상 및 지락고장에 따른 전자기력 분포에 관한 연구

Hui Min Kim*, So Young Kim**, Sang Hyeon Im*, Gwan Soo Park*†
김희민*, 김소영**, 임상현*, 박관수*†

* Dept. of Electrical and Computer Eng., Pusan National Univ., 2, Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea

** Korea Electric Power Corporation, 43, Jungang-daero 666beon-gil, Busanjin-gu, Busan, Korea

† gspark@pusan.ac.kr

Abstract

The goal of this study is the size and distribution of the electromagnetic force generated by the current flowing through the second underground line of 154kV power transmission cables by using electromagnetic finite element analysis. So we interpret how mutually electromagnetic force has an effect on the comparable judgement of Trefoil, Duct and Flat ,which shows in a numerical arrangement. 154kV OF 1200SQ Cable 1.281km not only is applicable to modeling for underground transmission cable but also examine the effect of line to line, phase to phase and size and direction of the electromagnetic force preparing for the occurrence of normal state and single-phase earth fault, which are arranged in trefoil, duct and flat formation between sections. As showing how the trajectory, and size distribution of the electromagnetic force translate as the arrangement of the cables when a steady-state current and a fault current flows on the underground cables, I hope that when Underground transmission is designed, this data will be useful information.

Keywords : Underground power transmission cable, electromagnetic force, 3 phase, normal and earth fault current

I. 서론

국내외 천연자원 에너지소비의 증가는 급증하는 전력수요로 이어져 매년 송전선로 건설이 증가하고 있다. 가공송전선로 건설은 철탑부지 확보 문제와 각종 민원, 전파장해 및 도심지 혐오시설로 기피하고 있어 대도시를 중심으로 지중송전선로의 건설이 점차 확대되고 있는 추세이다. 특히 국내의 지중송전선로는 1929년 22 kV의 건설로 시작되어 지금은 154 kV, 345 kV 지중케이블 건설이 전국 곳곳에서 활발히 이루어 지고 있어 추후 국내의 지중송전선로가 차지하는 비율은 10% 정도로 점차 확대될 전망이다 [1].

지중송전선로의 포설형태는 주로 관로식과 전력구식으로 구성되어 매립환경의 지형적, 물리적 영향에 따라 혼용되어 사용되고 선로 내부에는 3상 케이블이 단독 1회선 또는 2회선으로 구성된다. 3상 케이블의 배열은 형태에 따라 크게 삼각배열, 수평배열, 직각배열로 배치되며 각각은 접속함에 연결되어 전체 선로를 구성한다 [1].

지중송전선로는 가공송전선로에 비하여 땅속의 밀폐된 공간에서 운용되며 케이블에 흐르는 상시 대전류로 인하여 케이블 및 케이블 지지 금구류는 전자기적인 힘과 기계적인 스트레스에 항상 노출된다. 특히 선로내

부에 지락 및 단락사고와 같은 고장 발생 시, 케이블에는 상시대전류보다 10배이상 큰 고장 대전류를 동반한다. 이러한 고장 발생 시 케이블 사이에는 고장전류의 크기에 비례하는 큰 전자기력이 발생하고, 이는 케이블의 변형은 물론이며 케이블의 선로이탈, 케이블 접속함 및 금속성 지지 구조물에 전자기-기계적인 스트레스를 유발한다. 또한 인접한 타선로 및 통신선에 화재, 파손, 열적 손실 등의 악영향을 미쳐 2차사고 발생 및 전력공급 안정성을 저해할 수 있다. 이처럼 지중송전선로 건설수요 증가와 함께 고장파급력도 확대될 전망이고, 이에 따른 송전선 및 관로의 점검과 진단, 수리와 보수 기술이 반드시 필요하다 [1]-[3].

그러나 현재 154 kV 지중송전케이블 내부의 정상상태와 고장상태 전류에 의해 발생하는 전자기력이 각각의 케이블과 금속성 지지구조물에 미치는 물리적 변형력과 안정성 분석방법, 이에 따른 송전선로의 재사용 여부와 피해 방지 대책이 미비한 실정이다 [4]. 최근 지중송전케이블 주변의 전자장 계산과 고체의 변형정도를 계산하기 위한 알고리즘이 개발되고 있지만 그 대상이 1회선 3상 지중케이블의 삼각배열 및 수평배열 배치에 대한 분석으로 국한되어 있다. 즉, 1회선 지중케이블 직각배열 상태에 관한 영향력 분석과 2회선 지중케이블에 대한 전자기적인 영향력과 케이블 지지 금구류의 물리

적 변형력 및 안정성 분석방법에 관한 연구는 여전히 미흡하다. 가공송전선로는 높은 지상고와 주택가와 이격된 곳에 건설되는 반면, 지중송전선로는 대도시 중심의 인구밀집 지역에 설치되는 점을 볼 때 지중송전선로 케이블 상시 및 고장 전류에 의한 전자기력 분포와 영향을 해석하는 연구가 필요하다.

본 논문의 목표는 154 kV 지중 2회선 송전케이블 도체에 흐르는 전류에 의해 발생하는 전자기력의 크기 및 분포방향을 전자기 유한요소법을 이용하여 분석하는 것이다. 전력구식과 관로식으로 포설되는 154 kV 지중송전선로 케이블의 정상동작 상태와 지락고장과 같은 고장상태에서 발생하는 전자기력 크기를 3상 케이블 삼각배열, 수평배열, 직각배열에 따라 구분하여 비교 분석하였다. 이들 배열은 현재 지중송전선로에 적용하는 방식으로 전류치는 상시상전류와 1선 지락고장에 의한 고장전류로 구분하였고, 1회선 및 2회선 3상 케이블 각각의 배치형태별로 분석함으로써 회선간 미치는 상호 영향력을 검토하였다.

II. 지중 2회선 케이블의 배열형태 및 모델링

국내 대부분의 전력계통 지중송전케이블은 2회선으로 나란히 구성되어 있다. 본 논문에서 고려하는 대상 케이블 배열형태의 종류는 모두 5가지의 경우로 지중 2회선 삼각배열 좌우배치, 지중 2회선 삼각배열 상하배치, 지중 2회선 수평배열 좌우배치, 지중 2회선 수평배열 상하배치, 지중 2회선 직각배치에 해당한다. Fig. 1은 지중송전선로 2회선 구성시 회선간, 상간 간격을 설정한 3상 케이블의 상배열 모델링 결과를 나타낸다. 모든 케이블 배열은 2차원 평면상에서 1회선 A상을 원점기준으로 하여 각각의 상별 케이블 도체간격의 좌표를 표기하였다. D_s 는 회선간 도체 이격거리를 나타낸다.

III. 지중송전케이블의 전자기력 해석방법

지중송전선로 케이블 도체와 같이 케이블 주위 공간상에 존재하는 자기장과 전류가 흐르는 케이블 주위에는 자기적인 힘이 존재하며, 자기장의 크기가 클수록, 케이블 도체에 흐르는 전류가 클수록 전자기력은 증가한다. 즉, 전류가 흐르는 두 도선 사이에는 상시 전자기력이 작용하는데 이를 로렌츠 힘(Lorentz Force)으로 나타낼 수 있다. 본 논문에서는 케이블 도체전류와 주변 자기장에 의해 발생하는 전자기력을 Maxwell Stress Tensor를 이용한 방법으로 시뮬레이션 하였다. 맥스웰응력법은 로렌츠 식에서 출발하여 케이블 주변 자기장 벡터에 대한 단위면적당 힘의 표면적분으로 표현하여 전자기력을 계산하는 방법이다. 유한요소법을 이용한 상용 전자기해석 프로그램을 이용하여 케이블 주변 경계상에 존재하는 각각의 요소마다 자속밀도의 크기를 분석하고, 표면적분 영역을 설정한 후 Force Density의 적분을 수행하여 최종 전자기력을 케이블 단위길이당 뉴턴힘으로 분석하였다.

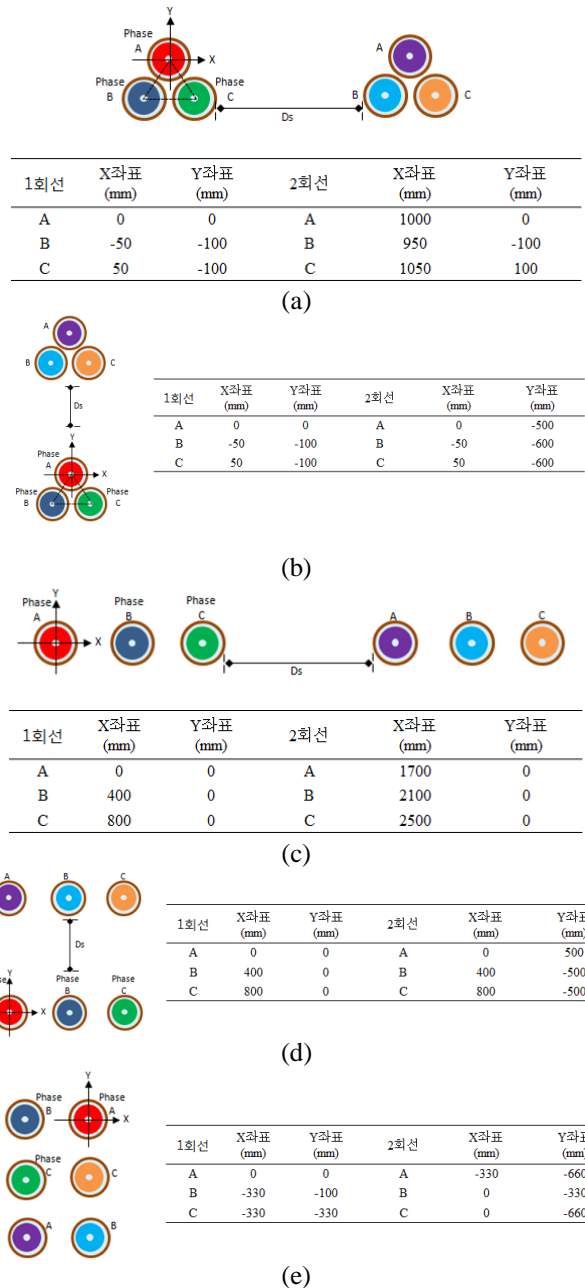


Fig. 1. 지중 2회선 케이블의 상배열 및 간격. (a) 지중 2회선 3상 케이블 삼각배열 좌우배치 형태의 도체간격 ($D_s=800$ mm). (b) 지중 2회선 3상 케이블 삼각배열 상하배치 형태의 도체간격($D_s=400$ mm). (c) 지중 2회선 3상 케이블 수평배열 좌우배치 형태의 도체간격($D_s=800$ mm). (d) 지중 2회선 3상 케이블 수평배열 상하배치 형태의 도체간격($D_s=400$ mm). (e) 지중 2회선 3상 케이블 직각배열 형태의 배치 및 도체간격

$$\vec{F} = \int_S \frac{1}{\mu_0} \left[(\vec{B} \cdot \hat{n})\vec{B} - \frac{1}{2}B^2\hat{n} \right] dS = \int_S \vec{P} dS \quad (1)$$

(1)식에서 F는 케이블 주변 표면적분 영역의 전자기적인 전체 힘에 해당하고, 이때 P는 Maxwell Stress Tensor를 의미한다.

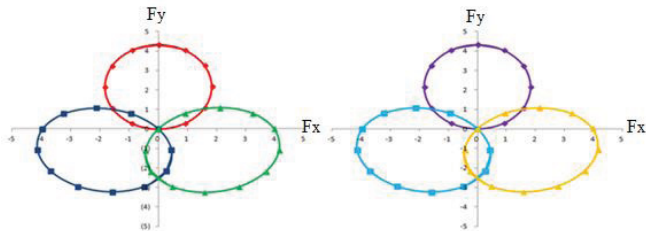


Fig. 2. 지중 2회선 삼각배열 좌우배치에서 케이블의 각 상별 전자기력 분포계적



Fig. 3. 지중 2회선 삼각배열 좌우배치에서 케이블 상별 최대 전자기력의 크기와 방향

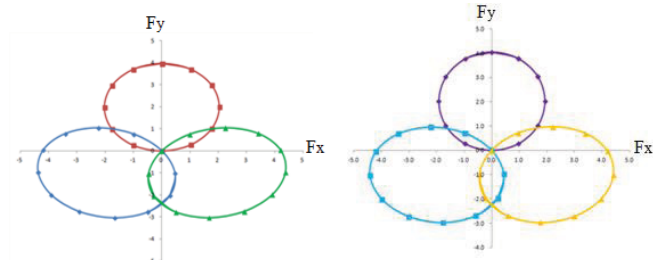


Fig. 4. 케이블의 각 상별 전자기력 분포계적

IV. 지중 2회선 케이블의 상시전류를 고려한 전자기력 분포해석

지중송전케이블의 상시허용전류 값을 선정하기 위하여 국내 154kV 지중송전케이블 표준용량 산정표에 의거하여 관로식과 전력구식 중 전류치가 높은 값을 기준으로 케이블 상전류 실효치를 1,157 A, 상전류 최대치를 1,636 A로 설정하였다. 또한 상전류 위상에 따른 전류값을 적용하기 위하여 한 싸이클 360도를 15도 간격으로 24등분하여 교류파형을 시뮬레이션 하였다. 케이블 상시전류에 의해 발생하는 자기장 분포와 크기로부터 각각의 케이블에 작용하는 전자기력의 크기와 분포를 계산하여 단위길이당 받는 뉴턴힘으로 표기하며 분석하였다.

A. 지중 2회선 삼각배열 좌우배치 전자기력 분포

Fig. 2는 지중 2회선 삼각배열 좌우배치 형태의 각 상별 전자기력 분포계적을 2차원상에 X성분과 Y성분으로 나타낸 것이다. 각각의 점은 케이블 도체에 흐르는 전류의 위상각 변화에 따른 전자기력의 크기와 방향에 해당한다. Fig. 3은 케이블 상배열 각각에 작용하는 최대 전자기력의 크기와 분포를 나타낸다. 좌측 1회선 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 4.3296 N/m, B상은 4.283 N/m, C상은 4.2897 N/m 으로 나타났다. 마찬가지로 우측 2회선 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 4.3281 N/m, B상은 4.2899 N/m, C상은 4.2827 N/m로 계산되었다. 이로부터 지중 2회선 삼각배열 좌우배치의 경우에

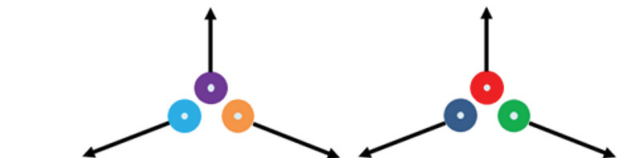


Fig. 5. 케이블 상별 최대 전자기력의 크기와 방향

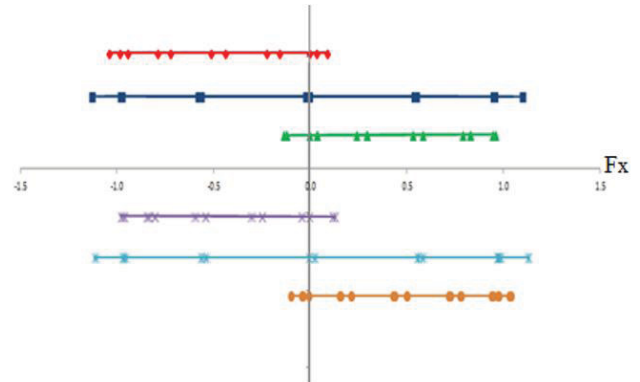


Fig. 6. 케이블의 각 상별 전자기력 분포계적



Fig. 7. 케이블 상별 최대 전자기력의 크기와 방향

원형 궤적을 갖는 전자기력이 각 케이블에 작용하고, 각각의 회선간 상호작용하는 전자기력은 존재하지 않는다.

B. 지중 2회선 삼각배열 상하배치 전자기력 분포

Fig. 4는 지중 2회선 삼각배열 상하배치 형태의 각 상별 전자기력 분포계적을 나타낸 것이다. Fig. 5는 케이블 상배열 각각에 작용하는 최대 전자기력의 크기와 분포를 나타낸다. 하측 1회선 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 4.0477 N/m, B상은 4.5331 N/m, C상은 4.5262 N/m 으로 나타났다. 마찬가지로 상측 2회선 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 3.9649 N/m, B상은 4.4869 N/m, C상은 4.4807 N/m로 계산되었다. 삼각배열 좌우배치 경우와 마찬가지로 지중 2회선 삼각배열 상하배치도 원형 형태의 궤적을 갖는 전자기력이 각 케이블에 작용하고, 각각의 회선간 상호 작용하는 전자기력은 존재하지 않는다.

C. 지중 2회선 수평배열 좌우배치 전자기력 분포

Fig. 6은 지중 2회선 수평배열 좌우배치 형태의 각 상별 전자기력 분포계적을 나타낸 것이다. 케이블 수평배열의 경우에는 X축 성분의 좌우 방향으로만 전자기력이 발생하므로 Y축 성분의 전자기력의 크기는 실질적으로 존재하지 않는다. Fig. 7은 케이블 상배열 각각에 작용하는 최대 전자기력의 크기와 방향을 나타낸다. 좌측 1회선 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 1.0122 N/m, B상은 1.0999 N/m, C상은 0.9426 N/m 으로 나타났다. 마찬가지로 우측 2회선 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 0.9594 N/m, B상은 1.1126 N/m, C상은 1.0232 N/m로 계산되었다. Fig. 7의 결과로부터 A상과 C상은 바깥방

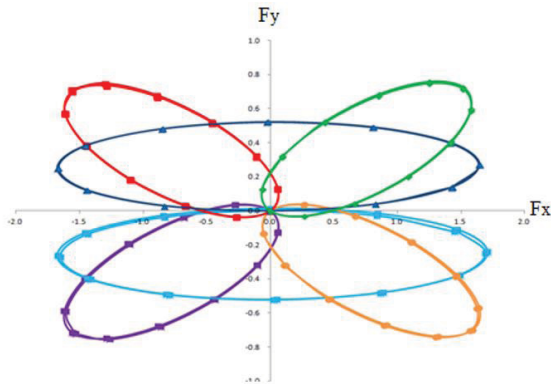


Fig. 8. 케이블의 각 상별 전자기력 분포궤적

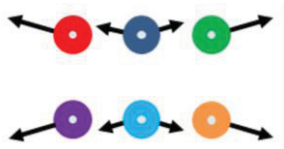


Fig. 9. 케이블 상별 최대 전자기력의 크기와 방향

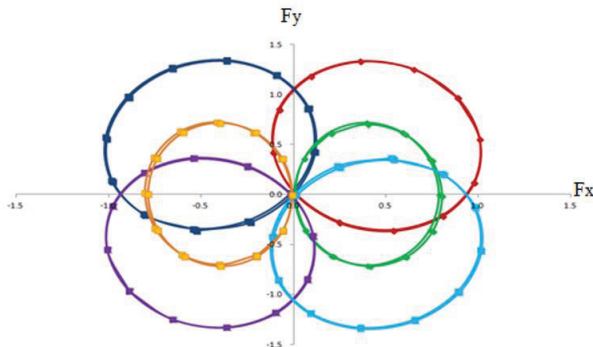


Fig. 10. 케이블의 각 상별 전자기력 분포궤적

향으로, B상의 경우는 양측으로 모두 작용한다. B상은 A상과 C상의 영향으로 최대 전자력의 크기가 가장 크다.

D. 지중 2회선 수평배열 상하배치 전자기력 분포

Fig. 8은 지중 2회선 수평배열 상하배치 형태의 각 상별 전자기력 분포궤적을 나타낸 것이다. 또한 Fig. 9는 케이블 상배열 각각에 작용하는 최대 전자기력의 크기와 방향을 나타낸다. 상측 1회선 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 각각 1.7173 N/m, B상은 1.6935 N/m, C상은 1.6877 N/m 으로 나타났다. 마찬가지로 하측 2회선 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 1.7233 N/m, B상은 1.7231 N/m, C상은 1.790 N/m로 계산되었다. 시뮬레이션 결과로부터 지중 2회선 수평배열 상하배치는 X축과 Y축으로 작용하는 전자기력이 존재하며, 1회선 2회선 모두 A상과 C상은 바깥방향으로, B상의 경우는 양측으로 최대 힘이 작용한다.

E. 지중 2회선 직각배열 전자기력 분포

Fig. 10은 지중 2회선 직각배열 형태의 케이블 각각의 상별 전자기력 분포궤적을 나타낸 것이다. Fig. 11은

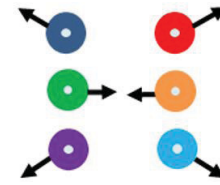


Fig. 11. 케이블 상별 최대 전자기력의 크기와 방향

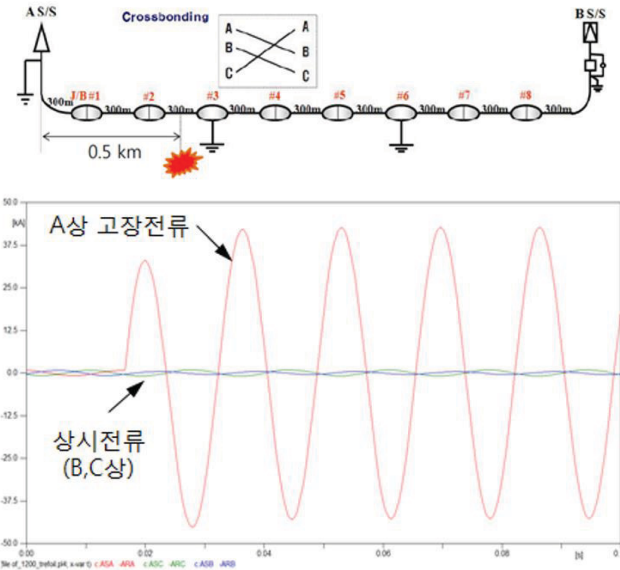


Fig. 12. 지중2회선 선로의 1선지락 고장의 단선계통도 모델 및 고장전류파형

케이블 상배열 각각에 작용하는 최대 전자기력의 크기와 방향을 나타낸다. 1회선 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 각각 1.4113 N/m, B상은 1.4275 N/m, C상은 0.8758 N/m 으로 나타났다. 마찬가지로 2회선 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 1.4116 N/m, B상은 1.4276 N/m, C상은 0.8779 N/m로 계산되었다. 이로부터 지중 2회선 직각배열의 경우는 1회선과 2회선 A상과 B상의 최대치는 각각 비슷한 크기를 갖는 반면, 각 회선의 C상의 경우는 자기회선 B상과 타회선 C상의 영향으로 최대치의 크기가 A상과 B상에 비해 작다.

V. 지중 2회선 케이블의 1선 고장전류를 고려한 전자기력 분포해석

대부분의 전력계통 지중송전선로는 2회선이 나란히 구성되어 있고, 과거 10년동안 지중송전선로 고장유형 중 가장 빈번히 발생한 1선 지락 고장을 상정하여 고장 전류를 선정하였다. 1선 고장전류 파형을 예측하기 위해 EMTP 프로그램을 활용하여 지중 2회선 송전선로중 1회선 A상 지락고장 발생시 과도현상을 모의하였고, 이때 B상과 C상의 전류는 정상상태로 가정하였다. 모의한 1상 지락고장 단선계통도 모델은 Fig. 12와 같다. Fig. 12는 또한 1선 A상 지락고장시 과도상태를 포함한 고장전류의 파형을 나타낸다. 고장전류의 최대치는 45,186 A에 해당하고, 정상상태의 상시허용전류의 최대치와 비교하여 약 30배 큰 값에 해당한다.

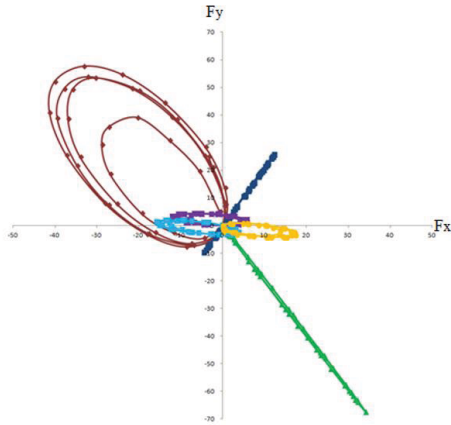


Fig. 13. 케이블의 각 상별 전자기력 분포케적

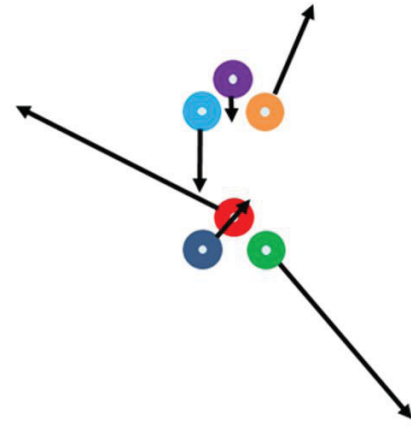


Fig. 16. 케이블 상별 최대 전자기력의 크기와 방향

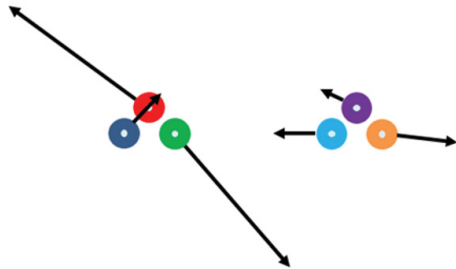


Fig. 14. 케이블 상별 최대 전자기력의 크기와 방향

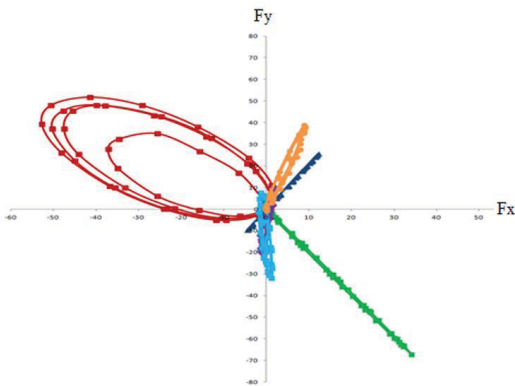


Fig. 15. 케이블의 각 상별 전자기력 분포케적

A. 지중 2회선 삼각배열 좌우배치 전자기력 분포

Fig. 13은 1선 고장전류 발생 시 지중 2회선 삼각배열 좌우배치 형태의 각 상별 전자기력 분포케적을 나타낸 것이다. Fig. 14는 케이블 상배열 각각에 작용하는 최대 전자기력의 크기와 방향을 나타낸다. 좌측 1회선 A상 케이블에 작용하는 최대 고장 전자기력은 66.491 N/m, B상은 28.468 N/m, C상은 75.448 N/m 으로 나타났다. 우측 2회선 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 12.581 N/m, B상은 15.937 N/m, C상은 17.693 N/m로 계산되었다. Fig. 14의 결과로부터 1회선 지락고장이 발생할 경우 고장 A상과 건전 B상의 영향으로 인해 건전 C상의 전자기력이 고장 A상보다 커지는 결과가 나타난다. 이때 주목할 점은 건전회선인 2회선이 고장회선인 1회선의 영향으로 정상상태보다 3배이상 최대 전자기력이 커지는 것을 알 수 있다.

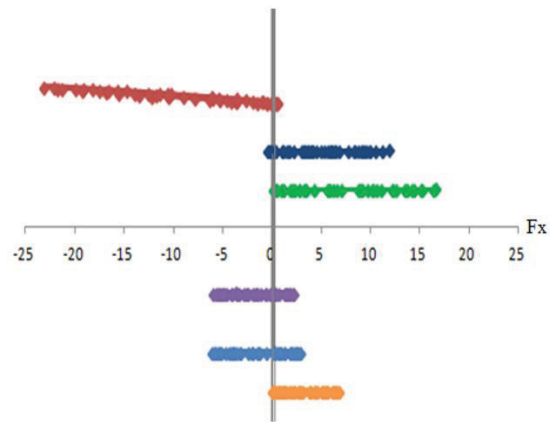


Fig. 17. 케이블의 각 상별 전자기력 분포케적

B. 지중 2회선 삼각배열 상하배치 전자기력 분포

Fig. 15는 1선 고장전류 발생 시 지중 2회선 삼각배열 상하배치 형태의 각 상별 전자기력 분포케적을 나타낸 것이다. Fig. 16은 케이블 상배열 각각에 작용하는 최대 전자기력의 크기와 방향을 나타낸다. 하측 1회선 A상 케이블에 작용하는 최대 고장 전자기력은 69.792 N/m, B상은 28.458 N/m, C상은 75.437 N/m 으로 나타났다. 상측 2회선 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 20.522 N/m, B상은 32.064 N/m, C상은 17.428 N/m로 계산되었다. 건전회선인 2회선 케이블에 작용하는 전자기력은 고장회선인 1회선의 영향으로 정상상태보다 5배이상 최대 전자기력이 커지고, 특히 B상 케이블의 경우 가장 큰 영향을 받는다.

C. 지중 2회선 수평배열 좌우배치 전자기력 분포

Fig. 17은 지중 2회선 수평배열 상하배치 형태에서 1선 고장전류 발생 시 케이블 각각의 상별 전자기력 분포케적을 나타낸 것이다. 지중 2회선 1선 지락고장 시 수평배열의 각 상이 받는 전자력 케적을 구분하기 위해 Y축 편차를 주어 표기하였고, 실질적으로 Y축 성분으로 작용하는 전자기력은 없다. Fig. 18은 케이블 상배열 각각에 작용하는 최대 전자기력의 크기와 방향을 나타낸다. 좌측 1회선 A상 케이블에 작용하는 최대 고장 전자기력은 22.545 N/m, B상은 11.244 N/m, C상은 15.728 N/m 으로

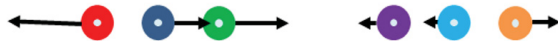


Fig. 18. 케이블 상별 최대 전자기력의 크기와 방향

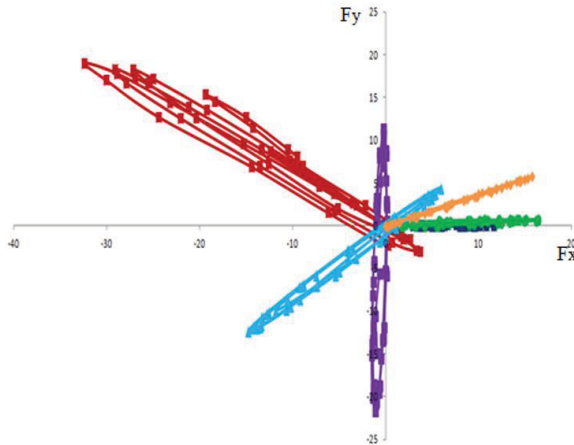


Fig. 19. 케이블의 각 상별 전자기력 분포케적

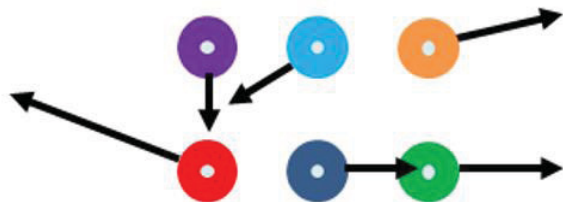


Fig. 20. 케이블 상별 최대 전자기력의 크기와 방향

나타났다. 우측 2회선의 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 6.0049 N/m, B상은 5.9790 N/m, C상은 6.4272 N/m로 계산되었다. 위의 결과로부터 건전회선인 2회선은 정상상태와 유사한 크기의 전자기력이 발생하며 고장회선인 1회선의 영향을 받지 않을 것이라 예측 가능하다.

D. 지중 2회선 수평배열 상하배치 전자기력 분포

Fig. 19는 지중 2회선 수평배열 상하배치 형태에서 1선 고장전류 발생 시 케이블 각각에 작용하는 전자기력 분포케적을 나타낸 것이다. 마찬가지로 Fig. 20은 케이블 상배열 각각에 작용하는 최대 전자기력의 크기와 방향을 나타낸다. 하측 1회선 A상 케이블에 작용하는 최대 고장 전자기력은 37.582 N/m, B상은 11.611 N/m, C상은 16.369 N/m 으로 나타났다. 상측 2회선의 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 21.629 N/m, B상은 19.229 N/m, C상은 16.790 N/m로 계산되었다.

지중2회선 수평배열 상하배치 형태는 고장회선인 1회선 고장A상의 영향으로 B상 및 C상의 전자기력이 증가하고, 건전회선인 2회선의 경우 A상이 가장 많은 영향을 받고 최대 전자기력의 크기는 정상상태의 크기보다 10배이상 커진다.

E. 지중 2회선 직각배열 전자기력 분포

Fig. 21은 지중 2회선 직각배열 형태에서 1선 고장전류 발생 시 케이블 각각에 작용하는 전자기력 분포케적

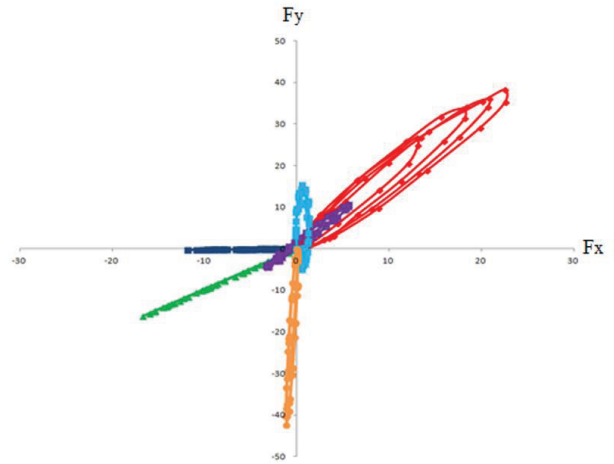


Fig. 21. 케이블의 각 상별 전자기력 분포케적

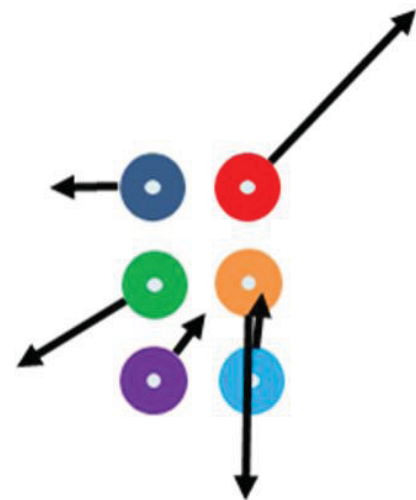


Fig. 22. 케이블 상별 최대 전자기력의 크기와 방향

을 나타낸 것이다. Fig. 22는 케이블 상배열 각각에 작용하는 최대 전자기력의 크기와 방향을 나타낸다. Fig. 22의 결과로부터 1회선 A상 케이블에 작용하는 최대 고장 전자기력은 44.409 N/m, B상은 11.866 N/m, C상은 22.307 N/m 으로 나타났다. 건전회선인 2회선의 A상 케이블에 작용하는 최대 전자기력은 12.807 N/m, B상은 15.470 N/m, C상은 42.342 N/m로 계산되었다. 지중2회선 직각배열에서 건전회선의 C상이 받는 전자기력은 B상보다 2배가 크다. 건전회선인 2회선의 C상에서 작용하는 전자기력은 고장 A상과 건전회선 A상, B상의 영향으로 정상상태일때와 비교하여 전자기력 최대치가 48배 이상 큰 값을 갖는다.

VI. 결론

본 논문에서는 154 kV 지중송전케이블의 2회선 방식에서 케이블의 좌우 및 상하 배열 방식에 따라 1상의 고장이 발생하였을 때 각 도선이 받는 전자기력의 분포와 케적을 유한요소법을 이용한 상용 전자기해석 프로그램을 통해 분석하였다. 수치해석 결과로부터 선로의 고장으로 인한 케이블 내부의 급격한 전류의 증가는 고장난 선로케이블 자체에 가장 큰 전자기력을 발생시키

는 것을 확인하였다. 또한 인접한 건전회선의 케이블에도 큰 영향을 미치는데, 그 크기는 정상상태일때와 비교하여 최대 48배나 커지는 것을 예상할 수 있었다. 본 연구의 핵심은 지중송전케이블의 배열방법과 간격, 케이블 길이, 설치조건이 다른 상황에서 발생하는 각각의 고장전류가 지중송전선로 및 지지구조물에 미치는 전자기·기계적인 힘을 예측하는 것이다. 이에따라 추후 케이블 고장전류에 대한 피해를 방지할 수 있는 보다 안정적인 지중송전선로망의 시공 및 포설기준을 마련하는데 활용하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Korea Electric Power Corporation (KEPCO) through Korea Electrical Engineering & Science Research Institute. (grant number :R14XA02-20)

REFERENCES

- [1] D.S. Hong, H.J. Kim, S.M Park, W.S. Chang, H.S. Park, T.I. Jang and J.W. Kang, "The Analysis of the Electrical and Mechanical Effects for Underground Cable and Fittings by Electromagnetic Force", IEEE T&D Asia 2009, pp. 1-5, Oct. 2009.
- [2] W.Riger, "Mechanical short-circuit effects of single-core cables" IEEE Transactions on Power Delivery, pp. 68-74, 1989.
- [3] Charles A Damell, "Cable Cleat-A Global Technique to Protect Three-Phase Single Conductor Cables during Short-Circuits" IEEE Transmission on Power Delivery, pp.143-150, 2004.
- [4] Jinbo Kuang and Steven A. Boggs, "Pipe-Type Cable Losses for Balanced and Unbalanced Currents", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 17, No. 2, pp. 313-317, April 2002.