

## 배전선로 주변에서의 전자계 분포 해석

권명락<sup>a</sup>

한국폴리텍대학 영주캠퍼스 전기제어학과

### Analysis of Electromagnetic Field Around Distribution Line

Myung-Rak Kwon<sup>a</sup>

Department of Electric Control, Korea Polytechnics, Yeongju 36142, Korea

(Received August 14, 2017; Revised August 17, 2017; Accepted August 18, 2017)

**Abstract:** Electrical energy is playing an increasingly vital role as the primary energy source in everyday life. With the increase in electric power consumption, power facilities are under an increasing stress and must operate at a high capacity. Consequently, the demand for electric power cables in power transmission and distribution lines is rapidly increasing. Underground distribution lines have been steadily replacing the aboveground lines owing to the increase in electric power demand and the need to increase the supply voltage. In addition to line damage, worker safety is of primary concern in this type of underground infrastructure.

In this study, to improve the safety of workers dealing with underground transmission lines, we analyzed the electromagnetic field generated around the distribution line and determined the basic criteria for developing a device that can detect a live underground line.

**Keywords:** Electromagnetic field, Distribution line, Electric power cable, Underground line, Live line

## 1. 서론

최근 전기에너지는 생활에 매우 중요한 에너지원으로 전력 사용량 증가와 함께 전력설비의 초고압화, 대용량화가 진행되고 있으며, 전력수송을 위한 송배전선에 있어서 전력케이블의 수요가 급증하고 있다 [1-3]. 송배전선로는 도심지에서 건물의 고층화, 전자파의 피해뿐만 아니라 무질서하게 서 있는 각종 전력, 통신용 전주가 도시 미관을 해치고, 태풍, 홍수 등 자연재해 시 사고 발생 등으로 도심지역의 가공선로의 지중화

필요성은 더욱 높아지고 있으며, 이를 해소하기 위해 각 지자체에서 산업단지, 신도시 건설시 송배전선로의 지중화를 추진하고 있다 [4-6]. 이렇듯 하루가 다르게 증가하는 지중화 작업은 전력수요의 증가, 공급전압의 상승 등으로 인해 많은 개소에서 지중 선로의 교체를 하였으며, 최근 다양한 지중화 작업을 추가적으로 시공함에 있어서 선로 손상과 더불어 작업자의 안전에도 매우 위험한 요소가 대두되는 일이 현실이다 [5].

한국전력공사에서는 송배전선로에서 활선을 검출하는 장치로 활선검출기를 사용하고 있으며, 지중에서는 선로를 매설하고 그 위에는 선로가 있음을 알려주는 알림표를 설치하여 작업 시 안전에 주의를 하고 있지만, 지중선로 교체 공사 시 사고는 계속 발생하고 있다 [3]. 또한 지중화의 증가로 지중화 설비에 대한 진단장비의 개발 및 지중전선에 대한 기술은 증가하였으

a. Corresponding author; [mrkcom@hanmail.net](mailto:mrkcom@hanmail.net)

나, 작업자의 안전을 위한 대책은 미흡한 상황이며, 특히 가공지선에서는 활선 시공이 많이 있으므로 작업자에게 활선 검출기를 필수 착용항목으로 적용하여 작업중 선로의 접촉에 의한 사고를 미연에 방지할 수 있도록 하였으나, 지중전선은 전계 차폐구조로 설계되어있으므로 활선검출기의 사용이 불가능하기 때문에 작업 시 선로를 차단하여 작업을 해야 하는 문제점이 있다고 본다.

이에 본 논문에서는 지중선로의 활선검출이 가능한 제품의 개발을 위해 실제 배전선로의 주변에서 발생하는 전자계 해석을 하였으며, 그 에너지를 이용하여 활선 검출기 개발을 위한 기초 자료로 제공을 하고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 전선의 종류 및 모델링

일반적으로 배전선로는 가공배전선로와 지중배전선로로 구분하고 있다. 가공배전선은 옥외환경에 대한 저항력이 큰 전선을 사용하고 있으며, 지중배전선은 수분 열화에 강한 전선을 사용하고 있다. 그림 1(a)는 가공 배전선의 구조를 나타낸 것으로 중심에 강심이 있으며, 그 주변으로 알루미늄 연동연선이 6가닥이 꼬여져 있는 구조로 되어있으며, 그림 1(b)의 지중케이블은 구조가 가공지선보다 복잡한 구조로 중심에 구리선 19가닥

Table 1. Shape of overhead distribution line.

nominal cross section area (mm <sup>2</sup> )	95	160	240
Conductor diameter (mm)	12.0	15.4	18.9
Thickness of outer sheath (mm)	3.5	4.0	4.0

Table 2. Shape of underground cable.

Nominal cross section area (mm <sup>2</sup> )	60	200	325
Thickness of inner Sheath (mm)	0.3	0.41	0.51
Thickness of Insulation (mm)	6.22	6.22	6.22
Thickness of outer sheath (mm)	0.76	1.02	1.02
Neutral conductor (mm)	1.2×18	2.0×21	2.3×26
Outer Sheath (mm)	1.14	1.14	1.78

이 3층으로 꼬여져 있으며, 절연층에 전계를 고르게 분포시키기 위해 도체 주변을 반도체층으로 감싸고 있다. 또한 전계 차폐를 위해 외부에 구리선으로 차폐층을 구성하고 있다 [5,6].

표 1은 가공배전선의 두께 및 단면적을 나타낸 것이며, 표 2는 지중케이블에 대한 값을 나타낸 것이다. 본 시뮬레이션에서는 250 A의 허용전류를 가지는 전선으로 가공배전선은 95 mm<sup>2</sup> 전선을 지중케이블은 60 mm<sup>2</sup>를 적용하였다.

그림 2는 실제 사이즈를 기준으로 시뮬레이션 형상

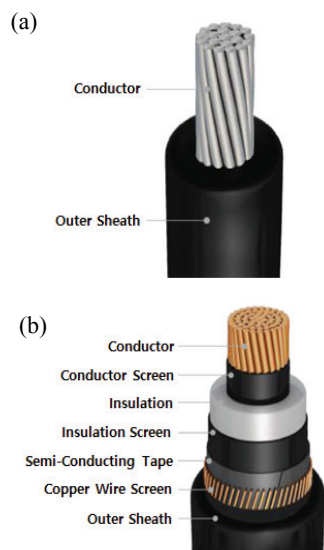


Fig. 1. Distribution cable (a) overhead distribution line and (b) underground cable.

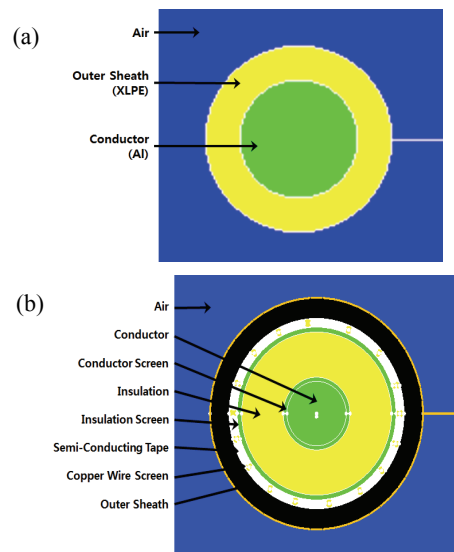


Fig. 2. Simulation modeling (a) overhead distribution line and (b) underground cable.

을 그린 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 가공배전선로는 내부 도체에 피복이 감싸진 형태이지만, 지중배전선로는 차폐층과 반도체층을 내장하고 있으며, 차폐층은 구리선을 18가닥 삽입한 구조로 설계하였다.

### 2.2 시뮬레이션 조건

시뮬레이션은 유한요소법을 이용한 FLUX 11 프로그램을 이용하였으며, 유한요소법은 다른 수치해석 방법들에 비하여 해석영역의 분할이 용이하다는 장점을 가지고 있다 [7]. 또한 FLUX 11은 전계와 자계가 모두 해석이 가능한 프로그램으로 동일 형상에 대해서 전계 해석과 자계 해석을 구분해서 시뮬레이션 하였다.

표 3은 물질의 물성을 나타낸 것으로 가공배전선에서의 최외층과 지중배전선의 절연층은 모두 가교 폴리에틸렌 절연 비닐시스 케이블(XLPE)로 간주하여 비유전율을 2.3을 적용하였으며, 지중배전선의 최외층은 PVC 방수성을 향상시킨 PVC 재질을 사용하기 때문에 비유전율은 8로 설정하였다.

자계의 특성을 보기 위해 물질의 투자율을 고려해야 하지만, 가공배전선과 지중배전선 모두 절연층으로 투자율이 없기 때문에 공기와 동일하게 설정하였다.

지중배전선의 차폐층으로 사용하는 반도체층은 구리로서 이것을 도전물질로 적용하여 시뮬레이션 하였다.

Table 3. Material properties.

Type	Layer	Relative permittivity
Overhead distribution line	Sheath	2.3
	Insulation	2.3
Underground cable	Semi-conduction type	1.2
	Outer sheath	8

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 전계 특성

시뮬레이션을 통해 전선 주변에서의 전계 분포도를 조사하였으며, 전선의 표면으로부터 10 cm 이격까지의 전계 분포를 조사하였다.

그림 3은 색상으로 전계분포도를 나타낸 것으로 가공배전선에서는 전선 주변으로 고르게 방사형으로 전

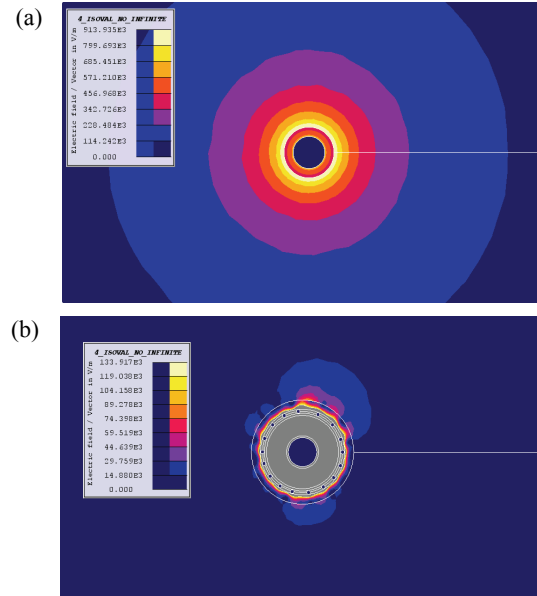


Fig. 3. Electric field simulation (a) overhead distribution line and (b) underground cable.

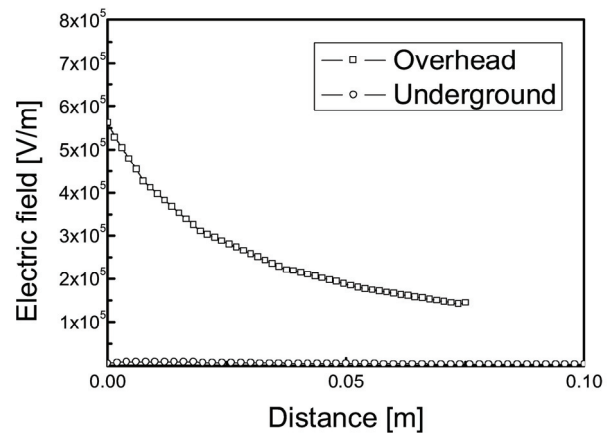


Fig. 4. Electric field by the distance.

계가 분포되면 거리의 증가에 따라 감소되는 것을 확인할 수 있었지만, 지중배전선에서는 차폐선주변에 전계가 집중되며 피복 외부에는 거의 존재하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

그림 4는 전선의 표면으로부터 이격거리 변화에 따른 전계 분포도를 나타낸 것으로 가공배전선에서는 표면에서  $562.468 \times 10^3$  V/m의 전계가 나타났으며, 7 cm 거리에서는  $144.57 \times 10^3$  V/m로 약 4배로 감소함을 확인할 수 있었다. 전계의 세기는 거리 제곱에 반비례하기 때문에 실제 7 cm 이격 시 0.87배 증가하여 그 감

소폭이 시뮬레이션에서 더 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 전선의 표면과 공기와의 유전율 차이로 표면에서 급격히 감소하여 공기 중으로 전계가 퍼지기 때문이라고 생각된다.

지중배전선에서는 표면에서  $5.0850 \times 10^3$  V/m로 표면에 노출되는 전계가 가공배전선에 비해서 100배 이하로 감소함을 확인할 수 있었으며, 10 cm 이격거리에서도  $2.4795 \times 10^3$  V/m로 0.48배로 증가함을 확인할 수 있는데 가공배전선에 비해 지중배선은 전계가 모두 소멸되어 그 감소폭이 줄어든 것으로 생각된다.

### 3.2 자계 특성

그림 5는 전선에 150 A의 전류가 공급될 때 전선 주변의 자계값을 나타낸 것으로 가공배전선은 도체의 매질을 알루미늄으로 하였으며, 지중배전선은 도체 부분을 구리로 설정하여 시뮬레이션 하였다.

그림에서 보는 바와 같이 가공배전선과 지중배전선은 모두 전선 외부로 자계가 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 지중배전의 표면 자계값이 더 낮은 값을 나타냄을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 전선 외부 차폐층인 구리선에 의한 자계가 감소하는 것으로 생각된다.

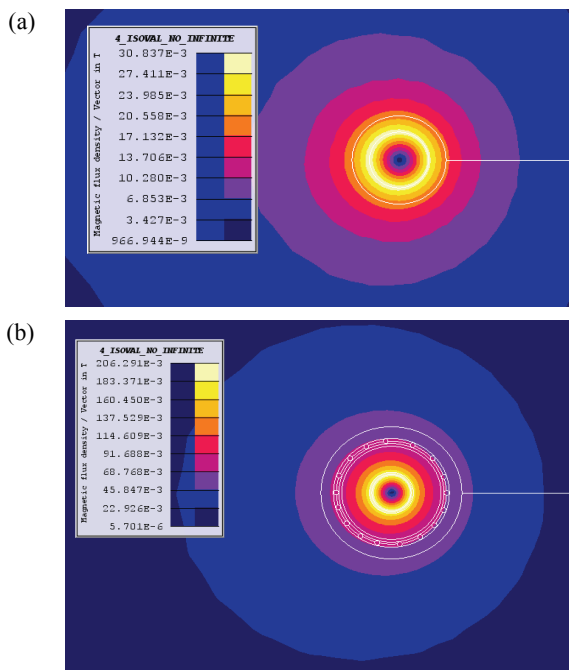


Fig. 5. Magnetic field simulation (a) overhead distribution line and (b) underground cable.

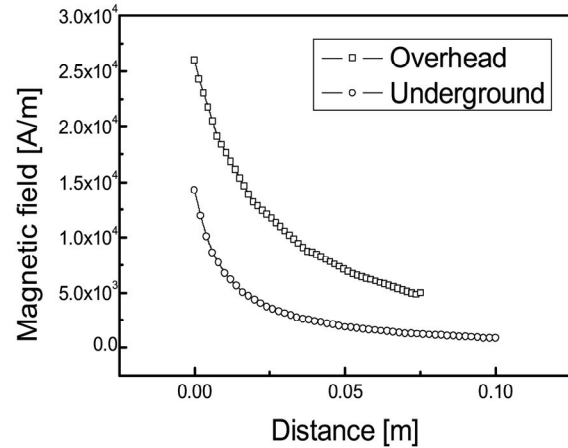


Fig. 6. Magnetic field by the distance.

그림 6은 전선 표면에서 이격거리 변화에 따른 자계 값을 나타낸 것으로 가공배전선은 도선표면에서  $2.6017 \times 10^4$  A/m가 나타났으며, 지중배전선의 표면에는  $1.4285 \times 10^4$  A/m로 지중배전선이 약 1.8배의 값을 나타남을 확인할 수 있었다. 전계에서는 거의 500배 이상의 차이가 발생한 반면 자계의 감소는 미소함을 확인할 수 있었다. 거리변화에 대해서 가공배전선에서는 이격거리 7 cm에서  $5.0869 \times 10^3$  A/m로 0.19배 증가하였으며, 지중배전선에서는  $1.2868 \times 10^3$  A/m로 0.09배 증가하였으며, 가공배전선이 3.9배 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 지중배선은 도선 외피에 차폐물질인 구리선을 삽입하여 자계의 확산을 억제하고 있기 때문이라고 생각된다. 그러나 완전한 자계차폐를 할 수 없기 때문에 감소하지만 전선의 외부에 자계가 검출되는 것을 확인할 수 있었다.

### 4. 결론

배전선로에서의 전자계 현상에 대한 시뮬레이션 결과 현재 250 A 급으로 사용되는 지중배전선에서는 전선의 부에 전계는 거의 사라짐을 확인할 수 있었으며, 자계는 비록 가공배전에 비해 2배 이상 감소하지만, 자계의 값이 분포됨을 확인할 수 있었다.

본 실험을 통해 추후 자계검출장치를 적당히 활용하면, 가공배전선과 지중배전선 활선 검출기의 제작이 가능할 것으로 생각된다.

## REFERENCES

- [1] K. W. Lee, K. Y. Lee, Y. S. Choi, and D. H. Park, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **17**, 893 (2004). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2004.17.8.893>]
- [2] H. J. Kim, *Master, A Study on the Partial Discharge and Electric Field Distribution Simulation of the Cable Joint Materials*, p. 1, Kwangwoon University, Seoul (2001).
- [3] T. Suzuki, S. Katakai, M. Kanaoka, and Y. Sekii, *Proceedings of 3rd Inter. Conf. on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics* (IEEE, Trondheim, Norway, 1989) p. 66. [DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSD.1989.69163>]
- [4] K. S. Cho and J. W. Hong, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **20**, 780 (2007). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2007.20.9.780>]
- [5] K. J. Kim, Y. C. Oh, K. S. Lee, H. S. Jung, T. Y. Kim, M. H. Choi, M. Y. Soung, C. G. Shin, and J. S. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **24**, 166 (2011). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2011.24.2.166>]
- [6] Korea Industrial Development Institute, *Study on the Rational Promotion Direction of the Undergroundization Project with the Processed Wire-Final Report*, p. 3 (2008).
- [7] C. H. Kim, T. Y. Kim, Y. C. Oh, W. S. Choi, and C. N. Jo, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **27**, 322 (2014). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2014.27.5.322>]