

배전선로에서의 조가선 차폐 효과 연구

A Study on a Shielding Effect of the Messenger Wires
in Distribution Lines

김인수* · 한웅† · 여상민** · 김철환*** · 원봉주§ · 임용훈§§

(In-Soo Kim · Woong Han · Sang-Min Yeo · Chul-Hwan Kim · Bong-Ju Weon · Yong-Hun Lim)

Abstract - As the telecommunication lines bring into widespread use, one of the most important aspects related to power distribution systems is effectively to evaluate the effect on the telecommunication lines from power lines. One of the efficient methods to evaluate the effect is to measure the induced voltage of a telecommunication line as a result of a ground-loop. If the power lines cause high induced voltage, the ground reference in the telecommunication lines is no longer a stable potential, so signals may ride on the noise. A ground loop is common wiring conditions where a ground current may take more than one path to return to the grounding electrode at the arrangement between the power lines and telecommunication lines. When a multi-path connection between the power lines and telecommunication line circuits exists, the resulting arrangement is known as a ground loop. Whenever a ground loop exists, there are potential for damages or abnormal operations of the telecommunication lines. The power lines can induce the voltage on the communication line. The effects can be calculated by considering the inductances and capacitances. However, if we assume that there are only power lines, it doesn't have a practical meaning because there are conductors with other purpose in the neighborhood of the lines. If we consider that case, we need more complex system. Therefore we suggest more complex system considering the conductors with other purpose in the neighborhood of the lines.

The neutral wires and the overhead ground wires are considered for calculating the induced voltage. We assume that there are the messenger wires beside the power line as a result of increased use of them. The main purpose of this paper is a study on a shielding effect of messenger wires in the distribution lines. EMTP(Electro-Magnetic Transients Program) program is used for the induced voltage calculation.

Key Words : Electro-Magnetic Transients Program, Induced Voltage, Messenger Wire, Shielding Effect

1. 서 론

최근 전력시스템은 전기·통신사업의 급격한 발전으로 그 규모가 거대화되고 있으며, 이에 따른 전력수요에 부응하기 위하여 많은 전력선로 및 전력설비들이 신/증설 되어가면서 거대 네트워크화 되고 있다. 전력설비들의 신/증설에 따라 송전선, 배전선, 통신선, 철도 등의 설비들은 그 설치 면적이 최소화 되고 있는 실정이다. 이러한 좁은 설치 공간 및 면적은 전자유도작용에 의해 인접한 다른 전력설비들에게 유도장해와 같은 영향을 미칠 수 있다. 배전선로에서는 전력선에 근접해있는 통신선에 작용하는 유도전압이 특정값 이상이 되면 통신선에 장애를 일으킬 수 있으므로 설치 시 올바른 위치 선정과 공간이 필요하다.

기존의 배전선로 신/증설에 따른 배전선로와 통신선 사이의 유도전압 예측계산 시에는 중성선과 가공지선만을 고려하여 차폐계수를 산출하였다[1]. 하지만, 최근 실 계통에서는 가공설 조가선의 설치가 증가하고 있다. 따라서 본 논문에서는 배전선로와 통신선 사이에 조가선을 설치하여, 이에 대한 차폐효과를 검토하는 것을 목적으로 하였으며, 차폐효과는 차폐계수를 구하거나 통신선 유도전압의 비율을 통해서 구할 수 있기 때문에 다음의 3장에서 기술한 바와 같이 시뮬레이션 조건을 설정하고, 임피던스 행렬로부터 차폐효과를 수치화하는 차폐계수 K 를 구한다. 그리고 차폐선과 통신선의 거리가 가깝다고 가정하여 근사화된 식으로부터 차폐계수 K' 를 구하고, EMTP로 통신선 유도 전압을 시뮬레이션하여 전압비 K'' 를 구한 후, 이들의 오차를 비교하여 조가선의 차폐 효과를 검토하였다. 유도전압 예측 계산 시에는 범용성이 높은 EMTP 프로그램을 사용하였다.

2. 조가선 차폐 효과

2.1 유도전압

전력선에 전류가 흐르면 주변에 자장이 생겨서, 이 자장 내에 있는 통신선에 자기적 결합에 의한 전자 유도 전압을 유기하여 통신선에 장애를 일으킬 수 있다. 이러한 유도전

* 정 회원 : Georgia Institute of Technology 박사과정

† 교신저자, 준회원 : 성균관대 정보통신공학부 석사과정

E-mail : hw00ralf@naver.com

** 정 회원 : 성균관대 정보통신공학부 박사과정

*** 펠로우회원 : 성균관대 정보통신공학부 교수·공박

§ 정 회원 : 전력IT추진처 통신계획팀 전력유도담당 차장

§§ 정 회원 : 한전전력연구원 연구지원실 선임연구원

접수일자 : 2008년 8월 28일

최종완료 : 2008년 11월 12일

압 대책방안 중의 하나인 차폐선 설치는 일반적으로 30%의 차폐효과가 있어 통신 케이블의 유도전압이 제한치를 약간 초과하는 경우에 적용하는 방법으로 알려져 있다.

다음 그림 1과 같은 전력선과 통신선의 상호 임피던스를 각각 Z_{cu} , Z_{cv} , Z_{cw} 라고 하고 각 상의 상호 임피던스가 같은 값을 가진다면, 통신선에 흐르는 유도전압은 전류의 정상 성분과 역상성분의 값은 영향을 미치지 않고 다음 식 (1)과 같이 전류의 영상성분만을 가지게 된다.

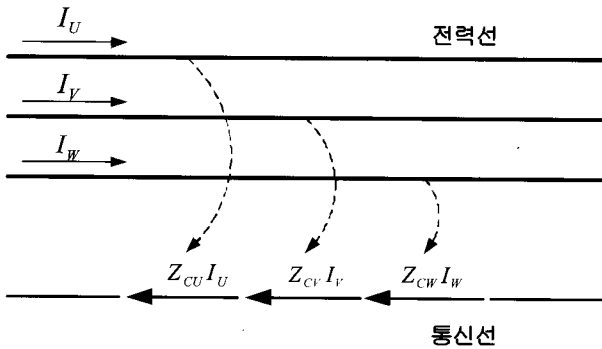


그림 1 통신선 유도전압

Fig. 1 Induced voltage in the communication line

$$V_C = 3ZL_0 \tag{1}$$

여기서, $Z = Z_{cu} = Z_{cv} = Z_{cw}$

따라서 완전 연가 된 선로에서의 유도 전압은 지락고장에 의한 영상전류에 의해서만 발생하지만, 완전 연가되지 않은 선로에서는 영상전류뿐만 아니라 정상전류나 역상전류에 의해서도 유도 전압이 발생할 수 있다.

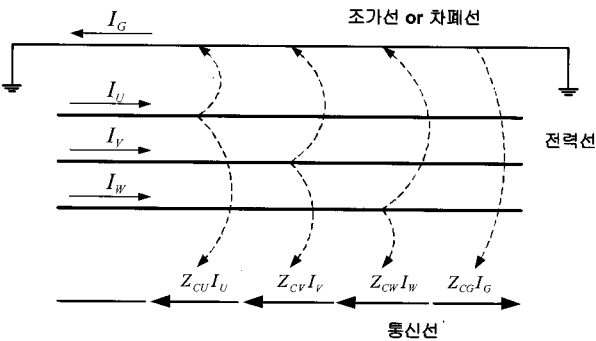


그림 2 통신선 조가선 또는 차폐선이 있을 경우의 통신선 유도전압

Fig. 2 Induced voltage in the communication line when messenger wire or shield wire is installed

그림 1은 조가선이 없다고 가정한 경우이나, 그림 2는 조가선 또는 차폐선이 설치된 경우이다. 이러한 경우에, 즉, 그

림 2에서 전력선의 전류에 의해 조가선(messenger wire) 또는 차폐선(shielding wire)에 흐르는 전류인 I_G 는 다음 식 (2)와 같다.

$$I_G = \frac{Z_{cu}I_U + Z_{cv}I_V + Z_{cw}I_W}{Z_{GG}} \tag{2}$$

따라서, 전류 I_G 와 전력선의 전류 I_U , I_V , I_W 에 의해 통신선에 유도되는 전압은 다음 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$V_C = Z_{cu}I_U + Z_{cv}I_V + Z_{cw}I_W - Z_{CG}I_G \tag{3}$$

따라서, 조가선 또는 차폐선의 설치에 의해 통신선의 유도 전압은 작아지게 되고, 가공지선 또는 차폐선의 자기 임피던스 Z_{GG} 가 작을수록 I_G 는 커지게 되어 통신선의 유도 전압은 작아지게 된다.

3. 시뮬레이션 조건

3.1 전력선 제원 등의 제반 조건

차폐 효과를 검토하기 위한 시뮬레이션을 수행하기 위해 다음 표 1과 같이 전력선 제원 등의 제반 조건을 설정하였으며, 전력선 ACSR/AW-OC와 가공지선 아연도강연선(FS)의 단면은 다음 그림 3, 4와 같다.

표 1 시뮬레이션 조건

Table 1 Conditions of simulation

장주 구분	1단(1회선)
전력선종 (피복전선)	ACSR/AW-OC 160[mm ²], 전체직경: 23.4 [mm], 도체직경: 15.4 [mm]
중성선	ACSR 95 [mm ²], 전체직경: 13.5 [mm]
가공지선	아연도강연선(FS) 22 [mm ²], 외피가 없는 나선, 전체직경: 6 [mm], 도체직경: 6 [mm], 직류저항값: 4.6674 [Ω/km]
대지교유저항	100 [Ωm]
조가선 (차폐선) 제원 및 조건	직류저항값: 2.76 [Ω/km], 아연도강연선(FS) 38 [mm ²], 전체직경: 7.8[mm], 길이: 4 [km] (양단 접지)
	전력선과 근거리에 위치하는 경우 : 조가선 미설치, 1조, 2조
	전력선과 통신선 중간에 위치하는 경우 : 1조
통신선	통신선과 근거리에 위치하는 경우 : 1조 FS 22 [mm ²], 전체직경: 6 [mm], 직류저항값: 4.6674 [Ω/km]

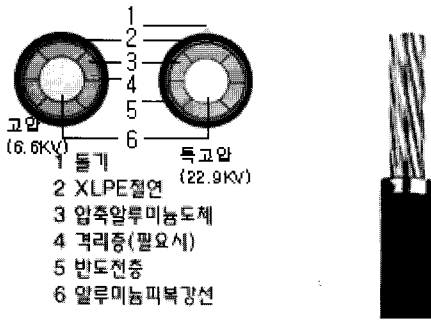


그림 3 ACSR/AW-OC의 단면
Fig. 3 A cross section of ACSR/AW-OC

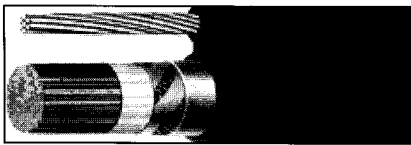


그림 4 FS 케이블의 단면(외피가 없을 수도 있음)
Fig. 4 A cross section of FS cable

대저고유저항(ρ)은 100 [$\Omega\cdot\text{m}$]으로 설정하였고 조가선(차폐선)의 직류저항값은 2.76 [Ω/km]이고 아연도강연선(FS) 38 [mm^2]을 사용하였다. 조가선의 전체직경은 7.8[mm]로 하였고 전체 4 [km]의 길이에 양단 집지를 하였다. 또 조가선의 위치와 조에 따라 3가지 조건으로 구분하였는데, 조가선이 전력선과 근거리인 경우, 전력선과 통신선 중간에 위치하는 경우, 통신선과 근거리인 경우를 나누었으며, 전력선과 근거리인 경우에서는 조가선 미설치, 1조, 2조 일 경우로 나누고, 나머지 두 경우에는 1조 일 때의 경우만 시뮬레이션을 수행하였다. 통신선은 FS 22 [mm^2]을 사용하였고 전체직경은 6 [mm], 직류저항값은 4.6674 [Ω/km]을 사용하였다.

3.2 모델 계통

다음 그림 5는 배전선 상시 운전 시 통신선 유도전압을 구하기 위한 모델 계통을 나타낸 것이며, 배전 용량은 1회선 일 때 10 [MW]를 기준으로 하였다.

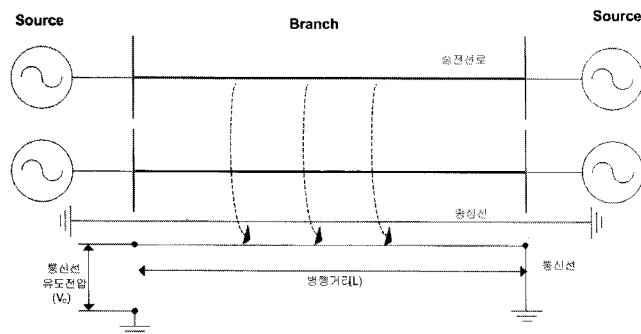


그림 5 모델 계통도
Fig. 5 Model system

3.3 장주 모델

본 논문에서는 조가선의 차폐효과 시뮬레이션을 수행하기 위하여 조가선의 위치에 따른 장주 모델을 아래 3가지 경우로 분류하였다.

3.3.1 조가선이 전력선 근거리인 위치

다음 그림 6은 전력선 근처에 조가선 1조가 위치할 경우를 나타내며, 이 모델에서는 조가선 미설치일 때, 그림 6처럼 1조일 때, 그리고 1조 상단 0.3 [m] 지점에 1조가 더 추가될 경우를 분석하였다.

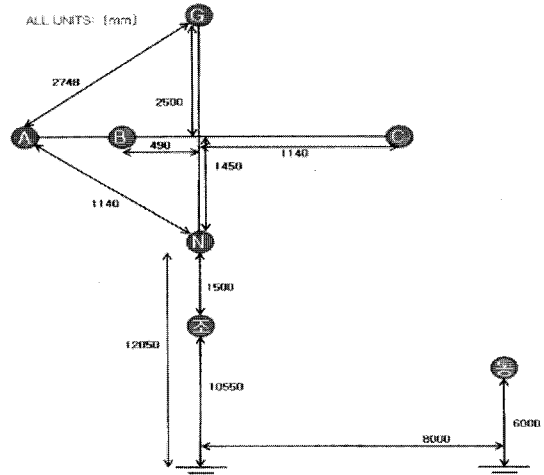


그림 6 조가선이 전력선 근거리인 위치하는 경우의 배치도
Fig. 6 Arrangement of conductors when messenger wires is located nearby the power line

3.3.2 조가선이 전력선과 통신선 중간에 위치

그림 7은 조가선이 전력선과 통신선 중간에 위치할 경우의 전력선, 중성선, 가공지선 및 통신선의 배치도를 나타내었다.

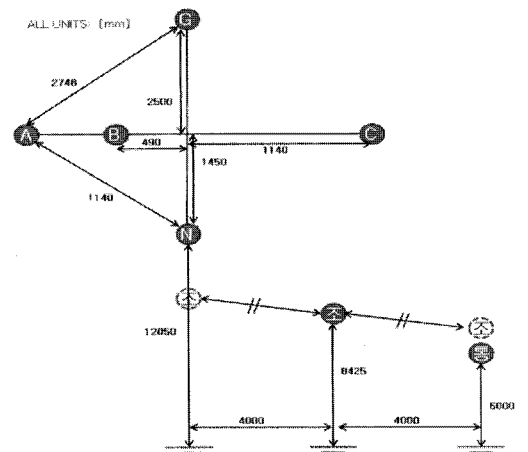


그림 7 조가선이 전력선 통신선에 중간에 위치하는 경우의 배치도

Fig. 7 Arrangement of conductors when messenger wires is located in the middle between the power line and the communication line

3.3.3 조가선이 전력선 근거리에 위치

그림 8은 통신선 근처에 조가선 1조가 위치할 경우의 전력선, 중성선, 가공지선 및 통신선의 배치도를 나타내었다.

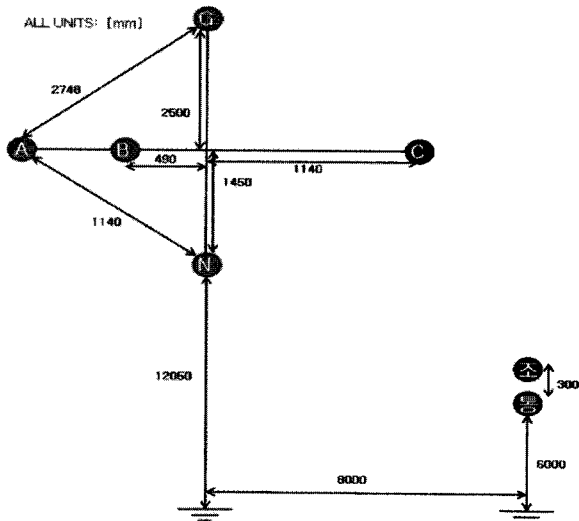


그림 8 조가선이 통신선 근거리에 위치하는 경우의 배치도
Fig. 8 Arrangement of conductors when messenger wires is located nearby the communication line

3.4 차폐계수 산정 방식에 대한 고찰

가공 배전선로의 조가선 설치에 따른 차폐효과를 분석하기 위해, 조가선(차폐선)을 다음의 그림 9처럼 가정할 수 있다.

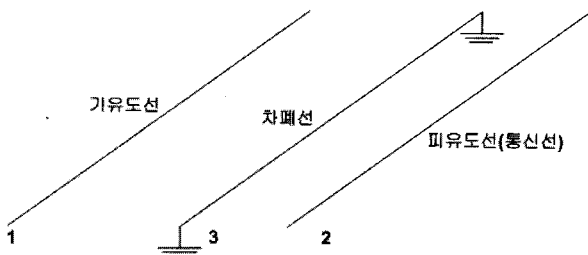


그림 9 기유도선(전력선), 차폐선(조가선) 및 통신선의 배치도
Fig. 9 Line arrangement of conductors

이러한 경우에 차폐계수는 다음의 식 (4)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$K = 1 - \frac{Z_{23} \cdot Z_{31}}{Z_{12} \cdot Z_{33}} \quad (4)$$

- Z_{23} = 차폐선과 통신선의 상호 임피던스
- Z_{31} = 전력선과 차폐선의 상호 임피던스
- Z_{12} = 전력선과 통신선의 상호 임피던스
- Z_{33} = 차폐선의 자기 임피던스

만약, 차폐선과 피유도선의 거리가 매우 가깝다고 하면 $Z_{12} \approx Z_{31}$ 이 성립하므로 다음의 식 (5)를 이용하여 차폐계

수 K' 를 계산하였다.

$$K' = 1 - \frac{Z_{23}Z_{31}}{Z_{12}Z_{33}} \approx 1 - \frac{Z_{23}}{Z_{33}} \quad (5)$$

선로의 자기 임피던스와 상호 임피던스는 일반적으로 Carson-Pollaczek 공식으로 계산될 수 있으며 선로 사이의 거리가 길지 않은 경우 간단화된 공식으로 표현할 수 있다.

$$Z_{23} = 0.00099 \cdot f + jw2 \times 10^{-4} \ln \frac{D_e}{d_{23}} \quad (6)$$

d_{23} : 차폐선과 피유도선의 거리(m)

f : 주파수(Hz)

w : 각주파수(=2πf)

참고 문헌 [3]에 제시된 식에 의하면, 전력선과 조가선의 거리가 전력선과 통신선의 거리보다 작기 때문에, $Z_{31} > Z_{12}$ 이므로 $Z_{31}/Z_{12} > 1$ 이 성립하여 K' 는 K 에 비해서 큰 값을 가지는 것을 알 수 있다.

4. 시뮬레이션 결과

가공 배전선로의 조가선 설치에 따른 차폐효과를 분석하기 위해, 각 시뮬레이션 조건을 고려하고 3.4절에 근거하여, 차폐계수 K 를 계산하였고, 차폐선과 피유도선의 거리가 매우 가깝다고 가정하여 축약된 계산식을 통한 차폐계수 K' 를 계산하였다. 계산 시 조건은 상기의 3.1절의 시뮬레이션 조건과 동일하며 조가선에 대한 세부 조건을 나타내면 다음 표 2와 같다. 또한, 이 때의 통신선 유도 전압을 표 3에 정리하였다. 전체적인 단위는, 차폐계수는 $0 < K < 1$ 인 실수이며 통신선 유도 전압은 실효치 전압 [Vrms]이다.

표 2 시뮬레이션 조건

Table 2 Conditions of simulation

조가선 조건	<ul style="list-style-type: none"> • 전력선과 근거리에 위치하는 경우(미설치, 1조, 2조) <ul style="list-style-type: none"> - 1조: 중성선으로부터 수평으로 0[m], 수직으로 1.5[m] 하단 위치 - 2조: 1조의 상단 0.3[m] 위치
	<ul style="list-style-type: none"> • 전력선과 통신선 중간에 위치하는 경우(1조) <ul style="list-style-type: none"> - 1조: 다른 두 경우의 기하학적 평균 지점에 위치
	<ul style="list-style-type: none"> • 통신선과 근거리에 위치하는 경우(1조) <ul style="list-style-type: none"> - 1조: 통신선 상단 0.3[m] 지점에 위치

다음 표 3은 조가선 위치별 차폐계수와 통신선 유도전압을 나타낸 것이다. 여기서, 차폐계수 K , K' 과 차이가 나는 것을 알 수 있는데, K' 에서는 차폐선(조가선)이 통신선의 근거리에서 위치한다는 가정 하에, 식 $Z_{31} \cong Z_{12}$ 를 이용하여 근사화 하였기 때문이며 전체적으로 K 가 더 정확한 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 표 3을 통하여 통신선 유도전압은 조가선이 증가할수록 혹은 조가선이 통신선으로 근접할수록 차폐 효과는 커진다고 할 수 있고, 3.4절에서 설명한 것과 같이, 본 연구에서 다루어진 사례에서는 항상 $K < K'$ 이 성립한다.

표 3 조가선의 위치별 차폐계수와 통신선 유도전압
Table 3 Shielding factors and induced voltages in the each case

조가선 위치	1회선 장주				
	전력선/중성선/가공지선의 제원(EH/N/G): 160/95/22[mm ²]				
	조가선이 전력선과 근거리에서 위치		조가선이 전력선과 통신선중간에 위치	조가선이 통신선과 근거리에서 위치	
	조가선 0조	조가선 1조	조가선 2조	조가선 1조	조가선 1조
차폐계수 K		0.945	0.937	0.939	0.936
K'		0.950	0.945	0.942	0.936
$K'' = V'/V$		0.971	0.938	0.940	0.939
통신선 유도전압	15.024	14.616	14.186	14.242	14.146
오차율 ($K \leftrightarrow K''$)		-2.73 %	-0.18 %	-0.13%	-0.34%
오차율 ($K' \leftrightarrow K''$)		-2.17 %	0.74%	0.21%	-0.34%

주1. K'' =차폐선이 있을 때의 통신선 유도전압/차폐선이 없을 때의 통신선 유도전압

다음 그림 10은 조가선이 전력선 근처에 위치할 경우, 통신선 유도 전압의 추이를 나타내고 있으며, 조가선이 추가될수록 감소함을 확인할 수 있고, 다음 그림 11은 조가선 1조가 전력선 근거리, 중간, 원거리에서 위치할 경우에 따른 통신선 유도전압의 추이를 나타내고 있다.

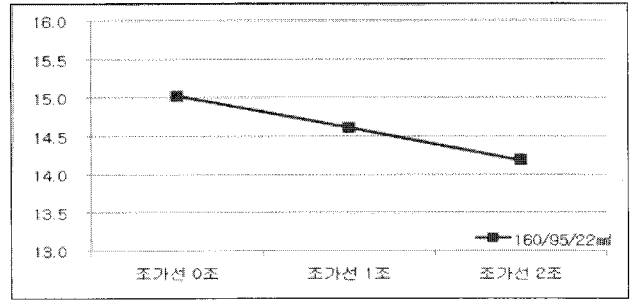


그림 10 조가선이 전력선 근거리에서 위치할 경우, 조가선별 통신선 유도 전압

Fig. 10 Induced voltage when messenger wires is located nearby on power line

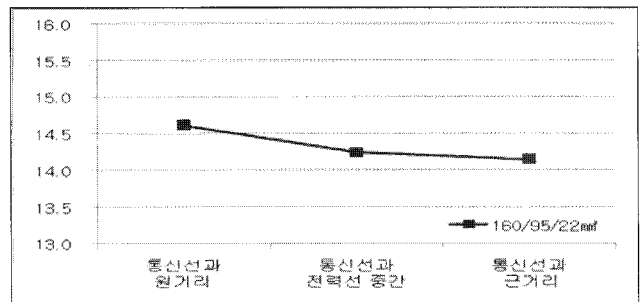


그림 11 조가선 1조의 전력선과 통신선 거리별 통신선 유도 전압

Fig. 11 Induced voltage when a messenger wire is installed

5. 결 론

본 연구에서는 임피던스 행렬을 통해 차폐계수 K , 근사화된 차폐계수 K' 를 계산하였고 EMTP를 통해 통신선 유도 전압비로 그 값을 검증하였다. 선로 임피던스 행렬에서는 도체의 skin effect 등의 요소가 무시되고, 조가선의 접지에 따라 통신선 유도전압은 차이가 나타날 수 있기 때문에 오차는 존재할 수 밖에 없지만, 배전 용량이 1회선, 10 [MW]일 때, 통신선 FS 38 [mm²]에 미치는 아연도강연선(조가선)의 차폐계수는 0.94~0.97이며, 차폐계수 K 는 근사화된 차폐계수 K' 보다 적은 오차를 나타내었고, EMTP 시뮬레이션의 결과와 -2.73[%]에서 +0.74[%]의 오차를 가진다. 통신선 유도전압은 조가선 1조 추가 시 대략 0.4[V] 감소하며, 조가선이 통신선에 근접할수록 감소하므로, 차폐효과는 조가선이 추가 될수록 또는 통신선 쪽으로 근접할수록 커지는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 선로길이 4 [km]의 조가선 양단을 접지하여 시뮬레이션 하였지만 실제 공가용 조가선에서는 다중 접지를 하고 있으므로 차폐효과는 소폭 상승할 것으로 예상되며, 이상의 연구 결과들은 배전선로와 통신선로를 설치 시에 기초 자료로 활용 가능하리라 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 전자통신동향분석, "통신선에 대한 전력유도장해발생 근접규격 분석(Analysis on the Distance Specification for Inducing Voltage to Telecommunication Line by Power Line)", 제18권 제2호 2003년 4월.
- [2] 오호석, "차폐선 활용방안 연구", 한국통신 가입자망연구소.
- [3] 명노훈, "통신선의 차폐계수 산정", 전자파기술학회지, 제4권 3호, pp.82, 1993년 9월.

저 자 소 개



김 인 수 (金 仁 秀)

1978년 1월 17일생. 2000년 성균관대 전기전자 및 컴퓨터 공학부 졸업. 2002년 동대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(공석). 현재, Georgia Institute of Technology 박사과정 재학중.
E-mail : issoviet@gamil.com



한 응 (韓 雄)

1981년 9월 29일생. 2005년 충주대 전기공학과 졸업. 현재 성균관대학교 대학원 전자전기공학과 석사과정.
Tel : 031-290-7166
Fax : 031-290-7955
E-mail : hw00ralf@naver.com



여 상 민 (呂 相 敏)

1976년 7월 21일생. 1999년 성균관대 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공석). 2001년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정
Tel : 031-290-7166
Fax : 031-290-7955
E-mail : harc@chollian.net



김 철 환 (金 喆 換)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수, 전력IT인력양성센터 센터장
Tel : 031-290-7124
Fax : 031-290-7179
E-mail : hmwkim@hanmail.net



원 봉 주 (元 鳳 周)

1965년 8월 8일생. 1988년 원광대 전기공학과 졸업. 1989년 한국전력 공사 입사. 2002년 송변전처 과장, 현재 전력IT추진처 통신계획팀 전력유도담당 차장
Tel : 02-3456-5351
Fax : 02-3456-5359
E-mail : wbj00@kepcoco.kr



임 용 훈 (林 勇 勳)

1968년 8월 26일생. 1996년 건국대학교 전자공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전자공학과 졸업. 현재 전력연구원 연구지원실 선임연구원
Tel : 042-865-5973
Fax : 042-865-5994
E-mail : adsac@kepri.re.kr