

가공배전선에 의한 유도전압 특성 분석

임용훈
한국전력공사 전력연구원

An Analysis of the Induced Voltage characteristic on 22.9kV-Y Distribution Lines

Yong-Hun Lim
KEPRI, KEPCO

Abstract - This paper reviews calculating of induced voltage onto a communication line from 22.9kV-Y Distribution Lines. The coexistence of both power line and communication line in parallel generates the induction of significant longitudinal voltage in the weak current line. In order to evaluate a precise induced voltage, this paper indicated some problems about coefficient and numerical formula. It also presents some induced voltage production technology standard application.

1. 서 론

우리나라의 배전계통은 공통중성선 다중접지 방식으로 구성되어 전력손실의 감소와 고장 시 고압 건전 상 및 저압선의 전위상승을 억제하고 보호계전기의 작동을 확실하게 하는 이점이 있는 반면 부하전류의 일부가 다중접지된 중성선 및 대지를 통해 흐르고 이러한 대지 귀로전류에 의해 근접 위치해 있는 통신선에 유도장해를 발생시키게 된다. 근접 설치된 전력선과 통신선은 정전유도 및 전자유도에 의한 유도기전력을 서로 상대방 선로에 유기시키게 되며 그 크기는 두 선간의 기하학적 배치와 기타 결합 인자에 영향을 받는다. 전력선에 의한 유도기전력은 최근 음성통화의 품질향상과 전화선을 이용한 초고속데이터통신(xDSL)망의 확충으로 통신선로에 중요한 장애 요인으로 취급되고 있다. 이에 본 논문에서는 가공배전선로로 인한 유도전압의 중요한 특성인 유도된 전류와 결합요소인 상호인덕턴스에 대해 분석하였다.

2. 본 론

2.1 유도원전류(I_n)

전자유도는 전력선과 통신선사이의 전자적 결합 및 전력선에 흐르는 전류에 의해 통신선에 전압을 유기시키는 것으로 이때 발생하는 전자유도전압은 전력선과 통신선 사이의 단위길이 당 상호인덕턴스 M , 투영거리 L , 유도전류원을 I , 유도저감계수를 K 라고 할 때 아래 식.(2-1)으로 표현되어졌다.

$$V_L = jwLIK_n \quad (2-1)$$

이처럼 배전선로가 정상 운전되는 상시유도전압은 배전선과 통신선간의 상호인덕턴스 M 에 의해 유기되는 것으로 유도문제에 중요한 부분이다. 배전선로에 의한 유도장해 전류원에 대한 특성과 중성선에 의한 차폐효과를 분석함으로써 유도량을 예측할 수 있다.

2.1.1 유도원 전류(I_n) 개요

전력선의 주로와 귀로가 연결되어 있으면 자력선이 외부로 방출 되지 않기 때문에 전자유도는 생기지 않으나 공통중성선 다중접지 배전방식에서 배전선로의 부하가

불평형이 되거나 주상변압기의 철심이 포화상태에 있을 때 또는 애자나 전주를 통하여 상전류가 누설 될 때에는 대지전류가 되므로 근접통신선에 유도장해를 일으키게 된다. 또한 부하 자체는 평형이 되어있다 하더라도 비선형부하에 의하여 부하로부터 전류의 고조파성분이 배전선로에 유입되면 잔류전류가 형성되어 대지전류가 되어 마찬가지로 유도장해의 원인이 된다. 여기서는 고조파성분에 의한 유도전류 영향은 논의하지 않기로 한다. 대지로 귀로가 형성되면 대지전류는 대지도전압과 주파수에 따라 등가적 대지귀로 도체 깊이가 좌우되며 대지도전압이 작을수록 등가적 귀로도체가 통신선에서 멀어져 전류선 주로에 의한 유도가 증가하게 된다. 즉,

$$I_a + I_b + I_c + I_n = 0 \quad (2-2)$$

인 경우에는 인접해 있는 통신선에 유도영향을 미치지 않게 되나 식(2-2) $\neq 0$ 인 경우에는 대지로 상전류가 I_g 만큼 누설되어 유도장해를 일으키게 된다. 다중접지된 배전선로에서 3상 부하불평형을 감소는 중성선 전류를 감소시키게 되어 대지로 누설되는 유도전류를 감소시킨다. 현재 한국전력에서 운전 중인 22.9[kV] 3상4선식 배전선로에서 부하 불평형율은 단상 접속부하로 계산하여 20[%] 이내로 제한하고 있다

2.1.2 중성선의 분류계수 및 차폐효과

다중접지 배전선의 경우 중성선에는 상선과 마찬가지로 부하전류가 흐르며 동시에 대지에 다중접지 되어 있기 때문에 일부의 전류가 대지로 누설되어 연결 통신선에 유도장해를 주는 기(起)유도전류의 역할을 하게 된다. 3상인 불평형인 경우 중성선에 흐르는 전류는 상전류의 중성선 혼축 고정일 때와 같이 다중접지된 중성선에 부하전류 I 가 흐르게 되고 상선과 중성선간의 상호인덕턴스를 Z_m 이라하면 중성선에 유기되는 유도장해 전압은 $Z_m \cdot I$ 가 된다. 따라서 중성선의 자기 인덕턴스를 Z_s 라 할때 중성선 전류는 식(2-3)처럼 표현될 수 있다

$$I_n = \frac{Z_m}{Z_s} I, n = \frac{Z_m}{Z_s} \quad (2-3)$$

그러므로 대지에는 $(1-n)I$ 의 누설전류가 흐르게 되고 $(1-n)$ 은 상전류에 의한 유도전압을 감소하는 역할을 하게 된다.

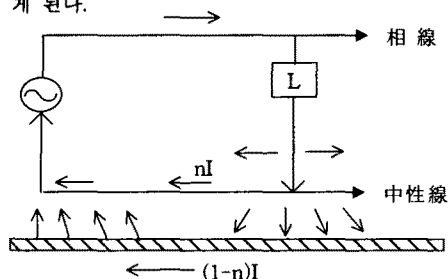


그림 1. 배전선로 등가도

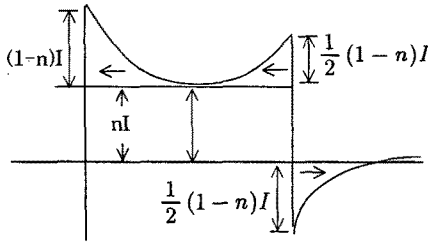


그림 2. 중성선 전류

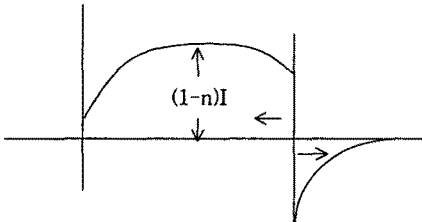


그림 3. 대지귀로전류

2.1.3 기본장주 형태에 따른 중성선 차폐효과

한국전력에서 사용하고 있는 22.9[kV] 다중접지 배전선은 기본 장주형태와 중성선 및 가공지선 선중에 따른 차폐효과가 존재하게 되며 잘 고찰하여 통신선의 유도전압을 계산하지 않으면 안된다.

전력선 또는 통신선의 근접에 대지를 귀로하는 폐회로를 구성하는 도체가 존재한다면 차폐효과는

$$\begin{aligned} I_t \cdot Z_{ts} + I_s \cdot Z_{ss} &= 0 \\ I_t \cdot Z_{tc} + I_s \cdot Z_{sc} &= E \end{aligned}$$

이와 같이 통신선에 나타나는 잠음전압은

$$\begin{aligned} \therefore E &= \left(Z_{tc} - \frac{Z_{ts} \cdot Z_{sc}}{Z_{ss}} \right) I_t \\ &= I_t \cdot Z_{tc} \left\{ 1 - \frac{Z_{ts} \cdot Z_{sc}}{Z_{ss} \cdot Z_{tc}} \right\} \end{aligned}$$

Z_{tc} : 전력선과 차폐도체의 상호인덕턴스

Z_{sc} : 차폐도체와 통신선의 상호인덕턴스

Z_{ss} : 차폐도체의 대지귀로 자기인덕턴스

I_t : 기유도전류

I_s : 차폐도체에 흐르는 전류

으로 표현된다.

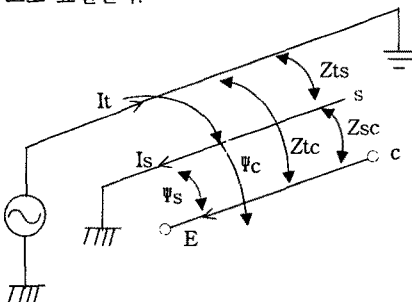


그림 4. 차폐에 의한 자기효과

즉 전력선과 통신선사이의 상호인덕턴스에 의해 유기되어지는 결합요소는 식(2-4) 만큼 감소하는 역할을 하게 된다.

$$1 - \frac{Z_{ts} \cdot Z_{sc}}{Z_{ss} \cdot Z_{tc}} \quad (2-4)$$

만약에 차폐도체가 통신선에 비해 전력선에 근접하여 있다면 $Z_{sc} \approx Z_{tc}$ 로 근사하는 것이 가능하므로 차폐효과는 상호인덕턴스 및 자기인덕턴스에 대한 카슨-폴라체크 (Carson-pollaczek) 간략식을 통해 식(2-5)으로 표현된다.

$$K^2 = 1 - \left[\frac{w \left(\frac{\pi}{2} + j4.6 \log_{10} \frac{2}{Ka} \right)}{R_s + w \left(\frac{\pi}{2} + j \left(\frac{\mu s}{2} + 4.6 \log_{10} \frac{2}{Ka} \right) \right)} \right] \quad (2-5)$$

d : 중성선과 전력선간 기하학적 평균거리

R_s : 중성선도체의 전기저항(Ω/km)

μ : 중성선도체의 비투자율

a : 중성선도체의 반경

$$K : 2\pi \sqrt{(2f \times 10^{-7})}$$

차폐도체 역할을 하는 배전선로에 쓰이고 있는 22.9[kV] 감성알루미늄연선(ACSR)의 주요특성은 표 1와 같다.

공칭단면적 [mm ²]	도체구성 [Nos/mm]	도체중량 [kg/km]	전기저항 [Ω/km]	허용전류 [A]
240	30/3.2	1110	0.1200	600
160	30/2.6	732.8	0.1820	460
95	6/4.5	385.1	0.3010	330
58	6/3.5	233.1	0.4970	240

표 1. ACSR 전력선 특성

2.2 상호인덕턴스

전력선에 의한 전자기적 결합을 야기하는 기유도전류와 함께 유도결합 요소인 상호인덕턴스는 유도전압계산에서 빼어놓을 수 없는 중요한 공식이다. 현재 정통부 기술고시에 나와 있는 상호인덕턴스 적용은 카슨-폴라체크 기본식을 따르고 있으나 실용화 하기위해 근사적으로 접근된 근사식을 사용하고 있다.

카슨-폴라체크 유도결합식은 대지저항률, 유도전류의 주파수, 그리고 전력선과 통신선의 기하학적인 배치에 따른 결합형태에 기인하게 되므로 정확한 대지저항률과 선간의 기하학적인 배치형태가 유도결합식의 정확도에 영향을 끼치게 된다. 대지의 다층효과는 상호인덕턴스의 계수를 계산하는 데 오차를 유발할 수 있으나 대체적으로 2층 이상으로 구성되어진 다른성분 대지에서도 동일한 도전율을 갖는 것으로 실험을 통해 밝혀졌다(주. CCITT Directive Vol2 p.141)

지 역 별	대지 고유 저항
시 또는 읍사무소 소재지역	100 Ωm
기 타 지 역	300 Ωm

표 2. 정통부 전력유도기술 고시 대지고유 저항치

상호인덕턴스에 의한 유도결합치의 또 다른 한 조건인 전력선과 통신선간의 기하학적 배치에 따른 노출형태는 결합량에 대한 카슨-폴라첵크 식을 달리 적용 시킬 수 있다. 일본의 경우 카슨식이 정밀도가 높은 계산식이지만 실용계산식으로 하기에는 조금 복잡한 면이 있어 深尾(심미)식의 실용계산식을 사용하고 유도계산식이 제한치를 초과할 경우 竹内식에 의한 계산을 사용하고 있다. 심미식은 실측 결과를 근거로 한 실용계산식이며 죽 내식은 카슨식을 활용한 간이 계산식이다.

2.2.1 카슨-폴라첵크(Carson-Pollaczek) 기본식

전력선에의 투영 길이가 L인 통신선의 전자유도에 관한 상호임피던스는 식 (2-6)과 같이 표현된다.

$$Z_{ij}[\Omega/km] = jw\frac{\mu_0}{2\pi} \log\frac{D_{ij}}{d_{ij}} + 2(\Delta R_{ij} + j\Delta X_{ij}) \quad (2-6)$$

식(2-6)에서 첫 항은 대지를 완전도체로 간주하고 주어진 임피던스이며 두 번째 항은 대지도전율을 고려한 오차 보정 값으로 표시되어진다. 카슨의 원식에서는 이 보정항이 무한의 적분으로 표현되어지며 대체적으로 첫 항보다 훨씬 큰 값으로 나타나게 된다. 카슨-폴라첵크의 상호인덕턴스 계산식은 실제 사용하기엔 너무 번거로운 과정을 거쳐야 하므로 컴퓨터에 의해 계산하던지 아니면 어느 정도의 오차를 보정한 근사식에 의하여 계산하여야 한다.

2.2.2 선로의 기하학적 배치에 따른 상호임피던스 값

상호인덕턴스는 K값에서와 같이 전력선과 통신선간의 이격거리가 증가 할수록 그리고 대지도전율이 증가 할수록 상호인덕턴스 크기가 줄어들어 양선간의 결합에 의한 유도전압이 감소함을 알 수 있다. 그림 (5)와 같이 전력선과 통신선이 z축과 평행하고 무한히 길때 전력선에 각속도 w의 교류전류 I가 흐르면 그 계에 모두 $exp(-rZ + jut)$ 인 성분을 갖는 맥스웰 방정식으로 이용하여 선간의 상호인덕턴스 및 자기기 임피던스 계산식을 구할 수 있다.

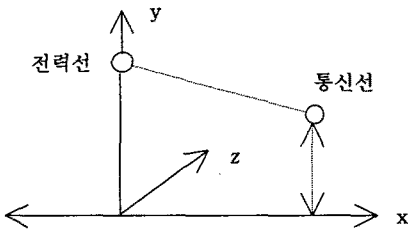


그림 5. 전력선과 통신선의 배치도

1) $Kd < 0.5$ 인 경우

$$M = [4.6 \log_{10} \frac{2}{Kd} - 0.1544 + \frac{2\sqrt{2}}{3} K(h+y) - j\frac{\pi}{2} - \frac{2\sqrt{2}}{3} K(h+y)] 10^{-4} [H/Km]$$

2) $10 > Kd > 0.5$ 인 경우

$$M = [4 \frac{KeiKd}{Kd} - j4 \frac{KerKd}{Kd} + \frac{1}{(Kd)^2}] 10^{-4}$$

3) $Kd > 10$ 인 경우

$$M = -j \frac{4}{(Kd)^2} 10^{-4} [H/km]$$

로 표현 되어진다. 대부분의 배전선로의 경우 $Kd < 0.5$ 인 경우에 해당된다.

3. 결 론

지금까지 전력선과 통신선간의 전자기적 유도결합에 의한 요소들을 살펴보았다. 먼저 기유도원으로 작용하는 전력선의 특성을 살펴보고 또한 결합요소인 상호인덕턴스에 대한 특성을 알아보았다. 한국전력에서 사용하고 있는 22.9[kV] 배전선로의 경우 3상4선식의 중성선의 경우 일반 상선처럼 부하전류가 흐르고 있으나 정통부 유도장해에 관한 고시에는 아직까지 중성선에 대한 상선 개념이 도입되어 있지 않아 상시유도장해에 대해서는 중성선과 가공지선에 의한 차폐효과만을 인정하고 있어 배전선로 중성선에 의한 유도전류원에 의한 분류효과에 대한 연구가 필요할 것이다. 아울러 상호인덕턴스의 경우 선로간의 기하학적인 배치와 대지도전율에 의한 정확한 적용을 통해 보다 정확한 유도량을 산출하고 통신선의 지중매설에 따른 상호인덕턴스의 경우 매우 작은 값을 갖는 것으로 ITU-T(구 CCITT)는 발표하고 있다. 실측과 모델링을 통한 상호인덕턴스 결합치에 대한 꾸준한 연구로 전력설비가 갖는 전실효과나 유도장해 피해치를 확보하여 이에 대한 대비가 요구된다.

[참 고 문 헌]

- [1] ITU-T, "Directives VolII", 1999
- [2] 정보통신부 고시 제2003-5호, 2003
- [3] 한국통신기술연구소, "특고압 배전선에 의한 통신선의 유도장해방지에 관한연구", 1979
- [4] 한국과학기술연구소, "직접접지 송전선 유도대책수립을 위한 용역보고서", 1973