

통신선로 유도장애 예측을 위한 유도전압산출 기술기준연구

Study on the Calculation Method for the Predetermination of Induced Voltage on Telecommunication Lines

이상무(S.M. Lee) 기술기준연구팀 선임연구원
이영환(Y.H. Lee) 기술기준연구팀 선임연구원
김용환(Y.H. Kim) 기술기준연구팀 책임연구원
조평동(P.D. Cho) 기술기준연구팀 책임연구원, 팀장

통신에 장애를 일으키는 주요한 요인으로서 전자기 현상의 가장 기초적인 원리인 인근 전력선에 의한 유도전압 발생 문제가 있다. 이것은 주로 강전류전선에 의한 영향으로서 전기의 송배전 지역 또는 전기철도 시설 등 고전압에 의한 통신 유도장애에 해당하는 문제이다. 이러한 강전류전선에 의한 유도장애에 대비 하려면 발생하는 유도전압을 미리 예측하여 산출하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 전력유도전압 산출 방법과 관련된 강제표준격인 현행 국가기술기준 고시에 대한 기술적 보완이 필요한 부분에 대하여 연구된 내용을 소개한다.

I. 서론

통신선에 대한 전력선에 의한 유도장애에 대비하기 위하여는 발생하는 유도전압을 미리 예측하여 계산할 필요가 있다. 이것은 단순히 통신에 대한 장애뿐만이 아니라 고전압 유출로 인한 인명 피해 및 손상 방지와도 관련이 있는 것으로서 강제표준격인 국가 기술기준 고시로서 고전압 방출 한계치를 정하고 있고 따라서 그러한 고전압이 얼마만큼 유도되는지에 대한 정량적 예측을 위한 산출방법을 정하여 고시하고 있다.

전력유도전압의 산출방법은 이론적으로도 매우 복잡한 연유로 그 기술기준 내용에 있어서 깊이 조정을 하지 못하고 있는 실정이다. 특히 최근에 고속전철 시설 사업이 그 시범 단계에 들어서면서 유도전압

방지 문제 해결과 시설 사업의 효율화를 위하여 예측 계산의 정확성과 구체성이 더욱 요구되고 있는 상황으로서 전력유도 전압 산출방법과 관련된 현행 기술 기준 고시(정보통신부고시 제2001-99호: 전력유도 의구체적산출방법에대한기술기준, 2001.11.28.)의 실제적 적용에 있어 미흡한 부분을 보완하여 전력유도 관련 시설 사업자들의 이해에 대한 절충과 필요한 규격요건 수립을 통한 합리적 기술기준 제도 정비를 목적으로 개정을 위한 보완이 검토되고 있다. 이를 위하여는 현행 기술기준 내용에 있는 전력유도전압 산출방법상의 문제점들에 대한 정형화된 규명을 이루고 문제 사안 조정 필요에 대한 타당성 검증을 통한 국내 현실과 사업자간의 이해에 맞는 합리적 계산 방법을 도출하도록 하고 있다.

이러한 상황 가운데 본 논문에서는 현행 기술기

준 내용상에서 기술적으로 적용하기 어려운 부분 및 실제적 적용이 가능한 보완을 위한 문제 진단을 위하여 그 기술내용 체계를 분석하고 국제기술 내용을 바탕으로 계산 방법을 좀 더 합리적인 방식으로 조정할 수 있도록 연구된 방안을 제시한다.

되다 미결된 채 일부 조항만 수정하여 2001-99호 (2001.11.28.)로 개정 고시되었다. 고시 연혁을 표로 나타내면 <표 1>과 같다[1]-[6].

II. 기술내용 분석

1. 기술기준 고시의 연혁

전력유도전압 산출방법을 위한 기술기준 고시는 1986년 7월 1일에 당시 체신부고시 제70호로서 최초 고시되었다. 그리고 1997년에 상당수 주요한 부분들에 대한 내용 보완 작업이 이루어져 정보통신부 고시 제118호로서 개정 고시되었으며 작년에 다시 사업자들간의 시설 이해에 필요한 요건 조정이 논의

2. 조항 구성의 특징

유도전압 산출방법과 관련된 산식이 매우 복잡하고 다양한 관계로 기술기준 고시의 조항 구성에 따른 내용 체계를 미리 염두에 두는 것이 전체적인 시스템과 기술 이해를 위하여 필요하여 <표 2>와 같이 정리하여 나타내었다[4]-[6].

유도전압 유형의 대분류에 의하면 본 기술 내용에 해당하는 조항은 세 부문으로 이루어져 있다. 우선 이중 세번째인 제5조 대지전위 상승에 의한 이상시 유도위험전압의 산출방법은 수식이 간단하여 달리 언급할 사항은 없다. 일단 모든 수식과 관련된 표기

<표 1> 전력유도 관련 고시의 연혁

No.	고시번호	공표일	고시명	주요 변화내용
1	체신부고시 제70호	1986.7.1.	전력유도전압의 구체적산출방법	<최초 고시>
2	체신부고시 제72호	1990.7.27.	전력유도전압의 구체적산출방법	서문상 근거 조항 변경: 전기통신설비의 기술기준에 관한 규칙 제31조 3항 → 제19조 3항
3	정보통신부고시 제197-118호	1997.12.31.	전력유도의 구체적산출방법	<ul style="list-style-type: none"> • 선로구분에 따른 전기통신회선의 평형도(λ)를 46dB 이상으로 통일 • 직류전철 시설에 의한 유도산식 삭제 • 터널차폐계수: AT 방식 1km 기준 분리 적용 • 전기통신선의 차폐계수: LAP형 계수 추가 • 지락저항(R_g)의 거리별 세분화 등
4	정보통신부고시 제2001-99호	2001.11.28.	전력유도의 구체적산출방법에 대한 기술기준	<ul style="list-style-type: none"> • 평형도에 대한 용어의 정의 삽입 • 전기통신회선의 평형도에 대한 근거 조항 명시 삭제

<표 2> 전력유도 기술기준고시 조항 구성의 특징

조항		별표처리	비고
제3조 전력선에 의한 유도전압 산출방법	1. 가공송전선에 의한 이상시 유도위험전압 예측 계산식	[별표 1]	<ul style="list-style-type: none"> • 계수의 적용은 합리적이고 보편화된 과학적 산출지, 실측치, 또는 실험치를 사용 • 적용하기 곤란할 경우에 별표를 사용
	2. 가공배전선에 의한 유도전압 예측계산식	[별표 2]	
	3. 지중 송-배전선에 의한 유도전압 예측계산식	[별표 3]	
제4조 전철시설에 의한 유도전압 산출방법	1. 흡상변압기 급전방식의 교류전철시설에 의한 유도전압 예측계산식	[별표 5]	<ul style="list-style-type: none"> • 계수의 적용은 합리적이고 보편화된 과학적 산출지, 실측치, 또는 실험치를 사용 • 적용하기 곤란할 경우에 별표를 사용
	2. 단권변압기 급전방식의 교류 전철시설에 의한 유도전압 예측 계산식	[별표 6]	
제5조 대지전위 상승에 의한 이상시 유도위험전압 산출방법		[별표 8]	

들은 별표로 정리되어 있고 특히 각 수식에 사용되는 계수들에 대한 내용이 복잡한 관계로 각 유도전압 대분류 유형별로 계수들에 대한 내용만 다시 따로 별표로 정리되어 있다. 그리고 대부분의 계수들에 대한 내용은 적절한 항목 구분 방식에 의하여 표로써 적용할 수치들을 제시하고 있는데 <표 2>에 기술되어 있는 바와 같이 전력선에 의한 유도전압 산출방법에 있어서 가공지선의 차폐계수(K_{11}) 및 분류계수(K_{12}), 지중송배전선의 분류계수(K_{32})는 직접 산식에 의하여 산출하도록 되어 있다.

이러한 계수 이용표들을 적용하는 것이 우선적인 것은 아니며 먼저 과학적 산출치, 또는 합리적 계산 방법 및 실험치 등이 있다면 그러한 것을 적용하고 그것이 곤란하다면 제시된 표를 사용하도록 전제화 하고 있다.

3. 산출방법 유형 체계

상기 고시조항 내용에 따라 세부적인 유도전압 산출식들을 정리하면 (그림 1)과 같은 체계로 분류된다.

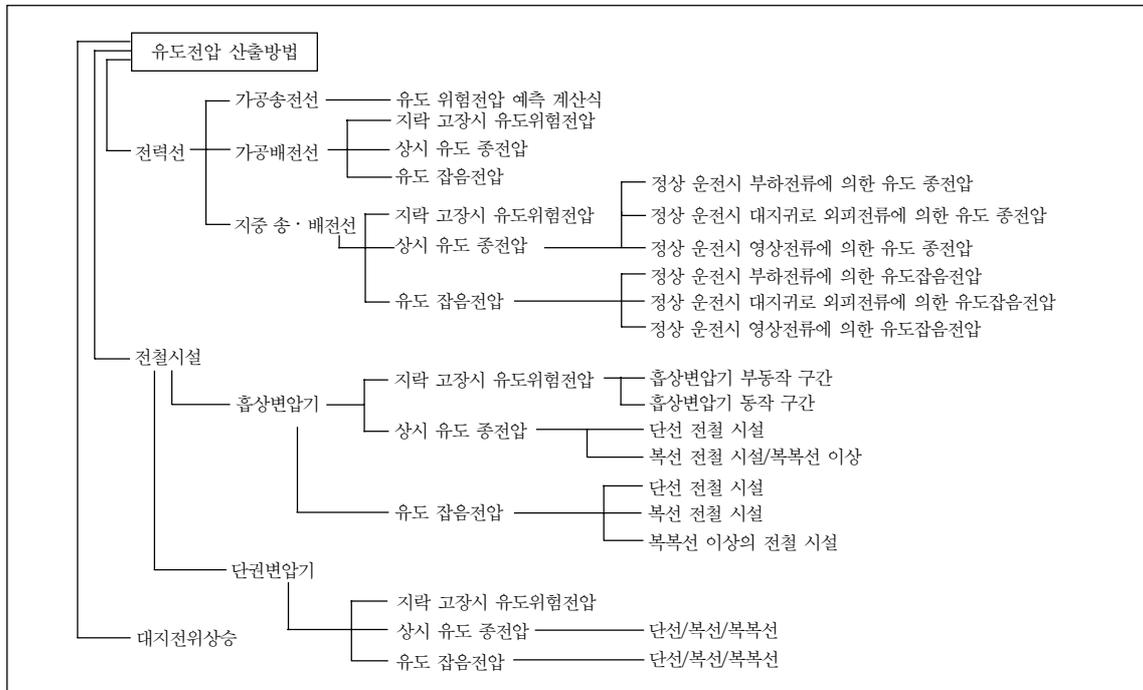
앞선 조항 구성에서와 같이 세 개의 대부분으로 나누어지며 각각의 세목안의 분류는 지락고장시 유도위험전압, 상시유도종전압, 유도잡음전압으로 동일한 것이다. 지중송배전선의 최종 세부 분류들은 정상운전시 부하전류에 의한 유도종전압, 정상운전시 대지귀로 외피전류에 의한 유도종전압, 정상운전시 영상전류에 의한 유도종전압으로 역시 동일한 것이다.

전철시설의 경우에 있어서는 흡상변압기의 지락고장시 유도위험전압의 경우 흡상변압기 부동작 구간과 동작 구간으로 나누어지며 나머지 다른 하위 분류들에 대한 산식은 모두 전철시설의 복합성인 단선전철 시설 또는 복선전철시설 및 그 이상의 복합에 대한 산식으로 나누어진다.

4. 산식 분석

가. 유도전압 공통산식 국제기술 비교

유도전압 공통산식과 관련된 주요 기술 내용을



(그림 1) 유도전압 유형 체계

<표 3> 유도전압 기본 산출식 국제비교

국가	전압	저항성분	계수류	기유도전류	인수해설	
국내	$V_f = \sum$	$j\omega M$	l	K_n [C]	$I_{(s)}$	K_n : 종합차폐계수, C: 비K류
ITU	$E_i =$	Z_i	l_i	$K_{(i)}K_{e(i)}$	$I_{e(i)}$	Z_i : 상호임피던스 ($j\omega M$) $K_{(i)}$: 피유도선측 차폐도체의 차폐계수 $K_{e(i)}$: 기유도선측 차폐도체의 차폐계수
일본(NTT)	$V_{(s)} =$	$M_{(s)}$	l	$K_{(x)}$ (λ)	$A_{(s)}$	$A_{(s)}$: 유도전압 유형별 각 주파수와 교류전철 시설의 Amp·km를 포함한 기유도치의 계산식
프랑스(SNCF)	$E =$	ωM	L	K	I_c	K : 종합경감계수($K_d K_r K_T$), I_c : 커티너리 전류의 크기

<표 4> 유형별 산식 - 전력선 부문

No.	유형	산식
1	가공송전선	$V_f = \sum (K_3 K_7 K_{11} K_{12}) M$ $j\omega l \cdot I_g$
2	가공배전선	지락고장 $V_f = \sum (K_3 K_7 K_{21} K_{22}) M$ $j\omega l \cdot I_g$
3		상시유도중전압 $V_L = \sum (K_3 K_7 K_{21}) M$ $j\omega l \cdot I_n$
4		유도잡음전압 $V_n = \sum (\eta a V_f) 10^3$
5	지중송배전선	지락고장 $V_f = \sum (K_3 K_7 K_{31} K_{32}) M$ $j\omega l \cdot I_g$
6		상시유도중전압 $V_L = \sqrt{(V_{L'}^2 + V_{Ls}^2 + V_{Lo}^2)}$
7		부하전류 $V_f = \sum (K_3 K_7 K_{31}) M a + a^2 M_b + a M_c$ $j\omega l \cdot I_e$
8		외피전류 $V_s = \sum (K_3 K_7 K_{21}) M$ $j\omega l \cdot I_s$
9		영상전류 $V_0 = \sum (K_3 K_7 K_{s0}) M$ $j\omega l \cdot I_0$
10		유도잡음전압 $V_n = \sqrt{(V_{en}^2 + V_{sn}^2 + V_{on}^2)}$
11		부하전류 $V_{en} = \sum (K_{1n} K_{3n} \lambda M_a + a^2 M_b + a M_c) j\omega_{nl} \cdot I_{en} 10^3$
12		외피전류 $V_{sn} = \sum (K_{3n} \lambda M_n) j\omega_{nl} \cdot I_{sn} 10^3$
13	영상전류 $V_{on} = \sum (K_{3n} K_{0n} \lambda M_n) j\omega_{nl} \cdot I_{on} 10^3$	

비교하면 <표 3>과 같다.

각각의 산식의 여러 유형별 대표성에 따른 공통식을 표시한 것이다. 그러한 차원에서 인수 중 괄호 첨자를 사용한 것은 그 인수가 여러 가지 형태를 가질 수 있음을 의미한다. 국가별로 표기상의 차이가 있을 뿐 기본 구조는 동일한 것임을 알 수 있다.

나. 유도전압 일반식(공통기본식)

유도전압에 관한 일반식은 전기의 기본 법칙인 ‘옴의 법칙’에 의한 것으로서 원리적으로는 단순한 것이다. 기본식은 (1)과 같다.

$$V_f = C(j\omega Ml) \cdot I \tag{1}$$

M: 상호인덕턴스

l: 전력선과 전기통신선의 병행 거리

C: 계수류

다. 유형별 산식

유도전압 유형 체계에 따른 국내 기술기준 고시상의 각종 유도전압 산식을 인수별 비교가 가능하도록 망라하여 정리하면 <표 4> 및 <표 5>와 같이 된다.

산식에서 계수류 C는 K류와 비K류로 나뉜다. 산식의 전단에 이러한 계수류들이 모여 있다. 교류전철시설에 의한 유도전압 산식에서는 대부분 계수류를 대표시킨 방식으로서 각 계수를 직접 표시하지 않고 K만으로 표시하고 있다. 이 K는 각종 차폐계수 중 필요한 계수들의 곱으로서 K_3, K_4, K_5, K_7, K_8 을 함유하고 있으며 단권변압기 급전방식에 대한 산식에서의 K는 $K_{3n}, K_4, K_6, K_7, K_8$ 을 함유한 것이다. 아울러 K_{nf} 는 기수고조파 차수에 대한 각종 차폐계수로서 K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 들을 함유한 것이다. 그리고 전철시설의 합성전압 산출에 대한 것에서 기본은

<표 5> 유형별 산식 -교류전철 시설 부문

No.	유형	산식	
14	지락고장	$V_a = V_0 + \sum V_1$	
15	흡상 변압기	부동작구간 $V_0 = \sum (K \quad 1-n \quad M \ j\omega l_0 \cdot I_a)10^{-6}$	
16		동작구간 $V_1 = \sum (K \quad K_A \quad M \ j\omega l_1 \cdot I_a)10^{-6}$	
17		상시유도중전압 $V_L = \sum (K \quad 1-n \quad M \ j\omega l \cdot I_L)10^{-6}$	
18		유도잡음전압 $V_n = \sum (K \quad \lambda (1-n)-n \quad M_n \ j\omega_n l \cdot J_p)10^{-3}$	
19		일반전회회선	
19		양방향 중계기외 $V_a = \sum (K_{nf} \quad K_{3n} \quad \lambda (1-n)S_{nf} \ G_{nf} \ M_{nf} \ j\omega_{nf} l \cdot J_{nf})^2 10^{-3}$	
20	양방향 중계기	$V_n = \mu \quad V_n(\text{일반전회})$	
21	단권 변압기	지락고장 $V_a = \sum (K_3 \ K_4 \ K_6 \ K_7 \quad M \ j\omega l \cdot [\text{Amp} \cdot \text{km}/D] I_a)10^{-6}$	
22		상시유도중전압 $V_L = \sum (K_3 \ K_4 \quad K_7 \ K_8 \quad M \ j\omega l \cdot [\text{Amp} \cdot \text{km}/D] I_L)10^{-6}$	
23		유도잡음전압 $V_n = \sum (K \quad \lambda \quad M_n \ j\omega_n l \cdot [\text{Amp} \cdot \text{km}/D] J_p)10^{-3}$	
23		일반전회회선	
24		복선전철시설	$V_n(\text{합성}) = \sqrt{(V_{1n}^2(\text{상}) + V^2(\text{상}_{12n}) + V_{2n}^2(\text{하}) + V^2(\text{하}_{12n}))}$ $V_{cn}(\text{합성}) = 1.41 \sqrt{V_{1n}^2(\text{상}) + V^2(\text{상}_{12n})}$ $V_{1n}(\text{상}) = \sqrt{(V_{1n}^2(\text{상}) + V^2(\text{상}_{12n}))}$ $V_{2n}(\text{하}) = \sqrt{V_{2n}^2(\text{하}) + V^2(\text{하}_{12n})}$
25		대지전위상승	$V = \rho I / 2\pi D$

<표 6> 각종 계수의 분류

No.	계수분류	계수표기	계수명	특성/해설
1	차폐계수	K_1	전차차폐	보안용 전차차폐선의 차폐계수
2		K_3	전기통신선의 차폐계수	전기통신선 자체의 차폐케이블 등의 사용으로 인한 차폐계수
3		K_4	터널차폐계수	
4		K_6	고가차폐계수	
5		K_8	타케조효과	전철시설에 의한 유도전압 산출계수
6		K_{0n}	800Hz 영상전류 차폐계수	800Hz에서의 영상전류에 대한 지중전력선의 차폐계수
7		K_{11}	송전선 가공지선	
8		K_{1n}	자중전력선 차폐계수	800Hz
9		K_{21}	중성선 차폐계수	배전선의 중성선
10		K_{31}	지중송배전선의 차폐계수	
11		K_{3n}	800Hz 전기통신선	
12		K_{50}	60Hz 영상전류 차폐계수	60Hz에서의 영상전류에 대한 지중전력선의 차폐계수
13		K_{nf}	기수고조파 차폐계수	흡상변압기 전철시설에서의 기수고조파 차수에 대한 각종 차폐계수
14	저감계수	K_7	유도저감계수	통신케이블 조수에 의한 유도 저감계수
15	분류계수	K_{12}	가공송전선의 분류계수	
16		K_{22}	가공배전선의 분류계수	
17		K_{32}	지중송배전선의 분류계수	
18	경감계수	a	유도잡음경감계수	전력선 가공배전선의 유도 잡음 경감계수
19		K_A	유도경감계수	단·복선 전철에 있어서 흡상변압기 유도에 대한 경감계수
20	잡음계수	S_{nf}	평가잡음계수	
21	평형도	λ	전기통신회선의 평형도	
22		λ_{nf}	기수고조파 회선평형도	
23	함유율	η	평가잡음함유율	전력선 가공배전선
24		I_{nf}	고조파함유율	전철시설 흡상변압기
25	레조효과	$1-n$	60Hz 레조효과	
26		$(1-n)n$	800Hz 레조효과	
27	분류효과	K_5	분류효과	교류전철시설의 경우에 적용되는 계수로서 소구간내 통신선 병행
28	(증강계수)	μ	중계기 이득	
29		G_{nf}	기수고조파 이득	기수고조파에 의한 중계기의 이득

단선전철 시설에 대한 것이며 흡상변압기에 의한 복선전철 적용 전압 합성식은 두 개 전압만의 합성인 단순한 관계로 표기하지는 않았다.

지중송배전선에서의 상시유도종전압과 유도잡음 전압은 하위 분류 전압들의 계산식에 의한 합성전압으로서 계산되는 식이다.

5. 계수 분석

산식에 포함되어 있는 각종 계수들의 유형을 정리하면 <표 6>과 같은 체계로 나타내진다. 계수류 중 고시에 표기는 되어 있으나 실제로 무슨 계수인지에 대해서는 명시되어 있지 않은 것으로서 K_2 가 있다. 대표적인 계수류는 K류에 해당하는 차폐계수라 할 수 있으며 이들은 모두 유도전압의 효율을 떨어뜨리는 효과를 가지고 있다[6].

III. 문제 분석

1. Amp·km

단권변압기인 AT 급전방식에 의한 고속전철시설의 유도전압 산식 중 기유도전류 계산시 Amp·km라는 인수를 적용하여 산출하여야 한다. Amp·km란 어느 일정 소구간에서의 부하전류(또는 등가방해전류, 전차선 지락시 고장전류 등) 1[A]에 대한 평균적 기유도전류와 당해 구간 길이와의 적으로서 부하의 위치, 급전회로 위치 등에 따라 변하는 값이며 당해 기술기준 고시에서는 단지 $(1-n)IK_5D$ 로만 표기하고 있고 다른 해설이 없는데 정의가 불충분하므로 과학적 이론에 부합하도록 보완하여 정의할 필요가 있을 것으로 여겨진다.

Amp·km를 계산함에 있어서 흡상변압기 급전 방식(BT 방식)과 같이 전기적 회로가 비교적 간단한 경우에는 집중정수를 사용한 손실전송방정식으로 해가 구해지지만 AT 방식과 같이 선로전류가 대단히 복잡한 형태로 흐르는 회로망에서는 고시된 식만으로 전류분포를 계산하는 것은 불가능하다. AT 방식에서는 복잡한 급전회로 때문에 간단한 정량화가 불

가능하여 집중정수가 아닌 분포정수에 의한 손실전송방정식(다도체계산법)에 의하여 대지누설전류를 구하여야 한다.

다도체계산법은 ITU-T의 Directive인 “concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines” 중 제3권 (CAPACITIVE, INDUCTIVE AND CONDUCTIVE COUPLING: PHYSICAL THEORY AND CALCULATION METHODS)에 나와 있다[7].

이와 관련된 국제기술로서는 일본 NTT의 경우에도 이 방법을 사용하고 있으며, 이탈리아의 Sirti에서도 16개 도체까지 처리 가능한 다도체계산법을 사용하고 있다.

2. 타케조효과(K_8)

정보통신부 고시의 타케조효과와 기준은 BT 급전방식에 적용되는 기준으로서 AT 급전방식의 고속철도에는 적당하지가 않다. 흡상변압기에 대한 기준에 있어서도 레일과 타케조의 병행 거리가 3km 이상일 경우에 대해서는 값이 제시되어 있지 않다.

이에 대하여는 역시 ITU Directive에 나와 있는 (Vol. II 4.3.2) 기본 산식(2)와 일본의 자료 ‘유도’에 나와 있는 기유도선이나 차폐도체의 길이가 짧은 경우의 end-effect를 고려한 수치 도입표를 병합하여 산출할 수 있다[8].

$$K_8 = K_{30} + (1 - K_{30})e^{-r/l/2} \quad (2)$$

$$K_{30} = 1 - \frac{Z_{23}Z_{31}}{Z_{33}Z_{21}} \quad (3)$$

Z_{23} : 통신선과 타케조간의 대지귀로 상호임피던스[Ω/km]

Z_{31} : 전차선과 타케조간의 대지귀로 상호임피던스[Ω/km]

Z_{21} : 전차선과 통신선간간의 대지귀로 상호임피던스 [W/km]

Z_{33} : 타케조의 대지귀로 자기임피던스[W/km]

3. 도시차폐계수(K_x)의 사용 문제

도시차폐계수란 특히 건물 등이 많은 도심 및 그 인근 지역에서 여러 건축물 또는 접지 시설물 등에 의하여 유도전압의 발생에 대한 차단 효과를 갖고 있는 것을 말한다. 이에 대하여 현행 기술기준 고시에서는 도입을 하지 않고 있지만 ITU Directive Vol.VII에서는 도시차폐계수가 전체 유도전압 감쇄 효과에 있어서 주요한 부분(major part)이 될 수 있음을 밝히면서 그 값의 계산은 불가능하며 측정에 의해서만 결정될 수 있는 것으로 규정하여 밝혀지지 않은 접지된 금속구조물 등에 의한 차폐효과에 대해 지역별로 아래와 같은 경험적 기대치를 제시하고 적용할 것을 권고하고 있다.

- 도심지대(downtown cities): 0.1 ~ 0.2
- 교외지역(suburban areas): 0.4 ~ 0.6
- 촌락지역(countryside): 0.8 ~ 1.0

일본의 경우에는 ‘고속철도연구’에서 실측에 기반하여 지역별 그 실측값을 제시하고 있으며, 이탈리아를 비롯한 유럽표준안에서도 ITU와 같은 범위의 값을 제시하고 있다[9].

4. 수식을 적용할 수 있는 항목들

가. 전기통신선의 차폐계수(K₃)

현행 고시상에는 선로시설별, 선종별로 표에 의해 주어진 계수를 사용토록 되어 있는데 새로운 케이블 제조기술에 의한 통신선의 차폐특성 향상 및 신종케이블이 발생할 경우 차폐계수 적용이 곤란해질 수 있는 잠재적 문제점이 있다. 따라서 이 계수를 ITU Directive Vol.II에서 금속시스템통신케이블의 차폐효과와 일본 자료 유도(상 2.2.12.2)의 통신케이블의 차폐계수에 제시되어 있는 (4)와 같은 산출식에 의하여 계산할 수 있다.

$$K_3 = \frac{R_s + \frac{R_a + R_b}{l}}{R_s + Z_E + R_A + \frac{R_a + R_b}{l} + jX_A} \quad (4)$$

- R_s: 케이블 시스의 직류저항[Ω/km]
- R_a, R_b: 케이블의 접지저항[Ω]
- l: 전차선과 전기통신선과의 병행 거리[km]
- Z_E: 케이블 시스의 대지귀로 외부임피던스[Ω/km]
- R_A: 강대내(자성체)의 손실저항[Ω/km]
- X_A: 강대의 자속에 의한 리액턴스[Ω/km]

나. 통신케이블 조수에 의한 유도저감계수(K₇)

ITU Directive Vol.III(4.3.6.6)의 여러 통신케이블들의 근접과 일본 자료 유도(상 3.4.3.3)의 다조 효과에 제시되어 있는 산출식을 사용하여 (5)에 의하여 계산으로 처리할 수 있다.

$$K_7 = \frac{R_s + n \frac{R_a + R_b}{l}}{R_s + Z_E + (n-1)(Z_{tk})_{mean} + n \frac{R_a + R_b}{l}} \quad (5)$$

- R_s: 케이블 시스의 직류저항[Ω/km]
- R_a, R_b: 케이블의 접지저항[Ω]
- l: 전차선과 전기통신선과의 병행 거리[km]
- Z_E: 케이블 시스의 대지귀로 외부임피던스[Ω/km]
- (Z_{tk})_{mean}: 강대내(자성체)의 손실저항[Ω/km]
- n: 케이블 조수

다. 상호인덕턴스(M)

현행 고시에는 Carson-Pollaczek 식에 의한 다고만 되어 있는데 이에 대하여 (6) 내지 (8)과 같은 선로구간 형태별로 명시하고 ITU Directive Vol.II(4장)에 제시되어 있는 적용 조건에 맞는 공식을 구분 선택하여 사용토록 하는 것이 실제적이라 할 수 있다.

- 평행구간:

$$M = \{2 \times 10^{-4} \ln D_{TC}/d_{TC} + 2(\Delta R_{TC} + j\Delta X_{TC})/j\omega\} 10^6 \quad [\mu H/km] \quad (6)$$

- 경사구간: M = [S(x₂)-S(x₁)]/(x₂-x₁)

$$[\mu\text{H/km}] \quad (7)$$

- 교차구간: $M = [S(x_2) + S(x_1)] / (x_2 + x_1) [\mu\text{H/km}]$

$$= \text{Re } S(x) + j \text{Im } S(x)$$

$$= \int_0^x \text{Re } M(x) dx + i \int_0^x \text{Im } M(x) dx \quad (8)$$

$$S(x) = \int_0^x M(x) dx \quad (9)$$

$S(x)(S(x_1) \text{ or } S(x_2))$ 는 복소함수로서 (9)와 같이 정의된다.

5. 수식 적용이 곤란한 계수

어떤 계수의 경우에는 산출식은 있으나 실제 적용이 곤란한 경우도 있는데 터널차폐계수(K_4)와 고가차폐계수(K_6)가 그것이다.

이에 대하여 ITU의 경우에는 별도의 제시된 산식이 없으며 일본의 경우에는 (10) 및 (11)과 같은 수식을 제공하고 있다.

$$K_4 = \frac{1 - n_0 - 2n'_0}{1 - n}$$

$$n_0 = \frac{Z_{12}(Z_{33} + Z'_{33}) - 2Z_{13}Z_{23}}{Z_{22}(Z_{33} + Z'_{33}) - 2Z_{23}^2} \quad (10)$$

$$n'_0 = \frac{(Z_{13}Z_{22} - Z_{12}Z_{23})}{Z_{22}(Z_{33} + Z'_{33}) - 2Z_{23}^2}$$

$$K_6 = \frac{Z_{13}[2Z_{23} - (Z_{22} + Z'_{22})] - (Z_{12} + Z'_{12})(Z_{33} - Z_{23})}{(1 - n)[(Z_{22} + Z'_{22})Z_{33} - 2Z_{23}^2]} \quad (11)$$

- Z_{12} : 전차선과 레일간의 대지귀로 상호임피던스[W/km]
- Z_{13} : 전차선과 철골간의 대지귀로 상호임피던스[W/km]
- Z_{23} : 레일과 철골간의 대지귀로 상호임피던스[W/km]
- Z'_{33} : 전차선과 철골간의 대지귀로 상호임피던스[W/km]
- Z_{22} : 레일의 대지귀로 자기임피던스[W/km]
- Z_{33} : 철골의 대지귀로 자기임피던스[W/km]

터널차폐계수의 계산식은 이론적으로 정립된 식으로서 터널을 구성하는 철골이 간단한 몇 개의 도체로 구성되어 있지 않고 수많은 철골들이 그물망 형식으로 복잡한 구성 형태를 취하고 있어 이것들을 두 개의 도체로 등가화하기 힘들기 때문에 Z_{13} , Z_{23} , Z_{33} , Z'_{33} 등을 구하기가 어려워 계산하기가 곤란하다. 그러나 고가차폐계수의 경우는 터널에서와 같은 철골의 그물망 구조에 비하면 직선 구조의 성격이 강하고 일본에서 신간선 고가에 대한 실제 배치에 따른 등가도체화를 구사하여 계산된 수치를 산출하고 있어 산식 이용의 가능성이 검토될 수 있다.

6. 기타

가. 궤도누설저항(R_0)

Amp·km 계산시 적용되는 계수로서 궤도의 구조, 대지도전율, 기후 조건 등에 의해 변화되는 특성을 가지고 있다.

현행 고시에는 2Ω 를 적용토록 되어 있으나 일본의 경우는 측정치로서 $5 \sim 10\Omega \cdot \text{km}$ 를 기본으로 적용하고 신간선의 경우 역시 측정치로서 $10\Omega \cdot \text{km}$ 를 제시하고 있다. 프랑스의 경우는 TGV에 있어서 신호 요구조건상 $8\Omega \cdot \text{km}$ 이상을 제시하고 있어 국내의 궤도누설저항이 비교적 낮게 책정되어 있는 것으로 여겨지므로 상향 조정에 대한 검토가 요구된다.

나. 전차차폐선의 차폐계수(K_1)

기본 산식은 (12)와 같다.

$$K_1 = 1 - Z_{e1} / Z_{11} \quad (12)$$

Z_{11} : 차폐도체의 대지귀로 자기임피던스

Z_{e1} : 기유도선과 차폐도체간의 대지귀로 상호임피던스

BT 급전방식과 같이 비교적 간단한 회로에서는 별도로 계산해도 되나 AT 급전방식과 같이 전류분포가 복잡한 회로의 경우 기유도선과 보안용 전차차폐선이 근접해 있는 이유로 다도체법에 의해 Amp·km 계산시 포함하여 계산하는 것이 바람직하다.

다. 산식과 관련된 문제

1) 일부 계수의 사용 문제

단권변압기에 의한 지락 고장시 유도위험전압 산식에서 타케조에 의한 차폐계수(K_8)가 들어가 있지 않으며 역시 단권변압기에 의한 상시 유도중전압의 계산에 있어서 고가차폐효과(K_6)가 들어가 있지 않아 계산상의 균형이 맞지 않는 문제가 내포되어 있다.

2) 합성유도전압의 산출방법에 있어서 현행 기술 내용은 유도잡음전압에 해당하는 복수 부하인 경우, 부하 각각에 의한 유도전압을 산출하여 이들을 전력화(벡터합성)하도록 되어 있고 복선인 경우에는 상·하행선 각각에 의한 유도전압을 산출하여 상시 유도중전압의 경우에는 산술합성을 하고 유도잡음전압의 경우에는 벡터합성을 하는 것으로 되어 있다.

여기에서 문제가 될 수 있는 것은 ITU Directive에서는 역시 다도체법을 사용하여 각 조건별로 합성요소를 모두 포함하여 계산한 기유도전류에 의하여 유도전압을 계산하도록 권고하고 있다는 것이다.

따라서 이에 대한 조정 방법으로는 상기의 두 가지 방법을 기초로 하되 복수 부하인 경우에는 지락시 유도위험전압 계산도 포함하여 다도체법을 사용하여 계산하도록 하고 부하 각각에 의한 유도전압을 산출하여 합성하도록 한다. 그리고 기본과에 의한 유도전압은 서로 동상이므로 산술합성(지락고장시의 경우는 제외한다)을 하고 고조파에 의한 유도전압은 동상이 아니므로 벡터합성을 한다. 복수전선인 경우에도 지락시 유도위험전압 계산은 제외하여 다도체법을 사용토록 하고 상·하행선 각각에 의한 유도전압을 산출하여 합성하도록 한다. 최종적으로 이들 중에서 최대 합성유도전압을 찾도록 한다.

IV. 결론

기본적으로 현재 기술기준의 내용을 현실적 계산 방법의 수용성과 정확도를 향상시킨다는 차원에서 보완해 나가야 할 것이다. 이를 위하여 앞의 예들에

서 설명하였듯이 우선 부적합한 현행 기술 내용의 보완을 위한 타당한 국제 기술규격(산출방법기술)을 도입하도록 한다. 그 대표적인 예가 AT 급전방식에 의한 고속전철 시설과 관련된 단권변압기에 의한 유도전압 산출방법에 있어서 흡상변압기에 의한 기술방법을 그대로 사용하는 것은 기술적으로 부적합한 것이므로 이에 대하여는 국제 기술규격인 ITU Directive의 내용을 활용하여 다도체계산법을 사용할 수 있는 시스템으로 조정하도록 하는 것이다.

그리고 수식을 직접 사용할 수 있는 것이라면 표에 구분 항목별로 제시된 값을 사용하는 편리성도 있겠지만 정확성과 수용성을 높인다는 차원에서는 계산법을 도입하여 직접 사용하는 방법을 검토하여 적용토록 한다. 이러한 계산 수식 적용이 가능한 계수 또는 인수의 예가 타케조효과(K_8)와 전기통신선의 차폐계수(K_3), 통신케이블 조수에 의한 유도저감 계수(K_7) 및 상호인덕턴스의 병행 구간 형태별 계산 수식을 명시하도록 하는 것 등이다.

특히 현안 사업자들 간의 쟁점 이슈가 되고 있는 도시차폐계수의 사용과 관련하여서는 차폐원의 복합성으로 인하여 계산은 불가능한 것으로 인정되고 있으므로 가능한 지역 그룹별 평균적 실측을 통한 그 차폐효과 존재의 실상을 확인하고 그러한 정당성을 근거로 국내 실정에 맞는 적용 기준안을 마련하여 도입하도록 하면 좋을 것으로 여겨진다.

이외에 일부 산식 기술 및 계수 표기상의 오류 등을 수정 보완토록 한다.

참고 문헌

- [1] 한국통신사업자연합회, 고시 제72호 개정(안), 1997. 9.
- [2] 한국통신사업자연합회, 전기통신기술기준의 운용조건개선연구, 한국전자통신연구원, 2001. 11. 30.
- [3] 체신부고시 제70호, 1986. 7. 1.
- [4] 체신부고시 제72호, 1990. 7. 27.
- [5] 정보통신부고시 제1997-118호, 1997. 12. 31.
- [6] 정보통신부고시 제2001-99호, 2001. 11. 28.
- [7] ITU-T Directives - concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects

- from electric power and electrified railway lines/
VOLUME III. CAPACITIVE, INDUCTIVE AND CONDUCTIVE COUPLING: PHYSICAL THEORY AND CALCULATION METHODS
- [8] *ITU-T Directives* – concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines/
Volume II. Calculating induced voltages and currents in practical cases
- [9] *ITU-T Directives* – concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines/
VOLUME VII. PROTECTIVE MEASURE AND SAFETY PRECAUTIONS
- [10] 한국과학기술원, 통신유도전압 예측계산표준 설계 최종보고서, 1993. 10.