

통신 케이블 쉬스 층 접지가 전력선 전자유도 전압 측정에 미치는 영향

이상무*

¹한국전자통신연구원 표준연구센터

Effect of the Sheath Layer Ground of Telecommunication Cable to Induced Voltage Measurement

Sangmu Lee^{1*}

¹Protocol Engineering Center, Electronics and Telecommunications Research Institute

요약 통신 회선에 대한 전력선 전자유도 전압을 측정할 때, 일반 통신 케이블의 쉬스 층 및 측정 대상 통신 회선 접지의 상호 접속 관계에 따른 전압 변화를 비교 분석하였다. 케이블 양측 쉬스 접지 저항이 평균 42.6 Ω 으로 유사한 상태에서 쉬스를 분리 접지하고 유도 전압을 측정하면 쉬스 접지를 하지 않은 상태에서 측정한 유도 전압에 대하여 10 % 미만 감소된다. 어느 한 쪽을 공통으로 접지하면 약 50 % 감소되고 양측을 모두 공통으로 하면 90 % 넘게 감소된다. 이것은 국제전기통신연합(ITU)에서 제공하는 계산식으로 계산하였을 때의 결과와 유사한 것으로 분석되었다. 아울러 ITU의 계산식을 활용하여 양측 쉬스 접지 저항 값을 변화시킬 때의 유도 전압 변화를 시뮬레이션하여 비교 분석한 결과, 실제 현장에서 쉬스 접지 저항 기준이 100 Ω 이고 전화 국사의 저항이 보통 10 Ω 이하인 점을 감안할 때 측정 오차율은 약 10 % 이하가 된다.

Abstract The change in induced voltage according to the relationship of ground connection between the aluminum sheath layer and a conductor pair in a general telecommunication cable is analyzed. When a measurement is practiced under the condition of separated sheath grounds with an averaged ground resistance of 42.6 Ω , the induced voltage decreases 10 % to the induced voltage without sheath grounds. The induced voltage decreases approximately 50 % in the case of a one-sided common ground and decreases by more than 90 % in the case of a both-sided common ground. This experimental result is similar to the values calculated using the methods of the ITU Directives. In addition, according to a comparison analysis utilizing this ITU method, the measurement error range will be below 10 % in the state of ground resistance of central office less than 10 Ω and for the terminal side with 100 Ω less or more.

Key Words : electromagnetic induction, induced voltage, cable sheath, telecommunication pair, sheath layer ground

1. 서론

전력선은 주변의 통신선에 전자유도에 의한 장애를 유발할 수 있으므로 이에 대한 대책이 필요하다. 교류 전류는 통신 회선에 유도 기전력에 의한 전압을 발생시키며 일정 수위의 전압을 넘어서면 선로 작업자에게 위해

영향을 미치게 되며 통화 잡음 및 서비스 장애를 일으키게 된다. 그래서 유도 전압은 그 유형별로 제한치가 법으로 정해져 있다[1]. 그러므로 인명 및 서비스 위해 영향 방지를 위하여 유도 전압을 계산하거나 측정하여 관리하여야 한다[2][3].

유도 전압은 하나의 통신 회선을 기본 단위로 측정하

본 연구는 미래창조과학부의 지원을 받는 방송통신표준기술력향상사업의 연구결과로 수행되었음.

*Corresponding Author : Sangmu Lee(ETRI)

Tel: +82-42-860-4925 email: sangmu@etri.re.kr

Received July 31, 2014

Revised (1st September 12, 2014, 2nd October 27, 2014)

Accepted January 8, 2015

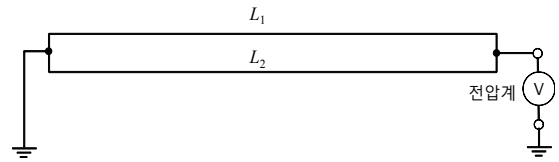
는 것이지만 실제 통신 케이블의 용도와 구조는 다수의 회선을 포괄하는 외장으로 덮여져 있고 이 외장에는 도전성 금속으로 된 슈스 층이 포함되어 있다. 슈스 층은 케이블의 접속 위치나 종단 위치에서 접지된다.

유도 전압을 측정할 때, 측정 대상 회선은 종단이 접지되고 측정 위치에서 회선과 대지 간의 전압을 바로 측정한다. 앞서 언급한 것과 같이 회선은 케이블 외장 내에 유치되어 있으므로 회선에 대한 유도 전압을 측정할 때에 케이블 슈스 층 접지와와의 상관 관계에 따른 영향을 받게 된다. 그러므로 상호 접지의 접속 관계에 따라 본 회선 유도 전압에 어떠한 영향을 미치는 지를 알아보고자 하는 것이 본 논문의 취지이다. 이러한 분야의 이전 논문에서 슈스 층의 접지 처리와 관련하여 접지를 하지 않은 상태와 분리 접지를 한 상태의 유도 잡음 전압 데이터를 비교한 것이 있다[4]. 본 논문에서는 유도 전압의 종류 중 종전압에 대하여 분리 접지 뿐만 아니라 공통 접지의 케이블 양단 접속 조합에 따른 측정 및 시뮬레이션 결과를 비교 분석하였다.

먼저 유도 전압의 측정 원리를 알아보고 슈스 접지와 상관 관계에 따른 영향 요율 계산 방법을 알아본다. 이 계산 방법에서 핵심 파라미터의 변화에 따른 영향 관계를 분석하였다. 그리고 주요 특성에 대하여 실제 현장의 실험 전압과 대비된 결과를 제시하였다.

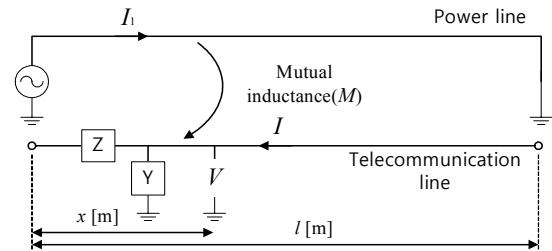
2. 유도 전압 측정 원리

교류 전류는 도선에 패러데이(Faraday) 법칙에 의하여 기전력을 발생시킨다. 기전력을 받은 도선은 하나의 전압원과 같은 의미를 갖게 되어 도선의 양단에 측정기를 연결하면 회로 구성이 되어 전류가 흐르게 되고 전압이 측정된다. 실제의 통신 케이블은 수 km 이상의 장거리이기 때문에 그 양단에 테스터기를 접속하여 유도 전압을 측정한다는 것은 불가능한 일이며 그렇다하더라도 테스터 연결을 위한 도선 자체의 유도 성분이 포함되기 때문에 순전히 회선만의 유도 전압이 측정되지 않는다. 그래서 실제 회선에 대한 유도 전압은 Fig. 1에서와 같이 회선의 한 쪽 끝은 접지한 상태에서 반대편 선의 끝에서 단지 선과 대지 간의 전압을 측정하면 된다.



[Fig. 1] The method to measure an induced voltage

이렇게 측정하는 것이 패러데이 법칙에 의하여 회선에 유기되는 유도 전압을 측정하게 되는 원리는 다음 Fig. 2에 대한 선로 방정식의 해로부터 정당하다는 것을 알 수 있다[5][6].



[Fig. 2] Electromagnetic force on a cable pair

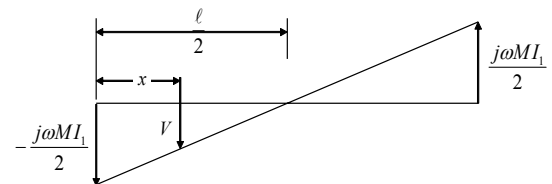
식 (1)에서 $j\omega MI_1$ 이 선로에 대한 유도 전압을 의미하는데 이 미분 방정식의 일반 해를 아래 Fig. 3의 단순 거치 선로에 대하여 풀이하면 식 (2)가 되어 선로의 중앙 지점에서 전압이 영이 된다. 하지만 Fig. 4와 같이 한 쪽편을 접지한 상태에서는 식 (3)과 같은 해가 되어 단순 길이에 비례한 유도 전압이 형성됨을 알 수 있다.

$$\frac{dV}{dx} = M \frac{dI_1}{dt} - IZ = j\omega MI_1 - IZ \quad (1)$$

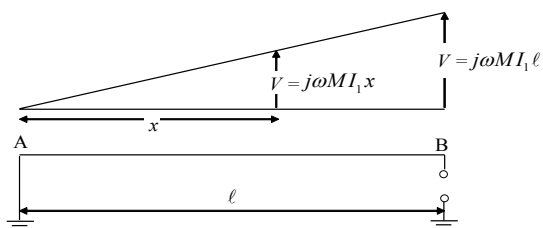
$$\frac{dI}{dx} = -VY$$

$$V = -j\omega MI_1 \left(\frac{\ell}{2} - x \right) \quad (2)$$

$$V = j\omega MI_1 x \quad (3)$$



[Fig. 3] Induced voltage distribution without ground



[Fig. 4] Induced voltage distribution with one-sided ground

3. 쉬스 접지 형태별 계산 방식

통신 케이블 1 개 회선에 대한 유도 전압을 측정할 때에 구성될 수 있는 쉬스 접지와 접속 관계는 Table 1에 제시된 것과 같이 네 가지 유형이 나오게 된다.

측정하는 회선 케이블을 중심으로 측정기의 접지를 포함하여 케이블 종단에서의 쉬스 접지와 측정 회선 종단의 접지가 같이 접속되는 ‘양측 공통’이 하나이며, 종단

측만 회선 접지와 쉬스 층 접지를 같이 접속하는 ‘종단 공통’ 형태, 반대로 종단은 쉬스 접지와 회선 접지가 대지에서 분리되어 있고 측정측 접지에서 하나로 접속되는 ‘측정 공통’ 방식, 그리고 양측 종단이 모두 대지에서 분리되어 쉬스 층 접지와 전기적으로 접속되지 않는 ‘분리 접지’가 그 네 번째이다.

쉬스 접지없이 측정하는 원래의 순수한 회선만에 대한 유도 전압에 대하여 이러한 각 형태별로 각 쉬스 층 접지가 이루어짐으로써 나타나는 전압의 변동율을 계산하는 방법이 ‘전압 감소율(Voltage reduction rate)’ 칸에 제시되어 있다[7].

4. 통신케이블 쉬스 층 접지의 영향 관계

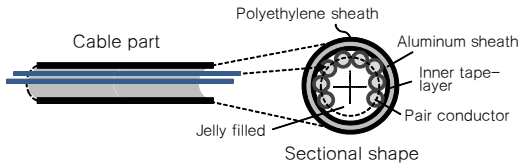
4.1 기초 계산 비교

본 논문에서 사용한 통신 케이블은 Fig. 5에 나타난 일반 케이블로서 25 회선이 수용된 것이다. 주요 규격은

[Table 1] Calculation formula by sheath connection

Ground	Circuit composition	Voltage reduction rate	Remarks
Both ends		$k_{SS} = \frac{U_{SS}}{\sum_k E_k}$ $= \frac{l R_{dc}}{Z_A + Z_B + l(R_{dc} + jX_s)}$	R_{dc} : DC resistance [Ω /km], X_s : Self-reactance [H/km] Z_A : Ground resis-tance of measurement side [Ω] Z_B : Ground resis-tance of terminal side [Ω]
Terminal		$k_{ES} = \frac{U_{ES}}{\sum_k E_k}$ $= \frac{l R_{dc} + Z_A}{Z_A + Z_B + l(R_{dc} + jX_s)}$	
Measurement		$k_{SE} = \frac{U_{SE}}{\sum_k E_k}$ $= \frac{l R_{dc} + Z_B}{Z_A + Z_B + l(R_{dc} + jX_s)}$	
Separate		$k_{EE} = \frac{U_{EE}}{\sum_k E_k}$ $= \frac{l R_{dc} + Z_A + Z_B}{Z_A + Z_B + l(R_{dc} + jX_s)}$	

Table 2에 나타내었다. Table 1에 제시된 감소율 계산식에 따라 기본 파라미터 조건으로서 선로의 길이는 단위 길이인 1 km 상태에서 대지 저항율을 300 Ω·m로 두고 종단 양측의 접지 저항을 동일한 100 Ω으로 하여 네 가지 형태에 대한 감쇠 계수를 계산하였을 때 Table 3과 같이 된다.



[Fig. 5] The structure of telecommunication cable

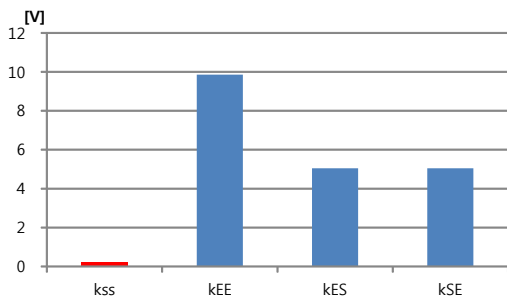
[Table 2] The specification of cable

Model	φ		Al thickness	Sheath material
	cable	core		
FS-JF-LAP	14mm	0.5mm	0.17mm	Polyethylene

[Table 3] The values of reduction rate by types

Class	k _{SS}	k _{EE}	k _{ES}	k _{SE}
Reduction rate	0.024	0.999	0.512	0.512
Voltage example[V]	0.240	9.997	5.120	5.120

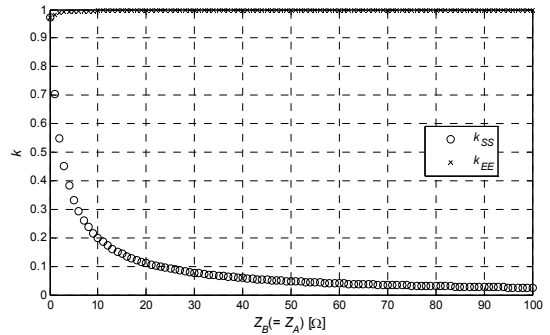
Table 3에서 전압 예(voltage example)는 만일 원래 순수 회선만의 유도 전압이 10 V라고 하였을 때 측정될 수 있는 전압의 양을 의미한다. 이 단순한 결과의 예로 놓고 볼 때, 분리 접지의 상태(k_{EE})에서는 거의 오차가 없지만, 편단 공통 접지의 경우(종단 공통 : k_{ES}, 측정 공통 : k_{SE}) 동일한 약 50 % 감소율을 나타내고 있고 양측을 모두 공통으로하는 경우(k_{SS})에는 감소율이 약 98 %로서 매우 미약한 전압만이 감지됨을 알 수 있다. 아울러 Fig. 6은 이들을 그래프로 비교 도시한 것이다.



[Fig. 6] Induced voltage example by sheath ground types

4.2 양측 공통과 분리 접지의 변화 비교

양측 접지 저항을 동일한 값으로 하여 0 Ω에서부터 100 증가시킬 때의 각 감쇠 계수인 k_{SS}와 k_{EE}의 변화를 Fig. 7에 나타내었다.



[Fig. 7] Comparison of common and separate type

분리 접지의 경우 0.9 이상의 계수값으로서 매우 미약한 영향을 갖고, 양측 공통 접지가 되었을 경우에는 이상적으로 0 Ω 접지가 된다면 감쇠 영향은 거의 없지만 대략 10 Ω 기점까지 급격히 감소하여 원래의 유도전압에 대하여 20 % 미만의 아주 작은 값으로 측정된다.

4.3 편단 공통의 변화 비교

이 경우에는 케이블의 어느 한 쪽 끝이 공통인 상태에서 양측 각각의 접지 저항을 독립적으로 변화시켰을 때의 영향을 살펴보고자 한다.

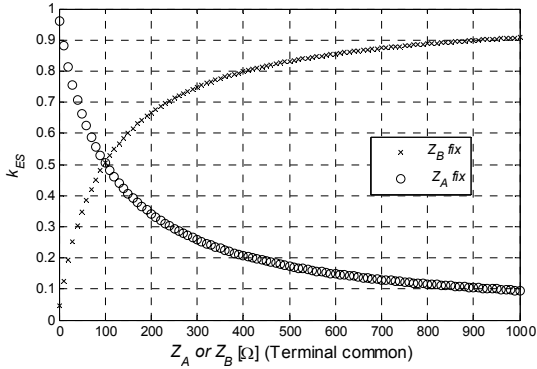
4.3.1 종단 공통

이 때의 적용 비교 방법은 어느 한 쪽 편의 접지 저항은 고정시킨 상태에서 반대 측의 접지 저항을 변화시키면서 계수 변화를 살펴보는 것이다. 이 때 고정 편의 접지 저항은 100 Ω으로 설정하였다. 아래의 Fig. 8에서 측정 측의 접지 저항인 Z_A를 변화(Z_B fix)시켜 살펴보면, Z_A가 커질수록 효율이 증가하고 Z_A를 고정시킨 상태에서 종단 측의 접지 저항인 Z_B를 변화시키면 Z_B가 커질수록 효율은 감소한다. 양 측의 접지 저항이 고정 기준으로 한 100 Ω으로 같아질 때에는 0.5로 계수치가 같아진다.

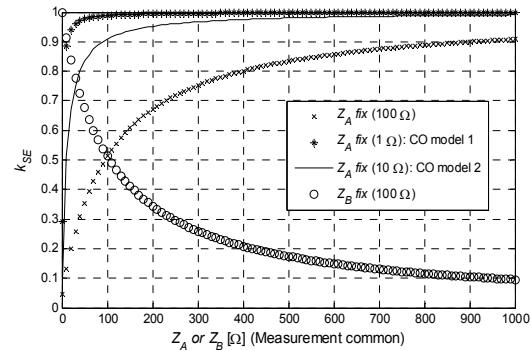
4.3.2 측정 공통

측정 측 접지 저항인 Z_A가 고정된 상태에서 종단 측 접지 저항인 Z_B를 변화시켜보면, Z_B가 커질수록 계수치

(k_{SE})가 증가한다(Fig. 9 참조). 여기서도 역시 고정시킬 때의 접지 저항은 100 Ω 이다. 계수치가 증가한다는 것은 원래 순수 회선만의 유도 전압에 대한 오차가 줄어드는 것을 의미한다.



[Fig. 8] Comparison of reduction effect on measurement by terminal common type



[Fig. 9] Comparison of reduction effect on measurement by a common at measurement site

중단 접지 저항 Z_B 를 고정시킨 상태에서 공통 측인 Z_A 를 변화시킬 때는 Z_A 가 커질수록 계수치가 감소하여 측정 오차가 커진다.

측정 공통일 때의 변화 효율은 어느 한 쪽이 고정된 값의 상태에 대하여 중단 공통일 때와는 뒤집어진 양상을 갖는다. 마찬가지로 양측 접지 저항이 100 Ω 로 같을 때, $k_{ES} = k_{SE} = 0.5$ 로 같은 값을 갖는다.

여기서 추가로 변화를 살펴본 것은 실제 가입자 측 진화 국사로서의 특성을 갖는 표본 파라미터를 도입하여 계산된 k_{SE} 이다. 전화 국사(CO: Central Office)에서 중단된 측정 대상 회선의 접지는 국사내 접지 단자만을 활용할 수 있기 때문에 자연스럽게 케이블 쉬스 층 접지와 공

통될 수 있다. 반면에 측정 중단 측의 접지 저항은 측정을 위하여 별도의 접지봉을 타설함으로써 이루어지는 것이 보편적인 방법이므로 이 중단 측의 접지 저항인 Z_B 를 변수로 본다.

국사에서의 Z_A 는 보통 1 Ω 내외의 값 또는 10 Ω 정도가 될 수 있어 이 두 가지 값에 대한 변화를 살펴보았다. 그리고 케이블 수용 회선 수는 국사에서부터 가입자 측단에 이르기까지 변화가 점차 줄어들기 때문에 대략 시설 규모로서 앞의 계산 시뮬레이션에서 적용하였던 케이블 용량에 대하여만 4 배인 100 회선 케이블을 적용하여 케이블 반경을 4 배로 하여 계산하였다. 또한, 케이블의 적용 병행 거리도 수 km는 되기 때문에 3 km를 대입하였다.

이러한 조건의 상태에서 계산된 값으로서 Z_B 의 변화에 대한 1 Ω 및 10 Ω 국사의 k_{SE} 효율을 살펴보면, 현장에서 실제 선로의 쉬스 접지 저항이 100 Ω 기준으로 되어 있음을 고려할 때, 1 Ω 국사의 경우는 Z_B 가 100 Ω 에서 약 2 % 정도의 오차로 나타나고 그 이상의 저항에 대하여는 1 % 미만의 오차로 근접되어 거의 오차가 없는 상태로 된다. 100 Ω 미만의 Z_B 에 있어서 10 Ω 으로 매우 낮은 저항의 경우에 있어서 대략 10 % 오차가 예상된다.

10 Ω 국사의 경우는 Z_B 가 100 Ω 에서 k_{SE} 가 0.9로 10 % 정도 감소된다. 만약 Z_B 가 50 Ω 미만이면 20 % 이상 오차가 발생한다. Z_B 가 300 Ω 이상이면 3 % 이하의 오차 범위가 된다.

5. 실증 검토

5.1 유도 전압 측정 현장과 시료

유도 전압을 측정 실험하기 위한 현장은 Fig. 10 (a)의 곳으로서 배전선이 병행하는 직선 도로 측변이다. 이 곳에 Fig. 10 (b)에 나타낸 1 km 통신케이블(FS-J/F-05-25PR)을 포설하였다. 아울러 Fig. 10 (c)는 쉬스 접지를 위하여 사용한 10 SQ GV 전선이다.



(a) Experiment site

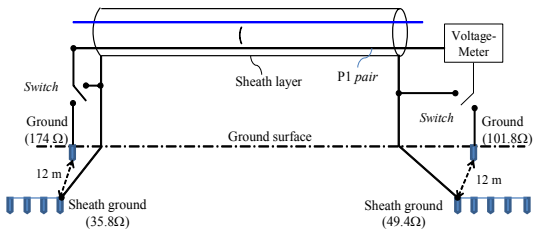


(b) Cable role (c) Ground cable
 [Fig. 10] Environment site and cables

5.2 측정 회로와 실험 조건

5.2.1 측정 회로

실제 측정을 위하여 구성된 회로는 Fig. 11과 같다. 25 pair 중 P1 회선에 대하여 종전압을 측정하였다. 쉬스 접지 저항(sheath ground)은 측정 측에서는 49.4 Ω, 선로의 반대 편인 종단 측에서는 35.8 Ω이 되었다. 이들은 측정 대상 회선 접지와는 각각 12 m 씩 이격되어 시설된 것이다. 또한 회로는 각 단에서 회선 접지와 쉬스 층 접지의 공통/분리 수행을 위한 스위칭 역할을 한다.



[Fig. 11] Experimental composition for sheath variation

5.2.2 실험 조건

핵심 조건은 쉬스 층 접지의 변화로서 Table 4에 나타난 범위까지 실험하였다. 쉬스 접지의 실질적 효과를 얻기 위하여 측정 측은 접지봉을 다섯 개까지 시설하여 합성 접지 저항이 49.4 Ω이 되었고, 종단 측은 경우에 네 개까지 시설하여 합성 접지 저항이 35.8 Ω이 되었다.

[Table 4] Sheath ground resistance[Ω] conditions

Measurement side	Terminal	101.8				
	Sheath ground	1st	2nd	3rd	4th	5th
		355	243	220	98.1	152
Composed	-	123.4	86.4	51.1	49.4	
Terminal side	Terminal	174				
	Sheath ground	1st	2nd	3rd	4th	
		274	109	144	114.4	
Composed	-	101	71	35.8		

5.2.3 데이터 결과 비교 분석

각 경우에 대하여 앞의 계산 방식에 의한 값과 실제 현장에서 구축한 회로에 대하여 측정된 값의 비교 표를 Table 5에 나타내었다. 계산식에 의한 각 쉬스 접지 형태별 전압 감소율은 Table 6에 나타내었다. 현장에서는 실제로 접지 저항을 다변화시키기에는 용이치 않기 때문에 Fig. 7에 대한 부분 범위와 Fig. 8에 대하여는 양측의 접지 저항이 유사한 상태의 것이 실험되었다고 보면 된다.

먼저 순수한 회선만에 대한 전압(No sheath ground)은 이 현장에서 5.7 V로 나타났고 배전선의 경우 저녁 부하의 증량에 따라 유도 전압이 다소 올라가는 경향이 있어서 오후 6 시 경에 측정된 전압이 6.7 V이다.

[Table 5] Comparison between calculation and measurement voltages(Unit: [V])

No sheath ground	Both common		Common side				Separate	
	M	C	Terminal		Measurement		M	C
			M	C	M	C		
5.7	0.4	0.32	2.8	3.4	2.8	2.58	5.2	5.7
5.7	0.2	0.12	3.5	3.2	2.2	2.63	5.5	5.7
6.7	0.2	0.05	2.9	3.8	3.3	2.95	6.1	6.7

* M: measurement, C: calculation

[Table 6] Comparison of voltage reduction rate

Sheath ground[Ω]		Voltage reduction rate			
Z_A	Z_B	k_{SS}	k_{ES}	k_{SE}	k_{EE}
49.4	35.8	0.055	0.603	0.452	0.999
123.4	101.0	0.022	0.560	0.462	1.000
355.0	274.0	0.008	0.568	0.440	1.000

양측 공통의 경우 접지 저항 셋이 올라갔을 때(Z_A, Z_B):(49.4, 35.8)→(123.4, 101))에 미세하더라도 계산 원리와 부합하여 0.4 V에서 0.2 V로 50 % 감소하였다(계산상으로는 약 60 % (0.32 V → 0.12 V)이다).

종단 공통과 측정 공통의 경우에 있어서는 양측 접지 저항이 큰 차이가 있다기보다 다소 유사한 레벨의 값으로 같이 변화하는 상황에서 측정된 것으로서 대략 원 전압에 대하여 평균 50 % 정도 레벨에 접근되어 있다.

분리 접지의 경우 계산상으로는 거의 원 전압에 대한 변화가 없지만 실제 측정 결과에 의한 값으로는 평균 약 7 % 정도의 감쇠를 나타내고 있다.

6. 결론

원래 회선에 대한 유도 전압에 대하여 통신 케이블의 쉬스 층 접지가 공유됨으로 인한 전압 변화에 대하여 살펴 보았다.

측정 회선 접지에 대하여 쉬스 층 접지가 모두 공통으로 되면 전반적으로 쉬스 접지 저항이 1 Ω 이내로 아주 낮지 않으면 유도 전압이 거의 측정되지 않는다. 이것은 회로의 구성상 선-대지 간의 전압이라기보다는 입력 임피던스의 관점에서 단지 선과 선 사이의 전압을 측정하는 형태가 되기 때문이라고 할 수 있다. 편단 공통의 경우 양측 쉬스 층 접지 저항이 유사한 상태에서는 거의 원 전압에 대하여 반 정도의 전압만이 검출되며 분리 접지 상황에서는 90 % 이상의 유도 전압이 검출됨을 알 수 있다.

실제 현장에서 운용되는 통신 회선에 유도되는 전압을 측정할 때, 통신국사에서 국사내 접지단자만을 사용하여 측정하거나 회선을 중단시키면 자연스럽게 케이블 외장 쉬스 층 접지와 공통으로 접속되게 된다. 이러한 경우에 보통 국사측 접지 저항이 10 Ω 이하이고 중단 측 선로 쉬스 접지 저항이 대략 100 Ω 내외일 것을 적용하면 원래 회선만의 유도전압에 대하여 오차율이 10 %까지 될 수 있음을 감안하여야 한다.

References

- [1] Ministry of Science, ICT and Future Planning, The rules about the technical regulation of broadcasting and telecommunication facilities, Clause 9, Mar. 23, 2013.
- [2] Radio Research Agency, The technical regulation on detailed calculation methods of power induction voltages, *RRA Notice No.2012-10*, May. 11, 2012.
- [3] Radio Research Agency, The standardized test method on the technical regulation of broadcasting and telecommunication facilities, *RRA Notice No.2012-17*, Sep. 28, 2012.
- [4] Sangmu Lee, et al., "Analysis on the Effect of the Induced Noise Voltage with the Grounded or Non-grounded Cable Sheath in the Power Inducing Situation", *Summer Conference of Korea Institute of Information and Telecommunication Facilities Engineering*, pp. 285-288, Aug.24-25, 2007.
- [5] Telecommunication Association of Japan, Power

Induction, pp.113-116, 1976.

- [6] Se-Yun Kim, *Engineering Electromagnetics*, 2nd Edition, Scitech Media, pp. 500-519, 2009.
- [7] ITU-T, Calculating induced voltages and currents in practical cases, *Directives concerning protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines, Vol. II*, pp. 252-256, 1999

이 상 무(Sangmu Lee)

[정회원]



- 2000년 8월 : 한국과학기술원 정보과학기술대학 전산학과 (정보공학 석사)
- 2013년 2월 : 충남대학교 공과대학 전자전파정보통신공학과 (정보통신공학박사)
- 1991년 1월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
- 2013년 10월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 이동통신및디지털방송통신공학과 겸임교수

<관심분야>

전자기파, ELF 전자유도