

# 고속 전철 시설에 의한 전자 유도의 고가 차폐 실측 연구

최문환\* · 이상무\* · 한만대\* · 조평동\*

\*한국전자통신연구원

Analysis on the screening effects of elevated railway by measuring the  
electromagnetic induction in high-speed railway system

Mun-Hwan Choi\* · Sang-Mu Lee\* · Man Dae Han\* · Pyoung-Dong Cho\*

\*Electronics and Telecommunications Research Institute

E-mail : mhchoi@etri.re.kr

## 요 약

통신선에 장애를 유발할 수 있는 전자유도 대책을 위해서 국가 기술기준에 의한 유도전압 한계치가 정해져 있고, 현장 유도 대책 상 이 제한치를 초과할 때에 필요한 것이므로 정부 고시의 기술 근거에 의해 유도전압을 계산하여 이에 대한 조치를 시행하고 있다. 전자유도 현상에 있어서 피유도원인 통신선간의 커플링 관계에 있어서 중간 차폐를 줄 수 있는 성분에 대한 계수치를 적용할 수 있다. 고시에 의하면 고속전철 시설 중 국내의 건설기반이 되는 고가의 교량구간에 의한 차폐 계수를 사용할 수 있고 그 수치가 제시되어 있는 바 이 수치에 대한 실증적 연구 소요에 의하여 교량구간이 아닌 노반 구간과 교량 구간의 경계점에서 비교 측정을 수행하였고 교량에 의한 차폐효과가 현재 고시에 주어진 수치에 근접함을 확인하였다.

## 키워드

electromagnetic induction, high-speed railway system, screening effects, elevated railway

## 1. 서 론

통신 장애나 손상, 인명 피해를 방지하기 위해 전력선 설비나 고속철도 시설에 의해 얼마만큼의 유도 장애가 발생하는지를 정량적으로 예측할 수 있는 산출방법을 정하여 국가 기술기준으로서 고시하고 있다. 고시는 유도 장애를 야기하는 유도원의 범위와 각각의 유도원에 대한 유도 전압의 산출방법을 규정하고 산출 계산식에 적용되는 다양한 계수를 정의하고 있다. 하지만 이러한 전력 유도 전압의 산출 방법은 이론적으로나 실질적으로도 매우 복잡하기 때문에 실제 전력 유도 발생이 예상되는 지역에서의 적용이 상당히 어려워 보다 정확하고 구체적인 유도 전압의 산출 방법이 요구되고 있다. 이를 위해 현행 고시의 문제점들에 대한 정형화된 규명을 이루고 타당성 있는 검증을 통해 국내 현실에 맞는 합리적인 산출 방법을 도출해내기 위한 노력이 진행 중이다 [1],[2].

상기한 바와 같이 현행 전력유도 산출방법을

위한 고시에 전력 유도 전압의 차폐 효과를 갖는 다양한 계수들이 정립되어 있지만, 산출계산식 및 각 계수들에 대한 적용 신뢰성 등에 대한 민원이 제기되고 있으며, 또한 도시 시설물에 의한 차폐 계수에 대한 연구가 미약한 실정이다. 전력유도에 대한 제반 차폐 시설 중에 도시 시설물에 의한 차폐는 그 비정형성으로 인하여 정량적인 계수의 설정이 어려워 유도 대책에 적용상의 오차가 발생할 수가 있다. 이에 금속 재질의 가스관, 상/하수도관 그리고 철제 구조물 등의 도시 시설물이 전력 유도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 전력 유도에 의한 장애가 발생할 수 있는 조건을 갖춘 지역을 선정하고 해당 지역 인근의 환경 및 지중 매설물 등의 분포를 고려한 전력 유도 현장 측정 연구를 수행하고 있다.

이에 대한 연구의 일환으로 관련 관청/기관의 조사 협조를 통해 고속 철도 시설과 병행하여 광역 상수도관(금속 재질)이 매설된 지역을 선정하고 고속 철도 시설의 선로를 따라 통신 케이블 병행하여 포설한 후, 현행 국내 고시 및 국내의

표준에서 제시하는 방법을 이용하여 전력 유도 장애 발생 시 지하 매설된 광역 상수도관이 갖는 차폐 효과에 대한 실험을 수행하였다.

하지만 전력 유도 장애에 대한 현장 측정 업무의 특성 상 측정 목적에 정확하게 부합되는 장소를 선정하는 것은 어려운 실정이며, 고가철도(elevated railway)의 교량 구간과 노반(subgrade) 구간이 공존하는 지역에서 지하 매설된 광역 상수도관의 병행 구간과 이탈 구간에 대한 유도 전압의 정확한 상대적 비교 시험을 하기에는 그 한계가 있다. 이에 본 논문에서는 교량 구간과 노반 구간의 경계점을 기준으로 하여 고속 전철의 통과 시 발생하는 상시유도종전압(Normal Induced Longitudinal Voltage)을 동시에 측정하여 비교함으로써 유도 전압 산출방법에 대한 고사에서 정하고 있는 고가 차폐 계수의 타당성을 먼저 검증해본다.

## II. 시험 측정

### 1. 시험 측정 환경

그림 1은 교량 구간과 노반 구간의 경계점을 측정단으로 하여 각각 500m의 케이블을 양단에 포설하고 교량 구간(상행방향)과 노반 구간(하행방향)을 통과하는 고속 전철에 의한 상시유도종전압을 측정하기 위한 이격도이며, 표 1과 표 2에 각각 측정 시험을 위해 사용된 재료 및 장비, 교량 구간과 노반 구간의 접지 저항 및 대지 저항률을 보인다.

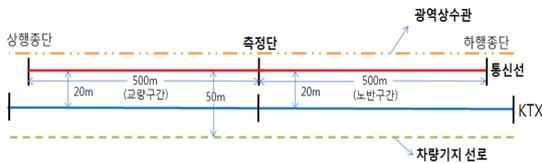


그림 1. 측정 환경 구성도

표 1. 사용 장비 및 재료

재료 및 장비	규격	용도
통신케이블	시험용 점퍼케이블	통신선로구축
접지봉	50cm,100cm 동봉	선로 접지 및 장비 접지
계측기	EPIMS-T1	상시유도종전압측정
	Megger DET/2	접지저항 및 대지고유저항 측정
	FLUKE-170	멀티테스터

표 2. 양단 접지저항 및 대지저항률

위치	접지저항[Ω]		대지저항률 ρ[Ω·m]
	측정단	중단	
노반구간	190.0	87.8	10.1
교량구간		187.3	56.1

### 2. 유도 전압 예측 계산식

전파연구소 고시 제2007-102호 '전력 유도 전압의 구체적 산출방법에 대한 기술기준'에는 단권변압기 급전 방식의 교류 전철시설에 대한 예측 계산식(상시유도종전압)을 식 1과 같이 제시하고 있다.

$$V_L = \sum (j\omega \frac{Amp \cdot km}{D}) \cdot I_L \cdot M \cdot l \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \times 10^{-6} \quad (식 1)$$

- $V_L$  : 상시유도종전압
- $\omega$  : 60Hz에 대한 각속도
- $Amp \cdot km$  : 단권변압기 급전방식의 교류전철시설에 의한 유도전압예측구간에서의 전차선부하전류 (또는 고장전류나 등가방해전류) 1[A]에 대한 평균기유도전류와 당해구간 길이와의 곱
- $D$  : 유도전압 예측 구간의 거리(km)
- $I_L$  : 전차선의 최대부하전류(A)
- $M$  : 60Hz에 대한 전차선과 전기통신선의 상호 인덕턴스(μH/km)
- $l$  : 전차선과 전기통신선과의 병행거리(km)
- $K_3$  : 전기통신선의 차폐 계수
- $K_4$  : 터널의 차폐 계수
- $K_6$  : 고가차폐 계수
- $K_7$  : 통신케이블 조수에 의한 유도저감계수
- $K_8$  : 타케도에 의한 차폐 계수

본 논문에서 수행한 시험 측정은 동일 장소에서 동일한 시험 조건을 갖추고 있으며 단지 교량 구간과 노반 구간에서의 유도 전압의 상대적인 비교를 통한 고가차폐 계수( $K_6$ )의 타당성을 확인하는 것으로 식 1에서 사용된 고가차폐 계수의 적용 여부 이외의 파라미터와 차폐 계수는 동일하다고 가정한다. 시험 측정 대상 교량 구간 대지 고유저항이 56.1[Ω·m]이기 때문에 표 3에서와 같이 0.665의 차폐 계수를 유도전압 예측 계산 시 적용해야 한다.

표 3. 고가차폐효과

고가의 길이(m) \ 대지고유저항(Ω·M)	500 내지 1,000	1,000이상	
		양단 500까지	기 타
$\rho \geq 250$	0.650	0.650	0.300
$17 \leq \rho < 250$	0.665	0.665	0.330
$17 > \rho$	0.685	0.685	0.370

## III. 측정 결과

그림 2는 본 논문에서 수행한 시험 측정 결과 그래프이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 통상 노반 구간에서 측정된 상시유도종전압이 교량 구간에서 측정된 상시유도종전압보다 높게 나타나고 있어 동일 고속 전철에 의한 유도의 영향이 고가의 교량 구간에서보다 노반 구간에서 더욱 크다는 것을 확인할 수가 있다. 이때 그림 2의 최하단 그래프는 노반 구간의 측정값과 교량 구간의 측정

값을 비교하여 계산된 차폐 계수를 보이는 것으로 최소 0.213에서 최대 0.844의 분포를 보이며 평균 0.668의 차폐 계수값을 갖는다. 본 논문에서 교량 구간의 전력 유도 예측 계산 시 적용할 수 있는 고가차폐계수가 0.665임을 고려하면 0.003 정도의 오차로 상당히 근접한 차폐 계수를 보이고 있음을 알 수 있다.

그림 2에서 고속 전철이 지나가는 순간에서의 차폐 계수는 고속 전철이 지나지 않을 때보다 약간 낮아지는 것(차폐 효과는 높아짐)을 볼 수 있다. 이에 보다 정확한 차폐 계수의 영향을 알아보기 위해 고속 전철이 지나가는 시간에 각각 노반 구간에서 측정된 상시유도중전압과 교량 구간에서 측정된 상시유도중전압의 최대값을 이용하여 고속 전철 통과 순간의 차폐 계수를 계산하였으며 이를 표 4에 보인다. 표 4를 보면 마찬가지로 교량 구간보다는 노반 구간에서의 상시유도중전압이 더욱 높게 측정되었으며 총 13대의 고속 전철이 지나가는 순간에서의 차폐 계수값들이 각각 평균 0.531과 0.591을 보이고 있어 더욱 높은 차폐 효과를 보이고 있음을 알 수 있다.

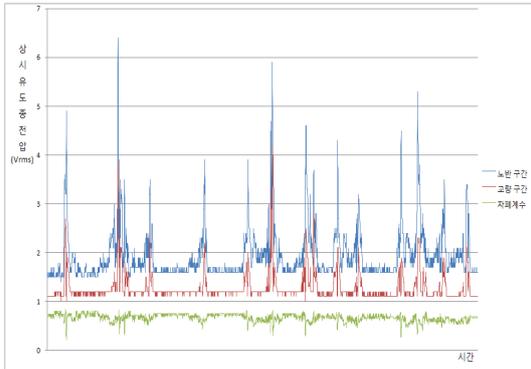


그림 2. 상시유도중전압 측정 그래프

표 4. 각 구간 최대값일 때의 차폐계수

구분	노반구간에서의 최대값(Vrms)			교량구간에서의 최대값(Vrms)		
	노반	교량	차폐계수	노반	교량	차폐계수
1	4.9	1.4	0.286	3.3	2.7	0.818
2	6.4	3.9	0.609	6.4	3.9	0.609
3	3.5	2.2	0.629	3.5	2.2	0.629
4	3.9	2.2	0.564	3.9	2.2	0.564
5	3.9	2.0	0.513	3.9	2.0	0.513
6	5.9	4.2	0.712	5.9	4.2	0.712
7	4.6	2.5	0.543	4.6	2.5	0.543
8	4.3	2.1	0.488	4.3	2.0	0.465
9	3.2	2.1	0.656	3.2	2.1	0.656
10	4.5	1.6	0.356	4.5	1.8	0.400
11	5.3	2.2	0.415	5.2	2.3	0.442
12	3.5	1.9	0.543	2.9	1.9	0.655
13	3.4	2.0	0.588	3.3	2.2	0.667
평균	4.41	2.33	0.531	4.22	2.46	0.590

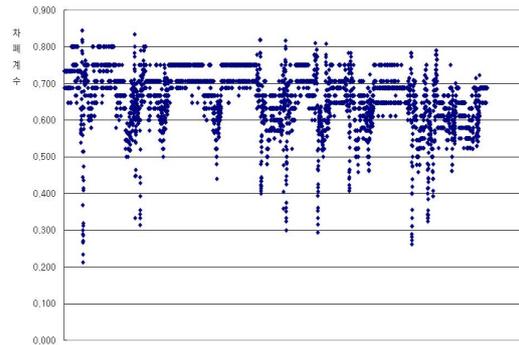


그림 3. 차폐 계수값의 분포

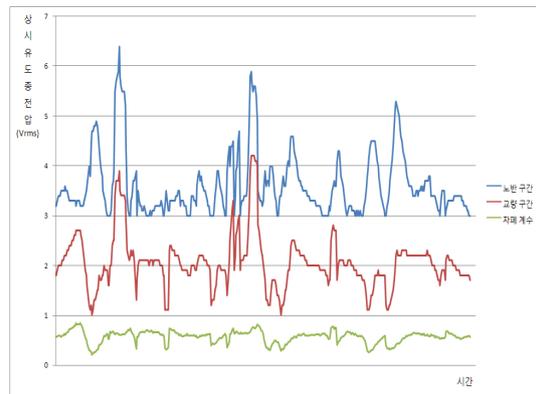


그림 4. 3Vrms 이상의 상시유도중전압 측정 그래프

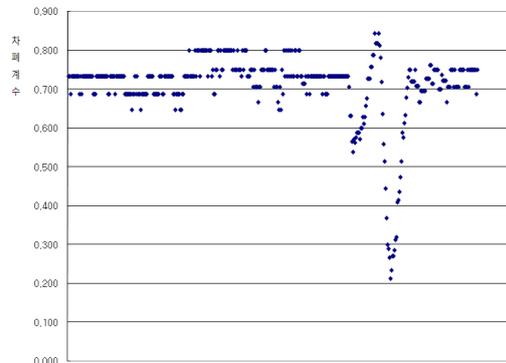


그림 5. 3Vrms 이상일 때의 차폐계수의 분포

표 4에서와 같이 전체 측정 시간 동안의 차폐 계수의 효과보다 고속 전철이 지나가는 순간에서의 차폐 계수의 효과가 더욱 좋다면 이를 좀 더 일반화시켜 고속 전철의 이동 지역에서의 고가 차폐 계수와의 영향을 알아본다.

그림 2에서 고속 전철이 지나지 않을 때 측정된 상시유도중전압의 분포를 보면 노반 구간의 경우 보통 1.6Vrms 값을 보이고 교량 구간의 경우 보통 1.2Vrms 값을 보인다. 일반적으로 고속 전철이 지나지 않는 시간에서의 교량에 의한 고가 차폐 효과를 설명하기에는 어려움이 있다. 이

에 고속 전철이 측정단을 통과하는 시간 동안에 측정된 상시유도중전압의 분포를 이용하여 교량에 의한 고가 차폐 효과를 설명하기 위해 먼저 그림 2의 노반 구간의 상시유도중전압의 최대값이 측정되는 순간의 이전과 이후의 분포를 보면 통상 3Vrms 이상의 값을 갖는 것을 알 수 있다. 이런 점을 고려하여 그림 4에 3Vrms 이상의 값이 측정되는 노반 구간에 대해 교량 구간에서의 측정값과 이때의 차폐계수를 보이고 있으며 이 차폐 계수의 분포를 그림 5에 보인다.

통상 노반 구간에서 3Vrms 이상의 상시유도중전압이 측정되는 동안, 즉 고속 전철이 측정 지역을 통과하는 동안의 측정값도 역시 노반 구간에서 더욱 높은 값들이 측정되는 것을 알 수 있으며 이러한 경우에 있어서 계산되는 차폐 계수는 0.213에서 0.844까지의 분포를 보이고 있으며 평균 0.572의 차폐 효과를 갖는다. 이는 고속 전철이 지나가는 순간의 최대값을 이용한 차폐 계수의 평균값과 유사한 값을 가지며 전체 측정 시간 동안의 평균 차폐 계수인 0.668보다 작은 값으로 역시 고속 전철이 지나가는 시간에서의 차폐 효과가 높음을 확인할 수 있다. 표 5에 고시에서 본 논문에서 수행한 시험 측정에서 적용할 수 있는 고시의 고가 차폐 계수와 전체 측정 시간동안의 차폐 계수 그리고 고속 전철이 지나가는 시간에서의 차폐 계수를 비교하여 나타냈다.

표 5에서 보는 바와 같이 일반적인 경우에는 본 논문의 교량 구간에서 적용 가능한 고시의 차폐 계수와 거의 비슷한 값의 차폐 계수를 보이는 반면 고속 전철이 지나가는 시간에서의 차폐 계수를 가정한 경우에는 고시의 차폐 계수보다 작은 값의 차폐 계수를 보이고 있어 고속 전철이 지나가는 동안에 고가의 교량이 갖는 차폐 효과가 더욱 우수함을 알 수 있다.

표 5. 각 경우에 대한 차폐 계수 비교

	최소	최대	평균
적용 차폐 계수	0.665		
일반적인 경우의 차폐 계수	0.213	0.844	0.668
최대 Vrms 보일 경우 (노반 구간 기준)	0.286	0.712	0.531
최대 Vrms 보일 경우 (교량 구간 기준)	0.400	0.818	0.590
3Vrms 이상인 경우	0.213	0.844	0.572

#### IV. 결론

본 논문에서는 고속 전철 시설의 유도 전압 산출을 위한 예측 계산식을 규정하고 있는 고시의 다양한 차폐 계수 중 고가의 교량에 의한 차폐 계수가 갖는 영향을 평가하기 위하여 노반 구간과 교량 구간의 경계점에서 고속 전철 시설에 의한 유도 전압을 동시 비교 측정하고 그 측정값을 비교하여 노반 구간에 대해 교량 구간이 갖는 차

폐 계수의 타당성을 검증하였다.

표 5에서 알 수 있듯이 본 논문에서 수행된 측정 대상 지역인 교량 구간에 적용할 수 있는 고가 차폐 계수는 고시에서 정한 0.665로서 전체 측정 시간 동안 측정된 차폐 계수인 0.668과 거의 유사한 차폐 계수를 보고 있으나 고속 전철이 측정 지점을 지나가는 시간 동안에 측정된 상시유도중전압을 이용해 계산된 고가 차폐 계수는 고시의 차폐 계수와 비교하여 약 7.5%에서 13% 정도 효과가 좋은 것으로 나타났다.

하지만 이는 노반 구간과 교량 구간의 차폐 효과를 검증하기 위한 단순 비교의 경우로 고시에서 정의한 고가 차폐 계수를 보다 엄격히 적용하기에는 다소 무리가 있으며 또한 측정 대상 지역의 다양한 환경 변수와 측정 수행자 측정 숙련도, 측정에 사용된 계측기에 따른 오차 등을 고려하면 본 논문의 측정 대상 지역과 유사한 많은 측정 지역을 선정하고 보다 일반적인 측정 결과를 도출해야 할 것이다. 오히려 전체 측정 시간 동안에 계산된 차폐 계수가 고시에서 제시하고 있는 차폐 계수와 거의 유사한 값을 갖는 것으로 보았을 때, 고가의 교량 자체가 갖는 차폐 계수로서의 의미가 중요하며 교량 인근에 송배전선과 같은 다른 유도원이 있는 경우 발생할 수 있는 유도 현상에 대해 고시의 고가 차폐 계수인 0.665를 적용하는 것이 타당하다 하겠다.

본 논문은 고가 교량이 공존하는 지역에서 광역 상수도관이나 가스관, 철골 구조물 등의 도시 시설물에 의한 전력 유도 영향을 평가하는 경우 그 차폐 효과를 고려하여 보다 정확한 측정 데이터를 도출하는데 활용할 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] 전력유도전압의 구체적 산출 방법에 대한 기술기준, 전파연구소 고시 2005-95, 2005년 10월
- [2] 이상무, 이영환, 김용환, 조평동, "통신선로 유도 장애 예측을 위한 유도 전압 산출 기술기준 연구", 전자통신 동향 분석지, 제 17권 제 4호, pp. 135~144, 2002년 8월