

전기철도의 급전소 위치 관계에 따른 통신선 전자유도 전압

이상무* · 최문환* · 조평동*

*한국전자통신연구원

Electromagnetic Induction Voltage according to the Position of Telecommunication Line from the Power Feeding Plant of Electrified Railway System

Sangmu Lee* · Munhwan Choi* · Pyung-Dong Cho*

*Electronics and Telecommunications Research Institute

E-mail : sangmu@etri.re.kr

요 약

전기철도에 공급되는 부하전류에 의하여 주변의 통신선에 발생하는 유도전압의 크기는 부하전류를 전달하는 전차선으로부터의 이격 거리에 따라 변화될 뿐만 아니라 전력 공급 급전소로부터의 거리와도 영향 관계를 가져서 급전소에 근접된 위치에서는 상대적으로 매우 높은 유도전압이 발생된다는 것을 급전소와 급전소 간에 단위 병행 거리마다의 연속된 유도전압을 측정함으로써 실증하였다. 이는 ITU-T의 전력선 전자유도 평가 지침서에서 제시된 기본 전차선 공급 전류에 대한 통신선의 위치 관계에 따른 계산 시뮬레이션 결과와도 부합된 사실이다. 그러므로 전기철도로부터 통신선에 유도되는 전압을 계산하거나 실측 평가할 때 병행 거리, 이격 거리와 더불어 급전소로부터의 위치 관계에 따른 적정 요율 변화에 대한 고려가 요구된다.

ABSTRACT

That induced voltage by an electrified railway line is related with the position of telecommunication line between traction power feeding systems is practically varified by measurements in the real field. This experimented fact is conformed with the calculated simulation provided by the ITU-T Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines. Therefore it is needed to consider at what position a telecommunication line is parallelized with power feeding line of traction system when an induction phenomenon is evaluated or measurement is carried out besides the length of parallelization and the separate distance between power line and telecommunication line.

키워드

전자유도, 전기철도, 급전소, 통신선, 이격 거리, 유도전압

1. 서 론

고속전철과 같은 전기철도 시설 운행에 의하여 주변의 통신선에 전자유도 장애를 발생시킬 수 있기 때문에 이에 대한 대책이 시행되고 있다[1]. 이를 위하여 역시 법률 고시로서 전력선 전자유도(전력유도로서 정의된다) 전압을 계산하는 방법

이 제시되어 있다[2]. 특별히 전기철도에 의하여 전력유도를 발생시키는 전류(이를 기유도전류라고 한다)를 계산하기 위해서는 ITU-T의 전력유도 대책 기술 지침서 제3권에 제공되고 있는 다도체 계산법을 사용하도록 되어있다[3]. 또한, 전기철도의 전력을 공급하는 급전소 간 구간에서 전달되는 기유도전류를 계산하는 기본 방법에 대하여는

ITU-T 지침서 제4권에서 제시하고 있다[4]. 이에 관하여 전송선로 방정식에 의한 전파상수 변화율을 분석한 바 있다[5]. 실증의 측면에서는 다수의 고속전철 급전 구간 내 임의의 위치에서 유도전압을 측정된 데이터에 대한 급전소와의 이격거리 분포 통계에 의하여 상관성을 분석한 논문[6]과 하나의 급전 구간 내에서 연속적으로 따라가면서 실증한 논문[7]이 있다.

본 논문에서는 이상의 결과들을 바탕으로 ITU 제시 이론과 실증 상호 관계와 이것의 범용 규격 이용상 기술적 부합성 측면에서 재검토하여 기술하였다.

II. ITU의 제시 이론

1. 2 도체 기본 계산 방법

ITU-T 지침서 제4권에서 제시하는 전기철도 급전소 간 발생 기유도전류의 계산은 기본 2 도체에 대한 전송선로 방정식을 이용한 것으로서 아래와 같은 식으로 주어진다[4].

$$I_C(x) = I_k \frac{Z_k \sinh[\gamma(\ell - x)] + Z_C \cosh[\gamma(\ell - x)]}{Z_k \sinh(\gamma\ell) + Z_C \cosh(\gamma\ell)}$$

$$I_e = I_L \frac{Z_h}{Z_e + Z_h + \frac{Z_c Z_h}{Z_p}}$$

$$I_h = I_L \frac{Z_c}{Z_e + Z_h + \frac{Z_c Z_h}{Z_p}}$$

$$Z_c = Z_C \frac{Z_A \cosh(\gamma x_p) + Z_C \sinh(\gamma x_p)}{Z_A \sinh(\gamma x_p) + Z_C \cosh(\gamma x_p)}$$

$$Z_h = Z_C \frac{\cosh(\gamma x_0)}{\sinh(\gamma x_0)}$$

2. 다도체 계산 방법

그러나 실제 AT 급전 방식에 있어서의 선로 구성은 그림 1에서와 같이 직접 전차 선로외에도 소위 12 도체라고 하여 열차 궤도를 포함한 다수 선로들로 구성되어 있기 때문에 이들에 의한 상호 유도 작용을 고려한 기유도전류를 계산하도록 한 것이 다도체 계산법이다[3][8].

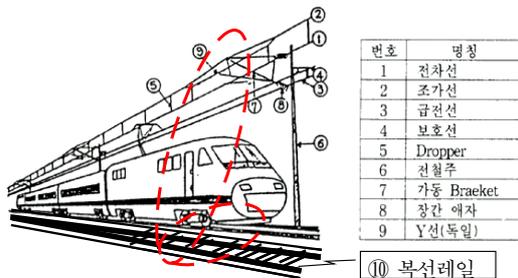


그림 1. 전기철도를 구성하는 선로시스템

다도체 계산법은 그림 2의 기본 전송회로 해석에 따라 아래 주어진 산식의 관계 구성에 의하여 계산된다[8].

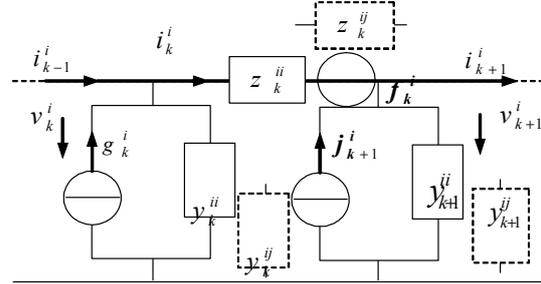


그림 2. 다도체선로에 적용할 단위 등가회로

$$[I]_k = \begin{pmatrix} i_k^1 \\ i_k^2 \\ \vdots \\ i_k^m \end{pmatrix} \quad [V]_k = \begin{pmatrix} v_k^1 \\ v_k^2 \\ \vdots \\ v_k^m \end{pmatrix}$$

$$[Z]_k = \begin{pmatrix} z_k^{11} & z_k^{12} & \dots & z_k^{1i} & z_k^{1m} \\ z_k^{21} & z_k^{22} & \dots & z_k^{2i} & z_k^{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ z_k^{i1} & z_k^{i2} & \dots & z_k^{ii} & z_k^{im} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ z_k^{m1} & z_k^{m2} & \dots & z_k^{mi} & z_k^{mm} \end{pmatrix}$$

$$[J]_k = \begin{pmatrix} j_k^1 \\ j_k^2 \\ \vdots \\ j_k^m \end{pmatrix} \quad [F]_k = \begin{pmatrix} f_k^1 \\ f_k^2 \\ \vdots \\ f_k^m \end{pmatrix}$$

$[I]_k$: 소구간(이하 ‘A구간’) k에서의 길이 방향 전류벡터이며 전체 선로에 있는 전류는 (N-1)개의 벡터 $[I]_k$ 로 표시되고 각 벡터는 k에서의 각 도체 i의 전류 i_k^i 가 m개로 구성된다.

$[V]_k$: 포인트(이하 ‘A포인트’) k에서의 전위벡터이며 모든 전위는 N개의 벡터 $[V]_k$ 로 구성되며 각 벡터는 A포인트 k에서의 각 도체 i의 전위 v_k^i 가 m개로 구성된다.

$[Z]_k$: A구간 k내의 임피던스 행렬이며 전 임피던스는 mm항으로구성된 행렬 $[z]_k$ 가 (N-1)개로 표시된다.

k = 1, 2, ..., N-1 (A 구간번호)

$m : 1, 2, \dots, i(j), \dots, m$ (도체수)

z_k^{ii} : A구간(k)내의 도체(i)의 자기임피던스

z_k^{ij} : A구간(k)내의 도체(i)와 도체(j)간의 상호임피던스

$[J]_k$: A포인트(k)에 삽입된 공급 및 유기된 전류원의 벡터이며 모든 전류는 N개의 벡터 $[J]_k$ 로 표시, 상호임피던스 관계에 의한 선로간 유입 전류

$[F]_k$: i번째 loop의 k섹션에 있어서 소구간 A에 작용하는 선로간 임피던스 영향 관계로 인한 유도기전력

III. 실증의 부분

1. 임의 측정 개소 분포 통계에 의한 관계

2008년~2009년 측정 시행된 경부고속전철의 급전 구간에 대한 데이터 분포 통계에 의하면 아래 그림 3과 같이 급전소에 근접한 위치에서 유도전압이 매우 높아짐(평균 100 % 증가)을 알 수 있다[6].

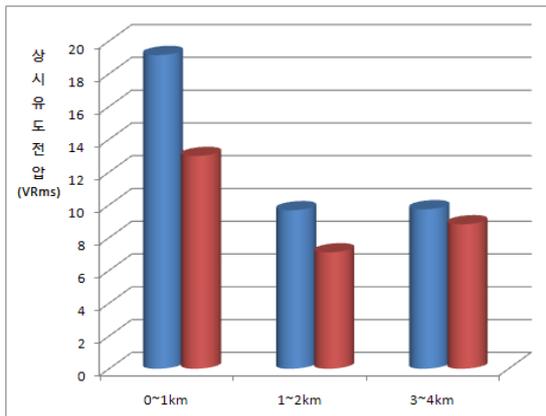


그림 3. 이격 거리별 유도 전압 분포

2. 특정 구간 연속 데이터 분포

2012년에 광주 임곡 급전소와 장성 급전소 간의 약 12 km 구간에서 거의 1 km 씩 따라가면서 측정한 연속 데이터 분포 특성은 그림 4와 같다[7].

이 그림에 있어서 명확한 것은 장성 측 급전소인 구간 1의 전압과 임곡 급전소인 구간 11의 전압은 평균적으로 중앙 부위 측으로 위치한 구간의 전압에 비하면 거의 배수 이상으로 높아진다. 그러나 이것이 중앙측으로 이동하면서 비록 근사화된 2 차원 그래프로 묘사하였지만 거시적인 관점의 변화 차원에서 연결된 결과이고 비례적인 관계 모형으로 감소 변화를 보이지는 않고 있다. 각 구간들의 유도 환경 특성은 미시적으로 보아 단순 비례 관계에 맞지 않는 영향들이 작용할 수

있을 것이다. 중앙 위치의 구간 6에서의 전압이 최저값인 것은 확실히 각 급전소로부터는 가장 멀리 떨어져 있는 위치에서 받는 영향인 것으로 판단되며 그림 5의 ITU-T 지침서 제4권에서의 전과상수 계산 모형의 시뮬레이션 결과에 부합된 것으로 볼 수 있겠다. 그림 5는 전과상수의 변화 모형으로서 유도 전압과는 비례 관계에 있어서 반전된 것으로 보면 될 것이다.

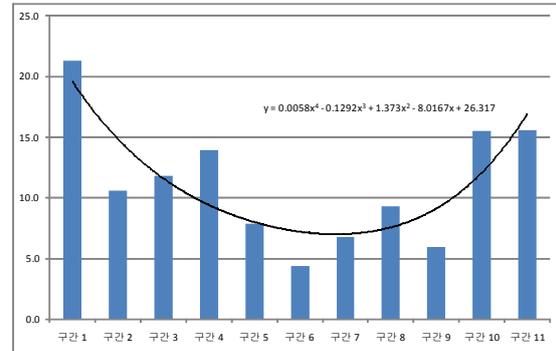


그림 4. 전 구간 유도전압 발생 추이(정규화 전압)

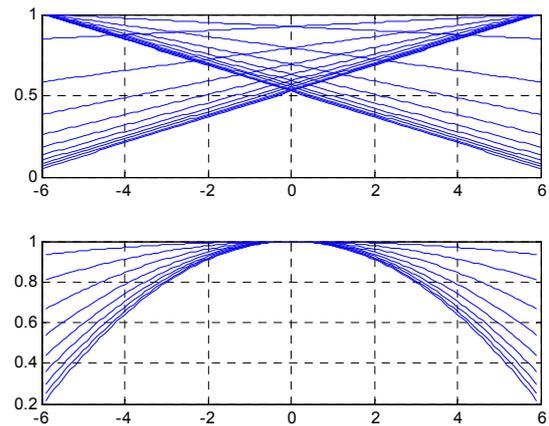


그림 5. 전과상수에 의한 부하 유도 영향 변화

IV. 급전소 거리 영향 적용성 비교 검토

지금까지의 이론과 실증을 통한 연구 결과들을 통틀어서 급전소로부터의 통신선 병행 위치 이격 거리에 의한 영향은 급전소 최측근에 위치하여 있을 때 유도전압이 대략 중앙 부위로 분포된 전압들에 대하여 100 % 가까이 급증되는 현상을 볼 수 있다. 그리고 중앙 부위 위치에서는 가장 낮은 전압을 나타낼 것으로 예상된다. 급전소로부터 중앙 위치까지의 미시적 변화는 각 유도 구간의 환경 영향 변수들의 불확정성으로 인하여 단순 감소 비례 관계가 유지되지 않는 것으로 나타나 있다. 다만 급전소 바로 위치와 중앙 위치까지의 이론적 변화 시뮬레이션 관계와 실측의 거시적

변화 관점에서는 부합된 결과로서 나타난 것으로 볼 수 있겠다.

이와 같이 급전소 최측근에서 유도전압이 최대가 되는 것은 어느 한 쪽으로의 부하전류 흐름이 집중되기 때문에 나타나는 현상으로 이해할 수 있다. 바꾸어 말하여 전기철도의 부하전류 공급은 선로의 중앙 위치에 대하여는 양측 급전소에서 균등된 부하전류가 공급되기 때문에 통신선이 중앙 위치에 근접된 상태에서는 반분된 부하 전류의 영향을 받게되기 때문이다.

ITU의 다도체 계산법에 있어서는 부하전류의 공급에 대하여는 원래 2 도체 계산법의 결과에 따른 분산 모형(그림 5)으로 적용되므로 유도를 받는 병행 통신선과 열차의 진행 위치에 따른 기 유도전류 발생 관계가 적절히 계산에 반영될 것으로 예상된다. 그러므로 법률 고시에 의한 계산에서 통신선과 전력선과의 이격 거리에 반하여 급전소로부터의 이격 거리가 명시된 계산 파라미터로서 나타나 있지는 않지만 다도체 계산법에 의한 파라미터인 Amp·km에 내포되어 계산된다 고 여겨진다.

V. 결 론

전기철도 전차선에 의한 통신 선로에 미치는 전자유도전압의 계산과 해석에 있어서 통상의 상호 인덕턴스의 기초 파라미터인 통신선과 전차선의 이격 거리 외에 급전소로부터 병행 위치 통신선까지의 이격 거리가 고려될 수 있는 변수임을 실증적으로 검토하였다. 부하 공급에 따른 급전소 귀로 전류가 100 % 집결되는 급전소 접근 위치에 유도 전압은 급증된다. 반면 급전 구간 내 중앙 위치에서는 가장 낮은 전압이 측정되었다. 그러므로 거시적으로 국제 규격 ITU에서 제시하는 도체 선로 해석에 의한 분포 모형과 부합되는 결과로 진단된다.

전기철도에 의한 기유도전류를 계산함에 있어서는 역시 ITU의 다도체 계산법이 사용되고 있고 부하전류의 공급 변화에 관하여는 전송선로 모델에 따른 2 도체 계산법에 의한 근간 영향이 반영되어 있으므로 급전소로부터의 이격 거리 영향에 대한 기유도전류 정량성에 대한 계산은 표면적으로 부가된 파라미터는 아니지만 내포된 반영 메카니즘을 가지고 있는 것으로 검토된다. 다만, 이것의 실증에 관한 것은 계산된 Amp·km의 급전 구간 내 분포와 실측된 분포와의 적정성 차원에서 추가적인 통계 분석이 필요하다 하겠다.

Acknowledgment

본 연구는 미래창조과학부의 지원을 받는 방송통신표준기술력향상사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

- [1] 미래창조과학부, 방송통신설비의 기술기준에 관한 규정
- [2] 국립전파연구원, 전력유도전압의 구체적 산출 방법에 관한 기술기준, 국립전파연구원고시 제2014-11호, 2014. 7. 2.
- [3] ITU-T, CAPACITIVE, INDUCTIVE AND CONDUCTIVE COUPLING: PHYSICAL THEORY AND CALCULATION METHODS, DIRECTIVES concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines, Vol. III, pp. 208-243, 1989.
- [4] ITU-T, INDUCING-CURRENTS AND VOLTAGES IN ELECTRIFIED RAILWAY SYSTEMS, DIRECTIVES concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines, Vol. IV, pp. 65-118, 1989.
- [5] 이상무, 최문환, 조평동, “전기철도 전자기 유도 전류의 급전구간 상대적 위치 관계에 따른 변화 분석,” 한국정보통신학회 추계학술회, Vol. 16, No. 2, pp. 567-570, 2012. 10.
- [6] 한만대, 최문환, 이상무, 조평동, “고속 전철 전자유도에 대한 급전소 유도 효과 실측연구,” 한국해양정보통신학회 추계학술회, 2009. 10.
- [7] 최문환, 이상무, 조평동, “고속전철 급전소와의 이격거리에 따른 전력 유도 영향 분석,” 한국정보통신학회 추계학술회, Vol. 16, No. 2, pp. 573-576, 2012. 10.
- [8] 이상무, 최문환, 조평동, “전기철도에 의한 통신선 유도전압 다도체계산법상의 궤도효과 적용기술 분석,” 한국통신학회논문지 Vol. 33, No. 7, pp.601-607, 2008. 7.