

열차 운행조건에 따른 고속철도 주변의 극저주파 자기장 예측계산

명 성 호*, 이 재 복*, 김 점 식**, 김 응 식***, 이 종 우****
 *한국전기연구원, **해양대학교, ***호서대학교, ****한국철도기술연구원

ELF Magnetic Field Calculation of High Speed Railway According to Condition of Train Operation

Myung Sung Ho*, Lee Jae Bok*, Kim Jeom Sik**, Kim Eung SiK***, Lee Jong Woo****
 KERI*, Hae Yang University**, Ho Seo University***, KRRI****

Abstract - 본 논문에서는 고속철도 급전계통 주변에서 여러가지 운전 조건하의 자계를 예측 계산하였다. 여기에서는 자계해석 방법으로 Biot Savart's law에 기반을 둔 해석식을 사용하였으며 대지 귀환회로를 계산 과정에 포함하여 실제에 가까운 모델링을 하였다. 계산 결과 열차 주변 지상 1m 부근의 플랫폼에서 자계의 크기그하였으며, 국제비전리방사보호위원회(ICNIRP)의 자기장 권고기준과 비교하여 평가하였다.

1. 서 론

철도 내부 및 외부의 통신이나 제어기기와의 영향은 열차의 안전성과 연결이 되어 중요한 사안이 된다. 이러한 문제 외에도 우리나라 전력계통의 건설이 요즘 들어 많은 민원을 겪게 되는 것도 날로 증가하는 전자계 환경에 대한 민감한 관심 때문이라 하겠다. 이와 같이 전자계환경 평가 및 대책기기의 개발은 기기의 운용적인 면에서 뿐만 아니라 사회적인 면에서도 중요성이 점점 더하여져 설계자는 정확한 수치적 데이터를 예측할 수 있어야 하며, 이들에 대한 대책방안을 보유하고 있어야만 한다. 일반적으로 전계나 자계 중에서 전기철도의 경우 주로 자계가 유도장해의 주범이 된다. 예를 들면, 전철 주위에서 통신설비에의 전압유기, Video Display Terminal에의 영향, 인체에의 위험 등은 바로 이 자계에 의한 영향이라고 할 수 있다. 따라서 자계치는 설계시부터 제한을 두게 되고 이를 만족시키지 못할 경우 기기를 바꾸어야 하는 사태가 발생할 수 있다. 이에 본 연구는 고속철도 주변의 상용주파수(60 Hz) 대역의 자계 환경 예측에 그 초점을 두고 있다. 전자계 중에서도 특히 자계는 차폐가 어렵고 그 비용도 많이 들기 때문에 자계의 분포를 미리 알고 설계에 임하는 것이 필요하다. 그에 따라 여러가지 운전 조건하에서 열차 및 궤도 주변에서의 자계를 계산하고자 한다. 여기에서는 우선 단일 매질의 경우의 자계해석 방법으로 Biot Savart's law에 기반을 둔 적분식을 대수식으로 변환한 해석식(Analytic Equation)을 사용하여 고속전철 주변에서의 자계 평가를 행하였다.

2. 고속철도 급전계통에 의한 주변 자계 해석

2.1 Biot-Savart's law 해석식을 사용한 자계 해석

자계 계산의 기본은 Biot-Savart 법칙의 적용이다. 그림 1과 같이 아주 작은 전류소 $i\Delta l$ 로부터 r 만큼 떨어진 지점 P 에서의 자기장 $d\vec{B}$ 는 다음 식(1)과 같으며, 그림 1과 같이 유한 직선 전선 $i\Delta l$ 에 의한 자기장은 식(2)의 적분으로 얻어지며 그 결과는 식(3)과 같다.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i\Delta l \times \vec{r}}{r^3} \quad (1)$$

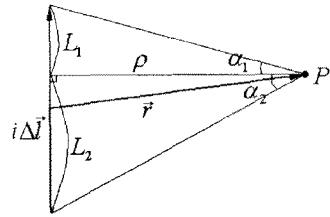


그림 1. $i\Delta l$ 에 의해 나타나는 자기장의 계산

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{\rho dz \vec{u}_\theta}{(\rho^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2)$$

$$B = \frac{\mu_0 i u_\theta}{4\pi \rho} (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2) \quad (3)$$

식(3)을 이용하면 공간의 임의 곡선에 대해서도 특정 위치에 발생하는 자기장의 크기를 구할 수 있다. 송전선로의 경우에는 선로 무계에 의해 선로가 기울어지게 되고 그로 인해 선로가 거의 쌍곡선(Hyperbolic Function)의 형태로 기울어져 있다. 따라서 기울어진 정도를 거의 직선의 조합으로 Interpolation하여, 각각의 도선의 Segment의 전류에 의해 구하는 것이 원칙이나, 고속전철시스템의 급전선의 경우 기울어져 있는 정도(이도)가 무시되므로 직선인 도선으로 가정하고 계산을 한다.

2.2 해석 모델링 및 전류조건

그림 1은 고속전철 급전계통 배치도이다. 실제로 고속전철 구동시에는 이 도선의 전류 값이 운행조건에 따라 바뀌게 되므로 운영조건에 따라 자계값을 구하고자 한다.

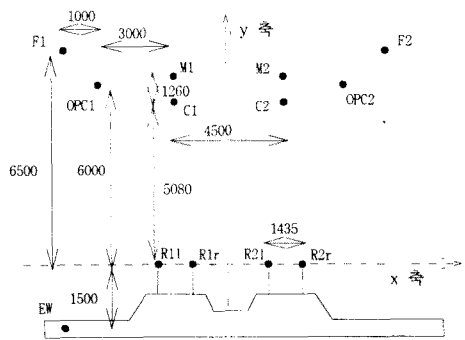


그림 1. 고속 전철의 급전 계통도

여기서 F는 Feeder, OPC는 가공지선(Overhead

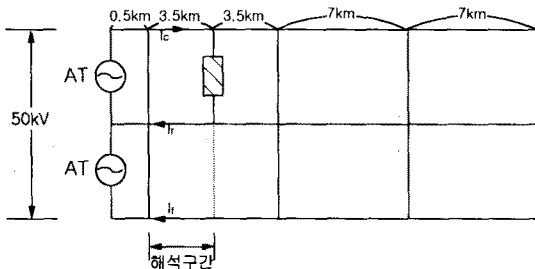
Protection Conductor), M은 Messenger Wire, C는 Contact Wire, EW는 Earth Wire이다. 귀환전류 중 대지전류로 흐르는 경우에 대해서도 고려하였다.

표 1은 전류조건은 상, 하행선 모두 열차가 있는 조건이며 상행선만 열차가 있는 경우는 표 1에서 하행선 전류값(C2, M2 등)을 모두 0으로 처리하면 된다. 여기서 급전 전류값은 G7 고속전철 기술개발 사업의 하나인 "전기철도 급전계통 해석기법 연구"의 해석 결과를 이용하였다.

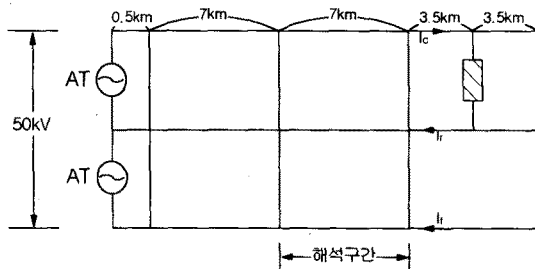
표 1. 전류조건 I(상, 하행선 동일 조건 가정)

조건	C1=C2	M1=M2	F1=F2	R1l=R1r R2l=R2r	OPC1=OPC2	EW1=EW2	G1=G2
1	297-62i	127-27i	-127+34i	-7+1i	-104+19i	-59+11i	-118+22i
2	213-52i	91-22i	-257+84i	-1-3i	-16-36i	-9-21i	-18-42i
3	303-81i	130-35i	-128+42i	-8+2i	-106+26i	-61+15i	-122+30i

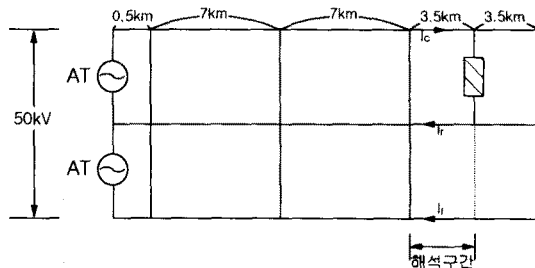
그림 2에는 표 1의 해석 조건을 CASE 별로 표시하였다. 또한, 열차가 상, 하행선 모두 지나갈 때와 상행선에만 열차가 지나갈 때의 경우를 고려하면 열차의 위치에 따라 여러 가지 경우가 발생하게 된다.



(a) CASE 1 해석조건



(b) CASE 2 해석조건



(c) CASE 3 해석조건

그림 2. 각 CASE별 해석 조건

2.3. 상행선에만 열차가 있는 경우의 자계 해석 결과
표 1의 전류조건에 따른 상행선에만 열차가 있는 경우의 자계 해석 결과는 그림 3부터 그림 5까지에 나타내었다. 이 때는 하행선 쪽에 전류가 흐르지 않는다.

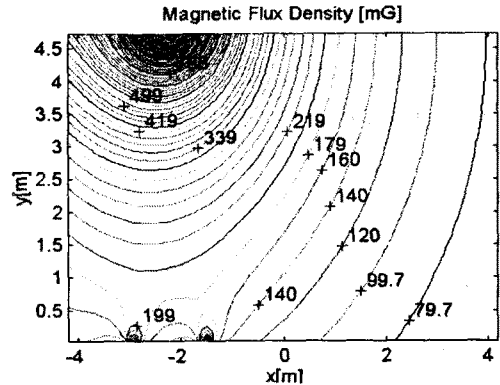


그림 3. CASE 1의 등자계 분포도(한회선 전류조건)

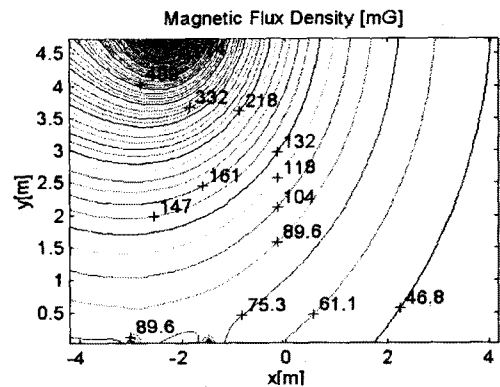


그림 4. CASE 2의 등자계 분포도(양회선 전류조건)

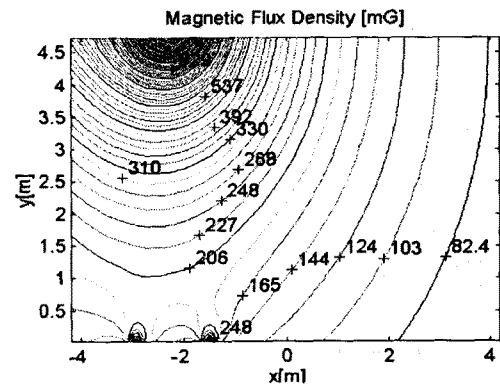


그림 5. CASE 3의 등자계 분포도(한회선 전류조건)

위의 결과에서 보듯이 전류원 부분 즉, 급전선 부근과 선로 부근에서 자계값이 크고 그 부근에서 점점 멀어질수록 자계값이 작아지는 것을 알 수 있다. 그리고 y축으로 약 1m인 부근, 즉 차체의 자계 차폐효과를 무시한 경우의 열차내의 승객이나 플랫폼에서 대기하고 있는 승객에게 미치는 자계의 크기는 다음 표 2 나타내었다.

표 2. 전류 조건(상행선만 열차 운행 조건)

	지상 1m 지점에서의 최대 자기값
CASE 1	179 [mG]
CASE 2	104 [mG]
CASE 3	206 [mG]

2.4. 상, 하행선 열차가 있는 경우의 자기 해석 결과

상, 하행선에 열차가 있는 경우에는 열차의 위치에 따라 상, 하행선 전류의 방향이 같은 구간과 다른 구간이 존재하게 된다. 표 1의 CASE 1과 CASE 2 전류조건에 따른 상, 하행선 전류의 방향이 같은 구간의 자기 해석 결과를 그림 6부터 그림 8까지에 나타내었으며, 전류의 방향이 다른 구간의 자기 해석 결과를 한회선의 경우와 비교하여 그림 9와 그림 10에 나타내었다.

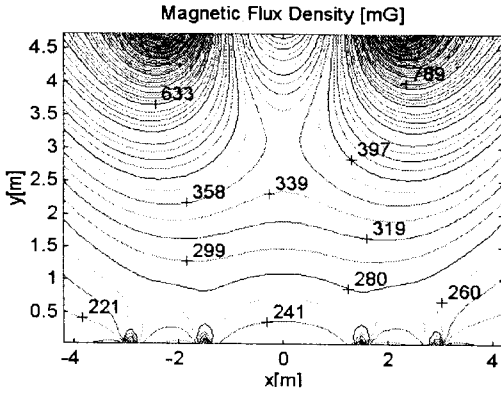


그림 6. CASE 1의 등자기 분포도(양회선 전류조건)

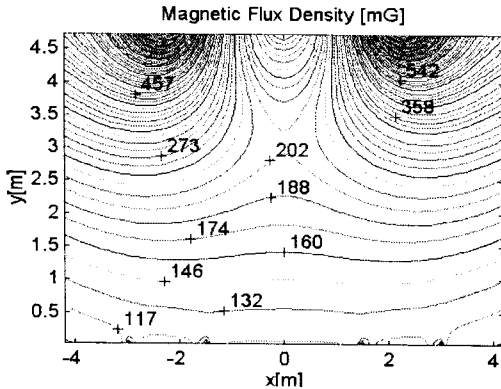


그림 7. CASE 2의 등자기 분포도(양회선 전류조건)

전류의 방향이 같은 구간에서 y축으로 약 1m인 부근, 즉 차체의 자기 차폐효과를 무시한 경우의 열차내의 승객이나 플랫폼에서 대기하고 있는 승객에게 미치는 자계의 크기는 다음 표 3에 나타내었다.

표 3. 전류 조건(상, 하행선 열차 운행 조건)

	지상 1m 지점에서의 최대 자기값
CASE 1	280 [mG]
CASE 2	146 [mG]

그림 9의 CASE 1의 해석결과를 보면 단회선의 경우에는 전차선 아래 부근에서 최대 205mG로, 15m 이격지점에서는 10mG로 나타났으며, 왕복회선의 경우에는 자속의 상쇄효과에 의해 전차선 아래에서 최대 120mG로, 10m 이격지점 이하에서는 단회선의 경우와 유사한 패턴을 보였다.

그림 10의 CASE 2의 해석결과를 보면 단회선의 경우에는 전차선 아래 부근에서 최대 112mG로, 20m 이격지점에서는 10mG로 나타났으며, 왕복회선의 경우에는 자속의 상쇄효과에 의해 전차선 아래에서 최대 75mG로, 10m 이격지점 이하에서는 단회선의 경우와 유사한 패턴을 보였다.

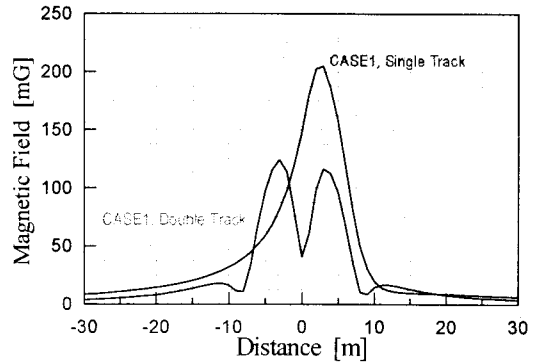


그림 9. CASE 1의 해석구간에서의 자기

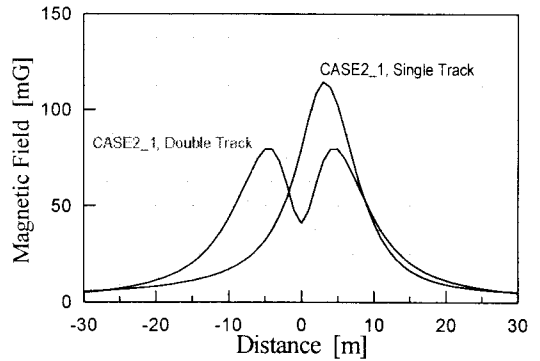


그림 10. CASE 2의 해석구간에서의 자기

3. 결 론

본 논문에서는 고속철도 급전계통 주변에서 여러가지 운전 조건하의 자계를 예측 계산하였다. 여기에서는 자기 해석 방법으로 Biot Savart's law에 기반을 둔 적분식을 대수식으로 변환한 해석식(Analytic Equation)을 사용하였으며 대기 귀환회로를 계산 과정에 포함하여 실제에 가까운 모델링을 하였다. 그 결과 차체의 자기 차폐효과를 무시한 경우의 열차내의 승객이나 플랫폼에서 대기하고 있는 승객에게 미치는 자계의 크기는 100-300 mG 정도로써 국제비전리방사보호위원회(ICNIRP)의 권고기준인 833mG를 만족함을 알 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] Electric Power Research Institute, "Transmission Line Reference Book 345 kV and Above," 2nd Ed. chap. 8, (1982).
- [2] Matthew, N. O. Sadiku, "Numerical Techniques in Electromagnetics", CRC Press
- [3] 河野照哉, 宅間, 數値電界計算法, コロナ社, 東京, 1980.
- [4] Sung Ho Myung, "Analysis of magnetic field distribution around electric power facilities", CRIEPI/KEPRI/KERI Joint Workshop on Electric & Magnetic Field Effects, May 26-27 (1999).
- [5] ICNIRP, "Guidelines On limiting Exposure to Non-Ionizing Radiation", Reference Book. (1999).