

경부고속 철도 급전시스템 주변에서의 자계 해석

한 인수, 박 증근*, 명 성호**, 이 병윤**, 민 석원***, 김 웅식****
 * 서울대학교, **한국전기연구소, ***순천향대학교, ****호서대학교

Magnetic Field Analysis around Gyungbu Express Railway Feeding System

In-Su Han, Jong-Keun Park*, Sung-ho Myung**, Byung-Yoon Lee**, Suk-Won Min***, Eung-Sik Kim****
 *Seoul National University, **KERI, ***Soonchunhyang University, ****Hoseo University

Abstract - In this paper, we calculate the magnetic flux density around Gyungbu express railway feeding system. We propose the magnetic field analysis method which is widely known. We consider several situations which can generate in reality. In each case, we calculate magnetic flux density.

1. 서 론

현대 사회에 들어오면서, 많은 교통 기관이 발달하였다. 예를 들면, 자동차, 배, 비행기, 열차 등을 들 수 있을 것이다. 특히, 이 중에서 가장 많이 이용되는 교통 수단으로는 자동차, 열차 같은 지상에서 사용되는 교통 수단일 것이다. 이 중에서도, 안전하고 빠른 교통 수단은 열차일 것이다. 열차에 대한 안전하고 빠르다는 것의 고객 요구와 지역간의 산업 발달을 위해 우리 나라에서는 1992년 6월 30일에 경부 고속 철도 기공식을 갖게 되었다. "단군 이래 최대 역사"로 불리워지는 경부 고속철도는 우리의 삶에 크나큰 변화를 주게 될 것이다. 그러나, 이 경부고속철도의 편리함이 있는 반면, 그에 따른 문제점도 고려되고 있는 중이다. 그 문제점 중의 하나가 전자파이다. 고속철도에서 나오는 전자파는 고속철 주변의 TV, Radio 시청에 방해할 것이고, 여러 통신 장애를 일으킬 것이고, 특히, 열차내의 인체에의 영향도 아직 정확히 검증된 것은 아니지만 문제시되고 있다. 그리고, 그 중에서도 자계는 차폐가 어렵기 때문에 더욱 더 큰 문제가 되고 있다[1]. 자계는 전류원에 의해서 발생하게 되는데, 물론 기체내의 전동기 등에 의한 고조파(Harmonics)로 인한 자계도 존재하지만, 여기서는 주요한 전류원인 급전시스템의 송전선들에 의한 전력주파수(Power Frequency)상에서의 자계에 대해 고려하고자 한다.

2. 자계의 계산

2.1 유한장 도선에 의한 자계의 계산

전자파를 계산하는 방법은 여러 가지가 있으나, 그 중에도 저주파 자계를 계산하는데 가장 유용하고 널리 알려진 방법은 유한 요소법이다. 그러나, 이런 유한장 도선에 의한 자계를 계산하기 위해서는 유한 요소법은 상당히 유용하지 못하다. 유한 요소법은 이런 무한 경계면의 문제에서는 가상 경계면 할당과 상당히 많은 변수를 요구하므로 계산이 오히려 복잡해지고, 시간만 오래 걸리게 된다. 그래서, 본 논문에서는 자계의 기본적인 식인 Biot-Savart's Law의 적분식을 벡터의 대수식으로 변형한 식(2)을 소개하고, 이 식을 이용하여 분석하고자 한다.

$$H = \frac{1}{4\pi} \oint_C \frac{ds \times R}{R^3} \dots\dots\dots (1)$$

단, ds: 유한도선의 방향 벡터
 R: 유한도선의 중심부와 점 P까지의 거리

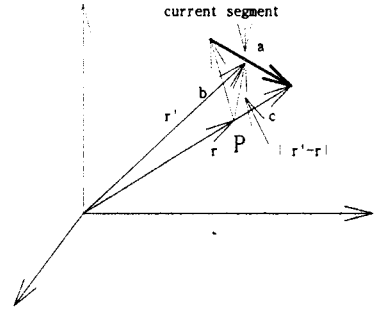


그림 1. 유한 도선의 위치벡터들

단, a: 유한도선의 방향 벡터
 b: 계산점으로부터 유한도선의 시작점까지의 방향 벡터
 c: 계산점으로부터 유한도선의 끝점까지의 방향 벡터

위의 그림 1을 참조하여, 식(1)을 변형시키면, 아래와 같은 벡터 대수식인 식(2)이 된다.

$$H = \frac{c \times a}{|c \times a|^2} \left(\frac{a \cdot c}{|c|} - \frac{a \cdot b}{|b|} \right) \dots\dots\dots (2)$$

계산점에서의 a, b, c를 구한 후 위의 식을 이용하여 대입하면 자계를 계산할 수 있다.

2.2. 경부 고속철도의 급전시스템

열차가 구동하기 위해서는 전력 공급이 필요하며, 그 공급을 위한 여러 전력시스템 장비가 필요하다. 본 논문에서는, 여러 장비들이 있지만 내부적인 자세한 모델링은 생략하고, 송전선들로 구성된 대략적인 급전시스템에 관하여 소개하고자 한다. 급전 시스템은 그림 2에서와 같이 전류를 공급하는 Feeder(F), 고속철도간의 통신을 담당하는 Messenger Wire(M), 낙뢰 등의 피해를 줄이는 Overhead Protection Conductor(OPC), Rail, 그리고, 대지전류의 흐름을 만드는 Earth Wire(EW) 등이 있다. 자세히 설명하자면, 전류를 Feeder와 Rail에서 공급하여 그 공급된 전류로 열차를 구동하고, 열차 사이의 간격과 정보를 교환하기 위한 Messenger Wire가 있다. 그리고, Earth Wire가 있는데 그 역할은 상당히 중요하다. 여기서, 대지전류의 흐름을 만드는 Earth Wire는 상당히 중요한 역할을 한다. 실제로 전력시스템의 전류 공급이 평형을 이루고 있을 때는 대지에 전류는 흐르지 않게 된다. 그러나, 평형을 이루고 있지 않을 때는 대지의 전류를 발생하여 예상하지 못했던 자계를 발생시킨다.

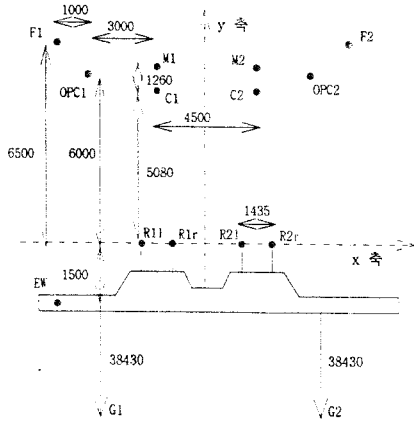


그림 2. 경부 고속 전철의 급전 시스템
(F: Feeder, M: Messenger Wire, OPC:가공지선,
EW: Earth Wire) 단, 단위는 [mm]

대지 전류에 의한 자계는 지하에 있다고 해서 절대로 차폐가 되는 것은 아니기 때문에, 상당히 문제가 되고 있다. 그러나, 전류가 흐르는 도선들 서로 접근 시키면 자계가 감소한다는 생각에서 전류가 흐를 수 있는 길을 일부러 만들어 주는 것이 Earth Wire이다. 그리고, C는 지하에 흐르는 대지 전류의 길이이다.

본 논문에서는, 위의 내용을 바탕으로 각각의 경우에 따른 열차에서의 자계를 계산하고자 한다.

2.3 여러 경우에 대한 자계분석

본 장에서는 전류 조건을 상, 하행선이 같이 지나가는 경우(I)와 상행선만 지나가는 경우(II)로 크게 나누어서 x축으로 -4(m)~4(m), y축으로 0(m)~5(m)까지의 영역에서의 자계값을 구하고자 한다.

Case I-1)

위 치	전류값(A)
$C1=C2$	297-62i
$M1=M2$	127-27i
$F1=F2$	-127+34i
$R1l=R1r=R2l=R2r$	-7+i
$OPC1=OPC2$	-104+19i
$EW1=EW2$	-59+11i
$G1=G2$	-118+22i

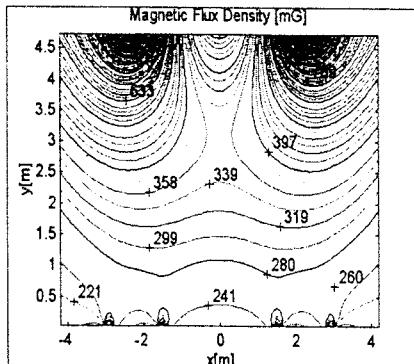


그림 3. 등자계 분포도 (최대값: 2120[mG])

Case I-2)

위 치	전류값(A)
$C1=C2$	213-52i
$M1=M2$	91-22i
$F1=F2$	-257+84i
$R1l=R1r=R2l=R2r$	-1-3i
$OPC1=OPC2$	-16-36i
$EW1=EW2$	-9-21i
$G1=G2$	-18-42i

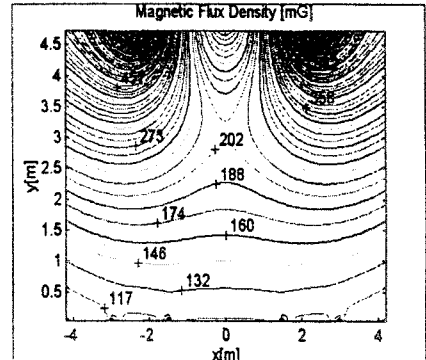


그림 4. 등자계 분포도 (최대값: 1490[mG])

Case I-3)

위 치	전류값(A)
$C1=C2$	303-81i
$M1=M2$	130-35i
$F1=F2$	-128+42i
$R1l=R1r=R2l=R2r$	-8+2i
$OPC1=OPC2$	-106+26i
$EW1=EW2$	-61+15i
$G1=G2$	-122+30i

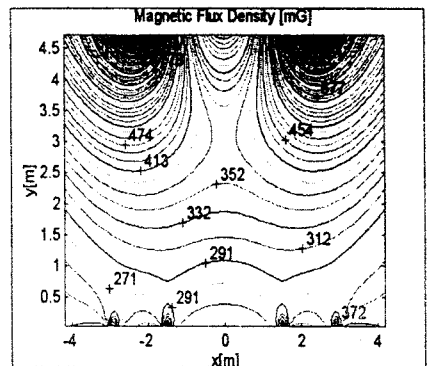


그림 5. 등자계 분포도 (최대값 : 2196[mG])

Case I-4)

위치	전류값(A)
$C1=C2$	$214-55i$
$M1=M2$	$92-24i$
$F1=F2$	$-259+89i$
$R1l=R1r=R2l=R2r$	$-1-0.2i$
$OPC1=OPC2$	$-16-3i$
$EW1=EW2$	$-9-2i$
$G1=G2$	$-18-4i$

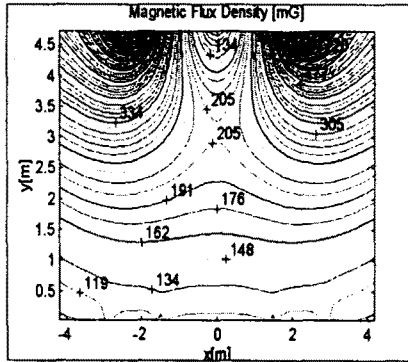


그림 6. 등자계 분포도 (최대값: 1506(mG))

Case II-1)

위치	전류값(A)
$C1, C2=0$	$297-62i$
$M1, M2=0$	$127-27i$
$F1, F2=0$	$-127+34i$
$R1l=R1r, R2l=R2r=0$	$-7+i$
$OPC1, OPC2=0$	$-104+19i$
$EW1, EW2=0$	$-59+11i$
$G1, G2=0$	$-118+22i$

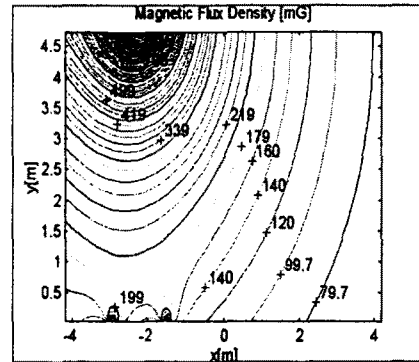


그림 8. 등자계 분포도 (최대값: 2075(mG))

Case I-5)

위치	전류값(A)
$C1=C2$	$512-123i$
$M1=M2$	$220-53i$
$F1=F2$	$-386+125i$
$R1l=R1r=R2l=R2r$	$-9+i$
$OPC1=OPC2$	$-121+18i$
$EW1=EW2$	$-69+10i$
$G1=G2$	$-138+20i$

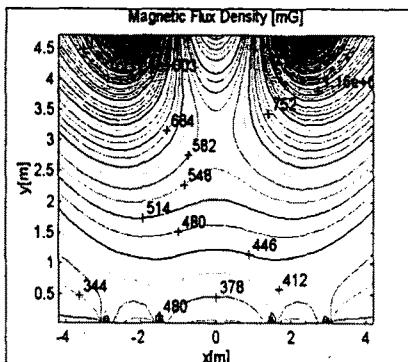


그림 7. 등자계 분포도 (최대값: 3646(mG))

Case II-2)

위치	전류값(A)
$C1(C2=0)$	$213-52i$
$M1(M2=0)$	$91-22i$
$F1(F2=0)$	$-257+84i$
$R1l=R1r(R2l=R2r=0)$	$-1-3i$
$OPC1(OPC2=0)$	$-16-36i$
$EW1(EW2=0)$	$-9-21i$
$G1(G2=0)$	$-18-42i$

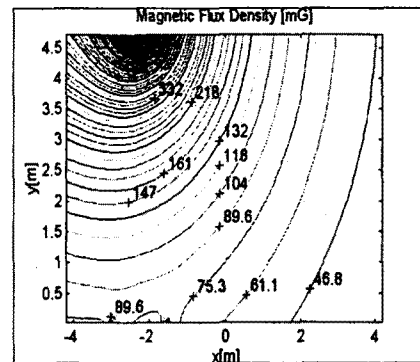


그림 9. 등자계 분포도 (최대값: 1473(mG))

Case II-3)

위치	전류값(A)
C1(C2=0)	303-81i
M1(M2=0)	130-35i
F1(F2=0)	-128+42i
R11=R1r(R21=R2r=0)	-8+2i
OPC1(OPC2=0)	-106+26i
EW1(EW2=0)	-61+15i
G1(G2=0)	-122+30i

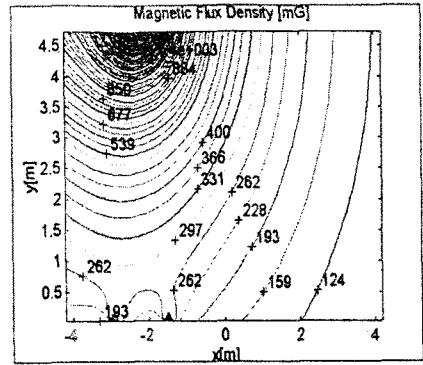


그림 12. 등자계 분포도 (최대값: 3579(mG))

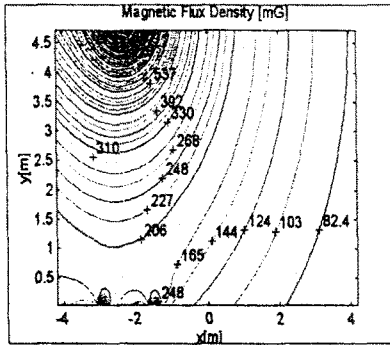


그림 10. 등자계 분포도 (최대값: 2147(mG))

Case II-4)

위치	전류값(A)
C1(C2=0)	214-55i
M1(M2=0)	92-24i
F1(F2=0)	-259+89i
R11=R1r(R21=R2r=0)	-1-0.2i
OPC1(OPC2=0)	-16-3i
EW1(EW2=0)	-9-2i
G1(G2=0)	-18-4i

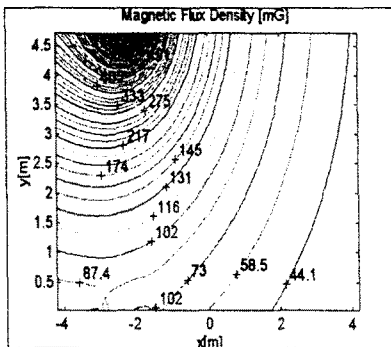


그림 11. 등자계 분포도 (최대값: 1487(mG))

Case II-5)

위치	전류값(A)
C1,C2=0	512-123i
M1,M2=0	220-53i
F1,F2=0	-386+125i
R11=R1r,R21=R2r=0	-9+i
OPC1,OPC2=0	-121+18i
EW1,EW2=0	-69+10i
G1,G2=0	-138+20i

3. 결 론

본 논문에서는, 열차가 지나갈 때 급전시스템에 나타나는 전류의 여러 경우에 대해서 자계를 계산하였다. 자계의 계산 범위는 열차 내의 인체를 감안하여, 그림에서 볼 수 있듯이 열차 크기 정도로 잡았다. 자계의 크기의 형태는 전류가 많이 흐르는 Conductor 부근에서 가장 높고, Rail 주변에서는 낮아지는 형태를 보였다. 그리고, 상행선과 하행선 두 곳에 열차가 있을 때와 상행선만 열차가 있을 때의 자계의 최대값은 그렇게 큰 차이를 보이지 않았다. 그 이유인 즉, 자계의 크기는 전류의 크기와의 상관성이 있지만, 도선과의 거리와의 관계가 있기 때문에 발생하는 현상이라 사료된다. 인체에의 영향을 고려하여 열차의 바닥에서 1m되는 지점에서의 자계를 고려하면, 평균적으로 약 220(mG)의 자계값이 계산된다. 이 값은, 플로리다에서 제안한 150(mG)보다 더 높은 값이다. 그러나, 제안한 이 값이 정확한 위험 수치라는 보장이 없을뿐더러, 아직 인체에의 영향에 대한 연구가 확증된 것은 아니기 때문에, 확신할 수는 없는 상황이다. 그리고, 실제로는 열차의 차체가 투자율이 높은 강자성체(Ferromagnetic Material)이기 때문에 자계 가 위의 경우처럼 그냥 투과되는 것이 아니라 감소하게 되고, 열차의 차체내의 와전류 등으로 인해 자계의 분석이 어려워지게 된다. 앞으로, 위의 실제적인 경우를 좀더 많이 고려하여 자계를 분석하는 것과 인체에의 영향에 대한 연구가 필요하다고 생각하는 바이다.

[참 고 문 헌]

- (1) Robert G. Olsen, "Recent Development in the ELF Electric and Magnetic Field Environment Issue", ISH'97 Proceeding Quebec, Canada
- (2) 한인수, 박종근, 명성호, 이병운, 김용식, 민석원, "송변전 설비 주변에서의 3차원 자계 해석", 대한전기학회 방전 및 고전압 연구회 춘계학술 발표회 논문집, pp. 87-90, 1997. 5
- (3) W. T. Kaune, L. E. Zaffanella, "Analysis of Magnetic Fields Produced Far From Electric Power Lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 4, October 1992
- (4) John Dabkowski, "The Calculation of Magnetic Coupling From Overhead Transmission Lines", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 8, August 1981