

# TLM 방법을 이용한 고속열차내의 객차 내부의 전자기장 해석

## Numerical analysis of electromagnetic fields in the trailer car of high speed train by transmission line matrix method

한인수†      이태형\*      박춘수\*\*      김기환\*\*\*  
Han, In-Su   Lee, Tae-Hyung   Park, Choon Soo   Kim, Ki Hwan

### ABSTRACT

Recently, electricity is essential for human lives. Modern people take cultural benefits due to the development of the electric power system and the spread of the high tech-electric appliances, the cell phones, and etc. However, the electromagnetic field problems become prominent figures owing to the fault of the communication devices around the power line and the biological effect, and etc.

In this paper, we introduce the simple electromagnetic field calculation based on the transmission line matrix method, prior to the analysis about the influence of electromagnetic field. Simulation object is the inner part of the trailer car in the high speed train. Unlike the existing paper we submitted, we analyze not only the magnetic field but the electric field in the inner part of the trailer car which makes up the high speed train.

### 1. 서론

전력시스템과 전기.전자 기술이 발달함에 따라, 현대 문명은 전기에 대한 의존도가 높아지고 있다. 가정과 직장, 여러 교통수단 등에 전기.전자 제품이 쓰이지 않는 곳이 없으며, 전기.전자 제품이 없는 세상은 상상할 수도 없다. 이렇게 전기에 대한 혜택이 많으나, 그에 따른 부작용 등이 발생하고 있다. 예를 들면, 전자기 커플링에 의한 기기의 오동작, 전력설비 주변에서의 통신기기의 고장, 요즈음 들어 많이 부각되고 있는 인체에의 영향 등이 이것이다. 해외에서는 60[Hz] 전력주파수에 대하여 833[mG]라는 권고치를 내세우고 있으며, 전력시스템이 복잡해지고, 전기.전자 제품이 많이 보급됨에 따라 권고치는 더욱 더 낮아질 것으로 생각된다. 보통 전자기장에 대한 판단은 가우스미터 등의 전자기 측정 장비로 전자기기를 측정하여 알 수 있으나, 이는 발생 후의 측정에 불과하고, 전자기에 대한 대책 마련을 위해서는 설계 단계나 설계 후에 전자기장에 대한 예측이 중요하다. 전자기장은 보통 Electromagnetic Field라고 불리며, 보통 수용가에 공급되는 전력주파수에 대한 전자기장은 전자계(電磁界)라고 통신기기 등에 사용되는 전기장은 전자파(電磁波)라 불린다.

† 책임저자 : 정희원, 한국철도기술연구원, 차세대고속철도기술개발사업단TFT, 선임연구원  
E-mail : ishan@krii.re.kr  
TEL : (031)460-5626 FAX : (031)460-5649

\* 정희원, 한국철도기술연구원, 차세대고속철도기술개발사업단TFT, 선임연구원

\*\* 정희원, 한국철도기술연구원, 차세대고속철도기술개발사업단TFT, 책임연구원

\*\*\* 정희원, 한국철도기술연구원, 차세대고속철도기술개발사업단TFT, 수석연구원

본 논문에서는, 60[Hz] 전력주파수에 따른 한국형 고속열차 내부에서의 전기장과 자기장의 예측을 위하여 TLM(Transmission Line Matrix Method)을 이용하여 계산한다. 가선에 인가되는 전압과 전류에 의한 전기장과 자기장을 구하며, 차량 내부에 있는 모터블럭이나 인버터 등에 의한 전기장과 자기장에 대한 영향은 본 논문에서는 고려치 않는다. 실제로는 주변압기, 모터블럭, 인버터 등에 의한 전기장과 자기장의 영향을 고려해야 하나, 본 논문에서는 단순화된 시뮬레이션 방법을 소개하기 위하여 다른 전기 장비에 의한 영향은 고려치 않는다.

## 2. 정식화

전자기장에 대한 지배방정식은 맥스웰 방정식을 따른다. 맥스웰 방정식을 표기하면 식 (1)~(4)와 같다.

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (3)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (4)$$

식 (1)~(4)는 시간에 따른 전자기장에 대한 식이고, 고속철도 모델에서는 sinusoidal 전압과 전류에 의해 구동되므로, phasor로 표현하면, 식 (5)~(8)과 같다.

$$\nabla \times E = -j\omega B \quad (5)$$

$$\nabla \times H = J + j\omega D \quad (6)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (7)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (8)$$

식 (5)~(8)에서 전기장과 자기장에 대한 식은 decouple이 가능하다. 왜냐하면, 사용되는 주파수가 저주파이기 때문에 식(5)와 식(6)의 식이 couple되지 않고, 분리할 수 있다. 전기장에 대한 식만을 표현하면, 아래 식 (11)과 같이 Laplace's equation으로 표현된다.

$$\nabla \times E = 0 \Rightarrow E = -\nabla \phi \quad (9)$$

$$\nabla \cdot (\epsilon E) = 0 \Rightarrow \nabla \cdot (-\epsilon \nabla \phi) = 0 \quad (10)$$

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (11)$$

자기장에 관련된 식은 식 (12)~(13)으로 표현할 수 있다.

$$\nabla \times H = J \quad (12)$$

$$\nabla \cdot B = \nabla \cdot (\mu H) = 0 \quad (13)$$

전기장에 관련된 식은 가선에서 전압을 인가하고, 유전율로 표현된 저항값(실제로 저항은 유전율과 관련이 없다)으로 된 network에 의해 계산하면 되고, 자기장에 관련된 식은 MMF(Magnetomotive Force)에 의한 Reluctance로 표현된 network에 의해 계산을 한다. 실제로는, 교류 자기장에 의한 유도 전류 등으로 인해, 전기장에 관련된 식도 도전율에 관하여 고려해야 하나, 본 논문에서는 이를 고려치 않고, 단순화된 network를 이용한 계산을 하기로 한다. 그리고, 본 논문에서 고려하는 전기장 문제는 유전율이 모든 물체에 대해서 동일하기 때문에, Laplace's equation이 되며, 이는 potential이 기하학적인 모양으로 표현됨을 알 수 있다. 전기장과 자기장에 관련된 계산방법을 그림으로 표현하면 아래 그림 1과

같다.

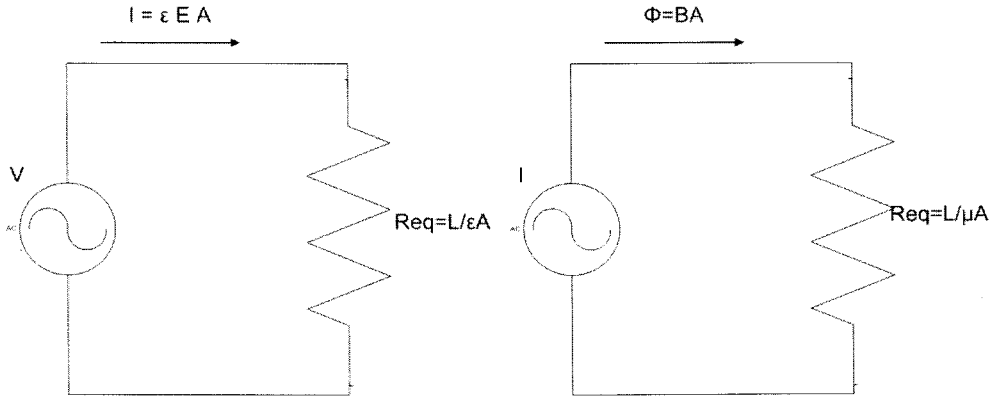


그림 1. 수치해석을 위한 간략한 회로도

그림 1에서  $L$ 은 Mesh Size를 나타내고,  $A$ 는 Mesh Size의 면적이다. 전기장의 문제에서는, 유전율을 각 매체에 대해서 동일하게 설정해도 무방하다. 실제로는, 주파수가 올라갈수록, 유전율은 상승하므로, 이에 대한 고려도 필요하나, 본 논문에서는 이 효과는 무시한다.

### 3. 사례 연구

그림 2는 한국형 고속열차의 객차 단면이다. 객차 외부는 주철(Mild Steel)이라 가정하고, 인가되는 전압은 25[kV], 전류는 600[A]로 하여 Simulation을 하였다.

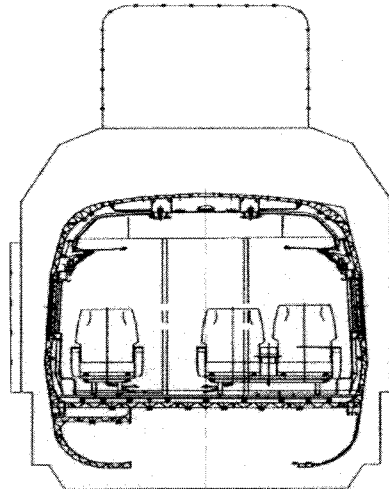


그림 2. 한국형 고속열차 객차 단면

객차가 실제로는 정 가운데를 기준으로 대칭이므로, 대칭 조건(Symmetry Condition)을 적용하여 계산을 하였다.

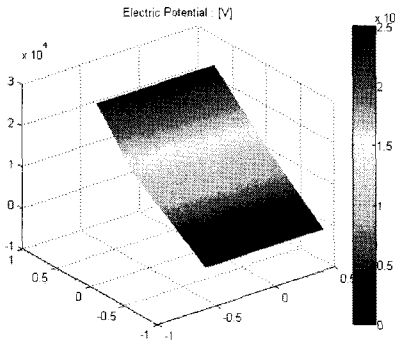


그림 3. 전기장의 Level Surface

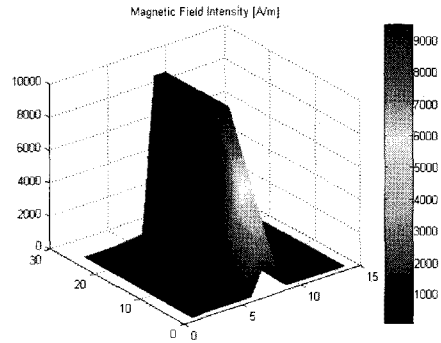


그림 4. 자기장의 Level Surface

그림 3에서 보듯이, 전기장은 객차의 위 부분에서 아래 부분으로 넓게 퍼지는 부분에서 전위의 왜곡이 있음을 알 수 있었고, 나머지 부분에서는 균일하게 나타났다. 그림 4에서 보듯이, 자기장은 객실로 갈수록, 투자율이 높은 부분인 위 부분에서 차폐가 되면서, 열차 아래 부분으로 갈수록, 가선(전류 소스)에서 멀어지면서, 거리가 멀어져 자기장이 감소하였다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는, 전기장과 자기장을 간단한 Transmission Line Matrix Method로 도식화하여, 등가 impedance와 source에 관한 회로 방정식을 구현하여 계산하였다. 전기장과 자기장은 서로 영향을 주지 않는다는 가정에서, 계산을 하였고, 쉽게 전기장과 자기장을 예측할 수 있는 프로그램을 구현하였다. 그러나, 실제로 열차 내부의 전기장과 자기장에 영향을 주는 요소는 가선 이외에도 주변압기, 모터블럭, 인버터 등이 있으며, 본 논문에서는 자세히 언급하지 않았으나, 와전류나 경계 조건에 대한 정확한 조건을 고려해야 한다. 향후 연구는 측정과 수치 계산의 보정을 통해, 실제 모델에 더욱더 적합한 수치적 모델과 계산을 하는 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07차세대고속철도 A01)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] John David Jackson, *Classical Electrodynamics*, John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [2] Christos Christopoulos, *The Transmission-Line Modeling Method*, IEEE Press, 1995.
- [3] H. A. Haus and J. R. Melcher, *Electromagnetic Fields and Energy*, Prentice Hall, 1989.
- [4] Concettina Bucella, "Quasi-Stationary Analysis of the Electric Field in Anisotropic Laminated Composites", *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 35, No. 6, Nov. 1999.