

철도무선전력전송의 급전선로와 레일 유기기전력의 관계에 관한 연구

Relation between Induced Voltage of the Railroad and the Shape of the Feeding Line for the Railway Wireless Power Transfer

김재희[†], 이병송, 이준호, 이수길, 박찬배, 정신명, 이원준

JaeHee Kim[†], Byung-Song Lee, Jun-Ho Lee, Su-Gil Lee, Chan-Bae Park,

Shin-Myung Jung, Won-Jun Lee

Abstract Magnetic field generated by the feeding line of the wireless power transfer induce voltage on the railroad of the railway system. The induced voltage of the railroad can have bad influence on the track circuit of the railroad and safety. This paper simulated three feeding line structure to study relation between feeding line and the induced voltage of the railroad. One of the feeding line is a single loop which is used in conventional wireless power transfer systems. Another feeding line is twisted loop and the other is two loop which are wound in opposite direction. The simulated results show that the second and third feeding lines which make the magnetic fields in opposite direction between two rails have more reduced induced voltage and EMF than the first one.

Keywords : Wireless power transfer, Railway, Induced current, EMF

초 록 철도의 무선전력전송 시스템을 구현하는데 있어 급전선로에서 생성된 자기장은 레일에 유기전류를 형성한다. 레일의 유기전류는 궤도회로의 동작 및 안전사고에 영향을 줄 수 있기 때문에 최소화하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 3가지 무선급전 선로의 형상에 대해서 레일에 형성되는 유기기전력과 관계를 시뮬레이션을 통하여 살펴본다. 첫번째 급전선로는 기존의 무선전력전송에 사용하는 구조로 바닥에 하나의 루프를 형성하는 구조이다. 두번째 선로는 한번씩 교차하는 지점이 생기도록 구성한 것이며 세번째 선로는 바닥에 두 개의 루프를 형성하며 급전전류의 방향을 반대로 넣는 구조이다. 세가지 시뮬레이션 결과, 급전선로의 자기장이 서로 상쇄하도록 구성된 두번째 선로와 세번째 선로에서 유기기전력이 확연히 줄어드는 결과를 확인할 수 있었다.

주요어 : 무선전력전송, 철도, 레일 유기기전력, EMF

1. 서 론

무선전력전송 시스템은 전원을 공급되는 전기에너지를 점점 없이 부하에 전달하는 방법이다. 무선으로 전원을 공급하기 위해서는 저주파는 전류가 잘 유기되지 않기 때문에 일반적인 전원 주파수를 사용할 수 없고 고주파로 변환을 해 주어야 한다. 따라서 무선전력전송 시스템은 고주파로 변환하는 인버터, 고주파전원을 자기장으로 만들어 주는 급전장

[†] 교신저자: 한국철도기술연구원(jaehee@krii.re.kr)
한국철도기술연구원 첨단추진 무선급전 TFT

치, 자기장을 수신하여 유기전류로 만들어 주는 집전장치 그리고 유기된 전류를 부하에 공급가능한 전원으로 변환해 주는 정류기 및 레귤레이터로 구성이 된다. 기존 무선전력전송장치는 수 W에서 수백 kW까지 다양하게 연구가 되고 있다[1]. 작은 용량의 응용에서는 휴대폰 및 노트북, 소형가전, 로봇 충전등에 적용이 되고 있으며 대용량 응용에서는 자동차, 버스, 철도 충전에 적용되고 있다[2-8]. 작은 용량의 경우 소자가 다양하게 개발이 되고 있기 때문에 주파수를 높여 MHz 단위에서 연구가 활발히 진행이 되고 있으며, 대용량의 경우 주파수를 올리는 것에는 한계가 있기 때문에 수십 kHz 단위에서 활발히 연구가 되고 있다.

철도 무선전력전송 시스템은 대용량 무선전력전송 시스템이며, 철도가 움직이는 상황에서 지속적으로 전원을 공급해 주어야 하는 시스템이다. 따라서 철도의 무선전력전송은 온라인 버스와 같이 급전선로의 루프를 길게 형성을 해주어야 한다. 철도의 무선전력전송 시스템은 기존의 다른 응용과는 다르게 급전선로 주변에 레일이 존재하는 다른 점이 있다. 레일은 열차가 움직이는 변위를 줄여 공극을 일정하게 유지하고 열차의 위치가 틀어지는 것을 막아주는 장점이 있는 반면에 레일로 인하여 급전선로에서 형성되는 자기장이 유기되어 전류가 형성이 될 수 있다. 본 논문에서는 무선전력전송을 철도에 적용할 경우 레일에 유기전류가 형성될 수 있음을 제안하고 다양한 급전선로에 대해서 레일에 유기전류를 최소화하는 구조는 어떠한 것인지 제시하도록 한다.

2. 급전선로의 형상과 레일 유기기전력의 관계

2.1 급전선로와 레일 유기기전력

무선전력전송의 급전선로는 일반적으로 루프 형태로 구성이 된다. 루프에 강한 전류를 흘리게 되면 루프의 안쪽에 자기장이 강하게 형성이 된다. 이 자기장이 픽업의 코일에 유도기전력을 형성하게 되고 이를 이용하여 무선전력전송이 가능해 진다. 그러나 급전선로의 자기장은 픽업뿐만 아니라 주변 금속에도 영향을 미치게 된다. 특히 철도환경의 경우 급전선로 왼쪽과 오른쪽에 철도레일이 있으며 두 레일이 연결되면 하나의 페루프가 형성이 되어 페루프 안을 쇄교하는 자속은 레일의 유기기전력을 형성한다. 철도환경에서 급전선로의 구성을 Fig. 1에 도시하였다. 두 레일간 간격은 1.435 m 이며, 급전선로는 폭 0.8 m 길이 10 m로 구성을 하였다. 급전선로의 직경은 30 mm로 설정을 하였다. 실제 철도 레일은 분기기 및 궤도회로가 있기 때문에 레일의 양쪽은 전기적으로 연결이 되어 있다. 따라서 급전선로에 전류를 흘리게 되면 레일이 형성하는 페루프로 자속이 쇄교하여 레일에 유기기전력이 형성이 된다. 무선전력전송의 주파수를 60 kHz로 하고 급전전류를 300 A로 넣고 시뮬레이션을 했다. 무선전력전송에 있어서 선로주변의 자기장(EMF)의 세기도 안전을 위하여 중요한 파라미터이며, 본 논문에서는 선로 중심으로부터 1.75 m 떨어진 지점의 EMF를 같이 살펴보았다. 시뮬레이션 결과는 Fig.2 에 도시하였으며 레일의 유기기전력은 최대치가 506 V로 나왔으며, 시뮬레이션된 EMF 값은 183mG 이다. 이는 선로 위의 다른 회로에 영향을 줄 수 있는 값이기 때문에 개선할 필요성이 있다.

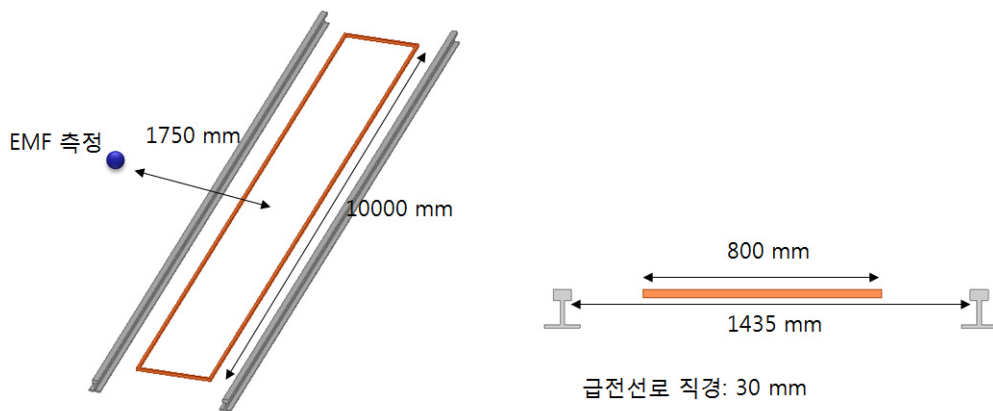
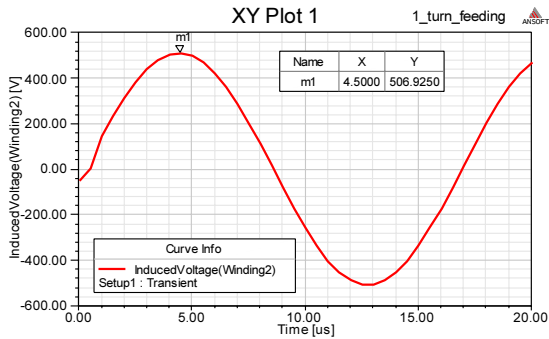
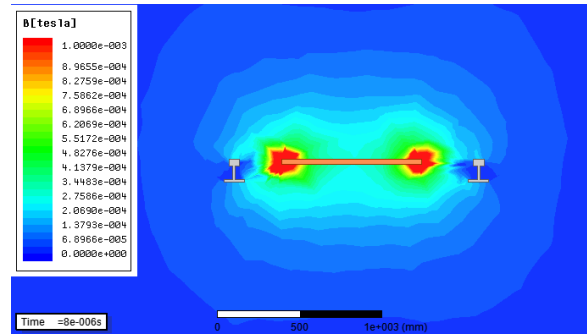


Fig.1 철도적용 급전선로의 구성



(1) 선로 유기전력



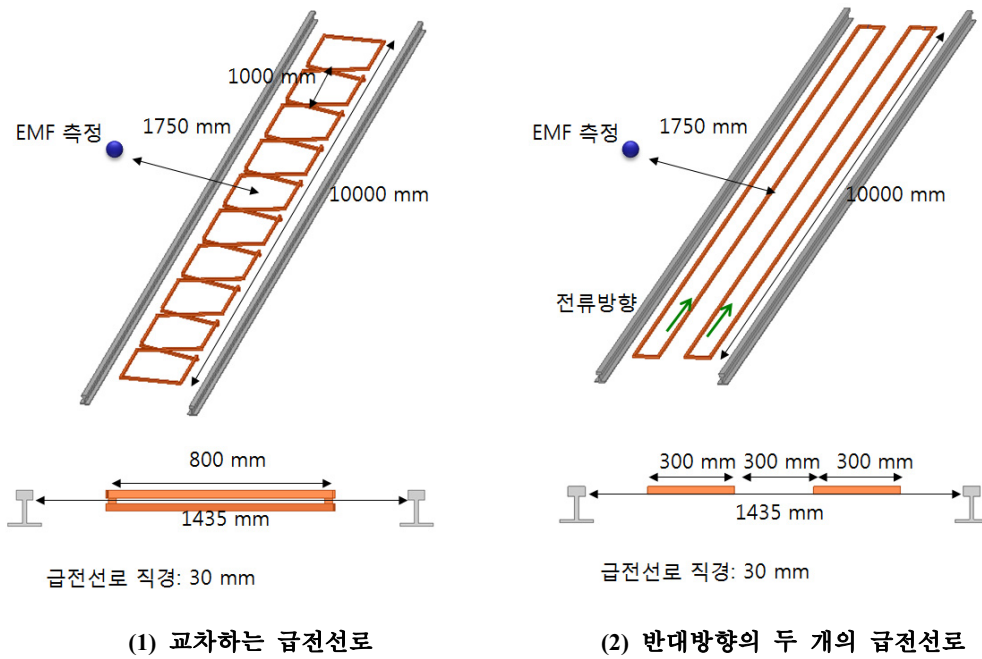
(2) 자기장 분포

Fig.2 급전선로에 의한 선로 유기전력과 자기장 분포

2.2 레일 유기전력 개선을 위한 급전선로 구조

레일에 유기전력이 생기는 원인은 레일이 형성하는 폐루프 내부에 자기장이 쇄교하기 때문이다. 따라서 유기전력을 최소화 하기 위해서는 쇄교하는 자기장의 양을 없애거나 혹은 쇄교하는 자기장이 위치에 따라 방향이 달라서 서로 상쇄되도록 하여야 한다. 기존구조에 쇄교하는 자기장양을 줄이기 위해서는 급전선로에 코어를 사용하거나 픽업모듈의 형상을 디자인 하여야 한다. 하지만 근본적으로 자기장을 줄이는데 한계가 있기 때문에 본 논문에서는 급전선로의 형상을 바꾸어 레일 유기전력을 줄이는 것에 대해서 살펴본다. 쇄교하는 자기장을 서로 상쇄시키기 위한 급전선로는 2가지로 생각할 수 있다. 첫번째는 급전선로가 진행방향으로 서로 교차하도록 구성을 하여 인근선로가 만드는 자기장의 방향이 반대로 구성하는 것이고 두번째는 서로 반대방향으로 감긴 두 개의 급전루프를 사용하는 것이다. Fig. 3은 교차하는 급전선로와 감는방향이 다른 두개의 급전선로를 사용하는 방법을 도시하였다. 교차하는 선로의 총 길이는 10 m 이며 서로 교차하는 간격은 1 m 이다. 그리고 루프의 폭은 기존의 방법과 동일한 0.8 m로 하였다. 선로 반대방향으로 감긴 두개의 루프 급전선로의 경우 각 루프의 폭은 0.3 m 이며 간격은 0.3 m 이다. 그리고 급전선로의 길이는 10 m 이다.

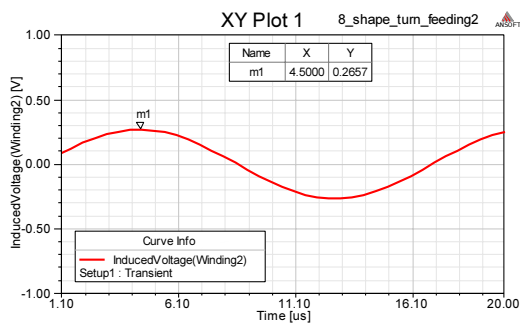
각 급전구조에 대해서 레일의 유기기전력과 1.75 m 떨어진 지점에서의 EMF 값을 시뮬레이션 하였다. Fig. 4, 5는 시뮬레이션 결과를 보여주고 있으며 유기기전력은 교차하는 급전선로가 0.26 V, 두 개의 급전선로가 0.14 V로 기존 단일 루프의 구조보다는 획기적으로 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 또한 각 선로의 자기장의 분포를 보더라도 레일 밖으로 새어나가는 양이 줄어들었다. 교차하는 선로의 EMF 값은 3.9mG, 반대방향으로 감은 두 개의 급전선로의 EMF는 51.7 mG로 기존구조보다는 개선이 되었다. 따라서 이의 결과로부터 철도 무선전력전송 시스템을 구현하는데 있어서 레일유기기전력과 EMF를 감소시키기 위해서는 레일 안쪽에서 형성되는 무선급전의 자기장의 방향을 한쪽으로만 형성할 것이 아니라 전체적으로 서로 상쇄시킬 수 있도록 자기장의 방향을 교차하도록 구성하는 것이 유리하다는 결론을 내릴 수 있다.



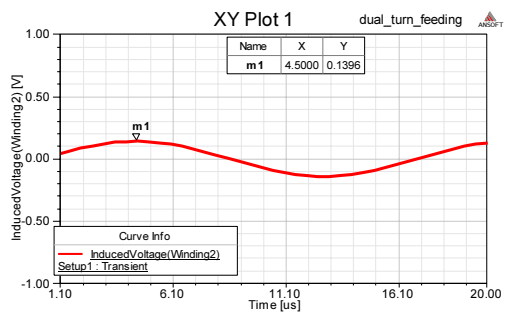
(1) 교차하는 급전선로

(2) 반대방향의 두 개의 급전선로

Fig.3 레일 유기기전력 감소를 위한 급전선로 구성

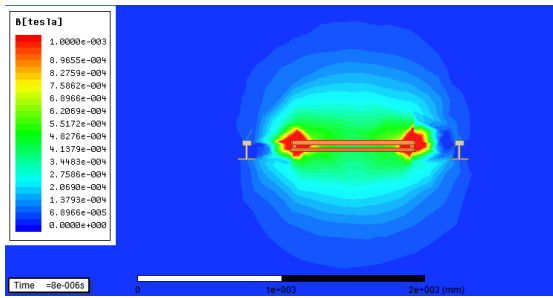


(1) 교차하는 급전선로

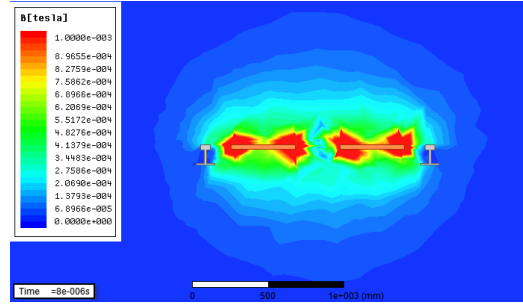


(2) 반대방향의 두 개의 급전선로

Fig.4 각 선로에 대한 레일 유기기전력



(1) 교차하는 급전선로



(2) 반대방향의 두 개의 급전선로

Fig.5 각 선로에 대한 선로주변 자기장 분포

3. 결론

본 논문에서는 철도에 무선전력전송을 적용할 경우 레일에 유도기전력이 형성되어 문제를 야기 할 수 있음을 제시하였다. 그리고 이를 해결하기 위해서는 급전선로의 자기장이 레일이 만드는 폐루프 내에서 상쇄될 수 있도록 서로 반대방향으로 형성되게 구성하는 것이 유리함을 제시하였다. 시뮬레이션을 통해 교차하는 급전선로와 반대방향으로 감긴 두 개의 급전선로를 살펴본 결과 기존 단일 급전선로보다 레일 유기기전력이 1V 아래로 또한 EMF 값이 60mG 이하로 획기적으로 감소하는 것을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Aiguo Patrick Hu (2009) *Wireless/Contactless Power Supply*, VDM Verlag, Chap 1.
- [2] M. Stratmann and P. trawinski (2004) Rechargeable Toothbrushes with Charging Stations, *Google Patents*
- [3] H. Abe, H. Sakamoto, and K. Harada (2000) A Noncontact Charger Using a Resonant Converter with Parallel Capacitor of the Secondary Coil, *IEEE Trans. On Industry Applications*, 36, pp. 444-451
- [4] S. Y. R. Hui and W. W. C. Ho (2005) A New Generation of Universal Contactless Battery Charging Platform for Portable Consumer Electronic Equipment, *IEEE Trans. on Power Electronics*, 20 pp 620-627
- [5] J. Huh, S. Lee, C. Park, G.-H.Cho, and C.-T. Rim (2010) High Performance Inductive Power Transfer System with Narrow Rail Width for On-Line Electric Vehicles, *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, pp. 647-651
- [6] S. Lee, J. Huh, C. Park, N.-S. Choi, G.-H.Cho, and C.-T. Rim (2010) On-Line Electric Vehicle Using Inductive Power Transfer System, *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, pp. 1598-1601
- [7] Bombardier Transportation (2010) PRIMOVE Contactless and Catenary-Free Operation, *EcoActive Technologies*.
- [8] 이병송, 홍순만, 김재희, 박찬배, 이수길, 이준호 (2013) 무가선트램 60kHz 무선전력전송 시스템, *철도저널*, 16(1), pp. 8-11.