

철도용 무선전력전송시스템을 위한 급전선로 전기적 최적설계 A Optimal Design of Power Supply Lines for Wireless Power Transfer on a railway

*김양수, #정구호, 신승용, 신재규, 이석환, 송보윤

*Y. S. Kim, #G. H. Jung(ghjung9595@kaist.ac.kr), S. Y. Shin, J. G. Shin, S. H. Lee, B. Y. Song
KAIST Institute IT 융합연구소 무선전력전송센터

Key words : OLEV, contactless power transfer, IPT, electric vehicle, railway

1. 서론

화석 연료의 사용으로 인해 환경오염이 심각해지고 있다. 현재 환경오염을 줄이기 위해서 전기를 이용한 철도 차량 운행되고 있다. 철도차량은 팬터 그래프를 통해 전력을 공급 받으며 운행되어지고 있다. 급전라인과 팬터그래프의 마찰로 인해 철도 차량의 속도제한 문제가 있으며 급전라인의 설치를 위해서 터널을 더 높게 건설해야 하며, 급전라인은 미관상 보기에 좋지 않은 문제점이 있다. 무선 전력전송 시스템을 이용하면 속도제한 문제, 미관 문제를 해결할 수 있으며, 터널 공사비용 역시 줄일 수 있다.

우리는 철도사양을 만족시키기 위한 실험을 하기 전에, 150A ~ 190A의 급전전류 그리고 급전코어와 집전코어의 간격이 230mm 와 260mm로 실험을 하였다. 이것은 철도 사양보다 낮은 급전전류, 급전코어와 집전코어의 간격이 철도 사양보다 크게 하여 실험한 것이다. 우리는 이 자료를 토대로 실제 철도 사양을 만족시키기 위한 급전선로의 전류를 예측하는 방법을 설명하려고 한다.

2. 무선전력전송시스템 및 전기적 사양

무선전력전송시스템 [1, 2]은 인버터, 급전선로, 픽업 [3, 4, 5], 렉티파이어로 구성된다. 인버터는 60Hz의 3상 전류를 20kHz의 1상 전류로 변환하며, 급전선로의 급전전류를 일정하게 유지하는 역할을 한다. 픽업은 급전선로 주위에 변화하는 자속으로부터 전력을 공급 받으며, 렉티파이어는 픽업으로부터 얻은 교류 전류를 직류 전류로 바꿔주며, 이 전류는 배터리와 모터구동을 위한 인버터에 공급된다.

픽업은 두 픽업 코일로 구성되며, 각각 3.009mH,

3.128mH이다. 두 코일간에 coupling coefficient는 약 0.88이다. 두 픽업 코일의 공진 주파수를 25 ~ 26kHz사이로 맞춰 놓으면 하나의 픽업의 공진 주파수는 20kHz가 되며, 우리는 무선전력전송시스템의 제어를 쉽게 할 수 있도록 19.xxkHz로 공진 주파수를 맞추므로써 픽업을 약간의 인덕턴스 성분으로 보이게 한다.

철도용 급전선로의 설계 조건은 급전코어와 집전 코어의 간격은 9cm이며, 하나의 픽업당 100kW의 출력이 가능하도록 하는 것이다.

이 논문에서는 현재 철도차량의 모터구동을 위한 인버터 입력 전압이 1781.9 ~ 2177.8V (AC 1400V ± 10% 정류 peak value)정도 되기 때문에 픽업의 실효 무부하 전압의 최대치를 2000V가 되도록 하는 급전전류를 실험을 통해 찾으려고 한다. 또한, 여기에서 다루진 않겠지만 여러 번의 실험을 통하여 픽업의 실효 무부하 전압 보다 픽업의 실제 무부하 전압이 1.17 ~ 1.2배 정도 큰 것을 확인했다.

3. 실험방법 및 결과

Fig. 1은 픽업을 간단하게 모델링한 그림이다. 급전 전류에 의해 유도된 전압 (실효 무부하 전압)을 V_s , 픽업에 흐르는 전류를 I_s , 코일의 저항 및 core loss에 의한 저항을 R_s , 부하 전압을 V_L , 부하저항을 R_L 로 나타내었다.

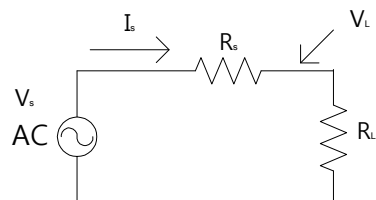


Fig. 1 Pick-up modeling

실험방법은 다음과 같다. 급전라인은 2 μ m으로 하고, 급전코어와 집전코어의 간격이 260mm일 때와 230mm일 때, 급전전류를 150A에서 190A까지 20A단위로 변경시키며 V_L 과 I_s 를 측정하였다. 또한, 각각의 급전전류에 대해 R_L 을 변경하여 V_L 과 I_s 를 측정하여 R_s 를 계산하고 그에 따라 V_s 의 값역시 계산하였다. Table 1에 측정값과 계산 값을 나타내었다.

Fig. 2는 급전전류 150A일 때, 급전코어와 집전코어의 간격이 260mm와 230mm일 때, 계산한 실효 무부하 전압을 토대로 코어 간격에 따른 실효 무부하 전압을 유추한 그래프이다. 유추한 그래프로부터 급전코어와 집전코어의 간격 9cm, 급전전류 150A일 때, 픽업의 실효 무부하 전압을 1180.697V로 예측 가능하다.

Table 1 Experimental results

	V_s (V)	V_L (V)	I_s (A)	R_s (Ω)
150A_26cm	562.43	537.5 / 522	22.3 / 36.16	1.118326
170A_26cm	632.73	603.1 / 585.2	25 / 40.1	1.18543
190A_26cm	709.18	679 / 659	27.85 / 46.3	1.084011
150A_23cm	671.54	610.4 / 575.1	26.5 / 41.8	2.30719
170A_23cm	757.45	696 / 658	28.3 / 45.8	2.171429
190A_23cm	841.96	781 / 756	31.7 / 44.7	1.923077

Table1으로부터 전류를 20A증가시킬 때 마다 코어간격 26cm에서 전압이 70.2, 76.4V증가하고 코어간격 23cm에서 전압이 84.5, 85.9V증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 코어의 간격이 9cm일 때, 급전전류를 20A 증가시킬 때 마다 실효 무부하 전압이 122.10, 158.77V 정도 증가하는 것을 예측할 수 있다. 따라서 코어 간격 9cm에서 픽업의 실효 무부하 전압이 2000V가 되도록 하려면, 253.20~284.19A의 전류를 흘려야할 것으로 예측된다.

그리고 core loss에 의한 저항 성분의 증가로 인해 코어 간격이 23cm일 때, 코어간격이 26cm일 때 보다 R_s 가 큰 값을 가지는 것을 Table 1으로부터 확인할 수 있다.

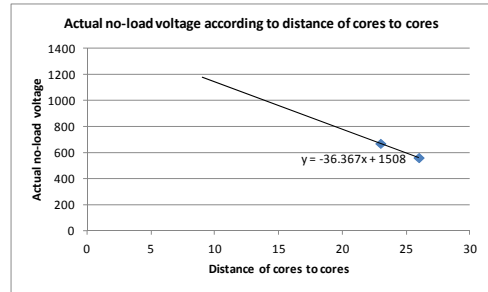


Fig. 2 Actual no-load voltage according to distance of cores to cores at 150A on a power line

4. 결론

실험 결과로부터, 급전코어와 집전 코어의 간격은 9cm, 2 μ m의 급전라인을 구성할 때, 픽업의 실효 무부하 전압이 2000V가 되도록 하는 급전전류는 253.20 ~ 284.19A로 예측했다. 그리고 코어간격 9cm에서는 R_s 가 2 Ω 보다 클 것으로 예상되므로 픽업이 100kW의 출력할 때, 부하 전압은 1910 ~ 1955V보다 작게 될 것으로 예측된다.

앞으로 실제 실험을 통해서 예상한 값이 맞는지 확인이 필요할 것이다.

참고문헌

- G. H. Jung, B. Y. Song et al., "High Efficient Inductive Power Supply and Pickup System for On-Line Electric Bus," IEVC 2012, will be published.
- J. Huh, E. H. Park, G. H. Jung and C. T. Rim, "High efficient inductive power supply system implemented for On Line Electric Vehicles," KPES, pp. 159163, 2009.
- J. G. Shin, B. Y. Song et al., "Contactless Power Transfer Systems for On-Line Electric Vehicle (OLEV)," IEVC 2012, will be published.
- B. Y. Song, J. G. Shin et al., "Design of a High Power Transfer Pickup for On-Line Electric Vehicle (OLEV)," IEVC 2012, will be published.
- 전성준, 송보운, 신재규, "보상권선이 있는 KAIST OLEV용 pickup," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2011.