

전기철도차량의 귀선전류에 따른 수서고속철도 궤도회로 영향 분석

백 종 현*

Analysis of Rolling-Stock Return Current Effect on Su-Seo High Speed Line's Track Circuit

Jong-hyen Baek*

요 약

국내 일반 및 고속 철도 노선은 대부분 AF 무절연 궤도회로가 설치되어 있기 때문에 귀선전류의 불평형 및 과전류상태가 발생하면 시스템 유도장이나 고장 등이 발생할 우려가 있다. 열차 내부의 전력변환장치로 인한 부하전류에는 고조파가 내재되고 이러한 고조파로 인해 열차는 물론 변전소 및 신호시스템의 궤도회로 데이터 전송에 영향을 줄 수 있다. 귀선전류 고조파 영향에 의해 궤도회로로부터 데이터를 전송받지 못해 열차제어시스템이 오동작을 일으키는 경우, 열차운행의 중단 등과 같은 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서, 과전류 상태로 인한 귀선 전류 불평형과 시스템 유도 장애 및 고장을 방지하기 위해서는 귀선 전류의 정확한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 귀선 전류 측정 및 분석 방법을 제시하고 고속열차 운행에 따른 호남고속철도 노선에서의 귀선전류 고조파 시험 결과를 제시하였다.

Key Words : Track Circuit, Return Current, Harmonic Frequency, Railway, Signalling System

ABSTRACT

Most domestic and high-speed railway lines are equipped with AF non-insulated track circuits, which can lead to system malfunctions and faults if unbalanced or over-current conditions occur. The load current due to the power converter inside the train contains harmonics and these harmonics can affect trains as well as the transmission of track circuit data in substations and signaling systems. If the train control system malfunctions due to the inability to receive data from the track circuit due to the influence of the return current harmonic, it may cause problems such as interruption of train operation. Therefore, an accurate analysis of the return current is needed to prevent the return current unbalance and the system induced disorder and failure due to an over current condition. In this paper, we presented measurement and analysis method at return current and it's harmonics by high speed train operation on the honam high speed line.

I. 서 론

국내 철도의 전철화 비율은 72.73%에 이르며, 2025년까지 전철거리 4,421km, 전철화 비율 82.4%

목표를 가지고 있다. 이러한 철도의 전철화에 따라 기존 디젤 기관차에서는 발생하지 않았던 전자파 간섭 현상이 철도차량으로부터 발생된 귀선전류에 의해 궤도회로에 영향을 줄 우려가 늘고 있다.

* 본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업으로 수행되었습니다.

* First and Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, jhbaek@krii.re.kr, 정희원

논문번호 : KICS2017-12-405, Received December 26, 2017; Revised March 9, 2018; Accepted March 9, 2018

귀선전류란 전차선을 통해 공급된 전류를 이용하여 철도차량에서 모터를 구동시켜 동력을 얻은 이후 철도 변전소로 귀환되는 전류를 일컫는다. 철도차량에 의해 발생하는 귀선전류가 너무 과다하면 철도 선로 변 작업자의 안전에 영향을 줄 수 있을 뿐 아니라 변전소 및 전차선 등의 전력계통과 특히 궤도회로 등에 영향을 주어 열차운행의 안전을 저해할 수 있기 때문에 적합한 값 이하로 유지되어야 한다.

국내 일반철도와 고속철도에서는 열차의 위치검지와 제한속도 전송 등의 목적으로 대부분 AF 무절연 궤도회로를 설치하여 운영하고 있으며, 만약 철도차량에서 발생하는 귀선전류가 좌·우측 레일 사이에서 과도한 불평형이 나타나거나 과전류상태가 되면 궤도회로 등의 취약개소에 전자파 간섭에 의한 유도장이나 고장 등이 발생할 우려가 있다.

열차의 추진장치에 의한 부하전류에는 고조파가 포함될 수 있으며, 이러한 고조파로 인해 궤도회로에서 열차를 검지하지 못하거나 부정낙하에 의해 열차가 없음에도 궤도회로가 단락되는 영향을 줄 수 있다^[1-9].

따라서 철도 노선을 새로 신설하거나 중요하게 개량하는 경우, 철도차량에 의해 발생하는 귀선전류와 귀선전류에 내재된 고조파가 궤도회로 동작에 영향을 주지 않는지의 여부를 확인하여야 한다.

본 논문에서는 수서고속철도 개통 전 궤도회로의 정상동작이 가능한 지 가능시험을 시행한 결과를 바탕으로 영향 분석을 하였으며, 세부 측정방법 및 기준은 경부고속철도 2단계 및 호남고속철도 개통 전 시행한 측정 방법 및 기준을 준용하였다^[10].

II. 수서고속철도 귀선전류와 고조파 시험 방법 및 기준

일반적으로 귀선전류는 변전소나 전력구분소 부근에서 가장 높게 나타날 확률이 높기 때문에 수서고속철도 오산변전소 인근 상선과 하선 임피던스 본드 2개소에서 SRT 열차를 대상으로 귀선전류와 이의 고조파를 측정하였다. 시험개소 각각 차량 정상상태 및 비정상상태(추진장치 1계 차단)에 대하여 열차운행속도 170km/h 2회, 구간최대운행속도 2회로 총 16회 시험하였다. 철도차량에 의한 귀선전류 및 고조파 시험은 오산변전소 부근 임피던스 본드에 그림 1, 2와 같이 시험장치를 설치하고, 측정 프로그램이 설치된 노트북 컴퓨터를 활용하여 수행하였다. 또한 임피던스 본드와 레일 좌·우측을 구분하여 전류센서를 설치하고 임피던스 본드 귀선케이블과 좌·우측 레일의 불평

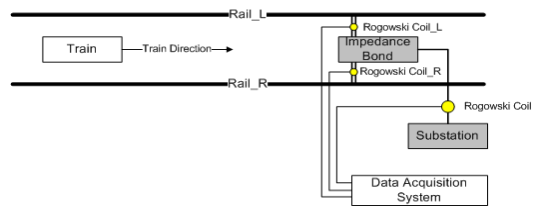


그림 1. 귀선전류 및 고조파 측정 시험 구성도
Fig. 1. Test block diagram of return current and harmonic frequency



그림 2. 귀선전류 및 고조파 센서 설치 사진
Fig. 2. Measured photo of return current and harmonic frequency

형을 동시에 측정하였다.

수서고속철도에서 사용된 임피던스 본드는 2분간 430A를 견딜 수 있는 제품이기 때문에 귀선전류의 최대 측정값은 430A이하여야 하며 임피던스 본드 좌·우측 레일의 귀선전류는 프랑스 SNCF와 한국철도공사 궤도회로 유지보수지침(좌·우측의 귀선전류 차이가 총 귀선전류의 10% 이상일 경우 불평형을 해소하기 위해 유지보수 시행)을 참고하였다.

고조파 시험의 경우, 수서고속철도에서 사용되고 있는 궤도회로 기준 주파수(2040Hz, 2400Hz, 2760Hz, 3120Hz)별로 중심주파수와 측면주파수(F0±25Hz)에서 측정된 고조파가 표 1의 궤도회로 주파수별 고조파 제한값을 중심주파수와 양쪽의 측면주파수 세 곳에서 동시에 1초 이상 지속적으로 초과하지 않아야 한다^[10].

표 1. 궤도회로 사용 주파수에 따른 고조파 제한값^[10]
Table. 1. Harmonic limits of track circuit frequency

Track circuit frequency	2040Hz	2400Hz	2760Hz	3120Hz
Harmonic at center frequency(F0)	228mA	192mA	156mA	121mA
Harmonic at side frequency(F0±25Hz)	80mA	60mA	52mA	45mA

Ⅲ. 귀선전류와 고조파 측정결과 및 분석

3.1 귀선전류

3.1.1 170km/h 열차운행시 측정결과

열차운행이 정상일 때와 추진장치 1계를 차단시킨 비정상일 때 각각 2회, 총 8회 측정하였다. 다음의 표 2 및 그림 3, 4, 5, 6에서 8회의 측정결과를 보여주고 있다. 일반적으로 귀환케이블에서 측정된 귀선전류의 최대값은 좌·우측 레일의 측정값을 합한 것과 거의 동일하여야 한다. 표 2 및 그림 3, 4, 5, 6을 통해 알 수 있듯이 귀환케이블에서 측정된 값과 좌·우측 레일에서 측정된 값의 합이 거의 동일함을 알 수 있다.

다음의 표 2에서 열차가 하행(T1) 및 상행(T2)으로 운행할 때 수서고속철도 오산변전소 부근의 임피던스 본드에서 측정된 귀선전류를 보여주고 있으며, 그림 3, 4, 5, 6에서는 귀환케이블과 좌·우측 레일로 구분하여 최대값을 그래프로 나타내었다. 표 2에서 알 수 있듯이 최대값은 귀선전류 제한값인 430A보다 훨씬 낮

표 2. 170km/h 열차주행 시 측정 결과
Table. 2. Return current measured value in 170km/h operation

Item	Criteria	Result		Decision	
		T1	T2		
Return current	Normal	below 430A	134.4A	89.28A	suitable
		unbalance below 10%	0.02% (0.03A)	0.66% (0.59A)	suitable
	Normal	below 430A	123.9A	130.5A	suitable
		unbalance below 10%	0.03% (0.04A)	0.68% (0.89A)	suitable
	Abnormal	below 430A	118.5A	136.3A	suitable
		unbalance below 10%	0.09% (0.11A)	0.56% (0.77A)	suitable
Abnormal	below 430A	146.5A	94.5A	suitable	
	unbalance below 10%	0.00% (0.01A)	0.72% (0.67A)	suitable	

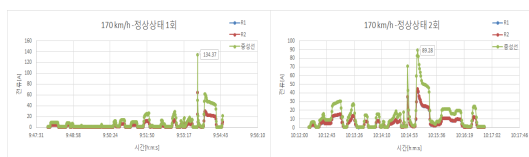


그림 3. 정상상태 귀선전류 1,2회 측정결과
Fig. 3. The 1,2 time return current measured value



그림 4. 정상상태 귀선전류 3,4회 측정결과
Fig. 4. The 3,4 time return current measured value

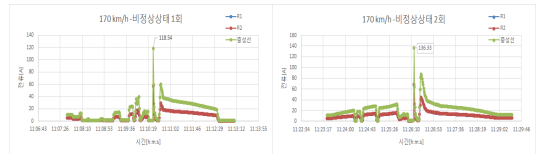


그림 5. 비정상상태 귀선전류 1,2회 측정결과
Fig. 5. The 1,2 time return current measured value

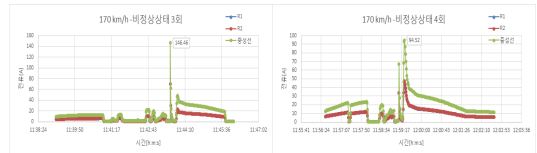


그림 6. 비정상상태 귀선전류 3,4회 측정결과
Fig. 6. The 3,4 time return current measured value

을 뿐 아니라 좌·우측 레일의 불평형 또한 총 귀선전류의 1% 미만임을 알 수 있었다.

3.1.2 구간최대운행속도 열차운행시 측정결과

구간최대운행속도는 300km/h였으나, 일부시험에 있어서는 280~300km/h로 열차가 운행되었다. 구간 최대운행속도 운행시에도 열차운행이 정상일 때와 추진장치 1계를 차단시킨 비정상일 때 각각 2회, 총 8회 측정하였다. 다음의 표 3 및 그림 7, 8, 9, 10에서 8회의 측정결과를 보여주고 있다. 일반적으로 귀환케이블에서 측정된 귀선전류의 최대값은 좌·우측 레일의 측정값을 합한 것과 거의 동일하여야 한다. 표 3 및 그림 7, 8, 9, 10을 통해 알 수 있듯이 귀환케이블에서 측정된 값과 좌·우측 레일에서 측정된 값의 합이 거의 동일함을 알 수 있다.

다음의 표 3에서 열차가 하행(T1) 및 상행(T2)으로 구간최대운행속도로 운행할 때 수서고속철도 오산변전소 부근의 임피던스 본드에서 측정된 귀선전류를 보여주고 있으며, 그림 7, 8, 9, 10에서는 귀환케이블과 좌·우측 레일로 구분하여 최대값을 그래프로 나타내었다. 표 3에서 알 수 있듯이 최대값은 귀선전류 제한값인 430A보다 훨씬 낮을 뿐 아니라 좌·우측 레일의 불평형이 가장 심한 경우가 1.68%에 불과하여 적

표 3. 구간최대운행속도 주행 시 측정 결과
Table. 3. Return current measured value in maximum speed operation

Item	Criteria	Result		Decision
		T1	T2	
Normal	below 430A	109A	117.7A	suitable
	unbalance below 10%	0.14% (0.16A)	0.0% (0.0A)	suitable
Normal	below 430A	117.9A	64.3A	suitable
	unbalance below 10%	0.08% (0.1A)	0.7% (0.45A)	suitable
Abnormal	below 430A	40.3A	66.0A	suitable
	unbalance below 10%	0.26% (0.1A)	0.76% (0.5A)	suitable
Abnormal	below 430A	40.7A	67.5A	suitable
	unbalance below 10%	0.16% (0.07A)	1.68% (1.13A)	suitable

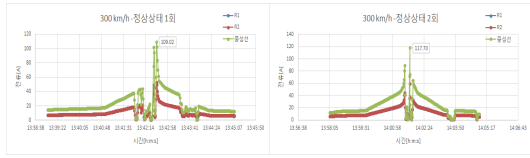


그림 7. 정상상태 귀선전류 1,2회 측정결과
Fig. 7. The 1,2 time return current measured value

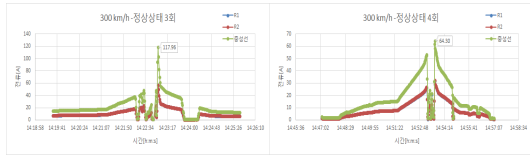


그림 8. 정상상태 귀선전류 3,4회 측정결과
Fig. 8. The 3,4 time return current measured value

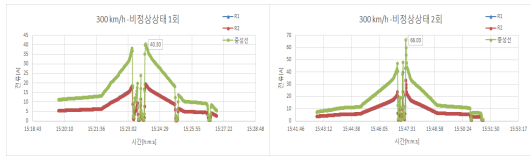


그림 9. 비정상상태 귀선전류 1,2회 측정결과
Fig. 9. The 1,2 time return current measured value

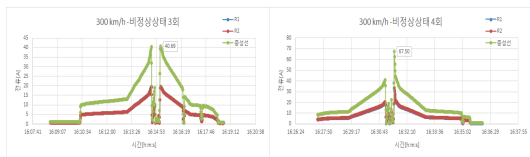


그림 10. 비정상상태 귀선전류 3,4회 측정결과
Fig. 10. The 3,4 time return current measured value

합함을 알 수 있었다.

3.2 고조파 측정결과

3.2.1 170km/h 열차운행시 측정결과

170km/h의 속도로 열차를 운행시키고 열차운행이 정상일 때와 추진장치 1계를 차단시킨 비정상일 때 각각 2회, 총 4회 측정하였으며, 다음의 표 4, 5, 6, 7에서 4회의 측정결과를 보여주고 있다. 측정결과 모두 궤도회로 사용 주파수에 따른 고조파 제한값을 초과하지 않고 있음을 알 수 있다.

표 4. 귀선전류 고조파 1회 측정결과(170km/h, 정상, T1)
Table. 4. The first return current harmonic frequency measured value

Item	Criteria	Result		Decision
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	11.9mA	12.0mA	suitable
2040+25Hz	≤ 80mA	5.8mA	2.7mA	suitable
2040-25Hz	≤ 80mA	27.0mA	2.7mA	suitable
2400Hz	≤ 192mA	9.4mA	6.1mA	suitable
2400+25Hz	≤ 60mA	8.9mA	2.2mA	suitable
2400-25Hz	≤ 60mA	9.9mA	1.5mA	suitable
2760Hz	≤ 156mA	13.7mA	16.6mA	suitable
2760+25Hz	≤ 52mA	9.8mA	5.3mA	suitable
2760-25Hz	≤ 52mA	11.8mA	5.8mA	suitable
3120Hz	≤ 121mA	15.2mA	13.3mA	suitable
3120+25Hz	≤ 45mA	6.8mA	3.4mA	suitable
3120-25Hz	≤ 45mA	13.4mA	3.7mA	suitable

표 5. 귀선전류 고조파 2회 측정결과(170km/h, 정상, T2)
Table. 5. The second return current harmonic frequency measured value

Item	Criteria	Result		Decision
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	6.0mA	14.7mA	suitable
2040+25Hz	≤ 80mA	1.5mA	6.3mA	suitable
2040-25Hz	≤ 80mA	1.8mA	10.2mA	suitable
2400Hz	≤ 192mA	10.7mA	8.8mA	suitable
2400+25Hz	≤ 60mA	2.5mA	5.3mA	suitable
2400-25Hz	≤ 60mA	2.7mA	5.1mA	suitable
2760Hz	≤ 156mA	7.6mA	16.6mA	suitable
2760+25Hz	≤ 52mA	3.5mA	6.6mA	suitable
2760-25Hz	≤ 52mA	2.5mA	8.9mA	suitable
3120Hz	≤ 121mA	15.2mA	17.0mA	suitable
3120+25Hz	≤ 45mA	3.7mA	4.3mA	suitable
3120-25Hz	≤ 45mA	4.6mA	6.8mA	suitable

표 6. 귀선전류 고조파 3회 측정결과(170km/h, 비정상, T1)
Table. 6. The third return current harmonic frequency measured value

Item	Criteria	Result		Decision
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	11.9mA	11.2mA	suitable
2040+25Hz	≤ 80mA	5.7mA	2.6mA	suitable
2040-25Hz	≤ 80mA	17.0mA	3.0mA	suitable
2400Hz	≤ 192mA	7.3mA	5.4mA	suitable
2400+25Hz	≤ 60mA	4.5mA	1.3mA	suitable
2400-25Hz	≤ 60mA	20.3mA	1.5mA	suitable
2760Hz	≤ 156mA	10.6mA	14.9mA	suitable
2760+25Hz	≤ 52mA	7.5mA	5.1mA	suitable
2760-25Hz	≤ 52mA	21.4mA	4.3mA	suitable
3120Hz	≤ 121mA	15.6mA	13.5mA	suitable
3120+25Hz	≤ 45mA	3.4mA	3.3mA	suitable
3120-25Hz	≤ 45mA	22.6mA	3.8mA	suitable

표 7. 귀선전류 고조파 4회 측정결과(170km/h, 비정상, T2)
Table. 7. The forth return current harmonic frequency measured value

Item	Criteria	Result		Decision
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	5.9mA	19.9mA	suitable
2040+25Hz	≤ 80mA	1.5mA	6.9mA	suitable
2040-25Hz	≤ 80mA	4.2mA	13.5mA	suitable
2400Hz	≤ 192mA	8.6mA	11.3mA	suitable
2400+25Hz	≤ 60mA	2.1mA	7.1mA	suitable
2400-25Hz	≤ 60mA	2.5mA	10.3mA	suitable
2760Hz	≤ 156mA	6.5mA	15.4mA	suitable
2760+25Hz	≤ 52mA	2.0mA	7.3mA	suitable
2760-25Hz	≤ 52mA	4.9mA	15.6mA	suitable
3120Hz	≤ 121mA	17.6mA	15.2mA	suitable
3120+25Hz	≤ 45mA	3.3mA	9.2mA	suitable
3120-25Hz	≤ 45mA	3.8mA	18.4mA	suitable

3.2.2 구간최고속도 운행시 고조파 측정결과

구간최고속도로 열차를 운행시키고 열차운행이 정상일 때와 추진장치 1계를 차단시킨 비정상일 때 각각 2회, 총 4회 측정하였으며, 다음의 표 8, 9, 10, 11

에서 4회의 측정결과를 보여주고 있다. 측정결과 모두 케도회로 사용 주파수에 따른 고조파 제한값을 초과하지 않고 있음을 알 수 있다.

표 8. 귀선전류 고조파 1회 측정결과(300km/h, 정상, T1)
Table. 8. The first return current harmonic frequency measured value

Item	Criteria	Result		Decision
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	18.4mA	11.3mA	suitable
2040+25Hz	≤ 80mA	5.7mA	2.4mA	suitable
2040-25Hz	≤ 80mA	7.0mA	3.0mA	suitable
2400Hz	≤ 192mA	9.4mA	5.0mA	suitable
2400+25Hz	≤ 60mA	6.7mA	1.7mA	suitable
2400-25Hz	≤ 60mA	5.3mA	1.6mA	suitable
2760Hz	≤ 156mA	12.6mA	15.1mA	suitable
2760+25Hz	≤ 52mA	9.7mA	4.8mA	suitable
2760-25Hz	≤ 52mA	17.7mA	6.1mA	suitable
3120Hz	≤ 121mA	17.0mA	13.2mA	suitable
3120+25Hz	≤ 45mA	6.0mA	3.3mA	suitable
3120-25Hz	≤ 45mA	24.2mA	4.2mA	suitable

표 9. 귀선전류 고조파 2회 측정결과(300km/h, 정상, T2)
Table. 9. The second return current harmonic frequency measured value

Item	Criteria	Result		Decision
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	6.0mA	37.3mA	suitable
2040+25Hz	≤ 80mA	1.4mA	35.0mA	suitable
2040-25Hz	≤ 80mA	1.7mA	35.8mA	suitable
2400Hz	≤ 192mA	9.8mA	32.7mA	suitable
2400+25Hz	≤ 60mA	2.0mA	30.1mA	suitable
2400-25Hz	≤ 60mA	1.8mA	30.7mA	suitable
2760Hz	≤ 156mA	6.2mA	27.7mA	suitable
2760+25Hz	≤ 52mA	2.1mA	29.2mA	suitable
2760-25Hz	≤ 52mA	2.5mA	28.7mA	suitable
3120Hz	≤ 121mA	15.9mA	23.6mA	suitable
3120+25Hz	≤ 45mA	3.4mA	23.4mA	suitable
3120-25Hz	≤ 45mA	4.1mA	23.6mA	suitable

표 10. 귀선전류 고조파 3회 측정결과(300km/h, 비정상, T1)
Table. 10. The third return current harmonic frequency measured value

Item	Criteria	Result		Decision
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	10.0mA	10.2mA	suitable
2040+25Hz	≤ 80mA	5.8mA	2.7mA	suitable
2040-25Hz	≤ 80mA	11.3mA	2.5mA	suitable
2400Hz	≤ 192mA	8.0mA	5.8mA	suitable
2400+25Hz	≤ 60mA	6.2mA	1.5mA	suitable
2400-25Hz	≤ 60mA	6.0mA	1.6mA	suitable
2760Hz	≤ 156mA	12.8mA	20.4mA	suitable
2760+25Hz	≤ 52mA	3.7mA	4.9mA	suitable
2760-25Hz	≤ 52mA	3.6mA	4.6mA	suitable
3120Hz	≤ 121mA	14.0mA	13.5mA	suitable
3120+25Hz	≤ 45mA	5.2mA	3.5mA	suitable
3120-25Hz	≤ 45mA	5.0mA	3.5mA	suitable

표 11. 귀선전류 고조파 4회 측정결과(300km/h, 비정상, T2)
Table. 11. The fourth return current harmonic frequency measured value

Item	Criteria	Result		Decision
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	5.8mA	15.0mA	suitable
2040+25Hz	≤ 80mA	1.6mA	5.7mA	suitable
2040-25Hz	≤ 80mA	1.7mA	16.1mA	suitable
2400Hz	≤ 192mA	7.4mA	11.1mA	suitable
2400+25Hz	≤ 60mA	2.0mA	9.7mA	suitable
2400-25Hz	≤ 60mA	2.3mA	10.4mA	suitable
2760Hz	≤ 156mA	6.2mA	13.5mA	suitable
2760+25Hz	≤ 52mA	2.1mA	8.9mA	suitable
2760-25Hz	≤ 52mA	2.2mA	12.5mA	suitable
3120Hz	≤ 121mA	15.9mA	15.0mA	suitable
3120+25Hz	≤ 45mA	3.9mA	4.4mA	suitable
3120-25Hz	≤ 45mA	3.8mA	13.3mA	suitable

IV. 결론

국내 철도노선의 전철화 비율이 높아짐에 따라 전기철도차량과 선로에 설치된 설비(궤도회로 등) 사이의 전자파 간섭에 의한 기기 오동작 등 열차운행의 안전을 저해할 수 있는 우려가 커지고 있다. 따라서 철도노선을 새로 신설하거나 주요 장치를 개량하는 노선의 경우 전기철도차량과 선로에 설치된 설비들과의 인터페이스 시험을 통해 적합함을 확인하여야 한다. 이를 위해 전기철도차량에서 발생하는 귀선전류를 확인하는 시험과 귀선전류 고조파가 궤도회로에 영향을 줄 수 있는 지 확인하는 시험이 요구된다.

본문에서 제시한 시험방법 및 기준을 활용하여 측정된 결과 전기철도차량에서 발생하는 귀선전류가 수서고속철도 노선에 설치된 궤도회로에 영향을 주지 않음을 확인할 수 있었으며, 또한 전기철도차량에 의해 발생하는 고조파 역시 궤도회로의 기능에 영향을 주지 않음을 확인할 수 있었다.

특이사항으로 호남고속철도 귀선전류 및 고조파 시험결과^[10]와 비교하였을 때 수서고속철도의 경우 호남고속철도 대비 귀선전류 최대값이 50% 이하로 측정되었음을 알 수 있었다. 이러한 측정값 차이의 원인으로서는 차량별 성능의 차이, 호남고속철도 노선과의 콘크리트 궤도 접지상태의 차이, SVPMM과 SVAC의 설치간격의 차이, 터널로 이루어진 노선으로 인한 차이 등으로 추정된다. 귀선전류 측정값 차이에 대한 보다 자세한 원인을 파악하기 위해서는 위에 기술된 내용 등을 바탕으로 종합적인 분석이 필요할 것이다.

References

- [1] J.-H. Baek, "Analysis of harmonic frequency for return current on the track circuit in electrical railway system," in *J. KIEE*, vol. 61, no. 5, pp. 698-704, 2012.
- [2] J.-H. Baek, Y.-K. Kim, S.-C. Oh, H.-J. Jo, and K.-M. Lee, "Analysis of return current for rolling stock operation on electrical railroads," *J. Academia-Ind. Technol.*, vol. 12, no. 9, pp. 4112-4118, 2011.
- [3] Korea railroad research institute, *Development of ICT-based technologies for safety and efficiency of railway operation report 2 year*, 2012.
- [4] K.-M. Lee, K.-H. Shin, D.-H. Shin, and J.-H.

- Lee, "Study on the speed control code design for fixed block TCS," *J. Korean Soc. Railway*, vol. 15, no. 1, pp. 37-41, 2012.
- [5] G.-Y. Kim, J.-H. Baek, Y.-S. Song, S.-C. Oh, Y.-K. Kim, and E.-K. Chae, "Laser radar-based railroad crossing detection device developed for crossing security device integration," *J. KICS*, vol. 38C, no. 5, pp. 471-478, 2013.
- [6] D.-H. Shin, J.-H. Baek, H.-Y. Choi, and Y.-K. Kim, "Functional testing of level crossing obstruction detecting system using laser radar sensor," *J. KICS*, vol. 39A, no. 3, pp. 307-315, 2014.
- [7] G.-Y. Kim, J.-H. Baek, Y.-S. Song, and Y.-K. Kim, "Design of obstacle detection system using laser radar for railroad level crossings," in *Proc. KICS Winter Conf.*, vol. 50, pp. 148-149, 2013.
- [8] Y.-H. Kim and W.-S. Choi, "Analysis of operational issues for ICT-based On-Board train control system," *J. Korean Soc. Railway*, vol. 14, no. 6, pp. 575-583, 2011.
- [9] Korail, *Electrical task data*, 2010.
- [10] J.-H. Baek, "Analysis of return current effect for track circuit on ho-nam high speed line," *J. KICS*, vol. 42, no. 5, pp. 1110-1116, 2017.

백종현 (Jong-hyen Baek)



1995년 2월 : 전북대학교 제어
계측공학과 졸업
1997년 2월 : 광주과학기술원
메카트로닉스공학과 석사
2009년 8월 : 전북대학교 메카
트로닉스공학과 박사
1997년 1월~현재 : 한국철도기
술연구원 책임연구원

<관심분야> 현대제어, 지능형시스템, 열차제어