

고속열차 운행에 따른 호남고속철도 궤도회로 귀선전류 영향 분석

백종현[°]

Analysis of Return Current Effect for Track Circuit on Ho-Nam high Speed Line

Jong-hyen Back[°]

요약

동작 특성에 따라 궤도회로 장치는 신호기 장치, 선로전환기 및 기타 안전과 관련된 장치의 직접 또는 간접 제어를 위해 설치되며, 주로 열차의 검지, 지상에서 차상으로 제어정보 전송, 궤도 깨짐 검지 및 귀선 전류 전송에 사용된다. 특히 귀선 전류는 신호시스템, 전력시스템 및 전차선 및 궤도회로장치와 관련이 있다. 신호시스템에서 가장 중요한 구성 요소 중 하나인 귀선 전류는 선로변 유지보수자의 안전 및 전철화에 따른 철도 관련 전기시스템의 보호를 위해 적합하게 처리되어야 한다. 따라서, 과전류 상태로 인한 귀선 전류 불평형과 시스템 유도 장애 및 고장을 방지하기 위해서는 귀선 전류의 정확한 분석이 필요하다. 또한, 귀선전류 고조파에 의해 오동작이 발생하면 열차 운행 중단 등의 문제가 발생될 수 있다. 본 논문에서는 이러한 귀선 전류 측정 및 분석 방법을 제시하고 고속열차 운행에 따른 호남고속철도 노선에서의 귀선전류 고조파 시험 결과를 제시하고 있다.

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

ABSTRACT

Depending on the operating characteristics, track circuit is installed for the purpose of direct or indirect control of the signal device, point switch machine and other security device. These are mainly used for train detection, transmission of information, broken rail detection and transmission of return current. Especially, the return current is related to signal system, power system and catenary line, and track circuit systems. It is one of the most important component shall be dealt for the safety of track side staff and for the protection of railway-related electrical system according to electrification. 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. Also, if the malfunction occurred by the return current harmonics, it can cause problems including train operation interruption. 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.

※ 본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업으로 수행되었습니다.

[°] First and Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, Train Control & Communication Research Team, jhbaek@krii.re.kr, 정희원

논문번호 : KICS2017-03-074, Received March 14, 2017; Revised April 28, 2017; Accepted April 28, 2017

I. 서론

국내 철도 노선은 거의 전철화가 되어 있으며, 이러한 전철화 구간을 통과 시 전차선을 통해 공급된 전류를 차량에서 소모한 후 변전소로 귀환하는 전류를 귀선 전류라고 한다. 전기철도 차량에 의해 발생하는 귀선 전류는 유지보수자의 안전과 전력계통 및 신호시스템의 보호를 위해 적절하게 관리되어야 한다. 또한 전철화 노선의 궤도회로 구성품 중 임피던스 본드의 용량, 변전소, 급전 구분소 등 철도 전력 계통 시스템들의 위치 설정과 밀접한 관련을 가지는 것이 귀선전류이다. 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^{1,2}. 귀선전류 고조파 영향에 의해 궤도회로로부터 데이터를 전송받지 못해 열차제어시스템이 오동작을 일으키는 경우, 열차운행의 중단 등과 같은 문제를 발생시킬 수 있다. 기존의 논문들을 살펴보면 귀선전류의 접지유형 및 크기, 고조파 분석에 대한 연구 내용과 결과가 주를 이루고 있다³⁻⁸.

특히 철도안전법과 관련된 시설물검증시험의 하나로서 신규 노선 및 개량 노선에서 궤도회로에 대한 귀선전류가 적합한지 여부를 확인하는 시험을 시행하여 합격하여야 한다. 본 논문에서는 호남고속철도 개통 전 시설물성능검증시험의 일환으로 시행된 귀선전류 및 귀선전류 고조파 시험을 바탕으로 측정 방법 및 기준을 제시하고, 이에 따른 시험 결과를 토대로 영향 분석을 하였다.

II. 호남고속철도 귀선전류 및 귀선전류 고조파 측정방법 및 기준

호남고속철도 노선 중 귀선전류가 최대치를 나타낼 것으로 예상되는 변전소 및 전력구분소 부근 중 측정이 용이한 노령 변전소 인근 임피던스 본드 각 2개소에서 KTX 열차를 대상으로 귀선전류 및 귀선전류 고조파를 측정하였다. 열차운행모드는 시험개소 각각 차량 정상상태 및 비정상상태(추진장치 1계 차단)에 대하여 열차운행속도 170km/h 2회, 270km/h 2회, 비정상상태에 대하여 170km/h 1회, 270km/h 1회 시험하

였다. 귀선전류 및 귀선전류 고조파 시험은 측정개소 인근에 위치한 임피던스 본드에 그림 1 및 그림 2와 같이 계측시스템을 구성하여 계측용 데이터 수집 프로그램이 설치된 노트북 컴퓨터에 연결하였다. 또한 좌우측 레일에 흐르는 귀선전류의 불평형을 동시에 측정하기 위하여 임피던스 본드와 레일 사이의 좌/우측을 구분하여 측정하였다. 특히 귀선전류가 최대치를 나타낼 것으로 예상되는 변전소 및 전력구분소의 임피던스 본드 귀선케이블에서 귀선전류 및 귀선전류 고조파 측정을 수행하여 궤도회로장치에 대한 귀선전류의 한계치를 초과하는지 여부와 고조파 간섭 및 영향 여부를 확인하였다.

귀선전류의 시험항목 및 기준은 귀선전류의 측정치가 430A 이하여야 하며 임피던스본드 귀선 케이블에서 측정된 좌/우측의 귀선전류의 경우 국내에는 규정이 없기 때문에 프랑스 SNCF의 좌/우측의 귀선전류 차이가 총 귀선전류의 10% 이상일 경우 불평형을 해소하기 위해 유지보수를 시행하는 규정을 참고하여 불평형이 총 귀선전류의 10% 이상일 경우에는 좌/우측의 불평형을 기록하였다.

귀선전류 고조파 시험의 경우, 사용되고 있는 궤도회로 기준 주파수(2040Hz, 2400Hz, 2760Hz,

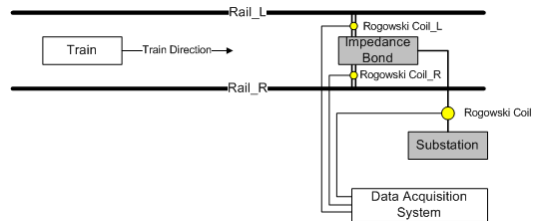


그림 1. 귀선전류 및 귀선전류 고조파 측정 시험 구성도
Fig. 1. Test block diagram of return current and harmonic frequency



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

표 1. 궤도회로 주파수별 고조파 제한치
Table. 1. Harmonic limits of track circuit frequency

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

3120Hz)별로 중심주파수와 측면주파수(F0±25Hz)에서 측정된 고조파가 표 1의 궤도회로 주파수별 고조파 제한치를 중심주파수와 양 측면주파수 세 곳에서 동시에 1초 이상 지속적으로 초과하지 않아야 한다.

III. 귀선전류와 귀선전류 고조파 측정결과 및 분석

3.1 귀선전류 측정결과

3.1.1 170km/h 운행시 귀선전류 측정결과

열차가 정상상태일 때 2회, 비정상상태일 때 1회, 총 3회 귀선전류를 측정하였으며, 이러한 귀선전류의 측정결과에 대해서는 다음의 표 2 및 그림 3, 4, 5에 나타내었다. 측정된 귀선전류의 최대값은 좌우측 레일에서 측정된 최대 전류 측정값을 합한 값으로서 표 2 및 그림 3, 4, 5에서 보여주듯이 좌우측 레일에서 측정된 값의 합이 거의 동일함을 알 수 있었다.

열차가 하행(T1)으로 170km/h 속도로 운행할 때

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

Item	Criteria	Measured value		Result	
		T1	T2		
Return current	First (Normal)	Maximum	333.5A	108.8A	Accept
		Imbalance	0.04% (0.13A)	0.44% (0.48A)	Accept
	Second (Normal)	Maximum	334.9A	121.3A	Accept
		Imbalance	0.06% (0.2A)	0.49% (0.59A)	Accept
	Third (Abnormal)	Maximum	257.3A	86.3A	Accept
		Imbalance	0.05% (0.12A)	0.42% (0.36A)	Accept

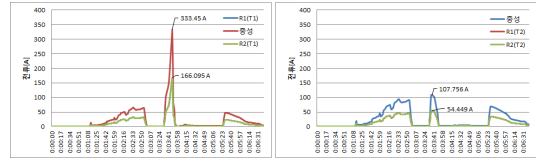


그림 3. 귀선전류 1회 측정결과
Fig. 3. The first return current measured value

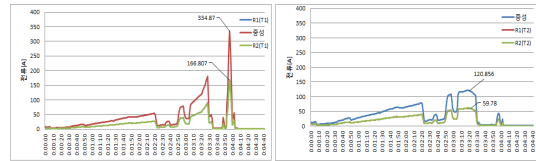


그림 4. 귀선전류 2회 측정결과
Fig. 4. The second return current measured value

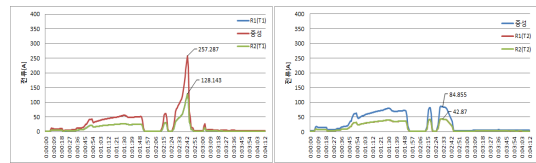


그림 5. 귀선전류 3회 측정결과
Fig. 5. The third return current measured value

노령변전소 인근 임피던스 본드에서 측정된 귀선전류의 측정값은 표 2에 나타내었고, 그림 3, 4, 5와 같이 열차 진행방향에 따른 귀선전류와 반대 선로(T2, 상행)의 귀선전류 최대 측정값을 중성부, 좌·우측 레일로 구분하여 그래프로 보여주고 있다. 측정결과에서 알 수 있듯이 귀선전류 최대값이 430A보다 모두 낮게 측정되었고 좌·우측 불평형이 총 귀선전류의 10% 미만이므로 적합함을 알 수 있다.

3.1.2 270km/h 운행시 귀선전류 측정결과

270km/h 운행시에도 170km/h 운행시와 동일하게 열차가 정상상태일 때 2회, 비정상상태일 때 1회, 총 3회 귀선전류를 측정하였으며, 이러한 귀선전류의 측정결과에 대해서는 다음의 표 3 및 그림 6, 7, 8에 나타내었다. 측정된 귀선전류의 최대값은 좌우측 레일에서 측정된 최대 전류 측정값을 합한 값으로서 표 3 및 그림 6, 7, 8에서 보여주듯이 좌우측 레일에서 측정된 값의 합이 거의 동일함을 알 수 있었다.

열차가 하행(T1)으로 270km/h 속도로 운행할 때 노령변전소 인근 임피던스 본드에서 측정된 귀선전류의 측정값은 표 3에 나타내었고, 그림 6, 7, 8과 같이 열차 진행방향에 따른 귀선전류와 반대 선로(T2, 상행)의 귀선전류 최대 측정값을 중성부, 좌·우측 레일

표 3. 270km/h 주행 시 귀선전류 측정 결과
Table. 3. Return current measured value in 270km/h operation

Item	Criteria	Measured value		Result
		T1	T2	
Return current First (Abnormal)	Maximum	204.4A	105.8A	Accept
	Imbalance	0.04% (0.08A)	0.45% (0.47A)	Accept
Second (Normal)	Maximum	72.1A	277.6A	Accept
	Imbalance	0.13% (0.09A)	0.57% (1.58A)	Accept
Third (Normal)	Maximum	239.3A	129.3A	Accept
	Imbalance	0.05% (0.12A)	0.81% (1.05A)	Accept

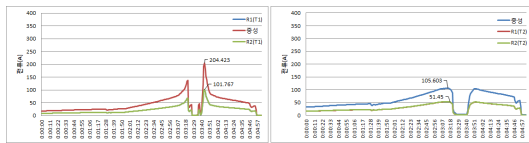


그림 6. 귀선전류 1회 측정결과
Fig. 6. The first return current measured value

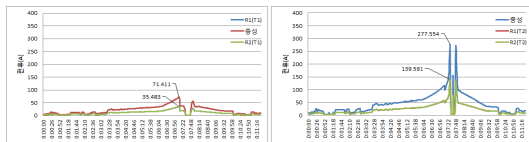


그림 7. 귀선전류 2회 측정결과
Fig. 7. The second return current measured value

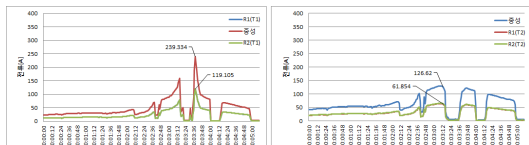


그림 8. 귀선전류 3회 측정결과
Fig. 8. The third return current measured value

로 구분하여 보여주고 있으며, 귀선전류 최대값이 430A보다 낮게 측정되었고 좌/우측 불평형이 총 귀선전류의 10% 미만이었다.

3.2 귀선전류 고조파 측정결과

3.2.1 170km/h 운행시 귀선전류 고조파 측정결과
열차가 하행방향, 170km/h의 속도로 운행하는 열차에 대한 귀선전류 고조파 측정결과는 표 4, 5, 6에

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

Item	Criteria	Measured value		Result
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	10.8mA	22.0mA	Accept
2040+25Hz	≤ 80mA	13.6mA	5.7mA	Accept
2040-25Hz	≤ 80mA	7.5mA	6.0mA	Accept
2400Hz	≤ 192mA	15.9mA	7.6mA	Accept
2400+25Hz	≤ 60mA	20.9mA	2.7mA	Accept
2400-25Hz	≤ 60mA	8.2mA	2.3mA	Accept
2760Hz	≤ 156mA	9.8mA	14.6mA	Accept
2760+25Hz	≤ 52mA	24.2mA	4.9mA	Accept
2760-25Hz	≤ 52mA	7.2mA	4.8mA	Accept
3120Hz	≤ 121mA	12.5mA	7.3mA	Accept
3120+25Hz	≤ 45mA	9.9mA	4.4mA	Accept
3120-25Hz	≤ 45mA	12.4mA	3.5mA	Accept

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

Item	Criteria	Measured value		Result
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	17.9mA	21.0mA	Accept
2040+25Hz	≤ 80mA	14.2mA	5.6mA	Accept
2040-25Hz	≤ 80mA	20.1mA	6.2mA	Accept
2400Hz	≤ 192mA	16.5mA	6.9mA	Accept
2400+25Hz	≤ 60mA	12.5mA	3.0mA	Accept
2400-25Hz	≤ 60mA	12.0mA	3.4mA	Accept
2760Hz	≤ 156mA	19.0mA	13.1mA	Accept
2760+25Hz	≤ 52mA	11.6mA	3.5mA	Accept
2760-25Hz	≤ 52mA	10.2mA	4.3mA	Accept
3120Hz	≤ 121mA	15.3mA	7.7mA	Accept
3120+25Hz	≤ 45mA	13.9mA	3.5mA	Accept
3120-25Hz	≤ 45mA	7.6mA	2.6mA	Accept

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

Item	Criteria	Measured value		Result
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	8.8mA	22.0mA	Accept
2040+25Hz	≤ 80mA	17.1mA	4.9mA	Accept
2040-25Hz	≤ 80mA	14.0mA	5.9mA	Accept
2400Hz	≤ 192mA	14.2mA	4.9mA	Accept
2400+25Hz	≤ 60mA	15.9mA	2.3mA	Accept
2400-25Hz	≤ 60mA	11.7mA	1.5mA	Accept
2760Hz	≤ 156mA	10.9mA	13.6mA	Accept
2760+25Hz	≤ 52mA	6.4mA	4.7mA	Accept
2760-25Hz	≤ 52mA	13.9mA	3.6mA	Accept
3120Hz	≤ 121mA	13.6mA	5.1mA	Accept
3120+25Hz	≤ 45mA	8.5mA	2.4mA	Accept
3120-25Hz	≤ 45mA	9.1mA	2.8mA	Accept

나타내었다. 표 4, 5, 6의 측정결과를 보면 표 1에서 제시한 궤도회로 주파수별 고조파 제한치에 미치지 못하기 때문에 적합함을 알 수 있다.

3.2.2 270km/h 운행시 귀선전류 고조파 측정결과 열차가 하행방향, 270km/h의 속도로 운행하는 열차에 대한 귀선전류 고조파 측정결과는 표 7, 8, 9에 가장 크게 고조파가 나타난 측정결과를 그림 9에서 나타내었다. 표 7, 8, 9의 측정결과 및 그림 9의 고조파 그래프를 보면 알 수 있듯이 표 1에서 제시한 궤도회로 주파수별 고조파 제한치에 미치지 못하고 있음을 알 수 있다.

표 7. 귀선전류 고조파 1회 측정결과(270km/h, 비정상상태) Table. 7. The first return current harmonic frequency measured value

Item	Criteria	Measured value		Result
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	19.1mA	21.5mA	Accept
2040+25Hz	≤ 80mA	5.6mA	5.2mA	Accept
2040-25Hz	≤ 80mA	7.4mA	6.3mA	Accept
2400Hz	≤ 192mA	10.2mA	4.7mA	Accept
2400+25Hz	≤ 60mA	9.8mA	2.0mA	Accept
2400-25Hz	≤ 60mA	5.5mA	1.8mA	Accept
2760Hz	≤ 156mA	14.0mA	13.1mA	Accept
2760+25Hz	≤ 52mA	5.2mA	3.8mA	Accept
2760-25Hz	≤ 52mA	7.6mA	4.4mA	Accept
3120Hz	≤ 121mA	16.0mA	0.6mA	Accept
3120+25Hz	≤ 45mA	9.3mA	3.2mA	Accept
3120-25Hz	≤ 45mA	11.7mA	2.0mA	Accept

표 8. 귀선전류 고조파 2회 측정결과(270km/h, 정상상태) Table. 8. The second return current harmonic frequency measured value

Item	Criteria	Measured value		Result
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	11.5mA	52.1mA	Accept
2040+25Hz	≤ 80mA	6.7mA	9.6mA	Accept
2040-25Hz	≤ 80mA	5.7mA	25.8mA	Accept
2400Hz	≤ 192mA	11.8mA	17.6mA	Accept
2400+25Hz	≤ 60mA	4.0mA	23.9mA	Accept
2400-25Hz	≤ 60mA	11.6mA	6.8mA	Accept
2760Hz	≤ 156mA	16.8mA	26.2mA	Accept
2760+25Hz	≤ 52mA	5.2mA	10.2mA	Accept
2760-25Hz	≤ 52mA	4.5mA	19.0mA	Accept
3120Hz	≤ 121mA	11.1mA	15.2mA	Accept
3120+25Hz	≤ 45mA	9.0mA	15.5mA	Accept
3120-25Hz	≤ 45mA	4.7mA	7.0mA	Accept

호남고속철도 노령변전소 인근의 임피던스 본드에서 차량이 해당 구간을 170km/h 및 270km/h로 통과할 때 궤도회로 장치에 대한 고조파 간섭 및 영향 여부를 확인하였으며, 궤도회로 기준 주파수(2040Hz, 2400Hz, 2760Hz, 3120Hz) 별로 중심주파수(F0) 및 측면주파수(F0±25Hz)에서 고조파 제한치 초과 여부를 확인하였다. 각 속도 별로 차량 정상상태 2회 및 비정상상태(추진제어장치 1계 차단) 1회 측정하였으며, 측정 결과 모두 제한치를 초과하지 않았기 때문에 적합하다고 판단된다. 다만, 시험을 위해 배정된 차량이 호남고속철도 차량이 아닌 KTX-I 차량이었기 때문에 시험 환경이 실제 운행 환경과 완벽히 일치하지 않을 수 있다. 하지만, 본 시험과 유사한 내용을 확인하는 시험이 차량 분야에서 시행되었으며, 호남고속철도 차량 제작사에서 제공한 유도장에서 시험 결과를 분석하여 종합 판단한 결과, 적합하다고 판단된다.

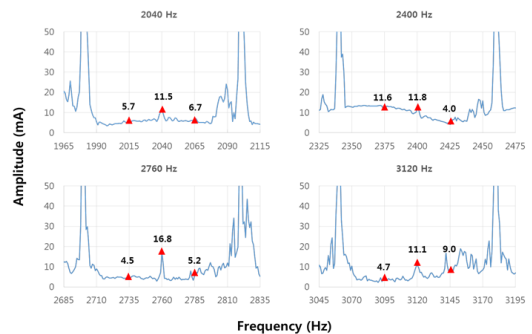


그림 9. 귀선전류 고조파 2회 측정결과 그래프(270km/h, 정상상태) Fig. 9. The second return current harmonic frequency measured value graph

표 9. 귀선전류 고조파 3회 측정결과(270km/h, 정상상태) Table. 9. The third return current harmonic frequency measured value

Item	Criteria	Measured value		Result
		T1	T2	
2040Hz	≤ 228mA	8.1mA	21.2mA	Accept
2040+25Hz	≤ 80mA	10.2mA	6.7mA	Accept
2040-25Hz	≤ 80mA	6.1mA	5.7mA	Accept
2400Hz	≤ 192mA	12.6mA	5.4mA	Accept
2400+25Hz	≤ 60mA	8.6mA	3.8mA	Accept
2400-25Hz	≤ 60mA	6.6mA	4.0mA	Accept
2760Hz	≤ 156mA	14.3mA	12.3mA	Accept
2760+25Hz	≤ 52mA	12.6mA	3.7mA	Accept
2760-25Hz	≤ 52mA	7.3mA	4.0mA	Accept
3120Hz	≤ 121mA	17.2mA	21.4mA	Accept
3120+25Hz	≤ 45mA	12.5mA	13.0mA	Accept
3120-25Hz	≤ 45mA	7.8mA	8.2mA	Accept

IV. 결 론

것이다.

철도안전법에 의해 신설되거나 성능에 영향을 줄 수 있는 개량 노선의 경우 종합 시설물검증시험을 수행하여 시설물의 적합성을 확인하여야 한다. 이러한 시험의 한 분야로서 전기철도 구간에서 철도 차량 운행에 따라 발생하는 귀선전류 시험과 귀선전류 고조파에 의해 궤도회로 사용주파수에 영향을 줄 수 있는지 확인하기 위한 궤도회로 고조파 확인 시험이 요구된다. 궤도회로 장치의 종류에 따라 시험기준은 다르나 고속철도에서 사용되는 궤도회로의 경우 귀선전류 시험에서 시험 기준인 430A를 넘을 경우나 좌/우측의 귀선전류 불평형이 총 귀선전류의 10%이상인 경우 궤도회로의 시스템 유도장에 및 시스템 고장 등을 유발할 수 있다.

본 논문에서 제시한 귀선전류 시험의 경우 분석결과 정상상태와 비정상상태 열차 모두 최대값이 430A에 훨씬 못 미치기 때문에 궤도회로에 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다. 귀선전류 고조파 영향의 경우 궤도회로를 운행하는 전기차량에 의하여 발생한 고조파 성분이 임피던스 본드의 귀선을 통하여 인접 궤도회로에 영향을 미치게 되어 궤도회로가 부정낙하 현상이 발생할 수가 있다. 따라서 이러한 부정낙하 발생을 예방하기 위한 귀선전류 고조파의 영향 분석 시험은 변전소 인근의 임피던스 본드를 대상으로 귀선전류 고조파를 측정하였다. 시험 결과를 보면 각각의 사용주파수에서 열차 정상상태와 비정상상태 모두 귀선전류 고조파 전류의 측정값이 표 1에서 제시된 제한치를 초과하지 않았기 때문에 적합하다는 결론을 얻을 수 있었다. 하지만 귀선전류 고조파 시험 및 분석방법에 있어서 다양한 노선조건이나 향후 운영계획 등을 고려할 경우, 충분한 시간과 체계적인 분석이 필요하며 종합적으로 적합여부를 판단하고 측정된 고조파가 비교적 클 경우에는 해당 주파수에서 노이즈의 지속시간을 같이 검토하여 적합성 여부를 분석해야 한다.

본 논문은 귀선전류 및 귀선전류 고조파에 의한 궤도회로의 유도장에, 시스템 고장을 예방하기 위해 측정 및 분석 방법 뿐 아니라 실제 현장에서의 시험결과를 바탕으로 적합함을 확인하였다. 특히 최근에 신설되는 철도 노선의 운영을 위해서는 궤도회로에 대한 귀선전류 및 귀선전류 고조파가 적합함을 확인하여야 하기 때문에 본 논문에서 제시한 시험방법 및 결과는 향후 신설되는 철도 노선의 운영 확인을 위한 귀선전류 및 귀선전류 고조파 시험 방법 및 분석에 기여할

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*, 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.

백 종 현 (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