

## 전기철도 구간에서의 철도차량 운행에 따른 귀선전류 분석

백종현<sup>1\*</sup>, 김용규<sup>1</sup>, 오세찬<sup>1</sup>, 조현정<sup>1</sup>, 이강미<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>한국철도기술연구원

### Analysis of Return Current for Rolling Stock Operation on Electrical Railroads

Baek Jong Hyen<sup>1\*</sup>, Kim Yong Kyu<sup>1</sup>, Oh Seh Chan<sup>1</sup>, Jo Hyun Jeong<sup>1</sup>  
and Lee Kang Mi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Korea Railroad Research Institute

**요약** 전기철도는 전차선을 통해 차량을 구동할 수 있는 전력을 공급하며, 공급된 전류는 선로 및 접지망을 통해 변전소로 귀환한다. 귀선전류는 신호, 전력, 전차선 및 궤도시스템과 연관되며, 선로변 직원의 안전과 전철화에 따른 철도관련 전기시스템의 보호를 위해 취급되어야 할 가장 중요한 요소 중 하나이다. 따라서 귀선전류의 불평형 및 과전류 상태에 의한 시스템유도장해, 고장을 막기 위해서는 귀선전류의 정확한 분석이 필요하다. 본 논문은 귀선전류의 불평형 및 과전류 상태에 의한 시스템 유도장해, 고장을 예방하기 위해 실제 현장에서 측정 및 분석방법을 제시하였으며 또한 시험기준에 의한 안전성을 평가하였다. 이러한 결과는 향후 이와 관련된 분야에 크게 기여할 것으로 기대된다.

**Abstract** Electrical Railroads provide electric power, which can operate vehicles, via feeder wires. And the supplied current returns to the transformer substation through lines and ground net. The return current, related to signal, power and power line, and track circuit systems, is one of the most important component in the electric railway. Therefore, to prevent system faults and breakdown according to unbalance and overcurrent of the return current, various and detailed analyses for the return current are needed. In the paper, we present measurement and analysis manners in real environment and evaluate its safety. For analysis, we utilize the measured values of return currents measured in track circuits in electric railway. we expect that this research plays a key role to the related fields.

**Key Words** : Substation, Return Current, Unbalance, Electrical Railroad

### 1. 서론

지난 2007년 기준으로 우리나라의 교통혼잡비용에 24 조원이라는 막대한 비용을 지불하였으며 이는 전체 국내 총생산(GDP)의 3%에 달하는 막대한 금액이다. 최근 전 세계적으로 지구의 온난화 문제, 환경문제 등에 직면하면서 지속가능한 교통수단으로 철도는 재조명 되고 있다. 하지만 철도의 경우 대량수송에 적합한 교통수단으로 가장 효율적인 교통수단임과 동시에 사고발생시 막대한 인명 및 재산 피해로 직결 될 수 있다. 따라서 안전사고에

대한 예방이 무엇보다 중요하다.

귀선전류는 신호, 전력, 전차선, 궤도시스템과 연관되며, 선로변 직원의 안전과 전철화에 따른 철도관련 전기시스템의 보호를 위해 취급되어야 할 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 특히 열차운행의 안전을 책임지는 열차제어시스템이 귀선전류의 영향에 의해 오동작을 일으키는 경우, 심각한 사고 및 열차운행의 중단 등과 같은 중대한 문제를 발생시킬 수 있다. 더군다나 최근의 열차제어시스템은 ICT(Information and Communication Technology)를 적용한 무선통신에 의한 가상폐색 및 이동폐색시스템을

\*교신저자 : 백종현(jhbaek@krii.re.kr)

접수일 11년 03월 29일

수정일 (1차 11년 07월 08일, 2차 11년 08월 29일)

게재확정일 11년 09월 08일

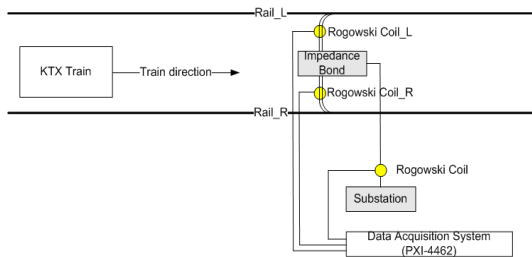
실현하는 열차제어시스템으로 전환되어가는 추세이기 때문에 귀선전류의 불평형 및 과전류상태에 의한 시스템 유도장해, 시스템 고장 등이 보다 심각하게 분석될 필요가 있다[1-7].

특히 철도안전법이 개정되면서 시설물검증시험을 반드시 하여야 하며, 이러한 시험의 하나로서 궤도회로에 대한 귀선전류가 적합함을 확인하여야 하지만, 구체적인 시험방법이나 기준은 마련되어 있지 않았다.

본 논문에서는 개정된 철도안전법에 따라 시험을 수행하여야 하는 귀선전류 확인을 위해 신설된 전기철도 구간에서 철도차량 운행에 따라 측정, 분석한 귀선전류를 기반으로 전기철도 구간에서 차량운행속도에 따른 귀선전류의 관계를 분석하였으며, 임피던스본드의 귀선전류 허용치 한계에 따른 귀선전류 및 좌우측 레일의 귀선전류 불평형 정도를 측정하여 안전성을 평가하였다 [8-11].

## 2. 전기철도 구간의 귀선 전류 측정방법 및 기준

신설된 전기철도 구간중 귀선전류가 높게 측정될 것으로 예상되는 전철변전소 부근을 포함하여 전철변전소와 전철변전소 사이의 급전구분소, 역 부근 등 세 곳에서 운행 중인 KTX를 대상으로 귀선전류를 측정하였다. 보다 구체적으로는 전철변전소 부근 상선에 위치한 임피던스 본드, 급전구분소 부근 상선에 위치한 임피던스 본드, 역 남측 부근 상선에 위치한 임피던스 본드에서 그림 1과 같이 계측시스템을 구성하여 측정하였다. 귀선전류 측정시 좌우측 레일에 흐르는 귀선전류의 불평형을 동시에 측정하기 위하여 레일의 좌/우측을 분리하여 측정하였으며, 측정개소별로, 운행되는 열차의 속도를 저속(170km/h)과 고속(270km/h)으로 구분하여 3회씩 반복 측정하였다.



[그림 1] 귀선전류 측정시 센서 설치 위치  
[그림 1] Points for Return Current Measurement

국내 고속선에서 사용되고 있는 임피던스 본드인 CIT(Connection Inductive Type)는 CIT 430A와 200A로 분류되며, 430A, 200A는 해당 임피던스 본드에서 허용되는 최대 전류값을 의미한다. 본 논문에서 제시한 귀선전류의 측정 및 분석은 CIT 430A 임피던스 본드로만 설치되어 있는 신설 전기철도 구간이었으며, 각각의 임피던스 본드에 대한 귀선전류 측정값의 허용범위는 표 1에서 보여주고 있다[12,13].

[표 1] 임피던스 본드 규격  
[Table 1] Specification of Impedance Bond

형태	정상 전류	순간 전류	최대 온도
CIT 200A	200A	800A	130℃
CIT 430A	430A	800A	155℃

## 3. 귀선 전류 측정결과 및 분석

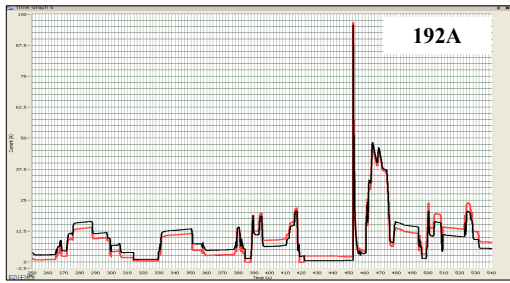
### 3.1 전철변전소 부근 임피던스 본드

전철변전소 부근 상선에 위치한 임피던스 본드 귀선전류 측정 시험의 경우, 시험 당일 태풍으로 인하여 선로변 임피던스 본드에 센서를 설치하고 전철변전소 구내에서 최대한 선로에 근접 주차한 차량 내에서 계측하였다.

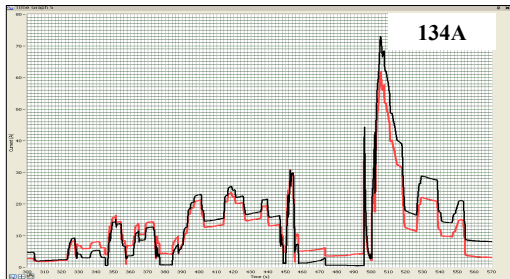
열차 속도 170km/h와 270km/h 각각에 대해 열차가 통과할 때 귀선전류를 측정하였으며, 이러한 귀선전류의 측정결과는 표 2 및 3과 같다. 측정된 귀선전류의 최대값은 좌우측 레일에서 측정된 최대 전류 측정값을 합한 값과 동일하여야 하며 표 2, 3 및 그림 2, 3에서 보여주듯이 좌우측 레일에서 측정된 값의 합이 거의 동일함을 알 수 있었다.

[표 2] 열차속도 170km/h 주행시 귀선전류 측정결과  
[Table 2] Measurement Results of Return Current at 170km/h's Train Speed

평가항목	판정 기준	시험결과(A)			비고
		최대값 (A+B)	좌측 (A)	우측 (B)	
변전소 귀선 전류	상행 1	121	57.7	63.3	적합
	하행 1	68	31.1	37.2	적합
	상행 2	192	96.5	96.7	적합
	하행 2	134	61.7	72.9	적합



(a)



(b)

[그림 2] 열차속도 170km/h 주행시 귀선전류 측정 그래프 ; (a) 상행 2 최대값 및 좌우측 측정전류, (b) 하행 2 최대값 및 좌우측 측정전류

[Fig. 2] Measurement Graph of Return Current at 170km/h's Train Speed ; (a) Up-line 2 Maximum, Left and Right Current, (b) Down-line 2 Maximum, Left and Right Current

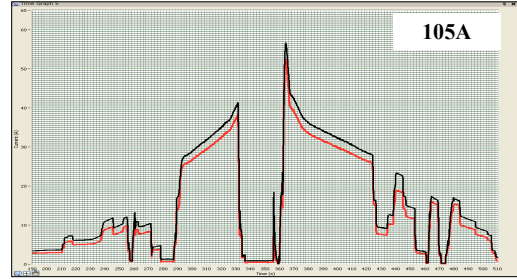
열차가 170km/h로 주행할 때 전철변전소 부근 임피던스 본드에서 측정된 귀선전류에 대해서는 표 2 및 그림 2와 같이, 270km/h로 주행할 때 측정된 귀선전류에 대해서는 표 3 및 그림 3과 같이 열차 진행방향에 따른 귀선전류 최대 측정값과 좌우측 레일에서 측정된 값을 각각 붉은색과, 검은색의 그래프로 보여주고 있다. 그림 2 및 3과 같이 전철변전소 부근의 임피던스 본드에서 열차가 통과할 때의 귀선전류 측정값이 임피던스 본드의 허용치인 430A 보다 훨씬 적기 때문에 적합함을 알 수 있었다.

[표 3] 열차속도 270km/h 주행시 귀선전류 측정결과  
[Table 3] Measurement Results of Return Current at 270km/h's Train Speed

평가항목	판정 기준	시험결과(A)			비고
		최대값 (A+B)	좌측 (A)	우측 (B)	
변전소 귀선 전류	상행 1	430A 이하	77	36.4	적합
	하행 1		79	37.1	적합
	상행 2		113	56.4	적합
	하행 2		105	52.4	적합



(a)



(b)

[그림 3] 열차속도 270km/h 주행시 귀선전류 측정 그래프 ; (a) 상행 2 최대값 및 좌우측 측정전류, (b) 하행 2 최대값 및 좌우측 측정전류

[Fig. 3] Measurement Graph of Return Current at 270km/h's Train Speed ; (a) Up-line 2 Maximum, Left and Right Current, (b) Down-line 2 Maximum, Left and Right Current

그림 2의 (a)에서 열차가 170km/h로 주행할 때 상행 2 측정시에 귀선전류가 2초간 192A까지 상승하였지만, 임피던스 본드의 규격에 의한 순간치의 한계(1분간 800A)를 고려할 경우에는 무시할 수 있을 정도이며 이러한 순간치 한계를 고려하지 않더라도, 그림 2의 (b)와 같이 귀선 전류는 최대 134A 정도로 측정됨으로서 전철변전소 부근의 측정값은 매우 양호한 것으로 판단되었다. 또한 레일 좌측과 우측으로 분리하여 측정된 전류 값에 대한 불평형에 대해서는 국내외에서 10% 이상 차이가 나면 유지보수를 시행하고 있지만, 측정시간 동안 순간적으로 최대 6.1A 정도 차이를 보이고 있고 전체적으로 측정된 값이 유사한 형태로 나타나기 때문에 전철변전소 부근에서의 귀선전류의 불평형은 적정한 것으로 판단하였다.

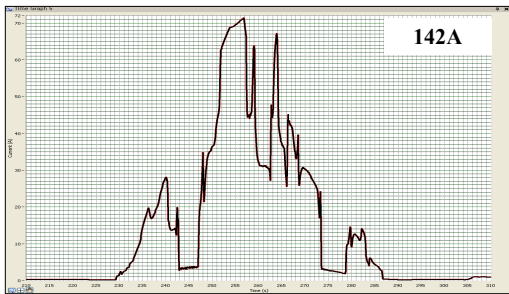
### 3.2 급전구분소 부근 임피던스 본드

열차가 170km/h로 주행할 때 전철변전소와 전철변전소 사이의 급전구분소 부근 임피던스 본드에서 측정된 귀선전류에 대해서는 표 4 및 그림 4와 같이, 270km/h로 주행할 때 측정된 귀선전류에 대해서는 표 5 및 그림 5와 같이 열차 진행방향에 따른 귀선전류 최대 측정값과 좌

우측 레일에서 측정된 값을 각각 붉은색과, 검은색의 그래프로 보여주고 있다.

**[표 4]** 열차속도 170km/h 주행시 귀선전류 측정결과  
**[Table 4]** Measurement Results of Return Current at 170km/h's Train Speed

평가항목	관정 기준	시험결과(A)			비고	
		최대값 (A+B)	좌측 (A)	우측 (B)		
변전소 귀선전류	상행 1	430A 이하	142	71.8	71.4	적합
	하행 1		85	43.3	43.3	적합
	상행 2		140	72.1	72.3	적합
	하행 2		155	77.5	77.7	적합



(a)



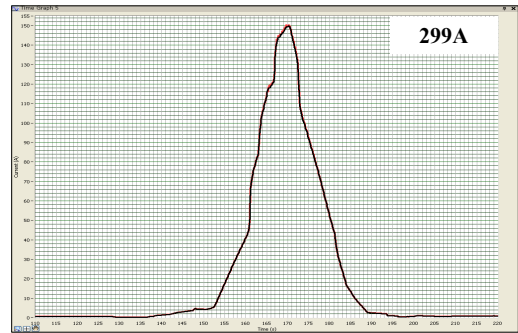
(b)

**[그림 4]** 열차속도 170km/h 주행시 귀선전류 측정 그래프 ; (a) 상행 1 최대값 및 좌우측 측정전류, (b) 하행 1 최대값 및 좌우측 측정전류

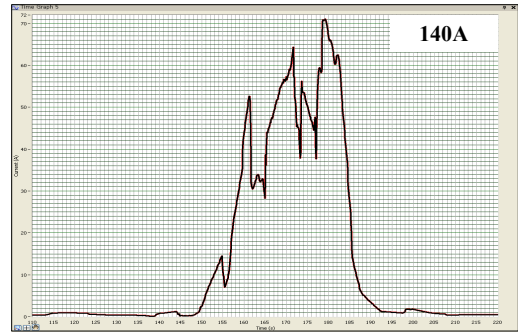
**[Fig. 4]** Measurement Graph of Return Current at 170km/h's Train Speed ; (a) Up-line 1 Maximum, Left and Right Current, (b) Down-line 1 Maximum, Left and Right Current

**[표 5]** 열차속도 270km/h 주행시 귀선전류 측정결과  
**[Table 5]** Measurement Results of Return Current at 270km/h's Train Speed

평가항목	관정 기준	시험결과(A)			비고	
		최대값 (A+B)	좌측 (A)	우측 (B)		
변전소 귀선전류	상행 1	430A 이하	273	91.3	91.8	적합
	하행 1		158	78.0	78.8	적합
	상행 2		299	149.7	150.7	적합
	하행 2		140	70.7	70.7	적합



(a)



(b)

**[그림 5]** 열차속도 270km/h 주행시 귀선전류 측정 그래프 ; (a) 상행 2 최대값 및 좌우측 측정전류, (b) 하행 2 최대값 및 좌우측 측정전류

**[Fig. 5]** Measurement Graph of Return Current at 270km/h's Train Speed ; (a) Up-line 2 Maximum, Left and Right Current, (b) Down-line 2 Maximum, Left and Right Current

그림 4 및 5에서 알 수 있듯이 좌우측 레일의 측정 편차가 매우 작아 좌우측 레일 측정값의 차이가 거의 없었다.

그림 4 및 5의 측정 그래프를 보면 전체적으로 측정된 귀선전류 값이 임피던스 본드의 허용치인 430A 보다 적은 것을 알 수 있었다. 또한 측정된 레일 좌측과 우측의 귀선전류 값은 거의 차이가 없기 때문에 귀선전류의 불평형은 양호한 것으로 판단되었다.

전철변전소 부근보다 급전구분소의 임피던스 본드에서 귀선전류가 보다 높게 측정되었다. 이는 급전구분소에서도 전철변전소와 같이 귀선전류가 레일에서 유출되는 지점이기 때문으로 귀선전류 측정시 전철변전소와 급전구분소를 분리하여 측정할 필요가 있음을 확인할 수 있었다.

### 3.3 역 부근 임피던스 본드

열차가 170km/h로 주행할 때 역 부근의 임피던스 본드에서 측정된 귀선전류에 대해서는 표 6 및 그림 6과 같

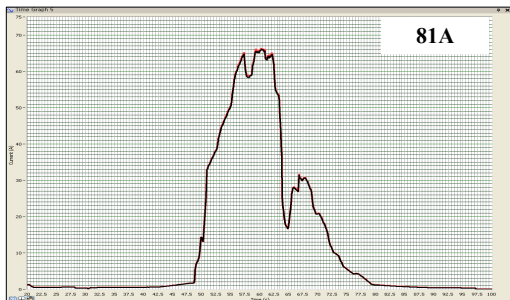
이, 270km/h로 주행할 때 측정된 귀선전류에 대해서는 표 7 및 그림 7과 같이 열차 진행방향에 따른 귀선전류 최대 측정값과 좌우측 레일에서 측정된 값을 각각 붉은 색과, 검은색의 그래프로 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 좌우측 레일의 측정 편차가 매우 작아 좌우측 레일 측정값의 차이가 거의 없었다.

[표 6] 열차속도 170km/h 주행시 귀선전류 측정결과  
[Table 6] Measurement Results of Return Current at 170km/h's Train Speed

평가항목		판정 기준	시험결과(A)			비고
			최대값 (A+B)	좌측 (A)	우측 (B)	
변전소 귀선전류	상행 1	430A 이하	57	28.5	28.8	적합
	하행 1		81	40.6	40.9	적합
	상행 2		50	25.0	25.6	적합
	하행 2		77	38.6	39.2	적합



(a)



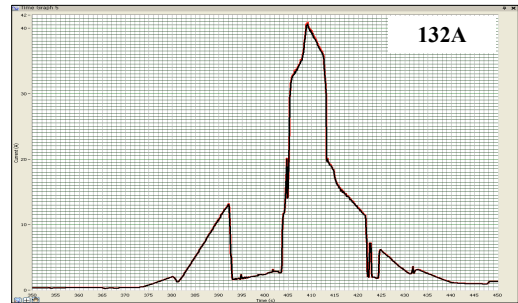
(b)

[그림 6] 열차속도 170km/h 주행시 귀선전류 측정 그래프 ; (a) 상행 1 최대값 및 좌우측 측정전류, (b) 하행 1 최대값 및 좌우측 측정전류

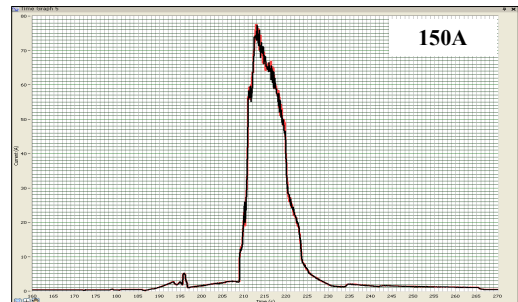
[Fig. 6] Measurement Graph of Return Current at 170km/h's Train Speed ; (a) Up-line 1 Maximum, Left and Right Current, (b) Down-line 1 Maximum, Left and Right Current

[표 7] 열차속도 270km/h 주행시 귀선전류 측정결과  
[Table 7] Measurement Results of Return Current at 270km/h's Train Speed

평가항목		판정 기준	시험결과(A)			비고
			최대값 (A+B)	좌측 (A)	우측 (B)	
변전소 귀선전류	상행 1	430A 이하	132	66.2	66.4	적합
	하행 1		150	73.3	77.5	적합
	상행 2		113	56.8	57.3	적합
	하행 2		118	59.1	60.0	적합



(a)



(b)

[그림 7] 열차속도 270km/h 주행시 귀선전류 측정 그래프 ; (a) 상행 1 최대값 및 좌우측 측정전류, (b) 하행 1 최대값 및 좌우측 측정전류

[Fig. 7] Measurement Graph of Return Current at 270km/h's Train Speed ; (a) Up-line 1 Maximum, Left and Right Current, (b) Down-line 1 Maximum, Left and Right Current

역 부근 측정 결과에서 알 수 있듯이 측정된 값이 임피던스 본드의 허용치인 430A 보다 작지만 다른 두 개소의 측정값 보다 크게 작지는 않았다. 역 주변의 경우, 무절연 AF 궤도회로와 유절연 임펄스 궤도회로가 공존함에 따라 유절연과 무절연의 경계를 구분하기 위해 각각의 임피던스 본드의 중성점을 함께 연결하기 때문이다. 또한 좌측과 우측으로 분리 측정된 귀선전류 값 역시 거의 차이가 없기 때문에 귀선전류 불평형에 의한 영향은 무시할 수 있는 수준임을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 신설된 전기철도 구간에서 철도 차량 운행에 따라 발생하는 귀선전류가 궤도회로의 임피던스 본드의 허용치 한계를 초과하지 않는 지 확인하기 위한 시험 및 시험 결과에 대해 제시하였다. 또한 좌우측 레일의 전류 불평형 정도를 측정하여 궤도회로의 안전성을 평가하였다. 귀선전류 측정을 위해 신설된 전기철도 구간의 전철변전소 부근, 전철변전소와 전철변전소 사이 급전구분소 및 역 부근의 임피던스 본드를 대상으로 귀선전류를 측정하였으며, 분석결과 모두 허용치 한계에 훨씬 못 미치는지 때문에 적합함을 확인할 수 있었다.

또한 좌우측 레일 귀선전류의 불평형에 따른 영향도 미미한 수준임을 알 수 있었다.

본 논문은 귀선전류의 불평형 및 과전류상태에 의한 시스템 유도장해, 시스템 고장을 예방하기 위해 실제 현장에서의 측정 및 분석 방법과 시스템 안전성 평가를 위한 시험기준을 제시하였음에 의의를 가지며, 향후 관련분야에 크게 기여할 것으로 기대한다. 특히 최근에 개정된 철도안전법에 의하면 신설되는 철도 노선의 운영을 위해서는 궤도회로에 대한 귀선전류가 적합함을 확인하여야 하기 때문에 본 논문에서 제시한 시험방법 및 결과는 개정된 철도안전법에 따른 최초의 시험결과로서 향후 신설되는 철도 노선의 운영 확인을 위한 귀선전류의 시험 및 분석에 기여할 것이다.

#### References

[1] Y. G. Kim, et al., "Analysis of Return Current by Common Earth on Electrical Line of the Gyeongbu Line", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.11, No.12, pp.4968-4974, 2010.

[2] Y. G. Kim, et al., "Effects of the Common Earth Network on the Traction Return Current in 2×25kV Power Supply System", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.51B, No.9, pp.509-514, 2002.

[3] G. N. Lee, et al., "Comparison of Return current by the Earth type in the Electrical railway system", Conference of Information & Control System, pp.53-55. 2005.

[4] Y. G. Kim, et al., "Estimation of Traction return current and Impedance on Kyoungbu electrification line", IEEK Summer Conference, pp.123-126. 2001.

[5] Y. G. Kim, et al., "A Study on the track circuit characteristic in electrified classical line", KIEE Summer Conference, 2004.

[6] Y.K, KIM and al, "Estimation and Measurement of the traction return current on the electrified Gyoungbu line", 2001 Proceedings of the International Conference on Control, Automation and Systems, pp.1458-1461.

[7] G. N. Lee, et al., "Interface between Common earth and Individual earth on the Track circuit", Autumn Conference of the Korea Society for Railway. 2005.

[8] Y. G. Kim, et al., "Analysis of Tuning Unit Characteristic for Track Circuit Maintenance Efficiency", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.10, No.12, pp.3594-3599, 2009.

[9] Korail(1999), "Report of Signalling System Final Design by Dongdaegu-Busan Electrification".

[10] Korail(1999), "Report of Power System Final Design by Dongdaegu-Busan Electrification".

[11] Korail, "Railway Signalling Terminology Handbook", KRSPE.

[12] "KRS SG 0031-09(R) : High Voltage Impulse Track Circuit Device", Korean Railway Standards.

[13] "KRS SG 0037-08(R) : Impedance Bond(430A Type)", Korean Railway Standards.

백 종 현(Jong-Hyen Baek)

[정회원]



- 1995년 2월 : 전북대학교 제어계측공학과 학사
- 1997년 2월 : 광주과학기술원 메카트로닉스공학과 석사
- 2009년 8월 : 전북대학교 메카트로닉스공학과 박사
- 1997년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 선임연구원

<관심분야>

현대제어, 지능형시스템, 시스템엔지니어링

**김 용 규(Yongkyu Kim)**

[정회원]



- 1987년 2월 : 단국대학교 전자공학과 석사
- 1993년 9월 : DEA in Control Engineering from Institute National Polytechnique de Lorraine, France
- 1997년 7월 : Ph.D in Control Engineering from Institute National Polytechnique de Lorraine, France

- 1997년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실장

<관심분야>

자동제어, 지능형시스템, 제어계측

**이 강 미(Kang-Mi Lee)**

[정회원]



- 2003년 2월 : 충북대학교 전기전자공학부 학사
- 2005년 2월 : 충북대학교 전자공학과 석사
- 2005년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 주임연구원

<관심분야>

전자통신, 자동제어, 시스템엔지니어링

**오 세 찬(Sehchan Oh)**

[정회원]



- 2002년 2월 : 강원대학교 정보통신공학과 학사
- 2004년 8월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
- 2004년 11월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 선임연구원

<관심분야>

Train Control System, Communication Network

**조 현 정(Hyun-Jeong Jo)**

[정회원]



- 2003년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학학사)
- 2005년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
- 2005년 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

열차제어 및 정보통신 기술, 철도 S/W 테스트 기술