

전기철도 구간에서의 철도차량 운행에 따른 연동장치 고조파 분석

백종현^{1*}, 김용규¹, 오세찬¹, 이강미¹, 조현정¹
¹한국철도기술연구원

Harmonic Frequency Analysis of Interlocking System for Rolling Stock Operation in Electrical Railroads

Baek Jong Hyen^{1*}, Kim Yong Kyu¹, Seh Chan Oh¹, Lee Kang Mi¹
and Hyun Jeong Jo¹

¹Korea Railroad Research Institute

요 약 전기철도는 전차선을 통해 차량을 구동할 수 있는 전력을 공급하며, 공급된 전류는 선로 및 접지망을 통해 변전소로 귀환한다. 전기철도 구간에서 철도차량의 운행에 따라 사용된 부하전류는 귀환회로인 궤도를 통해 변전소로 유입한다. 철도차량에서 사용되고 있는 전력변환장치 때문에 부하전류에는 고조파가 함유되고 이러한 고조파 전류가 열차제어시스템에 영향을 주지 않아야 한다. 본 논문에서는 신규로 건설된 전기철도 구간에서 철도차량 운행에 따라 발생하는 고조파가 연동장치에 영향을 주는 지 확인하기 위하여 시험한 결과를 제시하고 있다. 신호기계실에 설치되는 연동장치에 철도차량 운행에 따라 고조파 영향이 있는 지 확인하기 위하여 본 논문에서의 시험은 철도차량이 운행되는 선로변 설비에서 연동장치로 연결되는 부분에서 수행되었다.

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 used load current depending on the operation of rail vehicles in the electric railway sections returns to the substation through a track which is a return circuit. The load current contains harmonics because of the power conversion equipment used in rolling stocks and such harmonic currents should not affect train control system. In this paper we present the test result in order to verify that the harmonics produced by the operation of rail vehicles in the newly built electric railway sections can affect interlocking systems. The test in question was performed in a linking section that trackside equipment under railway operating conditions and interlocking are linked in order to identify whether or not the interlocking fitted in a signal machine room can be affected by harmonics according to railway operation.

Key Words : Electrical Railroad, Interlocking System, Harmonic Frequency, Rolling Stock

1. 서론

녹색 에너지를 사용함에 따라 최근에 재조명되고 있는 전기철도는 친환경적이고 높은 에너지 효율이라는 장점으로 인해 주요한 교통수단으로 각광을 받고 있다. 최근 전력 전자기술의 발전과 함께 철도분야에 전력변환기의 사용이 증대되면서 이로 인해 발생하는 고조파는 다른 기기들의 동작에 악영향을 줄 수 있으며 철도는 그 특성

상 한 번의 사고가 큰 인명과 재산피해로 직결되기 때문에 반드시 이에 대한 정확한 분석이 필요하다.

열차운행의 안전을 책임지는 열차제어시스템이 고조파 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 실현하는 열차제어

*교신저자 : 백종현(jhbaek@krii.re.kr)

접수일 11년 03월 28일

수정일 (1차 11년 07월 07일, 2차 11년 07월 12일)

게재확정일 11년 08월 11일

시스템으로 전환되어가는 추세이기 때문에 고조파에 대한 영향이 보다 심각하게 다가올 수 있다[1-7].

이러함에도 현재까지 전기철도 구간에서 연동장치에 대한 고조파 영향에 대한 시험은 수행되지 않았으며, 연동장치의 환경시험의 일종으로서 EMI/EMC 시험만을 수행하였다. 그러나 철도안전법이 개정되면서 시설물검증시험을 반드시 하여야 하며, 이러한 시험의 하나로써 연동장치 고조파 영향을 확인하도록 되어 있지만, 구체적인 시험방법이나 기준은 마련되어 있지 않았다.

본 논문에서는 개정된 철도안전법에 따라 시험을 수행하여야 하는 연동장치의 고조파 영향을 확인하기 위해 신설된 전기철도 구간에서 철도차량 운행에 따라 열차제어시스템의 일부분인 연동장치에 대한 고조파 영향의 측정방법 및 분석결과를 제시하였다. 고조파 영향 분석을 위해 하나의 연동장치 당 4개소씩 2곳의 기계실에 설치되어 있는 연동장치에서 고조파를 측정하여 실제 철도차량 운행시 연동장치에 미치는 영향을 주파수 변환을 통해 분석하였다[8-10].

2. 고조파 영향 측정방법

고조파 영향은 철도차량의 운행에 따른 기계실 계전기 랙에서 연동장치 통신 모듈로 인입되는 단자와 선로전환기로부터 연동장치 통신 모듈로 입력되는 단자의 전압레벨을 측정하여 정상동작 및 고조파 영향 유무를 확인함으로써 철도차량 운행에 따른 고조파 영향여부를 확인한다. 신설된 전기철도 구간의 신호기계실 두 곳에서 각각 4개소씩 철도 차량 운행에 따른 연동장치에 대한 고조파 영향 여부를 확인하는 시험을 하였다. 노포 신호기계실 4개소 측정을 위해 KTX 7932(21:40 부산발), 7902(21:50 부산발), 7912(22:20 부산발) 열차를 투입하였고, 신울산역 신호기계실 4개소 측정을 위해 KTX 7902(09:20 부산발), 7904(13:30 부산발), 7906(13:32 부산발) 열차를 투입하였다. 총 3회의 열차운행에 있어서 열차의 속도는 측정개소 통과시 170±5km/h 1회, 300±5km/h 2회를 유지시켰다.

연동장치 고조파 영향을 확인하기 위해 그림 1과 같이 계측시스템을 구성하였다. 측정대상 신호기계실의 계전기 랙에서 연동장치 통신 모듈로 들어가는 단자와 선로전환기로부터 입력되는 측정대상 신호기계실의 연동장치 통신 모듈 단자에 전압측정기를 연결하고, KTX 차량이 해당위치를 통과하기 전후의 전압을 측정하였다.

2.1 노포 신호기계실 측정 위치

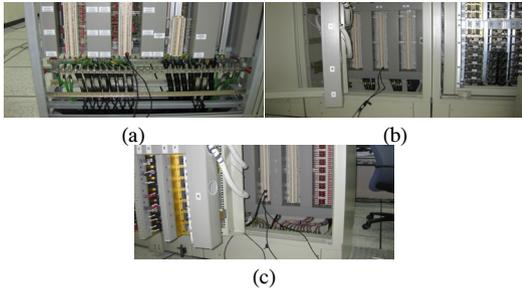
노포 신호기계실 4개소 측정대상 위치는 표 1 및 그림 2와 같이 노포 신호기계실 관할 KP389 인근 상선 T2의 궤도 회로 TC9256C와 선로전환기 9203(침단부 및 크로싱부)에 해당하는 노포 신호기계실 내 연동장치 입력 포트에서 이루어 졌다.



[그림 1] 연동장치(고조파) 계측시스템 구성도
[Fig. 1] Configuration of Interlocking Harmonic Frequency Measurement

[표 1] 노포 신호기계실 측정개소
[Table 1] Measurement Points of Nopho IEC

측정항목	Test Point	채널
TC9256C → Relay Rack	Relay Rack의 Wo-B 1, 2	CH1
Relay(TC9256C) → 연동장치 통신모듈	연동장치 통신모듈의 92.A RB 1, 2	CH2
선로전환기 9203p → 연동장치 통신모듈	연동장치 통신모듈의 92.C RA 5, 6(Point)	CH3
선로전환기 9203f → 연동장치 통신모듈	연동장치 통신모듈의 92.C RA 11, 12(Frog)	CH4



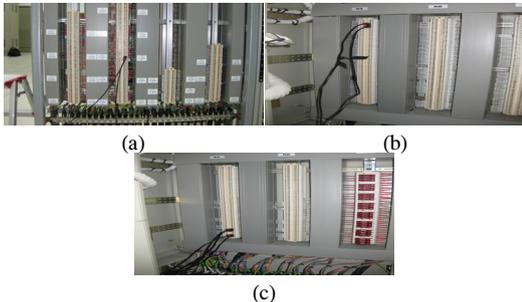
[그림 2] 노포 신호기계실내 연동장치 측정 위치;
 [Fig. 2] Measurement Points of Nopho IEC; (a) CH1 : Track Circuit→Vo-B 1,2 (b) CH2 : Relay→Interlocking, 92.A RB 1,2 (c) CH3,4 : Switch point→Interlocking, 92.C RA 5,6(Point), 11,12(Frog)

2.2 신울산역 신호기계실 측정 위치

신울산역 신호기계실 4개소의 측정 위치는 표 2 및 그림 3과 같이 신울산역 신호기계실 관할 KP358 인근 상선 T2에 위치한 궤도회로 TC8430B와 선로전환기 8413(점단부 및 크로싱부)의 신울산역 신호기계실 내 연동장치 입력 포트에서 이루어졌다.

[표 2] 신울산역 신호기계실 측정개소
 [Table 2] Measurement Points of Sin-Ulsan IEC

측정항목	Test Point	채널
TC8403B → Relay Rack	Relay Rack의 Vo-B 33, 34	CH1
Relay(TC8430B) → 연동장치 통신모듈	연동장치 통신모듈의 84.A RA 67, 68	CH2
선로전환기 8413p → 연동장치 통신모듈	연동장치 통신모듈의 84.E RA 3, 4(Point)	CH3
선로전환기 8413f → 연동장치 통신모듈	연동장치 통신모듈의 84.E RA 9, 10(Frog)	CH4



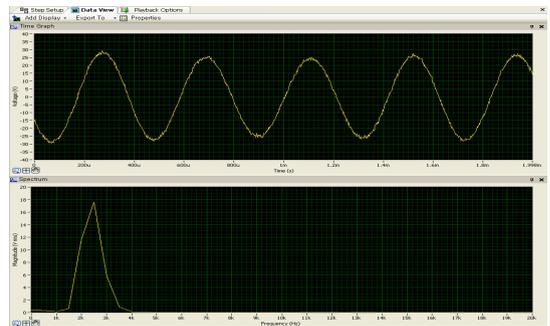
[그림 3] 신울산역 신호기계실 연동장치 측정 위치;
 [Fig. 3] Measurement Points of Sin-Ulsan IEC (a) CH1 : Track Circuit→Vo-B 33,34 (b) CH2 : Relay→Interlocking, 84.A RA 67,68 (c) CH3,4 : Switch point→Interlocking, 84.E RA 3,4(Point), 9,10(Frog)

3. 고조파 영향 측정결과

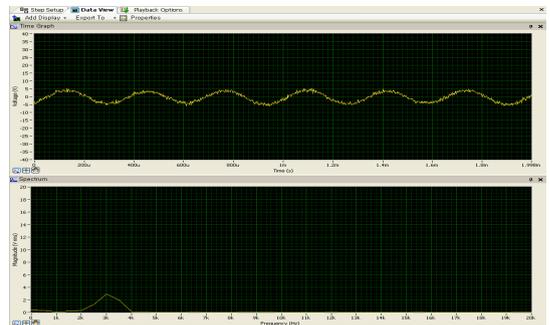
노포 신호기계실과 신울산역 신호기계실에서 궤도회로와 선로전환기를 열차가 통과할 때 발생하는 고조파가 연동장치에 영향을 주는 지 확인한 결과 다음과 같이 분석되었다.

3.1 노포 신호기계실 고조파 측정 결과

CH-1 Spectrum(Track Circuit → Relay Rack, Wo-B 1, 2)의 경우, KTX 7932, 7902, 7912 열차가 궤도를 점유하거나 그렇지 않을 때의 주파수 분석 그래프는 그림 4와 같으며 측정된 결과를 보면 원래 가지고 있는 주파수 성분 외에 다른 주파수 성분은 거의 없을 뿐 아니라 신호 레벨도 정상적으로 줄어드는 등 열차 운행에 따른 고조파 영향이 없음을 확인 할 수 있었다.



(a)



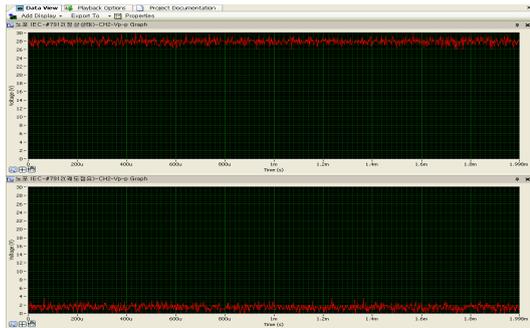
(b)

[그림 4] CH-1 Spectrum(KTX 7912 열차); (a)열차 비점유 시 측정된 전압파형과 주파수분석 그래프, (b) 열차 점유시 측정된 전압파형과 주파수분석 그래프

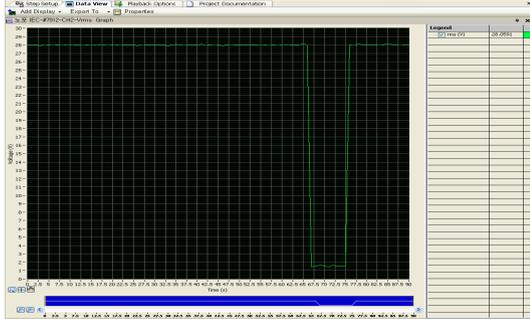
[Fig. 4] CH-1 Spectrum(KTX 7912 Train); (a)Graph of Voltage & Frequency Analysis in Train Occupy, (b)Graph of Voltage & Frequency Analysis in Train Non-Occupy

CH-2 Vrms(22.5~28.8Vrms)(Relay → 연동장치, 92.A

RB 1, 2)의 경우 7932, 7902, 7912 열차가 궤도를 점유하지 않았을 때와 점유했을 때의 주파수 분석 그래프는 그림 5와 같은 형태로 모두 유사한 측정치를 나타내는데, 여기서 알 수 있듯이 측정된 신호는 AC 성분을 거의 가지지 않고 있는 DC 파형으로 볼 수 있기 때문에 열차 운행에 따른 고조파 영향은 없다고 판단되었다.



(a)

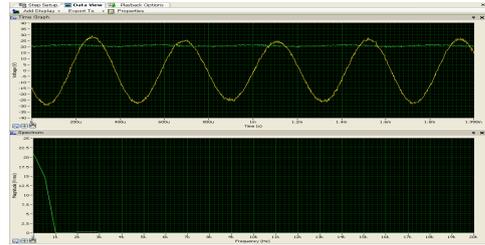


(b)

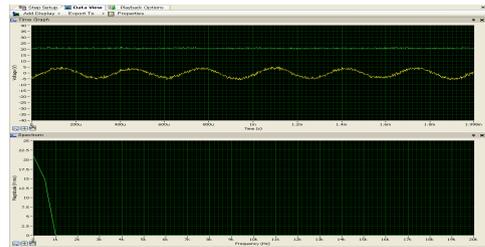
[그림 5] CH-2 Vrms(KTX 7912 열차); (a) 열차 비점유시 (위)와 점유시(아래)의 측정 그래프, (b) 열차 비점유시 및 점유시의 전압 RMS 측정 그래프

[Fig. 5] CH-2 Vrms(KTX 7912 Train); (a)Graph of Train Non-Occupy(UP) & Train Occupy(Down), (b)Graph of Voltage RMS in Train Non-Occupy & Train Occupy

CH-3 Spectrum(선로전환기 → 연동장치, 92.C RA 5, 6(Point)과 CH-4 Spectrum(선로전환기 → 연동장치, 92.C RA 11, 12(Frog))의 경우 7932, 7902, 7912 열차가 선로전환기를 통과하지 않을 때와 통과할 때의 주파수 분석 그래프들이 그림 6 및 그림 7과 같은 형태로 모두 유사한 결과를 보여주며, 여기에서 알 수 있듯이 원래 가지고 있는 주파수 성분 외에 다른 주파수 성분은 거의 없을 뿐 아니라 신호 레벨도 변동이 없기 때문에 열차 운행에 따른 고조파 영향은 없음을 확인 할 수 있었다.



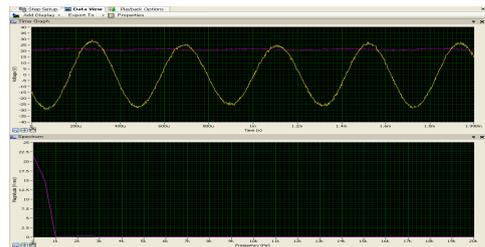
(a)



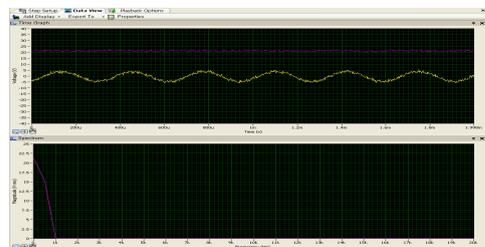
(b)

[그림 6] CH-3 Spectrum(KTX 7902 열차); (a)열차 비점유시 측정된 전압파형과 주파수분석 그래프, (b) 열차 점유시 측정된 전압파형과 주파수분석 그래프

[Fig. 6] CH-3 Spectrum(KTX 7902 Train); (a)Graph of Voltage & Frequency Analysis in Train Non-Occupy, (b)Graph of Voltage & Frequency Analysis in Train Occupy



(a)



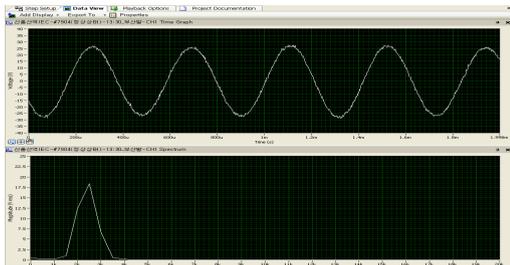
(b)

[그림 7] CH-4 Spectrum(KTX 7902 열차); (a)열차 비점유시 측정된 전압파형과 주파수분석 그래프, (b) 열차 점유시 측정된 전압파형과 주파수분석 그래프

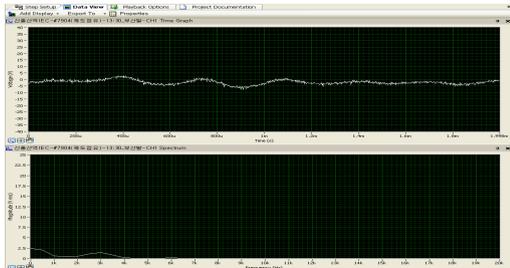
[Fig. 7] CH-4 Spectrum(KTX 7902 Train); (a)Graph of Voltage & Frequency Analysis in Train Non-Occupy, (b)Graph of Voltage & Frequency Analysis in Train Occupy

3.2 신울산역 신호기계실 고조파 측정결과

CH-1 Spectrum(UM71 Track Circuit → Relay Rack, Vo-B 33, 34)의 경우 7902, 7904, 7906 열차가 궤도를 점유하거나 그렇지 않을 때의 주파수 분석 그래프들이 그림 8과 같이 유사한 결과를 보여주며, 여기에서 알 수 있듯이 열차가 궤도를 점유하고 있을 때에는 점유하지 않았을 때의 주파수 성분 외에 1.5kHz 미만의 주파수 성분이 측정되었지만 크기가 작을 뿐 아니라 신호 레벨도 정상적으로 줄어드는 등 열차 운행에 따른 고조파 영향은 없음을 확인 할 수 있었다.



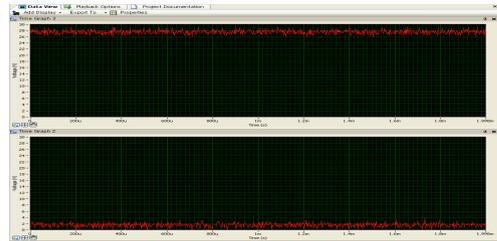
(a)



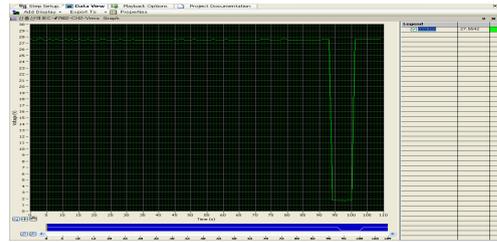
(b)

[그림 8] CH-1 Spectrum(KTX 7904 열차); (a)열차 비점유시 측정된 전압파형과 주파수분석 그래프, (b) 열차 점유시 측정된 전압파형과 주파수분석 그래프
[Fig. 8] CH-1 Spectrum(KTX 7904 Train); (a)Graph of Voltage & Frequency Analysis in Train Non-Occupy, (b)Graph of Voltage & Frequency Analysis in Train Occupy

CH-2 Vrms값 분석(Relay → 연동장치, 84.A RA 67, 68)의 경우, 7902 열차, 7904 열차, 7906 열차가 궤도를 점유하거나 그렇지 않았을 때의 주파수 분석 그래프들이 그림 9와 같이 유사한 결과를 보여주며 여기에서 알 수 있듯이 측정된 신호는 AC 성분을 거의 가지지 않고 있는 DC 파형으로 볼 수 있기 때문에 열차 운행에 따른 고조파 영향은 없음을 알 수 있었다.



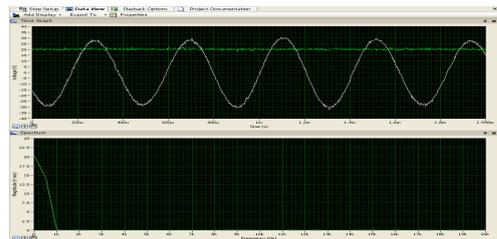
(a)



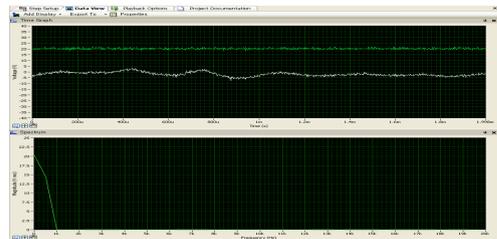
(b)

[그림 9] CH-2 Vrms(KTX 7902 열차); (a) 열차 비점유시 (위)와 점유시(아래)의 측정 그래프, (b) 열차 비점유시 및 점유시의 전압 RMS 측정 그래프

[Fig. 9] CH-2 Vrms(KTX 7902 Train); (a)Graph of Train Non-Occupy(UP) & Train Occupy(DOWN), (b)Graph of Voltage RMS in Train Non-Occupy & Train Occupy



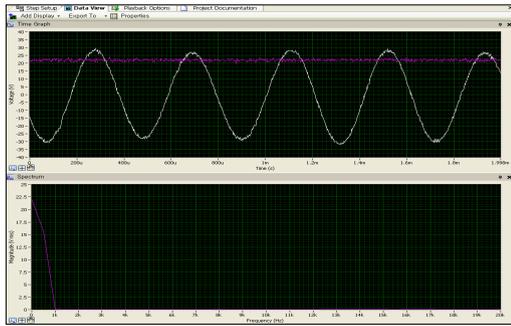
(a)



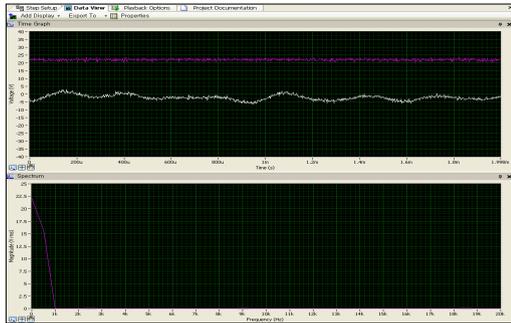
(b)

[그림 10] CH-3 Spectrum(KTX 7906 열차); (a)열차 비점유시 측정된 전압파형과 주파수분석 그래프, (b) 열차 점유시 측정된 전압파형과 주파수분석 그래프

[Fig. 10] CH-3 Spectrum(KTX 7906 Train); (a)Graph of Voltage & Frequency Analysis in Train Non-Occupy, (b)Graph of Voltage & Frequency Analysis in Train Occupy



(a)



(b)

[그림 11] CH-4 Spectrum(KTX 7904 열차); (a)열차 비점유시 측정된 전압파형과 주파수분석 그래프, (b) 열차 점유시 측정된 전압파형과 주파수분석 그래프

[Fig. 11] CH-4 Spectrum(KTX 7904 Train); (a)Graph of Voltage & Frequency Analysis in Train Non-Occupy, (b)Graph of Voltage & Frequency Analysis in Train Occupy

CH-3 Spectrum(선로전환기 → 연동장치, 84.E RA 3, 4(Point))과 CH-4 Spectrum(선로전환기 → 연동장치, 84.E RA 9, 10(Frog))의 경우 7902, 7904, 7906 열차가 선로전환기를 통과하지 않을 때와 통과할 때의 주파수 분석 그래프들이 그림 10 및 그림 11과 같은 형태로 모두 유사한 결과를 보여주며, 원래 가지고 있는 주파수 성분 외에 다른 주파수 성분은 거의 없을 뿐 아니라 신호 레벨도 변동이 없기 때문에 열차 운행에 따른 고조파 영향은 없음을 확인 할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 신설된 전기철도 구간에서 철도차량 운행에 따라 발생하는 고조파가 신호기계실 내에 설치되는 연동장치에 영향을 줄 수 있는 지 확인하기 위한 시험 및 시험 결과에 대해 제시하였다.

고조파 영향 분석을 위해 신설된 노포 신호기계실의 4개소와 신울산역 신호기계실의 4개소를 대상으로 선로변에서 신호기계실로 영향을 줄 수 있는 궤도회로 및 선로 전환기에 대한 고조파를 측정하였으며 실제 철도차량 운행시 연동장치에 미치는 영향을 주파수 변환을 통해 분석하였다. 분석 결과 모든 측정 결과가 적합하였으며, 고조파에 의한 영향은 없는 것을 확인하였다. 최근에 개정된 철도안전법에 의하면 신설되는 철도 노선의 운영을 위해서는 여러 종류의 시험을 하여 적합함을 확인하여야 하며, 이러한 시험중 연동장치의 고조파 영향 유무 또한 확인하여야 하기 때문에 본 논문에서 제시한 시험방법 및 결과는 개정된 철도안전법에 따른 최초의 시험결과로서 향후 신설되는 철도 노선의 운영 확인을 위한 연동장치의 고조파 영향 유무 시험 및 분석에 기여할 것으로 기대된다.

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".

백 종 현(Jong-Hyen Back)

[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

오 세 찬(Sechan Oh)

[정회원]



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

<관심분야>

Train Control System, Communication Network

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

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