



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2016년 2월

2016年 2月  
碩士學位論文

碩士學位論文

고속 전차전로 시스템의 동적 특성 연구

郭東成

# 고속 전차전로 시스템의 동적 특성 연구

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

郭 東 成

# 고속 전차선로 시스템의 동적 특성 연구

A study on the Dynamic Characteristics of High  
Speed Railway

2016年 2月 25日

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

郭 東 成

# 고속 전차선로 시스템의 동적 특성 연구

指導教授 崔 孝 祥

이 論文을 工學 碩士學位申請 論文으로 提出함.




2015年 10月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

郭 東 成

郭東成의 碩士學位 論文을 認准함

委員長	朝鮮大學校	教授	曹錦浩	
委員	朝鮮大學校	教授	李愚宣	
委員	朝鮮大學校	教授	崔孝祥	

2015年 11月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

## 목 차

ABSTRACT .....	v
I. 서 론 .....	1
II. 전차선로 시스템 test-bed 구축 .....	2
A. 전차선로 test-bed 구간 결정 .....	2
1. 전차선로 test-bed 구간 선정 .....	2
2. Test-bed내 전차선 사전이도 적용구간 구축 .....	5
3. Test-bed 구간 시공품질검사 .....	6
III. 전차선로시스템 test-bed 성능평가 .....	11
A. 전차선로 종합 성능평가 .....	11
1. 차상 집전 성능 평가 .....	11
2. 지상부 집전 성능 검증 .....	13
3. 측정장치 구성 .....	15
B. 집전성능 시험 절차 .....	16
1. 집전성능 확인 목적 .....	16
C. 전차선로 모니터링 시험 절차 .....	17
1. 전차선로 이상상태 시험 절차 .....	17
2. 전차선로 장력 모니터링 시험 절차 .....	18
3. 전차선로 결함탐지 시험 절차 .....	19

D. 집전성능 평가 결과 .....	20
1. 차상 집전성능 평가 .....	20
2. 지상부 집전성능 검측 결과 .....	22
3. 일자별 시험 세부 결과 .....	24
E. 전차선로 모니터링 평가 결과 .....	28
1. 전차선로 장력 모니터링 시험 결과 .....	28
2. 호남고속선 성능 시험 결과 .....	30
F. 전차선로 전류파형 결과 .....	32
1. 시험 측정 데이터 및 고찰 .....	32
IV. 결    론 .....	36

## 그림 목차

그림 2-1. TPS 분석결과 400km/h 운행가능구간 .....	3
그림 2-2. 사전이도 적용 후 전차선 높이 측정 결과 .....	5
그림 3-1. HEMU 팬터그래프에 설치된 접촉력 측정 장치 .....	12
그림 3-2. HEMU 팬터그래프에 설치된 이선 아크검출 장치 .....	12
그림 3-3. 전차선 압상량 및 변형율 측정 장치 .....	14
그림 3-4. 드로퍼 작용력 측정 장치 .....	14
그림 3-5. 전차선로 분야 모니터링 구성 .....	15
그림 3-6. 계측 시스템 .....	16
그림 3-7. 전차선로 이상상태 측정 블록도 .....	17
그림 3-8. 전차선로 장력 모니터링 측정 블록도 .....	18
그림 3-9. 자외선 검출 성능 시험 .....	19
그림 3-10. 장력상태 실시간 모니터링 시스템전원 및 계측장치 설치(104-10) ·	28
그림 3-11. 상부 로드셀 및 X축 센서 설치(104-10) .....	28
그림 3-12. 장력상태 실시간 모니터링 시스템전원 및 계측장치 설치(104-2) ···	29
그림 3-13. 상부 로드셀 및 X축 센서 설치(104-2) .....	29
그림 3-14. 장력 이상상태 모니터링 시스템 수신 서버 .....	30
그림 3-15. 1차 측정 결과 .....	32
그림 3-16. 1차 측정 Data 확대 분석 .....	33
그림 3-17. 2차 측정 결과 .....	33
그림 3-18. 2차 측정 Data 확대 분석 .....	34
그림 3-19. 3차 측정 결과 .....	34
그림 3-20. 3차 측정 Data 확대 분석 .....	35



## 표 목차

표 2-1. 400km/h 운행가능구간 분석을 위한 TPS 조건 .....	2
표 2-2. Test-bed 구간 선정 결과 .....	4
표 2-3. 본선 test-bed 구간의 노반 현황 .....	4
표 2-4. 검사 설비 .....	7
표 2-5. 검사 항목 .....	8
표 3-1. 차상 집전성능 평가 항목 및 기준 .....	11
표 3-2. 지상부 집전성능 평가를 위한 항목 및 기준 .....	13
표 3-3. 적외선 판단 기준 .....	20
표 3-4. 차상 집전성능 평가항목 및 기준 .....	20
표 3-5. 접촉력 측정 결과 .....	21
표 3-6. 속도 단계별 접촉력 측정 결과 .....	21
표 3-7. 접촉력 측정 결과 .....	22
표 3-8. 차상 집전성능 평가 항목 및 기준 .....	22
표 3-9. 집전성능 측정량 .....	23
표 3-10. 속도 단계별 측정 결과 .....	23
표 3-11. 호남 고속선 성능시험 결과 1차 .....	30
표 3-12. 호남 고속선 성능시험 결과 2차 .....	31
표 3-13. 호남 고속선 성능시험 결과 3차 .....	31
표 3-14. 호남 고속선 성능시험 결과 4차 .....	31

# ABSTRACT

## A study on the Dynamic Characteristics of High Speed Railway

Gwak, Dong-Sung

Advisor : Prof. Choi Hyo-Sang, Ph.D.

Department of Electrical Technology Convergence Engineering,  
Graduate School of Industry Technology Convergence,  
Chosun University

Currently, the major railway industrialized countries, including Korea, are carrying out various studies to expand high-speed rail infrastructure to link the metropolitan area organically and to improve its speed accordingly. Railway system that combines a variety of engineering technology needs a number of research and technology for a new high-speed rail route.

Various studies have been performed to improve properties of material, electrical and mechanical properties of railway train according to the increase of the speed in the train. In particular, The current collection performance between the electric railway vehicle and the catenary system in electric railroad is a standard for determining the operational performance between pantograph and the catenary system of the electric vehicle. The importance of this current collection performance is growing according to acceleration of the speed in the electric railway vehicle.

The purpose of this study was to verify the performance in test-bed of 400km/h class catenary system from Iksan to Jeongeup. We analyzed characteristics by measuring the value of the contact wire uplift, strain and acceleration in the catenary.

Analysis of the pantograph and current collection contact force of the catenary in the performance evaluation of catenary is the most important factor. The dynamic properties of these catenary are closely related with electric vehicle speed.

In this study, we have verified the performance of the measurement system in the catenary through the startup test in the 400km/h class real test-bed. Various on-site measurement data is expected to help to improve the electric railway speed through the research of dynamic, mechanical and electrical properties of the electric railway catenary.

# I. 서 론

세계 각국은 국내외 장거리를 편리하고 빠르게 연결할 수 있는 교통 네트워크를 위해 고속열차를 통한 고속화를 추진하고 있으며, 우리나라도 고속화를 통한 속도 경쟁력 강화를 위해 기존선 경춘선, 전라선 등을 고속화 개량하였으며 '15년 호남 고속철도 및 '17년 개통 예정인 원주-강릉 고속철도 구축 등 철도교통의 속도향상을 위해 적극 노력하고 있다.

전기철도에서 전차선로 시스템은 전기차량에 전력을 공급하는 설비이며, 전차선로는 전기차량에 전력을 공급해 주는 시스템으로 고속철도의 속도를 결정하는 중요한 핵심기술이다.

전기철도의 열차 속도가 높아짐에 따라 집전장치인 팬터그래프의 압상력(upliftforce)이 증가하고 또한 일정한 압상력으로 주행함으로써 진동에 의한 파동이 발생하며 이 파동에 의해 전차선과 팬터그래프 사이에는 이선이 발생하는데 이는 전력 공급 장애, 아크의 발생, 전차선 및 습동판의 이상마모, 전자파 발생환경 변화(온도, 마모, 전류변화)와 외력(시공, 보수작업 중의 손상, 금구의 취부)에 따라 미소한 변화가 발생하며 이러한 것들이 전차선 가선구조의 성능에 결정적인 영향을 주게 되므로 이러한 현상을 감안하여 설계시 가능한 한 균일한 탄성을 갖도록 설계되어야 하며, 팬터그래프와의 인터페이스에서 원활한 접촉력을 유지하기 위해 정·동역학적 해석과 이를 토대로 한 설계가 요구된다[14].

집전상태 판단은 팬터그래프와 전차선로간의 접촉상태를 평가하는 이선아크 및 팬터그래프 접촉력 측정이 있으며, 특정구간에 팬터그래프 통과 시 전차선과의 접촉에 의하여 전차선의 상하변위를 측정하는 압상량 측정은 전차선로 자체를 평가하는 기술로 응답속도가 빠르고 오차가 작고 위치 변화에 유연한 시스템이 요구된다.

본 논문은 호남고속철도 400km/h급 test-bed에서의 시운전시험을 통하여 고속 전차선로 집전성능 향상을 위해 전차선로 시스템의 동특성을 측정하고 분석하여 가장 적절한 측정시스템을 개발하거나 현 시스템의 최소 설계 변경으로 집전 성능을 향상시켜 신규 전차선로 건설 및 성능검증에 활용하기 위해 연구하였다.

## II. 전차선로 시스템 test-bed 구축

### A. 전차선로 test-bed 구간 결정

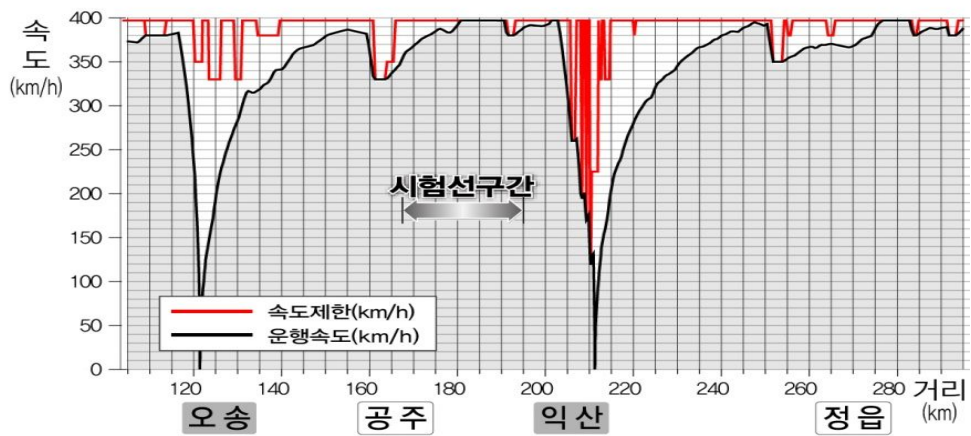
#### 1. 전차선로 test-bed 구간 선정

400km/h test-bed 구간을 선정하기 위해서는 먼저 어느 구간에서 시험 운행이 가능한 지 검토하는 작업이 필요하다. 고속철도의 운행속도는 차량 자체의 성능(건인력, 제동성능 등)뿐만 아니라 선로선형, 구배조건, 정거장 통과여부, 전차선 절연구간(Neutral section) 등 인프라 측면의 다양한 요인들이 영향을 미치기 때문이다. 결과적으로 400km/h 운행이 가능한 구간을 선정하기 위해서는 시뮬레이션(TPS; Train Performance Simulation)을 통해서 1 편성의 열차가 일정한 선로구간을 주행하는데 따른 시각별 위치, 속도, 전력소비 등의 제반성능을 분석하는 과정이 필요하다.

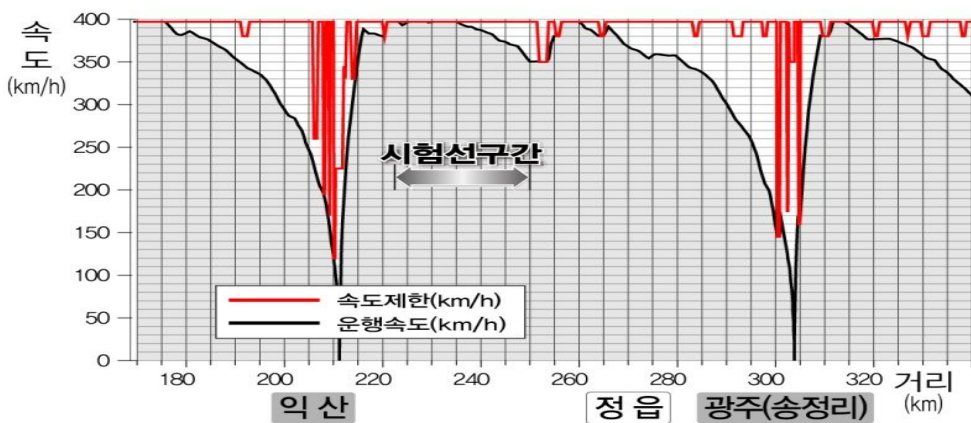
HEMU-400X 와 호남고속철도 노선조건을 바탕으로 TPS분석을 진행하였다. 아래의 표2-1은 TPS의 구체적인 입력 및 분석조건을 보여준다[9].

표 2-1. 운행가능구간 분석을 위한 TPS 조건

<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 입력자료                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 호남고속철도 건설사업구간 선형조건</li> <li>- 고속열차(HEMU-400X) 차량조건 입력(시제차량 및 영업차량)</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 분석조건                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 감속, 가속은 차량의 최대성능 적용</li> <li>- 기울기 제한속도 400km/h 및 곡선제한 속도는 철도건설규칙 적용</li> <li>- 정거장 구간 제한속도는 호남고속철도 설계속도 350km/h 적용</li> <li>- 절연구분장치 적용</li> <li>- 공주, 정읍역은 무정차 통과</li> </ul> </li> </ul>



(a) 공주 ⇒ 익산 (하선)



(b) 정읍 ⇒ 익산 (상선)

그림 2-1. TPS 분석결과 400km/h 운행가능 구간

본선 test-bed 구간 선정은 전차선로 시스템만을 가지고 선정할 조건이 아니며, 또한, 궤도, 환경 등 각 분야의 제측/시험이 가능하도록 공통된 구간으로 선정되어야 한다. 다음은 선정된 공주~익산, 정읍~익산 test-bed 구간 선정결과이다.

선별	구간	km정	변경사유
하선	공주~익산	54km~82km(L=28km)	신호시스템의 제동폐색 및 과주여유거리 확보
상선	정읍~익산	100km~128km(L=28km)	

본선 test-bed 구간의 노반조건은 교량구간이 62.4%정도 차지하며 토공이 35.5%, 기타 터널구간이 차지하고 있다.

	노선현황				
	계	토공	교량	터널	파정
계	56,000	19,902	34,967	1,130	1
공주~익산 (하선)	28,000	7,955	19,990	55	
정읍~익산 (상선)	28,000	11,947	14,977	1,075	1

## 2. Test-bed내 전차선 사전이도 적용구간 구축

HEMU-430X 시험 열차를 이용한 시험시 집전 성능 등을 측정하여 사전이도에 따른 영향 인자, 민감도 분석 등을 실시하여 400km/h 전차선로 연구개발 업무의 완성도 향상하고 귀중한 설계-실험 파라미터 획득하여 400km/h 전차선로의 신뢰성 향상을 도모하기 위하여 400km/h 전차선로 시범구축 구간 내에 사전이도(Pre-sag)를 임의로 주는 구간을 조성하였다[9].

사전이도는 400km/h급 전차선로 시범구축 구간 내에 익산 인근 상선(T2) 118-20호주 ~ 119-14호주(오버랩 중간주-장력주 제외, 아래 그림 참조)에 약 1km를 선정하여 사전이도를 400km/h급 전차선로 설계 파라미터(사전이도 : 0)와는 다르게 S/3000로 변경 시공하였다. 또한, HEMU-430X 열차로 시험을 완료한 후 원상 복귀 및 조정하였다.

다음은 사전이도를 적용한 후 디지털 높이/편위자를 이용하여 적용한 구간의 전차선 높이를 측정한 결과이다. 전체적으로 사전이도가 적절히 부가되어 있다.

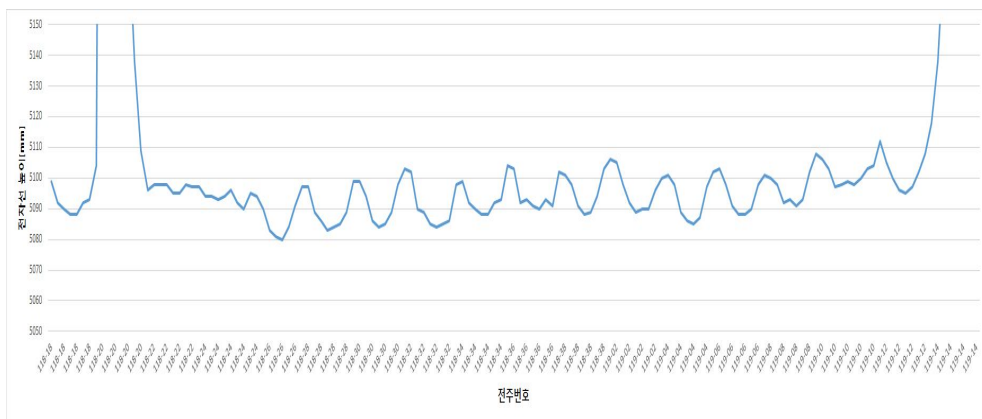


그림 2-2. 사전이도 적용 후 전차선 높이 측정



### 3. Test-bed 구간 시공품질검사

호남고속철도에 시공한 400km/h급 전차선로 test-bed 구간의 고속철도 개통에 따른 전차선로 시설물의 시공품질 및 안전성의 정밀검사와 평가를 통해 고속열차 진입가능 여부를 종합적으로 판단하기 위하여 제3의 기관인 한국전기철도 기술 협력회에서 운행 전 전차선로 시공품질검사를 실시하였다. 시공품질검사를 실시한 구간은 다음과 같이 test-bed 구간과 동일하다. 표 2-3은 검사설비 항목을 보여주고, 표 2-4는 검사 항목이다.

- 호남고속철 익산~정읍간 400[km/h] 상선 구간[오기(현)100K000~128K000]
- 호남고속철 익산~정읍간 400[km/h] 하선 구간[오기(현)54K047~81K805]

#### a. 적용기준

- 철도설계지침 및 편람 (KR-CODE)
- 철도건설공사 전문시방서 (전철전력편)
- 호남고속철도 익산~정읍 특별시방서, 설계도 및 평면도
- 400[km/h] 전차선로 기본설계 기준
- 전기설비 기술기준 · 전기설비 기술기준의 판단기준
- 전차선로 유지보수 매뉴얼 및 설계참고자료 (설비도, 부품도, 장주도)
- 철도표준규격(KRS), 국가표준규격(KS)

차상 집전성능 평가 항목 및 기준

표 2-3. 검사설비

번호	검사 설비	검사 수량	
		단위	수량
1	급전선(케이블)	구간	-
2	급전선(나선)	km	28.26
3	보호선, 비절연보호선, 가공지선 등	km	28.26
4	가공전차선로(800미만)	섹션	4
5	가공전차선로(800이상)	섹션	4
6	철주(H형강주)	본	549
7	철주(조립철주)	본	-
8	고정빔 6-10m 미만(전주대용물 포함)	본	-
9	고정빔 10-18m 미만(전주대용물 포함)	본	-
10	고정빔 18-22m 미만(전주대용물 포함)	본	-
11	고정빔 22-26m 미만(전주대용물 포함)	본	-
12	단로기	개	11
13	절연구분장치	개소	1
14	접지장치	개소	-
15	가동브래킷	km	35.747

표 2-4. 검사항목

구 분	검사항목	검사설비	기준값
	가공전선의 이도	100%	설계값
급전선	접지물 이격거리	100%	설계값
	급전선과 타전선 이격거리	100%	설계값
비절연 보호선	가공전선의 이도	100%	설계값
	급전선과 비절연보호선 이격거리	100%	설계값
	전차선 편위	100%	설계값
	전차선 높이	100%	설계값
	전차선 구배	100%	설계값
전차선	접지물 이격거리	100%	설계값
	급전선 이격거리	100%	설계값
	타전선 이격거리	100%	설계값
	드로퍼 시공간격	20%	설계값
	드로퍼 수직각도	20%	설계값
브래킷	가동브래킷 회전변위량	20%	설계값
	가동브래킷 볼트류 조임토크	20%	설계값
	수평파이프와 곡선당김금구 수직거리	20%	설계값
	수직파이프와 곡선당김금구 수직거리	20%	설계값
	지지점 가고	20%	설계값
	전차선 조가선 수직각도	20%	설계값
	곡선당김 취부금구 잔여길이	20%	설계값
	곡선당김 취부 수직파이프 수직상태	20%	설계값
	수평파이프 수평상태	20%	설계값

구 분	검사항목	검사설비	기준값
구분장치	애자형섹션	100%	설계값
	에어조인트	100%	설계값
	에어섹션	100%	설계값
절연구분장치	이중절연방식	100%	설계값
교차설비	평면교차	100%	설계값
	완철, 밴드 설치상태	100%	설계값
	전주 및 비임 볼트류 조임토크	20%	설계값
지지물	아연도금 상태	100%	설계값
	전주기초 앵커볼트 및 외관상태	100%	설계값
	전주경사 및 건식위치	100%	설계값
	지선(굴곡, 분할핀, 너트, 외관상태, 방향, 각도)	100%	설계값
단로기	단로기 설비	100%	설계값
장력장치	활차식 자동장력 조정장치	100%	설계값
	도르레식 자동장력 조정장치	100%	설계값
접지설비	단자함 설치상태	100%	설계값
	터미널 압착상태 및 볼트, 너트 조임여부	100%	설계값
	전선관 시공상태	100%	설계값
단로기	단로기 설비	100%	설계값

b. 평가기준

품질수준 (불량률, 품질지수)의 산정은 한국철도시설공단 「운행전 전차선로 시공품질검사 시행지침」 제5조, 제6조 시공품질검사의 판정 및 품질수준 평가기준을 적용하였다.

- 목표값(TV) : 검사결과 값이 설계기준(지침, 편람, 메뉴얼 등)상의 값과 정확히 일치되어 열차의 진입이 허용되는 양호한 경우. (Target Value)
- 허용값(NI) : 검사결과 값이 설계기준(지침, 편람, 메뉴얼 등)상의 값과 정확히 일치하지는 않으나, 허용오차 범위 내에 값으로 보완조치가 필요 없고 열차의 진입이 허용되는 경우. (No Intervention)
- 경고값(AV) : 검사결과 값이 설계기준(지침, 편람, 메뉴얼 등)상의 오차범위를 벗어났으나 설비의 안전상 긴급한 위험을 내포하지 않아서 열차 진입은 가능하나, 보완시공이 필요한 경우. (Alert Value)

### Ⅲ. 전차선로 시스템 test-bed 성능평가

#### A. 전차선로 종합 성능평가

##### 1. 차상 집전성능 평가

표 3.1은 전차선로의 차상 집전성능 평가를 위한 평가 항목 및 기준을 나타낸다.

표 3-1. 차상 집전성능 평가 항목 및 기준

구분	기준	근거
평균접촉력	$\leq 200$	KTX QT
최소접촉력	$> 0$	EN 50119:2009
최대접촉력	$\leq 350$	EN 50119:2009
이선율	$\leq 1\%$	국토부 개정 철도설계기준(시스템편), 2013.12

##### a. 평가 방법

팬터그래프-전차선 사이의 접촉력을 측정하여 집전 성능 평가하였고, 접촉력 측정 장치는 HEMU 열차에 탑재된 팬터그래프에 장착되며, 측정 정밀도는 EN 50317에 의하여 검증하였다.

접촉력 데이터 처리방법은 접촉력 측정 장비에 의하여 측정된 접촉력에 공력특성시험 결과를 추가하여 전체 접촉력을 산출하며, 전구간 측정 데이터에서 분석 평가를 위한 선택구간에서 개활지 주행 구간 데이터를 추출하고 20Hz 저역통과 필터를 적용하여 평가하였다.

접촉력 측정 이외에 이선 발생 위치를 분석하기 위하여 이선 아크를 측정하였다. 이선 아크 데이터 처리방법은 팬터그래프 Trail edge쪽에 아크 검출기를 설치하여 팬터그래프와 전차선간 이선시 발생하는 아크를 220~225nm 파장, 5ms 이상 지속되고 최고속도  $\pm 10$  km/h, 정격전류 30% 이상이 될 때 아크를 검출하였다.

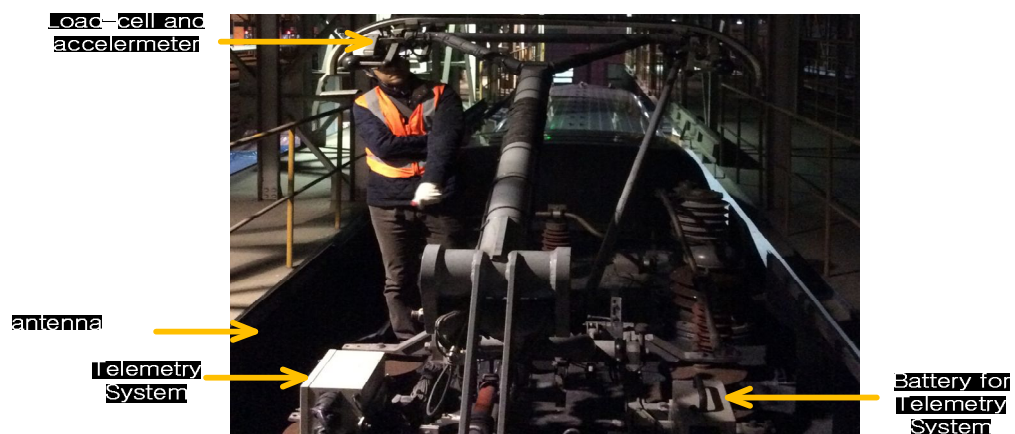


그림 3-1. HEMU 펜터그래프에 설치된 접촉력 측정 장치



그림 3-2. HEMU 펜터그래프에 설치된 이선 아크검출 장치

## 2. 지상부 집전 성능 검증

표 3.2는 지상부 집전 성능 검측을 위한 평가 항목 및 기준을 나타낸다.

표 3-2. 지상부 집전성능 평가 항목 및 기준

항목	기준	비고
전차선 압상량(mm)	120	EN50119
전차선 변형률( $\mu\epsilon$ )	500	시험결과
드로퍼 작용력(N)	300	시험결과

### a. 평가 방법

전차선 압상량 및 스트레인은 전차선에 직접 변위계와 스트레인게이지를 취부하여 열차 통과시 센서가 취득한 신호를 텔레메트리를 통하여 지상으로 전송하였다.

드로퍼 작용력은 지지점 인근 좌우 드로퍼를 로드셀이 달린 드로퍼로 교체하여 열차 통과시 센서가 취득한 신호를 텔레메트리를 통하여 지상으로 전송하였다.

지상 측정 지점은 350km/h 이하 103k('14.12.06 이전), 350km/h 이상 113k(113-2호주, '14.12.06이후)으로 구분하였다.





그림 3-3. 전차선 압상량 및 변형을 측정 장치

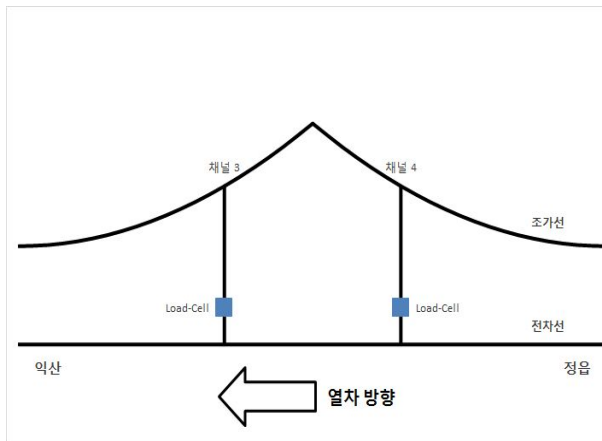
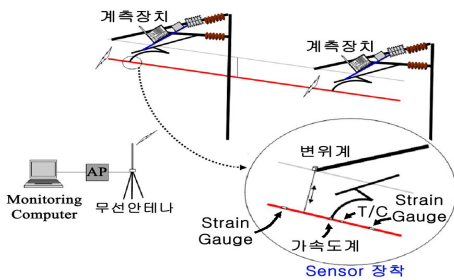


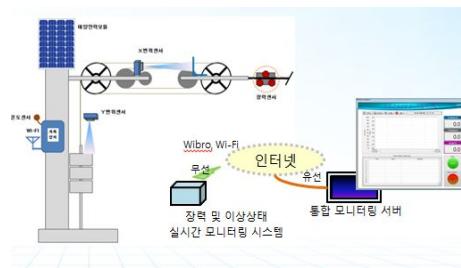
그림 3-4. 드로퍼 작용력 측정 장치

### 3. 측정 장치 구성

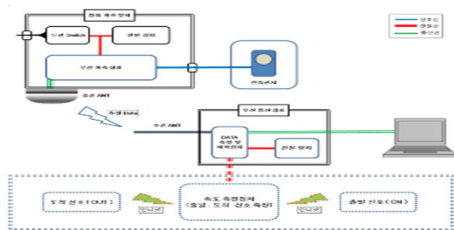
Test-bed에서 전차선로 분야의 모니터링은 지상측정과 차상측정으로 구분된다. 지상측정에서는 전차선 압상량 및 변형률, 전차선 실시간 장력상태, 전차선 이상상태, 전차선로(애자류 및 금구류) 결함 등을 고속열차의 최고 주행속도구간에서 측정하게 되며, 차상측정에서는 전차선과 팬터그래프 간 접촉력 및 이선아크 등 차량의 주행성능을 모니터링 하였다.



전차선 압상량 (지상모니터링)



실시간 장력조정장치 (지상모니터링)



전차선 이상상태 모니터링(지상모니터링)



전차선로 결함 탐지(지상모니터링)



전차선/팬터그래프접촉력(차상모니터링)



전차선 이선아크 (차상모니터링)

그림 3-5. 전차선로 분야 모니터링 구성

## B. 집전성능 시험 절차

### 1. 집전성능 확인 목적

본 시험은 400km/h급 호남고속철도 test-bed 구간 전차선과 팬터그래프 간 집전성능(접촉력시험, 이션아크시험)을 평가하기 위한 시험이다. 전차선과 팬터그래프 간 집전성능의 품질을 확인하기 위해 전차선과 팬터그래프 간 접촉력 및 이션이 되었을 때 발생하는 아크 검측을 통해 열차 주행에 따른 집전성능을 확인하는 것이 목적이다.

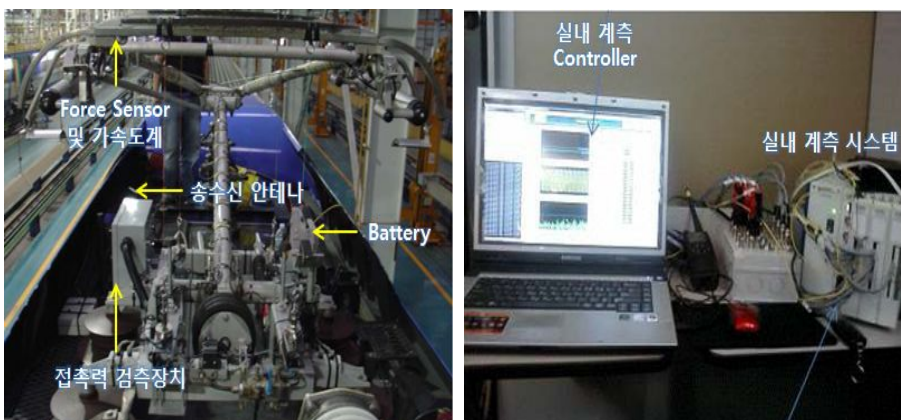
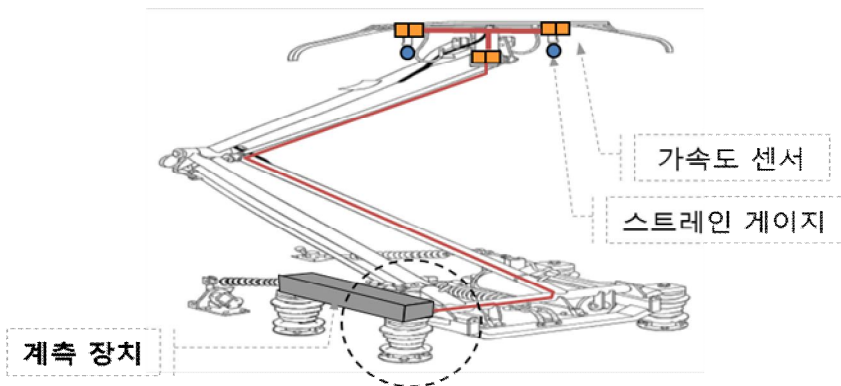


그림 3-6. 계측 시스템

## C. 전차선로 모니터링 시험 절차

### 1. 전차선로 이상상태 시험 절차

본 시험은 400km/h급 호남고속철도 Test-Bed 구간 전차선에 설치되어 열차 통과시 전차선과 조가선의 전류를 측정하여 전차선과 전기 철도 차량에 전기를 공급하는 전차선로의 집전전류를 지상에서 평가하는 것을 목적으로 하고 있다. 수신 안테나와 AP 장치를 이용하여 무선으로 모니터링 할 수 있도록 하였다.

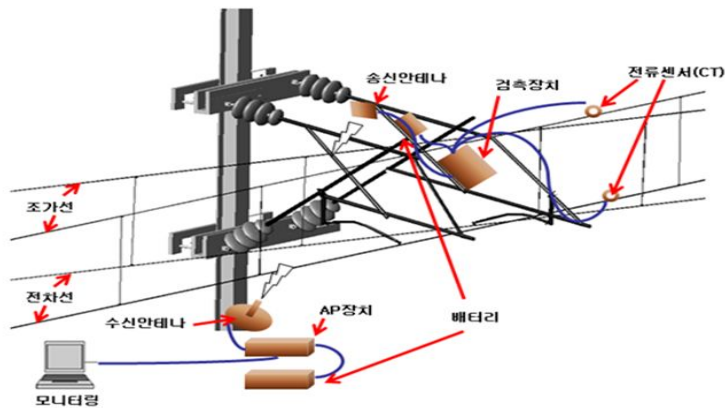


그림 3-7. 전차선로 이상상태 측정 블록도

### 2. 전차선로 장력 모니터링 시험 절차

본 시험은 400km/h급 호남고속철도 Test-Bed 구간 장력조절장치에 설치되어 전차선 및 조가선의 장력을 측정하여 장력의 이상상태를 확인 및 평가를 목적으로 하고 있다. 측정 센서는 변위 및 장력을 측정하기 위하여 인류크레비스 타입으로 적용 하였다. 측득된 데이터는 무선 통신을 이용하여 모니터링 장비로 보내지게 된다.

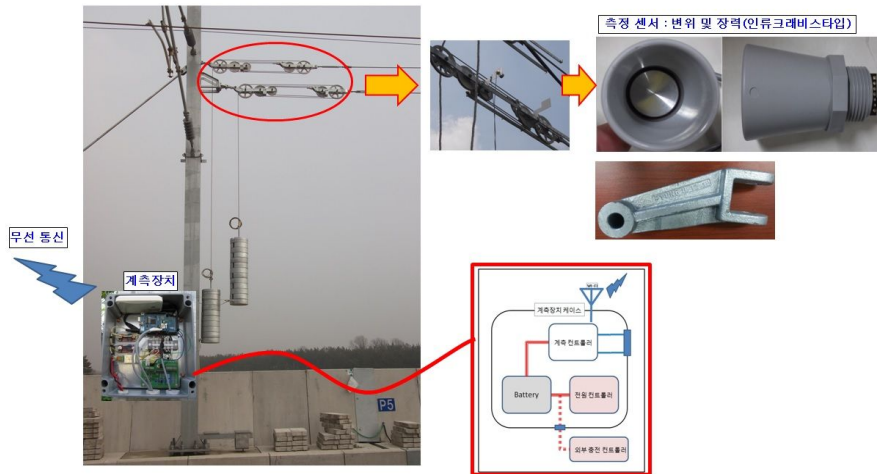


그림 3-8. 전차선로 장력 모니터링 측정 블록도

### 3. 전차선로 결함탐지 시험 절차

본 시험절차서는 400km/h급 전차선로 전차선 및 관련 기자재의 전기적 결함에 의해 발생하는 이상(코로나, 아킹, 트래킹, 열발생등)을 자외선과 적외선 센서를 이용하여 검출하는 성능을 평가하기 위한 시험이다.

표 3-3. 적외선 진단 판단 기준

절대온도 비교	
온도차이	판정
1도~10도 O/A	열화가능성
10도~20도 O/A	추후 결함으로 진전
20도~40도 O/A	결함
40도 이상 O/A	치명적 결함
유사 설비 온도 비교	
온도차이	판정
5도 미만	정상
5~10도 미만	요주의
10도 이상	이상

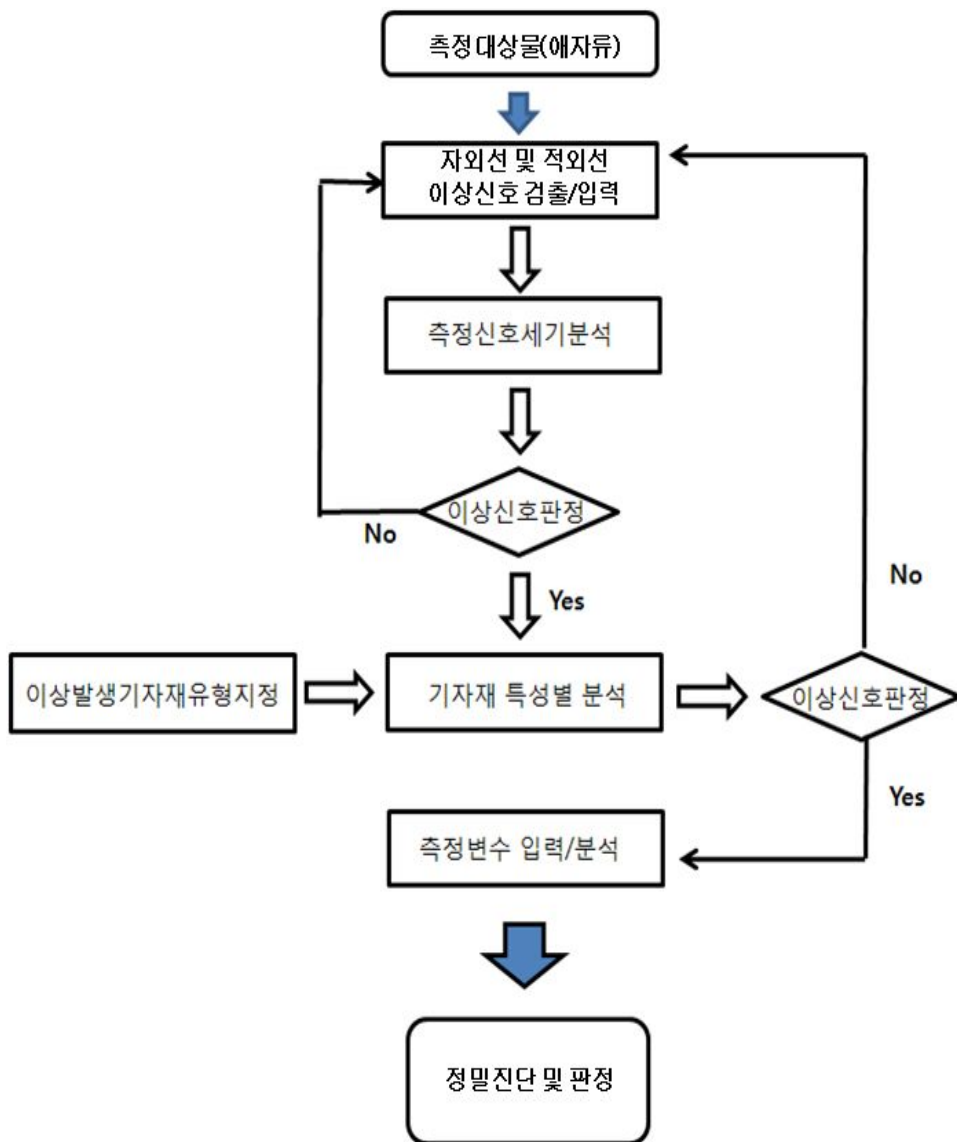


그림 3-9. 자외선 검출 성능 시험





표 3-5. 접속력 측정 결과

일자	최고 속도 (km/h)	평균 속도 (km/h)	주행 거리 (km)	평균접속력 (N)		최소접속력 (N)		최대접속력 (N)	
				측정	기준	측정	기준	측정	기준
'15.2.1	400.2	395.1	9.5	182.8	$\leq 200$	17.8	$> 0$	347.7	$\leq 350$
'15.2.8	400.8	394.8	7.7	171		15.8		326.2	
'15.2.15	400	400.1	3.4	179.8		15.1		344.5	
'15.3.8	404.1	402.1	5.0	180.0		18.3		341.8	
'15.3.15	405.8	402.5	8.36	176.8		19.8		333.8	

표 3-6. 속도 단계별 접속력 측정 결과

일자	최고 속도 (km/h)	평균 속도 (km/h)	평균접속력 (N)		최소접속력 (N)		최대접속력 (N)	
			측정	기준	측정	기준	측정	기준
'14.8.28	297.4	294.8	116.4	$\leq 200$	31.0	$> 0$	201.8	$\leq 350$
'14.11.26	312.2	307.6	159.2		56.7		261.6	
'14.12.03	344.7	341.5	190.4		53.6		327.1	
'14.12.12	373.0	370.4	189.3		36.7		341.9	
'15.01.23	395.0	393.7	166.9		18.3		315.5	



다음은 HEMU-430x 시운전 시에 사전이도 적용구간과 미적용 구간에서 측정한 전차선/팬터 그래프간의 접촉력 측정결과이다. 사전이도 미적용구간이 적용구간에 비하여 상대적으로 높은 속도 대역의 결과임에도 불가하고 접촉력 변동이 더 작아서 접촉력 표준편차가 더 작게 측정되었다. 이와 같은 결과를 보면 열차속도가 400km/h에 가까워지면 전차선에 사전이도를 적용하지 않는 것이 집전성능 측면에서 더 우수한 것으로 판단된다.

표 3-7. 접촉력 측정 결과

항목	기 준(N)	결 과(N)	
		사전이도 적용구간	사전이도 미적용 구간
평균접촉력(Fmean)	$\leq 200$	186.7	187.9
통계적 최소 접촉력 (Fmean-3 $\sigma$ )	$\geq 0$	34.4	39.4
통계적 최대 접촉력 (Fmean+3 $\sigma$ )	$\leq 350$	339.2	336.4
평균주행속도 (km/h)		388.1	396.6

## 2. 지상부 집전성능 검증 결과

총 4회('15.3.8 입회 시험 포함)에 걸쳐 실시된 400km/h 운행시 측정결과는 평가 기준을 만족하고 있음을 확인할 수 있었다.

표 3-8. 차상 집전성능 평가 항목 및 기준

항목	기준	비고
전차선 압상량(mm)	120	EN50119
전차선 변형률( $\mu\epsilon$ )	500	시험결과
드로퍼 작용력(N)	300	시험결과

표 3-9. 집전 성능 측정량 (400km/h 기준)

일자	최고 속도 (km/h)	측정지점 통과속도 (km/h)	전차선압상량 (mm)		전차선변형율 ( $\mu\epsilon$ )		드로퍼작용력 (N)	
			측정	기준	측정	기준	측정	기준
‘15.2.1	400.2	394.0	48.7	$\leq 12$ 0	82.5	$\leq 50$ 0	137.9	$\leq 300$
‘15.2.8	400.8	395.9	43.8		130.7		122.3	
‘15.3.8	404.1	403.7	50.6		179.4		177.6	
‘15.3.15	405.8	398.7	50.1		192.3		152.0	

표 3-10. 속도 단계별 증속

일자	최고 속도 (km/h)	측정지점 통과속도 (km/h)	전차선압상량 (mm)		전차선변형율 ( $\mu\epsilon$ )		드로퍼작용력 (N)	
			측정	기준	측정	기준	측정	기준
‘14.8.28	297.4	297.1	22.6	$\leq 12$ 0	-	$\leq 50$ 0	-	$\leq 30$ 0
‘14.12.03	344.7	220	-		-		-	
‘14.12.12	373.0	371.0	43.2		94.7		128.7	
‘15.01.23	395.0	392.4	43.6		-		142.0	

### 3. 일자별 시험 세부 결과

차상 집전성능을 비교하기 위해서 기간을 나누어 접촉력 측정을 실시하였다. 아래의 표는 각 기간별 차상 접촉력 측정데이터와 최고 속도를 나타낸다.

a. '14. 08. 28 최고속도 297.4 km/h 시험

· 차상 집전성능(접촉력) 측정 결과

항목	기 준(N)	결 과(N)
평균접촉력( $F_{mean}$ )	< 200	116.4
통계적 최소 접촉력 ( $F_{mean}-3\sigma$ )	> 0	31.04
통계적 최대 접촉력 ( $F_{mean}+3\sigma$ )	< 350	201.8
평균주행속도 (km/h)		294.8
최고주행속도 (km/h)		297.1

b. '14. 11. 26 최고속도 312 km/h 시험

· 차상 집전성능(접촉력) 측정 결과

항목	기 준(N)	결 과(N)
평균접촉력( $F_{mean}$ )	< 200	159.2
통계적 최소 접촉력 ( $F_{mean}-3\sigma$ )	> 0	56.7
통계적 최대 접촉력 ( $F_{mean}+3\sigma$ )	< 350	261.6
평균주행속도 (km/h)		307.6

c. '14. 12. 03 최고속도 344.7 km/h 시험

· 차상 집전성능(접촉력) 측정 결과

항목	기 준(N)	결 과(N)
평균접촉력( $F_{\text{mean}}$ )	< 200	190.4
통계적 최소 접촉력 ( $F_{\text{mean}}-3\sigma$ )	> 0	53.6
통계적 최대 접촉력 ( $F_{\text{mean}}+3\sigma$ )	< 350	327.1
평균주행속도 (km/h)		341.5

d. '14. 12. 12 최고속도 373.0 km/h 시험

· 차상 집전성능(접촉력) 측정 결과

항목	기 준(N)	결 과(N)
평균접촉력( $F_{\text{mean}}$ )	$\leq$ 200	189.3
통계적 최소 접촉력 ( $F_{\text{mean}}-3\sigma$ )	$\geq$ 0	36.7
통계적 최대 접촉력 ( $F_{\text{mean}}+3\sigma$ )	$\leq$ 350	341.9
평균주행속도 (km/h)		370.4

e. '15. 01. 23 최고속도 373.0 km/h 시험

· 차상 집전성능(접촉력) 측정 결과

항목	기 준(N)	결 과(N)
평균접촉력( $F_{\text{mean}}$ )	< 200	166.9
통계적 최소 접촉력 ( $F_{\text{mean}}-3\sigma$ )	> 0	18.3
통계적 최대 접촉력 ( $F_{\text{mean}}+3\sigma$ )	< 350	315.5
평균주행속도 (km/h)		393.7

f. '15. 02. 01 최고속도 400.2 km/h 시험

- 차상 집전성능(접촉력) 측정 결과

항목	기 준(N)	결 과(N)
평균접촉력( $F_{\text{mean}}$ )	$\leq 200$	182.8
통계적 최소 접촉력 ( $F_{\text{mean}}-3\sigma$ )	$\geq 0$	17.8
통계적 최대 접촉력 ( $F_{\text{mean}}+3\sigma$ )	$\leq 350$	347.7
평균주행속도 (km/h)		395.1

g. '15. 02. 08 최고속도 400.8 km/h 시험

- 차상 집전성능(접촉력) 측정 결과

항목	기 준(N)	결 과(N)
평균접촉력( $F_{\text{mean}}$ )	$\leq 200$	171
통계적 최소 접촉력 ( $F_{\text{mean}}-3\sigma$ )	$\geq 0$	15.8
통계적 최대 접촉력 ( $F_{\text{mean}}+3\sigma$ )	$\leq 350$	326.2
평균주행속도 (km/h)		394.8

h. '15. 02. 15 최고속도 400 km/h 시험(접촉력만 측정)

- 차상 집전성능(접촉력) 측정 결과

항목	기 준(N)	결 과(N)
평균접촉력( $F_{\text{mean}}$ )	$\leq 200$	179.8
통계적 최소 접촉력 ( $F_{\text{mean}}-3\sigma$ )	$\geq 0$	15.1
통계적 최대 접촉력 ( $F_{\text{mean}}+3\sigma$ )	$\leq 350$	344.5
평균주행속도 (km/h)		400.1

i. '15. 03. 08 최고속도 404.1 km/h 시험(한국철도기술연구원 입회 시험)

· 차상 집전성능(접촉력) 측정 결과

항목	기 준(N)	결 과(N)
평균접촉력( $F_{\text{mean}}$ )	$\leq 200$	180.0
통계적 최소 접촉력 ( $F_{\text{mean}}-3\sigma$ )	$\geq 0$	18.3
통계적 최대 접촉력 ( $F_{\text{mean}}+3\sigma$ )	$\leq 350$	341.8
평균주행속도 (km/h)		402.1

j. '15. 03. 15 최고속도 405.8 km/h 시험

· 차상 집전성능(접촉력) 측정 결과

항목	기 준(N)	결 과(N)
평균접촉력( $F_{\text{mean}}$ )	$\leq 200$	176.8
통계적 최소 접촉력 ( $F_{\text{mean}}-3\sigma$ )	$\geq 0$	19.8
통계적 최대 접촉력 ( $F_{\text{mean}}+3\sigma$ )	$\leq 350$	333.8
평균주행속도 (km/h)		402.5

## E. 전차선로 모니터링 평가 결과

### 1. 전차선로 장력 모니터링 시험 결과

익산~정읍 구간 400km/h 호남고속선 test-bed 구간 내 상행선 KP 104.10 및 KP 104.2 구격 2 개소에 각 1Set씩 장력 센서 4채널, 온도, 변위센서 2채널 및 전원장치, 계측 모니터링 장치를 설치하여 시험하였다.

a. 호남선 test-bed 익산-정읍 구간, 104-10 설치



그림 3-10. 장력 상태 실시간 모니터링 시스템 전원 및 계측장치 설치(104-10)

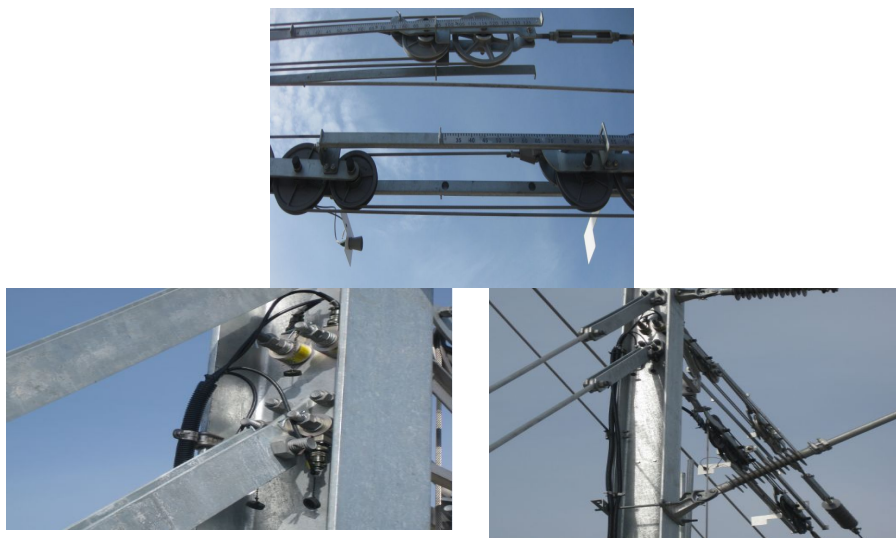


그림 3-11. 상부 로드셀 및 X축 센서 설치(104-10)

b. 호남선 test-bed 익산-정읍 구간, 104-2 설치



그림 3-12. 장력 상태 실시간 모니터링 시스템 전원 및 계측장치 설치(104-2)



그림 3-13. 상부 로드셀 및 X축 센서 설치(104-2)



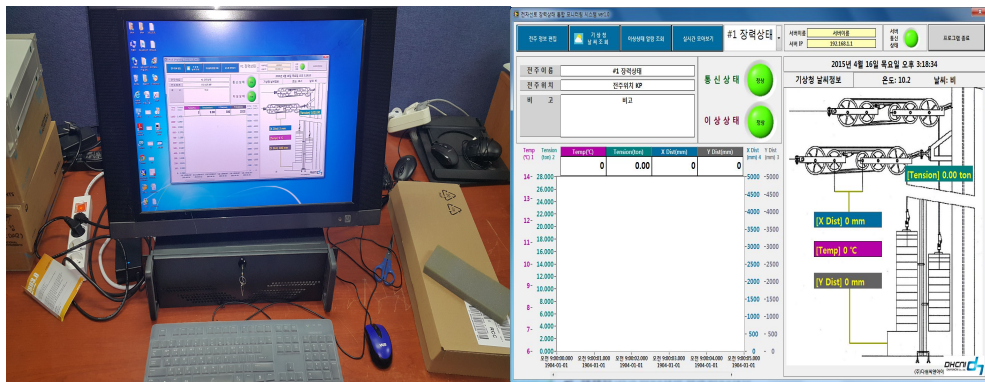


그림 3-14. 장력 이상상태 모니터링 시스템 수신 서버 화면

## 2. 호남고속선 성능 시험 결과

호남고속선 익산-정읍 테스트베드 구간에서 시제품 설치 후 열차 운행 및 비 운행시 실시간 장력과 변위, 온도를 측정하였으며 기준장력 34KN에서 -3% 해당하는 1020N 이하 저하여부를 장력상태 모니터링 시스템을 통해 실시간 측정 및 전송하고 측정한 데이터를 통해 장시간 데이터를 취득하였다. 장시간 측정한 데이터를 기반으로 시스템의 상시 모니터링 성능과 각 측정 센서부의 성능을 확인하여 현장 설치 운영시 보완해야할 사항을 파악하고 완성도 높은 제품 개발에 활용하기 위한 기반과 24시간 원격 모니터링이 가능한 독립 전원 구성 및 저전력 타입의 제품으로 보완하여 적용하였다.

### a. 2015년 1월 23일 08:40 - 2015년 1월 25일 17:30 측정 결과

표 3-11. 호남 고속선 성능시험 결과 1차

항목	최대	최소	평균	비고
X Dist (mm)	1258	1089	1195.2	
Y Dist (mm)	3649	2821	3347.3	
Temp (℃)	9	-5	0.54	
Load (ton)	3.4062	3.3834	3.3948	

b. 2015년 1월 23일 10:48 - 2015년 1월 25일 17:10 측정 결과

표 3-12. 호남 고속선 성능시험 결과 2차

항목	최대	최소	평균	비고
X Dist (mm)	1279	1123	1226.6	
Y Dist (mm)	3763	2974	3501.5	
Temp (℃)	8	-8	-2.4	
Load (ton)	3.3404	3.3854	3.3958	

c. 2015년 2월 1일 09:13 - 2015년 2월 4일 10:06 측정 결과

표 3-13. 호남 고속선 성능시험 결과 3차

항목	최대	최소	평균	비고
X Dist (mm)	1279	1123	1226.6	
Y Dist (mm)	3763	2974	3501.5	
Temp (℃)	8	-8	-2.4	
Load (ton)	3.3404	3.3854	3.3958	

d. 2015년 3월 15일 12:00 - 2015년 3월 17일 10:04 측정 결과

표 3-14. 호남 고속선 성능시험 결과 4차

항목	최대	최소	평균	비고
X Dist (mm)	1194	948	1103.1	
Y Dist (mm)	3325	2097	2869.8	
Temp (℃)	25	-1	7.39	
Load (ton)	3.402	3.378	3.3912	

## F. 전차선로 전류파형 모니터링 결과

호남고속선 익산-정읍 테스트베드 구간에 전류 이상상태 모니터링 시스템 시제품 설치 후 전차선 및 조가선의 전류 데이터를 실시간 측정, 전송하고 측정한 데이터를 통해 전류의 이상상태 데이터를 취득하였다.

열차 통과시 이상상태 모니터링 시스템의 모니터링 성능과 현장 설치 운영시 보완 사항을 파악하고 완성도 높은 제품 개발에 활용하기 위한 기반과 원격 모니터링이 가능한 독립 전원 구성 및 저전력 타입의 제품으로 보완하여 적용하였다.

a. 2014년 12월 12일 14:00 - 2015년 12월 12일 18:00

- 측정 회수 : 3회 측정
- 열차 속도 : 13:20 168km/h, 15:23 350km/h, 16:48 369km/h
- 측정 결과 : 데이터 분석 하였으나 이상상태 파형은 발견되지 않았다.

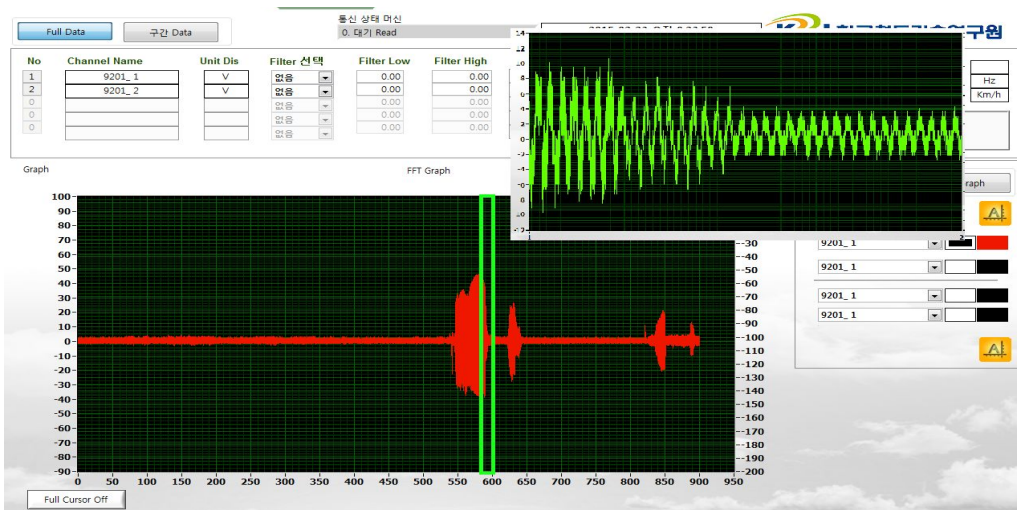


그림 3-15. 1차 측정 결과 : 2014년 12월 12일 13시 10분

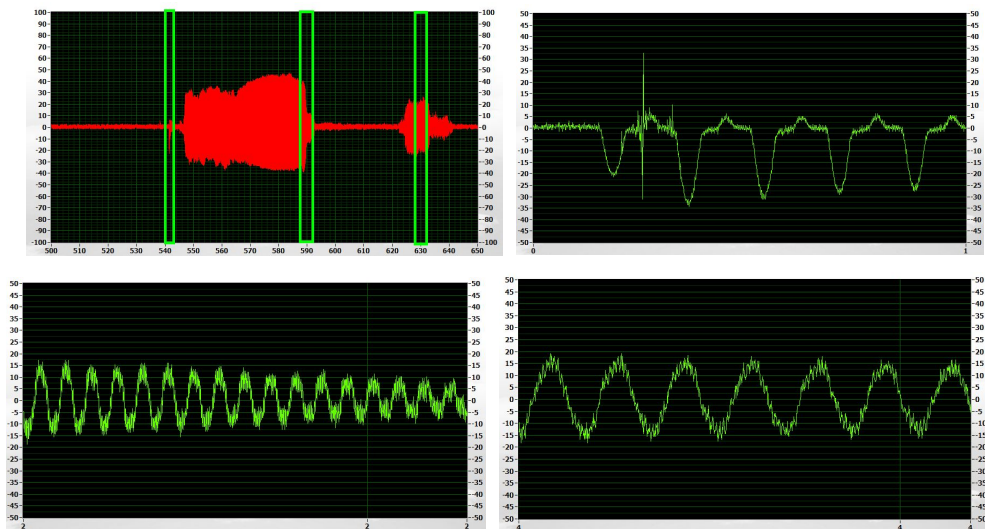


그림 3-16. 1차 측정 Data 확대 분석

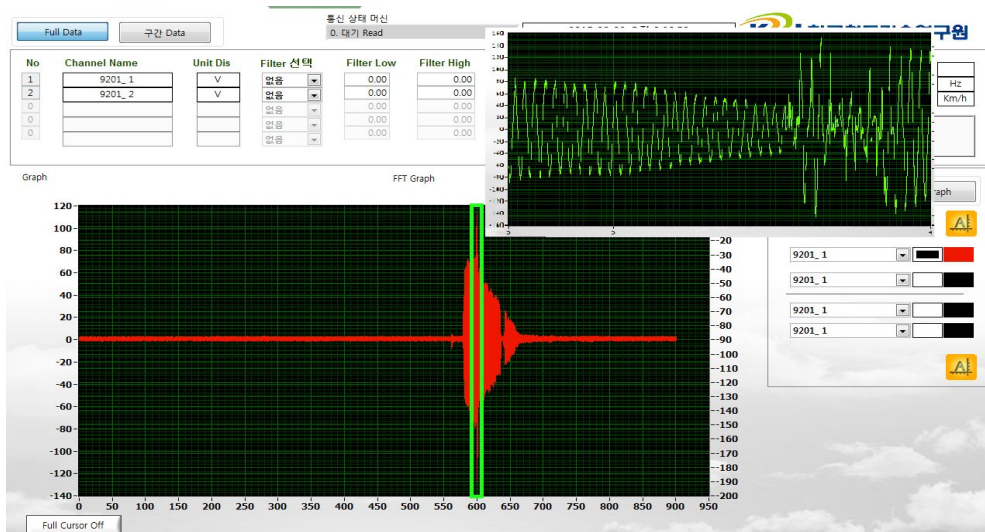


그림 3-17. 2차 측정 결과 : 2014년 12월 12일 15시 34분

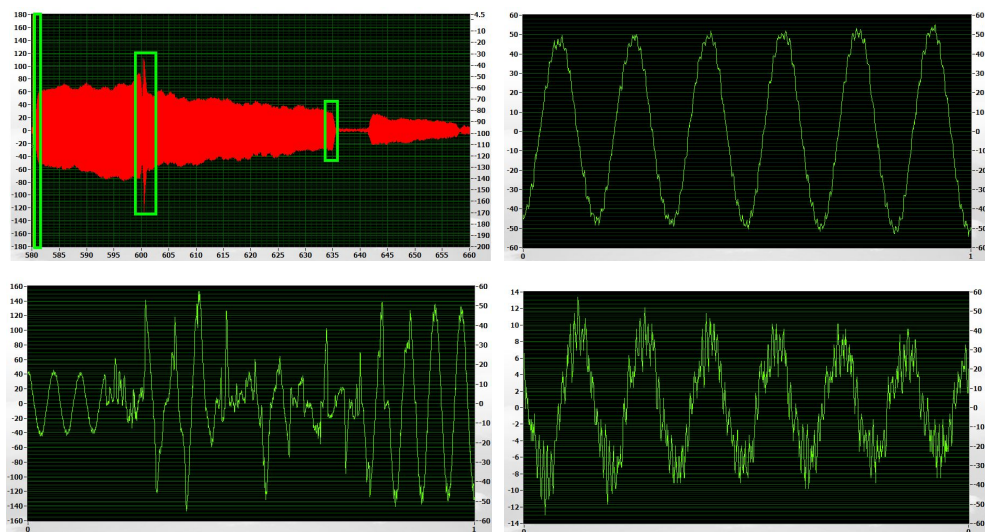


그림 3-18. 2차 측정 Data 확대 분석

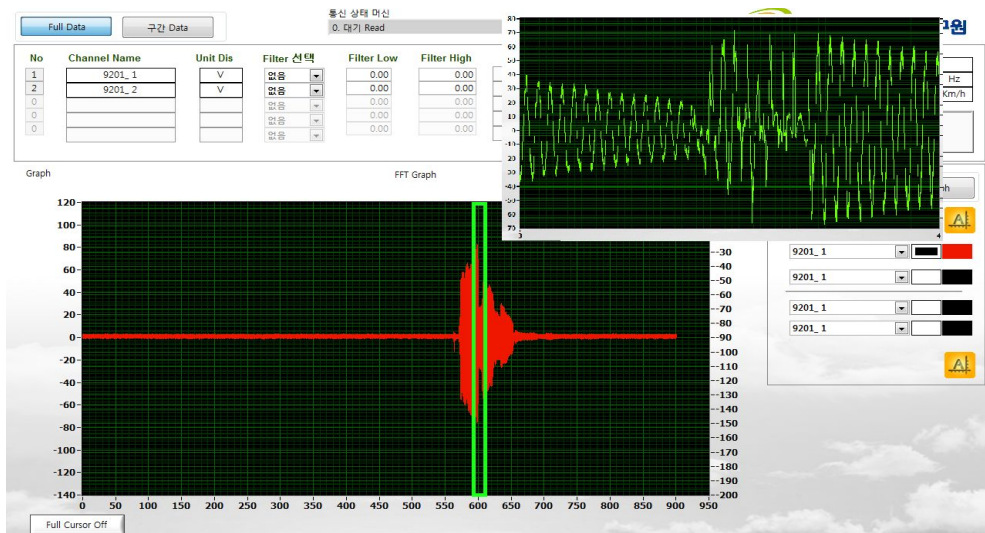


그림 3-19. 3차 측정 결과 : 2014년 12월 12일 17시 00분



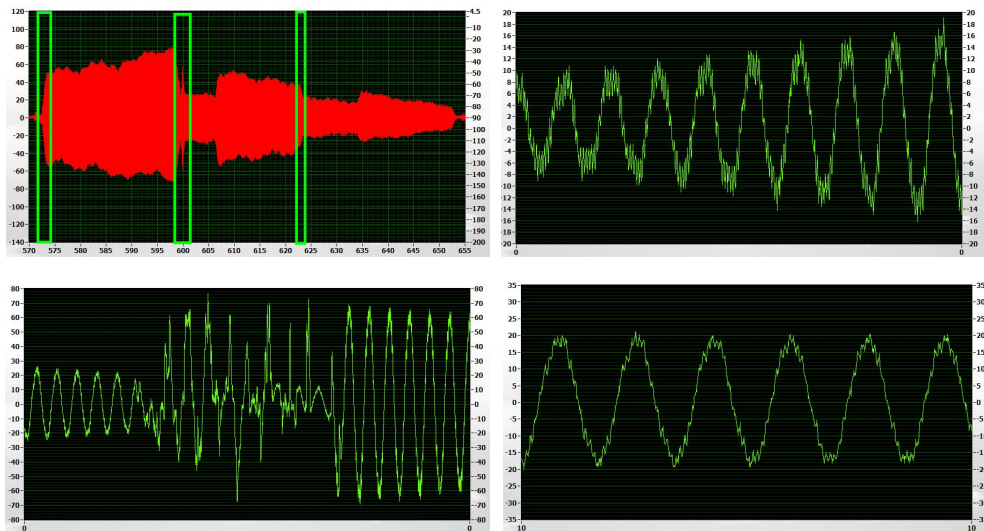


그림 3-20. 3차 측정 Data 확대 분석

b. 2015년 01월 23일 14:00 - 2015년 01월 23일 18:00

- 측정 회수 : 3회 측정
- 열차 속도 : 14:02 366km/h, 15:16 367km/h, 16:37 390km/h
- 측정 결과 : 데이터 분석 하였으나 이상상태 파형은 발견되지 않았다.

c. 2015년 02월 1일 14:00 - 2015년 02월 1일 18:00

- 측정 회수 : 2회 측정
- 열차 속도 : 15:33 391km/h, 17:20 393km/h
- 측정 결과 : 데이터 분석 하였으나 이상상태 파형은 발견되지 않았다.

d. 2015년 02월 8일 16:00 - 2015년 02월 8일 20:00

- 측정 회수 : 3회 측정
- 열차 속도 : 16:41 396km/h, 18:01 402km/h, 19:01 398km/h
- 측정 결과 : 데이터 분석 하였으나 이상상태 파형은 발견되지 않았다.

## IV. 결 론

열차속도 향상을 위해 전기철도 시스템에서 최적의 조건을 만들어 내는 것은 전차선과 팬터그래프 특성연구가 가장 중요한 부분이다.

서론에서 언급한 바와 같이 전기철도의 열차 속도가 높아짐에 따라 집전장치인 팬터그래프의 압상력 (upliftforce)이 증가하고 또한 일정한 압상력으로 주행함으로써 진동에 의한 파동이 발생하며 이 파동에 의해 전차선과 팬터그래프 사이에는 이선이 발생하는데 이는 전력 공급 장애, 아크의 발생, 전차선(contactwire) 및 습동판 (contactstrip)의 이상마모, 전자파 발생 등의 원인이 된다. 따라서, 전기철도 시스템에서 최적의 조건을 만들어 내는 것은 전차선과 팬터그래프 특성연구가 가장 중요한 부분이다.

전 세계적으로 전차선로 설계 지침으로 활용되고 있는 EN 50119:2009에 따르면 열차속도가 시속 200km를 초과시 허용되는 접촉력의 통계적 최대 접촉력 350N 이하이어야 하고, 통계적 최소 접촉력은 양수이어야 한다.

본 논문에서는 400km/h급 전차선로의 집전성능 평가기준과 성능평가 결과를 나타내었다. 성능 평가 기준 분석 결과 팬터그래프의 접촉력은 350km/h 이하의 경우에는 통계적 최소 및 최대 접촉력의 조건을 EN 50317에서 정의하고 있으므로 접촉력의 기준을 국내에서도 별도의 정의 없이 적용이 가능하나 이선율의 경우 속도에 따라 이선율 값이 급격히 증가하므로 350km/h급 까지는 0.2%이하의 기준 적용이 가능한 것으로 분석되었다. 400km/h급 집전성능 검측결과 이선율의 경우 0.1808%를 나타내었으며 통계적 최소 접촉력은 27.3 N으로 이선율에 비해 양호한 특성을 나타내었다. 이선율 검측기는 광센서를 이용하여 차량의 팬터그래프와 전차선간의 아크 파장을 측정하게 되므로 접촉력과 달리 속도에 따라 민감도가 향상된다. 본 논문에서 나타낸 바와 같이 같은 속도대역에서 이선율은 국외 기준인 EN 50317의 0.2%에 근접하였으나 접촉력의 경우 기준값은 0 미만에 비해 양호한 특성을 나타낸다. 특히 이선율 세부 분석결과 전차선에 영향을 줄 수 있는 최대아크의 시간이 15ms로 나타나고 있음을 알 수 있다.

전차선로 가선허성에서 팬터그래프와 전차선 사이의 집전 접촉력 패턴은 동적특성의 해석이 가장 중요한 요소이고 이러한 전차선로 가선허 동적 특성은 전기차의 속도와 밀접한 관계가 있다.

따라서 전차선로의 특성분석을 위해 본선 시운전시험을 통한 측정시스템을 구현하고 현장시험을 수행하여 열차 운행 시 전차선로의 기계적 동적 상태량인 압상력과 변형율, 분석으로 전파파동속도를 계산하여 설계 이론과 비교, 분석하여 전차선로 가선허설비의 동특성, 기계적, 전기적 특성연구에 활용에 도움이 될 것으로 판단된다.



## 참 고 문 헌

- [1] 김양수,유해출, “전기철도공학”,동일출판사, p.55,1999.
- [2] “기술개발자료집 :고속전철기술개발사업”,한국철도기술연구원,2003.
- [3] “차세대고속철도 기술개발사업 기획보고서: 최고속도 400km/h 고속열차 (HEMU-400X)개발”,한국철도기술연구원, 2006
- [4] 한봉석, “한국전기철도의 현황과 발전전략”,철도웹진,No.56,2005.
- [5] 한국철도시설공단 KR연구원, “전차선로 지상부 성능검사 연구보고서”, 2015.
- [6] 한국철도시설공단, “철도시설 성능검증지침”, 2015.
- [7] 한국철도시설공단, “철도건설 주요자재 국산화 및 신제품 개발사업 관리지침”, 2015.
- [8] 한국철도시설공단 KR연구원, “전차선로 지상부 성능검사 연구보고서”, 2015.
- [9] 한국철도시설공단 KR연구원, “핵심부품 사양 및 본선 Test-bed성능평가 1차년도 연구보고서”, 2011.
- [10] 나해경,박영,조용현,이기원,박현준,오수영,송준태, “실시간 계측시스템을 이용한 전차선로 특성 측정”,전기전자재료학회논문지, 20권, 3호, p.281, 2007.
- [11] 오석용, 박 영, 조용현, 이기원, 송준태, “전차선로 전기적 특성 평가 시스템 구현”, 전기전자재료학회논문지, 제24권, 6호, pp. 497-503, 2011.
- [12] 박 영, 조용현, 이기원, 김형준, 김인철, “고속카메라를 이용한 전차선 압상량 검측 시스템 개발”, 전기전자재료학회논문지, 제22권, 10호, pp. 864-869, 2009.
- [14] 오석용 “고속철도 성능향상을 위한 전차선로 설비 특성 측정에 관한 연구” 성균관대학교 대학원 전자전기컴퓨터공학과 석사학위논문, 2010.
- [15] EN 50119:2001, “The European Standard, Railway applications-Fixed installations- Electric traction overhead contact lines”, 2001.

## 감사의 글

먼저 본 논문이 완성되기까지 세심한 지도와 많은 격려로 이끌어 주신 최효상 교수님께 진심으로 감사드립니다.

또한 조선대학교 산업대학원과의 산학협력을 체결하여 늦게나마 직장생활과 더불어 배움의 길을 쉽도록 터전을 마련해주신 이우선 원장님과 철도공사의 박채욱 교수님께 진심으로 감사드리며, 큰 열정과 해박한 지식으로 심도 있는 강의를 해주신 조금배 교수님, 김남훈 교수님 등 모든 교수님께도 감사드립니다. 대학원에 입학하여 서로 공부하고 연구하는데 많은 도움이 되어준 대학원 2기 동료들과의 대학원 생활을 기억하며 앞으로도 오랜 만남을 기원합니다. 그리고 이미 졸업하신 선배님들과 지금 이 순간에도 학업에 전념하고 계시는 후배님들께도 감사의 인사를 드립니다.

늦은 나이에 학업을 마무리 할 수 있도록 저에게 큰 힘이 되어주시고 물심양면으로 도와주고 고생한 사랑하는 성영란 여사와 지훈, 지수 우리 가족에게 영광을 돌립니다.

조금은 늦게 시작한 대학원 석사과정을 마무리하며 짧지 않았던 지난 시간들을 돌이켜보니 많은 아쉬움과 후회가 남습니다. 직장을 핑계로 바쁘다는 핑계로 학업에 열중하지 못한점과 많은 도움을 주신 고마운 분들께 감사의 마음을 제대로 전하지 못했기에 더욱 그러한 것 같습니다.

그 동안 부족한 제에게 많은 격려와 지도를 해주신 분들께 적은 지면을 빌려 감사의 마음을 전하고자 합니다.

지난 2년간의 대학원 기간 동안 배운 지식과 경험은 직장 업무에 큰 도움이 될 것으로 확신하며, 석사과정을 마쳤지만 앞으로 더욱 발전할 수 있도록 노력하겠습니다.

곽 동 성 드림