R&D / 09PRTD-C054267-01-000000

Construction and Transportation R&D Report

전기철도 전차선의 전력선통신을 활용한 실시간 안전정보 공유시스템 개발

2011

한국건설교통기술평가원
국토해양부

미래철도기술개발사업 제2차년도 최종보고서

09PRTD-C054267-01-000000

전기철도 전차선의 전력선통신을 활용한 실시간 안전정보 공유시스템 개발

2011. 12. 22.

주관연구기관 / 한국철도대학
공동연구기관 / 지에스 솔루션
위탁연구기관 / 한국철도공사
솔텍시스템

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

미래철도기술개발

전기철도 전차선의 전력선통신(PLC)을 활용한 실시간 안전정보공유 시스템 개발

최종보고서 (2차년도)

2011.12.22

주관기관 : 한국철도대학
공동기관 : 지에스솔루션
위탁기관 : 한국철도공사
위탁기관 : 솔텍시스템(주)

한국건설기술교통평가원

제 출 문

한국건설교통기술평가원장 귀하

이 보고서를 “미래철도기술개발”과제 (상시과제“전기철도 전차선의 전력선통신(PLC)을 활용한 실시간 안전정보공유 시스템 개발”)의 최종보고서(2차년도)로 제출합니다.

2011.12.22

주관기관명 : 한국철도대학
산학협력단
과제책임 : 안 승 호

연구원 : 김 양수, 김 재문
곽 영규, 장 진영
박 병훈, 이 경자
장 용호, 이 병곤
김 천환, 홍 현표
전 용주, 문 병선
박 광재, 이 현빈
김 국진, 하 준호

참여기관명 :
주관기관 : 한국철도대학
공동기관 : 지에스솔루션
위탁기관 : 한국철도공사
위탁기관 : 솔텍시스템(주)

보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>09PRTD-C0542
67-01-000000</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2</td><td>단 계 구 분</td><td>(2)/(2)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">미래철도기술개발</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">전기철도 전차선의 전력선통신을 활용한 실시간 안전정보 공유시스템 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">안 승호</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 18 명
내부 : 3 명
외부 :11 명</td><td>해당단계
연구비</td><td>정부:80,000천원
기업 :27,000천원
계 :107,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참여
연구원수</td><td>총 : 32 명
내부 : 5 명
외부 : 27명</td><td>총연구비</td><td>정부:250,000천원
기업:84,000천원
계:334,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속부서명</td><td colspan="2">산학협력단</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">지에스솔루션</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="5">연구기관명 : 연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>800</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">전차선 전력선통신, 전기철도 PLC, 실시간 안전정보공유 PLC 차상장치, 신호결합기</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">railway feeder, power line communication, electric railway power line communication, real time safety information sharing, PLC device of on locomotive, recloser built-in coupler</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제목

○ 전기철도 전차선의 전력선통신을 활용한 실시간 안전정보 공유시스템 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

○ 전기철도 전력선 통신을 위한 요소기술 연구
○ 전기철도 전력선 통신을 위한 주요 Device 개발
○ 전차선 전력선통신을 활용한 중요정보 실시간 공유
○ 이동중인 전기차량에 안전업무 공유

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

○ 전기철도 전차선의 Noise에 관한 연구
○ 전기철도 전차선의 전파전파 특성 연구
○ 전기철도 전력선 통신용 비 접촉식 신호결합기 개발
○ 비 접촉식 신호 결합기 전차선(조가선) 취부에 관한 솔루션 연구
○ 전기철도 전력선 통신용 Modulator 개발
○ 전원공급장치 개발
○ 전기철도 전력선 통신용 NMS & MMI 개발

Ⅳ. 연구개발결과

○ 전차선 Noise에 관한 특성 분석
○ 전기철도차량 주행중 이선현상과 전력선통신 Noise 특성
○ 전기철도 전력선 통신용 비 접촉식 신호결합기 개발
○ 비 접촉식 신호 결합기 전차선(조가선) 취부용 절연체 개발
○ 전기철도 전력선 통신용 Modulator 개발
○ 전원공급장치 개발
○ 전기철도 전력선 통신용 NMS & MMI 개발
○ 전기철도 전력선 통신용 접촉식 신호결합기 개발
○ 전기철도 활선 전력선 통신 환경구축
○ 전기철도 활선 지상장치 통신 시험
○ 전기철도 활선 차상장치 통신 시험

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

- ○ 전차선(활선)을 활용한 전력선 통신 응용
- ○ 이동중인 전기차량에 전력선통신 적용 시험
- ○ 전기철도에 다양한 활용(적용)
- ○ 미래기술 선점
- ○ 주행 중인 기관사의 실시간 안전정보(시설) 공유
- ○ 안전업무종사자간의 실시간 안전정보 공유
- ○ 신 개념 철도 신호시스템 도입

SUMMARY

Ⅰ. Title

- Real time safety information sharing system development that use power line communication of electric railroad power line

Ⅱ. Purpose and necessity of Research and Development

- Element technology research for electric railroad power line communication
- Main Device development for electric railroad power line communication
- Moving electric vehicles and safety information sharing

Ⅲ. Substance and sphere of Research and Development

- Research about Noise of electric railroad electric wire
- Electric wave special quality research of electric railroad power line
- electric Railroad power line communication non contact coupler development
- Solution research for non contact coupler power line equipment
- Electric Railroad power line communication Modulator development
- Development of power supply
- Electric Railroad power line communication NMS & MMI development

Ⅳ. Research and development result

- Special quality analysis about power line Noise
- Cutting phenomenon and power line communication Noise special quality of train transfer
- Electric Railroad power line communication non contact coupler development
- Non contact coupler power line establishment insulator development
- Electric Railroad power line communication Modulator development
- Development of power supply
- Electric Railroad power line communication NMS & MMI development
- Electric Railroad power line communication contact coupler development
- Live Wire of Electric Railroad power line communication For Environment

- Live Wire of Electric Railroad Communication Ground unit Test
- Live Wire of Electric Railroad Communication Car unit Test

Ⅴ. Application Plan for the research results

- Power line communication application that utilize power line
- Power line communication application test on train transfer
- Various practical use to electric railroad
- Technology prior occupation the future
- Moving electric vehicles and safety information sharing
- New concept railroad signal system introduction

CONTENTS

Chapter 1. Abstract of development subject ····· 1

Section 1. Purpose of research and development ····· 1

Section 2. Necessity of research and development ····· 1

1. Technological side ····· 1

2. Industrial side ····· 2

가. Equipment infra reduction at new transportation system introduction ····· 2

나. Power line base infra practical use for electric railway power line communication construction ····· 2

3. Sociocultural side ····· 4

가. Frontier IT technology in Electricity railway transfer, public ownership without time and space qualification ····· 4

나. Equipment/Place for control and administration of train improvement ····· 4

Section 3. Extent of research and development ····· 4

1. Contents of details research and development ····· 4

가. Development substance and development sphere each year ··· 4

Chapter 2. Domestic, abroad technical development situation ····· 7

Section 1. Domestic technology and industry trend ····· 7

1. Domestic technical development level ····· 7

2. CBTC (Communication Base Train Control) ····· 10

3. Radio frequency transmission system for platform confirmation ····· 11

Section 2. Abroad technology and industry trend ····· 12

Section 3. Patent situation ····· 16

1. Patent situation that is connected with power line

communication element technology ····· 16
가. Power line establishment way ····· 16
나. Electric railroad field domestic Patent that use power line communication ····· 17

Chapter 3. Research and Development achievement contents and result ····· 20

Section 1. Electric railway Noise research ····· 20
1. Research background ····· 20
가. Electric railroad power line communication ····· 21
나. High tension distribution line power line communication channel noise special quality ····· 23
2. Research and development contents ····· 25
가. Experiment method ····· 26
나. Experiment result ····· 28
3. Conclusion and future plan ····· 31

Section 2. Electric railway Power Out phenomenon research · 33
1. Research background ····· 33
가. Principle of power line communication ····· 33
2. Research and development contents ····· 35
가. Is abstract power outside ····· 35
나. System modelling by power outside ····· 37
다. Experiment result ····· 47
3. Conclusion and future plan ····· 50

Section 3. Electric railway regenerative braking electricity special quality research ····· 51
1. Research background ····· 51
2. Research and development contents ····· 51
가. Power line system research situation by regenerative braking electricity vehicles ····· 51
나. Regenerative braking analysis through substation inflow current waveform ····· 51

3. Conclusion and future plan ····· 59

Section 4. Electric railway power line signal coupler development ····· 61

1. Research background ····· 61
2. Research and development contents ····· 64
가. Structural special quality of electric railway power line ····· 64
나. Electrical characteristic of electric railway power line ····· 72
다. Non Contact signal coupler establishment ····· 80
라. Railroad Sub Power line use Non Contact signal coupler manufacture ····· 90
마. Simulation analysis of big current magnet material ····· 109
바. Manufacture and special quality of Non Contact coupler for power line ····· 117
3. Conclusion and future plan ····· 136

Section 5. Electric railway Hybrid Modulator development ····· 137

1. Research background ····· 137
2. Research and development contents ····· 138
가. Classification of power line communication ····· 138
나. Modem chipset technology standard ····· 140
다. Abstract of modem equipment ····· 153
라. DSS9002's spec and special quality ····· 154
마. Specification of development equipment ····· 155
바. Broadband power line communication modem design consideration item ····· 153
사. Broadband power line communication modem design ····· 156
아. Power line communication modem picture ····· 158
3. Conclusion and future plan ····· 160

Section 6. Non Contact power supply device development ·· 162

1. Research background ····· 162
2. Non Contact power supply device ····· 163
가. Power supply basis composition ····· 163
나. Design of converter ····· 163

다. Domestic converter development situation ····· 164
라. Conclusion ····· 165
3. Solar cell ····· 166
가. Overview ····· 166
나. Principle and component of photopile development ····· 166
다. Photopile's kind ····· 168
라. Photopile module ····· 170
마. Electric power conversion control device PCS inverter ····· 171
바. Kind of photopile system ····· 171
사. Manufactured photopile module ····· 171
아. Conclusion ····· 173

Section 7. Analysis for power line communication spot application ····· 174
1. Overview ····· 174
가. Structural special quality of electric railway power line ····· 174
나. Mechanical special quality of power line ····· 177
다. Power line shock ····· 181
라. Pre-sag ····· 182
마. Foreign Power line technology situation ····· 183
바. KTX current collector ····· 185
2. Power line power cut examination ····· 186
가. Power line Rate of power cut examination ····· 187
나. Power line/pantograph supply state monitoring ····· 189
3. Epoxy Glass tube technology examination ····· 190
가. Insulation grade examination and application way ····· 190
나. Flashover distance (㎜) examination ····· 192
4. Epoxy Glass tube electrical efficiency test ····· 194
가. The first examination ····· 194
나. The second examination ····· 196
다. The third examination ····· 198
라. The 4th examination ····· 201
5. Power line noise band measurement ····· 203
가. Purpose ····· 203

나. Measurement abstract ····· 206
다. Seodaejeon station supply system ····· 204
라. Noise measurement system composition ····· 204

Section 8. MMI/NMS development for railroad vehicles ····· 208
1. Research background ····· 208
가. Overview ····· 208
나. The importance of Research and Development ····· 208
다. Industrial side ····· 209
라. Sociocultural side ····· 210
2. Research and development contents ····· 211
가. Connection technology examination ····· 211
나. MMI(Man Machine Interface) ····· 212
다. Business justice ····· 216
라. Scenario ····· 217
마. MMI and NMI composition of a picture ····· 221
바. Detailed design ····· 226
3. Conclusion and future plan ····· 230
가. Conclusion ····· 230
나. future plan ····· 231

Chapter 4. Test and Development achievement contents and result ····· 233

Section 1. Second Year Plan of Test ····· 233
1. Test Plan and Overview ····· 233
가. Test Plan of target ····· 230
나. Test Schedule ····· 230
2. Test Plan ····· 237
가. Overview of Test ····· 237
나. Object of Test ····· 237
다. Range of Test ····· 238
라. Target of Test ····· 238
마. Duty of Test ····· 239
3. Method of Test ····· 240

가. Organization of Test ····· 240
나. Part of Test ····· 242
4. Step of Test ····· 246
가. Data Transfer by Contact Signal Coupler ····· 246
나. Test of Data Communication between Power Line and Electric Car ····· 255

Section 2. Contact Signal Coupler ····· 260
1. Overview ····· 260
2. Structure of Contact Signal Coupler ····· 260
3. Characteristic of Signal Coupler ····· 263
가. Specification of Signal Coupler ····· 263
나. Part of Capaciter Coupling ····· 264
다. Drain Coil ····· 268
라. Coupler Reduction(S_{21}) ····· 269
마. Characteristic of Voltage ····· 271
4. Ceramic Dielectric Meterial Production Technology ····· 273
가. Method of Manufacture ····· 273
5. Portable High Voltage Signal Coupler ····· 278
가. Structure ····· 278
나. Transfer Characteristic ····· 280
6. Development of a blocking filter for high voltage distribution lines ····· 282
가. Require of blocking filter ····· 282
나. Simulation of blocking filter ····· 282
7. High Voltage blocking filter ····· 287
가. Construction of the blocking filter ····· 287
나. Inductor and Capacitor in the high voltage blocking filter ····· 287
다. The Characteristic test and product appearance of the voltage blocking filter for final production type ····· 289
8. The production of the contact signal coupler ····· 292
가. Reason for the production of the contact signal coupler ····· 292
나. The production of the contact signal coupler ····· 293
다. Pressure test for the contact signal coupler ····· 294
라. Result of pressure test for the contact signal coupler ····· 294

Section 3. The Contact signal coupler utilizing lightning arrester ····· 295
1. Overview ····· 295
2. Specifications of electric railway lightning arrester ····· 295
가. Application coverage ····· 233
나. Application standard ····· 295
다. Rated value ····· 295
라. Acceptance test ····· 296
마. Signification ····· 296
바. Certificate of lightning arrester ····· 299
3. Contact signal coupler production utilizing arrester ····· 309
가. Reason for the production of the contact signal coupler ····· 309
나. Contact signal coupler production utilizing arrester ····· 309
다. Configuration of power transmission line transformer ····· 309
라. Configuration of power transmission line transformer for each impedance ····· 310
마. Conclusion ····· 313

Section 4. Test environment of Powerline Communication ····· 314
1. Generation ····· 314
가. Electric locomotive ····· 314
나. Trolley line arrester ····· 316
다. FDS ····· 318
라. Wiring method for Trolley line ····· 319
마. The mechanical porperties of Trolley line ····· 322
바. Trolley line vibration ····· 325
2. Trolley line power quality ····· 328
가. Necessity needs ····· 328
나. Electric railway feeding method ····· 330
다. Power quality measurement ····· 331
3. Test site selection ····· 341
가. The importance of safety ····· 341
나. Background for site selection ····· 341
다. Daebul Line ····· 341

라. Jecheon station yard ····· 342
마. Uiwang station yard ····· 342
4. Test electric car ····· 344
가. Test electric car free support ····· 344
나. Schedule of Test electric car ····· 344
다. Etc. ····· 344
5. Powerline communications equipment selection and adequacy test ····· 345
가. Equipment selection ····· 345
6. Powerline communications field measurements ····· 348
가. General ····· 348

Section 5. Powerline communications ground test ····· 352
1. Data transmission via contact signal coupler ····· 352
가. Test conditions. ····· 352
나. Test Objectives ····· 352
다. Test Photo ····· 352
라. Test result ····· 355
2. Conclusion ····· 359
가. Electric railway trolley line characteristics ····· 359
나. Electric railway messenger wire characteristics ····· 360

Section 6. Powerline communications test between car and yard ····· 362
1. Configuration for data transmission via contact signal coupler ··· 362
가. Test conditions. ····· 362
나. Test Objectives ····· 362
다. Configuration of car's equipment ····· 363
라. Configuration of yard's equipment ····· 365
마. Noise measurement from the car's equipment ····· 366
바. Test of Data transmission characteristics from the car's equipment ····· 366
사. Test of CCTV image transmission characteristics from the car's equipment ····· 367
아. Conclusion ····· 369

Section 7. MMI and NMS development for rail vehicles ····· 370
1. Background of research ····· 370
가. Overview ····· 370
나. The importance of research and development ····· 370
2. The contents of Research and Development ····· 373
가. Related Technical Review ····· 373
나. Working definition ····· 380
다. Screen configuration for MMI and NMS ····· 385
라. Detailed design ····· 390
마. Field test ····· 394
바. Operation ····· 399
사. Workshop ····· 413
아. Software Registration ····· 420
3. Conclusions and Future Plans ····· 423
가. Conclusions ····· 423
나. Future Plans ····· 424

Chapter 5. Research achievement and the contribution of related fields ····· 425

Section 1. Research achievement ····· 425
1. 1st and 2nd year ····· 425
2. Research achievement ····· 427

Chapter 6. Plans to take advantage of research and development results ····· 428

Section 1. The application of Research and development and plans to utilize of commercialization ····· 428
1. The need for additional research ····· 428
가. Technical aspects ····· 428
나. Economic and industrial aspects ····· 431
다. Subsequent research and development prospects ····· 432

Chapter 7. During the research and development, Collecting overseas scientific and technical Information ····· 434

Section 1. PLC(Power Line Communications) ····· 434

Section 2. Standardize trends of powerline communications technology ····· 434

1. PLC Standardization Technical ····· 434
가. PLC Forum ····· 435
나. Home Plug ····· 435
다. Echonet ····· 435
라. PLC Forum Korea ····· 436

Section 3. Vendors of powerline home nNetworking IC ····· 436

1. Adaptive Network ····· 436
2. Cogency Semiconductor ····· 436
3. Conexant ····· 436
4. Enikia ····· 437
5. Inari ····· 437
6. Intellon ····· 437
7. Valence Semi ····· 437

Chapter 8. References ····· 438

Attachments

Attachments #1 Treatise (Research about power line communication network design of electric railway)
Attachments #2 Treatise (the communication characterization with trolley line for electric railway communication)
Attachments #3 Treatise ( )
Attachments #4 Patent (Electric railway management system using power line communication)

Attachments #5 Patent (Electric railway management system using PLC and a dedicated network)
Attachments #6 Patent (Electric railway management system using PLC and insulators for PLC signal coupler)
Attachments #7 Patent (Data communication system and method between railway vehicles using powerline communication system)
Attachments #8 Patent (The separation detection system between rail vehicle and method using powerline communication system)
Attachments #9 Patent (The railway Passenger information system using powerline communication system)
Attachments #10 Patent (Method of train approach warning and portable alarm equipment for train approach warning utilizing railway track)
Attachments #11 Patent (Electric railway PLC system using Electric railway arrester)
Attachments #12 Program Registration ( )
Attachments #13 Program Registration ( )
Attachments #14 Program Registration ( )

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 1

제1절 연구개발의 목적 ····· 1

제2절 연구개발의 필요성 ····· 1

1. 기술적 측면 ····· 1
2. 산업적 측면 ····· 2
   가. 신교통시스템 도입 시 시설인프라 감축 ····· 2
   나. 전차선을 전기철도용 전력선 통신 구축을 위한 기반 인프라 활용 ·· 2
3. 사회 문화적 측면 ····· 2
   가. 첨단 IT기술을 철도차량 주행 동안 시간 및 공간 제한 없이 공유 ·· 2
   나. 열차의 관제 및 통제(관리)를 위한 제한된 시설/공간을 개선 ····· 2

제3절 연구 개발의 범위 ····· 4

1. 세부 연구 개발의 내용 ····· 4
   가. 연차별 개발 내용 및 개발 범위 ····· 4

제2장 국내외 기술 개발 현황 ····· 7

제1절 국내 기술 및 산업 동향 ····· 7

1. 국내 기술개발 수준 ····· 7
2. CBTC (Communication Base Train Control) ····· 10
3. 승강장 확인용 무선영상전송 시스템 ····· 11

제2절 국외 기술 및 산업 동향 ····· 12

제3절 특허 동향 ····· 16

1. 전력선통신(PLC) 요소기술과 관련한 특허 현황 ····· 16
   가. 전차선로 가선방식 ····· 16
   나. 전력선 통신(PLC)을 이용한 전기철도 분야 국내 특허 ····· 17

제3장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 20

제1절 전기 철도 Noise 연구 ····· 20
1. 연구배경 ····· 20
가. 전기철도 전력선통신 ····· 21
나. 고압 배전 선로 전력선 통신 채널 잡음 특성 ····· 23
2. 연구개발 내용 ····· 25
가. 실험 방법 ····· 26
나. 실험 결과 ····· 28
3. 결론 및 향후 계획 ····· 31

제2절 전기 철도 이선 현상 연구 ····· 33
1. 연구배경 ····· 33
가. 전력선 통신의 원리 ····· 33
2. 연구개발 내용 ····· 35
가. 전원외란 개요 ····· 35
나. 전원외란에 따른 시스템 모델링 ····· 37
다. 실험결과 ····· 47
3. 결론 및 향후 계획 ····· 50

제3절 전기 철도 회생 제동 전기 특성 연구 ····· 51
1. 연구배경 ····· 51
2. 연구개발 내용 ····· 51
가. 회생제동 전기차량으로 인한 급전시스템 연구동향 ····· 51
나. 변전소 유입전류 파형을 통한 회생제동 분석 ····· 51
3. 결론 및 향후 계획 ····· 59

제4절 전기철도 전차선(조가선) 신호결합기 개발 ····· 61
1. 연구 배경 ····· 61
2. 연구 개발 내용 ····· 64
가. 전기철도 전차선의 구조적 특성 ····· 64
나. 전기철도 전차선의 전기적 특성 ····· 72
다. 비 접촉식 신호결합기 취부 ····· 80
라. 전기철도 조가선용 비접촉식 신호결합기 제작 ····· 90

마. 대전류용 자심재료의 모의해석 ····· 109
바. 전차선용 비접촉식 커플러의 제조 및 특성 ····· 117
3. 결론 및 향후 계획 ····· 136

제5절 전기 철도 Hybrid Modulator 개발 ····· 137
1. 연구 배경 ····· 137
2. 연구 개발 내용 ····· 138
가. 전력선 통신의 분류 ····· 138
나. 모뎀 칩셋 기술 규격 ····· 140
다. 모뎀 장비의 개요 ····· 153
라. DSS9002의 제원 및 특성 ····· 154
마. 개발 장비의 사양 ····· 155
바. 광대역 전력선 통신 모뎀 설계 고려 사항 ····· 155
사. 광대역 전력선 통신 모뎀 설계 ····· 158
아. 전력선 통신 모뎀 사진 ····· 160
3. 결론 및 향후 계획 ····· 161

제6절 무접전 전원 공급 장치 개발 ····· 162
1. 서 론 ····· 162
2. 비접촉식 전원 공급 장치 ····· 163
가. 전원장치 기본 구성 ····· 163
나. 변류기의 설계 ····· 163
다. 국내의 변류기 개발 현황 ····· 164
라. 결 론 ····· 167
3. 태양 전지 ····· 166
가. 개요 ····· 166
나. 태양광 발전의 원리 및 구성 요소 ····· 166
다. 태양 전지의 종류 ····· 168
라. 태양 전지 모듈 ····· 170
마. 전력 변환 제어 장치 PCS/인버터 ····· 171
바. 태양광 시스템의 종류 ····· 171
사. 제작된 태양 전지 모듈 ····· 171
아. 결 론 ····· 173

제7절 전력선 통신 현장 적용성 분석 ····· 174

1. 일반 사항 ····· 174
가. 전차선로 가선방식 ····· 174
나. 전차선로의 기계적 특성 ····· 177
다. 전차선 진동 ····· 181
라. 사전이도 ····· 182
마. 외국의 전차선로 기술동향 ····· 183
바. KTX 집전장치 ····· 185
2. 전차선 이선시험 ····· 186
가. 이선율 측정 ····· 187
나. 전차선/팬터그래프 집전상태 모니터링 ····· 189
3. 에폭스 글래스 튜브 기술검토 ····· 190
가. 절연계급 검토 및 적용방안 ····· 190
나. 섬락거리(㎜) 검토 ····· 192
4. 에폭스 글래스 튜브 전기적 성능 시험 ····· 194
가. 1차 시험 ····· 194
나. 2차 시험 ····· 196
다. 3차 시험 ····· 198
라. 4차 시험 ····· 201
5. 전차선로 노이즈대역 측정 ····· 203
가. 목적 ····· 203
나. 측정 개요 ····· 203
다. 서대전역 급전계통 ····· 204
라. 노이즈 측정시스템 구성 ····· 204

제8절 철도 차량용 MMI 및 NMS 개발 ····· 208

1. 연구 배경 ····· 208
가. 개요 ····· 208
나. 연구개발의 중요성 ····· 208
다. 산업적 측면 ····· 209
라. 사회·문화적 측면 ····· 210
2. 연구개발내용 ····· 211
가. 관련기술검토 ····· 211
나. MMI(Man Machine Interface) ····· 212
다. 업무정의 ····· 216

라. 시나리오 ····· 217
마. MMI및 NMI화면구성 ····· 221
바. 상세설계 ····· 226
3. 결론 및 향후 계획 ····· 230
가. 결론 ····· 230
나. 향후계획 ····· 231

제4장 시험수행 내용 및 결과 ····· 233

제1절 2차년도 시험 계획 ····· 233
1. 시험 계획 개요 ····· 233
가. 시험 계획의 목표 ····· 234
나. 시험 추진 절차 ····· 234
2. 시험 계획서 ····· 237
가. 시험의 개요 ····· 237
나. 시험의 목적 ····· 237
다. 시험 범위 ····· 238
라. 시험 목표 ····· 238
마. 시험 역할 ····· 239
3. 시험 방법 ····· 240
가. 시험 구성 ····· 240
나. 시험 구성품 ····· 242
4. 시험 절차 ····· 246
가. 접촉식 신호결합기 Data 전송 ····· 246
나. 전차선->전기차량 Data 전송 시험 ····· 255

제2절 접촉식 신호결합기 ····· 260
1. 개요 ····· 260
2. 접촉식 커플러의 구조 ····· 260
3. 신호결합장치 특성 ····· 263
가. 신호결합장치 사양 ····· 263
나. 커플링 커패시터부 ····· 264
다. 드레인 코일부 ····· 268
라. 커플러 감쇄 특성(S_{21}) ····· 269
마. 내전압 및 밀폐특성, RIV특성 ····· 271

4. 세라믹 유전소체 제작 기술 ····· 273
가. 제조방법 및 핵심기술 ····· 273
5. 휴대형 고압 신호결합 장치 ····· 278
가. 구조 ····· 278
나. 전송 특성 ····· 280
6. 고압 배전선로용 블로킹 필터 개발 ····· 282
가. 블로킹 필터의 필요성 ····· 282
나. 블로킹 필터 모의실험 ····· 282
7. 고압 블로킹 필터 ····· 287
가. 블로킹 필터의 구성 ····· 287
나. 고압 블로킹 필터의 인덕터와 커패시터의 특성 ····· 287
다. 최종 제품형태의 블로킹 필터 특성측정 결과 및 제품 외형 ····· 289
8. 접촉식신호결합기 제작 ····· 292
가. 접촉식신호결합기 제작사유 ····· 292
나. 접촉식신호결합기 제작 ····· 293
다. 접촉식신호결합기 내압 시험 ····· 294
라. 접촉식신호결합기 내압 시험 결과 ····· 294

제3절 피뢰기를 활용한 접촉식 신호결합기 ····· 295

1. 개 요 ····· 295
2. 전기철도 피뢰기의 사양 ····· 295
가. 적용범위 ····· 233
나. 적용규격 ····· 295
다. 정격 ····· 295
라. 제작후 검수시험 ····· 296
마. 표시 ····· 296
바. 피뢰기 시험성적서 ····· 299
3. 피뢰기를 활용한 접촉식 신호결합기 제작 ····· 309
가. 접촉식신호결합기 제작사유 ····· 309
나. 피뢰기를 활용한 접촉식 신호결합기 제작 ····· 309
다. 1:4 전송선로 트랜스포머의 구성 ····· 309
라. 임피던스별 전송선로 트랜스포머의 구성 ····· 310
마. 결론 ····· 313

제4절 전력선통신 시험 환경구축 ····· 314

1. 일반사항 ····· 314
가. 전기기관차 ····· 314
나. 전차선 피뢰기 ····· 316
다. 휴즈단로기(FDS) ····· 318
라. 전차선로 가선방식 ····· 319
마. 전차선로의 기계적 특성 ····· 322
바. 전차선 진동 ····· 325
사. 사전이도 ····· 326
2. 전차선로 전력품질 ····· 328
가. 필요성 ····· 328
나. 전기철도 급전방식 ····· 330
다. 전력품질 측정 ····· 331
3. 시험장소 선정 ····· 341
가. 안전의 중요성 ····· 341
나. 장소선정 배경 ····· 341
다. 대불선 ····· 341
라. 제천역구내 ····· 342
마. 의왕역구내 ····· 342
4. 시험차량 ····· 344
가. 시험차량(신형전기기관차) 무상 지원 ····· 344
나. 시험차량 충당일자 ····· 344
다. 기타(행정사항 처리) ····· 344
5. 전력선통신 장비 선정 및 적정성 시험 ····· 345
가. 장비 선정 ····· 345
6. 전력선통신 현장 측정 ····· 348
가. 일반사항 ····· 348

제5절 전력선통신 지상시험 ····· 352

1. 접촉식 신호결합기 Data 전송 ····· 352
가. 시험 조건 ····· 352
나. 시험 목표 ····· 352
다. 시험 사진 ····· 352
라. 시험 결과 ····· 355
2. 결론 ····· 359

가. 전기철도 전차선 특성 ····· 359
나. 전기철도 조가선 특성 ····· 360

제6절 전력선통신 지상<->차상 시험 ····· 362
1. 접촉식 신호결합기 Data 전송 구성 ····· 362
가. 시험 조건 ····· 362
나. 시험 목표 ····· 362
다. 차상장치 구성 ····· 363
라. 지상장치 구성 ····· 365
마. 차상장치에서 Noise 측정 ····· 366
바. 차상장치에서 Data 전송특성 시험 ····· 366
사. 차상장치에서 CCTV영상 전송 시험 ····· 367
아. 결론 ····· 369

제7절 철도차량용 MMI 및 NMS개발 ····· 370
1. 연구배경 ····· 370
가. 개요 ····· 370
나. 연구개발의 중요성 ····· 370
2. 연구개발내용 ····· 373
가. 관련기술검토 ····· 373
나. 업무정의 ····· 380
다. MMI및 NMI화면구성 ····· 385
라. 상세설계 ····· 390
마. 현장시험 ····· 394
바. 운영. ····· 399
사. 워크샆 ····· 413
아. 소프트웨어 등록 ····· 420
3. 결론 및 향후 계획 ····· 423
가. 결론 ····· 423
나. 향후 계획 ····· 424

제5장 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도 ····· 425

제1절 연구 목표 달성도 ····· 425
1. 1, 2차년도 ····· 425

2. 목표 달성도 ····· 427

제6장 연구 개발 결과의 활용 계획 ····· 428

제1절 연구 개발의 응용 및 사업화 활용방안 ····· 428

1. 추가연구의 필요성 ····· 428

가. 기술적 측면 ····· 428

나. 경제·산업적 측면 ····· 431

다. 관련 후속연구개발의 전망 ····· 432

제7장 연구개발 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보 ····· 434

제1절 PLC 통신 ····· 434

제2절 전력선 통신 기술 표준화 동향 ····· 434

1. PLC 표준화 기술 ····· 434

가. PLC Forum ····· 435

나. Home Plug ····· 435

다. Echonet ····· 435

라. PLC Forum Korea ····· 436

제3절 전력선 홈 네트워킹 IC 판매 업체 ····· 436

1. Adaptive Network ····· 436

2. Cogency Semiconductor ····· 436

3. Conexant ····· 436

4. Enikia ····· 437

5. Inari ····· 437

6. Intellon ····· 437

7. Valence Semi ····· 437

제8장 참 고 문 헌 ····· 438

첨부

첨부 #1 논문 (전기철도의 전력선 통신망 설계에 관한 연구)

첨부 #2 논문 (전기철도의 통신을 위한 전차선과의 통신 특성분석)
첨부 #3 논문 ( )
첨부 #4 특허출원 (전력선 통신을 이용한 전기철도 관리 시스템)
첨부 #5 특허출원 (전력선 통신 및 전용통신망을 이용하는 전기철도 관리 시스템)
첨부 #6 특허출원 (전력선 통신 신호 결합기용 절연체 및 전력선 통신을 이용하는 전기철도 관리 시스템)
첨부 #7 특허출원 (전력선 통신을 이용한 철도 차량 간 데이터 통신 시스템 및 방법)
첨부 #8 특허출원 (전력선 통신을 이용한 철도 차량 간 분리 감지 시스템 및 방법)
첨부 #9 특허출원 (전력선 통신을 이용한 철도 여객정보 시스템)
첨부 #10 특허출원 (철도 궤도를 이용한 휴대용 열차 접근 경보장치와 열차 접근 경보방법)
첨부 #11 특허출원 (전기철도 피뢰기를 이용한 전기철도 전력선 통신 시스템)
첨부 #12 프로그램 등록증 (전기철도 전차선을 위한 MMI VIEWER)
첨부 #13 프로그램 등록증 (전기철도 전차선을 위한 MMI BUILDER)
첨부 #14 프로그램 등록증 (ICMP 프로토콜을 이용한 전력선통신망의 속도측정 모듈)

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적

전기 철도 열차의 안전업무종사자(관제사, 기관사, 신호원)간에 실시간으로 안전정보를 공유할 수 있는 전용통신시스템을 개발하는 것을 목적이다. 개발하는 전용 통신 시스템은 주행 중인 전기차량과 실시간으로 선로주변 안전정보 및 철도운영정보(TIS)등을 지상근무 안전업무종사자간에 양방향으로 제공할 수 있는 전차선의 전력선 통신(Power Line Communication)을 의미한다.

제2절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

다양한 철도안전정보를 실시간으로 공유할 수 있는 통신매체(예: PLC)가 필요로 하다. 기존 선로주변의 정보수집은 다양한 전달매체(CCTV, 사고예방 감지정보 등)로 운영하고 있으며, 전기철도의 안전정보는 선로를 기준으로 넓은 영역에 산재되어 있으므로 실시간 안전업무종사자간에 정보공유가 매우 어렵다. 이를 해결하기 위하여 전기철도구간에서 장비특성 및 위치에 제한 없이 단일체계로 실시간 정보를 수집할 수 있는 방법이 필요하다.

주행 중인 열차와 지상근무 철도안전업무종사자간의 양방향 전용 통신매체가 필요로 하고 있다. 왜냐하면 주행 중인 전기철도차량에 다양한 안전정보를 안전업무종사자간에 양방향으로 공유할 수 있는 철도통신매체시스템은 현재로선 없기 때문이다. 정부가 연구/투자 개발하여, 현재 상용화단계에 있는 전력선 통신시스템을 전기철도전용 전력선통신 시스템으로서 적극 활용할 수 있다. 검증된 PLC 시스템의 기반 기술을 활용하여 신규 연구에 소요되는 기간을 단축하고 정부 연구개발 비용을 절감할 수 있다.

RF(Radio Frequency)를 활용한 철도안전정보공유 관련연구가 진행 중이지만 제한적 요인에 의해서 적용이 쉽지 않다. 전파 출력(거리), 전파장애(터널, 산)등의 전파특성의 한계에 따라 실시간 영상정보(CCTV등)의 단방향 전송만 제공 되는 등 제한된 구간에서 제한된 기능만 구현이 가능하기 때문이다.

무인운전시대를 대비한 단일 철도전용 통신매체의 개발이 필요하다. 향후에 도시철도(신교통시스템)의 무인화 운영에 대한 절대적 안전성 확보하기 위한

요소기술을 확보할 수 있으며, 차량/승객 및 정거장내 다양한 안전정보를 실시간 원격감시/제어할 수 있는 단일통신매체의 요소기술 개발이 기반 기술이 된다.

2. 산업적 측면

가. 신교통시스템 도입 시 시설인프라 감축

도시철도(신교통시스템)의 설계과정에 전차선 및 3궤조방식의 급전 시스템과 전기철도용 전력선 통신시스템을 일체화함으로써 철도 시스템이 반듯이 확보해야하는 신호제어시스템 및 통신을 위한 인프라 시스템을 줄일 수 있수 있으며, 인천도시철도2호선 건설의 사례로 비추어볼 때, 총건설비에서 전기/신호/통신부분이 차지하는 비중은 약 14%이며 이중에 15%(약 450억원)에 해당하는 통신시설비용을 본 시스템으로 절감 가능하다. 세계적으로 전기철도를 위한 전력선통신의 연구가 미진한 가운데 선행연구를 통하여 미래철도의 기술적 선점 및 철도의 해외진출에 크게 기여할 수 있다.

나. 전차선을 전기철도용 전력선 통신 구축을 위한 기반 인프라로 활용

현재 영업 중인 기존 철도의 경우 이미 확보되어 있는 전기 철도의 기본 구성 요소인 전차선을 전력선통신의 전송매체로 활용하여 적은 시설투자 비용으로 실시간 철도안전정보 공유 및 다양한 응용을 구현할 수 있으며, 전기철도용 전력선 통신 시스템 인프라를 통한 높은 경제성을 기대할 수 있다.

3. 사회·문화적 측면

가. 첨단 IT기술을 철도차량 주행 동안 시간 및 공간의 제한 없이 공유

이동 중인 전기철도 차량에서 고정(정지)되어있는 지상의 시설물과 동일한 조건으로 Network망에 접근이 가능하여 향후 요소기술 적용시 사용자의 편이성 제공 및 교통수단 이동시 제한되는 생활의 패턴에 새로운 변혁을 이루는 계기가 된다.

나. 열차의 관제 및 통제(관리)를 위한 제한된 시설/공간을 개선

열차의 관제 및 통제(관리)는 제한된 환경 내에서만 가능하나, 전차선을 이용한 전력선통신을 향후 적용시 위치나 장소 및 공간의 제한 없이 적용할 수 있으며, 향후 계획/도입 예정인 도시 철도(신교통시스템)의 무인화 운영에 대한 절대적 안전성 확보를 위해서는 차량/승객 및 정거장내 다양한 안전 정보를 실시간 원격감시/제어할 수 있는 단일통신매체의 개발이 필요로 하고 있다.

제3절 연구 개발의 범위

전기 철도 열차의 안전 업무 종사자(관제사, 기관사, 신호원)간에 실시간으로 안전 정보를 공유할 수 있는 전용 통신 시스템을 개발

1. 세부 연구 개발의 내용

가. 연차별 개발 내용 및 개발 범위

1) 1 단계 1 차년도

a. 개발 목표

- ○ 전기 철도용 전력선 통신 장치(PLC Device) 개발
- ○ 전기 철도 고압 전차선을 이용한 전력선 통신 솔루션(PLC Solution) 연구

b. 개발내용 및 개발범위

- ○ 전기 철도 PLC를 위한 철도전기 Noise 분석 및 Filter 기술 연구
- ○ 전차선과 판토그라프간의 이선 현상에 따른 변복조 기술 및 Data Packet Solution 기술연구
- ○ 전기 차량 회생 제동시 전력 위상 변화 및 전류 방향 변화에 따른 전력선 통신 의 Noise, 신호 감쇄, 신호 왜곡과 같은 통신장애 요인으로부터 안정적인 통신망을 유지/관리하기 위한 기술연구
- ○ 전기 철도용 전력선 통신 장치에 맞는 Hardware 설계하여 시작품 제작
- ○ 전력/전자 분야에서 연구/개발 및 검증된 신호결합기를 전기철도에 적합한 사양으로 응용/연구 개발
- ○ 선로 주변의 안전 정보를 전차선에 직접 연결할 수 있도록 전력/전자 분야에서 연구/개발된 Modem Module을 응용하여 Hybrid Modulator 연구/개발

- 전원 공급이 위치적으로 부적합한 안전 정보 장치에 전차선의 전원을 공급하기 위한 전원 공급 장치 개발
- 전차선 전력선통신을 이용하여 다양한 안전 정보를 실시간 공유하고, Data 전송관리, IP관리, 충돌관리 등, PLC의 효용성을 높이기 위하여 Network개념의 NMS 및 시스템 개발

2) 2 단계 2 차년도

a. 개발목표

- 전기 철도 전력선 통신 현장시험

b. 개발 내용 및 개발 범위

- 전기 철도 안전정보 공유 시스템 구성
- 전기 철도 전차선을 활용한 현장시험
- Data 종류별 전송율 및 전송품질 시험

본 보고서에서는 상기의 1,2 단계 2년간의 연구 결과를 설명하고 서술한다. 2 장에서는 국내외의 기술 개발 현황 및 특허에 대한 연구 조사한 내용을 서술하며, 3 장은 연구 개발 수행 내용 및 결과에 대하여 서술하였다. 3 장의 1 절은 전기 철도 Noise 연구는 코레인 인재 개발원의 시험선로에서 여러 가지 형태의 노이즈를 측정한 연구 결과를 서술하며, 3 장의 2절은 전기 철도 이선 현상에 의한 노이즈 발생에 관한 연구를 하였으며, 이는 이선 발생 시뮬레이터를 이용하여 이선 발생 현상을 발생하는 노이즈를 측정 및 연구한 내용을 서술하며, 3 장의 3 절은 전기 철도 회생 제동시 전기 변화에 대한 특성을 연구한 내용을 서술한다. 3 장의 4 절은 전기 철도용 신호 결합기 개발에 대한 연구 과정을 서술하며, 3 장의 5 절은 전력선 통신의 현장 적용성 분석을 실시하며, 전차선에 신호 결합기를 결합하기 위해 절연체 특성등에 대한 연구 내용을 서술한다. 3 장의 6절은 전기 철도 하이브리드 모듈레이터를 개발한 연구 내요을 서술하며, 3장 7절은 무접전 전원 공급 장치 개발한 연구 과정을 서술하며, 3 장의 8절은 철도 차량용 MMI및 NMS 개발에 대한 연구 내용을 서술한다.

4 장의 1 절은 전기철도 활선시험을 위한 시험계획서를 서술하며, 4 장의

2절은 활선시험을 위한 접촉식 신호결합기의 구조 및 내압시험결과를 서술하며, 4 장의 3 절은 전력산업분야의 접촉식 신호결합기가 전기철도 활선시험을 위한 내압조건이 충족되지 않으므로 전기철도에서 상용중인 피뢰기를 활용한 접촉식 신호결합기의 제작에 대하 서술한다. 3 장의 4 절은 활선시험을 위한 환경구축에 대한 전기철도의 특성에 서술하며, 3 장의 5 절은 전기철도의 활선조건에서 지상장치간의 Data전송 특성에 대하여서술하며 4 장의 6절은 전기철도 활선조건에서 지상과차상간의 전송특성에 대하여 서술 하였다. 4 장의 7절은 철도차량용 MMI 및 NMS개발에 대하여 서술 하였다.

5 장은 연구 목표 달성도 및 기여도에 대하여 기술하며, 6 장에서는 연구개발 결과의 활용 계획에 대해서 서술한다. 7 장에서는 연구 개발 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보에 대해서 기술하며, 8 장은 연구 과정에 사용한 참고 문헌에 대해서 서술한다.

제2장 국내외 기술 개발 현황

제1절 국내 기술 및 산업 동향

1. 국내 기술개발 수준

전력선 통신(PLC)은 세계적으로도 완성도가 아직 높지 않으며, 국내외에서 시급한 현장적용과 상용화를 통한 기술선점으로 개발 우위 확보가 필요하다. 전력선 통신 연구는 고속 전력선 통신 방식과 관련된 국가표준인 KS X 4600-10이 제정되어 본격적인 전력선 통신의 상용화 추진중이다. 그러나 전차선을 이용한 전기철도 전력선통신연구는 전무하다.

BPL 변복조 기술은 표준화가 이루어졌으나 BPL망의 실제적인 운용에 망관리 체계나 보안체계에 대한 세계적인 표준화가 이루어 지고 있으며, 이와 관련된 국내 법도 개정이 되었다.

[표 2-1-1] 국내외 전력선통신 모뎀 연구개발 활동

회 사	국 가	변조방식	대역구분	상용화제품	
				현 재	향 후
젤라인	한국	DMT	광대역	24Mbps	200Mbps
		OFDM	협대역	-	20Kbps
INTELLON	미국	OFDM	광대역	14Mbps	200Mbps
DS2	유럽	OFDM	광대역	45Mbps	200Mbps
Mitsubishi	일본	OFDM	광대역	100Kbps	3Mbps

[표 2-1-2] 국내 주요 관련 업체

업체명	업체별 능력	취급범위	제 품
젤라인	- 24Mbp 급 칩셋 상용화 - 200Mbps급 칩셋 원초기술 확보	통신 칩셋	SU-230 제품
한전KDN	- 200Mbps급 Modem 개발	신호결합기 Modem Power supply	PL-ACT
일진전기	- 22.9KV Phase-to-Neutral, Phase	신호결합기	MVC-140A
매트론	- 22.9KV Phase-to-earth	신호결합기	MTR-C-H

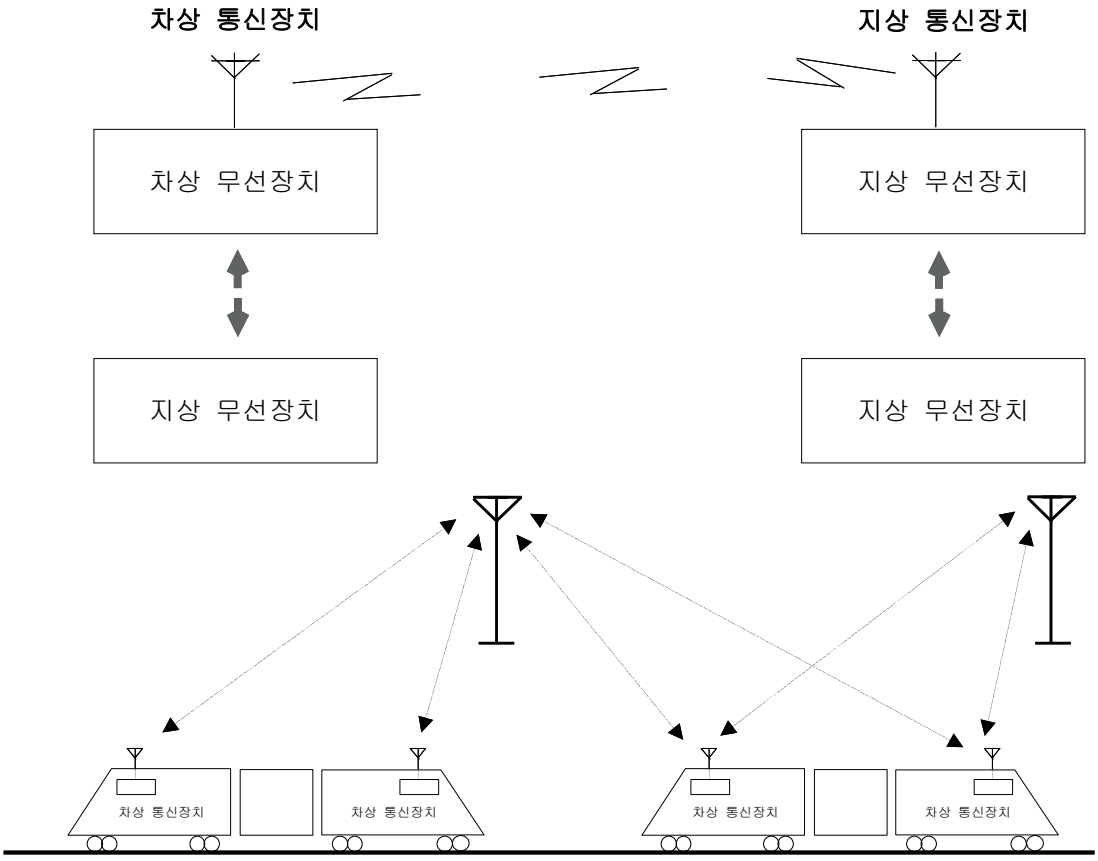
[표 2-1-3] 국내 PLC장치 개발 수준

세부기술	국내 개발 현황수준	제품
칩셋	24Mbps 급 상용화	
	200Mbps 급 개발중	
신호결합기	광대역 신호결합기 방 식 : 자기유도 방식 대.역.폭 : 100KHz ~30MHz 신.호.감.쇄.율 : -3dB 이내 동.작.전.압 : 25.4kV	
	비접촉식 신호결합기 방 식 : Phase-to-earth 방식 대.역.폭 : 1.7MHz ~40MHz 신.호.감.쇄.율 : -4dB 이내 동.작.전.압 : 22.94kV 최대전류 : 100A, 150A, 300A, 500A	
Modem	Port : Ethernet Function : VoIP Phone	 
Power Supply	광대역 신호결합기 정격주파수 : 50, 60Hz 구동방식 : PWM 정격전력 : 10W 전 압 : 3.3, 12V	

2. CBTC (Communication Base Train Control)

한국 철도 기술 연구원을 중심으로 스펙트럼확산 무선통신(2.4GHz, 5GHz) 방식을 기반으로 하는 CBTC용 무선 통신 시스템에 대한 연구가 진행 중이며 ATC신호체계분야에 해당한다. 기존의 ATC 신호체계의 불연속정보 고정폐색 방식을 무선을 통해 연속적인 정보 이동 폐색의 개념으로 AATC(Advanced Automatic Train Control)라고도 한다.

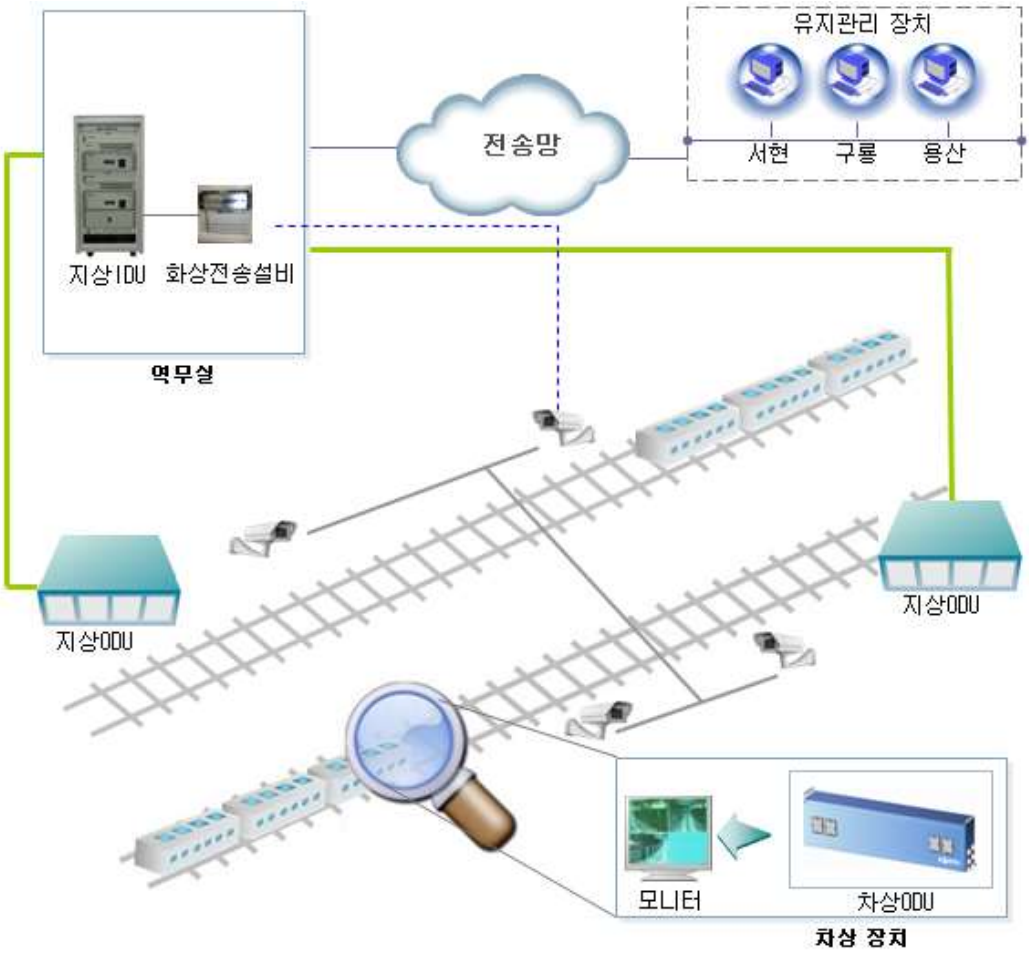
아래의 그림 2-1은 무선 CBTC의 기본 구성도이다. 무선 기반 열차 제어 시스템은 지상 통신 장치와 차상 통신 장치로 구성되며, 지상 통신 장치는 네트워크 스위치와 연결되어 지상 네트워크와 통신하고, 지상 안테나를 통해 차상 통신 장치와의 무선 통신이 이루어질 것이다. 차상 통신 장치는 차상 제어 장치와 무선 이더넷으로 연결되며, 차상 안테나를 통하여 지상 통신 장치와 무선으로 통신하는 구조이다.



[그림 2-1-1] CBTC 기본 구성도

3. 승강장 확인용 무선영상전송 시스템

지하 구간 열차의 안전 운행과 고객의 안전을 확보하기 위하여 무선 통신(RF)을 이용하여 승강장 CCTV 영상을 차상의 운전자에게 제공하는 시스템이다. 전동차 운전실에 안테나 및 Display 장치를 설치하고, 지상의 송신 장치로부터 승강장의 CCTV영상을 제공 받은 구조이다. 이는 사용 범위가 역 근접에서 무선망에 접할 수 있을 때만 통신이 가능한 약점이 있다. 아래의 그림 2-2는 무선 영상 전송 시스템에 대한 구성을 그림으로 표현하고 있다.



[그림 2-1-2] 무선영상전송 시스템 구성도

제2절 국외 기술 및 산업 동향

최근 PLC 기술은 속도 및 성능 개발 위주에서 상용화 및 사업화 모델 개발로 전환되고 있음에 따라 원격검침 사업을 시작으로 Smart-Grid(미래형 전력망)개발, 전력 부가 서비스 및 에너지 관리를 목표로 사업화를 위한 연구개발이 진행 중에 있으며, 현장에 시범적인 서비스를 도입을 검토하고 있다.

북미에서는 Intellon, Arkados 등에서 200 Mbps급 개발 완료 및 상용화 추진 중이며, HomePlug와 UPA표준화단체를 통하여 PLC 표준화가 추진되었다. 유럽은 OPERA 프로젝트를 통해 200Mbps급(DS社) 개발을 완료하였으며, 옥내에서 시범적으로 사용하고 있다.

일본에서는 Panasonic이 독자적으로 200Mbps급 PLC 칩을 개발하여 상용화가 진행되고 있다.

아래의 [표 2-2-1]에서 [표 2-2-6]는 해외에서 개발되는 시범 사업과 개발되어진 제품을 보여주고 있다.

[표 2-2-1] 해외 전력선통신(PLC) 관련 시범 사업 사례 : (2006.8 ~ 현재)

구축시기	미국	유럽	일본
표준화 단체	·Hone Plug	·PLC Forum, OPERA	·Echonet, PLC-J
칩 개발	·인텔론社: 200Mbps급(‘06)	·DS2社:200Mbps('05) ·Spidcom社:223Mbps급(‘07)	·Panasonic社:190Mbps급(‘06)
원격검침 사업	·대규모 원격검침사업 진행중(약1,000만가구): Itron/SEM, GE, Elster/Ruhrgas, Iskraemco	·ENEL社이:태리 전역에 걸처 원격검침망 구축 완료(2,700만가구07)	·대규모 원격검침사업 진행중(140만가구)(‘07) : 여러회사에서 다수업체를 통해 구축
사업방향	·통합검침 및 에너지관리사업 시작단계 ·에너지절감, 미래형 전력망 개발 프로젝트 착수	·에너지절감, 미래형 전력망 개발 프로젝트 착수	·PLC 기반 홈네트워크 및 원격의료 등의 서비스 사업 진행 중 ·에너지절감, 미래형 전력망 개발 프로젝트 착수

[표 2-2-2] PLC 관련 chip의 개발 동향

제조사 / Feature	Intellon	DS2	SpiDCOM	마츠시타전기
Support	HomePlug	Aitana		
Modulation	OFDM		OFDM	Wacelet OFDM
PHY Rate	14,85,200Mbps	200Mbps	224Mbps	190Mbps
Frequence	4.3Mhz~20.9Mhz 1.8Mhz~30Mhz		2Mhz~30Mhz	4Mhz~28Mhz
Picture				

[표 2-2-3] PLC 관련 Device(DIMAT의 용량성 신호결합장치) 개발 동향

Model / Feature	CAMT-1	
Coupling	Phase-to-earth	
Insulation Voltage	24kV	
Frequency Range	2MHz ~ 38MHz	
Insertion Loss	3dB 이하(2~23MHz) 4dB 이하(23~38MHz)	
Impedance Matching	임피던스 매칭용 트랜스포머 내장	
Dimensions	H319xD114mm, 5.1kg	

[표 2-2-4] PLC 관련 Device(ARTECHE의 신호결합장치) 개발 동향

Model / Feature	OVERCAP S-24		UNIC	
Coupling	Phase-to-earth		Phase-to-earth	
Insulation Voltage	24kV		24~36kV(Nominal)	
Frequency Range	2MHz ~ 40MHz		2MHz ~ 40MHz	
Insertion Loss	2dB 이하		3dB 이하	
Impedance Matching	임피던스 매칭을 위한 트랜스 포머 내장		Current : 360A	
Dimensions	H318xD112mm 2.85kg		ID44xOD90xH90 mm 1.2kg	

표 [2-2-5] PLC 관련 Device(Corinex의 Access Point) 개발 동향

Hardware	Features
Standard Compliance	• HomePlug 1.0, IEEE 802.3 IEEE802.3u • IEEE 802.11b/g, FCC and UL(미국), CE(유럽)
Data Rate	• Wireless(802.11g), up to 54 Mbps • Powerline up to 14Mbps, Ethernet
Dimensions	• 218mm Lx168mm Wx 53.5mm H
Interfaces	• Lan 4x10/100Mbps Ethernet Port (RJ-45) • WAN 1x100 Mbps Ethernet Port(RJ-45) • WAN : 802.11b/g antenna connector
Wireless Frequency	• 2.4GHz
Powerline Network	• 14Mbps, 56 bits DES key • Wired 802.1x(EAP-MD5)

[표 2-2-6] PLC 관련 Device(NETGEAR의 WGX102) 개발 동향

Hardware	Features
Standard Compliance	• 10Mbps 10BASE-T; 20Mbps full-duplex • 10BASE-T; Homeplug 1.0, 802.11g wireless
Interfaces	• RJ-45
Network Port	• 10Mbps twisted-pair RJ-45
Status LEDs	• XE102: 3 LEDs, Power, HomePlug, Ethernet • WGX102: 3LEDs, Power, HomePlug, Wireless
Dimensions	• Dimensions: 3 x 8.6 x 6.5 in(75 x 220 x 166 mm) • Weight: 2.0 lb

제3절 특허 동향

1. 전력선통신(PLC) 요소기술과 관련한 특허 현황

가. 전차선로 가선방식

전력 산업을 기준으로 다수의 특허가 등록/출원 되어 있으며, 기술의 발전 속도와 병행하여 개인 및 단체에서 특허 발생량이 늘어나고 있다. 그러나 철도와 관련된 특허는 거의 전무하며, 전기 철도에 관련된 전력선 통신의 연구 논문도 거의 전무하다. 아래의 [표 2-3-1]은 국내외에서 PLC와 관련된 특허 발표 건수를 보여주고 있다.

[표 2-3-1] PLC관련된 국내외 관련 특허

연도	구분	특 허 명	등록(출원)인	등록(출원국)	등록(출원)번호
2006	출원	전력선통신 제어용 시스템 온칩 개발장치	김영현 외5	대한민국	10-2006-0082723
		전력선통신 멀티미디어용 시스템 온침 개발장치	박병석 외 5	대한민국	10-2006-0106430
		전력선통신 커플러 내장형 개폐기	최인지 외 5	대한민국	10-2006-0106245
		단말장치 일체형 개폐기	박병석 외 5	대한민국	10-2006-0106094
		전력선통신 매체 접근 제어 계층에서의 장비 간 인증과 보안키 생성 매커니즘	임용훈 외7	대한민국	10-2006-0106551
		전력선통신 데이터 인증을 위한 Hash 매커니즘 설계	임용훈 외7	대한민국	10-2006-0106551
2007	출원	중성선을 이용한 전력선통신 장치 및 그 방법	김영현 외 5	대한민국	10-2007-0097923
		전력선통신 일체형 디지털 원격감시 변압기	명노길 외 3	대한민국	10-2007-0097790
		전력선통신 휴즈 내장형 커플러	김영현 외5	대한민국	10-2007-0098066
		배전자동화 시스템	명노길 외5	미국	11/928,482
		배전자동화시스템	명노길 외 5	일본	2007-281,821
		전력선 통신망을 위한 관리방법과	주성호 외 5	대한민국	10-2007-008

		시스템			7573
		전력선통신 기반 저압 수용가 원격검침 시스템 구성 장치 및 구성 방법	주성호 외 5	대한민국	10-2007-0097859
		전력선 통신기반 유무선 통합 검침서비스를 위한 보안 키 생성 및 관리 매커니즘	최문석 외 5	대한민국	10-2007-0097802
		전력선 통신망을 위한 관리방법과 시스템	최문석 외 5	대한민국	10-2007-0015989
		통합원격검침의 효과적 수행을 위한 BPL기반 댁내수집장치	최문석 외 5	대한민국	10-2007-0012591
		고압 배전선로용 비접촉식 전원공급 장치 및 그 방법	이재조 외 3	대한민국	10-2007-0112591
		고압배전선로에서 고속 전력선통신을 위한 임피던스 정합 트랜스포머와 전송모드 제어회로를 내장한 신호결합장치	이재조 외 3	대한민국	10-2007-0119992
	등록	전력선통신 커플러 내장형 개폐기	김영현 외6	대한민국	10-0784303
		전렷선통신 데이터 인증을 위한 Hash 메커니즘 설계	최문석 외 5	대한민국	10-0784303
2008	출원	전력선통신을 이용한 지중 구간에서의 원격검침시스템	최문석 외5	대한민국	10-2008-0049423
		전력선통신기반 원격검침 보안인증시스템	주성호 외 5	대한민국	10-2008-0049423
		커플러 내장형 변압기 장치 및 그 방법	명노길 외 5	배트남	1-2008-02356
		커플러 내장형 변압기 장치 및 그 방법	명노길 외 5	중국	2.0081E +11
		커플러 내장형 변압기 장치 및 그 방법	명노길 외 5	미국	12/237349

나. 전력선 통신(PLC)을 이용한 전기철도 분야 국내 특허

전기 철도 전반에 걸친 본 과제의 목적과 동일 또는 유사한 특허는 본과제 제출자 외는 없으며, PLC 기술이 상용화되기 이전에 전동차를 매개로 하는 방법적 특허가 몇 건 있으나, 전기 철도를 매개로하는 안전 업무와는 구분되는 분야이다. 아래의 표 2-11은 전기 철도와 관련된 PLC 특허에 관해서 조사된 결과이다.

[표 2-3-2] 전기 철도와 관련된 PLC 특허

특 허 명	구분	등록 (출원)번호	등록 (출원)일	등록 (출원)인
전력선을 이용하여 전동차 내에서의 데이터 통신 서비스를제공하는 시스템 및 방법	출원	10-2003-0041669	2003.06.25	엘지기공 주식회사
전동차 시스템의 무선통신 장치	출원	10-2001-0060225	2001.09.27	엘지전자 주식회사
웹캐스팅을 이용한 지하철 실시간 정보 서비스 시스템 및방법	출원	10-2000-0022463	2000.04.27	심경흠 외다수
카메라로촬영한 영상신호를 압축하고 이를 전력선통신모뎀으로 데이터전송 및 수신을 받는 방식의 구조를 가진 모든 카메라와 영상녹화장치	출원	10-2007-0086015	2007.08.27	주식회사 잉스텔
전력선 통신방식의 감시형 디지털 카메라	출원	10-2003-0030616	2003.05.14	삼성전기주식회사
전력선 통신제어방식을 이용한 PLC IP카메라 네트워크 시스템	출원	10-2007-0095538	2007.09.19	장경희
산업시설 관리 시스템	출원	10-2001-0054842	2001.09.06	주식회사 케이디파워 외
전력선 통신 기반 엘리베이터의 감시장치	출원	10-2006-0039795	2006.05.03	부경대학교 산학협력단
통합 방재 시스템	출원	10-2003-0072412	2003.10.17	주식회사 도래정보시스템
고속 ,저속 양방향 전력선 통신 모듈에 결합된 영상보안감시카메라를 이용한 영상보안 시스템	출원	20-2005-0007820	2005.03.22	김보나
전차선을 통한 전력선 통신을 이용하는 전기 철도 관리 시스템	출원	10-2009-0117705	2009/12	곽영규 외2
전력선 통신을 이용하는 전기 철도 관리 시스템	출원	10-2010-0114012	2010/11	곽영규 외2
전력선 통신 신호 결합기용 절연체 및 전력선 통신을 이용하는 전기 철도 관리 시스템	출원	10-2010-0114013	2010/11	곽영규 외2
전력선 통신 및 전용 통신망을 이용하는 전기 철도 관리 시스템	출원	10-2010-0114021	2010/11	곽영규 외2

전력선을 이용한 전동차의 영상보안 전력선통신 시스템	공개	10-2008-0016970	2008/02	(주)카이콤
전력선 통신을 이용한 전동차 객실 내 양방향 통신 시스템	공개	10-2008-0005738	2008/02	서울특별시도시철도공사 외1
전력선을 이용한 열차 네트워크 데이타 통신 시스템 및 방법	등록	10-2009-0096348	2009/10	한국철도기술연구원

제3장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 전기 철도 Noise 연구

1. 연구배경

철도 산업 전 분야에서 열차 안전 운행 목적을 확보하기 위해 다양한 정보 통신 시스템이 구비되어 있으나 이를 좀 더 보완하여 열차 안전 운행 정보를 공유할 수 있다면 안전사고를 예방하는데 더 큰 역할을 할 수 있다. 전력선 통신(power line communication)은 철도 전차선(contact wire)과 조가선(messenger wire)을 통신 매체로 이용하여 각종 열차 안전 운행 정보를 실시간으로 철도 안전 업무 종사자들(철도관제센터, 기관사, 승무원, 역무원 등)에게 제공함으로써 철도 운송의 안전성 확보를 높이기 위한 것이다.[1]-[5] 현재 일반적인 전력선 통신 응용 연구는 220V 저압선을 이용한 홈 네트워킹이나 제한된 지역내에서 구성하는 옥내 제어 분야에서 많은 발전을 이루어 왔다. 현재 국내·외에서의 전력선 통신을 이용한 옥외 산업분야에서는 주로 한전에서의 전력선 통신을 이용한 전력 소모량 등을 원격으로 검침하는 원격검침과 원격 SCADA(supervisory control and data acquisition)용으로 연구되고 있다. 그러나 22.9 kV 고압 급전선을 이용한 전력선 망 구성 기술은 초보적인 단계에 있다. 특히 전기 철도의 고압 급전선을 이용한 전력선 통신에 있어서 전송 특성이나 통신망 구성 장치에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

전기 철도의 전력선 통신은 전차선과 조가선을 이용하여 열차 관제센터와 기관사 등이 전방 선로 상황에 대한 안전 정보와 선로 영상 정보등을 실시간으로 제공하여 열차 안전 운행을 향상 시킬 수 있고, 현재 철도 차량의 주요 통신 수단인 무선 통신을 보완하여 안전성 확보와 상호 보완 기능을 강화할 수 있다. 따라서 전기 철도 시설인 전차선과 조가선을 전력선 통신의 전송 매체로 활용할 수 있는지의 여부를 파악하고, 그 특성을 분석하는 연구가 필요하다.

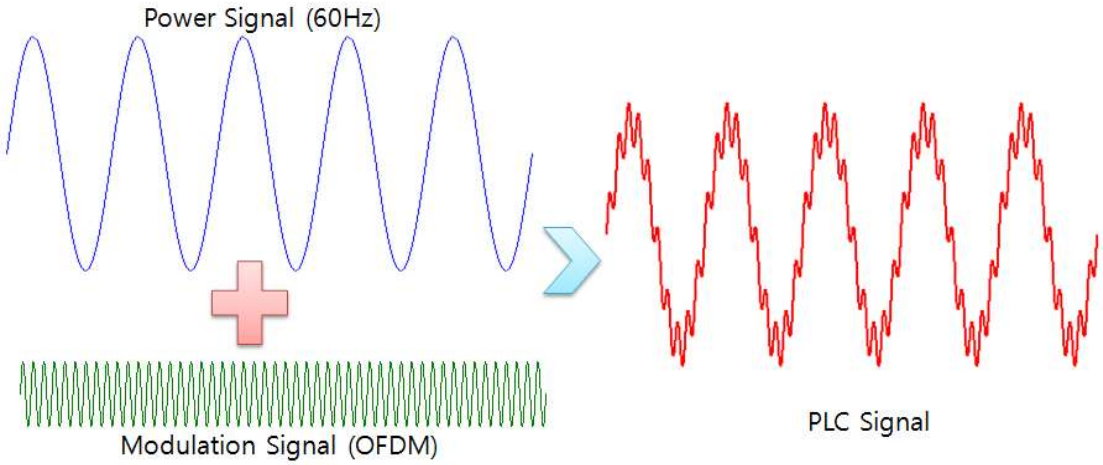
본 연구는 25 kV 철도 전차선과 조가선에서 발생하는 전력선 채널의 노이즈 특성과 감쇠 효과를 실험으로 계측하고, 이를 분석하였다. 얻어진 결과는 열악한 통신 환경을 극복하고 전력선 통신의 성능을 극대화시킬 수 있는 전기 철도 전력선 통신 전용 모뎀 설계를 위한 설계 고려 요소로 활용하였다.

가. 전기철도 전력선통신

1) 전기철도 전력선통신의 원리

전기 철도 전력선 통신은 조가선과 전차선을 통신 매개체로 한 통신 수단이다. 전력선 통신 방법의 기본 원리는 매체에 흐르는 전류 파형에 미약한 고주파 변조 신호를 중첩시켜서 통신하는 방식으로 [그림 3-1-1]과 같다.

전력선 통신은 전력선을 매체로 이용하기 때문에 일반적인 통신 채널과는 달리 전력 노이즈가 발생되어 통신 환경이 열악하다. 이 같은 전송 매체의 특성을 고려하여 전차선의 조가선을 안정된 통신수단으로 활용하기 위해서는 기존 전력선 통신 방식을 응용한 전기철도 전력선통신을 위한 기술의 연구가 요구된다.



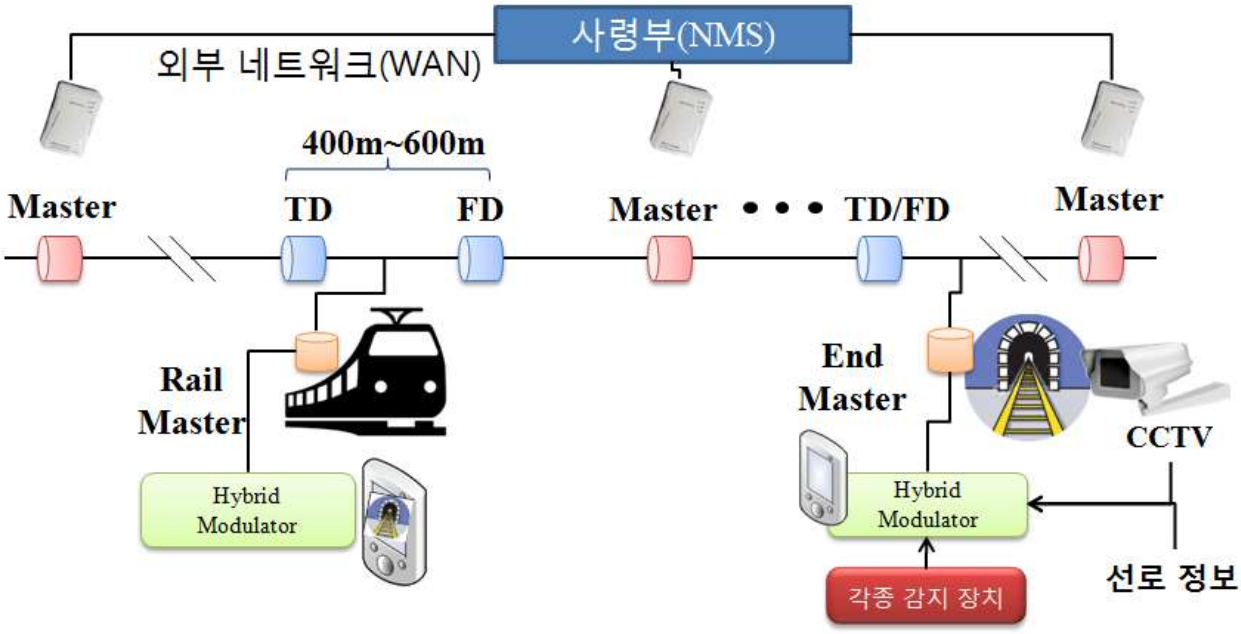
[그림 3-1-1] The theory of power line communication

안정적인 전력선 통신 시스템을 개발하기 위해서는 가장 근본이 되는 전력선 채널에 대한 매우 다양한 연구와 실험적인 고찰이 반드시 필요하다. 전력선을 이용한 통신은 통신 매체인 전원선의 임피던스. 신호의 감쇠 , 잡음 발생 등에 의해 크게 영향을 받는다. 이런 제약들을 해결하는 방법으로 협대역 방식의 FSK(frequency shift keying), QPSK(quadrature phase shift keying) 등의 변조 방법과 광대역 주파수 확산 통신 방법을 많이 이용한다. 특히 광대역 확산 방식은 전력선 채널이 주파수 선택적인 페이딩(fading) 특성을 가진다. 이러한 광대역 확산 방법에는 주파수 호핑(frequency hopping)과 직접 확산(direct spread) 방법 등이 있다. 근래의 전력선 통신 추세는 고속 데이터 통신을 요구하기 때문에 OFDM

(orthogonal frequency division multiplexing) 방식을 전력선에 적용하고 있다.

2) 전기철도 전력선통신망 개념 설계

현재 전기 철도 운행 체계에서의 철도 안전 운송을 위한 통신 시스템은 무선과 유선을 모두 사용하고 있지만 이동하는 차량에 안전 정보를 전송하는 방법은 무선을 기반으로 음성 데이터 전송이 주류를 이룬다. 따라서 이러한 통신 운용 시스템에 안전 정보 데이터를 추가 보완하면 훨씬 더 안전사고 예방을 높이는데 중요한 기능을 수행할 수 있다. 따라서 전력선 통신을 전기철도에 적용하기 위해서 전체적인 통신 망의 설계는 아래 [그림 3-1-2]와 같이 구성하였다. 크게 변전소를 기준으로 한 개의 변전소에 하나의 서브 망으로 전력선 통신망을 구성하고 거리가 멀리 떨어진 망은 외부 통신망으로 데이터를 전송하고 해당 구역내에서 해당 열차까지는 다시 전력선 통신을 하는 망을 구성하였다.



[그림 3-1-2] The concept design of PLC network for electric railroad

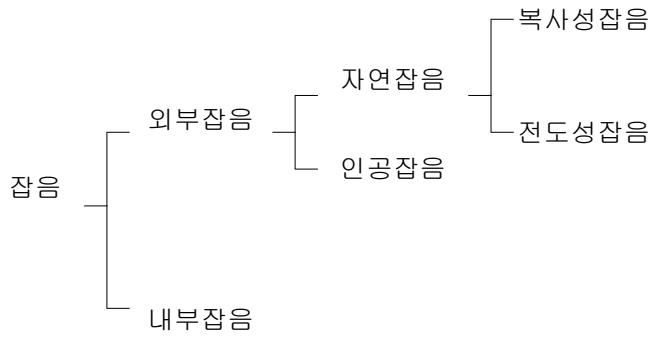
현재 고압 장거리 전력선 통신망을 구성하는 전력선 통신 중계기는 시간을 분할하여 통신하는 시분할 방식(TD)과 주파수를 분할하여 통신하는 주

파수 분할 방식(FD)으로 구성되어 있다. 시분할 방식은 신호를 자신에게 할당된 시간 동안만 통신을 하기 때문에 다른 중계기에서 발생시키는 신호와의 중첩을 피할 수 있지만 전송 속도가 절반으로 줄어드는 특성을 가지고 있다. 그리고 이와 다른 주파수 분할 방식은 주파수를 분할하여 자신에게 할당된 주파수 영역에서만 통신을 하는 방식으로 전력선 통신 중계기의 주파수를 3개의 영역(mode1 : 3～13 MHz, mode2 : 13.5～23.5 MHz, mode3 : 24～34 MHz)으로 나누어 사용한다. 주파수 분할 방식은 시분할 방식에 비해 전송 속도가 반으로 줄어드는 단점은 없지만 주파수를 분할하여 사용하기 때문에 할당된 주파수 영역의 상태가 좋지 않을 경우 전송 속도에 영향을 미친다. 따라서 주파수 분할 방식과 시분할 방식을 병렬로 구축함으로써 전송 속도가 줄어드는 것을 최소화하 할 수 있으며, 각 구간별 노이즈를 측정하여 각 구간의 최적의 주파수 영역을 판단하여 구성이 가능하다. 또한 구간별 거리에 의한 신호 감쇠와 고압 선로에 걸려있는 가공 브라켓이나 드로퍼에 의하여 임피던스 변화에 따른 신호 감쇠를 고려하여 전기 철도 PLC 통신망을 설계하여야 한다.

나. 고압 배전 선로 전력선 통신 채널 잡음 특성

1) 잡음의 개념

전기 기기에서 의도적이든 비의도적이든 간에 발생되는 신호 중 필요 없는 신호성분을 잡음이라 정의한다. 전기 기기에서는 신호로 간주되던 것이 또 다른 전기 기기에서는 잡음으로 취급될 수 있다. 일반적인 통신 시스템의 잡음은 [그림 3-1-3]에서 보는 바와 같이 유입경로에 따라 시스템 내부의 잡음과 외부에서 들어오는 잡음으로 크게 구분된다.



[그림 3-1-3] 일반적인 잡음의 분류

자연잡음은 대체로 저주파 성분이 크고, 인공잡음은 고주파 성분이 강하며 그 경계는 10 MHz 부근이다. 자연잡음에는 대기권 내에서 대기의 존재를 매개로 하여 발생하는 대기잡음, 진공 중에서 발생하여 지구에 도달하는 우주잡음, 그 외에 지구상에 존재하는 대지, 물, 수증기 등의 순환 과정에서 일어나는 온도잡음 등이 있다.

인공잡음은 인위적인 원인에 의해 발생되는 잡음을 말하며, 이는 전해지는 매체를 중심으로 전도성 잡음과 복사성 잡음으로 구분된다. 잡음을 발생 시키는 잡음원과 방해를 받는 기기 사이의 잡음을 전파하는 경로가 전원선이나 신호선, 접지선, 대지와 같은 전송선로를 통하여 전파되는 잡음을 전도성 잡음이라하고 공간을 통하여 전파되는 잡음을 복사성 잡음으로 구분한다. 전철이나 자동차의 플러그 잡음, 전기 기기와 고주파 기기를 많이 사용하는 공장에서 발생하는 잡음 , 핵폭발에 의한 전자 펄스, 통신기기에 의한 불요복사 (spurious radiation)등 자연계에서 자연적으로 발생하는 잡음을 제외한 것들을 인공잡음의 범위로 간주한다. 인공잡음의 원인이 되는 기기 중 하나로 전력선을 들 수 있다. 전력선은 대체로 긴 안테나로 동작하여 방송파를 비롯한 각종 잡음전파를 수신하여 재복사 한다. 수 십Hz~500MHz사이의 주파수 성분이 많으며 그 이상의 주파수 성분은 별로 관측되지 않는다. 이때 복사되는 전계는 철탑 부근에서 수직편파 성분이 강하게 나타나고 철탑에서 멀어질수록 수평편파 성분이 강하게 나타난다. 자동차나 오토바이와같은 엔진이 달린 이동체에서의 점화잡음(ignition noise)은 80 MHz 이상에서 문제를 야기한다. 이와 같이 도시의 전자파 환경은 운송, 공장, 전력계를 포함해 통신, 방송 및 가정용 전기기기 등에 의한 잡음의 영향을 받는다. 또한 수신측에서 보면 외부잡음은 주위의 잡음이고, 내부잡음은 장비에서의 잡음인데 , 주로 장비에서의 잡음이 측정 가능 잡음레벨을 결정하게 된다. 내부잡음은 물리적인 것과 회로적인 것이 있는데 물리적인 요인으로는 열잡음, 쇼트잡음, 접촉잡음 등이 있으며 회로적인 것으로 반사, 교차력(cross torque) 등이 있다.

2) 전력선 통신 잡음 개요

주상 변압기를 통해 수용가들이 연결되어 있는 저압 전력선 상에 존재하는 잡음과 고압 전력선 상에 존재하는 잡음의 특성은 선로 상에 인가되는 부하가 상이하며, 선로가 운용되는 환경이 옥내 또는 옥외인가에 따라 주로 영향을 미치는 잡음원 및 간섭원이 다르기 때문에 각각의 특성이 차이

가 난다. 고압 배전선 전력선 통신은 옥외에서 운용된다는 점에서 주로 배경 잡음과 방송 및 아마추어 무선 통신 등의 협대역 간섭 신호가 큰 영향을 끼친다. 또한 부하의 영향에 있어서도 [표 3-1-1]에서 알 수 있듯이 고압으로 갈수록 최대 부하 대 최소 부하의 비율이 작아지며 부하 변화 및 부하의 특성은 그 영향력이 작다고 할 수 있다[42]. 반면에, 옥내 저압 선로에서는 가전기기 등과 같은 부하의 단속적인 접속 및 여러 비선형적인 회로 특성에 따라 배경 잡음뿐만 아니라 임펄스 잡음 및 고조파 잡음의 영향이 매우 심각하게 성능을 제한한다.

[표 3-1-1] Peak road to minimum road ratio on various voltage levels



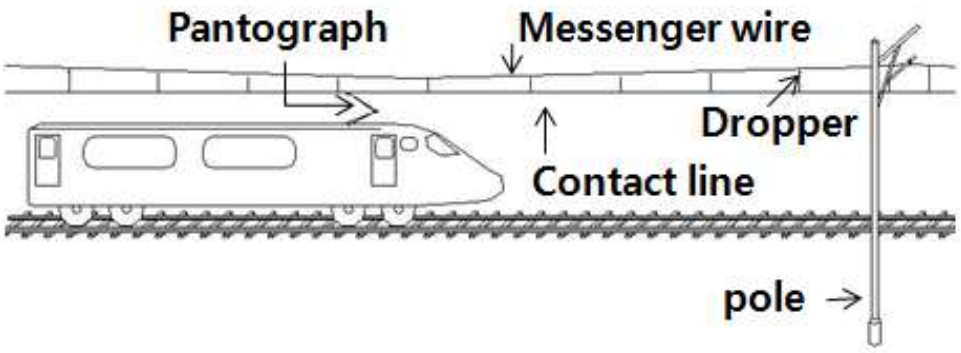
지금까지 전력선 채널 상에서의 잡음 및 간섭에 대한 연구는 대부분 옥내 전력선에 대한 것이 주를 이루어 왔다. 이것은 PLC 시스템을 주로 옥내 가전 기기의 제어 및 홈 네트워킹 분야에 응용하고자 했기 때문으로 이해할 수 있다. 이에 반해 고압 배전 선로의 전송 특성 및 잡음에 대한 분석은 상대적으로 적었으나, 최근 들어 고속 액세스 망에 대해 고압 배전 선로를 이용하여 구축하는데 많은 관심이 집중되면서 고압 배전 선로의 잡음 특성에 대한 심도 깊은 측정 및 분석 결과들이 발표되고 있다[43].

고압 배전 선로의 경우 다양한 형태의 잡음원이 존재하는 옥내 저압 전력선에 비해서 상대적으로 양호한 편이라고 할 수 있으나, 배경 잡음과 여타 통신 시스템들에 의한 협대역 간섭이 성능에 큰 영향을 미친다.

2. 연구개발 내용

전기 철도에서 전력선 통신은 철도 구조물의 고주파의 전기적 특성을 알아야 한다. 아래의 [그림 3-1-4]는 커티너리 타입의 일반적인 전기 철도 구조이다. 전기 철도에서 커티너리(Catenary) 타입의 전차선로는 전차선과 조가선이 별도의 선로로 구성된다. 전차선은 차량의 집전장치(pantograph)에 직접 접촉되어 전기를 공급받는다. 조가선은 전기의 통로 역할을 한다. 드롭퍼(dropper)는 현

수의 역할을 하는 조가선에 전차선을 잡아매서 전차선이 레일 상면에서부터 5.08m 높이로 일정하게 유지되도록 한다.



[그림 3-1-4] Catenary type of electric railroad

본 실험에서는 전기 철도의 조가선과 전차선에 고속 비접촉식 커플러(Inductive coupler)를 연결하여 삽입 손실을 측정하였고, 케이블 거리와 전철주(pole) 사이의 신호 감쇠를 측정하였다. 측정 주파수 대역은 전력선 통신의 법적 허용 주파수대인 2～30 MHz를 포함하는 1～50 MHz 영역에서 전송 특성을 측정하였다.

가. 실험 방법

실험은 현재 운영 중인 전기 철도 본선 구간에서 사용할 수 없기 때문에 코레일 인재 개발원의 시험 구간에서 실시하였다. 코레일 인재 개발원의 시험 구간은 전기 철도 상용구간과 동일하게 설치되어 있기 때문이다. 실험에 사용된 커플러의 기본 사양은 [표 3-1-2]와 같다.

[표 3-1-2] Specification of inductive coupler

정격	전압 20kV～ / 전류 300A
통신 주파수	1～30MHz
삽입 손실	-4±2 dB

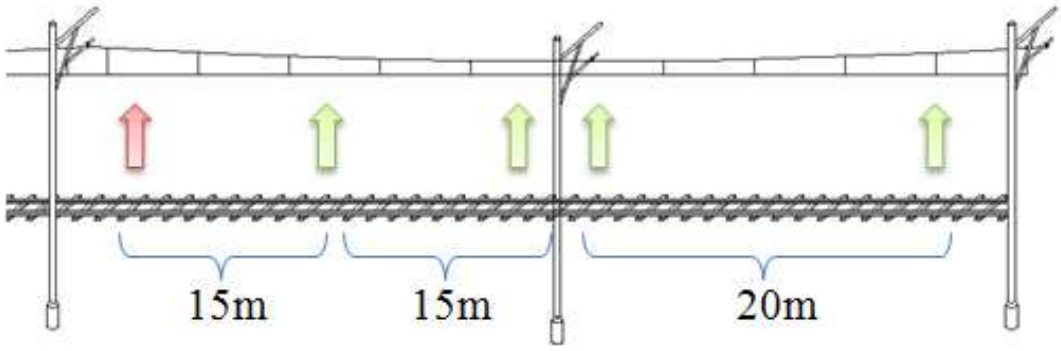
신호발생기를 이용하여 1MHz～50MHz대역의 사인파 신호를 +20 dBm 세기, 20초 주기로 연속적으로 발생하였으며, 스펙트럼 분석기는 측정 범위를 1 ～ 50 MHz로 설정하고 분해능 대역폭(resolution bandwidth)을 120kHz로 설정하여 신호 최대 세기를 기록하였다. 아래의 [그림 3-1-5]는 코레일

인재 개발원의 시험 선로에 설치한 비접촉식 신호 결합기의 사진이다.



[그림 3-1-5] ICU on messenger wire

아래의 [그림 3-1-6]은 스펙트럼 분석기의 설치 위치와 신호 발생기의 설치 위치를 보여주고 있다. 신호 발생기는 수신부로부터 각각 15m, 30m, 50m 떨어진 지점에서 신호를 발생시켜 측정하였다. 이 거리에서 30m 지점에 전철주가 있기 때문에 전철주의 전과 이후에서 따로 측정하였다.

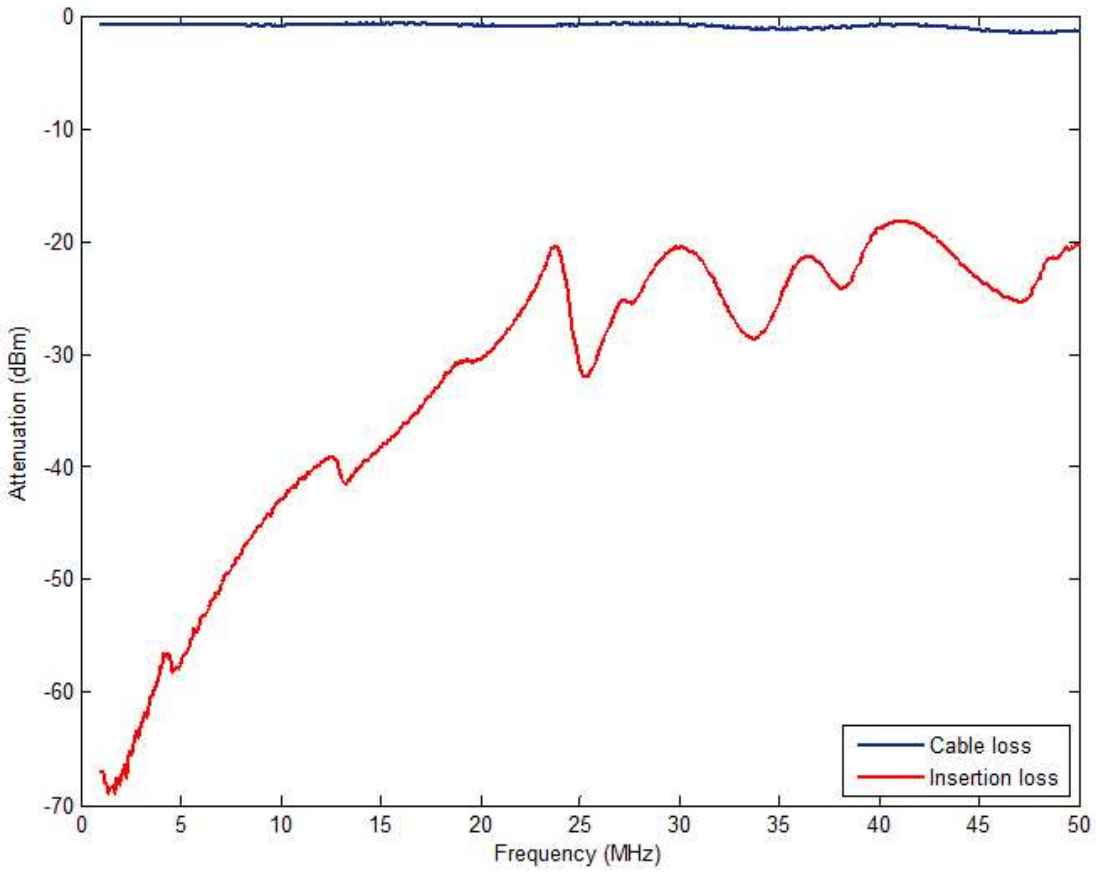


[그림 3-1-6] The position of measurement

나. 실 험 결 과

1) 비접촉식 커플러의 삽입 손실

전철 구조물은 지상에서 높은 곳에 있기 때문에 커플러와 계측 장비까지의 케이블도 10m 정도 길이를 필요로 한다. 그러므로 신호 케이블의 감쇠가 발생한다. 커플러의 삽입 손실을 측정하기 위해서 약 2 m 떨어진 곳에서 삽입 손실을 측정하였다. 이때 출력 신호의 레벨은 0 dBm으로 설정하였다. 아래의 [그림 3-1-7]은 커플러를 조가선에 연결할 때 발생하는 삽입 손실과 측정 케이블에 의한 손실을 측정하였다.



[그림 3-1-7] Channel property

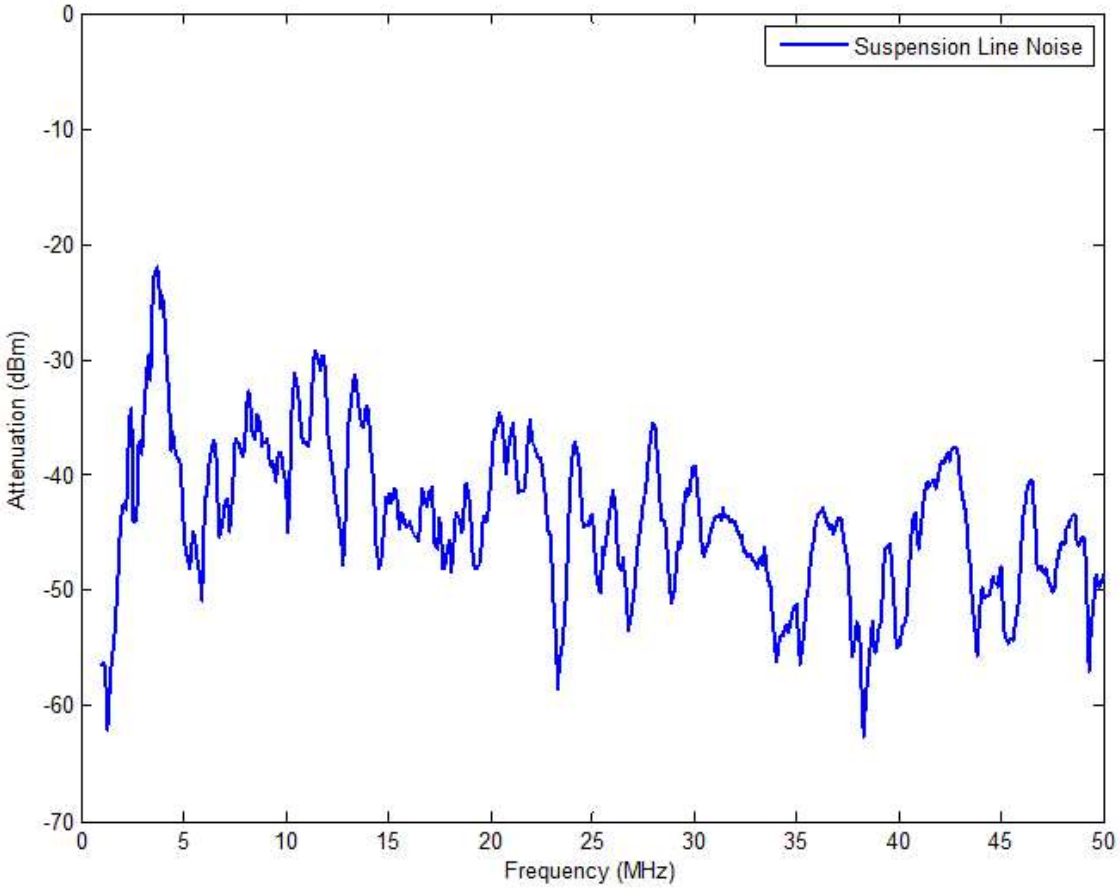
[그림 3-1-7]에서 측정 케이블에 의한 손실은 -4 dBm 이하의 손실이 발생하였으며, 조가선의 삽입 손실은 15MHz이하에서 많은 손실이 발생하며, 그 이상의 주파수대에서는 약 -20 ~ -30 dBm 정도의 신호 감쇠가 발생하

는 것을 보여 주었다.

2) 조가선의 채널의 기본 노이즈

조가선과 전차선은 전류가 흐르는 선로이며, 통신의 측면에서는 신호가 전달되는 채널이다. 따라서 조가선에서 발생되는 기본 노이즈를 알아야 한다. 아래의 [그림 3-1-8]는 조가선에서 발생되는 기본 노이즈를 측정한 것이다.

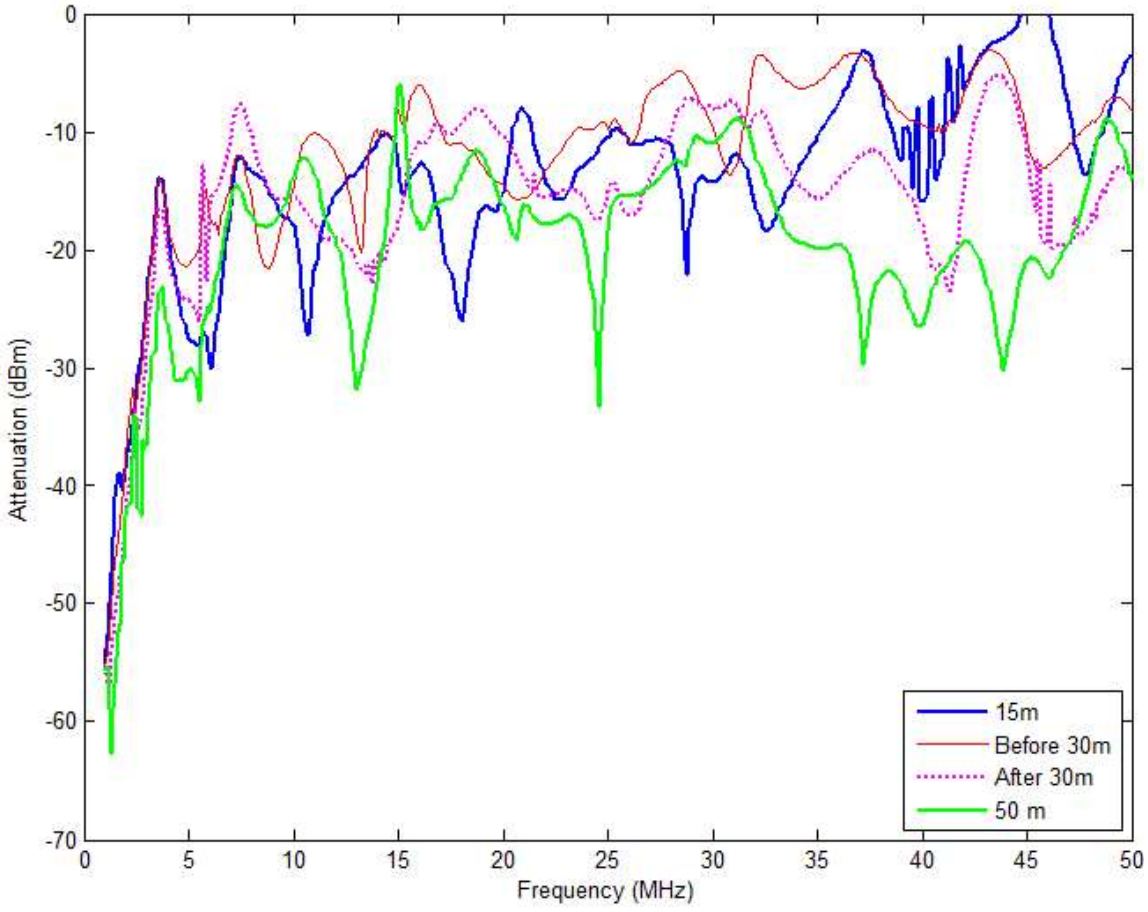
다른 전력선의 통신에 비해 전차선과 조가선에서는 많은 노이즈를 포함하고 있다. 이는 조가선과 전차선은 절연 피복체가 없어서 대기 중의 전파를 받아들여, 기본적인 노이즈 발생이 많은 것을 보여준다. 특히 5 MHz 이하에서 가장 많은 큰 노이즈가 있으며, 발생 빈도도 많았다. 그러나 고주파대로 올라가면서 -30 dBm 이하의 노이즈가 발생하였으며, 그 발생 빈도도 적어지는 것을 측정할 수가 있었다.



[그림 3-1-8] Noise on messenger wire

3) 조가선의 거리에 따른 채널 전달 특성

아래의 [그림 3-1-9]은 거리에 따른 채널 감쇠를 보여준다. 전철주와 드로퍼를 지나면서 신호의 감쇠를 보여주며, 장거리 통신은 15 ~20 MHz 대역과 27~33 MHz 대역에서 통신이 양호하게 전달되었다. 전기철도에서는 전철주가 일정한 간격으로 있기 때문에 전철주와 드로퍼에 의한 신호 감쇠를 감안을 해야 한다.

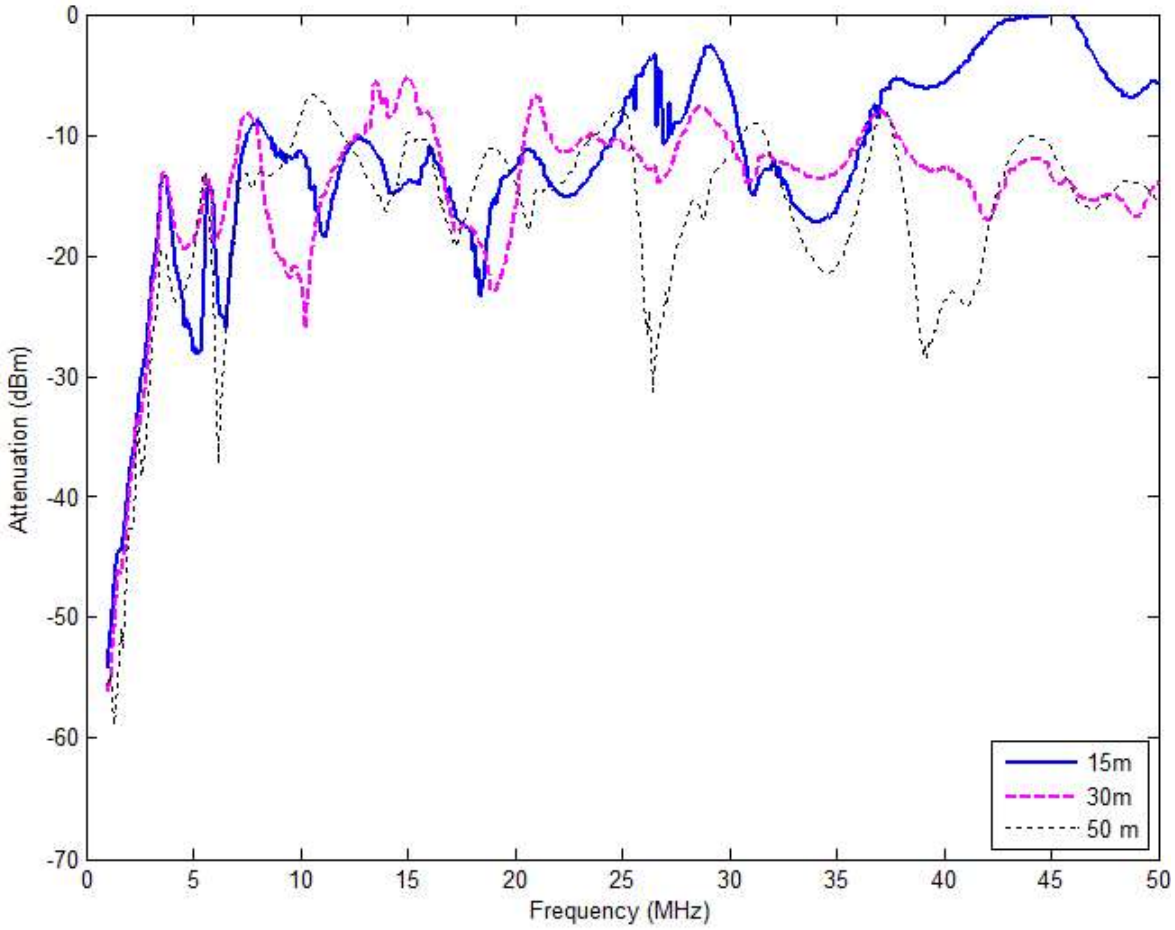


[그림 3-1-9] Channel loss per distance on messenger wire

4) 전차선의 거리에 따른 채널 전달 특성

지상 통제소와 운행 중인 전기철도의 기관사와 전력선 통신을 하기 위해서 통신 신호는 조가선을 지나 전차선을 통해 열차로 전달된다. 그러므로

전차선에서의 채널 전달 특성에 대해서도 측정하였다. 아래의 [그림 3-1-10]은 전차선에서의 채널 전달 특성이다. 전체적인 채널 특성은 조가선과 마찬가지로 12~16 MHz 대역과 25~30 MHz 대역의 주파수에서 가장 신호 전송이 양호한 것을 알 수 있었다.



[그림 3-1-10] Channel loss per distance on contact wire

3. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 전기철도의 전차선과 조가선의 채널 특성을 측정하였다. 전차선의 노이즈와 채널 특성을 분석한 결과 40~45 Mhz대역에서 가장 좋은 채널 전송속도를 가지고 있었으나, 이는 국내 전파법을 초과하는 범위이다. 그 다음으로 채널 전송도가 좋은 영역은 12~20 MHz 와 25~33 MHz 대역에서 좋은 채널 전송 특성을 보여주었다. 위의 두 대역을 2개의 모드로 이용하여 전력선 통신 모뎀과 중계기에 설정하면 전기철도에서도 전력선 통신이 충분히 가능하다는 것을 입

증하였다. 또한 전차선과 조가선에 의한 신호 손실은 50m 거리당 약 -10dBm 정도 발생하며, 전력선 통신 모뎀은 최소 -70dBm의 신호를 인식할 수 있기 때문에 중계기간의 거리는 최소 350m ~ 최대 550m 내에 설치를 해야 할 것으로 판단되었다.

제2절 전기 철도 이선 현상 연구

1. 연구배경

전기철도는 일반적인 산업현장에서 사용되는 일정위치에 구축된 부하설비와 달리 장거리를 운행하는 동적 부하특성을 갖는다. 따라서 전기차량이 주행 중에 전차선을 통해 동력에 필요한 전력을 수급받는 판토그라프와 전력용 반도체 소자를 고속 스위칭 제어하여 부하에 전력을 공급하는 컨버터 및 인버터 등 다양한 전자파 Source를 불가피하게 갖추고 있다. 따라서 전기차량이 주행에 따른 신뢰할 수 있는 전력선 통신 데이터를 보장받기 위해서는 이선현상에 따른 EMI/EMS/EMC에 대한 대책 연구가 수행되어야 한다.

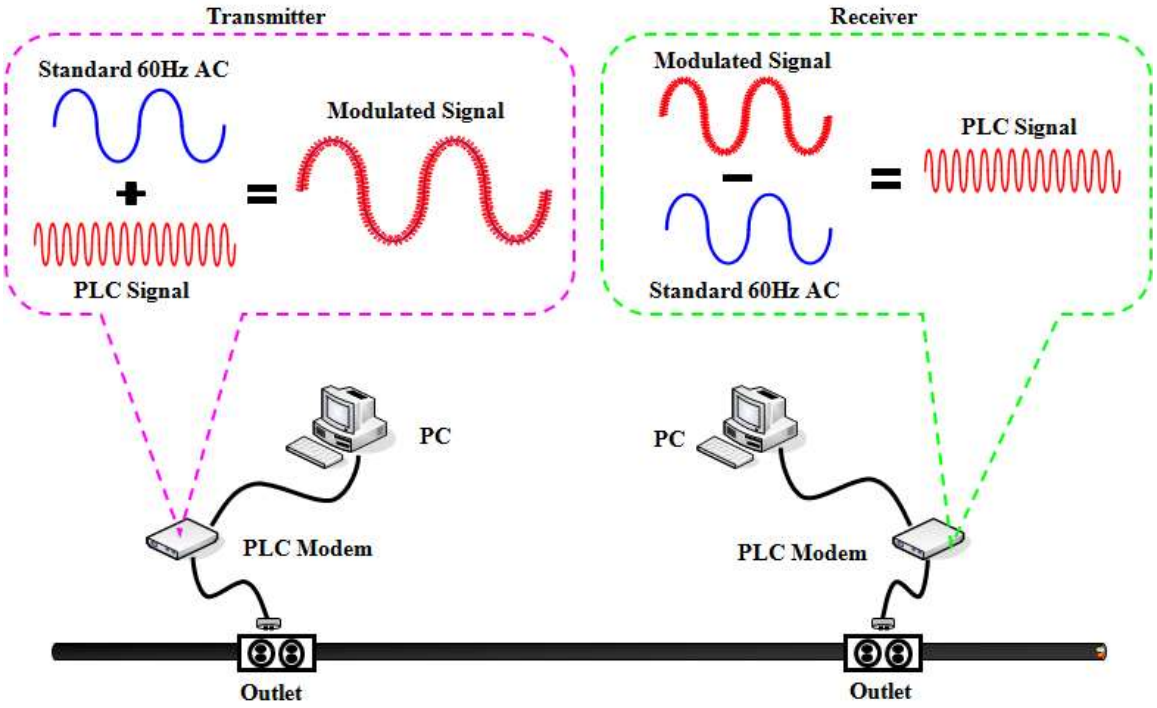
특히 전차선은 고유적으로 갖는 잡음(Noise)과 이에 유입되는 잡음이 더해진 상호 간섭현상(Disturbance)이 발생하는데, 이것을 전원외란(Power Line Disturbance : PLD)라고 한다. 즉, 고조파성분의 존재여부 및 임펄스에 따른 과도현상, 외부로부터 불필요한 신호 유입에 이르기까지 전원장치에 영향을 미치는 모든 외란현상을 의미한다. 그러나 철도차량과 관련된 전원방해에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 전차선 등 급전설비를 이용한 전력선 통신을 위해 전기철도 차량이 주행함에 따라 발생할 수 있는 전차선과 판토그라프와의 이선(離線), 외부 전력계통을 통해 전차선을 매체로 전기철도 차량에 전달되는 잡음(Noise)에 대해 현상요인을 조사하고 이로 인하여 발생할 수 있는 영향 및 관련규격에 대해 분석한다. 또한 전원방해에 대한 시스템을 모델링하고 전기차량 내외부의 장치에 미치는 영향을 분석하였다.

이는 주행 중인 전기철도차량이 기관실 및 사령실, 역내 관계자 등 관련자들과의 전력선 통신을 위해서는 전기철도차량 기관실로 신뢰할 수 있는 데이터가 송수신될 수 있도록 이선현상에 대한 연구도 선행되어야 한다.

가. 전력선 통신의 원리

철도 전력선 통신은 조가선과 전차선을 통신 매개체로 한 통신 수단이다. 기본적인 전력선 통신 방법은 기존에 흐르는 전력에 미약한 고주파 변조 신호를 중첩시켜서 실현하는 방식으로 [그림 3-2-1]과 같다.



[그림 3-2-1] The Theory of Power Line Communication

전력선 통신은 전력선에 고주파의 통신 신호를 결합하여 신호를 전송하는 방식으로써 기존의 통신 채널과는 달리 매우 열악한 환경을 가지고 있다는 것이다. 이와 같은 열악한 통신 채널 환경을 극복하고 통신을 가능하게 하기 위해서는 기존 통신 방식을 그대로 적용하는 것은 거의 불가능하며, 전력선 채널에 대한 기술이 요구된다. 따라서 효과적인 전력선 통신 시스템을 개발하기 위해서는 가장 근본이 되는 전력선 채널에 대한 매우 다양하고 실험적인 고찰이 반드시 필요하다. 전력선을 이용한 통신은 전원선의 임피던스, 신호의 감쇄, 잡음 발생 등에 의해 영향을 크게 받는다. 이런 제약들을 해결하는 방법으로 협대역 방식의 FSK(frequency shift keying), QPSK(quadrature phase shift keying) 등의 변조 방법과 광대역 주파수 확산 통신 방법을 많이 사용한다. 특히 광대역 확산 방식은 전력선 채널이 전력선의 구조와 임피던스에 따라 주파수 선택적인 페이딩(fading) 특성을 가진다. 이러한 광대역 확산 방법에는 주파수 호핑(frequency hopping)과 직접 확산(direct spread) 방법 등이 있다. 요즘의 전력선 통신 추세는 고속 데이터 통신을 요구하기 때문에 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 방식을 전력선에 적용하고 있다.

2. 연구개발 내용

가. 전원외란 개요

과학기술의 발전 및 전기·전자기기의 사용증가에 따라 사용전력이 점차적으로 증대하고 있으며 방대한 양의 정보를 고속으로 교환하는 다양한 정보통신망의 실현에 따라 이용주파수 스펙트럼도 확장되고 있다. 이에 따라 부차적으로 대두된 환경오염(Pollution)의 일종인 불요전자파신호(Electro-magnetic Noise)는 전체적으로 저전력화, 고집적화, 고속도화 되어 가는 자체 전기·전자통신용소자, 기기, 시스템뿐만 아니라 타 소자, 기기, 시스템에 여러 가지 형태의 장해현상을 유발시켜 정보화 사회의 발전에 중요한 방해요소가 되고 있는 실정이다.

근본적으로 전자파장해(Electromagnetic Interference : EMI)현상은 잡음원(Source 또는 Victim)이라고 하는 3가지 요소가 존재하는데 여기에서 전달매체는 자유공간으로부터의 전자파복사에 의한 전달(Radiated emission)과 기기 내·외부 신호 및 전원라인을 통한 전달(Conducted emission)으로 대별된다, 현재 사용되고 있는 거의 대부분의 전기·전자기기는 상용 전원라인으로부터 에너지를 공급받고 있기 때문에 전원선의 대부분은 기기 및 시스템의 불요전기신호 전달매체로 작용하고 있다.

이러한 전원선로를 매체로 전달되는 잡음은 전원선로가 고유적으로 갖는 잡음과 이에 유입되는 잡음이 더해진 교란현상(Disturbance)으로 간주될 수 있는데 이것을 전원외란 혹은 전원방해(Power Line Disturbance)라 하여 EMI/EMC의 가장 근본적인 문제로 취급된다. PLD는 전력신호의 미소 전압변동으로부터 주파수변동, 고조파성분의 존재여부 및 임펄스에 따른 과도현상과 외부 불필요신호의 유입에 이르기까지 전원에 영향을 미치는 모든 외란현상을 총칭한다. 즉 이 PLD현상이 전력시스템, 계측제어시스템, 통신시스템, 고주파이용 설비, 전원기기, 전기·기기, 조명기기 등의 설비 또는 시스템의 정상적인동작에 장애를 주는 전기환경오염이다.

전원외란 현상의 주요원인은 크게 1) 외인성의 고주파 및 임펄스잡음의 유입 2) 내인성의 고주파잡음, 전압변동, 주파수변동으로 구분할 수 있으며 외인성 교란현상의 전달경로는 복사 및 전도성, 그리고 내인성 교란현상의 전달경로는 전도성으로 고려된다.

외인성 교란현상 중에서 복사성 고주파 잡음은 각종 전기·전자기기로부터 발생되어 자유공간을 통해 전력선로에 유입되는 잡음이라 할 수 있으며 고주파 방송 및 통신설비와 전기철도 등이 주요 발생원이다. 전도성 고주파잡음은 공통 전력선로를 매체로 유입되는 잡음으로서 전동기류를 포함한 전기기기, 고주파 이용설비와 비선형성 부하가 주요 원인이 되고 있다. 한편 임펄스잡음은 광대역 잡음스펙트럼을 형성하기 때문에 고주파 잡음으로 인한 전원외란 현상과 상통하는 면이 있으나 전력선로에서 가장 강력한 잡음레벨을 갖고 다양한 형태로 나타나고 있어 구별하여 분류한다. 임펄스복사 잡음의 유입은 핵폭발과 직격뢰 및 자동차 점화장치 등에서 발생된 잡음이 복사성의 주요원인이며 전도성의 주요원인에는 전력선로의 부분절연파괴로 인한 코로나방전, 전자·전기기기로부터의 불꽃방전, 노화, 열화, 부분적으로 손상된 전력 선로상의 선로불안정과 설비의 오차로 인한 접촉잡음 등이 있다. 또한 반도체소자를 이용한 스위칭 전원회로 투입시의 돌입전류로 인한 과도현상장애도 임펄스 잡음의 원인이 된다.



[그림 3-2-2] 이선현상에 따른 전원외란 현상

[표 3-2-1] 전원외란 현상의 원인별 분류

구 분		복 사 성 유 입	전 도 성 유 입
외인성 교란현상	고주파 잡음의 유입	인공잡음 -고주파 이용설비 무선통신 설비 전기철도 자연잡음	인공잡음 -고주파 이용설비 무선통신 설비 비선형성 부하
	충격성 잡음의 유입	인공잡음 -자동차 점화장치 자연잡음 -직격뢰	방전잡음 접촉잡음 과도현상으로 인한 잡음
내인성 교란잡음	전원 고조파 잡음	전력선로 상의 반사상태 부안정한 발전설비, 과부하 및 급격한 부하변동	
	전압변동	전력선로 상의 반사상태 불안정한 발전설비, 과부하 및 급격한 부하변동 전기사고	
	주파수 변동	불안정한 발전설비	

내인성 교란현상으로서는 불안정한 발전설비, 과부하, 급격한 부하변동 및 전력 선로상의 반사장애현상으로 인하 고조파성분의 존재, 전력신호전압의 변동, 전력신호주파수의 변동이 있다. 그림 3-2-1은 철도차량 주행시 판토그라프와 전차선 사이의 이선에 따른 전원외란 현상을 보여주고, 표 3-2-1은 전원외란 현상의 주요 원인별로 분류해 보았다.

나. 전원외란에 따른 시스템 모델링

전기철도에서 집전 시스템은 크게 전기를 공급하는 전차선(Contact wire)과 전력을 공급받는 장치인 팬터그래프(Pantograph)로 구성된다. 전기철도에서 전기철도차량의 고속화됨에 따라 대두되는 문제들 중의 하나는 안정된 집전 능력을 확보하는 것이다. 즉, 전기철도차량의 속도 성능향상은 팬터그래프 시스템이 안정된 집전 능력을 갖추어야 하는 선행과제가 해결되어야 한다. 또한 전력선 통신을 하기 위해서도 이선현상 등 전원외란에 대한 연구도 수반되어야 한다.

기존 연구결과에 의하면, 전기철도차량의 운행 속도가 증가함에 따라 팬터그래프와 가선사이에 진동도 증가하게 된다. 그 결과로 팬터그래프와

가선 사이의 접촉력 변화가 커지고 이로 인한 이선과 그에 따른 아크가 발생하고 가선과 팬터그래프 집전파의 손상을 초래한다. 이러한 문제점을 해결하기 우해 다양한 연구가 이루어지고 있다. 주행에 적합한 가선으로 대체하거나 팬터그래프 자체를 개량하여 동적인 움직임이 최소가 되도록 한다. 그리고 보다 안정된 집전 성능 능력을 확보하기 위해 접촉력을 해석하여 능동적으로 제어하는 방법 등이 이루어지고 있다. 그러나 대부분이 기계적 관점에서 연구가 이루어지는 것이 있으나, 이선현상에 따라 아크가 발생하고 이로 인해 차량내의 전력변환장치 등 전장품에 악영향을 초래하고 있다. 즉, 고속전철 운행시 전차선과 팬터그래프 사이가 이선될 때 이는 동력 전달을 중단시킬 뿐 아니라, 이선현상일 발생할 경우 아크를 발생시켜 아크의 높은 전류와 매우 큰 dv/dt 혹은 di/dt로 인해 전기철도 차량 주회로 및 제어회로에 손상을 줄 수 있다.

따라서 본 연구에서는 주행시 이선현상에 따른 전원외란 현상을 모델링하고 시뮬레이션을 수행하였으며, 전원외란 시뮬레이터를 활용하여 이선현상 영향을 살펴보았다.

1) 이선에 따른 아크현상

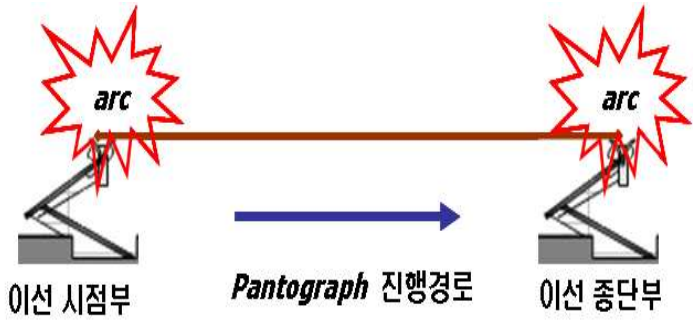
주행 중인 전기철도차량은 전력 및 통신시스템, 차량내의 각종 설비 등이 복합적으로 인터페이스가 이루어져 있기 때문에 일정장소에 설치되어 운전되는 부하에 비해 전원외란 현상이 항상 존재한다. 이로 인하여 전기철도차량 급전시스템의 전차선과 팬터그래프 사이의 접촉력이 불안정하에 아크가 발생하게 되는데, 아크현상은 전력을 차량에 공급하는 전차선과 팬터그래프 사이가 이선되는 경우와 역행 운행시 전기철도차량이 절연구간을 통과하는 경우에 발생한다.

전력을 공급하는 전차선과 전기철도차량내에 전력을 유입하는 팬터그래프 사이에 그림 3-2-2와 같이 이선현상이 나타나는데, 소이선, 중이선, 대이선으로 나눈다. 소이선인 경우 팬터그래프 습동판의 미세 진동에 의해 발생되는 것으로 이선시간은 수십 분의 1초 정도이고, 중이선은 일반적으로 팬터그래프가 전차선의 경점에 의해 충격을 받을 때 발생되는 것으로 이선시간은 수 분의 1초 정도이다.



[그림 3-2-3]전차선과 팬터그래프 사이의
이선현상

대이선은 전차선의 지지점 통과 직후 팬터그래프 자체가 도약하여 발생되는 현상으로 이선시간은 1~2초에 이른다. 전기철도차량이 역행시에 이선이 발생하게 되면 이선 개소의 시점부 및 종단부는 아크 및 충격에 의해 국부적으로 전차선의 마모가 촉진되어 단선될 가능성이 높아진다.

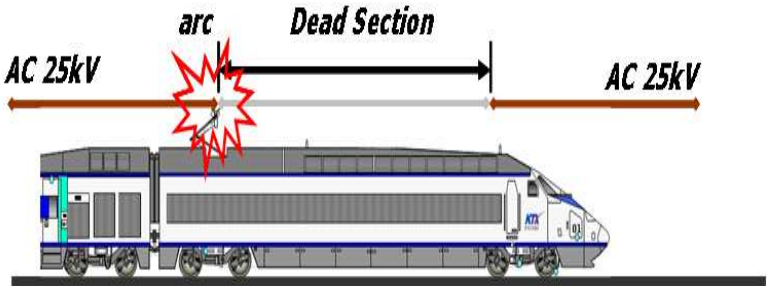


[그림 3-2-4]이선현상에 따른
아크발생

또한 이선현상이 발생하는 동안 역행에 따른 집전이 중지되고, 무선 잡음 장해가 발생하며, 심한 경우 전기철도차량의 견인전동기 혹은 전력변환장치의 반도체 소자를 비롯한 전장품이나 보호기기류가 섬락에 의해 파괴되기 쉽다.

한편 그림 3-2-4와 같이 전기철도 급전계통시스템은 전기적으로 절연역할을 하는 사구간 또는 dead section이 존재하는데, 전원의 접속개소에서 아크현상이 발생한다. 즉 전기철도차량이 절연구간을 통과할 때, 예기치 않은 상황에서 가압구간에서 무가압 구간으로 보호 절차없이 진입하게 되면 전기철도차량의 팬터그래프와 전차선 사이에 아크 발생 확률이 높다.

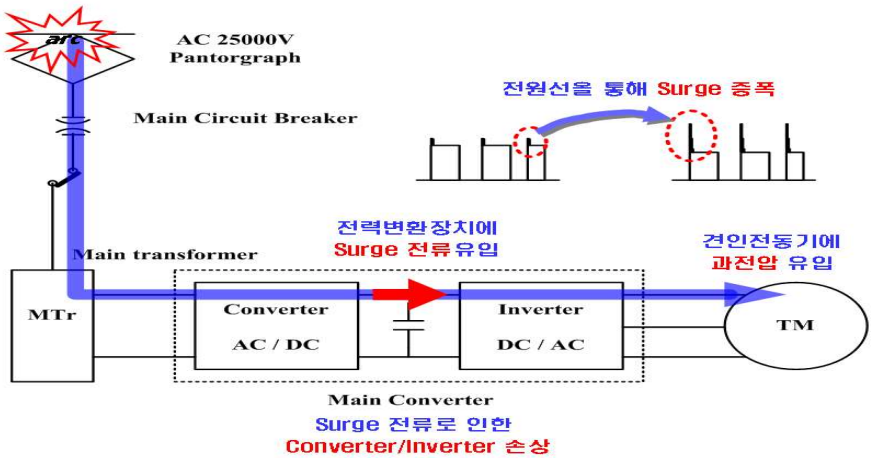
뿐만 아니라 절연구간을 통과할 때 무가압 구간에서 바로 가압구간으로 진입하게 되면 아크가 발생하기 쉽다.



[그림 3-2-5] 사구간 통과시의 아크현상 일례

2) 이선현상에 따른 모델링

그림 3-2-5에서 보듯이 팬터그래프를 통해 전기철도내로 전력이 공급되므로 주행 중 이선으로 인하여 아크현상이 발생한 경우 방사성 및 전도성 노이즈가 동시에 발생하게 된다.



[그림 3-2-6] 이선현상에 따른 전기철도차량내의 노이즈경로

전원라인을 통해 유입되는 전도성 노이즈 성분은 주변압기를 거쳐 고속스위칭을 하는 전력변환장치와 견인전동기, 기타 전기장치에 서지형태로 순간적으로 유입된다. 그림 3-2-6은 그림 3-2-5에 대한 전기적인 모델링을 보여준다. 그림 3-2-6에서 스위치 S는 전차선과 팬터그래프의 이선에 따

른 현상을 의미하는 것으로 이선이 발생하지 않은 경우에는 식 (3-2-1)과 같이 표현된다.

$$v_{ac} = Ri_1 + L\frac{di_1}{dt} + v_{mtr1} \qquad (3\text{-}2\text{-}1)$$

여기서, v_{ac}; 전차선 전압($25000\sqrt{2}sinwt$), R; 전차선 저항, L; 전차선 인덕턴스, i_1; 고속전철내의 주변압기 1차측에 흐르는 전류, v_{mtr1}; 주변압기 1차측 전압

그러나 이선이 발생할 경우에는 전차선과 팬터그래프 사이에는 아크가 발생하므로, 그림 3-2-6에서 스위치 S가 개방되고 박스 A에서 보는바와 같이 $R_1 - L_1 - C_1$ 소자가 직렬로 연결된 형태가 된다. 따라서 식 (3-2-2)와 같이 표현된다.

$$v_{ac} = (R+R_1)i_1 + (L+L_1)\frac{di_1}{dt} + \frac{1}{C_1}\int i_1 dt + v_{mtr1} \qquad (3\text{-}2\text{-}2)$$

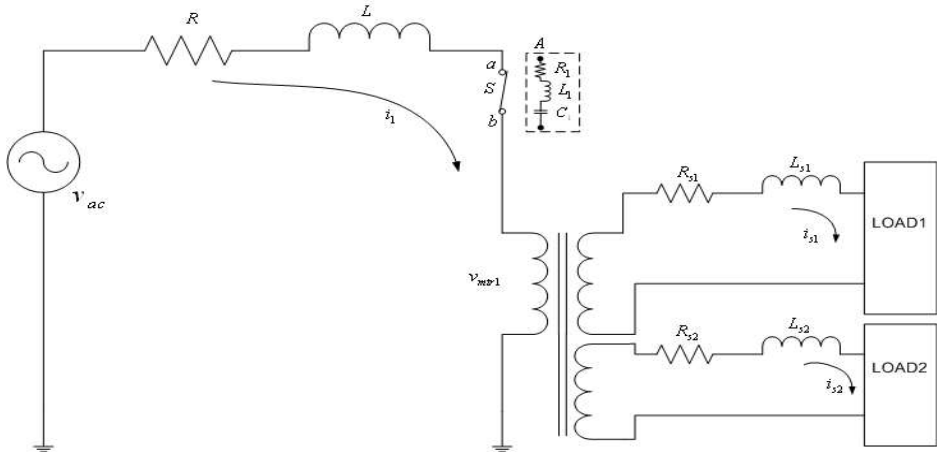
v_{ac}는 전차선 교류전압이므로 이선현상이 발생하게 되는 순간 식 (3-3-2)에서 보듯이 $R-L-C$직렬회로의 과도응답 특성을 갖는 회로가 된다. 즉 과도상태에서 정상상태로 전이되는 과정에서 주변압기 1차측에 흐르는 전류는 식 (3-2-2)를 정리하면 식 (3-2-3)과 같이 된다.

$$i_1 = Asinwt + e^{-at}(Bcosw_1 t - Csinw_1 t) \quad t \geq 0 \qquad (3\text{-}2\text{-}3)$$

여기서, A, B, C, a, w_1는 상수, $w(=120\pi)$는 각주파수

식 (3-2-3)을 고찰해 보면, 두 번째 항은 cosine 함수로 표시할 수 있고 진폭은 정상상태의 진폭에 비해 매우 크게 된다. 따라서 이선현상이 발생하는 순간 회로의 손실이 적을 때(Q가 클 때)로 $t=0$에서 전차선 전압 v_{ac} 전원의 위상과 초기조건에 따라 매우 큰 과도전류가 발생하고 시간이 지

남에 따라 지수 함수적으로 감소함을 알 수 있다.



[그림 3-2-7] 이선현상에 따른 전기적 모델링

3) 시뮬레이터를 이용한 이선현상 모의시험

전기철도에 대한 이선현상 영향을 분석하기 위해 표 3-2-2와 같은 이선현상 모의 시뮬레이터를 이용하여 구현하였다. 시뮬레이터의 파라미터는 표 3-2-2와 같이 입력전압 220V, 주차단기 차단전류 20A이다.

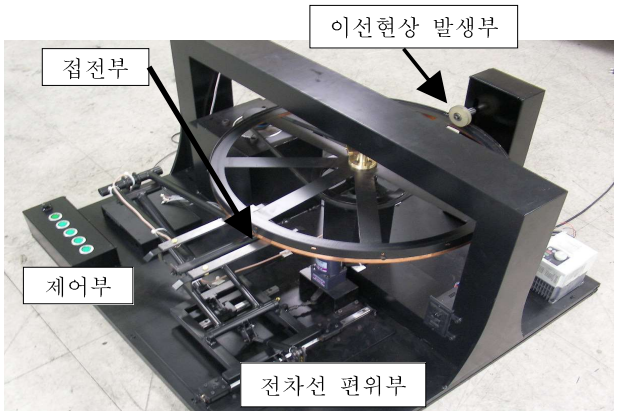
[표 3-2-2] 시뮬레이터 주요 파라미터

항 목	전원외란 시뮬레이터
입력전압	220V
주차단기 차단전류	20A
전력변환장치 최대용량	2.5kW
팬터그래프 싱글암	204.2mm

그림 3-2-7은 이선모의 시뮬레이터로 크게 집전부, 이선현상 발생부, 전차선 편위부, 제어부로 나눈다. 주행 중에 이선현상을 모의하기 위해 시

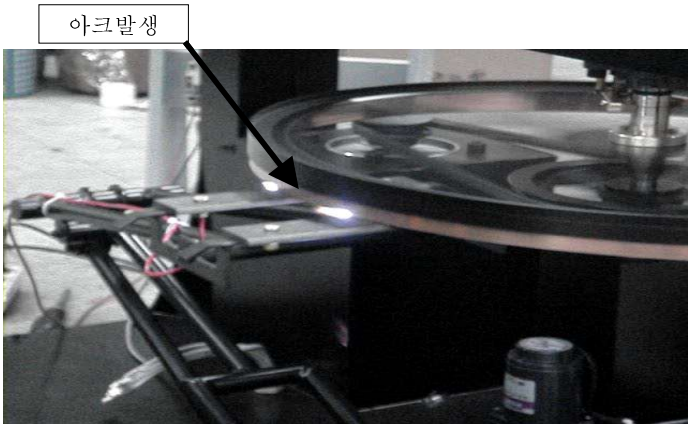
뮬레이터 상단에 설치된 원판이 회전운동을 함으로서 전기철도차량이 주행하는 것으로 하였으며, 원판은 전기철도차량 주행과 비례하여 가감속 회전이 가능하다. 하단에 설치된 팬터그래프는 상단 원판과 접촉해야 하므로 접촉되는 원판 하부에 전기철도차량 전차선로의 전차선 재질을 그대로 사용하여 이선현상에 따른 과도특성이 실제 가깝게 하였다. 팬터그래프 압상력은 스프링 장력 의해 항상 상승하도록 하였으며, 이선현상 제어부에 의해 이선을 유도하기 위해 원판 회전 중에 상부가 진동하도록 구현하였다.

한편 이선 모의 시뮬레이터가 집전 성능 향상을 위해 많은 연구가 이루어지면서 제작되었지만, 기존 시뮬레이터와 비교하여 구현한 시뮬레이터는 전기철도차량이 곡선구배에서도 이선현상을 모의하기 위해 팬터그래프가 좌우 움직임이 가능하도록 하였다. 이는 팬터그래프의 편마모를 예방할 수 있을 뿐만 아니라 좌우 움직임에 따른 모의실험도 가능하다.



[그림 3-2-8]이선 모의 시뮬레이터 장치

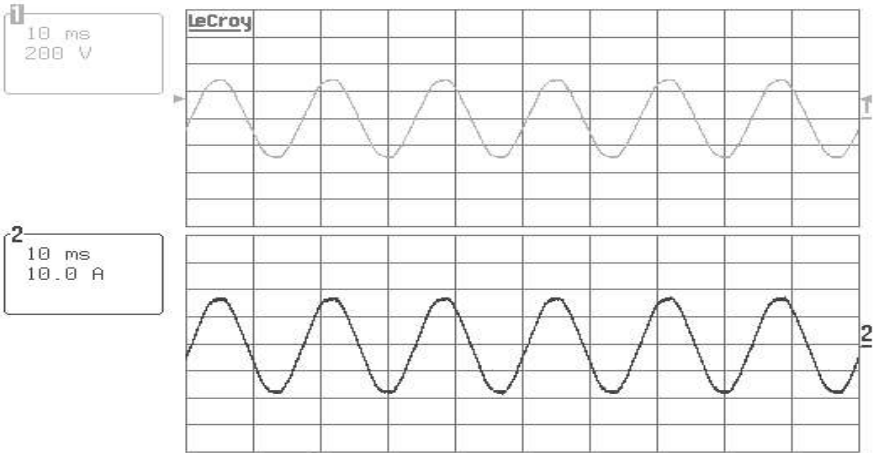
이선모의 시뮬레이터를 이용하여 전기철도차량이 주행 중에 이선현상을 모의하기 위해 상용전원 220V를 변압기 1차측에 공급하고 부하(저항 15.6Ω, 10㎃H)를 연결하여 실험하였다.



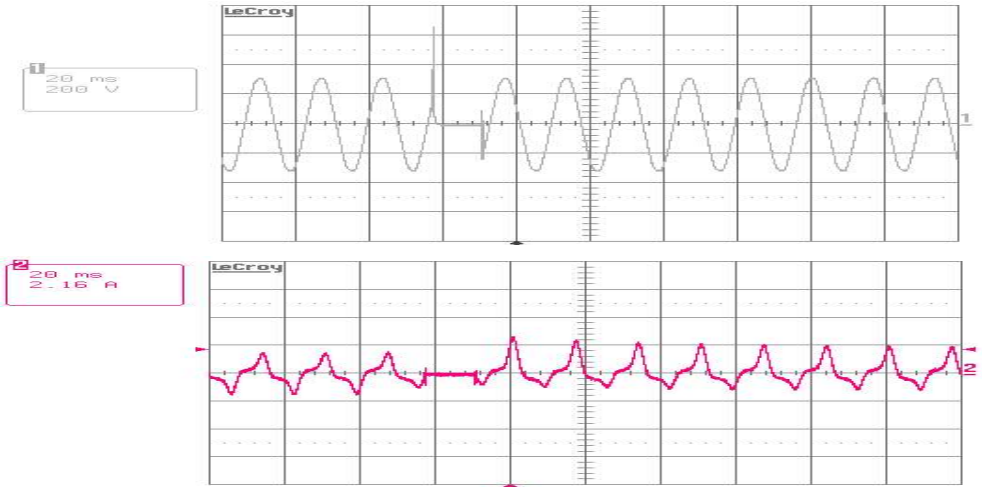
[그림 3-2-9] 이선으로 인한 아크 현상

그림 3-2-8은 이선으로 인한 아크현상이 발생하고 있음을 보여주고 있으며, 부하에 전류가 많이 흐르는 상태에서 이선이 발생하게 되면 아크가 크게 발생한다. 이선현상으로 인한 과도특성을 연구하기 위해 이선이 발생하지 않을 경우와 저항부하만 연결한 경우, R-L부하를 연결한 경우 등 다양한 경우에 대해 변압기 1차측 전압과 전류, 변압기 2차측 전압과 전류를 측정하여 고찰하였다.

그림 3-2-9는 이선모의 시뮬레이터 상부에 설치된 원판이 회전하고 있는 상태에서 팬터그래프와 접촉이 정상적으로 이루어져 이선현상이 발생하지 않을 때 저항부하 15.6Ω에 흐르는 전류와 전압파형을 보여준다. 상용전원 220V가 팬터그래프 및 변압기 2차측을 통해 부하에 인가되므로 전압위상과 동상인 정현파 전류가 흐른다.



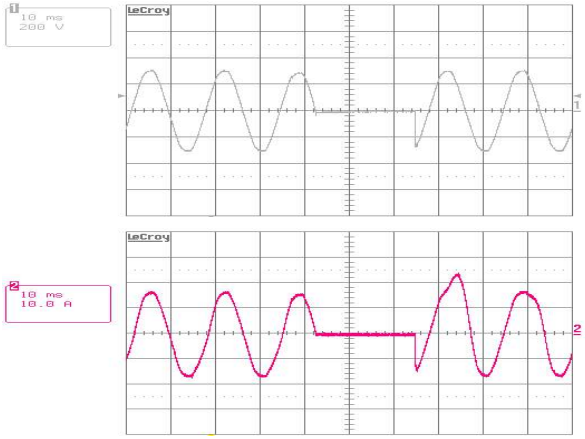
[그림 3-2-10]부하측 전압, 전류(200V,10A/div, 10ms/div)



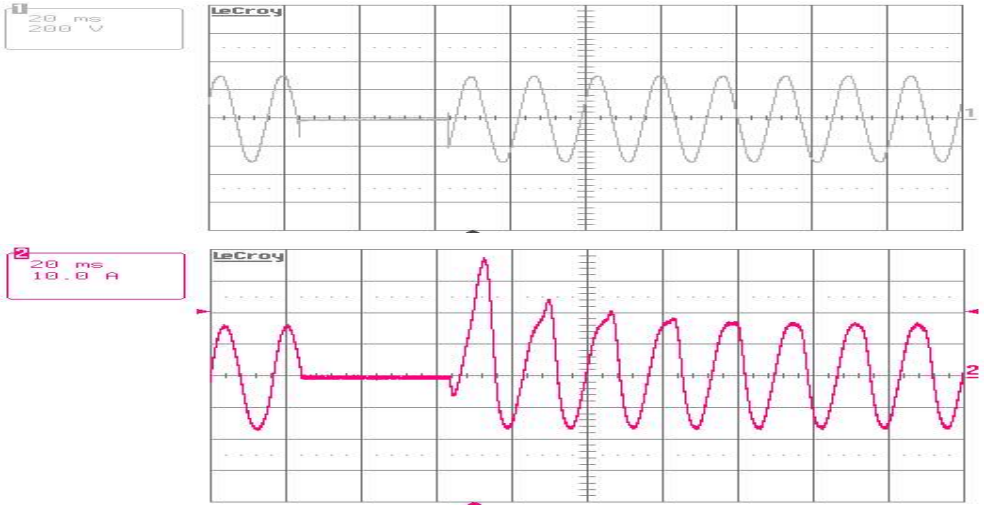
[그림 3-2-11] 변압기 1차측 전압, 전류(200V,2.16A/div, 20ms/div)

그림 3-2-10은 R-L(15.6Ω,10mH)부하를 직렬로 연결한 후 차단장치를 통해 개방한 상태에서 이선 모의 시뮬레이터를 구동하면서 변압기 1차측 전압, 전류를 측정한 파형이다. 부하가 개방된 상태이므로 변압기 1차측에 정현파 전압은 인가되지만, 전원공급라인-팬터그래프-변압기로 연결되고 2차측이 무부하이므로 변압기에서의 누설자속성분으로 인해 왜곡된 전류가 흐른다. 또한 전원외란 시뮬레이터가 회전 중에 이선이 발생하는 순간 변압기 공급전압은 인가전압의 2배인 과도전압이 발생하고 전류는 흐르지 않다가 다시 팬터그래프와 상부 회전판이 접촉하는 순간 과도전류가 흐르다가 지수함수적으로 감소하여 수 사이클 후에 정상적으로 흐름을 보여준

다.



[그림 3-2-12] 부하측 전압, 전류(200V,10A/div, 10ms/div)



[그림 3-2-13] 부하측 전압, 전류(200V,10A/div, 20ms/div)

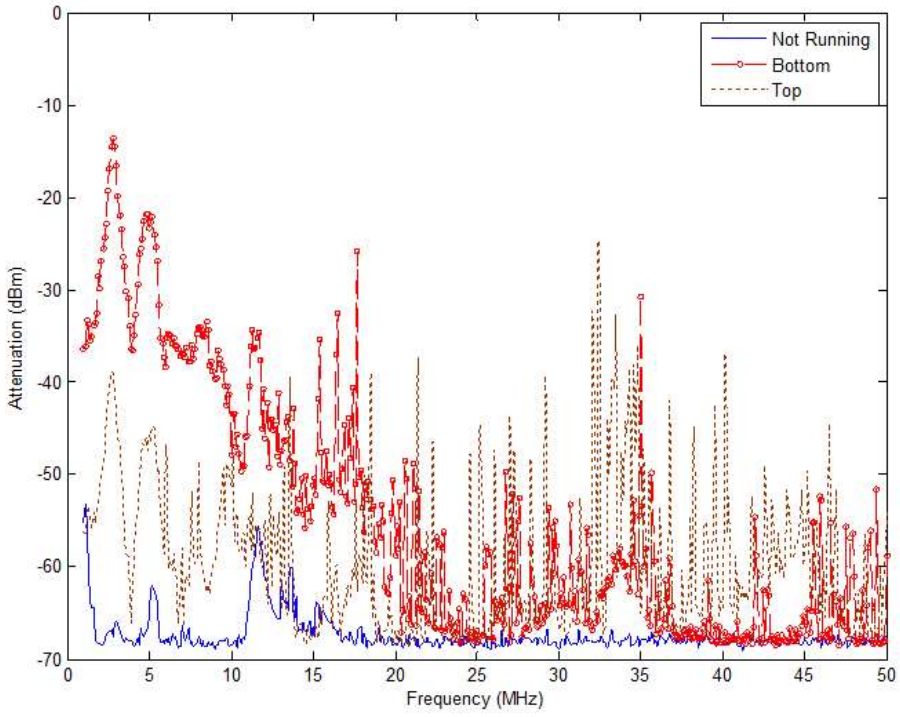
그림 3-2-11은 저항 15.6Ω만을 연결한 경우 이선이 발생하였을 때 부하에 인가되는 전압과 전류파형을 보여준다. 이선이 발생한 경우 부하에 전류가 흐르지 않다가 다시 팬터그래프가 전차선(회전판)이 접촉되는 순간 과도전류가 부하에 흐르고 있다. 이는 이선되는 순간 변압기에 축적된 자속성분이 다시 부하에 공급되어 발생하는 되고 있음을 의미한다.

그림 3-2-12는 RL(15.6Ω,10mH)부하를 연결한 후 이선현상으로 인해 부하

에 미치는 영향을 살펴보았다. 인가전압이 Zero되는 순간 이선현상을 발생시켰을 경우 과도전압이 거의 나타나지 않고 있지만 다시 전차선과 팬터그래프가 접촉하는 순간 정상전류의 2배 이상에 가까운 과도전류가 크게 발생하여 4 사이클동안 지수함수적으로 감소하고 있음을 보여준다. 이것은 식 (3-2-3)에서 표현된 수식과 유사함을 알 수 있다.

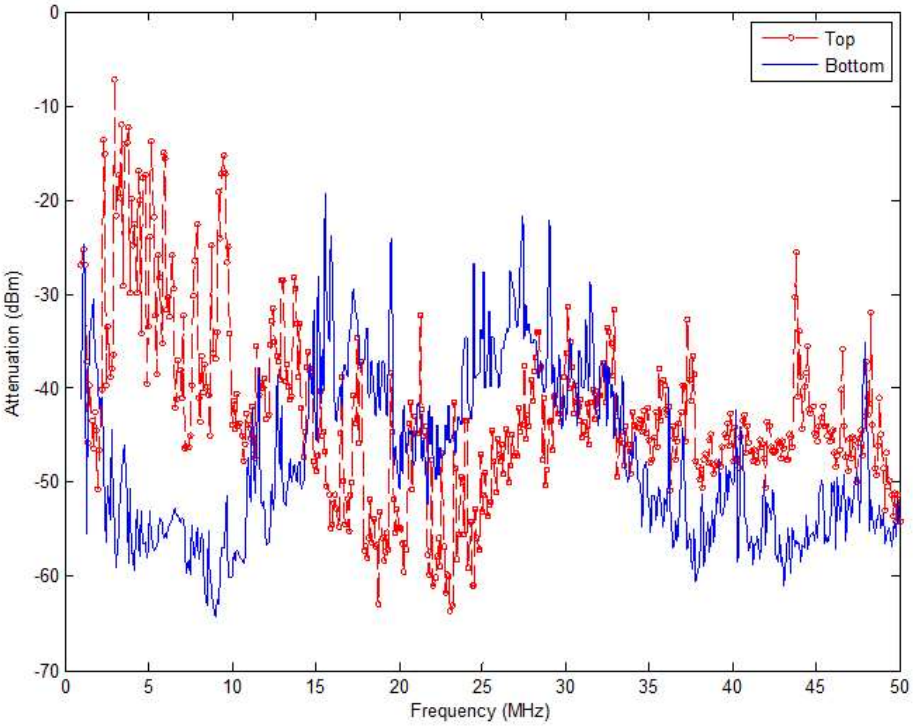
다. 실험 결과

아래의 [그림 3-2-3]은 이선 현상 모의 시뮬레이터에서 구동 모터만을 작동시켜 발생되는 모터 노이즈를 측정하였다. 모터가 기동되기전의 노이즌 -60 dBm 이하의 노이즈만 발생되었으며, 모터가 기동이 되면서 모터와 가까운 팬타그래프 아래쪽에서는 20 MHz 때까지는 -50 dBm 이상의 노이즈가 검출되었다. 팬타그래프 위쪽에서는 그 보다 약한 노이즈가 검출되는 것을 보여주고 있다. 이러한 고주파수대의 노이즈는 측정 위치에 따른 노이즈의 크기와 패턴이 다른 것을 보여주고 있다. 이러한 이유는 팬타그래프의 임피던스 성분에 의해 특정 주파수대의 노이즈를 감쇄시키기 때문이다.

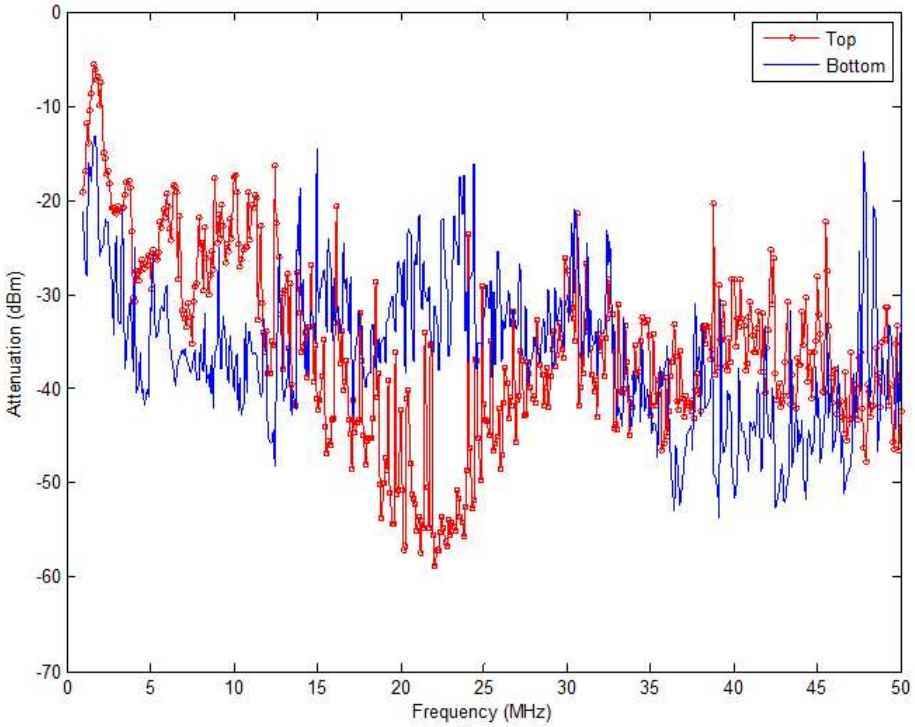


[그림 3-2-14] 모터 기동시의 노이즈

아래의 [그림 3-2-15]는 모터는 정지 상태에서 아크 노이즈만을 발생시켜 노이즈의 패턴을 보여주고 있다. 아크 노이즈는 매우 강한 임펄스 형태의 노이즈로써, 비 연속적으로 발생이 된다. [그림 3-2-15]는 아크 노이지를 주기적으로 발생하여 측정하였다. 일반적인 노이즈보다 강하게 발생되는 것을 보여주었다. 팬터그래프와 전차선에서 발생한 아크 노이즈는 주파수에 따라 전차선과 팬타그래프에 따라 달리 나타난다. 이는 전차선과 팬터그래프의 임피던스 성분이 다르기 때문이다.



[그림 3-2-15] 아크 노이즈



[그림 3-2-16] 이선 현상 모의 시뮬레이터의 노이즈

위의 [그림 3-2-16]는 이선 현상 모의 시뮬레이터에서 발생되는 아크 노이즈와 모터 노이즈의 성분이 동시에 발생할때의 그래프이다. 전력선 통신을 전기철도에 적용할 때, 노이즈가 적게 발생하는 영역을 선택하여 전력선 통신 모델을 설계해야 한다. 그림 5에서는 약 18MHz 대역에서 양쪽에 가장 적은 노이즈가 발생하는 것을 알수 있었으며, 많은 대역을 사용해야 할 경우는 18~25 MHz 대역에서 노이즈가 가장 적게 나타나는 것을 보여주고 있다.

3. 결론 및 향후 계획

본 절은 전차선을 이용하여 전력선 통신을 구현하기 위해 이선현상으로 인한 전원외란이 차량내의 전력변환장치에 미치는 영향 등을 살펴보기 위해 이선 모의시뮬레이터를 활용하여 모의시험을 수행하였다.

향후 전력선 통신을 구현하기 위해서는 주행중인 전기철도차량내의 기관실로 데이터 송수신이 이루어져야 한다. 따라서 이선현상으로 인한 영향분석은 필수적으로 요구되며 이선현상에 대한 모의시험 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ○ 전기철도차량이 주행 중 이선이 수시로 발생하는데 이로 인해 변압기 1차측 및 부하에 서지전압 및 전류가 유입됨을 확인하였다.
- ○ 이선시간에 따라 부하에 미치는 정도, 즉 전도성 노이즈 및 전류의 왜곡정도가 다르다는 것을 확인하였다.
- ○ 철도차량 부하의 특성에 따라 이선에 따른 전류의 왜곡정도가 다르다는 것을 확인할 수 있었고 식(3-2-3)과 유사한 과도특성을 보였다.

향후 계획으로는 모의시험을 바탕으로 실제 전차선로에 주행중인 전기철도차량을 활용하여 전력선 통신 구현이 가능한 방안을 수행할 예정이다. 특히 전차선 및 판토그래프를 통해 송수신되는 데이터를 기관실과 인터페이스하기 위해 전력선 통신용 구성품을 취부 및 유지보수를 하기 위한 적정한 위치선정에 대해서도 다양한 시험이 이루어져야 한다.

제3절 전기 철도 회생 제동 전기 특성 연구

1. 연구배경

최근 전기철도에서는 회생제동를 갖춘 전기철도차량이 주류를 이루고 있으며 일반 산업분야와는 달리 주행중인 전기철도차량은 정지시 또는 하구배 구간에서 감속시에 회생에너지가 발생한다. 회생 에너지는 회생되는 전기차량의 역행차에서 이용되면 효율적이지만, 이 회생되는 에너지가 이용되지 않을 때는 공기제동으로 전환된다. 따라서 제동시에 발생하는 전기적인 에너지를 재활용하고자 하는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

전기철도에서 전력품질 기준을 살펴보면, 전철용 변전소에서의 발생된 직류 회생전력을 고압배전단 교류부하로 전달을 위해 회생인버터가 공급하는 전력 품질은 전압, 플리커, 주파수 및 왜율 등에 관계된 표준이나 절차를 따라야 한다. 하지만 현재까지 재이용이 가능한 지하철의 잉여 회생에너지에 관한 관련 기준은 전무한 상태이다. 따라서 계통연계시 고려해야 할 조건들에 대해서 신재생에너지의 계통연계 규정 및 기준을 참조하여 표준화하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 이와 관련하여 태양광 발전시스템의 계통연계관련 기준인 IEEE std 929-2000을 참조하여 회생인버터의 계통연계시 품질기준을 제시하고 있다.

본 절에서는 전기철도에서 주행중인 전기철도차량이 회생제동에 따른 전기적 특성을 연구함으로써 전력선 통신 구현시 위험요소를 최소화하는데 있다.

2. 연구개발 내용

가. 회생제동 전기차량으로 인한 급전시스템 연구동향

전기철도차량이 회생제동시에 발생하는 에너지에 대해서 고려해야 할 점은 크게 회생에너지를 이용하여 회생 실효를 저감하기 위한 급전시스템 구성과 변전소 부하 특성의 변화, 변전소 보호장치에 미치는 영향 등으로 이와 관련된 연구가 많이 이루어지고 있다.

회생 실효 대책으로는 에너지 절약면에서 변전소에 인버터를 설치해 고배(高配) 부하에서 회생 에너지를 사용하거나 초퍼 저항장치를 설치하고 회생에너지를 열로 소비시키는 방법이 있다. 또한 회생 에너지에 의한 회생차와 역행차의 중복을 늘리고 회생 에너지의 유효한 이용을 목적으로 상하 일괄 급전방식을 채용하거나 하고 있다.

변전소 부하 특성의 변화로서는 순시 최대전력과 1시간 평균전력의 비가 커지는 경향이 있으며, 순시 최대 전력은 그다지 변화가 없으나 1시간 평균전력은 회생에너지가 역행 차량에서 사용된 분량만큼 감소한다. 따라서 변전소 용량 및 정격의 선정에 있어 이러한 부분들이 고려되고 있다.

변전소 보호장치에 미치는 영향으로는 ΔI형 고장선택장치의 오동작을 유발하는 경우를 들 수 있다. 이 현상은 회생전류가 회생차에서 변전소 모선을 경유하여 역행차로 흐를 경우에 역행 정지로 인해 ΔI형 고장선택장치가 큰 ΔI(부하영역에서 정방향의 전류변화)로 간주하여 불요 동작을 일으키는 현상이다. 이에 대해 변전소에서의 대책이 가능하며, 회선전류 정방향 증가만을 검출할 수 있는 ΔI를 설치함으로써 불요 동작을 방지할 수 있어 점차 도입하는 경향에 있다.

나. 변전소 유입전류 파형을 통한 회생제동 분석

회생제동에 대한 전기적 특성을 분석하기 위해 주행중인 실차의 데이터를 이용하면 좋으나, 현실적인 어려움으로 인해 도시철도공사 변전소 데이터를 활용하고자 한다.

1) 시험을 위한 개요

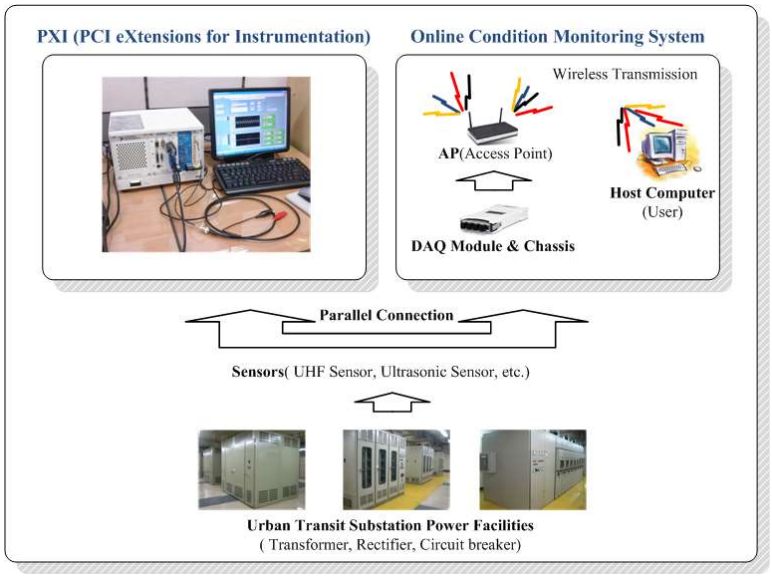
- ○ 장소 : 광주광역시 도시철도공사 옥동변전소
- ○ 장치명 : 이동형 센서 시그널 취득 장치(무선계측)및 NI사의 PXI(PCI eXtensions for Instrumentation, 유선계측)

○ 대상설비 : 급전선(F1, F2) 및 부급전선의 차단기 CT, PT 2차측

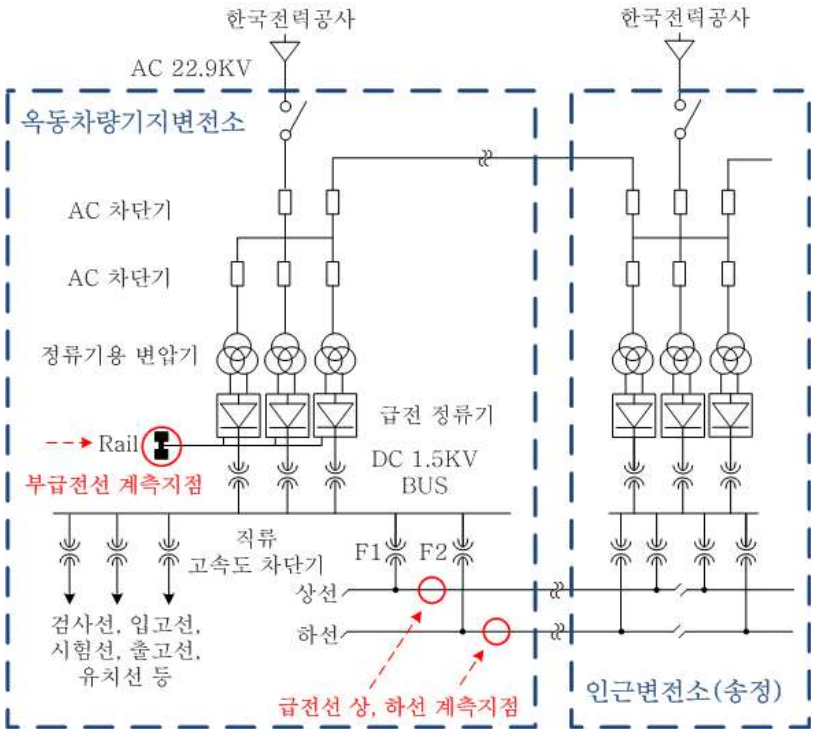
○ 측정값 : 전압, 전류

2) 장치의 구성 및 내용

도시철도 변전소 전력설비의 상태 감시를 위한 IP 네트워크 기반 온라인 상태감시 시스템은 그림 3-3-1과 같이 시스템을 구성하였다. 유선 계측기인 NI사의 PXI(PCI eXtensions for Instrumeatation)와 무선 계측 장치를 동시에 설치하고 동일 장소에서 데이터를 취득하여 측정된 결과를 비교분석 하였다. 먼저 계측은 열차에 전기 동력을 공급하는 상, 하 급전선과 귀선로인 부급전선의 전압, 전류를 감시하여 총 6개의 계측기 채널에서 데이터를 획득 하였다. 그림 3-3-2는 전압, 전류의 계측 지점을 나타낸다.



[그림 3-3-1] 시스템 검증을 위한 구성도



[그림 3-3-2] 옥동변전소의 계통도

3) 계측 결과 파형

유선 계측기와 무선 계측기의 시험 결과를 비교하기 위하여 동일 시간대에 5분간 측정된 전압, 전류의 데이터 파형을 그림 3-3-3에서부터 그림 3-3-6에 나타내었다. 측정 결과 무선 계측기에 취득한 데이터는 유선 계측기에서 취득한 데이터 보다는 다소 노이즈가 포함되어 계측됨을 알 수 있었다. 하지만 계측되는 데이터의 값은 동일 형태임을 확인하였고 섞여 있는 잡음은 지속적이지 않고 매우 짧은 시간 주기로 나타남을 알 수 있었다.

[그림 3-3-3] 유선 계측기의 전압파형

[그림 3-3-4] 무선 계측기의 전압파형

[그림 3-3-5] 유선 계측기의 전류파형

[그림 3-3-6] 무선 계측기의 전류파형

4) 측정 데이터 파형

[그림 3-3-7] 급전선(1)의 전압파형

[그림 3-3-8] 급전선(2)의 전압파형

[그림 3-3-9] 부급전선의 전압파형

[그림 3-3-10]급전선(1)의 전류파형

[그림 3-3-11] 급전선(2)의 전류파형

[그림 3-3-12] 부급전선의 전류파형

5) 파형분석에 따른 전기적 특성

철도 급전계통은 한국전력공사로부터 22.9KV를 수전 받아 차단기, 변압기, 정류기를 거쳐 열차에 DC 1500V를 급전하는 방식으로 되어 있다. 옥동변전소는 철도 변전소 중에서 제일 말단에 위치하는 변전소로 한쪽으로

는 인근 철도 변전소와 연락 급전을 하고 다른 한쪽으로는 검사선 및 입고선, 시험선, 출고선 등 승객의 수송 목적이 아닌 전기철도차량의 관리, 운영 등에 필요한 전로로 연결된다. 그림 3-3-7에서부터 그림 3-3-12는 15시 27분부터 15시 37분까지 약 10분 동안 상, 하급전선과 부급전선에서 취득한 전압, 전류의 데이터를 나타낸다.

일반적으로 전기철도차량은 기동, 타행, 제동, 정지의 패턴을 갖고 운행을 한다. 광주광역시 도시철도공사의 역간 운행 소요시간은 약 2분 정도이다. 그림 3-3-7에서부터 그림 3-3-9의 전압 그래프는 역간 운행 소요시간과 동일하게 약 2분정도의 주기를 갖고 회생과 역행을 반복하는 것으로 확인된다.

그림 3-3-10에서부터 그림 3-3-12에서 전류의 경우도 전압의 경우와 마찬가지로 전기철도차량의 기동시 전류를 많이 소모하고 제동 시 회생 에너지가 발생하는데 다음의 전류파형에서도 동일한 패턴의 데이터 파형이 확인되며 추가로 부급전선은 열차의 귀선로로써 상, 하급전선의 전류가 합쳐져 들어옴을 알 수 있다. 추가로 상, 하 급전선과 부급전선의 전압 데이터 패턴이 거의 동일하게 파악되는데 이것은 철도 급전 계통 특성상 각 라인의 모선이 동일하여 같은 형태의 전압이 측정되는 것으로 보이나 열차부하에 걸리는 전압차이 만큼 각각의 전압값도 다름을 알 수 있다.

3. 결론 및 향후 계획

본 절에서는 회생제동을 갖춘 전기철도차량이 주행에 따른 급전시스템 구성 및 변전소 설비부하에 미치는 영향, 변전소 보호 장치에 미치는 영향 등에 대한 최근의 연구동향을 언급하였다.

또한 전기철도에서 회생제동에 따른 전기적 특성을 고찰하기 위해 도시철도내의 변전소의 데이터를 활용하였다. 일반적으로 전기철도차량은 기동, 타행, 제동, 정지의 패턴을 갖고 운행을 한다. 전압 및 전류파형을 통해 역간 운행 소요시간과 동일하게 약 2분정도의 주기를 갖고 회생과 역행을 반복하는 것으로 확인된다. 그리고 전기철도차량의 기동시 전류를 많이 소모하고 제동 시 회생 에너지가 발생하는데 지속적으로 동일한 패턴의 데이터 파형이 확인되었으며, 추가로 부급전선은 전기철도차량의 귀선로로써 상, 하급전선의 전류가 합쳐져 들

어옴을 알 수 있다.

향후 교류구간내의 변전소 혹은 전기철도차량 집전장치를 활용하여 회생제동시의 전기적 특성을 지속적으로 할 예정이며, 이를 통해 전력선 통신에 따른 문제점 도출 및 해결방안을 모색해 나갈 것이다.

제4절 전기철도 전차선(조가선) 신호결합기 개발

1. 연구배경

전력선통신 구축을 위한 주요 구성요소로서 전력선에 신호를 전달하는 신호결합기가 있으며 이는 크게 2가지 방법으로 구분할 수 있다.

고압 전력선에 **직접 접속하는 용량성(Capacitive) 신호결합장치와 유도성(Inductive) 신호결합장치**로서 전력선에 통신 신호를 직접 주입, 추출하여 전력선을 통한 통신 신호의 송수신을 가능하게 해준다.

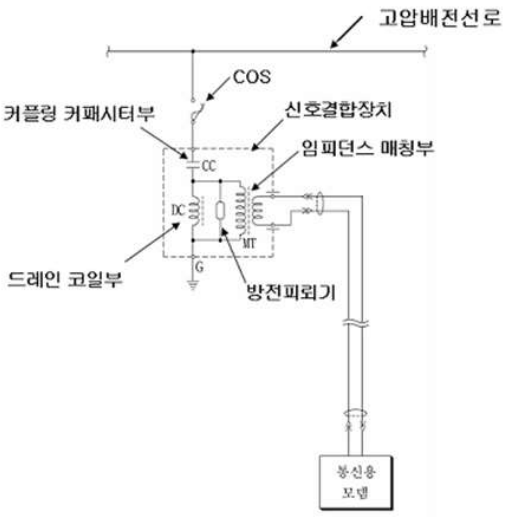
[표 3-4-1] 신호결합기의 기능 비교

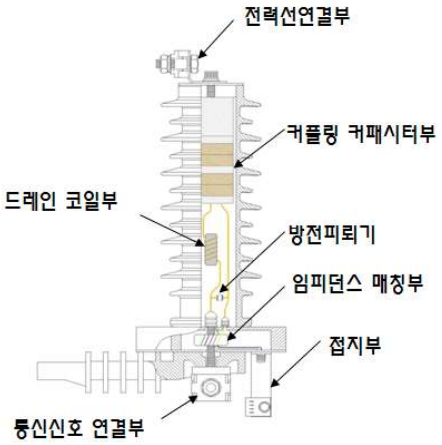
용량성(Capacitive) 신호결합장치 (접촉식 신호결합기)	유도성(Inductive) 신호결합장치 (비 접촉식 신호결합기)
• 유전체로 채워진 도체간의 전계 형성 이용 • **선로에 직접 부착하는 형태** • 접촉식 신호결합장치라고도 함 • 신호 감쇠가 유도성에 비해 적음 • 주로 가공선로에 사용 • 선로 임피던스 정합 회로 내장	• 선로간의 전자기 유도현상을 이용 • **선로에 간접적으로 부착하는 형태** • 비접촉식 신호결합장치라고도 함 • 신호감쇠가 용량성에 비하여 높음 • 주로 지중선로에 적용 • 작업 위험도가 낮으며, 유지보수가 쉬움
Capacitive Coupler	Inductive Coupler



[표 3-4-2] 접촉식 신호결합기의특징 및 제원

접촉식 신호결합기의 구조

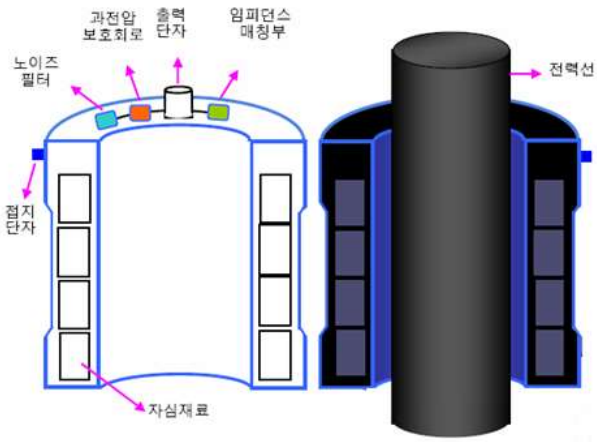




접촉식 신호결합기의 제품 현황

구분 \ 모델	MVC-140AMVC	CAMT-1	OVERCAP S-24
Company	파워플러스(한국)	DIMAT(스페인)	Arteche(스페인)
Coupling	Phase-to-neutral/ Phase-to-phase	Phase-to-earth	Phase-to-earth
Insulation Voltage	22.9kV	24kV	24kV
Frequency Range	1.7MHz ~ 40MHz	2MHz ~ 38MHz	2MHz ~ 40MHz
Insertion Loss	3dB 이하	3dB 이하(2~23MHz) 4dB 이하(23~38MHz)	2dB 이하
Impedance Matching	임피던스 매칭용 트랜스포머 내장	임피던스 매칭용 트랜스포머 내장	임피던스 매칭용 트랜스포머 내장
Dimensions	H391xD150mm 4.7kg	H319xD144mm 5.1kg	H318xD112mm 2.85kg
Product			

[표 3-4-3] 비 접촉식 신호결합기의특징 및 제원

접촉식 신호결합기의 구조	
제품 사진 및 구조	제품의 구성방법
	

접촉식 신호결합기의 제품 현황			
구분 / 모델	MTR-ICU-H58	UNIC	PLC-Clampcoupler DC 60.220/300-006
Coupling	Phase-to-phase/ Phase-to-earth	Phase-to-phase/ Phase-to-earth	Phase-to-phase/ Phase-to-earth
Insulation Voltage	22.9kV	24~36kV(Nominal)	22.9kV
Frequency Range	2MHz ~ 30MHz	2MHz ~ 40MHz	2MHz ~ 40MHz
Insertion Loss	4dB 이하	3dB 이하	4dB 이하
Maximal Current	300A	360A	300A
Dimensions	ID58xOD105xH105mm 1.9kg	ID44xOD90xH90mm 1.2kg	ID55xOD107xH70mm 1.4kg
Dimensions	H391xD150mm 4.7kg	H319xD144mm 5.1kg	H318xD112mm 2.85kg
Product			

본 연구와 관련하여 전기철도 전차선(활선)을 이용한 전력선 통신 시험을 원활히 수행하고 운영기관의 적극적 협력을 얻기 위하여 비접촉시 신호결합기를 선택하였다.

2. 연구개발내용

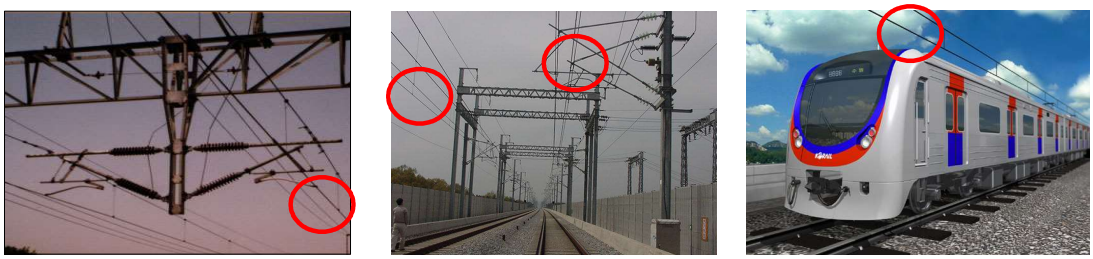
가. 전기철도 전차선의 구조적 특성

1) 전기철도 전차선의 종류

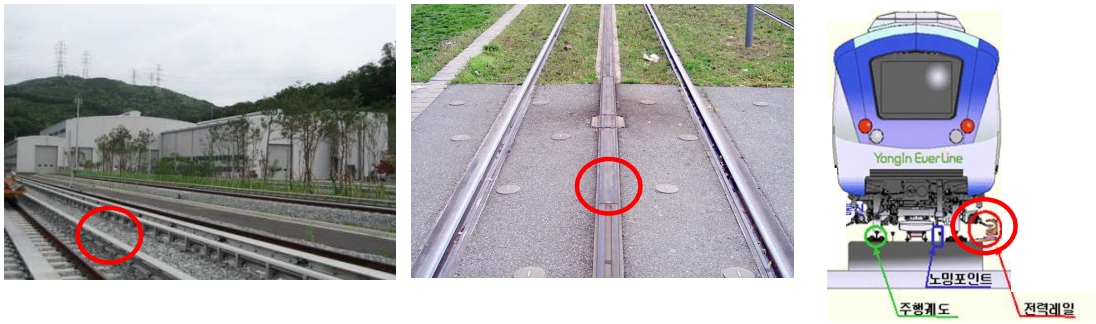
전기철도의 전차선은 전기차량에 전기를 공급하는 가선으로써 지상구간을 대표하는 카테나리방식과 지하구간의 강체강선, 경전철에 주로 적용하는 제3궤조 방식이 있다.



[그림 3-4-1] 지하구간의 강체강선



[그림 3-4-2] 지상하구간의 카테나리

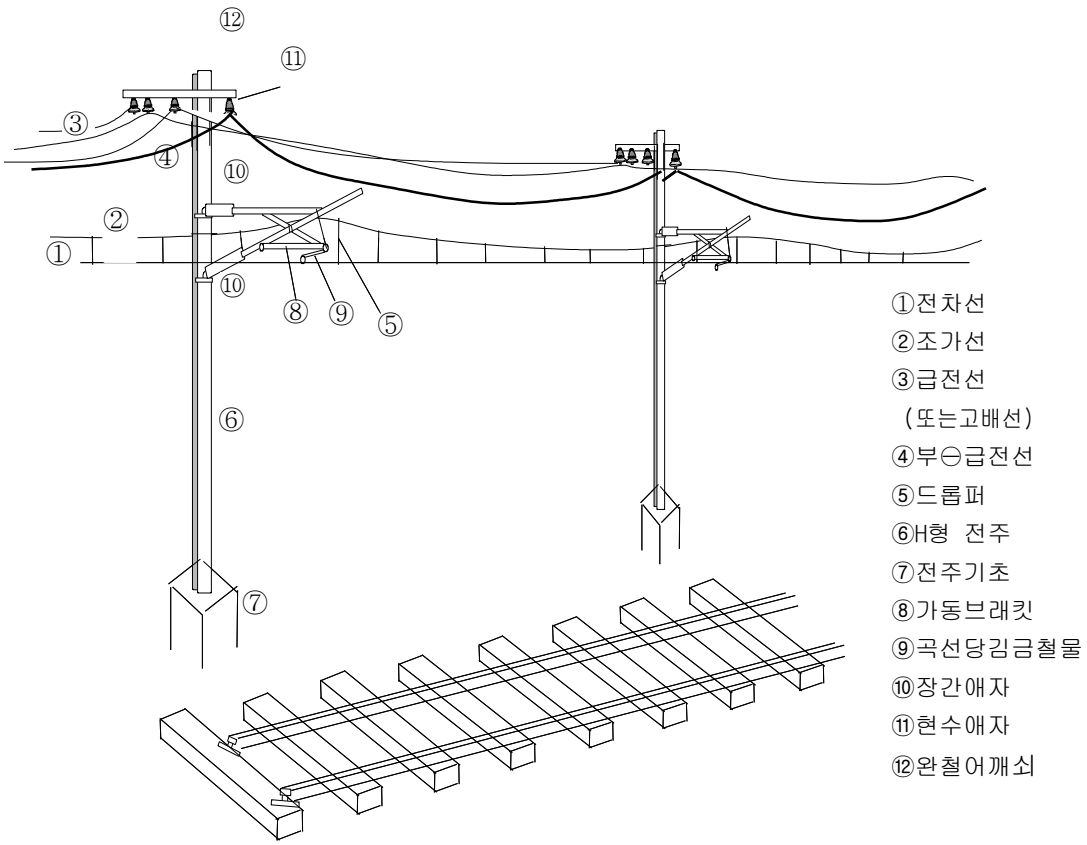


[그림 3-4-3] 제3궤조 전차선

본 연구와 관련하여 전기철도 전차선(활선)을 이용한 전력선 통신 시험을 원활히 수행하고 운영기관의 적극적 협력을 얻기 위하여 지상 가공선로인 카테나리를 선택하였다.

2) 가공선로 전차선의 구성(카테나리)

전차선을 직접 지지물에 지지하지 않고 조가선이라고 하는 전선을 지지물에 지지하고 이 조가선에서 일정한 간격마다 행거 및 드롭바로서 전차선을 조가하는 방법이며 아래 [그림 3-4-4]와 같다.

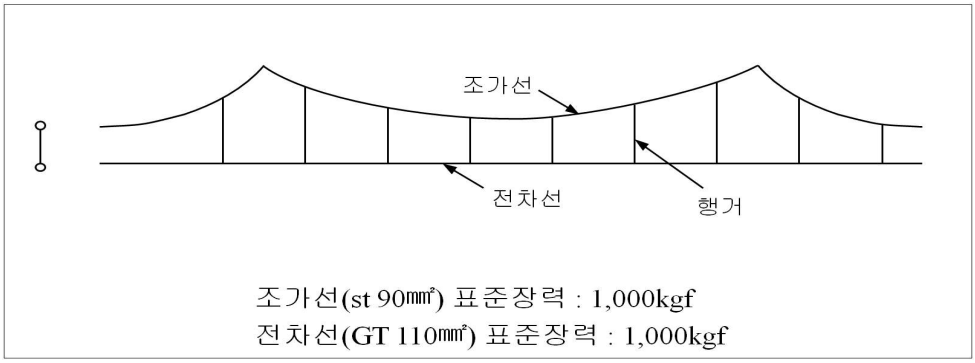


[그림 3-4-4] 전차선의 구성도

3) 심플카테나리 가선방식

심플카테나리 방식은 카테나리 방식중에서 가장 대표적인 방식으로 전주 또는 비임등 지지물에 가동 또는 고정브래키트를 설치하고 조가선을 가설하여 전차선을 행거이어(Hanger Ear) 또는 드롭퍼(Drooper)로 조가선에 매달아 레일면상 전차선을 일정한 높이로 유지하여 전기차의 판타그래프(Pantograph)를 원활히 습동할 수 있도록 하는 가선 방식이다.

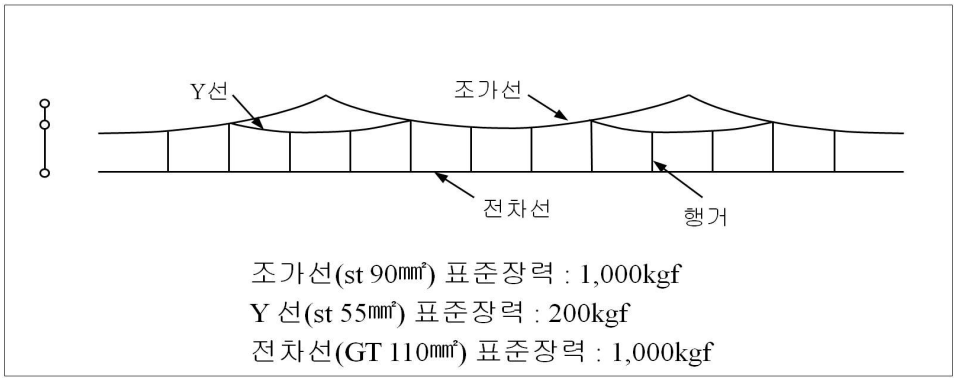
이 방식은 경간 중간부와 지지점에서 전차선 압상량 차이로 판타그래프가 이선될 우려가 있어 일반적으로 110[㎞/h] 정도의 운전선구에 사용되고 있다.



[그림 3-4-5] 심플카테나리 가선방식

4) 변(형)Y 심플카테나리 가선방식

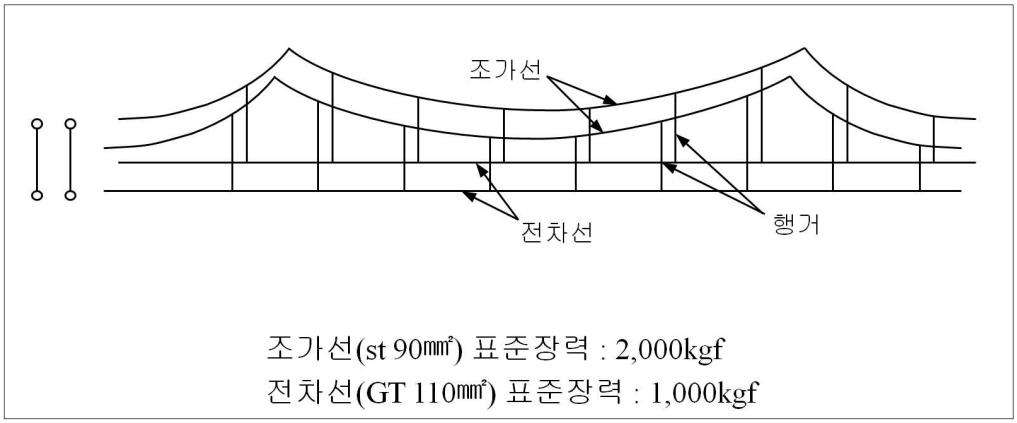
지지점에서 전차선의 경점을 최소화 하여 이선을 경감시키기 위한 목적으로 지저점에 Y 형태의 조가선을 추가로 설치하여 사용하는 방식이다. (허용속도 : 110㎞/h ~ 300㎞/h이하).



[그림 3-4-6] 변(형)Y 심플카테나리 가선방식

5) 더블심플카테나리 가선방식

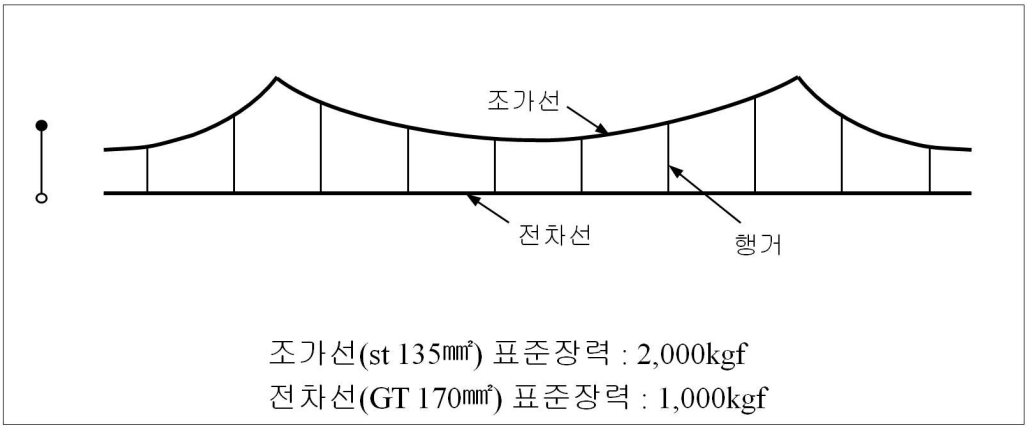
열차빈도가 높은 직류구간에 사용하는 방식으로 전차선과 조가선을 2조로 가선하여 사용하는 가선방식이다. (허용속도 : 110㎞/h이하)



[그림 3-4-7] 더블심플카테나리 가선방식

6) 헤비 심플커티너리 가선방식

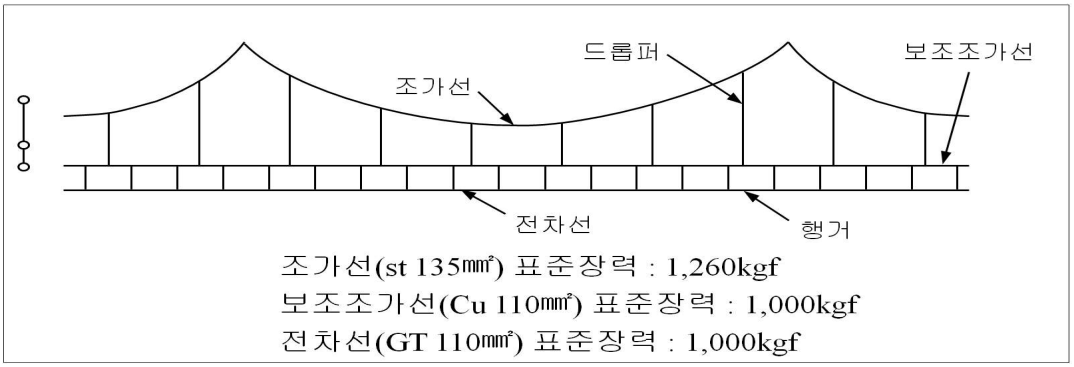
심플카테나리 가선방식에 장력을 크게(3톤)한 것으로 경부 2선 서울-구로간 및 경부 1선 구로-수원간, 경인선 구로-인천간에 사용하고 있다. (허용속도 : 110㎞/h이하)



[그림 3-4-8] 헤비 심플카테나리 가선방식

7) 콤파운드카테나리 가선방식

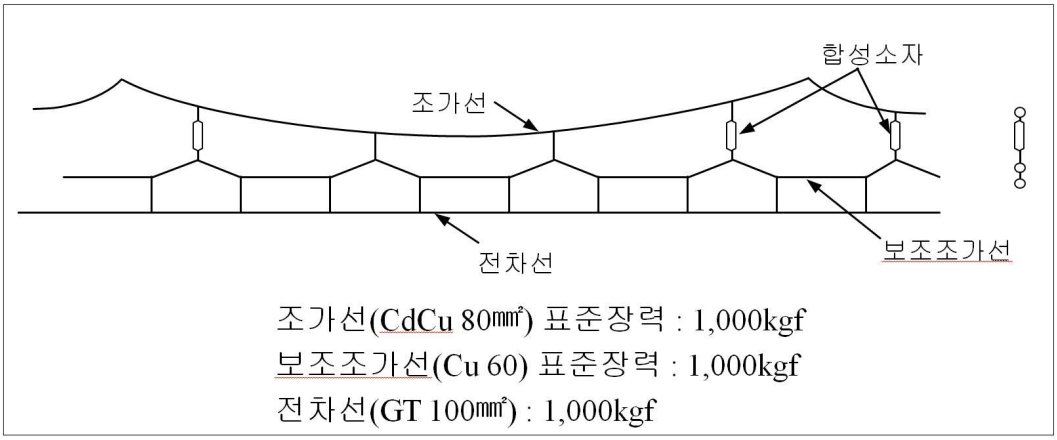
대용량 고속운전에 적합하며 일본의 신간선에 적용(허용속도 : 300㎞/h이하)



[그림 3-4-9] 콤파운드커티너리 가선방식

8) 합성 콤파운드카테나리 가선방식

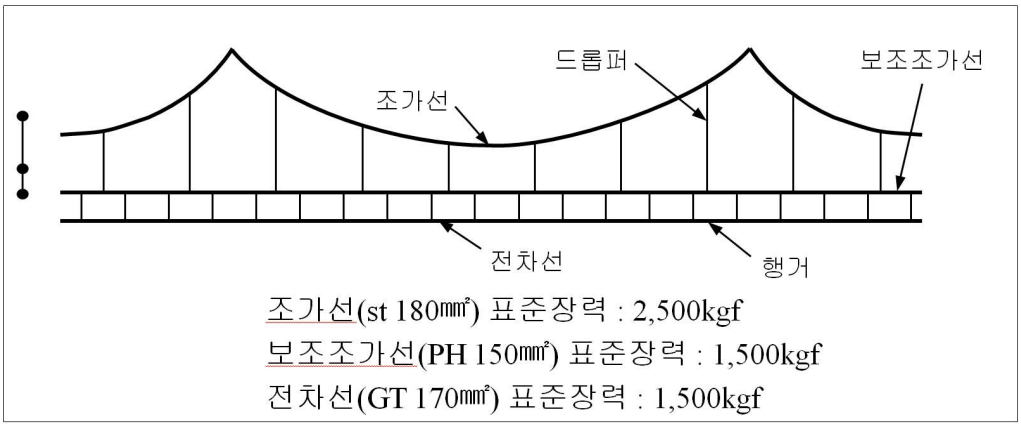
조가선과 전차선에 합성소자를 삽입하여 고속성능을 좋게하고 전차선의 국부마모를 경감시키는 방식이다. (허용속도 : 300㎞/h이하)



[그림 3-4-10] 합성 콤파운드카테나리 가선방식

9) 헤비 콤파운드카테나리 가선방식

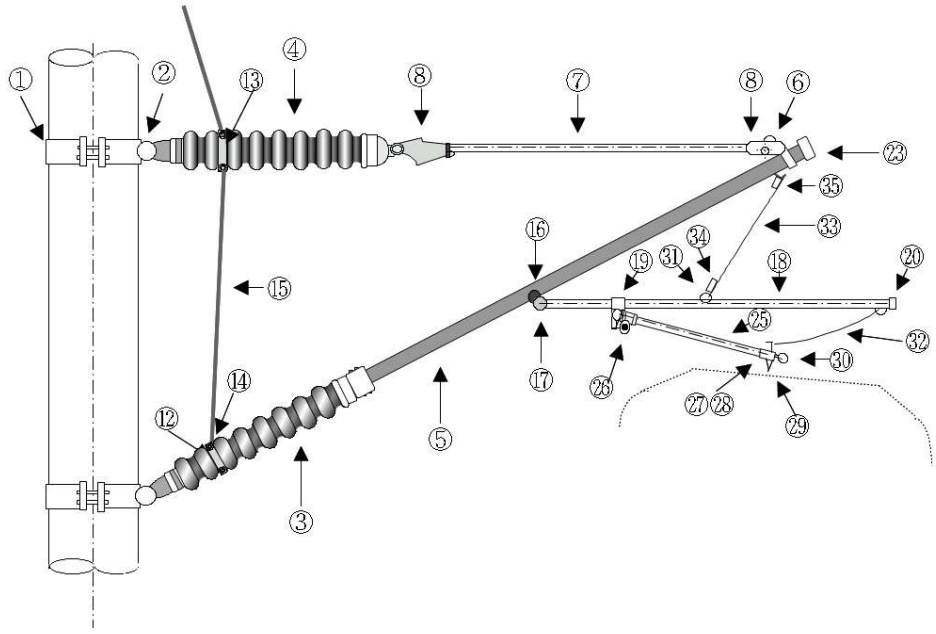
전차선 및 조가선을 중량화 하여 가선특성을 좋게한 방식으로 현재 일본 신간선의 표준방식이다. (허용속도 : 300㎞/h이하)



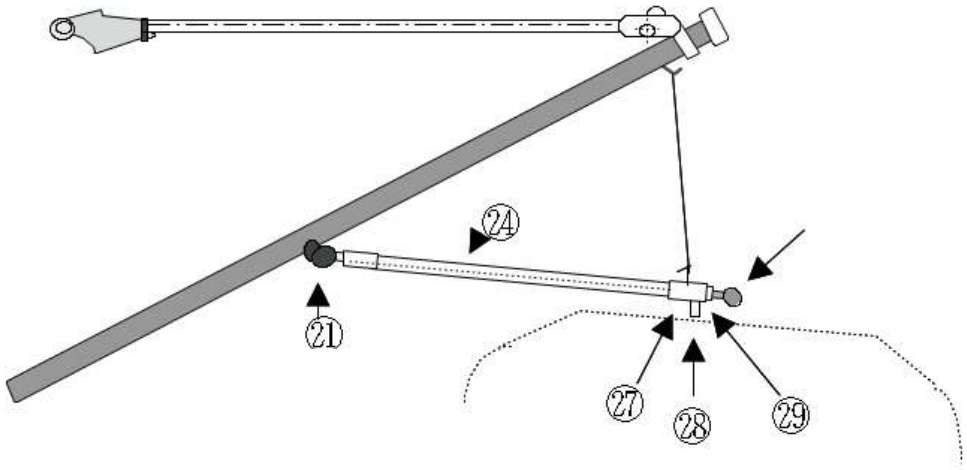
[그림 3-4-11] 헤비 콤파운드카테나리 가선방식

상기와 같은 방식외에 경사간선식 및 급전조가방식, 합성심플카테나리식, 더블트로리식, 더블조가선식등이 있으며, 우리나라에서 가장많이 사용하는 방식은 심플카테나리 가선방식이다.

10) 가공 부라켓의 구조 및 종류

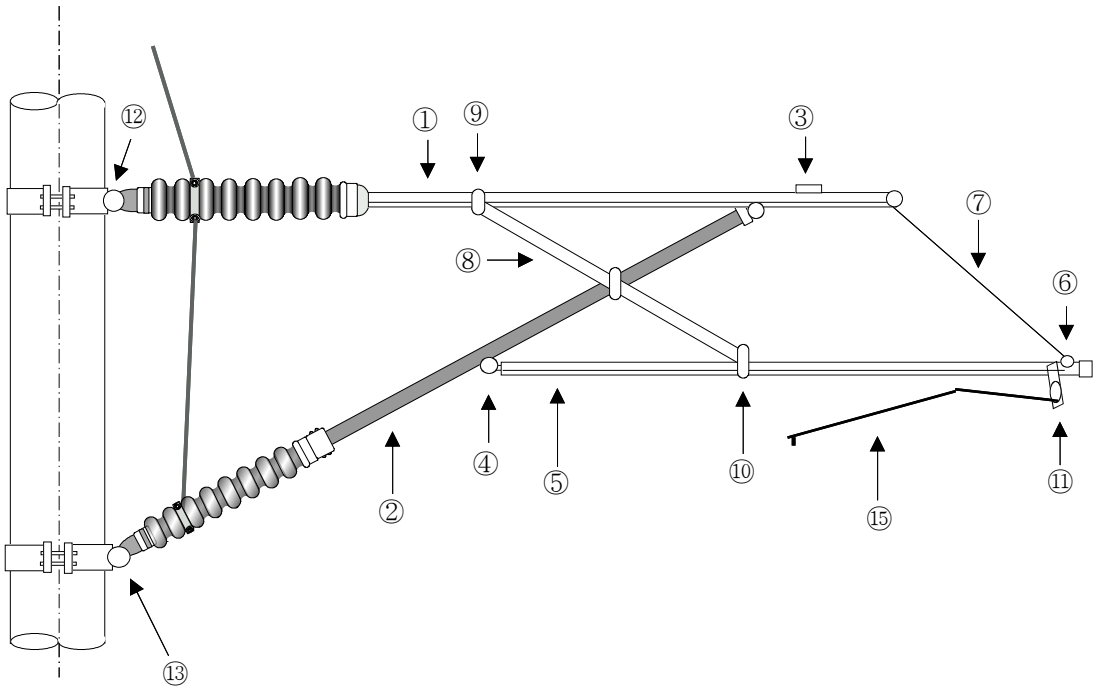


[그림 3-4-12] IC1형 가공 부라켓



[그림 3-4-13] IC2형 가공 부라켓

기호	품 명	기호	품 명	기호	품 명
1	전철용 밴드	13	전철용밴드	25	곡선당김금구
2	가동고리	14	압축터미날	26	연결훅크
3	장간애자 80φ	15	지락동연선	27	회전클립홀더
4	장간애자 60φ	16	아이형클램프	28	연결봉(이어지지용)
5	경사주파이프 55φ	17	훅크불럭	29	전차전용회전클립
6	조가선지지금구	18	진동방지파이프	30	안전캡
7	수평지지선(수평파이프)	19	암지지금구	31	아이형클램프
8	쐐기형클램프1호	20	안전캡	32	니로스타선
9	지지재파이프	21	훅크브럭	33	브라켓드롭버
10	U클램프	22	심블	34	심블
11	강관연결금구	23	안전캡	35	단말압축슬라이브
12	전철용밴드	24	곡선당김금구		



[그림 3-4-14] 수도권 0형 가공 부라켓

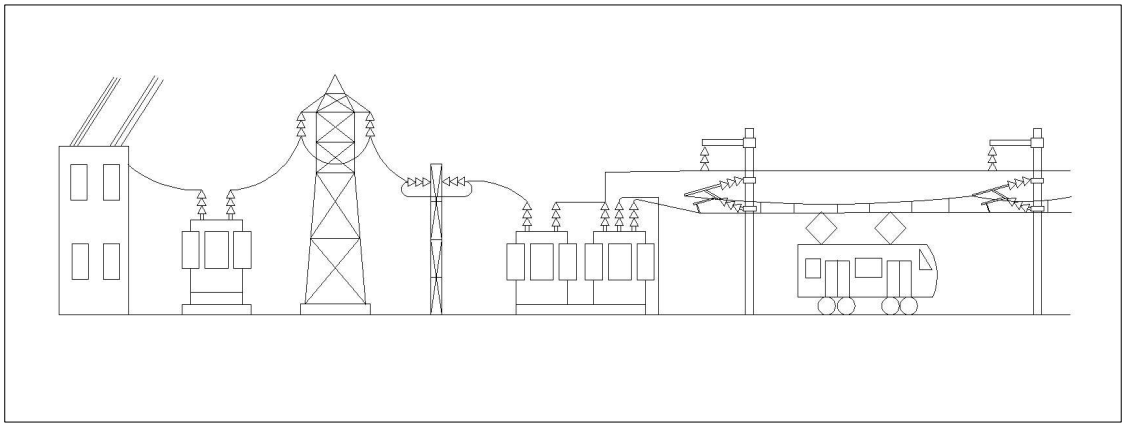
기호	품 명	기호	품 명	기호	품 명
1	수평 주파이프	6	드로퍼 취부금구	11	암지지 금구
2	경사 주파이프	7	드로퍼	12	상부 가동고리
3	조가선 지지금구	8	보강재	13	하부 가동고리
4	진동방지 파이프 취부금구	9	U보울트, 너트	14	곡선당김 로드
5	진동방지 파이프	10	보강재용 U금구	15	곡선당김 금구

나. 전기철도 전차선의 전기적 특성

1) 교류식 급전방식

교류방식은 일반적으로 변전소로부터 수전하는 상용주파수 전기(3Φ) 를 단상변압기 또는 3상/2상 변환장치에 의해 전차선로에 단상교류전기를 공급하여 운전하는 방식으로 세계전기철도의 약 57%가 이 방식을 체택하고 있다.

교류방식의 특징은 대용량 중, 장거리 수송에 유리하며 에너지 이용율이 높고 사고시 선택차단이 용이하며 전식의 우려가 없으나 통신유도 장애에 영향을 미친다.

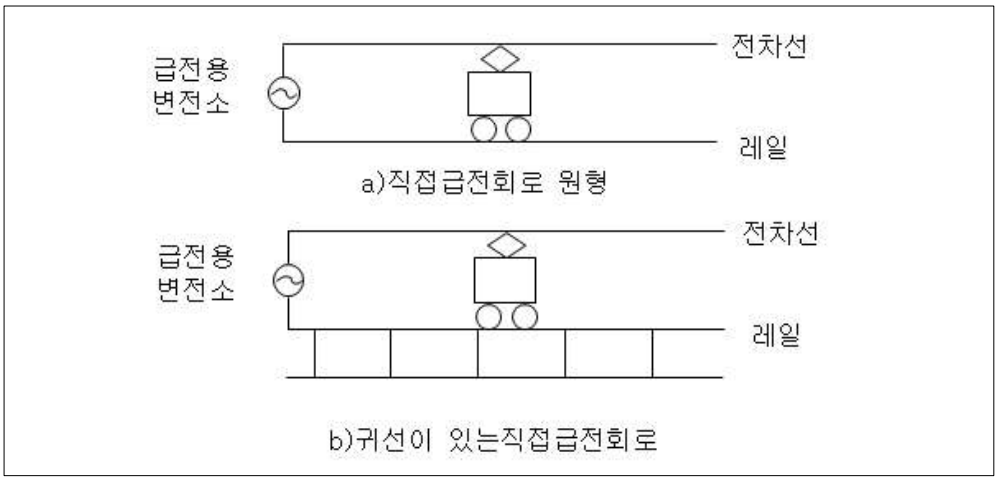


[그림 3-4-15] 교류방식 급전계통

2) 직접 급전방식(Simple Feeding System)

가장 간단한 급전회로로 전차선로 구성은 전차선과 레일면으로 된 것과 레일과 병렬로 별도의 귀선을 설치한 2가지 방식이 있다.

이 방식의 특징은 회로구성이 간단하기 때문에 대단히 경제적이지만 전기차 귀선전류가 레일에 흐르므로 대지누설전류에 의한 통신유도장애가 크고 레일전위가 다른방식에 비해 큰 결점이 있다.

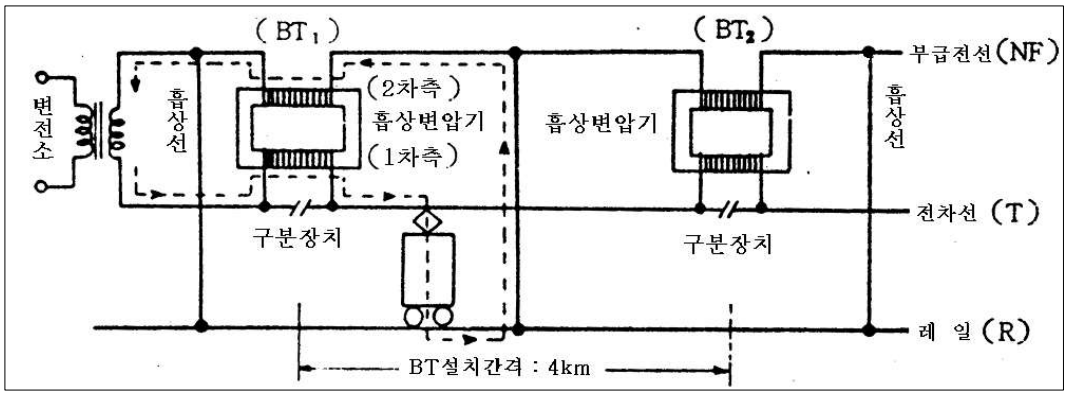


[그림 3-4-16] 직접 급전회로

3) 흡상변압기 급전방식(BT 급전방식)

BT(Booster-Transformer)급전방식은 권선비 1:1의 특수변압기를 약 4㎞마다 설치하여 전차선에 부스타 색숀을 설치하고 BT의 1,2차측을 전차선과 부급전선에 각각 직렬로 접속, BT와 BT사이는 중간점에서 레일과 부급전선을 흡상선으로 접속하여 레일에서 대지에 누설되는 전기차 귀선전류를 BT작용에 의해 강제적으로 부급전선에 흡상시켜 통신선로의 유도장애를 경감하는 방식이다. 여기서 변압기는 전류를 흡상하므로 흡상변압기라 하고 부급전선을 사용하는 방식과 사용하지 않는 2가지 방식이 있다.

한편 급전방식은 통신유도 경감효과가 크지만 부스타색숀 부분에서 부하전류를 차량의 판타그래프에서 개폐하므로 아-크발생으로 부하전류가 크고 속도가 고속화 되면 운전 및 보수상의 문제점이 된다. 변전소 간격은 약 30~40㎞로 설치한다.

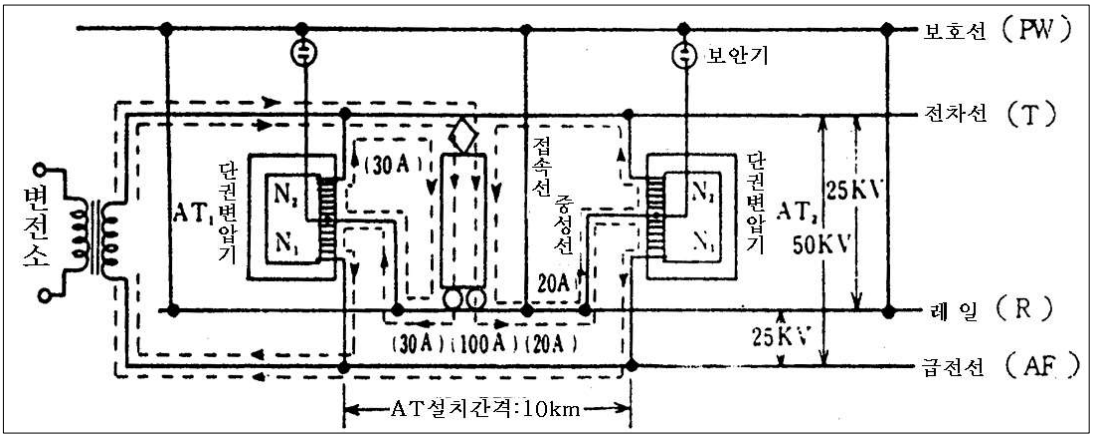


[그림 3-4-17] 흡상변압기 급전방식(전류흐름도)

4) 단권변압기 급전방식(AT 급전방식)

AT(Auto-Transformer)급전방식은 변전소에서 급전선을 선로를 따라 가선하여 이 급전선과 전차선과의 사이에 약 10㎞간격으로 AT를 병렬로 설치 접속하여 변압기 권선의 중성점을 레일에 접속하는 방식 이다.

이 방식은 대용량 열차부하에서도 전압변동, 전압 불평형이 적어 안정된 전력공급이 가능하여 고속전철에도 이방식이 채택되고 있으며 레일에 흐르는 전류는 차량을 중심으로 각각 반대방향의 AT쪽으로 흐르기 때문에 근접 통신선에 대한 유도장애도 적게되는 장점이 있다.



[그림 3-4-18] 단권변압기 급전방식(전류흐름도)

5) 부하의 특성

전철설비의 부하인 전기차는 그 특성상 시동, 정지가 빈번하게 반복되고 큰 견인력으로 주행해야 하므로 대용량의 부하전력이 요구되고 그 크기는 시공간적으로 급변한다.

또한 전차선로는 주로 3상 전력계통으로부터 단상의 전력으로 변환하여 급전하고 있으므로 3상 전원 계통의 각상 전류는 평형을 유지하지 않고 전압의 불평형을 초래 할 수 있다.

이러한 전압불평형은 결과적으로 계통의 전력품질을 저해하여 관련된 다른 설비의 운전에 나쁜 영향을 끼치게 된다.

최근의 전철 구동시스템에는 컨버터와 인버터가 포함되어 있으며 이러한 것은 위상제어 및 펄스 폭 변조방식에 의하여 제어되기 때문에 고조파를

발생시킨다.

최근에 적용되는 전기차는 대부분 회생제동을 채택하는 추세이며 제동에 의해 발생된 회생전력을 전원 측에 공급하고 있다. 따라서 제동성능은 좋으나 전기회로에 고조파를 발생시키는 단점이 있다.

6) 전압의 변동범위

전기차의 구동용 전동기는 주로 직류직권 전동기와 3상 유도전동기가 사용되고 있다. 고속전철에서 주로 사용되는 전동기도 동기식 3상 유도전동기가 사용된다.

이 전동기의 특성은 같은 인장력에 대한 속도는 전압에 비례하기 때문에 전차선 전압이 저하하면 속도가 떨어지고 표정속도를 유지하기 위한 역행시간이 길어지게 되므로 규정된 운전시간을 유지 할 수 없게 된다.

또한 전동기의 특성은 전차선 전압이 어느 정도 저하하여도 출력에는 크게 지장을 주지 않으나 전기차의 주 제어기나 주 회로개폐기 등을 조작하는 제어전압은 어느 한도를 넘으면 급격히 출력이 저하하여 운전불능 상태가 된다.

이 때문에 전기차에 공급하는 전력은 전압의 변동이 적은 양질의 전력이 필요하다. 따라서 우리나라 전차선 전압의 변동범위는 아래와 같이 정하고 있으며 최저전압은 전기차 부하의 변동이 극심한 특성을 감안하여 단시간(30～40초 정도)전압으로 하고 있다.

[표 3-4-4] 전차선 전압의 변동범위

표준전압	전 차 선 전 압				기 타
	최 고	표 준	최 저		
직류 1500V	1650V	1500V	900V	-40%	
교류 25KV	27.5KV	25KV	20KV	-20%	
교류 25KV	30KV	25KV	22.5KV	-10%	고속철도

교류 급전방식은 일반적으로 한 방향 급전방식이므로 전기차 부하를 일정하게 하면 변전소에서 멀어질수록 전압강하가 크게된다.

7) 전차선의 파동전파속도

전기차량의 진행에 따라 팬터그래프의 압상력에 의하여 전차선을 진동, 변형시켜 요동하게 하고 이로 인해 파동은 전차선로를 따라 전파된다. 이를 파동전파 속도라 한다.

팬터그래프(전기차)의 속도가 이 파동 전파속도 이상이 되면 전차선은 강체와 같은 성질을 갖게 되며 접촉력이 비정상적으로 커져 팬터그래프 또는 전차선에 큰 충격을 줄 뿐만 아니라 팬터그래프가 전차선을 이선하거나, 팬터그래프와 전차선이 손상될 수 있다. 따라서 전차선의 파동전파속도는 정상적인 집전이 될 수 있는 최대속도의 기준이 된다. 이 파동전파속도는(C)는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$C=\sqrt{\frac{T}{\rho}} \quad (m/s)$$

[T : 전차선 장력(N), ρ : 전차선의 단위질량(㎏/m)]

C가 클수록 고속에 적합한 전차선로가 되나, 장력을 크게 해야 하고, 질량은 가볍게 해야하는 모순이 발생한다. 위 식에서 알 수 있는 바와 같이 가선의 형태(전차선의 종류)가 정해지면 파동전파속도는 주로 장력에 의해 영향을 받는다.

현재까지 실험이나 사용실적으로 팬터그래프(전기차)의 속도는 파동전파속도의 70%~80 이하에서 안전 집전되고 있는 것으로 나타나고 있다. 또한 전차선의 진동, 변형은 팬터그래프의 사용 수량에 큰 영향을 받는다. 다수의 팬터그래프를 설치하는 것은 고속주행에서 연속으로 팬터그래프가 지나감에 따라 뒤이어 오는 팬터그래프의 집전율을 저하시키게 된다.

이는 앞서 지나간 팬터그래프에 의한 가선의 진동, 요동 상태가 뒤이어 오는 모든 팬터그래프의 초기 상태가 되며 진동 및 변형을 더욱 크게 하

기 때문이다. 따라서 1개 열차의 편성에 팬터그래프 수는 1조 일때가 가장 적합하다.

부득이 복수의 팬터그래프를 사용하여야 할 때는 그 간격을 크게 하는 것이 유리하나 1개 열차의 편성의 길이에도 한계가 있다. 여러 나라의 파동전파 속도는 아래 [표 3-4-5]와 같다.

[표 3-4-5] 파동전파속도 비교표

선 종 / 가선별		전차선	최대 정상 집전속도 (전차선 C의 70%)
심플커티너리 (한국수도권)	무게(㎏/m)	0.988	240(㎞/h)
	장력(kN)	9.0	
	C(㎞/h)	344	
헤비심플커티너리 (한국수도권)	무게(㎏/m)	1.511	240(㎞/h)
	장력(kN)	12.7	
	C(㎞/h)	330	
한 국 고속철도	무게(㎏/m)	1.334	309(㎞/h)
	장력(kN)	20.0	
	C(㎞/h)	441	

8) 전차선과 팬터그래프의 상호작용

커티너리(catenary)계와 팬터그래프(pantograph)계는 독립적인 두 구조물이지만 서로 접촉하여 이동함으로써 상호 영향을 받는 연계된 계로서, 계를 해석하기 위해서는 정성적, 정량적으로 다음 문제들이 고려되어야 한다.

- Catenary 시스템은 복합구조를 가진 길이 방향으로 길게 펼쳐진 연속계(continuous system)이다.
- pantograph는 다단구조를 가진 다자유도계(multiple degree of freedom system)이다.

○ 두 계가 상호 접촉하면서 이동하므로 이동하중(moving load)의 문제이며, 비접촉이 유발될 수 있고, 마찰력이 존재하며, 주행시 공기흐름에 의한 팬터그래프의 양력(lift force)이 존재하는 비선형성의 문제이다.

○ 또한 팬터그래프가 지지되어 있는 차체가 상하(rolling), 좌우(yawing)로 난진동(random vibration)하는 점도 고려되어야 할 문제이다.

○ 다수의 팬터그래프가 동시에 집전하면서 주행하는 경우 앞단의 팬터그래프 주행에 따른 잔류진동이 뒤따라오는 팬터그래프의 접촉에 영향을 준다.

○ Catenary는 일정구간만 같은 장력을 받는 선으로 되어있고 그 이후에는 별개의 장력구간을 이루며, 장력구간이 바뀌는 곳에서는 두 장력구간이 겹치도록(overlap)되어있다. 따라서 겹치는 구간에서는 팬터그래프가 새로운 전차선로와 충격적으로 만나게 된다.

○ 최적의 설계변수 도출을 위한 최적화(optimization) 문제도 설계단계에서 고려되어야 한다. 예를 들면, 접촉력의 경우 집전용량과 이선방지를 위해서는 높이는 것이 좋으나 마모를 고려하면 낮추어야 하며, 팬터그래프의 형상 설계시 양력과 소음, 추적특성 등을 고려하여 최적의 설계변수를 결정해야 한다.

[표 3-4-6] 팬터그래프의 압상력 표

곡선반경(m)	운전최고속도(km/h)	압상력 K (N)
4000	260	160
2000	180	114
1000	135	95
750	115	88
500	100	84
400	90	81
열차정지상태	0	70

[표 3-4-7] 전기철도 전차선 제원

구 분		경부고속철도	일반철도
전차선전압		교류 단상 25KV 60Hz	교류 단상 25KV 60Hz
가선방식		심플커티너리	심플커티너리
전주형별		H 형 강 주	H 형 강 주
전주경간(가고)		63m	60 ~ 20m
전주건식게이지		2.35m(궤도외측)	3.0m
전차선 (장력)		CU 150㎟ (2.0)	CU110,170㎟ (2.0, 3.0)
조가선 및 장력		Bz65㎟ (1.4)	Cdcu 70㎟, 80㎟
장력방식(활차)		개별자동(5:1)	일괄자동(4:1,3:1)
조가선방식		드로퍼 Bz 12㎟	행거,드로퍼 (Fe,CdCU)
절연구분장치		이중 OVERLAP	FRP 절연체방식
전차선높이		5.08m	5.20m(4.8)
전차선편위		좌우 200mm	좌우 200mm
최대인류구간		1,200(1,500)m	1,600m
가 고		1,400mm	960mm
이도(pre-sag)		경간/2,000	-
운전최고속도		300km/h	110km/h
변전소간격		50 ~ 70㎞	20 ~ 70㎞
주변압기	형 식	SCOTT	SCOTT
	용 량	90/120MVA×2	33MVA×2
급전방식		AT(단권변압기)	AT, BT
급전구분		방면별	방면별
개폐차단장치		GIS	GIS, 일부GCB

다. 비 접촉식 신호결합기 취부

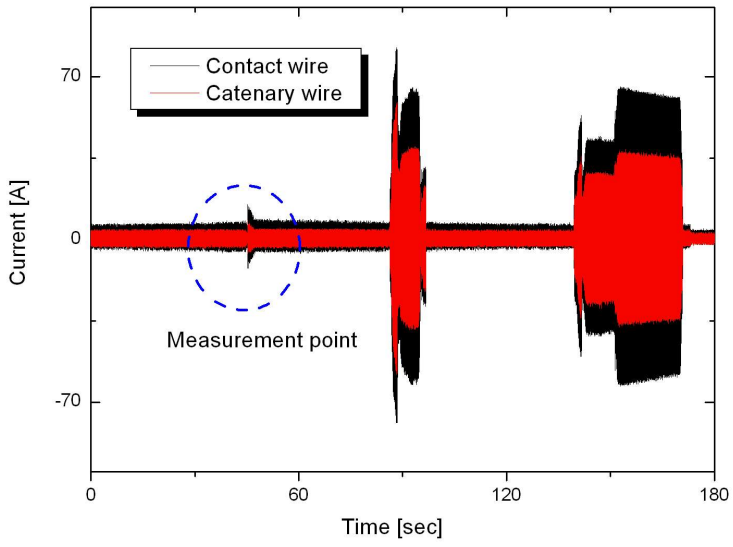
1) 전차선과 팬터그래프

전기철도의 전차선은 판토그라프와 접촉을 통하여 전기차량에 전기를 공급하게 된다. 따라서 전차선의 외부에는 판토그라프와 접촉(간섭)될 수 있는 시설물의 설치가 불가능하다.

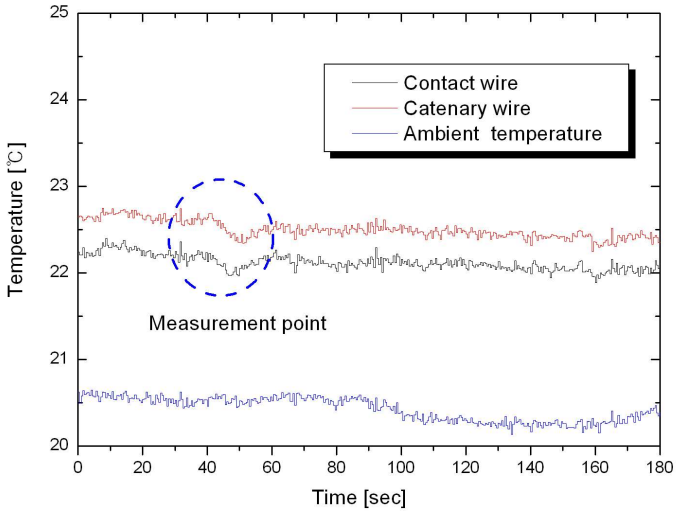
앞에서 언급한바와 같이 전차선의 기본 구성요소에는 전차선의 장력 및 수평도를 유지하는 조가선이 하나의 조합으로 이루어 지므로써 본 연구 목적의 비 접촉식 신호결합기를 조간선을 이용하여 설치하는 것이 용이하다.

2) 전차선과 조가선의 전류 특성

선행 연구에 따르면 전차선과 조가선의 전류비는 약 3:7 혹은 6:4의 비율로 파악된다.



[그림 3-4-19] 호남선 함평-무안간 KTX 운행 중
전차선· 조가선 전류 측정결과 (08:40)



[그림 3-4-20] 호남선 함평-무안간 KTX 운행 중 전차선·조가선·외부온도 측정결과

3) 조가선 결합기 취부를 위한 절연 요구사항

전기철도 조가선에 비 접촉식 신호결합기를 취부할 경우 1차적으로 절연이 이루어져야 한다.

25kv 교류전압이 인가되는 전차선의 안전 등급의 절연을 구현하는 기준은 전차선을 구성하는 애자와 동일한 등급이 적용 되어야 한다.

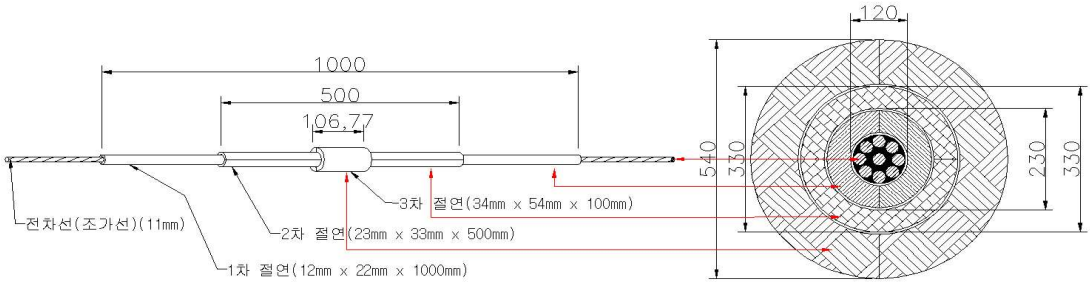
[표 3-4-8] 코레일 전차선 애자 절연등급표

시험항목		단위	ANCI C29.13 DS-46기준 (46kV급)	자기제현수 (250Φx4련)	플리머현수 A형(46kV급)	플리머현수 B형(46kV급)	비고
연결길이		mm	590±50	584	584	684	
절연길이		mm	-	-	390	490	
갓 크기		mm	-	Φ254	Φ254/Φ180	Φ254/Φ180	
누설거리		mm	900이상	1,120	1,270	1,370	
전기적성능	건조섬락전압	kv	180	245	210	235	
	주수설	kv	145	187	165	207	

	락전압						
	50%충격섬락전압	kv	280	390	380	410	
기계적 성능	인장파괴하중	kv	-	139	106	108	
	인장내하중(1분)	kv	-	58	40	40	
	비틀림내하중	N·m	-	-	90	90	

4) 조가선의 절연체 클램프 방식 취부

조가선의 절단없이 절연체를 취부하기 위하여 원통형 절연체를 절개하여 클램프 방식으로 접속한다.



[그림 3-4-21] 조가선 절연체 취부 개념도

5) 클램프 방식 절연체제작

절연등급이 뛰어난 Epoxy Glass를 25kv내압을 고려한 21mm 두께의 Tube로 제작하였다.

[표 3-4-9] Epoxy Glass 성능표

사용재료		절연저항 (M)	굴절강도 (kg/mm)	충격강도 (Kg/cm)	내역도 (℃)	Breakdown Voltage (KV/mm)
재료	수지					
그라스 Glass	Epoxy	$5x10^4$ 이상	25	28	110~140	15

종류 / 사양	MTR-ICU H Series							MTR-ICU L Series	
	ICU-H10	ICU-H16	ICU-H28	ICU-H45	ICU-H52	ICU-H58	ICU-H98	ICU-L58	ICU-L98
Applications	Low Voltage			Medium Voltage				Medium Voltage	
Dimension I.D.×O.D.×H (㎜)	10×70×85	16×58×58	28×70×68	45×93×83	52×98×100	58×105×105	98×145×62	58×105×160	98×145×62
Weight (kg)	0.7	0.45	0.7	1.5	1.7	2.0	1.8	2.5	1.8
Max. Current (A)	50	50	100	200	250	300	100	300	100
Frequency	2 ~ 30 MHz							90 ~ 450 kHz	
Insertion loss (dB)	-4 ±2							-7 ±2	
Connector	TNC	BNC							
Operating Temp.	- 40 ~ + 80 ℃								
Caution	Use only on insulated cable								



[그림 3-4-22] 클램프 방식 절연체제작 사진

6) 클램프 방식 절연체 설치 시험

코레일 인재개발원 내의 시험선을 대상으로 절연체 취부 시험을 실시하였다.

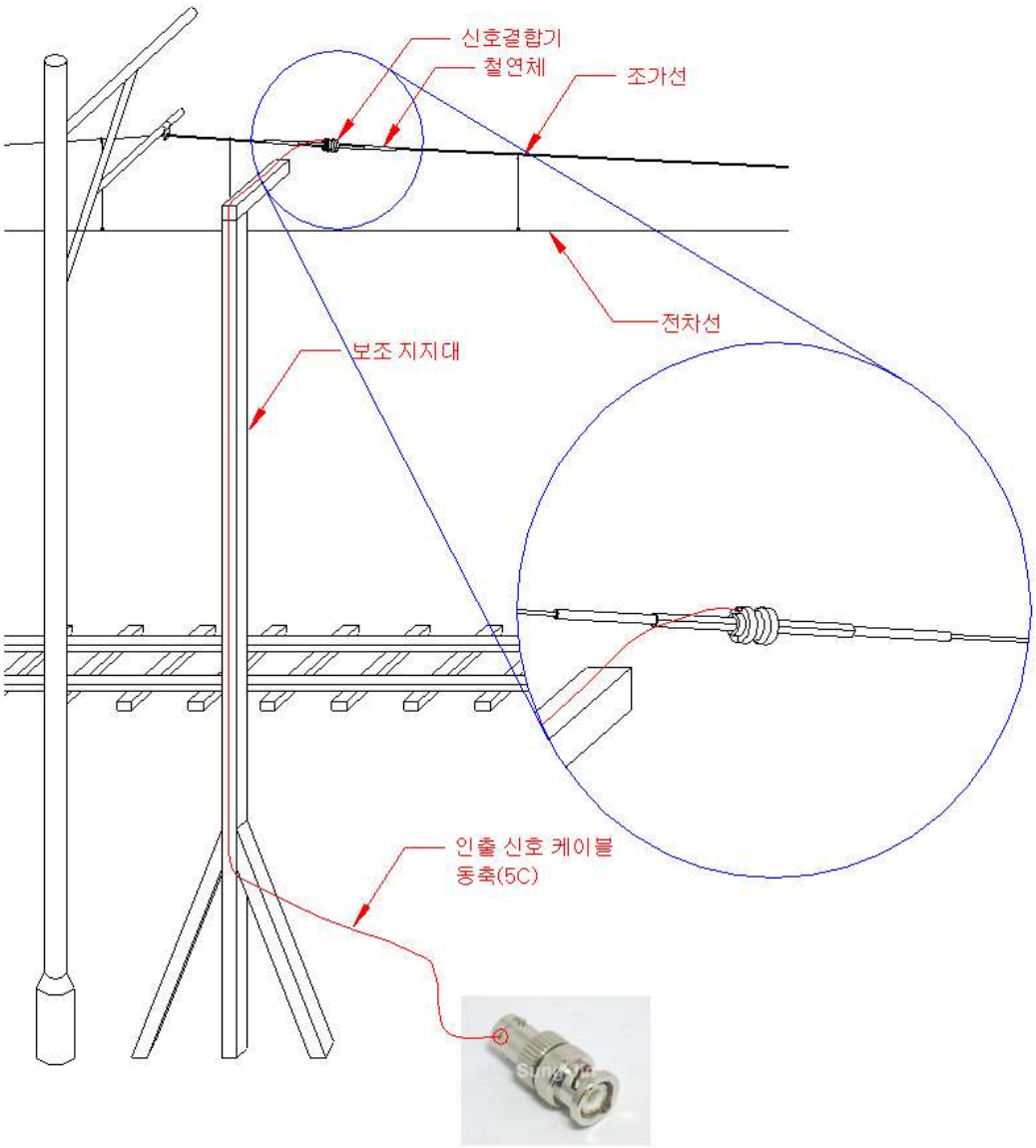


[그림 3-4-23] 코레일 인재개발원내 전차선 시험선 시험위치



[그림 3-4-24] 클램프 방식 절연체 설치 시험

Epoxy Glass를 Tube로 제작한 클램프형 절연체는 취부의 용이성이 뛰어나지만 주수 절연내력에 취약하여 건조(실내)용으로 적합하여 본 연구의 활선 시험에는 적용하지 않았다.



[그림 3-4-25] 클램프 방식 절연체 개념도

7) 애자형 절연체 취부 방법

전차선(조가선)을 이용해 전력선 통신을 수행하기 위하여 신호결합기의 설치가 용이하여야 된다.

전기철도에서 운영중인 전차선에 제어장치를 설치, 운영하는 것이 매우 어렵고 많은 위험이 따르게 된다. 따라서 쉽고 안전하게 전기철도를 PLC를 구현하는 신호결합기 설치 및 취부할 수 있는 애자형 절연체를 제작하여 전기철도 전차선의 문제를 해결하였다.

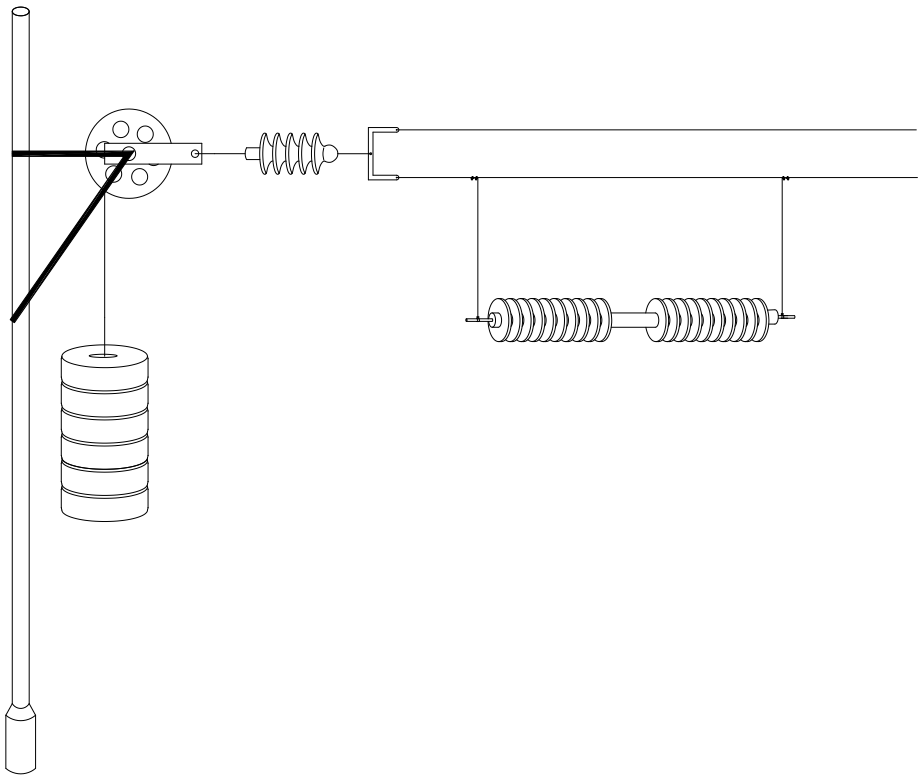
- 첫번째, 이미 운영중인 전차선의 단선없이 신호결합기를 설치하기 위한 비접촉식 신호결합기의 설치방법
- 두번째, 비접촉식 신호결합기를 설치할 경우 전차선 및 조가선과 신호결합기간의 절연 문제.
- 세번째, 설치 후 운영 및 유지보수를 위한 접근성 및 용이성

고압(AC25KV)을 전송하는 전차선에 PLC가 접근하기 위해서는 반듯이 고압용 신호결합기를 경유하여야 하므로 이와 같은 문제로 인하여 운영기관의 부담을 해소하고 PLC를 전기철도 전차선에 구현(실용화)이 용이하게 된다.

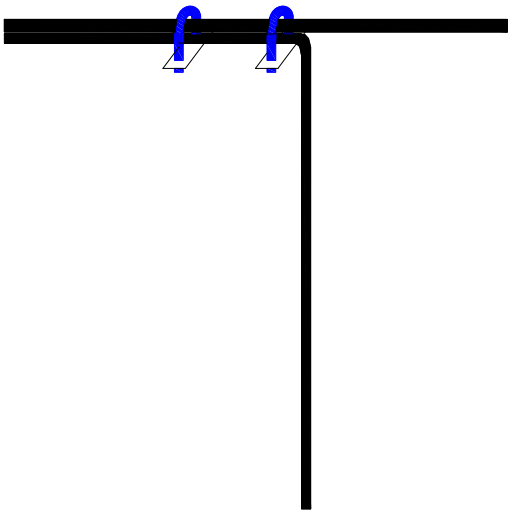
이와 같은 절연체를 운영중인 전차선 또는 조가선에 취부 하는 것은 외형적 크기와 무게에 따르는 제한을 받게 된다.

일반 절연체 및 상기와 같이 제작된 절연체를 전기철도가 운행하는 본선 Line에 직접 취부할 경우 전차선은 이동하는 전기차량의 집전체(판토그라프)의 접촉으로 인하여 설치가 불가능하며, 전차선의 수평유지를 주 기능으로 하는 조가선을 이용하여 하나 절대 길이 500이상의 20Kg 이상 하중이 많이 나가는 절연체를 단선 없이 조가선에 취부 하기에 업무량도 많을 뿐더러 전기철도 운영에도 영향을 미칠 수 있다.

따라서 PLC통신의 기술적 전파특성을 고려할 경우 물리적 도체를 매개체로 하고 있으므로 활선의 본선 Line에 직접 취부 하지 않고 전차선의 종단이 되는 [그림 3-4-26]와 같이 장력장치 전단에 취부 하는 것이 매우 용이하다.

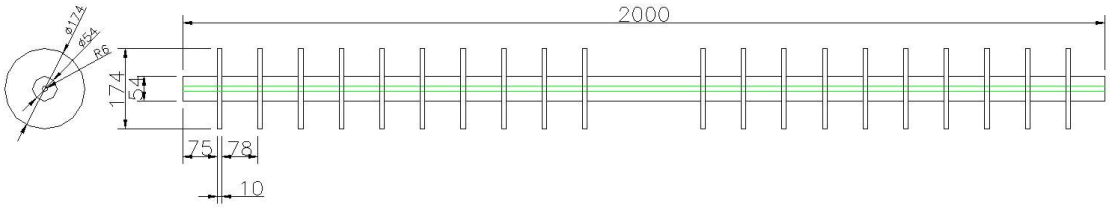


[그림 3-4-26] 장력장치 전단부 절연체 설치 개념도

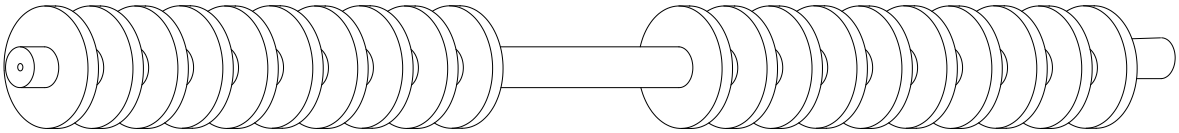


[그림 3-4-27] 절연체 활선 결선도

8) 애자형 절연체 제작



[그림 3-4-28] 애자형 절연체 제작도



[그림 3-4-29] 애자형 절연체 제작 개념도

애자형 절연체는 코레일 전차선 애자 절연기준을 충족할 수 있도록 절연 누설거리 및 절연 내력을 충분히 여유를 두어 제작 하였다.

[표 3-4-10] 전차선 애자등급 요약표

연결길이 (㎜)	누설길이 (㎜)	건조섬락 (KV)	주수섬락 (KV)	50%충격섬락 (KV)
590±50	900이상	180	145	280

[표 3-4-11] 애자형 절연체 자작 제원

연결길이 (㎜)	누설길이 (㎜)	건조섬락 (KV)	주수섬락 (KV)	50%충격섬락 (KV)
900	2000	185	165	300





[그림 3-4-30] 애자형 절연체 제작 과정



[그림 3-4-31] 애자형 절연체 제작 완료

라. 전기철도 조가선용 비접촉식 신호결합기 제작

전차선용 비접촉식 커플러는 최대 800 A의 전류가 유입되는 전력선에서도 안정적인 신호 송수신이 이루어지도록 해야 하므로 비접촉식 커플러에 내장되는 자심재료는 대전류에서 자기 포화되지 않아야 하고, 낮은 손실특성으로 통신 주파수에서 안정적인 전자기적 특성을 발휘해야 하는 등의 특성이 만족되어야 한다.

즉 자심재료는 대전류에 의해 포화되어 자기적 특성을 상실하므로 최대 자속 밀도(Bm)가 높고 히스테리시스 곡선(Hysteresis Curve)의 기울기가 낮은 자심재료를 사용해야 한다. 그리고 자심재료는 수 십 MHz의 고주파에서 발생하는 코어손실(Core loss)이 작아야 하는데 이를 위해서는 비저항(Resistivity)이 높은 재료가 사용되어야 한다. 그리고 자심재료의 공진주파수 이상의 주파수에서는 자심재료의 기능을 상실하여 커플러가 통신능력을 급격하게 저하시킬 수 있으므로, 공진주파수가 통신 주파수 대역 이후에 위치할 수 있도록 자심재료의 형상 설계가 이루어져야 한다. 이러한 특성들은 재료에 따라 서로 상반관계에 있기 때문에 요구되는 사양에 따라 적절한 제어가 필요하다.

따라서 본 장에서는 비정질 합금을 이용하여 높은 투자율과 자속밀도 그리고 낮은 자기손실을 가지면, 우수한 전류특성을 가지는 자심재료를 제조하기 위한 열처리 공정기술을 확립하고자 하였다.

1) 실험방법

a. 열처리 방법

비정질 합금에 있어서 열처리는 내부응력 제거, 결정화 거동 및 자기특성 향상 등에 상당히 중요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 비정질 합금의 열처리 온도에 따른 미세구조 변화 및 자기적 특성 등의 변화를 알기 위해, as-quenched상태의 합금을 winding장비와 spot welding장비를 이용하여, 외경 17 mmϕ인 구리 보빈(bobbin)에 적정 길이로 감은 toroid형 시료와 strip형 시료로 준비하여 Ar 분위기 중에서 열처리 하였다. 각 조성의 최적의 열처리 조건을 알기 위해 300 ~ 600 ℃사이의 온도 범위를 50 ℃ 간격으로, 승온 속도를 10 ℃/min으로 하여, 1시간 동안 등온 열처리 하였다. 각각의 온도에서 열처리한 후, 로냉하였다.

이 때, 전 조성을 as-quenched상태에서 보빈에 감은 후, 열처리한 이유는 열처리를 행한 후에 보빈에 감아서 toroid형 시료를 만들면, 합금이 응력을 받아 자기적 특성이 열화될 우려가 있을 뿐만 아니라, 구조완화 및 결정화로 인하여 재료가 대단히 취약해져 toroid core제조에 어려움이 있기 때문이다.

b. XRD 분석 및 DSC 분석 실험

액체 급냉법으로 제조된 각 조성의 합금에 대해 비정질 형성 여부, 열처리 온도에 따른 구조변화 및 상변태 등을 위해서 XRD 분석 실험을 하였다. 이때 회절 분석에 사용된 X-선 회절장치는 Phillips PW 1830모델이며, 측정 조건은 Ni-filtered CuKα radiation, 주사속도는 3o/min, 2Θ는 35o ~ 90o이였다.

또한, 제조된 각 조성의 비정질 합금의 결정화 거동 및 열적 안정성을 알기 위하여, 시차주사열량측정(DSC-DTA) 실험을 하였다. 시편을 약 10 mm2 크기로 잘게 자른 후, 10 mg정도로 준비하여 Al cell에 넣고, 10 ℃/min의 승온속도로 630 ℃까지 가열한 후, 냉각하였으며, 질소 분위기에서 실험을 행하였다.

c. 자기특성 측정(자속밀도(Flux density, T))

자속밀도는 교류 자기이력곡선 분석기(B-H analyzer, IWATSU SY-8232)를 이용하여 측정하였으며, 1차 및 2차 권선을 각각 5회 권선하고 열적 손실에 의한 오차율을 제거하기 위해 냉각수 내에 시료를 장입한 상태에서 측정하였다. 비정질 합금의 조성 및 열처리 온도에 따른 시료를 각각 측정하였다.

d. 자기특성 측정(초투자율(Initial permeability, μi))

자심재료의 연자기 특성 중 가장 중요한 교류 자기특성인 초투자율(Initial permeability, μi)은 비정질 합금을 toroid형으로 권취한 후 인덕턴스를 측정하여 식 (1-1)을 이용하여 계산할 수 있는데, 주파수에 따른 인덕턴스 값은 Impedance analyzer(HP4294A)를 이용하여 측정하였다.

$$\mu_i = \frac{L \cdot l_e}{4\pi \cdot N^2 \cdot A_e} \times 10^9 \qquad \text{(식 1-1)}$$

L : Inductance(H) N : Nmber of coil turns

l_e : Average length of magnetic path in the core(cm)

A_e: Cross section area of toroidal core(cm^2)

e. 자기특성 측정(코어 손실(Core loss, kW/m3))

코어 손실은 toroid형의 코어를 교류 자기이력곡선 분석기(B-H analyzer, IWATSU SY-8232)를 이용하여 측정하였으며, 1차 및 2차 권선을 각각 5회 권선하고 열적 손실에 의한 오차율을 제거하기 위해 냉각수 내에 시료를 장입한 상태에서 측정하였다. 측정 주파수 60 Hz ~ 1 MHz 까지 측정 가능한 전범위이며, 자속량은 0.2 T로 고정하여 측정하였다. 그리고 비정질 합금의 조성 및 열처리 온도에 따른 시료를 각각 측정하였다.

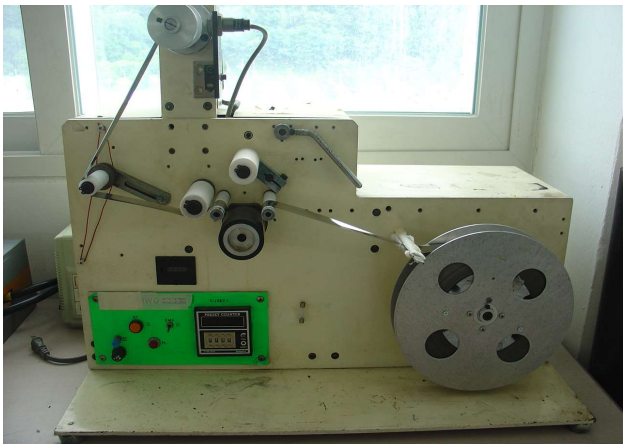
2) 고성능 비정질 자심재료의 제조공정 연구

a. 비정질 합금의 권취

비정질 합금을 비접촉식 커플러용 자심재료로의 응용성을 평가하기 위해서는 toroid형의 코어로 제작하여, 투자율, 자속밀도, 전력손실 등의 전자기적 특성과 비저항, 밀도 등의 물리적 특성에 대한 평가가 이루어져야 한다. 이를 위해서는 우선적으로 권취된 비정질 코어의 열처리 기술이 확립되어야 하는데, 샘플의 준비를 위해 5 ~ 10회 정도의 권선이 이루어질 수 있고, 이들 코어를 이용한 비접촉식 커플러의 제조를 통한 신호전송특성(S21)을 평가하고자 전차선의 외경과 절연체의 외경을 기준으로 toroid형 코어를 제작하였다. 비정질 합금은 일정한 직경을 가지는 지그 외부에 연속적으로 감겨지는데, 합금이 차지하는 점적율이 90% 이상이 되도록 권취기의 장력을 조절하였다. 비정질 합금의 권취에 사용된 자동 권취기의 사진과 권취된 코어의 사진을 [그림 3-4-32]과 [그림 3-4-33]에 각각 나타내었다.

권취된 비정질 코어는 튜브로에서 300 ~ 600 ℃의 온도 범위에서 약 1 시

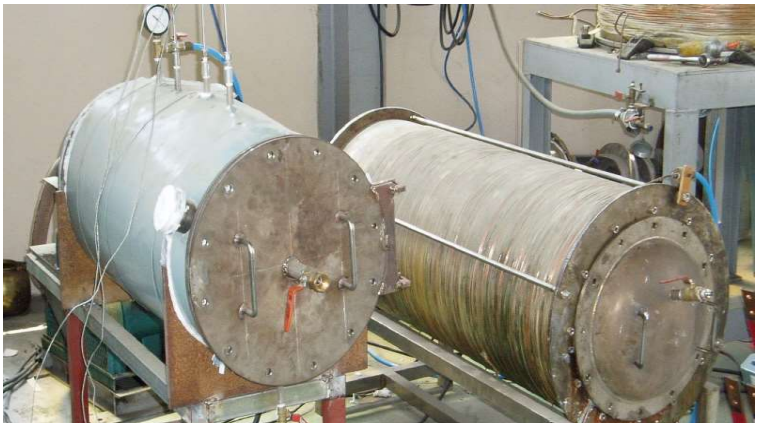
간동안 열처리되는데, 열처리에 사용된 튜브로를 [그림 3-4-34]에 나타내었다.



[그림 3-4-32] 비정질 합금 자동 권취기



[그림 3-4-33] 다양한 크기로 제조된 권취용 지그와 제조된 비정질 코어



[그림 3-4-34] 비정질 코어의 열처리에 이용된 분위기 로

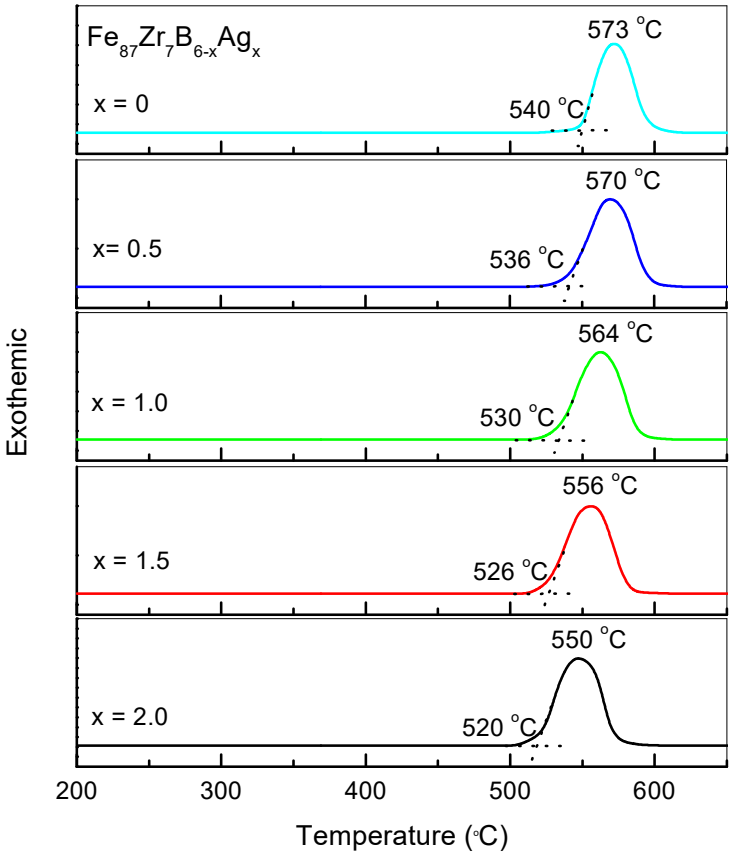
b. 열처리 공정기술 개발

[그림 3-4-35]는 Fe87Zr7B6-xAgx (x=0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 at%) 비정질 합금의 200 ~ 630 ℃까지의 열처리 온도에 따른 결정화 거동을 관찰하기 위해 측정한 DSC(시차주사열량계, Differential scanning calorimetry) 분석결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 비정질 합금의 DSC 곡선에서 나타나는 발열 피크는 주로 비정질 상으로부터 결정질 상으로 상변태(phase transition)하면서 생기는 것으로, 이러한 피크(peak)가 나타나는 양상으로부터 결정화 거동을 알 수 있는데, 본 연구에서 실시한 소량의 Ag 첨가가 결정화 거동에 미치는 영향을 알 수 있다.

[그림 3-4-35]에서 알 수 있듯이 630 ℃까지는 하나의 발열 피크만 나타났고, 기본조성인 Fe87Zr7B6 비정질 합금의 결정화 온도(crystallization temperature, Tx)는 540 ℃, 최대반응속도 온도(maximum reaction rate temperature, Tp)는 573 ℃이지만, Ag의 첨가량이 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 at%로 증가함에 따라 Tx 각각 536 ℃, 530 ℃, 526 ℃, 520 ℃로, Tp는 각각 570 ℃, 564 ℃, 556 ℃, 550 ℃로 점차 감소되고 있음을 알 수 있다. 즉, Ag의 첨가량이 증가함에 따라 결정화가 촉진됨을 알 수 있다. 기존의 연구에서 Suzuki 등은 Fe93-xZr7Bx계 비정질 합금에서 반금속 원자인 B의 첨가량이 감소하면 구성원소의 결합력 감소함에 의해 Tx가 감소한다고 보고되어 있는데, 본 연구에서는 기본조성인 Fe87Zr7B6 비정질 합금의 Tx는 540 ℃이지만, Ag가 2.0 at% 첨가된 Fe87Zr7B4Ag2 비정질 합금의 Tx는 520 ℃로 약 20 ℃정도 저온 측으로 이동하였다. 이것은 반금속 B의 감소로 인한 결합력 감소효과보다 Ag의 첨

가효과가 더욱 지배적임을 의미하며, Fe와 비고용 원소인 Ag의 첨가시킴으로써 열처리 시 급냉에 의해 강제 고용된 두 원소간의 상분리 경향에 의하여 반발력이 증가함에 따라 Fe의 석출이 촉진되었다고 생각된다. 그러므로 본 연구에서 Ag의 소량 첨가는 Fe-Zr-B계 비정질 합금의 결정화 거동에 큰 영향을 미침을 알 수 있었고, [표 3-4-12]에 각 조성에서의 Ag첨가량에 따른 Tx와 Tp의 변화를 나타내었다.

[그림 3-4-36] ~ [그림 3-4-40]은 Fe87Zr7B6-XAgx(x=0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 at%) 조성의 비정질 합금의 열처리온도에 따른 결정 형성 여부를 확인하기 위해 XRD 분석을 행한 결과를 나타낸 것으로서 as-quenched 상태를 포함하여 200 ~ 600 ℃까지 100 ℃ 단위로 분석한 것이다.



[그림 3-4-35] Fe87Zr7B6-xAgx (x = 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 at%) 비정질 합금의 시차주사열량계(DSC) 분석결과

[표 3-4-12] Fe87Zr7B6-xAgx 비정질 합금의 결정화 온도와 최대 반응온도

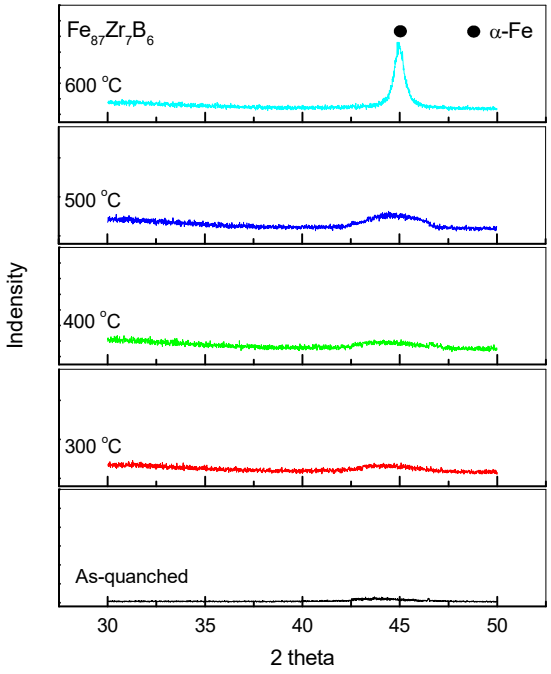
Item / Composition(at%)	T_x (℃)	T_p (℃)
$Fe_{87}Zr_7B_6$	540	573
$Fe_{87}Zr_7B_{5.5}Ag_{0.5}$	536	570
$Fe_{87}Zr_7B_{5.0}Ag_{1.0}$	530	564
$Fe_{87}Zr_7B_{4.5}Ag_{1.5}$	526	556
$Fe_{87}Zr_7B_{4.0}Ag_{2.0}$	520	550

As-quenched 상태와 300 ℃ 및 400 ℃에서 열처리할 경우, 전체적으로 38o와 44o에서 broad한 halo 피크만 나타났을 뿐 결정상의 피크는 나타지 않음에 따라 제조된 모든 조성의 합금은 비정질 상태임을 알 수 있다. 하지만 온도 증가에 따라 halo 피크의 크기가 감소함에 의해 matrix의 비정질 상이 감소함을 알 수 있으며, 이는 구조 완화 및 미세한 cluster가 형성되어 있음을 의미한다. 한편, [그림 3-4-35]의 DSC 곡선에서는 500 ℃와 600 ℃사이에서 하나의 발열 피크가 나타났는데, 이는 결정화에 의해 어떤 결정상이 석출됨을 의미하므로 이 석출된 결정상을 분석하기 위하여 500 ℃와 600 ℃에서 1시간 열처리한 시편으로 XRD 분석 실험을 행하였다.

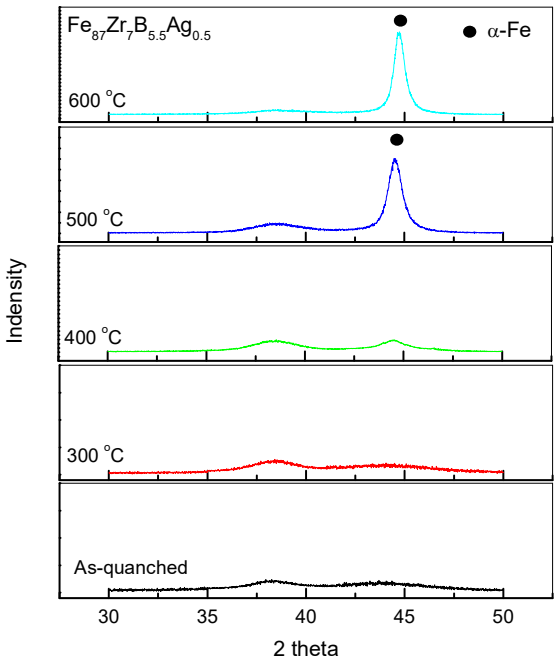
500 ℃에서 1시간 열처리한 XRD 피크를 관찰하면, Fe87Zr7B6 비정질 합금은 아직 비정질 상태로 남아 있지만, Ag가 첨가된 합금에서는 44o에서 broad한 halo 피크가 결정상의 피크로 바뀌었다. 이를 분석한 결과 bcc α-Fe의 (110)면 피크임을 알 수 있었다. 또한 Ag첨가량이 증가함에 따라 α-Fe의 석출량이 증가함을 알 수 있다. 이는 앞의 DSC 결과와 잘 일치한다. 한편 38o와 부근에서 broad한 halo 피크가 결정화가 시작되고 있음을 알 수 있다.

그리고 600 ℃에서 열처리한 시편의 XRD 피크를 관찰하면, Fe87Zr7B6-XAgx (x=0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 at%) 조성의 모든 비정질 합금 결정화가 일어났음을 알 수 있고, α-Fe 이외에 Fe3Zr 결정이 석출됨을 알 수 있다. 또한, Scherrer의 식을 이용하여 결정립의 크기를 계산한 결과, 결정립의 크기는 약 25 ~ 50 nm정도로 전 조성에서 결정립이 상당히 성장하였음을 알 수 있다. 또한 격자상수는 모든 조성에서 대략 0.287 ~ 0.288 nm정도로 순수한 bcc α-Fe의 격자상수(0.28664 nm)보다 조금 컸으며, 이는 생성된 α-Fe 결정상은 순수한 것이 아니라, Zr나 B를 소량 함유한 고용체임을 의미한다. 또한 α-Fe 석출상은 (110), (211), (200)피크만 나타났고, Fe3Zr 상이 동시에 석출됨을 알 수 있다.

그러므로, 본 연구에서 제조한 모든 조성의 비정질 합금은 as-quenched상태에서 열처리 온도 600 ℃까지는 단상의 비정질상, 비정질상 + α-Fe 결정상, 비정질상 + α-Fe + Fe3Zr 결정상의 복합상과 소량의 Zr나 B을 고용한 α-Fe 결정상이 존재함을 알 수 있다.

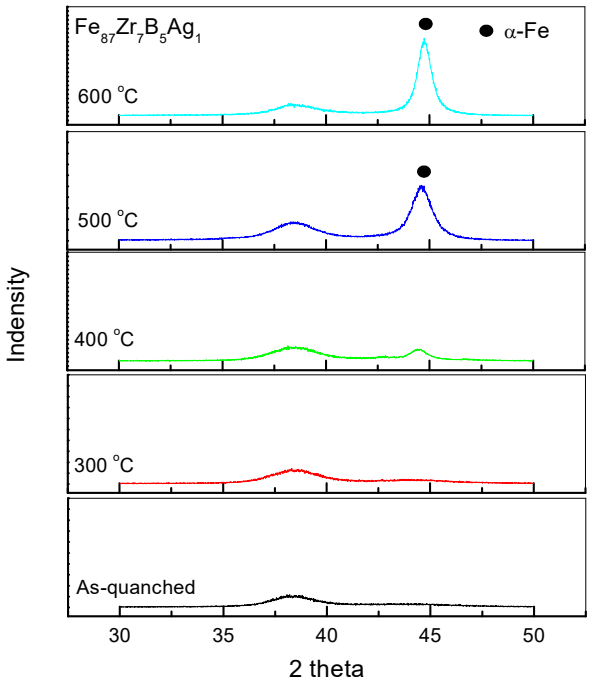


[그림 3-4-36] Fe87Zr7B6 비정질 합금의 온도에 따른 X-선 회절분석 결과

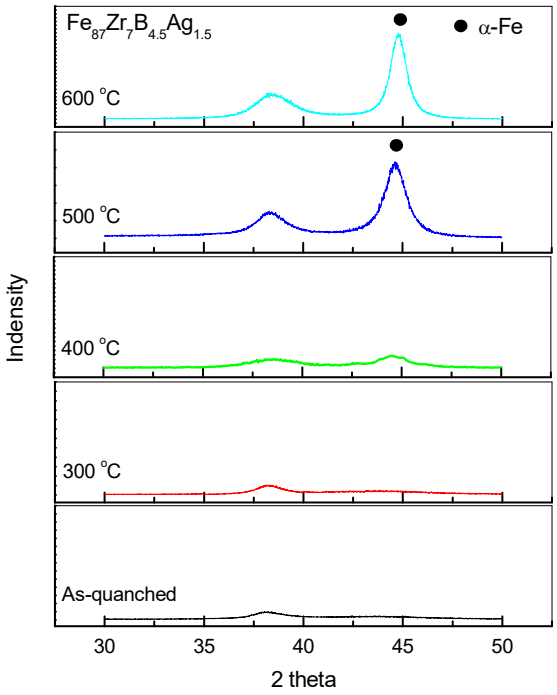


[그림 3-4-37] Fe87Zr7B5.5Ag0.5 비정질 합금의 온도에 따른 X-선 회절분석

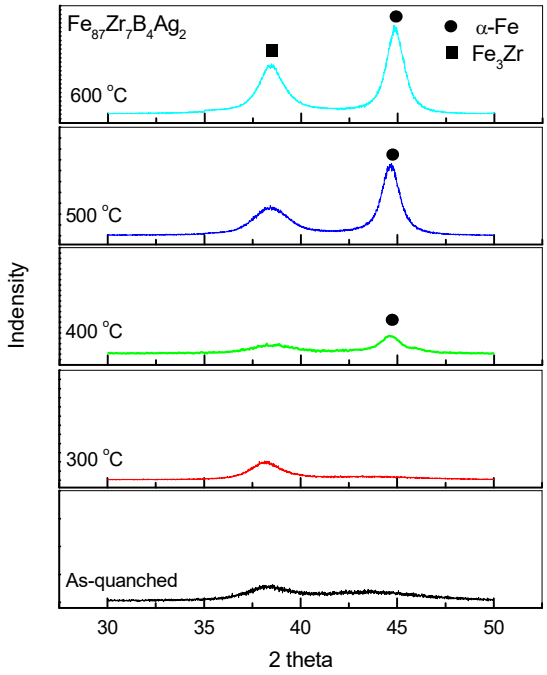
결과



[그림 3-4-38] Fe87Zr7B5Ag1 비정질 합금의 온도에 따른 X-선 회절분석 결과



[그림 3-4-39] Fe87Zr7B5Ag1.5 비정질 합금의 온도에 따른 X-선 회절분석 결과

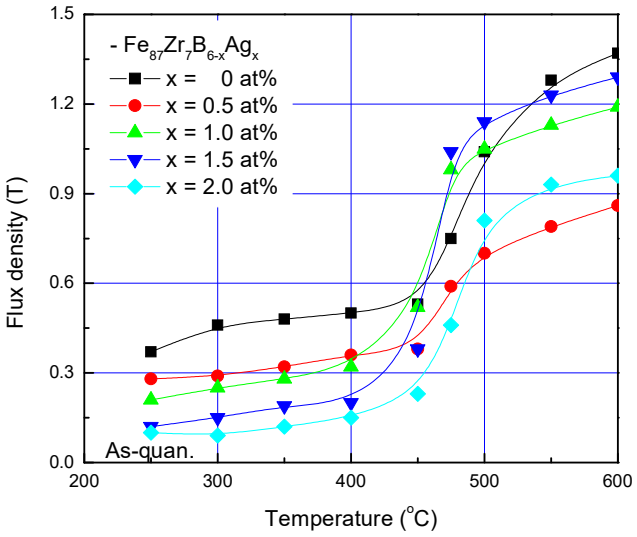


[그림 3-4-40] Fe87Zr7B4Ag2 비정질 합금의 온도에 따른 X-선 회절분석 결과

[그림 3-4-41]은 Fe87Zr7B6-XAgx(x=0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 at%) 조성 비정질 합금으로 제조한 코어의 열처리온도에 따른 자속밀도(Bm)의 변화를 나타낸 것이다. As-quenched상태에서는 Ag의 첨가량이 증가함에 따라 자속밀도는 감소하여, 결정화가 일어나지 않는 비정질 상태에서도 이 경향은 그대로 유지되었으며, 비정질 상태에서 모든 조성 비정질 합금의 자속밀도가 다른 비정질 합금보다 낮은 값을 나타내는 것은 Fe-Zr계 비정질 합금에서 일반적으로 나타나는 invar 특성에 기인한다고 생각된다. 또한, 450 ℃와 500 ℃사이에서 자속밀도의 급격한 증가가 일어나는데, 이는 결정화에 의해 스핀 상호작용이 약한 비정질상에서 스핀 상호작용이 강한 α-Fe 결정상으로 변태가 일어났음을 의미하며, 이 결과는 앞의 XRD 분석 결과와 잘 일치한다. 500 ℃ 이상의 온도에서는 점진적으로 자속밀도가 증가하는데, 이는 비정질상이 결정화 초기에 순수한 α-Fe 결정상으로 완전히 변태하지 않고 남아있음을 의미한다. Ag의 첨가량이 0, 1.0, 1.5

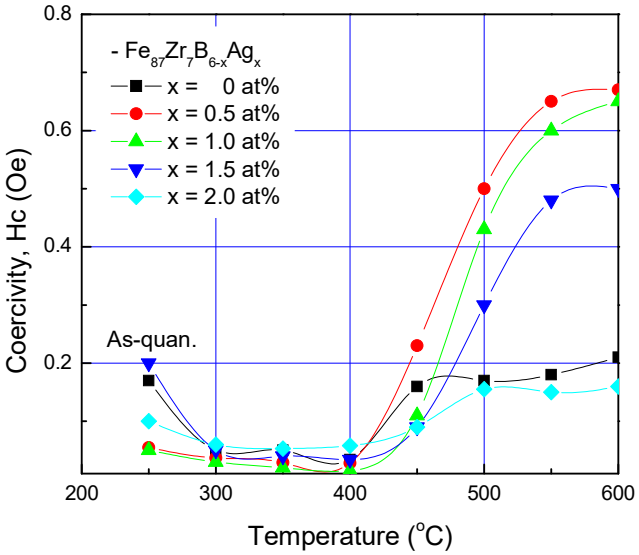
at%인 비정질 합금 코어에서 비교적 높은 자속밀도를 나타내는데, 열처리 온도가 480 ℃ 이상에서 1.0 T 이상의 값을 나타내었다. 기본조성인 Fe87Zr7B6 비정질 합금의 경우 600 ℃에서 1시간 열처리하였을 경우 최대 약 1.4 T의 자속밀도를 나타내었다.

[그림 3-4-42]은 Fe87Zr7B6-XAgx(x=0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 at%) 조성 비정질 합금으로 제조한 코어의 열처리온도에 따른 보자력(Hc)의 변화를 나타낸 것이다. 모든 조성에서 as-quenched상태의 시편은 비정질 합금을 제조할 때 합금 내부에 남아 있는 잔류응력 및 free volume 등에 의해 자벽(domain wall)의 이동이 방해를 받아 보자력은 상당히 크지만, 열처리 온도가 증가함에 따라 잔류응력 등의 방해요소들이 제거되어 보자력은 점진적으로 감소하게 되며, 임계온도 이상에서 열처리하였을 경우 결정화로 인해 보자력은 급격히 증가하게 된다. 따라서 보자력의 변화는 비정질 합금의 내부응력 및 미세구조와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 또한, 400 ℃에서 1시간 열처리한 Fe87Zr7B5Ag1 비정질 합금에서의 보자력은 15 mOe으로 다른 조성에 비해 가장 작은 값을 가지며, 이는 Suzuki 등이 보고한 Fe-Zr-B-Cu계 초미세 결정립 합금에서의 보자력(30 mOe)보다 50%정도 감소한 낮은 값을 가지며, 이는 현재 Co계 비정질 합금(2 ~ 3 mOe)을 제외한 Fe계 비정질 합금에서 가장 낮은 값이다.



[그림 3-4-41] Fe87Zr7B6-XAgx 조성 비정질 코어의 열처리온도에 따른

자속밀도 변화



[그림 3-4-42] Fe87Zr7B6-XAgx 조성 비정질 코어의 열처리온도에 따른 보자력 변화

[그림 3-4-43]은 Fe87Zr7B6-XAgx(x=0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 at%) 조성 비정질 합금으로 제조한 코어의 열처리온도에 따른 초투자율(μi)의 변화를 나타낸 것이다. 모든 조성의 코어에서, As-quenched상태에서는 전 조성에서 낮은 투자율 값을 가지지만, 열처리 온도가 증가함에 따라 투자율도 증가하여 400 ℃에서 1시간 열처리하였을 때 최대값을 나타내었다. 열처리 온도가 더욱 증가하면, 결정화가 일어나는 500 ℃에서 급격히 감소한다. 이는 결정화에 의해 결정자기 이방성이 크게 되고, 이로 인해 투자율이 급격히 감소되었다고 생각된다. 결정화가 일어나지 않은 400 ℃에서 1시간 열처리하였을 때, Ag가 첨가되지 않은 Fe87Zr7B6 비정질 합금에서는 100,000정도의 투자율을 나타내었으며, Ag의 첨가에 의해 투자율도 증가하여 Fe87Zr7B5Ag1 비정질 합금에서 최대값을 나타내지만, Ag첨가량이 1.5, 2.0 at.%로 증가되면 투자율은 감소하는 경향을 나타내었다. 즉 Ag가 1.0 at.% 첨가된 Fe87Zr7B5Ag1 비정질 합금이 가장 우수한 투자율 특성을 나타내었다.

하지만 [그림 3-4-41]에서, 자속밀도는 400 ℃의 열처리 조건에서는 0.5 T 이하의 아주 낮은 값을 나타내므로 투자율과 자속밀도 특성이 모두 우수해야하는 비접촉식 커플러용 자심재료로의 응용이 어렵다. 반면, 480 ℃의 열처리 온도 조건에서는 1.0 at%의 Ag가 첨가된 코어에서 85,000 정도의 투자율을 나타내고, [그림 3-4-41]의 자속밀도도 1.03 T의 높은 값을 나타내므로 가장 알맞은 열처리 조건이라 할 수 있다.

[그림 3-4-44]는 480 ℃에서 1시간 열처리한 비정질 코어 투자율의 주파수 특성을 나타낸 것이다. 1 kHz에서의 비정질 코어의 투자율은 [그림 3-4-43]에서 나타낸 특성과 일치하는 값을 나타내었고, 주파수 증가에 따라 급격하게 감소하는 것을 알 수 있다. 2 ~ 30 MHz의 주파수 대역을 사용하는 전차선 통신에 사용되는 비접촉식 커플러용 자심재료로의 적용이 어렵다고 판단할 수 있으나, 비접촉식 커플러용 자심재료는 최종적으로 반원 형태로 절단하고 10 ㎜ 이하의 에어-갭을 형성시켜 사용하므로 공진주파수는 30 MHz 이상까지 연장될 수 있으므로 자심재료의 응용에의 문제는 무시할 수 있다.

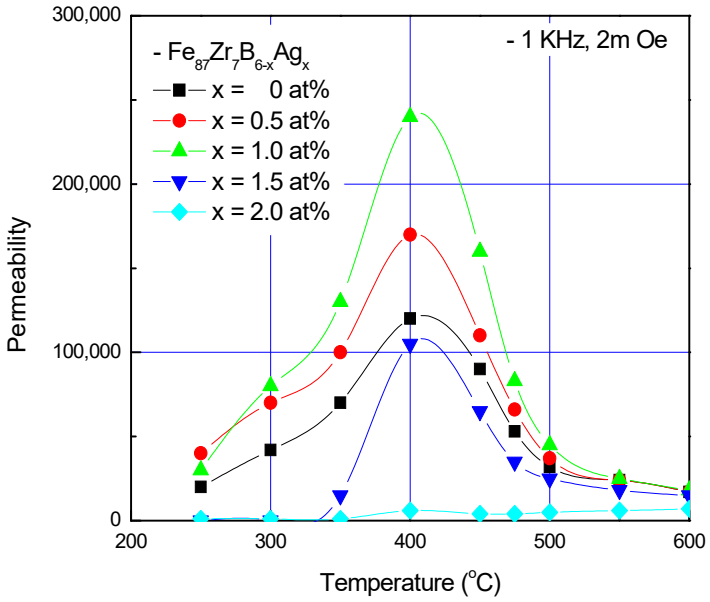
[그림 3-4-45]는 하이브리드 비정질 코어의 각형비(Br/Bm)에 따른 투자율 변화를 나타낸 것이다. 각형비는 재료내의 여러 종류의 이방성을 알 수 있는 중요한 특성인데, 일반적으로 비정질 합금에서의 이방성은 결정자기 이방성이 존재하지 않음으로 응력 자기변형 이방성에 의해 지배되지만, 결정화가 일어나지 않은 범위에서 열처리하게 되면, 응력 자기변형 이방성은 사라지고, 유도자기 이방성에 의해 좌우된다. 또한, 큐리온도(Tc)보다 높은 온도에서 무자장중 열처리할 때는 열처리도중 국부적인 불균일 유도자기 이방성이 형성될 가능성은 희박하지만, 냉각 중에 큐리 온도(Tc)이하에서 유도자기 이방성이 형성될 수 있으며, 이는 초투자율과 각형비(Br/Bm)와의 관계로 알 수 있다. [그림 3-4-45]에 나타낸 각형비는 Fe87Zr7B6-xAgx에서 x=0.5, 1.0, 1.5 at% 조성에 대한 값만을 제시한 것인데, 투자율과 각형비는 반비례 관계가 성립됨을 알 수 있다. 이것은 열처리 후 냉각과정에 있어 국부적인 유도자기 이방성의 생성이 억제되었음을 의미한다.

일반적으로 저주파 영역에서 이용되는 비정질 합금은 자장 중 열처리를 행하는데, 이는 인가 자장방향으로 유도자기 이방성이 생성되어, 이것이 비교적 큰 180o 자구(domain)를 형성시켜 자벽(domain wall) 이동이 용이

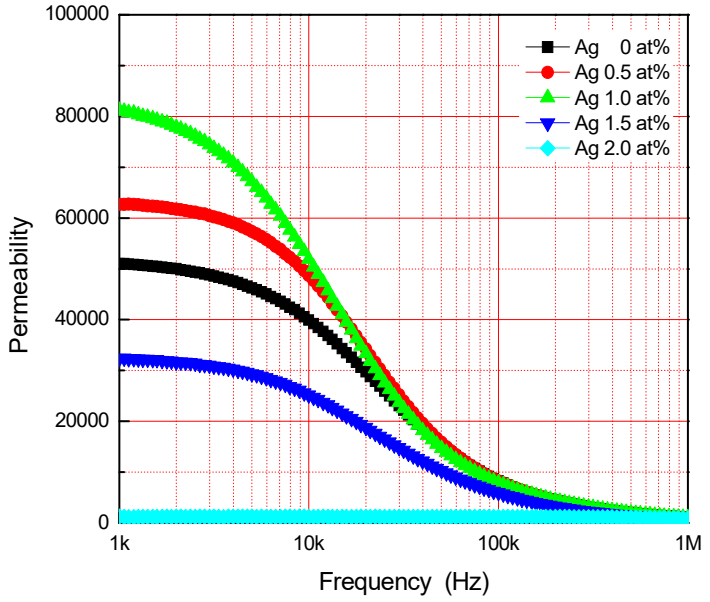
하게 됨으로써 상용 주파수 영역에서 자기적 특성을 향상시키기 위한 것으로, 이 경우는 초투자율과 각형비는 비례 관계가 된다. 그러나, 고주파 영역에서 이용되는 초미세 결정립 합금은 미세 결정립에 의해 자구는 미세화 되고, 이런 미세 자구에서 자화기구는 자벽이동에 의한 것보다 스핀회전에 의한 것이 지배적이므로 유도자기 이방성이 존재할 경우, 오히려 스핀회전을 방해하므로 자기적 특성이 열화된다. 따라서 유도자기 이방성이 존재하지 않을 경우, 우수한 연자기적 특성을 나타내며, 초투자율과 각형비는 반비례 관계를 유지한다.

따라서, 본 연구에서도 초미세 결정립 합금과 같은 각형비와 초투자율이 반비례 관계에 있으므로, 유도자기 이방성은 생성되지 않았으며, 이는 자화기구가 자구 미세화에 의한 스핀회전임을 의미하며, 이로 인해 고주파 영역에서 고투자율을 얻을 수 있었다고 생각된다. 또한, 열처리 후 급냉할 경우 유도자기 이방성을 더욱 억제시킬 수 있음을 의미한다. 이러한 결과는 Co계 비정질 합금의 연구결과와 잘 일치하는 것이다.

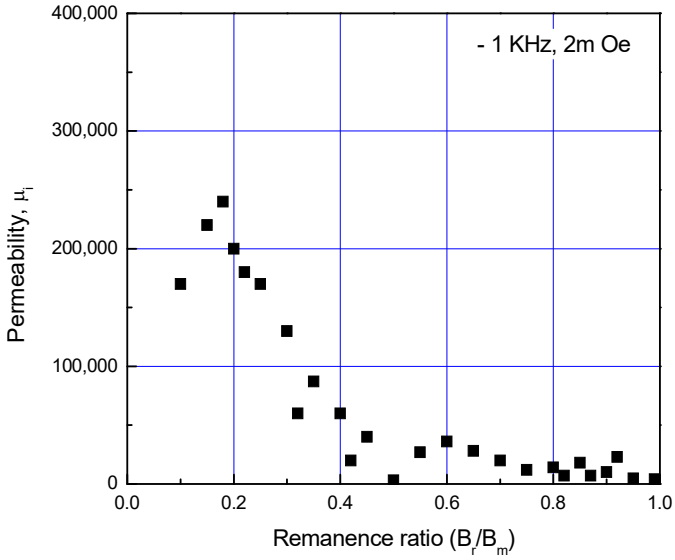
[그림 3-4-46]에서 전체적으로 주파수 증가에 따라 코어손실도 증가하는 경향을 나타내는데, 500 ℃이하에서는 코어손실의 증가폭이 작지만 500 ℃이상에서는 코어손실은 급격하게 증가함을 알 수 있다. 그리고 Ag의 첨가량이 증가함에 따라 코어손실은 증가하는 경향을 나타내는데, 1.0 at%의 첨가량에서는 소폭 감소하는 경향을 나타내어 가장 낮은 코어손실을 나타내었다. 즉 300 ~ 480 ℃ 까지 약 6 ~ 9 kW/m3의 손실량을 나타내었다. 이것은 Fe-B-Si-C계 비정질 합금에서 미세한 α-Fe가 비정질 기지에 약 5 vol.%정도 석출시키면, 이로 인해 자구는 미세화 되어, 고주파 영역에서 총 손실에 지배적인 와전류 손실을 감소시켜, 전체 손실이 감소된다는 Datta 등의 보고를 참고로 분석해 보면, Ag 첨가량이 0.5 ~ 1.5 at%인 비정질 합금에서는 이와 같은 자구 미세화에 의해 손실이 상당히 감소하였다고 생각된다.



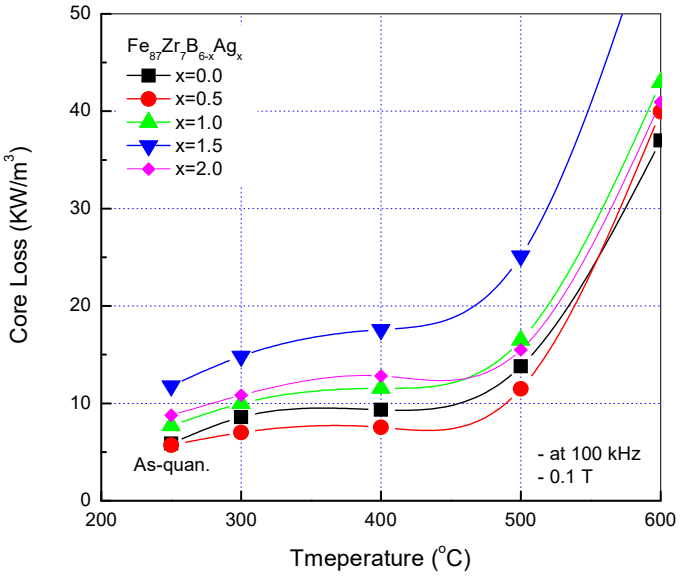
[그림 3-4-43] Fe87Zr7B6-XAgx 조성 비정질 코어의 열처리온도에 따른 초투자율 변화



[그림 3-4-44] Fe87Zr7B6-XAgx 조성 비정질 코어의 투자율-주파수 특성



[그림 3-4-45] 하이브리드 비정질 코어의 각형비(Br/Bm)에 따른 투자율 변화



[그림 3-4-46] 하이브리드 비정질 코어의 열처리 온도에 따른 코어 손실 변화

3) 결 과

Fe87Zr7B6 비정질 합금을 기본조성으로 하여 Fe와 비고용 원소인 Ag를 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 at.% 첨가시킨 Fe87Zr7B6-XAgx(x=0.5, 1.0, 1.5, 2.0 at.%) 비정질 합금을 이용하여 toroid형 코어를 제조하고, 300 ℃ ~ 600 ℃의 온도에서 열처리하여, 비정질 기지에 미세한 α-Fe cluster를 형성시킨 hybrid 재료의 전자기적 특성 및 미세구조의 변화를 열처리 온도 및 Ag 첨가량에 따라 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 열처리 온도가 증가할수록 자속밀도(Bm)와 코어손실(Pw)는 증가하지만, 투자율은 400 ℃에서 최대를 이루는 가우시안 분포를 나타내었다. 즉 400 ℃의 열처리 온도에서 약 240,000의 가장 높은 투자율을 나타내었고, 자속밀도는 열처리 온도에 따라 증가하여 480 ℃ 이상부터 1.0 ~ 1.35 T의 높은 값을 나타내었으며, 코어손실 역시 열처리 온도에 따라 증가하는 경향을 나타내는데, 약 480 ℃에서 약 8 kW/m3의 손실을 나타낸 이후로 급격히 증가하였다.

- 기본조성인 Fe87Zr7B6에 Ag를 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 at.% 첨가시킨 결과, Ag가 1.0 at.% 첨가된 Fe87Zr7B5Ag1 비정질 코어에서 가장 우수한 전자기적 특성을 나타내었고, 480 ℃의 열처리 온도에서 비접촉식 커플러용으로 응용 가능한 전자기적 특성을 나타내는 코어를 제조할 수 있었다.

마. 대전류용 자심재료의 모의해석

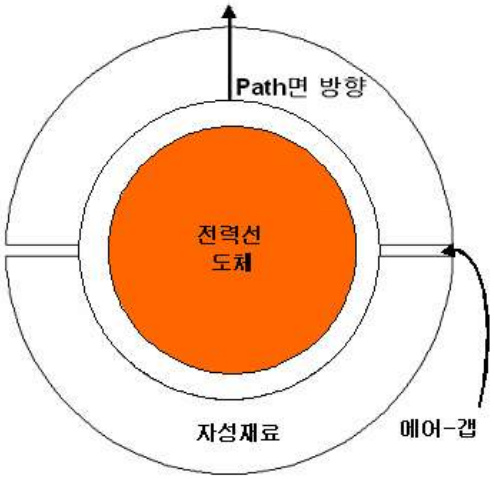
전차선에는 최대 800 A의 대전류와 25 kV의 고전압이 유입되므로 전차선용 비접촉식 커플러는 신호전송 특성뿐만 아니라 안전사고에 대비한 설계가 가미되어야 하므로 정밀한 커플러에 이용되는 자심재료는 같은 환경에서의 전자장 특성해석이 무엇보다도 중요한 부분이라고 할 수 있다. 비접촉식 커플러는 전자기 유도 원리에 의해 통신신호를 전달하므로 전차선의 전압의 크기와는 무관하다. 다만, 800 A의 대전류에 대한 대비가 이루어져야 하는데, 최대 800 A가 인가되는 전차선에 적용되는 비접촉식 커플러를 설계하기 위해서는 적용되는 전차선에 흐르는 전류에서 포화되지 않도록 자심재료가 설계되어야 한다. 이와 같은 대전류용 자심재료를 설계하기 위한 가장 정확하고 빠른 방법은 전자계 수치해석 프로그램을 이용한 시뮬레이션이라고 할 수 있다. 전자계 수치해석은 전류, 전차선 도체면적, 자심재료의 크기, 자심재료 절단면 사이의 에어갭 크기 등의 자심재료가 적용되는 동일한 환경에서 자심재료가 영향을 받고 발휘하는 전자기적 특성을 예측하는 것으로 자성체를 이용하는 모든 분야에서 많이 이용하는 방법이라고 할 수 있다. 모의해석 절차 없이 샘플제조와 평가를 통한 조건의 확립 절차는 많은 시간과 인력 그리고 자금이 소요되므로 시뮬레이션을 통해 발생할 수 있는 변수를 가능한 최소화하거나 변위의 폭을 좁히는 것이 중요하다고 할 수 있다.

따라서 본 장에서는 최대 800 A의 전류가 유입되는 25 kV 전차선 커플러용 자심재료를 설계하기 위해 Flux 2D/3D 프로그램을 이용하여 모의해석을 실시하였으며, 각 환경에 따른 변수들에 대한 분석을 통해 커플러 제조 시 적용되어야할 변수들을 가능한 최소화하고자 하였다.

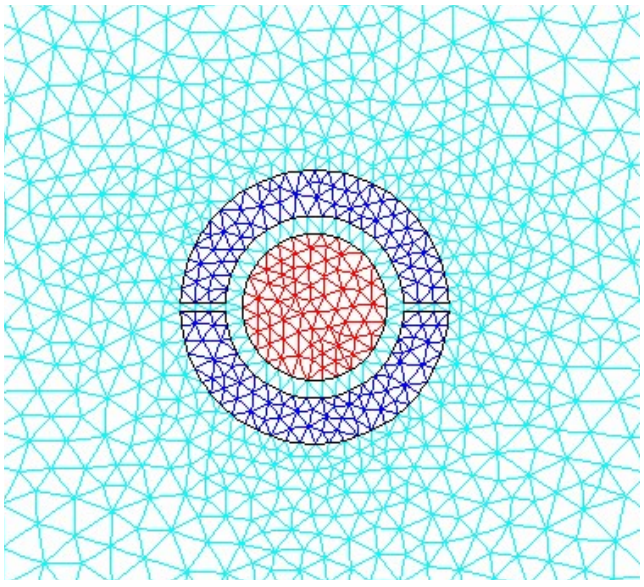
1) 800 A급 비접촉식 커플러용 자심재료의 모의해석

800 A급 자심재료를 설계하기 위한 모의해석에서, 해석 결과의 오차율을 최소한으로 제거하기 위해서는 [그림 3-4-47] (a)와 같이 전자장 수치해석의 개념도를 적용되는 환경과 동일하고 명확하게 고정시킨 다음 이루어져야 한다. 그림의 개념도는 전차선 주위를 자심재료가 둘러싸고 있는 형태이며, 자심재료의 크기와 전차선의 전류량은 변수로 통해 변화한다. 그림에서 path 경로를 나타내는 화살표는 자심재료의 내경에서 외경방향으로 수치해석이 이루어졌음을 나타낸다. 그리고 [그림 3-4-47] (b)와 같은 요소분할도도 가능한 많은 포인트로 공간을 분할한 다음 시뮬레이션

이 이루어져야 만이 오차율을 줄일 수 있다. 이와 같은 조건으로 수치해석이 실시되면, [그림 3-4-48]와 같이 절단면의 에어갭 사이로 자속의 누설이 발생하고, 누설되는 자속의 양만큼 포화 전류량은 증가하게 된다.

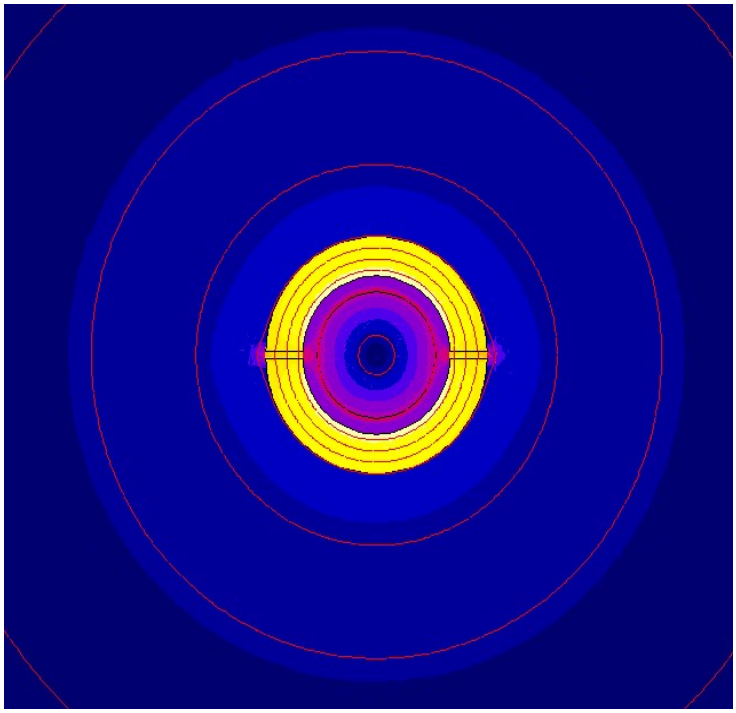


(a)



(b)

[그림 3-4-47] 전자장 수치해석의 (a) 개념도와 (b) 요소분할도



[그림 3-4-48] 절단면 사이의 자속분포

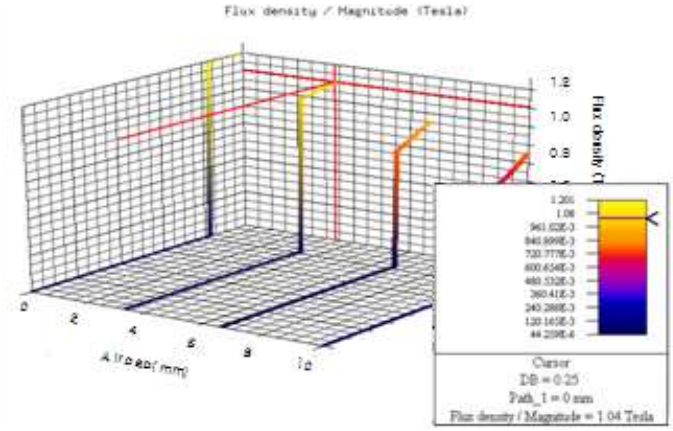
[그림 3-4-49]은 800 A의 전차선에서 내경×높이가 64×35 ㎜2인 자심재료의 path 길이[(외경-내경)/2]에 따른 자속밀도의 변화를 나타낸 것이다. path 길이의 증가는 유효길이(le)가 증가한다는 의미인데, 자심재료의 유효길이가 증가하면 아래 식 (2-1)에 의해 최대 사용 전류량은 증가한다. [그림 3-4-49] 역시 path 길이 증가에 따라 자속밀도가 일정하므로 투자율(μ)과 권선수(N)가 일정한 상태에서 최대 사용 전류량이 증가한다는 의미를 나타낸다.

본 연구에서는 path 길이를 19 ㎜로 선택하였다. 이것은 포화 전류량과 커플러의 삽입손실 그리고 제조단가를 감안하여 최적의 조건으로 선택된 것이다.

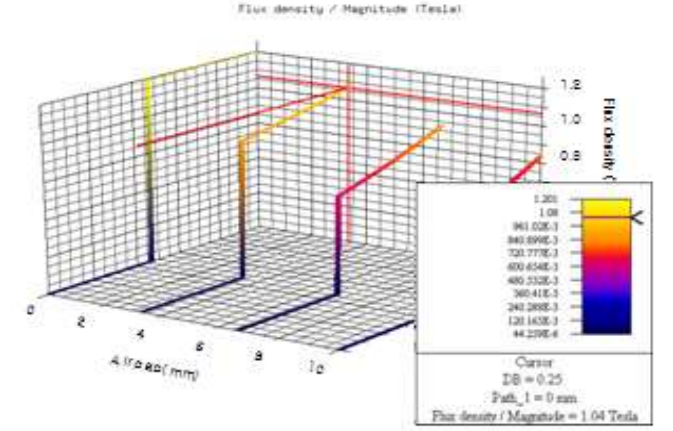
$$I_{\max} = \frac{B_m \cdot l_e}{\mu \cdot N} \quad \rightarrow \quad B_m = \frac{I_{\max} \cdot \mu \cdot N}{l_e} \qquad \text{식 (2-1)}$$

[$I_{\max}$ = 최대 사용 전류량, B_m = 자속밀도, μ : 투자율, N = 권선수]

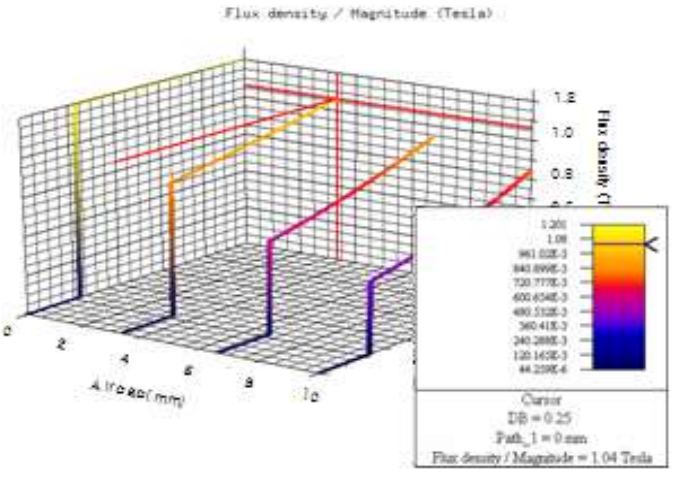
(a)



(b)



(c)



[그림 3-4-49] 자심재료의 path 길이에 따른 자속밀도

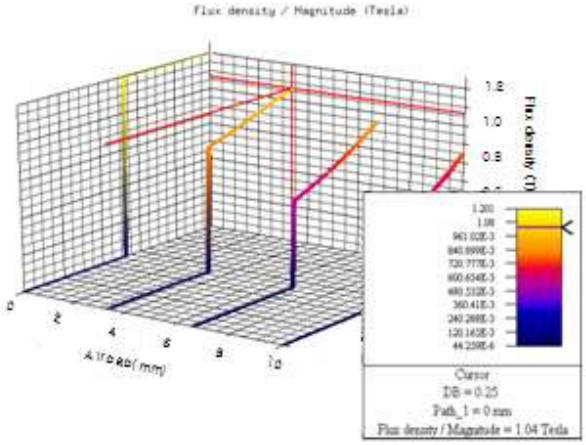
: (a) 15 mm, (b) 20 mm, (c) 25 mm

[그림 3-4-50]는 800 A의 전차선에서 내경×외경이 64×102 ㎜2인 자심재료의 높이에 따른 자속밀도의 변화를 나타낸 것으로, 그림의 상단에서 하단으로 색상에 따른 곡선은 자심재료의 절단면 사이에 1,500 um 씩 증가하는 조건이다. 그림에서 자심재료의 높이와 에어갭의 크기 증가에 대해 자속밀도는 변화가 없음을 알 수 있는데, 식 (2-1)에서 자심재료의 사용 전류량에 자심재료의 유효 단면적(Ae)은 변화인자로 포함되어 있지 않으므로 자심재료의 높이는 사용 전류량에 영향을 미치지 않는 것이다. 자심재료의 높이가 변화하더라도 모든 자심재료는 전차선의 전류량에 동시에 영향을 받게 되므로 포화 전류량에는 영향을 미치지 않는 것이다.

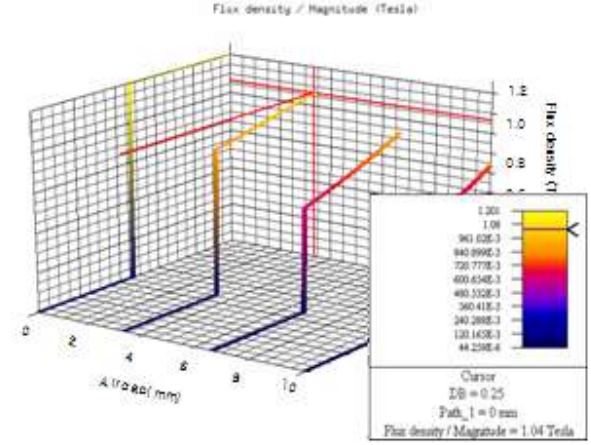
그리고 자심재료의 크기 즉 내경×외경×높이가 64×102×135 ㎜3인 [그림 3-4-50] (b)에서, 커플러 절단면 사이의 에어갭 크기에 따른 자속밀도는 에어갭이 4,500 um일 경우에는 약 1.0 T 이상의 자속밀도를 나타내어 자기포화 현상에 대한 우려를 나타내었다. 자기 유도성 전자기 부품을 설계할 때, 일반적으로 자심재료는 포화자속밀도의 50 ~ 70 % 정도의 수준에 맞추는 것이 가장 적합하다. 그림에서 에어갭의 크기가 6,000 um일 때, 0.6 ~ 0.9 T의 자속밀도를 나타내어 가장 적합한 것으로 판단되며, 7,500 um의 에어갭에서는 0.4 ~ 0.7 T의 자속밀도를 나타내어 너무 많은 자기손실을 나타내므로 부적합하였다. 따라서 800 A급 전자선용 비접촉식 커플러에 사용되는 자심재료는 내경×외경×높이가 64×102×135 ㎜3일 때, 6,000 um의 에어갭이 요구됨을 알 수 있다.

[그림 3-4-51]은 전차선의 도체 단면적에 따른 자심재료의 자속밀도를 나타낸 것이다. 본 데이터는 25 kV 전차선으로 이용되는 전선의 도체 단면적에 따른 자심재료의 특성변화를 관찰함으로써, 최적의 조건을 설정하기 위함이다. 그림에서 도체 단면적의 변화에 따라 자속밀도의 변화는 없기 때문에, 커플러의 설계에서 전차선의 외경은 자심재료의 포화특성과는 관계가 없으므로 영향 인자에서 배제해도 무방함을 알 수 있다.

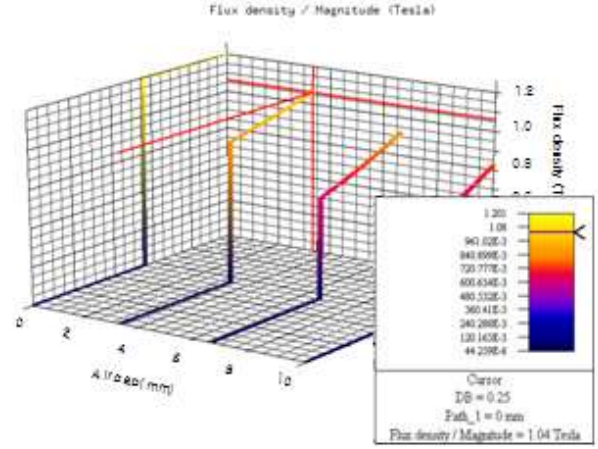
(a)



(b)

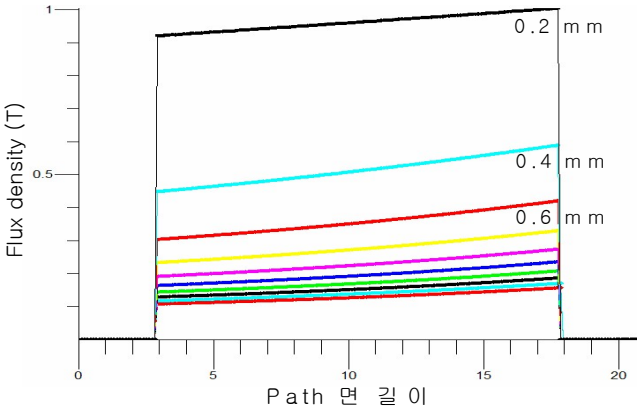


(c)

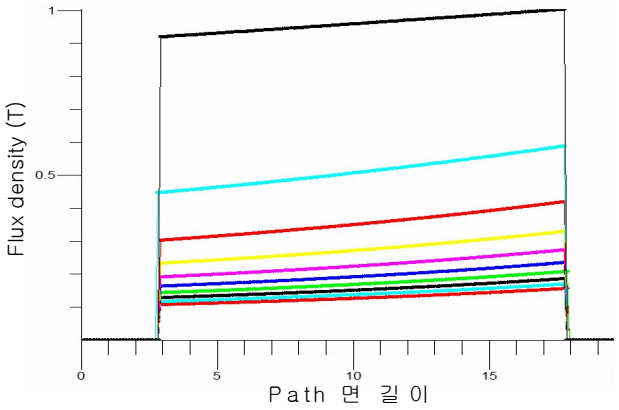


[그림 3-4-50] 800 A의 전차선에서 자심재료의 높이와 에어-갭 크기에 따른 자속밀도 : (a) 4,500 um, (b) 6,000 um, (c) 7,500 um

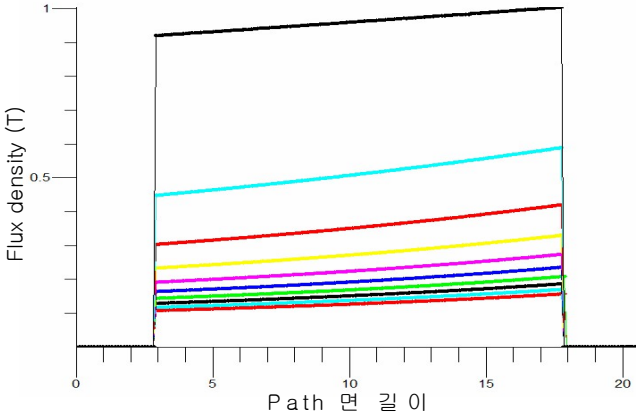
(a)



(b)



(c)



[그림 3-4-51] 도체 단면적에 따른 자심재료의 자속밀도
: (a) 410 ㎟, (b) 480 ㎟, (c) 520 ㎟

2) 결 과

최대 800 A가 인가되는 전차선에 적용되는 비접촉식 커플러용 자심재료의 형상설계를 위한 자심재료의 크기(높이, path 길이)와 전차선의 도체 단면적 및 전류량에 따른 자심재료의 자속밀도에 대한 전자장 수치해석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 자심재료의 내경이 64 ㎜로 고정된 상태에서 path 길이가 증가하면(유효길이가 증가하면), 유효길이 증가에 따라 자속밀도가 일정한 값을 나타내므로 투자율(μ)과 권선수(N)가 일정한 상태에서 최대 사용 전류량이 증가한다.

- 자심재료의 높이가 변화하더라도 모든 자심재료는 전차선의 전류량에 동시에 영향을 받게 되므로 자심재료의 포화 전류량은 변하지 않는다.

- 800 A급 비접촉식 커플러를 제조하기 위해서는 내경×외경×높이가 64×102×35 ㎜3이고 자심재료의 절단면 사이에 약 6,000 ㎛ 이상의 에어갭을 형성시켜야만 전류변화에 따라 안정적인 특성을 발휘할 수 있을 것으로 판단되었다.

- 전차선의 도체 단면적의 변화에 따라 자속밀도는 변하지 않으므로 전차선 도체의 단면적 변화에 대해서는 자심재료 또는 커플러의 특성 차이가 나타나지 않는다.

바. 전차선용 비접촉식 커플러의 제조 및 특성

이상적인 전력선 통신이란 전력선에 흐르는 통신 신호를 최소한의 손실로 모뎀으로 전송시키는 것이다. 하지만 각종 부하 및 선로환경, 통신 거리 등의 외부 환경에 의해 통신 신호는 수 MHz 이상에서부터 감쇄가 발생하여 신호 전송 특성이 현저하게 감소하게 된다. 이와 같은 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 모뎀 및 각종 통신 부품과 전력선 환경 및 임피던스 매칭 등에 대한 최적화가 이루어져야 하지만, 가장 우선적으로 통신 신호를 전달하는 커플러의 성능이 우수해야 한다. 여기서 커플러는 접촉식과 비접촉식으로 나누어 볼 수 있는데, 접촉식의 경우 전력선에 직접적으로 연결되기 때문에 신호 전송 특성은 우수하나 채결의 위험성, 작업의 어려움, 높은 단가 등으로 인해 응용의 한계를 드러내고 있다. 반면 자기유도방식을 이용하는 비접촉식은 전력선 외부에 쉽게 채결할 수 있고, 1.7 ~ 30 MHz의 주파수 범위 내에서 신호 감쇄율이 작아야만 적용 가능하므로 이에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

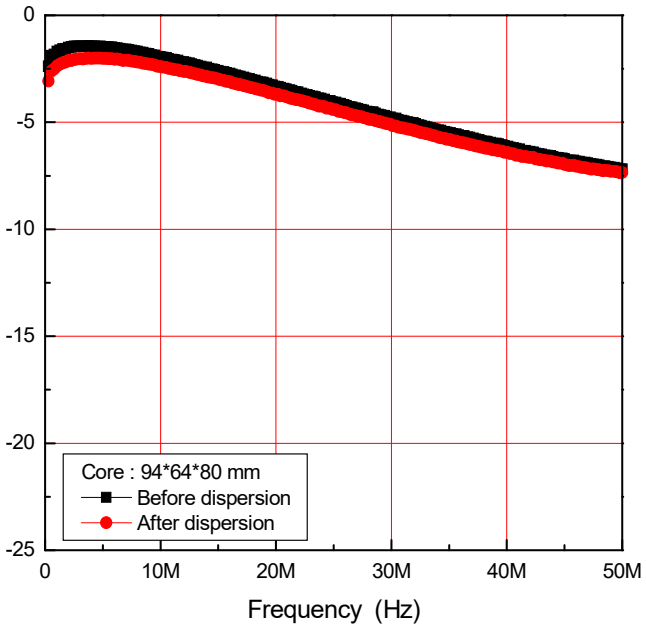
따라서 본 연구에서 최적화된 비정질 코어를 비접촉식 커플러용 자심재료로 적용하여 절연재 함침, 몰딩, 출력권선의 구조, 커플러의 크기, 임피던스 매칭, 권선비 등의 커플러 제조공정변수의 확립을 통해 고주파 신호 전송의 매체로서의 응용성을 평가하고, 800 A급 전차선용 비접촉식 커플러의 제조기술을 확보하고자 한다.

1) 비접촉식 커플러의 제조

[그림 3-4-52]와 [그림 3-4-53]은 자심재료 표면의 에폭시 함침에 의한 표면 저항층 형성에 따른 투자율과 신호전송 특성의 변화를 나타낸 것이다. 전력선 통신용 비접촉식 커플러에 사용되는 자심재료는 고주파 대역에서 전력손실의 증가로 인한 통신 상태의 불안정성이 나타날 수 있으므로 투자율과 동시에 전력손실의 저하를 가장 우선적으로 이루어야 하는 문제라고 할 수 있다. 일반적으로 커플러의 저주파 특성은 자심재료의 인덕턴스에 의존하지만, 주파수가 증가함에 따라 자심재료의 코어손실이 급격히 증가하여 고주파에서 신호전송특성이 저하될 수 있다. [그림 3-4-52]에서 함침 및 건조과정에서 나타나는 내부 응력과 자심재료 사이의 절연체 삽입효과에 따른 자속의 분산으로 인해 투자율은 감소한다. 하지만 자심재료의 비저항 증가로 인해 주파수 특성은 약 30 MHz 까지 안정

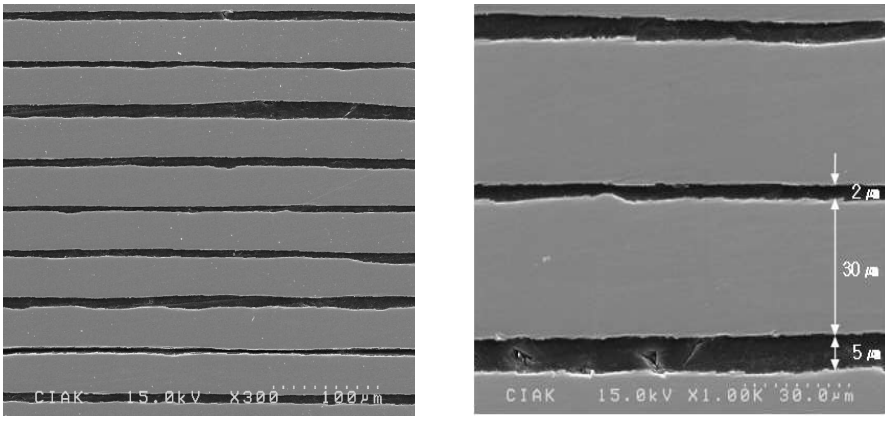
하게 나타나며, 3 MHz 이상에서는 함침하기 전의 자심재료보다 높은 투자율을 나타내었다. 그리고 [그림 3-4-53]에서 표면 함침에 의해 투자율이 저하하여 신호전송 특성은 약 0.5 ~ 1 dB 정도 저하하였다. 하지만 커플러 제조공정 중에 경화재 몰딩 공정이 포함되어 특성저하가 불가피하게 나타나게 되므로 이와 같은 에폭시 표면함침에 의한 특성 저하는 감수해야할 것으로 보인다. 한편 비접촉식 커플러는 구조상 자심재료의 절단이 불가피하므로 절단된 자심재료는 최소의 air gap을 가지는 우수한 절단면을 가져야 한다. 만일 에폭시 함침 되지 않은 상태의 자심재료를 사용할 경우, 열처리된 비정질 합금을 이용하여 제조된 자심재료는 일반적인 금속재료와 비교해 연성이 낮고, 취성이 강해 절단면이 매끄럽지 않고 수 ㎜의 air gap을 형성할 수 있으므로 자심재료 표면에 제 3의 물질을 첨가하여 강도와 연성을 증진시킬 필요가 있다. 따라서 비정질 자심재료의 표면 함침은 필수적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

[그림 3-4-52] 자심재료의 표면 절연함침에 따른 인덕턴스 변화



[그림 3-4-53] 자심재료의 표면 절연함침에 따른 신호전송특성 변화

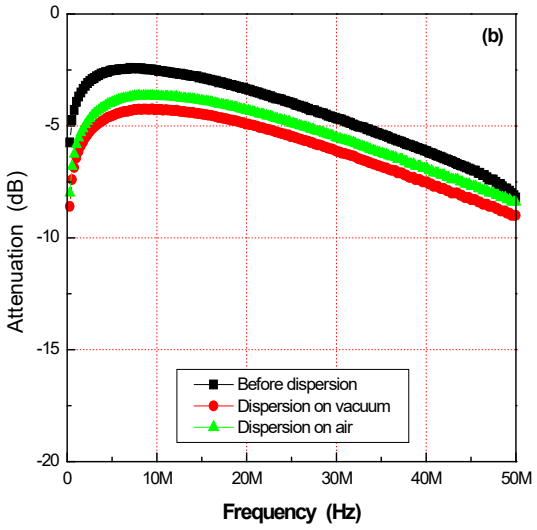
[그림 3-4-54]는 비정질 자심재료에 에폭시 함침한 후 그 단면을 관찰한 미세구조로써, 권취된 합금과 합금 사이에 아주 균일하게 분포하고 있음을 알 수 있다. 그림에서 비정질 합금의 두께는 약 30 ㎛로 최초에 목표로 하는 두께로 균일하게 제조되었음을 알 수 있으며, 합금과 합금 사이에는 절연 에폭시가 1 ~ 5 ㎛의 두께 범위로 존재하고 있는데, 이것은 합금과 합금 사이에서 발생하는 와전류 손실을 방지하고, 코어의 강도를 증진시킴으로써 절단공정에서 발생하는 비정질 합금의 파괴현상을 막고 우수한 절단면을 얻게 한다.



[그림 3-4-54] 절연 함침된 자심재료 표면의 구조

[그림 3-4-55]는 자심재료의 표면함침에서 함침 조건, 즉 공기 중 함침 또는 진공 중 함침에 따른 인덕턴스와 신호전송특성 변화를 나타낸 것으로, 진공 중 함침은 공기 중에서 함침한 경우 보다 낮은 특성을 나타내는데, 이것은 진공 중 함침에서는 함침액이 합금과 합금 사이에 보다 균일하게 분포시킬 수 있기 때문에 나타나는 결과로 볼 수 있다. 하지만 커플러가 적용되어 전차선에 고전류가 인가되었을 경우에는 고주파 손실의 증가 방지에 의해 오히려 진공 중에서 함침된 샘플의 특성이 우수할 수도 있다.

[그림 3-4-56]는 몰딩재료에 따른 인덕턴스와 신호전송 특성의 변화를 나타낸 것이다. 비접촉식 커플러는 외부 케이스에 자심재료 및 임피던스 매칭소자, 출력단자 등이 내장된 상태에서 고분자 경화재에 의해 몰딩된 후 절단되는데 몰딩재료에 따라 수축율 및 자심재료에 미치는 응력의 크기는 다르므로 적절한 몰딩재료가 선택되어야 하고, 25 kV의 전차선에 설치되므로 절연특성이 우수한 재료가 사용되어야 한다. 일반적으로 전자기부품의 몰딩에 사용되는 경화재는 우레탄계 에폭시와 일반 투명 에폭시 두 종류이므로 [그림 3-4-56]에서 이에 대한 특성변화를 관찰한 결과를 나타내었다. 신호전송 특성은 몰딩재료에 의해 약 0.5 ~ 1 dB 정도 감소하였으며, 투명 에폭시보다 우레탄계 에폭시로 몰딩한 커플러의 특성이 우수하게 나타났다. 이것은 우레탄계 에폭시가 경화 수축율이 더 작고, 탄성력이 높아 자심재료에 미치는 응력이 작기 때문으로 판단된다.

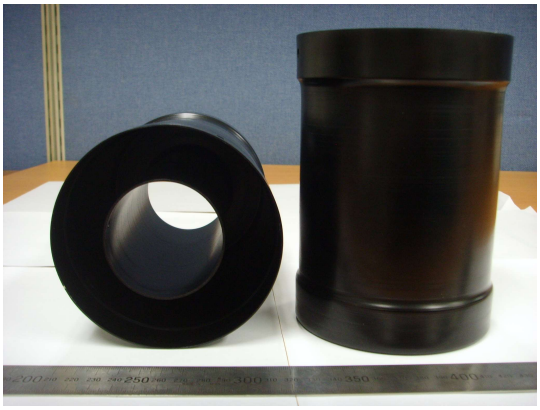


[그림 3-4-55] 자심재료의 절연 함침조건에 따른 (a)인덕턴스와 (b)신호전송 특성의 변화

[그림 3-4-56] 몰딩재료 변화에 따른 (a)인덕턴스와 (b)신호전송 특성의 변화

비접촉식 커플러의 구조는 일반적으로 각종 부품과 같이 내장된 자심재료와 자기유도에 의한 신호를 모뎀으로 전송하는 출력신호 선로로 이루어져 있는데, 고주파 신호전송특성을 안정적으로 유지하기 위해서는 자심재료의 부피가 극도로 커져야 한다. 자심재료의 부피는 커플러 부피의 80 % 이상을 차지하므로 커플러의 크기증가에 따른 중량증가, 취급의 어려움, 커플러 지지대 요구, 제조단가의 증가 등의 많은 문제가 발생하게 된다. 따라서 고주파 신호 전송특성을 균일하고 안정적으로 유지하기 위한 방법이 요구되므로 본 연구에서는 신호의 입력과 출력 선로 간의 결합도와 출력 선로의 도체 단면적 증가에 의한 전송효율을 증가시키고자 금속 케이스를 이용하여 케이스의 역할과 동시에 이를 신호 출력선로로 이용하고자 하였다.

[그림 3-4-57]은 본 연구에서 제작된 비접촉식 커플러용 금속 케이스와 금형의 사진을 나타낸 것으로, 케이스의 크기는 내경×외경×높이가 56×103×55 ㎜로 결정하여 금형 및 케이스를 제작하였다.



(a)



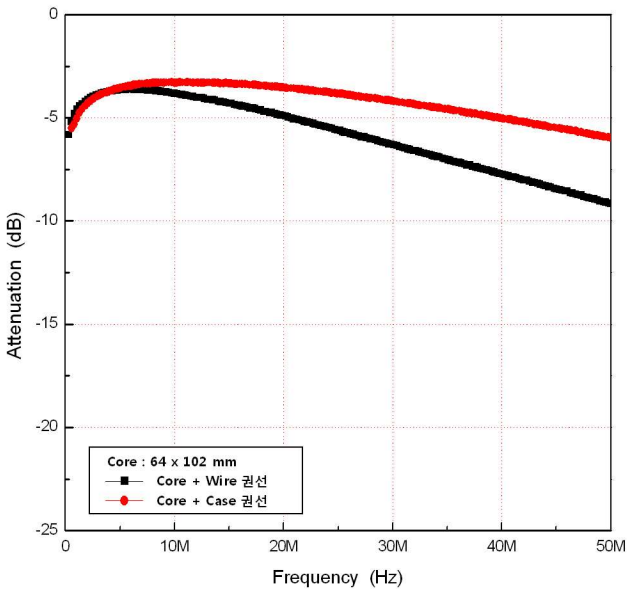
(b)

[그림 3-4-57] 비접촉식 커플러용 (a)케이스와 (b)금형

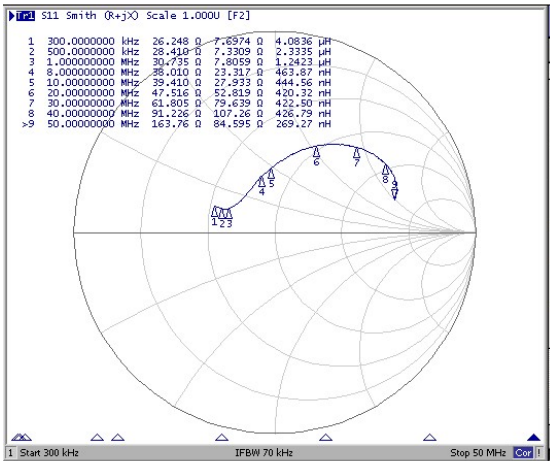
[그림 3-4-58]은 표면 절연 ·처리된 자심재료를 이용하여 커플러를 제조할 때, 신호전송 선로의 단면적 확보를 통한 고주파 특성의 향상과 커플러의 외부케이스로 동시에 사용할 수 있도록, 도체 케이스를 커플러의 출력선로로 제조했을 경우에 나타나는 신호전송특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보이는 바와 같이 저주파 대역에서는 도체 케이스의 사용 유무에 관계없이 유사한 신호전송 특성을 나타내지만, 주파수가 증가함에 따라 도체 케이스를 사용한 샘플의 경우 고주파 특성이 급격히 향상된 것을 볼 수 있다. 여기서 저주파 특성이 도체 케이스의 사용 유무에 관계없이 유사한 특성을 나타내는 것은 위의 실험 결과에서 언급한 바와 같이 신호전송 특성은 인덕턴스 값에 비례하기 때문이고, 주파수 증가에 따라 신호전송 특성이 향상되는 것은 1차적으로 출력선로의 단면적의 증가에 따른 신호전송손실이 감소되었기 때문이다. 2차적으로는 전차선에서의 신호를 모뎀에 연결된 선로에 통신신호를 유도할 때, 도체 케이스가 내장된 자심재료의 모든 외부표면을 둘러싸고 있기 때문에 자기장의 궤적을 도체 내부에서 최대한 형성되도록 하여 자기손실을 최소화하고 신호전송을 위한 입·출력 선로의 결합도를 향상시킬 수 있기 때문이다.

[그림 3-4-59]은 통신선로의 주파수 특성은 임피던스 변화에 민감하게 반응하므로, [그림 3-4-58]에서 나타난 결과를 전기적으로 해석해 보고자 도체 케이스 출력단에 의한 임피던스 변화를 측정한 것이다. [그림 3-4-59] (a)의 도체 케이스 체결 전의 경우, 약 20 MHz에서 50 Ω 임피던스가 형성되어 주파수 증가에 따라 직선적으로 증가하는 경향을 보였지만, [그림 3-4-59] (b)의 도체 케이스 체결 후의 경우, 약 30 MHz에서

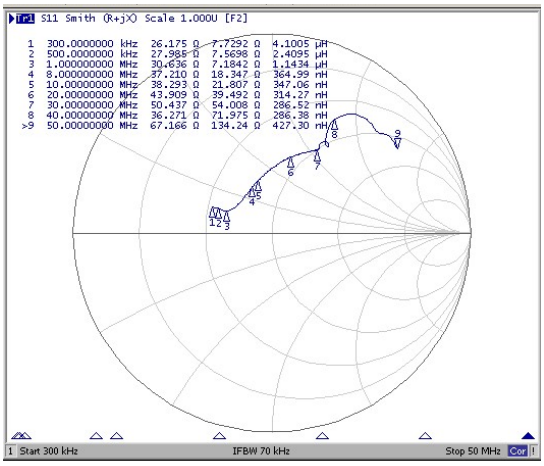
50 Ω 임피던스가 형성되었고 그 이상의 주파수에서도 큰 변화 없이 유지되고 있음을 볼 수 있다. 이것은 고주파 대역에서 도체 케이스에 의한 자체적인 커패시턴스가 생성되고, 이로 인해 정확하지는 않지만 자체적인 고주파 임피던스 매칭을 이루어 주파수 증가에 따른 특성 저하를 방지할 수 있었던 것으로 판단된다.



[그림 3-4-58] 도체 케이스 출력단의 신호전송 효과



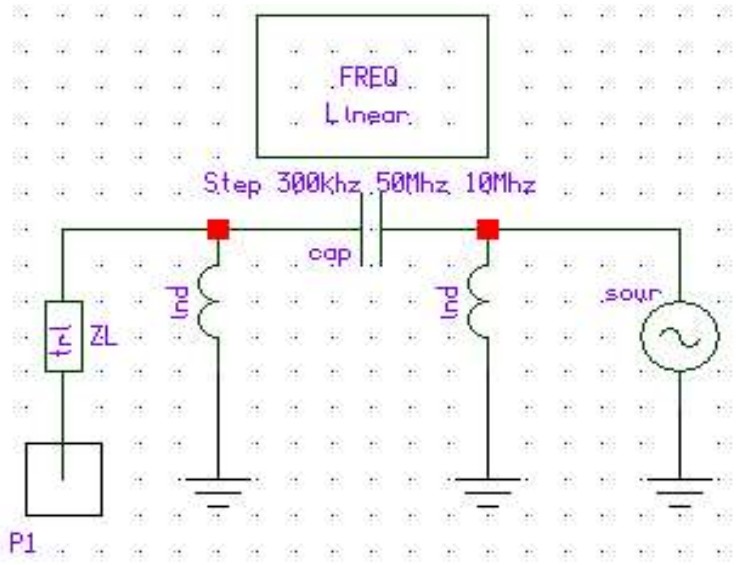
(a) 도체 케이스 체결 전



(b) 도체 케이스 체결 후

[그림 3-4-59] 도체 케이스 출력단에 의한 임피던스 변화

고주파 대역의 신호전송 특성은 [그림 3-4-58]과 [그림 3-4-59]와 같이 도체 케이스를 이용하여 향상시킬 수는 있지만, 그것은 전차선에 실려 있는 통신신호를 유도하여 모뎀으로 전송시키는 출력권선의 도체 형상과 단면적 증가에 의해 부분적으로 향상된 것이라고 할 수 있다. 특히 [그림 3-4-59]의 자체적으로 생성되는 인덕턴스와 커패시턴스를 통한 50 Ω 임피던스 매칭은 내부에 내장되는 자심재료의 특성과 내부 몰딩재료 및 몰딩 상태에 따라 불균일한 특성을 나타낼 수 있으므로, 균일한 고주파 신호전송 특성을 발휘하기 위해서는 고주파대역에서의 임피던스 매칭이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 전력선 통신에서 최대 통신주파수인 30 MHz 이상의 주파수에 대한 임피던스 매칭회로를 내장하고자 하였으며, 35 ~ 45 MHz의 범위에서 설계된 3차 임피던스 매칭 등가회로를 [그림 3-4-60]에 나타내었다.

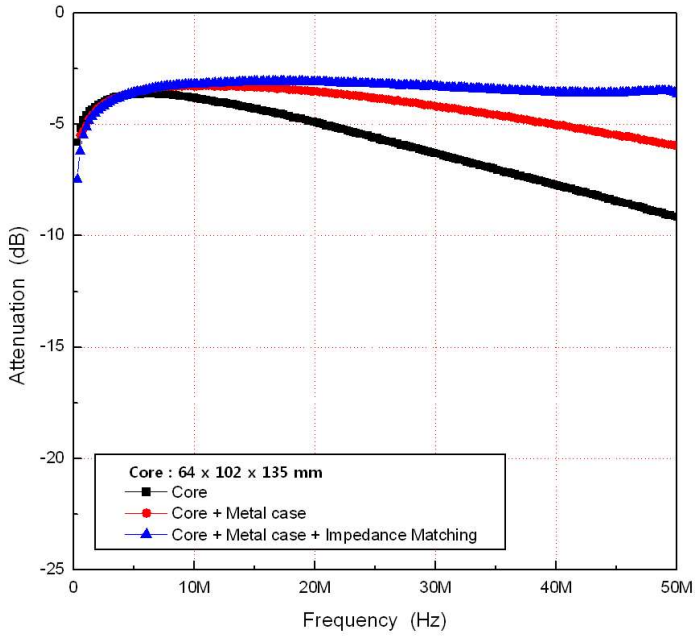


[그림 3-4-60] 커플러 고주파 임피던스 매칭 회로

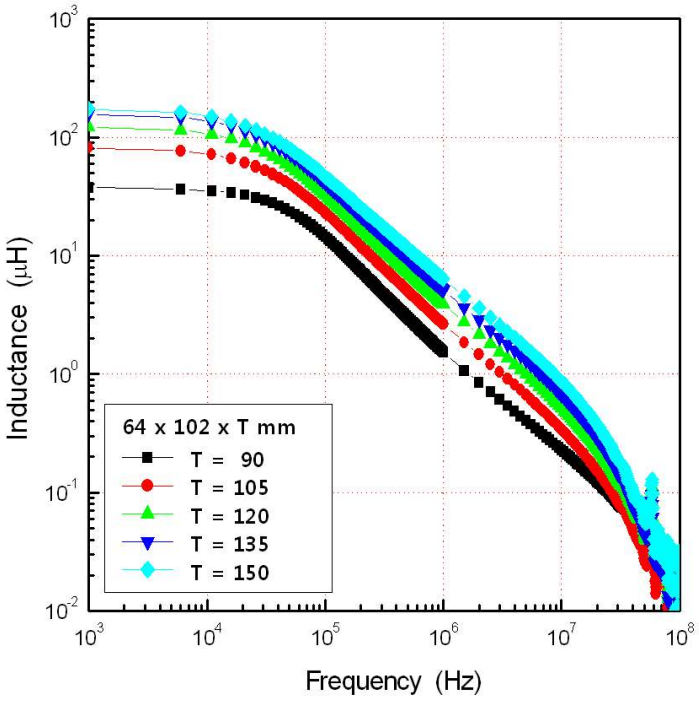
[그림 3-4-61]은 설계된 임피던스 매칭회로의 적용에 따른 비접촉식 커플러의 신호전송특성 변화를 나타낸 것으로서, [그림 3-4-58]과 같이 도체 케이스에 의한 고주파 특성이 1차적으로 향상되었고, 35 ~ 45 MHz의 범위에서의 임피던스 매칭에 의해 고주파 특성이 더욱 향상되어 주파수변화에 대해 균일한 신호전송 특성을 나타내었다.

[그림 3-4-62]와 [그림 3-4-63]은 비접촉식 커플러의 특성을 만족하는 최소의 크기를 결정하고자 내장되는 자심재료의 높이에 따른 인덕턴스와 신호전송특성을 나타낸 것이다. 그림에서 인덕턴스는 자심재료의 높이 증가에 따라 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었고, 신호전송 특성은 자심재료의 높이가 증가함에 따라 증가하지만 그 증가 폭은 인덕턴스와 같이 직선적으로 증가하지는 않고 그 증가 폭이 점점 감소함을 볼 수 있다. 이 때 자심재료의 높이가 135 mm 이상에서는 그 증가 폭이 아주 작았으며, 80 mm에서 약 -2.5 dB의 신호 감쇄율(S21)을 나타내었고 135 mm에서는 약 -3 dB의 신호 감쇄율을 나타내었다.

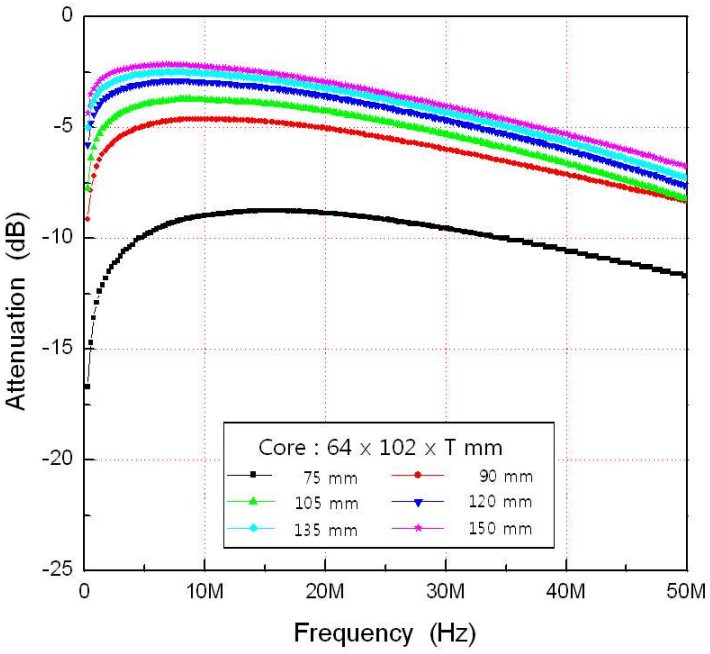
800 A급 비접촉식 커플러는 2 ~ 30 MHz에서 -10 dB 이내의 신호감쇄율을 나타내어야 하는데, 절단된 반원통 형의 두 절단면 사이에는 미세한 공극이 분포하고 있어 이로 인한 자속의 손실이 발생하여 신호감쇄율을 저하시키게 되므로 절단되기 전, -2 ~ -3 dB의 신호전송 특성을 유지할 수 있도록 최대한 노력해야 한다. 따라서 종합적으로 판단해 볼 때, 64 mm 직경의 비접촉식 커플러에 내장되는 자심재료는 약 135 mm가 적절할 것으로 판단된다.



[그림 3-4-61] 임피던스 매칭에 의한 신호전송특성 효과

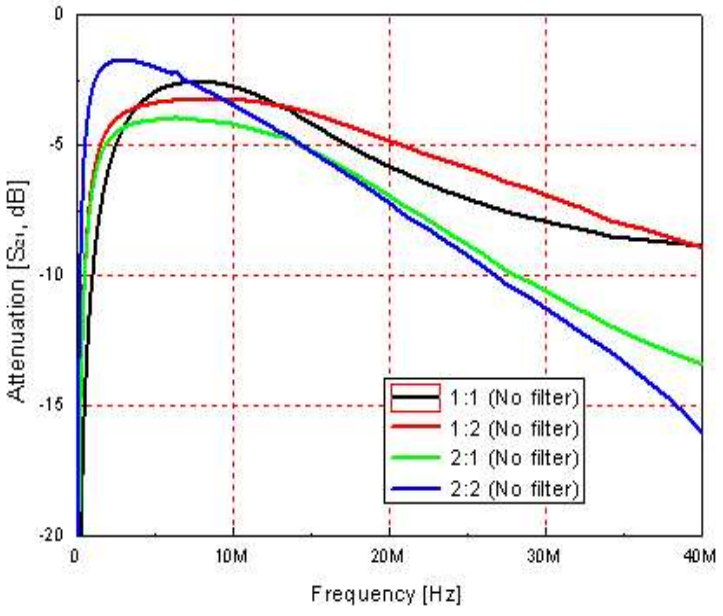


[그림 3-4-62] 자심재료의 부피에 따른 인덕턴스 변화



[그림 3-4-63] 자심재료의 부피에 따른 신호전송특성

[그림 3-4-64]는 커플러의 통신신호 입·출력선의 권선비에 따른 신호전송 특성을 나타낸 것이다. 첫 번째로 필터를 내장하지 않은 커플러(a)는 권선비가 1:1인 경우와 비교해서 권선비가 2:1 즉, 커플러의 턴수 2, 전차선의 턴수 1의 경우 약 3 MHz 이하의 저주파 영역에서는 권선비 1:1의 경우보다 우수한 신호전송 특성을 나타내지만 3 MHz 이상의 주파수 대역에서는 권선비 1:1의 경우에 비해 낮은 신호전송 능력을 나타내었다. 권선비가 1:2 즉, 커플러의 턴수 1, 전차선의 턴수 2의 경우에는 1:1의 경우에 비해 좋은 특성을 나타내었고 권선비 2:2의 경우에는 7 MHz 이하에서는 1:1에 비해 좋은 특성을 나타내었으나, 그 이상에서는 낮은 특성을 나타냈다. 결과를 분석해 본 결과 가장 좋은 권선비는 커플러 1, 전차선 2의 권선비지만, 전차선이 2회 권선되는 경우이므로 실제로 적용하기에는 설치 상의 많은 제약을 가지며, 2회 권선이 가능한 전차선의 경우에 제한적으로 응용될 수 있는 형태라고 볼 수 있다. 또한, 커플러의 권선을 2로 한 경우는 저주파 대역에서 특성향상이 요구되는 경우에 적용될 수 있지만 2 ~ 3 MHz의 통신 주파수를 가지는 전력선 통신의 경우에는 1 : 1의 권선비가 더 유리할 것으로 판단된다.

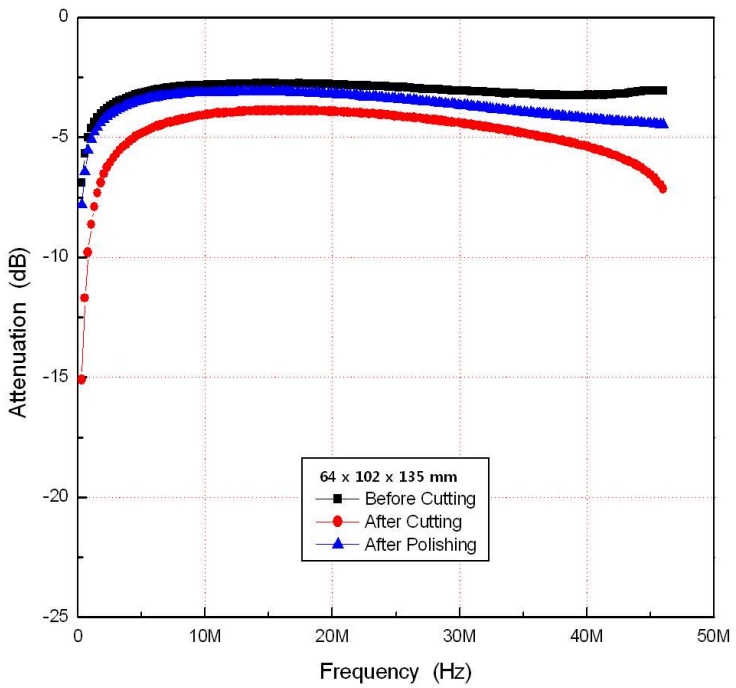


[그림 3-4-64] 권선비에 따른 신호전송특성의 변화

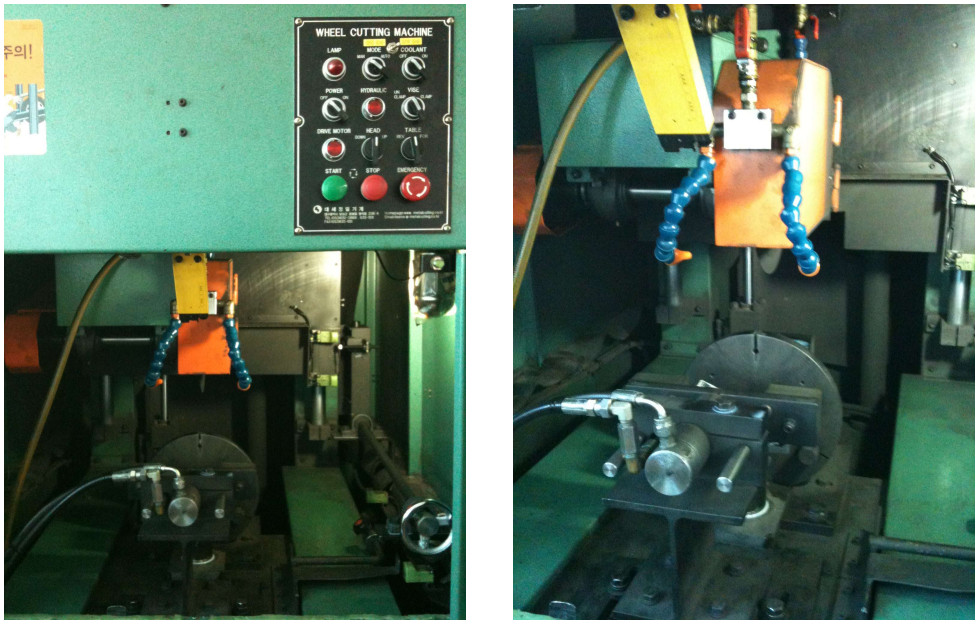
[그림 3-4-65]는 비접촉식 커플러에서 자심재료의 절단면 상태에 따른

신호전송 특성변화를 나타낸 것으로서, 절단된 커플러의 경우 고주파 대역에서 약 1.5 ~ 2 dB 감소하였고, 2 MHz 이하의 저주파 대역에서는 급격한 신호전송 특성의 감소가 나타났는데, 이것은 자심재료의 절단면은 약 1 mm 내외의 air gap을 내재하여 자기손실이 급격하게 증가하기 때문이다. 한편 커플러의 절단면을 연마한 후 air gap을 최대한 제거했을 경우에는 절단되기 전에 비해 약 0.5 dB 정도 낮은 지점까지 회복할 수 있음을 알 수 있다. 이렇게 표면 연마를 통해 특성의 저하를 최소한으로 제한할 수는 있지만, 커플러 제조공정에서 연마공정에 투입되는 시간이 30 % 정도까지 차지하게 되므로 연마공정을 배제한 상태에서 자기손실을 최소화할 수 있는 방법에 대한 연구는 지속적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

[그림 3-4-66]은 커플러의 절단공정에서 사용된 고속절단기를 나타낸 것으로서, 절단 매체는 10 inch 직경의 연마석이며, 약 3,000 rpm에서 절단된다. 그리고 [그림 3-4-67]은 고속절단기를 이용하여 절단한 후 표면연마 처리된 25 kV 전차선용 비접촉식 커플러를 나타낸 것이다.



[그림 3-4-65] 비접촉식 커플러의 절단면 상태에 따른 신호전송 특성



[그림 3-4-66] 커플러 절단용 고속 절단기



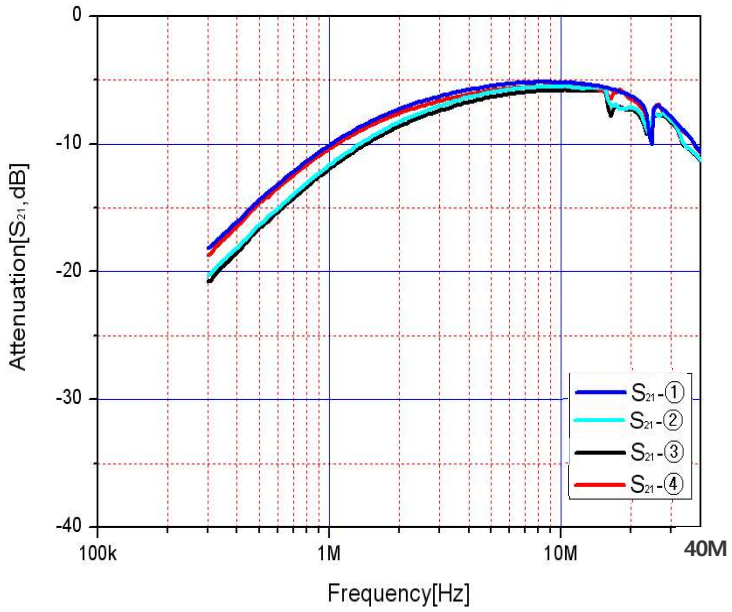
[그림 3-4-67] 전차선용 800 A급 비접촉식 커플러

2) 비접촉식 커플러의 특성 평가

[표 3-4-13]은 커플러의 대전류 특성을 향상시키고자 제2장의 모의해석 결과를 바탕으로 에어갭을 4,500 ㎛를 삽입한 경우의 삽입손실을 나타내었다. ①은 네트워크 어날라이저로 측정한 S21이고, ②는 전력선에 커플러를 체결한 상태에서의 측정한 S21이다. ③은 전력선에 800A를 인가한 상태에서 측정한 S21이고, ④는 ③에서 전력선의 손실분을 제거한 S21이다. [그림 3-4-68]은 [표 3-4-13]을 그래프로 나타낸 것으로 전체적으로 2 ~ 30 MHz 영역에서 -8 ±2 dB의 특성을 나타내었다.

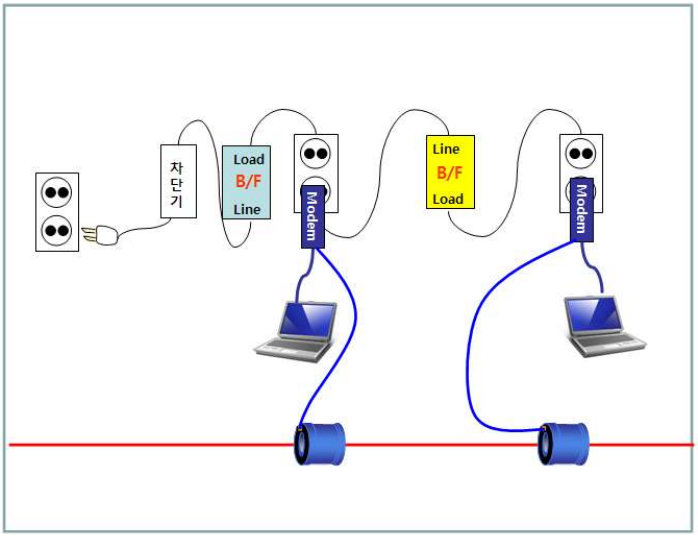
[표 3-4-13] 에어갭 4,500㎛에서의 삽입손실 특성

S21 / 주파수	S21-①	S21-②	S21-③	S21-④
	0[A], 전력선(X)	0[A], 전력선(0)	800[A] 측정값	800[A] 보정값 (②-①)+③
2M	-7.27dB	-8.17dB	-8.63dB	-7.73dB
10M	-5.19dB	-5.49dB	-5.74dB	-5.44dB
20M	-6.22dB	-7.89dB	-7.38dB	-5.71dB
30M	-7.88dB	-9.23dB	-8.23dB	-6.88dB
40M	-10.6dB	-11.8dB	-11.3dB	-10.1dB



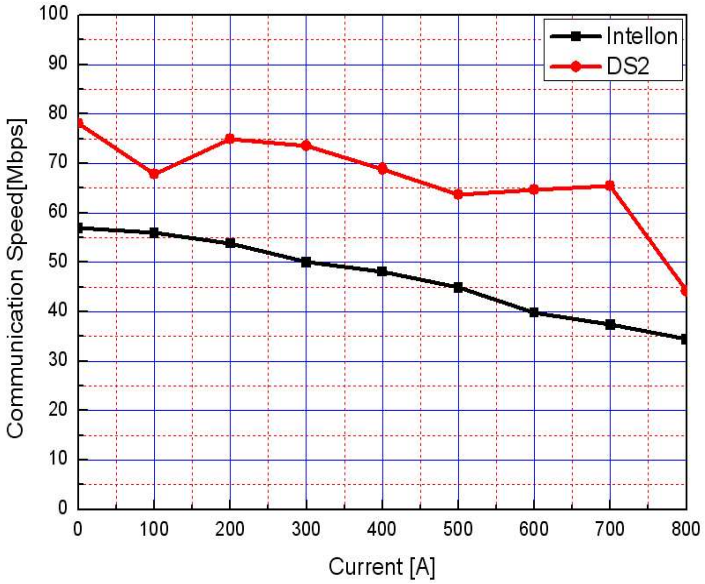
[그림 3-4-68] 에어갭 4,500 ㎛에서의 삽입손실 특성

[그림 3-4-69]는 커플러를 이용하여 통신 시험의 모식도이다. 그림에서와 같이 외부 노이즈를 차단하기 위해 Load쪽에 블로킹 필터를 장착하였고, 220V 전력선으로 되는 통신을 차단하기 위해 블로킹 필터를 장착하여 커플러만으로 통신이 가능하도록 한 후에 전류 변화에 따른 통신 속도 변화를 측정하였다.



[그림 3-4-69] 커플러를 이용하여 통신 시험의 모식도

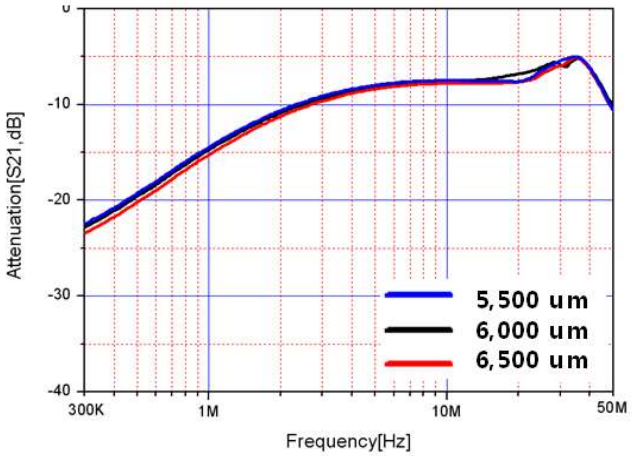
[그림 3-4-70]은 [그림 3-4-69]의 모식도와 같이 통신시험을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 Intellon사 모델의 경우 전체적으로 인가 전류가 증가함에 따라 통신 속도가 감소하는 현상을 나타내었으며, DS2사의 모델은 전류의 증가에 따라 700 A까지 통신 속도 변화가 거의 없지만 그 이상의 전류에서는 급격히 감소함을 알 수 있다. 따라서 목표치인 800A까지 사용하기는 다소 부족한 면이 있다.



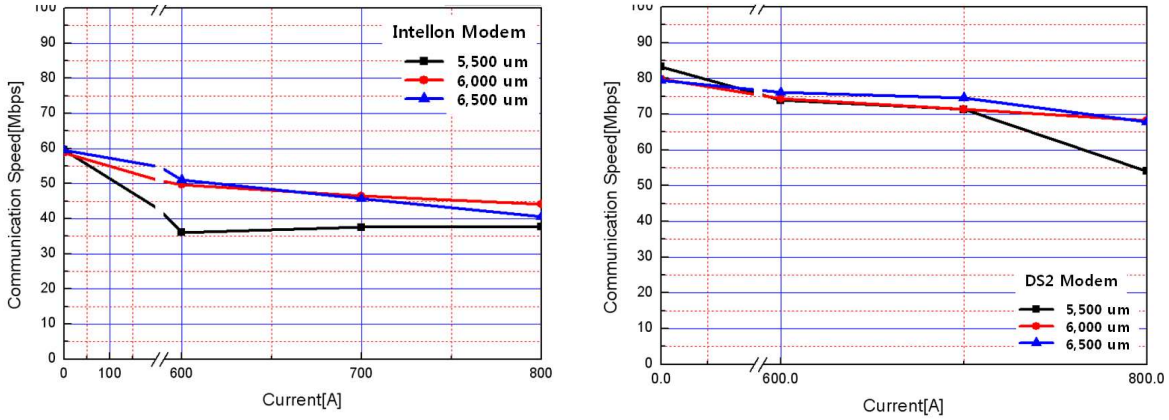
[그림 3-4-70] 전류 변화에 따른 통신 속도의 변화

[그림 3-4-71]은 에어갭의 크기에 따른 삽입 손실의 변화를 나타낸 것으로 에어갭이 증가함에 따라 삽입손실의 변화는 거의 없었다. 이는 일정한 에어갭으로 발생하는 자기저항 이상에서는 삽입손실에 큰 영향을 주기 않음을 알 수 있다.

[그림 3-4-72]는 에어갭의 크기에 따른 통신 속도의 변화를 나타낸 것이다 그림에서와 같이 에어갭이 증가할수록 전류변화에 따라 통신 속도 변화가 감소되었고, 에어갭 6,000 ㎛이상에서는 그 통신 속도 변화율이 거의 일정함을 알 수 있다. 또한 DS2 모델은 Intellon 모델에 비해 통신 속도가 더 우수하며, 전류에 따른 변화율도 작음을 알 수 있다.



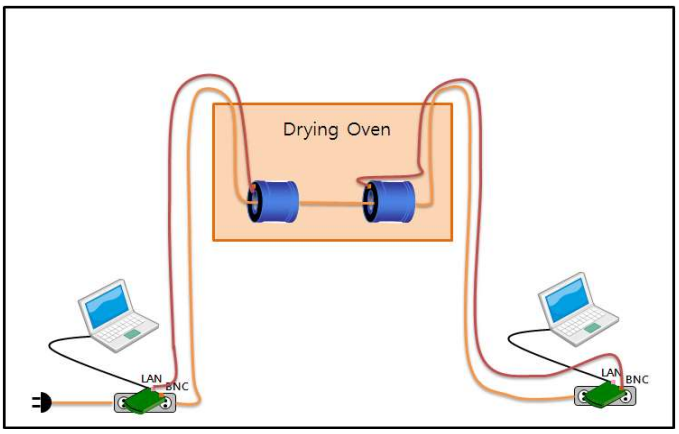
[그림 3-4-71] 에어갭의 크기에 따른 삽입 손실의 변화



(a) Intellon Modem (b) DS2 Modem

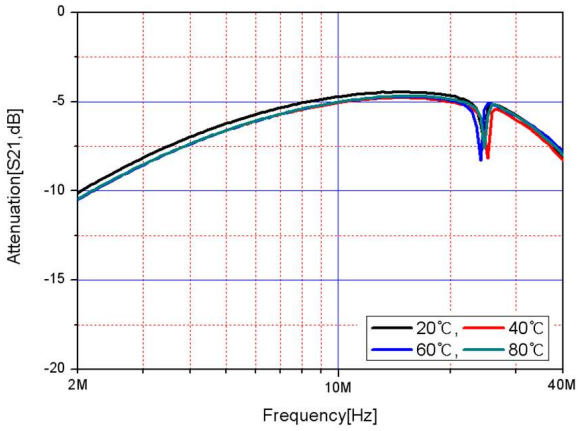
[그림 3-4-72] 에어갭의 크기에 따른 통신 속도의 변화

[그림 3-4-73]에 비접척식 커플러의 온도 특성을 측정하기 시험도와 사진을 나타내었다. 그림에서와 같이 챔버내에 커플러를 넣고 온도를 20 ~ 80 ℃로 변화시키면서 삽입손실과 통식 속도 변화를 측정하였다. 이에 대한 결과를 [그림 3-4-74]에 나타내었다. 그림에서와 같이 20 ~ 80 ℃의 온도 범위에서는 삽입손실과 통신 속도 변화가 없음을 알 수 있고 이는 이 온도 범위 내에서 안정적인 특성을 나타냄을 알 수 있다.

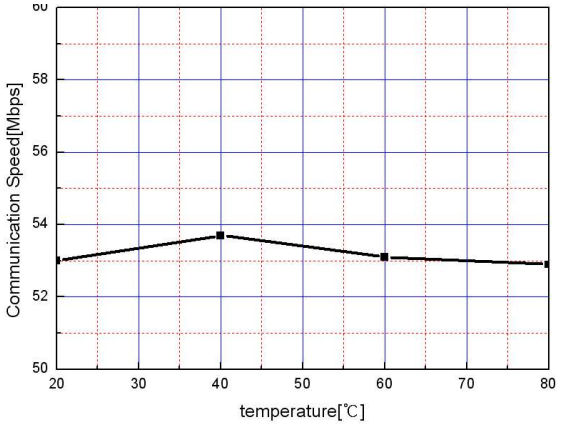




[그림 3-4-73] 비접촉식 커플러의 온도 특성 시험도



(a) 삽입손실



(b) 통신속도 변화(Intellon Modem)

[그림 3-4-74] 온도변화에 따른 비접촉식 커플러의 특성 변화

3) 결 과

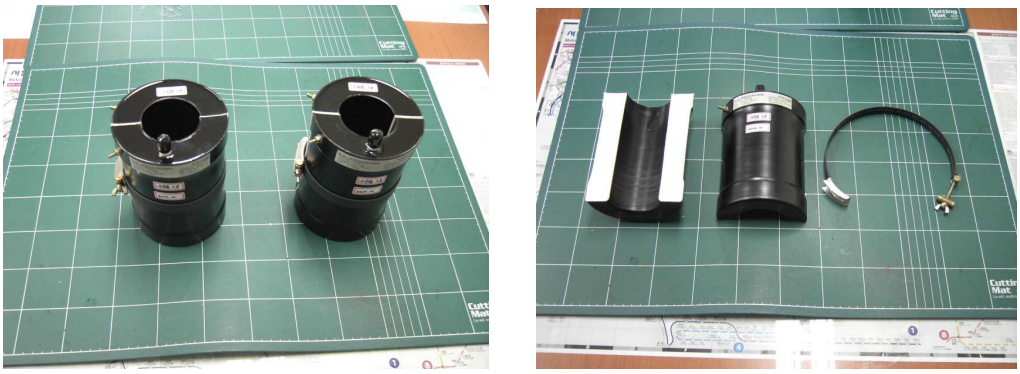
고주파-대전류형 자심재료를 이용하여 25 kV의 전차선용 비접촉식 커플러를 제조하기 위해, 절연재 함침, 몰딩, 출력권선의 구조, 커플러의 크기, 임피던스 매칭, 권선비 등의 공정변수에 대한 커플러 제조공정 확립 및 평가를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

○ 최적의 특성을 나타내는 자심재료의 크기, 인덕턴스 및 함침조건, 권선수 등에 대한 조건을 확립하였고, 임피던스 매칭 공정을 통해 고주파 대역의 특성을 향상시킬 수 있었다.

○ 외경과 내경 및 높이가 각각 102 ㎜, 64 ㎜, 135 ㎜인 자심재료를 사용하고, 약 6,000 ㎛의 air gap을 형성시켜 1.7 ~ 30 MHz의 주파수 범위에서 -8 ±2 dB의 신호전송 특성과 포화전류가 800 A 이상인 대전류형 비접촉식 커플러를 제조할 수 있었다.

○ 절연재 함침, 몰딩, 출력권선의 구조, 커플러의 크기, 권선비 등의 커플러 제조공정의 변수 확립을 통해 고주파-대전류형 자심재료의 우수성을 확인할 수 있었다.

4) 비접촉식 커플러의 완성



[그림 3-4-75] 비접촉식 신호결합기 시제품 완성 사진



[그림 3-4-76] 비접촉식 신호결합기 본제품 완성 사진

3. 결론 및 향후 계획

국내 전기철도 전차선을 이용한 PLC 통신을 위해서 신호결합기를 취부하는 방안은 본 연구에서 언급한 바와 같이 비접촉식 커플러를 크램프 형태나 애자형태를 복합적으로 활용하여야 할 것이다.

클램프 형태의 취부 방식은 조가선을 최초 가설시 병행할 경우에는 적합한 방식이 될것이나 이미 가설된 선로에서는 조가선의 절단 및 재 가설해야하는 불편함이 따르므로 대안이 요구 된다.

그러나 애자형 취부 방식은 설치 및 가설이 기존의 전차선 및 조가선의 운영에 영향을 미치지 않으므로 보다 쉽게 적용할 수 있다. 다만 본 연구에서는 제한된 시간과 재원에 따라 연구결과 같은 Epoxy Glass를 재질로 하는 애자형 절연물을 개발하였으나 크기와 무게가 현장취부에 불편할 수 있으므로 상용화나 실용화를 추진할 경우 근래 첨단 절연재질로 활용하고 있는 폴리머(실리콘)을 활용할 경우 크기는 1/3, 무게는 1/10로 줄일 수 있으므로 보다 효율적으로 현장업무에 적용할 수 있을 것이다.

본 연구에서 개발한 비 접촉식 신호결합기는 전기철도 조가선 및 전기차량의 차내장착에 적합하도록 설계되었으며 본 연구의 2차년 시험을 거쳐 안전성이 검증될 경우 즉시 상용화가 가능하다.

따라서 전기철도 전차선(조가선)용 절연체와 전기철도용 신호결합기를 단일 구성으로하는 실용화 제품으로 개발을 확대할 경우 전력산업에서 활성화 되고 있는 전력선 통신 기술을 전기철도의 다양한 분야에서 다양한 용도로 응용이 가능할 것으로 전망 된다.

제5절 전기철도 Hybrid Modulator 개발

1. 연구배경

전력선 통신(PLC : Power Line Communications)은 전기에너지를 전송하는 것을 목적으로 만들어진 전력선에 고주파 신호를 중첩하여 통신하는 기술로 사용하는 주파수 대역에 따라 크게 협대역 전력선통신과 광대역 전력선 통신 기술로 구분 된다.

- ○ 협대역(Narrowband) 전력선 통신 : 9kHz - 450kHz대역을 사용하여 수 kbps급의 통신 속도를 실현하며 제어 신호 및 인터폰(음성) 등의 저속데이터 서비스를 제공하는 기술로써 저속 전력선 통신 또는 저주파 전력선 통신으로 통칭한다.

- ○ 광대역(Broadband) 전력선 통신 : 1.7MHz - 30MHz대역을 사용하여 수 Mbps에서 100Mbps 급의 통신 속도를 가능하게 하며 음성, 데이터, 멀티미디어 신호의 전송 서비스를 제공하는 기술로써, 고속 전력선 통신 또는 고주파 전력선 통신으로 통칭한다.

전력선 통신(PLC)의 이용형태에 따라 옥내(In-Home) 전력선 통신과 옥외(Access) 전력선 통신으로 구분 된다.

- ○ 옥내 전력선 통신 : 하나의 건물 내에 부설되어 있는 110V/220V 저압 배전 케이블을 이용하는 전력선 통신을 말한다.

- ○ 옥외 전력선 통신 : 변전소에서 고압(22.9kV)배전선로를 이용하여 통신 망을 구성하는 고압 전력선통신과 주상 변압기에서 가정용 전력량계까지의 저압 인입선을 이용하는 옥외 저압 전력선 통신으로 구분 된다.

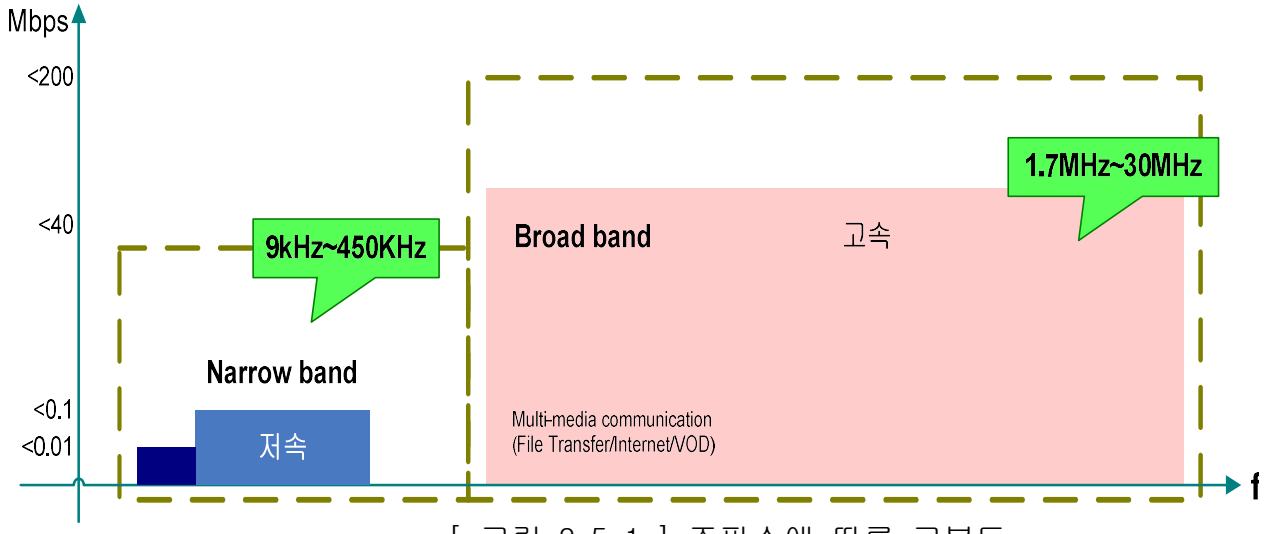
본 연구와 관련하여 전기철도 전차선(조가선)을 활용한 전력선통신(PLC)을 위하여 광대역(Broadband)기반의 옥외(Access) 전력선 통신을 적용하여 전기철도에 적합한 Hybrid(다목적) Modulator를 개발 하였다.

2. 연구개발내용

고압 배전선로를 통신선로로 이용하는 것은 새로운 통신선로의 포설 없이 기존의 설비를 재사용함으로 설비이용 효율을 높일 수 있다는 큰 장점을 가지고 있는 통신 기술이다. 고압 배전선로 상에서 장거리 전력선 통신 네트워크를 구축하여 통신을 행하기 위해서는 여러 가지 구성요소를 필요로 하며, 그 중 통신신호를 송수신하기 위한 단말 장치로 모뎀을 필요로 한다. 이러한 광대역 전력선 통신 모뎀은 고압 장거리 전송이 가능하도록 하기 위한 중계 알고리즘 및 국내 전파법에 적합하도록 운용 금지 대역 적용 기능 등을 포함하고 있어야만 한다. 현재 고압 액세스용으로 제작된 광대역 전력선 통신 칩셋으로는 DS2사의 200Mbps급 DSS90XX 시리즈가 있다. 따라서 본 연구에서는 DS2사의 칩셋을 이용하여 고압 장거리 전력선 통신 네트워크 구축에 적합한 200Mbps급 광대역 전력선 통신 모뎀을 구현하였다.

가. 전력선 통신의 분류

a. 주파수에 따른 구분



[그림 3-5-1] 주파수에 따른 구분도

주파수 범위의 선택적 사용이 가능하며, 고압에서 고속 통신이 가능한 안정적 모뎀 칩셋을 검토하였다. 고속용 모뎀을 제작하는 회사로서는 DS2, Matsushita, Gigle, SPiDCOM, Mitsubish, Arkados, Conexant, Intellon, SiConnect, Xeline 등이 있으며, 이 중 시장점유율, 고압선에서의 적용한 사례 등을 분석하였다. 유럽을 근간으로 하는 전력선 단체인 OPERA의 IST Integrated Project No 026920의 Reference guide on the

description of field trials and test procedures [Ref. 1] 등을 참조하여 분석한 결과 DS2사의 Wisconsin 솔루션이 가장 실증도가 높고, 고압 전력선 통신의 구현 회사가 가장 많음으로 선택하였다.

[표 3-5-1] 주파수 대역 비교표

구 분	주파수대역	속 도	서 비 스	
협대역 전력선 통신	9kHz - 450kHz	1Mbps이하	옥내	제어, 음성
			옥외	원격검침, 배전자동화
광대역 전력선 통신	1.7MHz - 30MHz	10Mbps이상	옥내	데이터 네트워크
			옥외	가입자 네트워크

b. 전력선 통신 기술 특징 비교

[표 3-5-2] 주파수 대역 특징

구 분	고속 전력선 통신	저속 전력선 통신
기술 특징	• 속도 : 10 Mbps 이상 • 광대역 사용 : 1.7 ~ 30 MHz • PHY 기술 : OFDM, DMT • IP 기반	• 속도 : 1 Mbps 이하 • 협대역 사용 : 9 ~ 450 kHz • PHY 기술 : DSSS 또는 변형 BPSK • IP 기반이 아님
응용 분야	• Home Network (고속 데이터 통신용) - Internet Sharing - Video/Audio Streaming - Connectivity 제공 (Power+Signal) • Access Network: Last Mile Solution	• Home Network (제어 및 Automation 중심) - 정보 가전 제어 - 원격 검침 (AMR) - 빌딩 제어 (IBS) - 응용 제어기기

나. 모뎀 칩셋 기술 규격

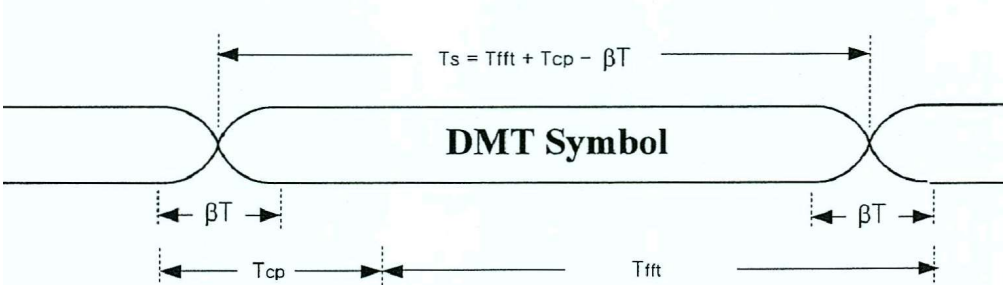
1) PHY 계층규격

변복조 방식으로는 DMT 방식을 사용하며, 표 3-1-1은 PHY 계층에 대한 기본적인 규격이다.

표 3-5-3. PHY 계층 규격

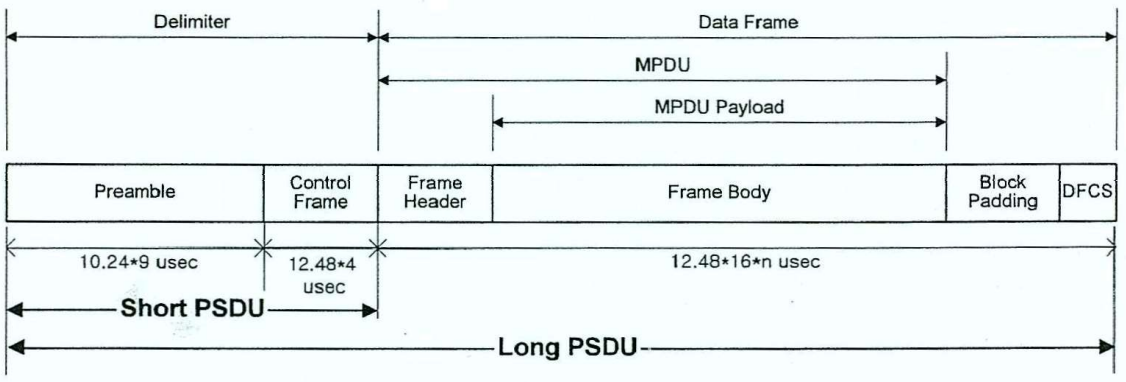
항목	값
사용 대역폭[BWused]	2.15 ~ 23.15 MHz
보호대역	(Note1)
톤 간격(=25MHz / 256)	97.65625 kHz
샘플링 주파수	50 MHz
IFFT 간격 [Tfft]	512 샘플
순환 접두부 간격[Tcp]	128 샘플
롤 오프 간격 [BT]	16 샘플
심볼 간격 [Ts=Tfft + Tcp - BT]	624 샘플
심볼 속도	80.1282 kHz
심볼 길이 (CP 없을 경우)	10.24ms
심볼 길이 (CP 있을 경우)	12.48ms
톤(또는 부채널)변조	DBPSK, DQPSK, D8PSK

DMT 시스템은 2.15 ~ 23.15 MHz의 대역을 사용하고, 각 톤은 97.65625kHz(이론치)의 대역폭을 갖는다. 이중 국내 전파법에서 보호대역으로 지정되는 대역은 제외된다. 전력선 채널에서 DMT 심볼 간의 간섭을 없애기 위해 128 샘플의 순환 접두부를 사용한다. 또 전력선 채널상에서 발생하는 노이즈에 의한 패킷 에러 확률을 줄이기 위해 컨볼루셔넌부호와 리드-솔로몬(Reed-Solomon) 부호가 결합된 FEC(Forward Error Correction)를 적용한다. 각 톤에 사용되는 변조 방식은 채널상황에 따라 DBPSK, DQPSK 및 D8PSK를 사용한다.



[그림 3-5-2] DMT 심볼

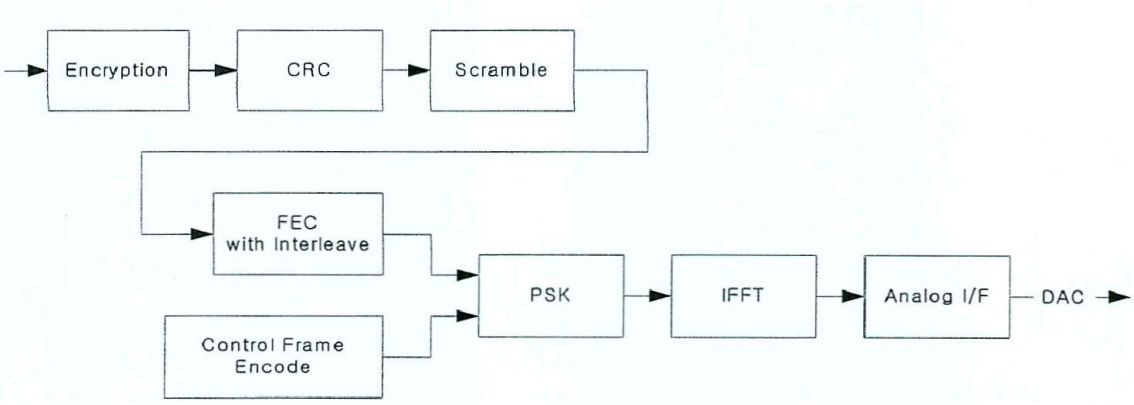
PS여(PHY ervice Data Unit)의 구조는 아래 그림 3-1-2와 같으며 구분자(Delimiter)와 데이터 프레임(DF)으로 구성되어 있고, 구분자는 프래앰블과 제어 프레임(CF)으로 구성된다. 데이터 프레임(DF)은 프레임 특성에 따라 존재하지 않을 수도 있다. 데이터 프레임(DF)이 존재하지 않는 프레임을 짧은 프레임(Short PSDU)이라 부르며, 데이터 프레임(DF)이 존재하는 프레임을 긴 프레임(Long PSDU)이라 부른다.



[그림 3-5-3] PSDU 서식

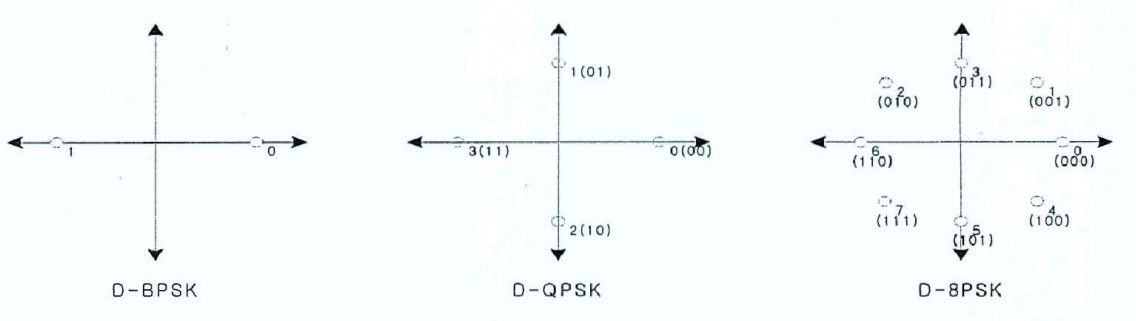
프리앰블은 순환 접두부가 없는 7개의 트레이닝 신호(TR)과 2개의 역 트레이닝 신호(ITR)로 구성된다. 수신단에서는 이를 이용하여 물리적 반송파 감지(PCS)와 자동이득조절(AGC) 및 동기화를 수행한다. 제어 프레임은 순환 접두부가 붙은 4개의 DMT 심볼로 구성되며, 각 DMT 심볼은 각 톤별 기준 위상값을 기준으로 차동 BPSK 부호화를 한다. 또 각 DMT 심볼은 위 프리앰블에서 사용한 윈도우 함수를 사용하여 쉐이핑(shaping)시킨다. 데이터 프레임은 순환 접두부가 붙은 16개의 DMT 심볼 단위(DMT 심볼 블록)

로 구성되며, 한 프레임 내에 최대 15개의 DMT 심볼 블록이 전송될 수 있다. 데이터 프레임 내외각 DMT 심볼은 이전 DMT 심볼을 기준으로 차동 PSK 부호화를 하며, 채널 상황에 따라 각 톤 별로 DBPSK, DQP나 및 D8PSK가 전송될 수 있다. 각 DMT 심볼은 위 프리앰블에서 사용한 윈도우 함수를 사용하여, 쉐이핑(shaping)시킨다.



[그림 3-5-4] DMT 송신기 블록도

그림 3-1-3은 DMT 송신기의 블록도로, 암호화는 56-비트 DES를 사용하며, 구체적인 구현방식은 Federal Information Processing Standards Publication 46-3 "Data Encryption Standard"를 참조한다. 데이터 프레임 CRC 부호화기는 프레임 헤더, 프레임 본체, 그리고 블록 패딩에 대한 16-비트 CRC로 구성된다. CRC는 매 프레임 마다 생성되어 전송되며, 각 프레임의 첫 심볼에서는 초기화 되어 CRC 계산을 시작하고 마지막 심볼에서는 그결과가 맨 뒤에 첨부되어 전송된다. 스크램블러(Scrambler)는 길이 127 프레임 동기 스크램블러를 사용하여 데이터를 무작위화하고, 데이터 직류 바이어스와 최대 연속 길이(maximum run length)를 최소화하기 위해서 32/33 바이어스 억압 부호화를 사용한다. FEC 및 인터리버 FEC와 인터리버는 리드-솔로몬 부호화기, 컨볼루셔널 부호화기, 펑츄어링(puncturing) 및 인터리버로 구성된다. 위상 편이 변조(PLA)SMS DBPSK, DQPSK, D8PSK로 성상도 매핑을 하는 역할을 수행한다. dkof 그림 3-1-5에 각 변조방식에 대한 성상도가 나타나 있다.



[그림 3-5-5] D-BP나, D-QPSK 및 D-8PSK의 성상도

역 급속 푸리에 변환(IFFT) 부분은 PSK에 의해 성상도로 매핑된 256 톤의 데이터를 512 샘플의 시간영역 데이터로 변환하는 블록이며 수신단에서는 급속 푸리에 변환(FFT)을 사용하여 이와 반대로 512 샘플의 시간영역 데이터를 256 톤의 주파수 영역 데이터로 변환한다.

아날로그 인터페이스 부분은 IDFT로부터 넘어오는 데이터를 이용하여 순환 접두부를 첨가하고 쉐이핑(shaping)을 한 후 DAC(Digital to Analog converter)로 전송하는 역할을 수행한다. 순환 접두부는 IFFT에 의해 시간영역으로 변환된 512 샘플 데이터 중 뒤 쪽 128 샘플을 앞으로 복사하여 생성한다. 쉐이핑(shaping)은 각 심볼의 16 샘플에 적용된다.

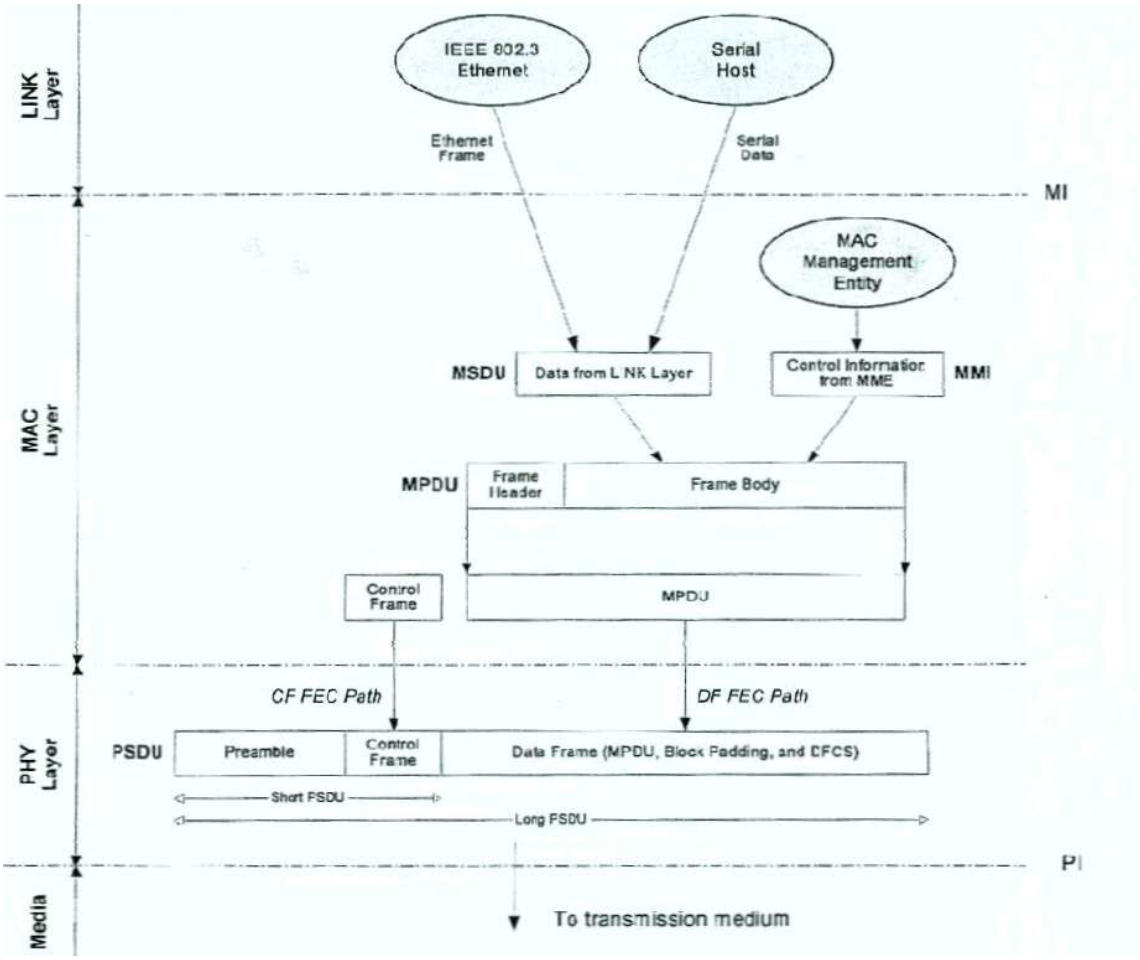
전송모드는 프레임 기반으로 적용되는 전송 방식으로 전력선상에서의 신뢰성 높은 통신을 가능케 하기 위한 세가지 종류가 존재한다. 전송 모드는 채널 상황, 프레임에 포함된 정보의 종류, 그리고 수행되는 과정에 따라 주파수-시간 다이버시티(FTD), 확장 주파수-시간 다이버시티(EFTD) 그리고 정상(NORMAL)모드는 주파수-시간 다이버시티 모드와 동일한 방식으로 구성된다. 주파수-시간 다이버시티 모드와의 차이점은 축소된 확장 해밍 부호를 만들어서 사용한다는 점이다. 정상(NORMAL) 모드는 채널 추정을 통해서 얻어진톤 맵을 사용하여 송수신하는 가장 일반적인 전송 모드다. 정상 모드는 양방향 채널 추정을 성공적으로 수행하여 송신/수신 톤 맵을 가지고 있는 두 스테이션 간에 사용된다.

2) MAC 계층규격

다중접속 방식으로는 분산 액세스 매커니즘인 CSMA/CA를 사용한다. 각 스테이션은 전송을 시작하기 전에 우선 물리적 반송파 감지와 가상 반송

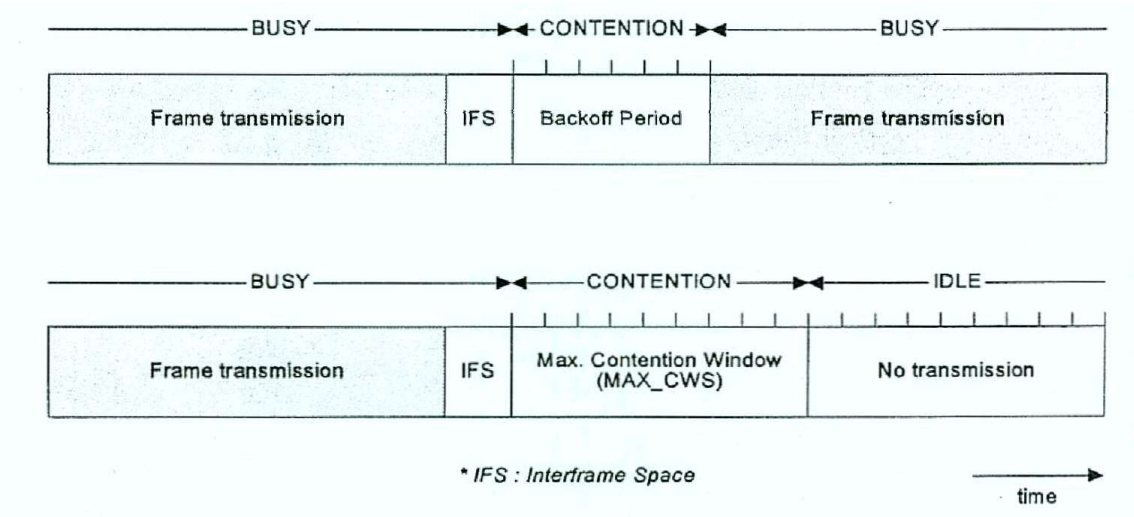
파 감지를 통해 매체의 상황을 감지한다. 만일 매체가 아이들(IDLE)로 판단되면 전송을 시작할 수 있으나, 사용 중(BUSY), 즉 다른 스테이션이 전송 중일 경우 현재 진행 중인 트랜잭션이 종료 될 때까지 기다린다. 해당 트랜잭션이 종료되면 매체 접속을 시도하는 스테이션은 백오프 과정을 통해 다중접속을 시작한다. MAC은 MI로부터 내려 받거나 MAC 계층에서 생성한 데이터를 캡슐화 과정을 수행한 후 PHY계층을 통해 전송한다. “프레임”은 PSDU(PHY Service Data Unit)와 동의어로 사용되고 “서비스 블록”은 전송될 MSDU(MAC Service Data Unit) 또는 MMI(MAC Management Information)을 포함하는 FBB(Frame Body Block)를 의미한다. MSDU와 MMI를 PLC 네트워크를 통해 전송할 때의 캡슐화 과정은 그림 3-1-6과 같다.

MI는 어플리케이션 인터페이스를 위한 부분으로 이더넷 패킷을 기반으로 하는 MII(Media Independent Interface) 및 UART를 통한 직렬 인터페이스를 제공한다. MSDU는 IEEE 802.3 이더넷으로부터 받은 이더넷 프레임 중 8-바이트 길이의 이더넷 프리앰블을 제외한 나머지 부분 또는 시리얼 호스트로부터 받은 시리얼 데이터를 의미한다. 각 MSDU는 FBB를 구성하여 MPDU의 페이로드 격인 프레임 본체에 내포된다. 하나의 프레임 본체에는 주로 한 개의 MSDU가 포함되나 목적지 스테이션이 동일할 경우 여러 개의 MSDU가 하나의 프레임 본체에 포함될 수 있다. MMI는 MAC 관리 실체에서 생성되는 제어 정보로 MSDU와 마찬가지로 FBB를 구성하여 MPDU 페이로드인 프레임 본체에 내포된다. 하나의 프레임 본체에는 한 개 이상의 MMI가 포함되어 전송될 수 있다.



[그림 3-5-6] 송신단에서의 캡슐화 과정

본 규격에서 제시하는 다중 접속 방식은 ISO/IEC8802-11 "A wireled LAN utilizing carrier sense multiple access with collision avoidance(CSMA/CA) as the access method."를 참조한다. CSMA/CA는 충돌을 줄이기 위해 반송파 감지와 백오프 과정을 이용하여 프레임을 전송하는 분산 액세스 메커니즘이다. 스테이션들은 GID로 구분되는 논리적 네트워크인 셀 내에서 서로 일 대 다 통신을 한다. 반송파 감지에는 물리적 반송파 감지와 가상 반송파 감지가 있다. 물리적 반송파 감지는 PHY가 제공하는 기능으로 프리앰블 감지를 의미한다. 가상 반송파 감지는 제어 프레임의 심볼 블록 수(NSB) 필드를 이용하여 다른 스테이션이 현재 전송중인 프레임의 채널 점유 길이를 예상하는 기능으로 MAC에서 제공한다. 물리적 반송파 감지, 가상 반송파 감지, 그리고 백오프 과정에 의해 결정되는 매체상태에는 그림 3-1-7과 같이 아이들(IDLE), 사용중(BUSY), 그리고 경합(CONTENTION)이 있다.

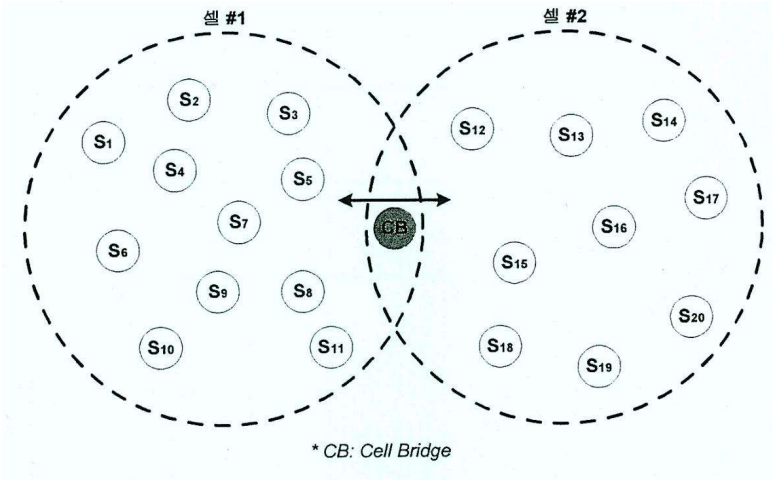


[그림 3-5-7] 매체상태 예시

모든 스테이션들은 물리적 반송파 감지와 가상 반송파 감지를 통해 현재의 매체 상태를 판단한다. 매체 아이들(IDLE)일 경우 스테이션들은 어떤 타임 스롯에서나 자유롭게 트랜잭션을 시작할 수 있다. 매체 사용중(BUSY)일 경우에는 진행중인 트랜잭션이 종료될때까지 매체 접속을 미룬다. 트랜잭션이 종료되면 스테이션들은 종료된 트랜잭션에 따라 SCIFS 또는 LCIFS동안 물리적인 반송파 감지를 수행한다. 이 기간동안 프레임 전송이 감지 되지 않으면 곧바로 백오프 과정을 수행하여 경합에서 이긴 스테이션이 트랜잭션을 시작 하게 된다. 경합 창이 시작된 후에 자신의 전송 타임 스롯을 기다리는 도중 다른 스테이션이 먼저 프레임 전송을 시작한 것을 감지했을 경우 진행 중인 백오프 과정을 다음 매체 경합으로 연기하고 가상 반송파 감지를 수행한다. 다른 스테이션에 의해 시작된 트랜잭션이 종료되면 연기된 백오프 과정을 다시 수행하여 매체 접속을 재시도한다. 브로드캐스트 전송을 위한 부분 자동 재전송 요구(Partial ARQ)는 브로드캐스트 프레임은 1대 이상의 스테이션들에게 전송되는 것으로 이를 수신한 스테이션들이 동시에 응답을 전송할 경우 충돌이 일어나게 된다. 따라서 브로드캐스트 전송에는 기존의 ARQ 방식 대신 부분 ARQ가 사용된다. 단편화(Segmentation)는 서비스 블록의 크기 및 프레임 당 전송 가능한 데이터양에 따라 한 프레임에 하나의 블록을 전송 할 수 없는 상황이 생길 수 있다. 이 경우 해당 서비스 블록을 여러 개로 분할하여 전송하는 것을 단편화(Segmentation)라 정의한다. 단편화(Segmentation)

의 반대 과정은 재조립(Reassembly)이라 한다. 중복 감지 및 복구는 MSDU를 포함한 긴 프레임을 수신하는 수신 스테이션이 수행한다. 긴 프레임의 중복은 수신 스테이션이 전송한 응답 프레임에 에러가 났을 경우 등에 발생한다. 중복된 긴 프레임을 수신한 스테이션은 기존과 마찬가지로 ACK를 전송하고 수신한 중복 프레임은 버린다. 에러 발생시 프레임 처리로 수신 스테이션의 경우 수신한 프레임에 CFCS에러 또는 DFCS 에러가 발생한 것을 충돌로 정의한다. 실제 DFCS 에러는 충돌이 아닌 나쁜 채널에 의해 발생할 수도 있으나 이를 따로 구분하지 않고 동일하게 처리한다. 각 스테이션에게 부여되는 46-비트 길이의 그룹 식별자(GID)는 동일한 물리적 네트워크에 공존하는 논리적 그룹인 셀을 구분해 주는 역할을 한다. GID는 동일한 물리적 네트워크 내에 무한개의 논리적 그룹이 공존할 수 있도록 해준다. 스테이션들 간의 주소 구분은 각 스테이션 마다 할당된 유일한 STA 식별자인 스테이션 식별자에 의해 이루어진다. 상위 링크 계층에 이더넷이 존재할 경우 상위의 MAC 주소와 매핑되는 스테이션 식별자는 프레임 헤더내의 SSID아 DSID 필드에 포함되어 스테이션들 간의 통신에서 발신지와 목적지 주소로 사용된다. 수신 스테이션의 관점에서 볼 경우 모든 스테이션은 수신한 긴 PSDU의 제어 프레임의 VC 필드가 이진수 000이고 동일한 GID를 갖는 PSDU중 프레임 헤더의 DSID 필드가 자신의 스테이션 식별자를 나타낼 경우 데이터 프레임을 복호하여 적절한 행동을 취한다. 단, 브로드캐스트 데이터 PSDU와 브로드캐스트 관리 PSDU(Management PSDU)에 한하여 이를 수신한 스테이션들은 DSID 필드가 자신의 스테이션 식별자를 나타내지 않을 경우에도 데이터 프레임을 복호한다. 정상 모드로 전송된 유니캐스트 데이터 PSDU의 경우에는 제어 프레임의 TMI 필드가 제시하는 톤 맵을 저장하고 있을 경우에만 데이터 프레임을 복호하고 그 외의 경우에는 가상 반송파 감지를 수행한다. 2대 이상의 스테이션이 톤 맵은 다르지만 동일한 TMI를 갖고 있을 경우 틀린 톤맵을 갖은 스테이션에서는 DFCS 에러가 발생하므로 실제 목적지 스테이션만이 데이터 프레임을 복호 할 수 있다. PLC 네트워크에서는 데이터 통신에는 보안을 위하여 56-비트 DES 방식의 암호화가 사용된다. 동일한 물리적 네트워크 상에 공존하는 셀들을 구분해 주는 역할을 하는 것은 46-비트 길이의 GID로서 이는 동일한 물리적 네트워크 내에 무한 개의 서로 다른 셀들이 공존 할 수 있음을 의미한다. GID가 동일한 경우에만 스테이션들 간의 통신이 허용된다. 이와 같이 동일 셀에 속한 스테이션들은 암호화 키를 공유하며 56-비트 DES 방식의 암호화를 통해 데이터 통신에 대한 더욱 확고한 보안을 보

장한다. 셀 브리지(CB)에 의한 리피터 기능으로 두 개의 셀을 연결시켜주는 스테이션으로 서로 다른 GID를 사용하는 두 개의 셀에 존재하는 스테이션으로 서로 다른 GID를 사용하는 두 개의 셀에 존재하는 스테이션들 간의 통신을 가능케 해준다. 그림 3-1-8은 셀 브릿지에 의해 연결된 두 개의 셀을 나타낸다. 셀 브릿지는 두 셀 내의 모든 스테이션들이 보이는 곳에 위치 한다. 셀 브릿지는 연결시킬 두 개의 셀이 할당되면 양 셀에서 현재 사용 중인 GID와 암호화키를 알게 된다. 이 후 셀 브릿지는 기존의 스테이션들과 동일한 방법으로 양 셀에 있는 스테이션들과 채널 추정을 수행하며 라우팅 테이블에 자신이 연결시키는 두 개의 셀 내에 있는 스테이션들에 관한 정보를 저장한다. 셀 브릿지의 통신 설정 및 동작은 한쪽 셀에서 수신한 MSDU를 다른 쪽 셀로 중계하는 기능을 제외하면 기존의 스테이션들과 동일하다. 우선 셀 브릿지는 기존의 스테이션과 마찬가지로 상위 링크 계층에서 내려온 MSDU와 자체적으로 생성한 MMI를 전송한다.



[그림 3-5-8] 셀 브릿지에 의한 리피터 기능

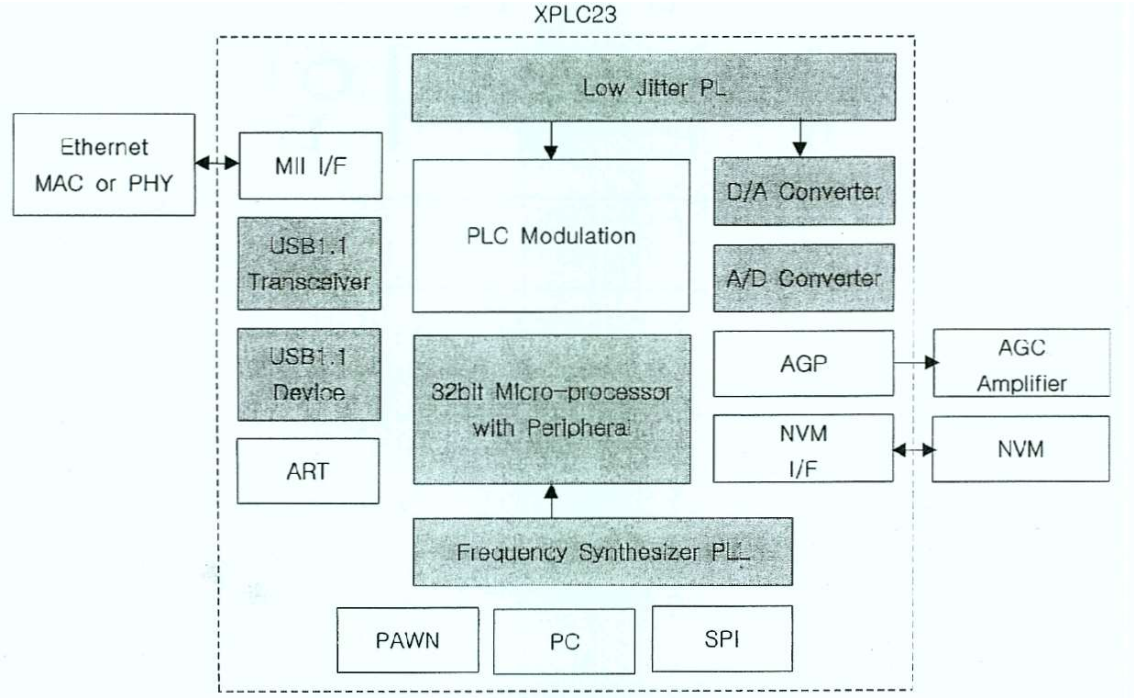
송신요구/송신가능(RTS/CTS)은 숨겨진(hidden) 스테이션에 의한 충돌을 방지하기 위해 사용될 수 있다. 프레임을 송수신하는 두 스테이션은 트랜잭션을 시작하기 전 RTS와 CTS 프레임을 주고 받아 매체 예약을 수행한다. RTS/CTS를 주고 받는 두 스테이션을 제외한 다른 스테이션들은 이를 통해 바로 진행될 트랜잭션의 길이 동안 가상 반송파 감지를 수행할 수 있으므로 트랜잭션이 진행되는 도중 숨겨진 스테이션에 의한 충돌이 방지된다. RTS/CTS는 숨겨진 스테이션이 존재할 경우에 한하여 동일한 물리적 네트워크에 공존하는 모든 스테이션들에 의해 사용된다.

3) 칩셋의 구성

PLC 변조방식은 PLC 통신을 수행하기 위한 핵심 변복조기로 데이터와 아날로그 인터페이스를 포함하고 있다. FEC(Forward Error Correction)는 콘볼루션 부호기/복호기, RS부호기/복호기, 인터리버/디인터리버로 구분되며, 전련선에서 발생하는 각종 잡음에 대처하기 위함이다. 모뎀부의 엔진이라고 할 수 있는 송신기의 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 부는 주파수영역의 데이터를 시간영역으로 신호로 변화하는 장치고, 수신기의 FFT(Fast Fourier Transform)는 시간영역의 신호를 주파수영역의 데이터로 변환하여 주는 장치로 각각이 심볼주기인 15.6usec 이내에 512 point IFFT/FFT를 수행한다. AI를 통해 ISI(Inter Symbol Interference)에 대처하기 위해 CP(Cyclic Prefix)가 붙이고 제거하며, shaping되어 아날로그 부와 접속된다. 데이터 인터페이스는 이더넷 인터페이스를 지원하기 위한 MII(Medium Independent Interface), 시리얼 인터페ㅣ스를 지원하기 위한 UART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), 각종 디바이스 인터페이스를 지원하기 위한 PWM(Pulse Width Modulation), PC(Pulse Counter), SPI(Serial Peripheral Interface)로 구성되어 있다.

AGC(Automatic Gain Controller)는 수신신호의 레벨을 검출하고 크기를 조정함이다. 전력선 채널은 채널감쇄 특성이 매우 크므로 큰 dynamic range를 갖는 AGC기술이 필요하며, 수신 신호 크기를 계산값을 적정신호 레벨로 정규화하며 A/D 변환기의 dynamic range를 최대로 활용하는 기술이다. NVM(Non-Volatile Memory)인터페이스는 프로그램 메모리 인터페이스로 시스템 구동시 외부 플래시 메모리로부터 칩 내부의 SRAM으로 프로그램을 다운로딩하기 위한 인터페이스이다. XPLC23의 HW core 별 구성은 그림 3-1-10과 같이 상기의 자체개발 IP core 이외에 다음과 같은 IP를 도입하여 적용하였다. 32bit Miro-processor는 PLC 고유의 특성상 매체를 공유하기 위한 MAC(Medium Access control) sub-layer를 유연성을 지원하는 software적으로 구현하기 위한 것이다. 이는 PLC Physical sub-layer인 PLC Transceiver와 직접적으로 연동하여 동작한다. 또한 PLC Transceiver의 각종 parameter를 조정할 수 있고, 부수적으로 UART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), PWM(Pulse Width Modulation), SPI(Serial Peripheral Interface) 및 PC(Pulse Counter) 등과 같은 주변기기 인터페이스를 제어한다. Frequency Synthe sizer PLL은 System Clock으로부터 micro-processor가 사용하기 위한 동작 주파수

를 만들어 내기 위해 사용된다. D/A converter는 변조된 디지털 데이터를 아날로그 신호로 변환하기 위한 것으로 성능을 좌우하는 주요 성분이고, A/D converter는 수신된 아날로그 신호를 디지털 데이터로 변환하기 위한 것으로 성능을 좌우하는 주요 core이다. 또한 Low jitter PLL은 D/A converter의 conversion rate가 A/D converter의 conversion rate 보다 적어도 두 배 이상이기 때문에 PLL(Phase Locked Loop)이 요구된다. USB1.1 Transceiver는 USB의 물리적 사양을 지원하기 위한 Transceiver로써 USB 1.1 Specification의 Full-Speedd Mode를 지원하여 최대 12Mbps로 전송이 가능하여야 하며, USB1.1 Device는 USB의 Controller 사양을 지원하기 위한 Device이다.



[그림 3-5-9] XPLC23 칩 HW IP core 구성도

4) 칩셋 제작

설계된 H/W를 검증하기 위하여 FPGA를 탑재한 H/W 플랫폼을 제작한다. 각 기능 블록에 대한 H/W를 FPGA에 탑재하여 Emulation을 수행하여 H/W 플랫폼에는 아날로그 구성요소도 같이 포함하여 전체적으로 전력선 통신 모뎀 기능을 수행할 수 있도록 설계 한다. Emulation 과정에서 설계된 H/W에 대한 문제점을 찾고 다시 수정된 내용에 대한 반족적인 테스트를 통해서

완성된 형태의 H/W 블록 설계가 가능하다. 이와 같이 함으로써 실제적인 아날로그 구성요소의 영향을 Emulation에 반영할 수 있었으며, 시뮬레이션만으로는 결정하기 어려운각 로직 구성 및 파라미터들을 최적화할 수 있었을 뿐 아니라, 상당히 긴 시간동안 데이터 송수신 과정에 대한 테스트도 함께 진행함으로써 시뮬레이션의 한계를 보완할 수 있다. H/W 검증을 위한 플랫폼은 FPGA를 기본 구성소자로 하여 다양한 형태의 소자로 구성한다.

메인보에는 FPGA가 있어서 PLC SoC의 각 기능 블록의 H/W logic 설계부분이 내장되어 실질적인 전력선 통신 기능을 수행한다. 메인보드에 탑재된 프로세서는 H/W 블록의 동작을 제어하고 또한 configuration을 변경하는 역할을 수행한다. 그리고 MAC과 상위 프로토콜등의 소프트웨어를 탑재하여 모뎀 동작을 제어하게 된다. AFE 모듈은 각 A/D변환, D/A변환 등을 수행하고, 아날로그 필터링, 증폭기능 등을 수행한다. 이 외에 각종 스위치, 커넥터 및 전원 공급 단자, 그리고 동작 상태를 확인을 위한 LED 디스플레이 장치등을 두어 효과적인 Emulation을 수행할 수 있도록 보드를 제작 한다.

H/W 플랫폼을 사용하여 설계한 각 H/W기능을 테스트하고, 성능 검증 작업을 수행한다. Emulation 사용하여 설계한 각 H/W 블록을 테스트하고, 성능 검증 작업을 수행한다. Emulation 과정에서 각 H/W 기능 블록의 동작 상태를 확인하기 위하여 기본적으로 보드에 장착된 LED 디스플레이 상태를 보고 판단하며, 좀 더 자세한 동작 상태 확인을 위해 test code를 작성하여 마이크로프로세서에서 구동시킨 후, 디버거를 통하여 H/W의 각 부분에 대한 동작 결과를 확인한다. 이러한 test code에 의한 H/W 동작 확인을 통해 효과적인 emulation을 수행할 수 있었으며, 매우 세밀한 부분까지 검증을 할 수 있다. Emulation의 기본 목표는 설계된 H/W에 오류가 없도록 검증하고, 실제적인 아날로그 회로와 같이 연동으로 동작될 때 발생할 수 있는 문제점을 찾아서 해결하는 것이나, 개발된 PLC SoC의 성능적인 면도 중요하기 때문에, emulation 과정에서 여러 채널 환경을 설정한 상태에서 통신 성능에 대한 검증 작업도 병행한다.

5) 전력선 통신 Chip-Set 비교

[표 3-5-4] 국가별 Chip-Set 개발현황

Co. Feature		Intellon	DS2	젤라인
Country		미국	스페인	한국
Support		HomePlug AV	UPA	KS X 4600-1
Topology		Ad-hoc	Master/Slave or Ad-hoc	Master/Slaveor Ad-hoc
Access Method		Home Network	Access, Home Network	Access, Home Network
Duplex		Half Duplex	Half Duplex or Full Duplex	Half Duplex
Modulation		Windowed OFDM	Advanced OFDM	QAM based DMT
PHY Throughput		200Mbps	200Mbps	24Mbps
Total Carriers		1,155 Carriers	1,536 Carriers	256 Carriers
Bandwidth		1.8MHz ~ 30MHz	2MHz ~ 34MHz	2MHz ~23MHz
MAC	Encryption	AES	Triple-DES	56-bit DES
	Multiple access	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA
Product				

6) DS2의 Wisconsin 솔루션 분석

DS2는 스페인에 위치한 고속 전력선 모뎀 칩셋 제조사로 주요 칩셋으로 Wisconsin 시리즈라고 불리는 고압 및 인 빌딩용을 목표로 한 칩셋이 200Mbps까지 발표되어 있고, 가정용을 목표로 하는 Aitana 라는 200Mbps 칩이 발표 되어있다. 또한, 각각 소프트웨어 솔루션으로 고압 및 인 빌딩용의 솔루션인 Wisconsin의 Chipset은 각각 처리하여야 할 MAC 어드레스의 범위와 동시에 접속할 Node의 수에 따라 구분이 된다. 본 연구에서는 고압액세스망 및 백본으로 활용가능하며 1024개의 MAC 어드레스를 관리할 수 있는 규모의 칩셋인 DSS9002를 선정하였다. DS2사에서 제공하는 Solution Guide에 근거하여 Head-End(이하 HE), TDD 및 FDD REPEATER(이하 TDR 및 FDR)과 Consumer Premise Equipment(이하 CPE)로 구성하도록 되어있다.

[표 3-5-5] 각 칩셋별 응용분야

Software / Chip Set	Spirit	Alma		
		In-Building & Access	Voice Enable	Backbone
DSS9011	0		0	
DSS9010	0	0		
DSS9001	0	0	0	0
DSS9002	0	0		0
DSS9003		0		0
DSS9101	0			

다. 모뎀 장비의 개요

1) HE (Head-End)

인터넷 사업자로부터 RJ-45 케이블을 공급받아 PLC 네트워크에 인터넷 서비스를 인가하여 주는 장치이며, PLC 모뎀은 ACS(Auto Configuration Server)로부터 구성 정보를 최초로 받아 자기 구성을 한 후에 하부의 장비에 대하여 AC data의 전달 통로의 기능을 수행한다.

2) Repeater

전력선에 인가된 모듈레이션 된 인터넷 신호를 원거리 까지 증폭하여 전달하는 기능을 수행하는 장치이며 크게 TDR과 FDR의 2개의 장비로 구분될 수 있다.

a. TDR (Time Division Repeater)

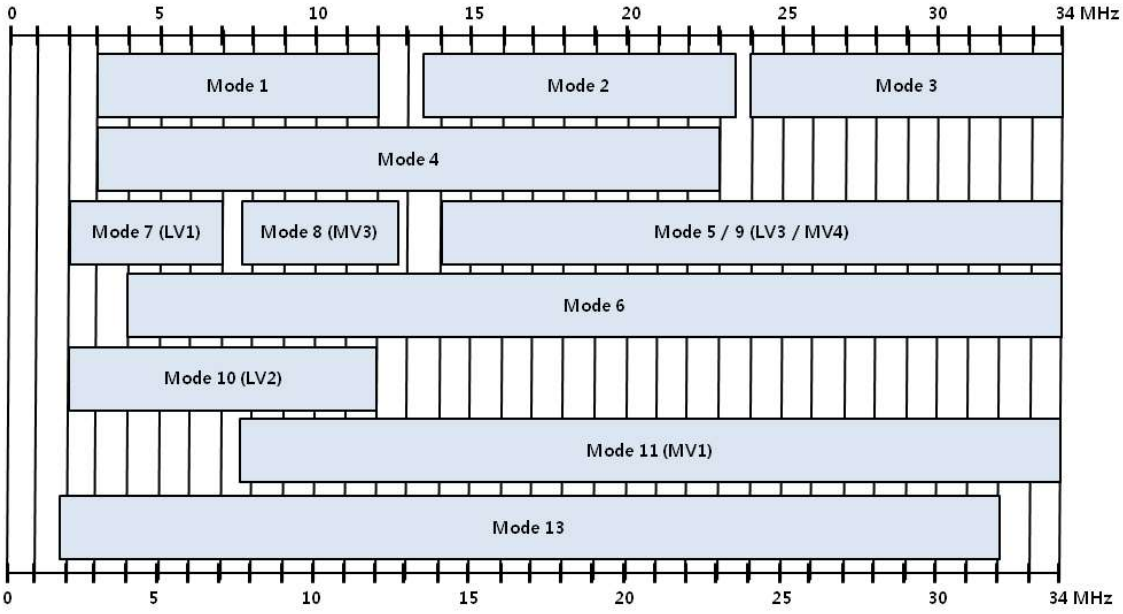
시분할 중계기이며 자기에게 등록된 장비와 접속을 유지하며, 수신된 상.하향의 전력선 신호를 시분할 방식, 즉, Store and Forwarding 방식으로 전달하는 장치이다.

b. FDR (Frequency Division Repeater)

주파수 분할 중계기이며, DS-2에서 제공하는 표준 모드(모드1 ~ 모드16, 모드9 없음)이내에서 상.하향의 주파수를 분할하여 데이터를 전송하는 장

비이다. 이 경우에는 사용되는 모뎀이 하나의 주파수 대역만을 처리하는 기능을 수행하므로 DSS9002 칩셋이 2개가 사용되어 지는 구조를 갖게 된다.

[표 3-5-6] DS-2 칩셋의 주파수 분할 표



c. CPE (Consumer Premise Equipment)

가입자 임대 장치라는 뜻의 장치이며, 실제적으로는 HE나 Repeater로부터 전송되어지는 전력선 반송파 신호로부터 가입자에게 인터넷 서비스를 위하여 가입자 댁내에 제공되는 의미의 종단 장치의 개념을 갖는다.

라. DSS9002의 제원 및 특성

DSS9002는 802.1d의 bridging protocol을 지원하고 1024개의 MAC learning table을 지원한다. 2개의 100Mbps의 MII인터페이스를 탑재하고 있으며, 8개의 GPIO, 1개의 UART port를 제공한다.

마. 개발 장비의 사양

[표 3-5-7] 개발 장비의 사양

장비명 / 세부사양		HE, TDR, CPE	FDR
Main Chipset		DSS9002 x 1EA	DSS9002 x 2EA
Analog Front End		DSS7700 x 1EA	DSS7700 x 2EA
Port	MV Coupling	BNC x 1EA	BNC x 2EA
	Ethernet connector	RJ-45 x 2 Port	RJ-45 x 2 Port
	Power connector	220/100VAC	220/100VAC
	Console	D-SUB9 x 1EA	D-SUB9 x 1EA
	Loop control	D-SUB9 x 1EA	D-SUB9 x 1EA
LED	Power LED	1EA	1EA
	PLC Connect	1EA	2EA
	Ethernet Connect	2EA	2EA
Power Switch		1EA	1EA

바. 광대역 전력선 통신 모뎀 설계 고려 사항

1) Hardware의 최적화 설계

○ Low cross talk를 위한 배치 설계 방법

○ High speed memory interface 설계 기술

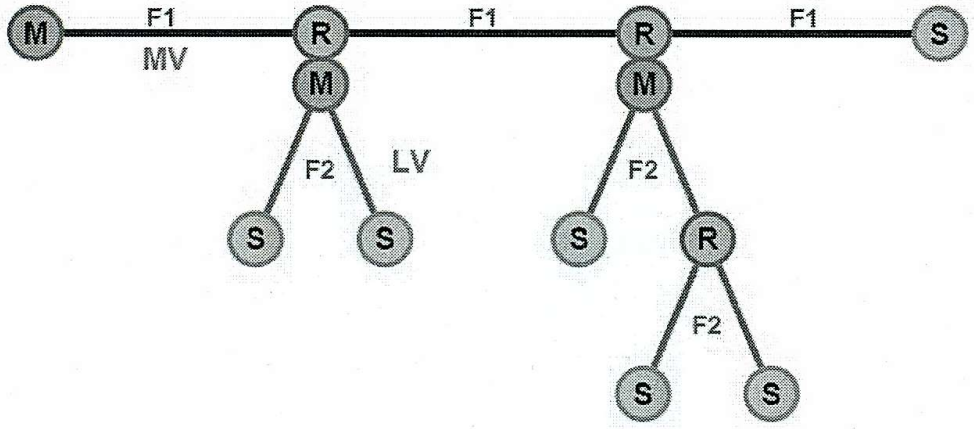
○ 발열구조를 위한 배면 설계 기술

2) 효과적인 망 구성

a. HE, TDR, FDR의 배치에 대한 연구

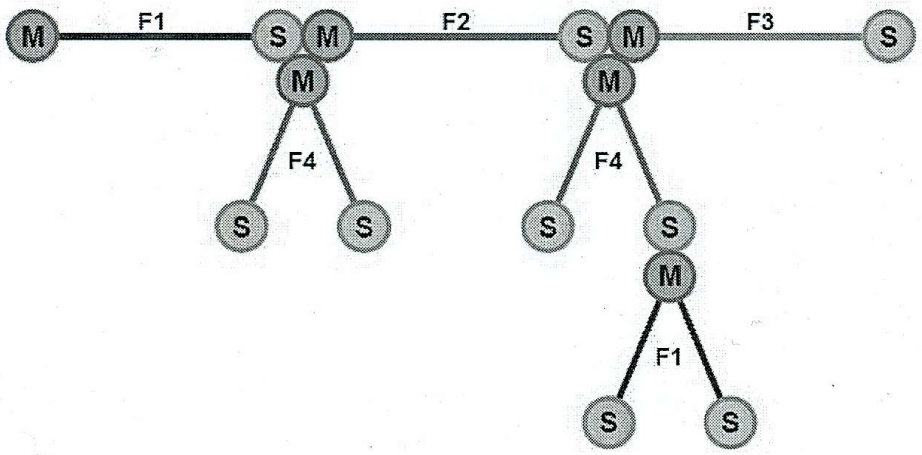
망구성은 Zero tuning network와 같은 tuning이 필요 없는 망 구성을 할

수 있지만 실질적으로는 인터넷 서비스를 위하여 운용되는 망에서는 부하의 집중 등을 고려하여 설계하여야 하므로 적합하지 않을 수 있다. MV stream을 구성하는 부분에 F1의 주파수 대역을 할당하고, LV(Low Voltage)에 F2의 주파수를 할당하여 Intranet과 MV 전송 라인을 분리하여 주는 방식이다. 여기서 사용되는 Repeater는 TDD 방식이며, LV에 연동하기 위하여 2개의 모뎀이 장착된 Repeater이어야 한다.



[그림 3-5-10] Zero tuning network

또 다른 망 구성은 Pure FD Network를 구상할 수 있다. 이러한 topology의 효과는 MV 전송구간에 F1, F2 및 F3의 주파수를 교대로 배치하여 장거리 전송에 중점을 두고 있으며, LV쪽 구간에는 각각 F4를 할당하여 첫 번째 Hop을 구성하고, 두 번째 Hop은 F1을 할당하여 주파수를 재사용하는 기법을 구현하는 방법이 있다. 여기에서 MV line에 설치된 Repeater는 FDD 방식이며, LV에 drop하기 위하여 3개의 모뎀 Chip set이 장착된 Repeater가 설치되어야 한다.



[그림 3-5-11] Pure FD Network

MV를 통한 전송로 구간을 설정하고 저압선 연결 없이 설계하는 망의 경우, 가입자의 인터넷 서비스는 WiFi등을 통하여 서비스 한다고 할 때 가상할 수 있는 망 구성의 예

- HE-TD-TD-TD-TD-TD-TD-TD- ...
- HE-FD-FD-FD-FD-FD-FD-FD- ...
- HE-FD-TD-FD-TD-FD-TD-FD- ...
- HE-TD-FD-TD-TD-FD-TD-TD- ...

등의 여러 가지 경우의 수를 고려할 수 있다.

b. Time delay vs Throughput에 대한 배치 고려

상기항의 망 구성에 따라 Throughput이 고려되지만 다른 중요한 요소로서 Time delay가 고려되어야 한다.

3) ACS 및 SNMP 평가

a. ACS 서버 및 client의 설정

Linux base의 DHCP 및 TFTP 서버를 사용하여 Server에 가까운 장비부터 순차적으로 초기 구성이 가능하며, 서버에서 원하는 구성을 바꾸어 언제든지 사용상 필요하게 설정이 가능하다. 다만, PLC 네트워크에 Node수가 많아지면 설정에 시간이 과다하게 소요되는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 Repeater 장비 내부에 NVRAM 영역이 존재하고, 이 영역에서 필요한 설정을 저장하게 하여 정전, 장비 재가동 등으로 시스템이 재시작하는 경우 네트워크 구성 속도를 증가 시킬 수 있다.

b. SNMP Server 및 client의 설정

Linux based system에서 command line의 형식으로 snmpget, snmpwalk, snmpset등의 명령을 사용하여 시험하여 볼 수 있다. 이러한 방식은 장비에 탑재된 agent의 동작 여부만을 시험 할 수 있다. SNMPc Server 프로그램은 비교적 Visual 하지는 않지만 네트워크 구성을 Tree 구조로 볼 수 있으며, 필요한 MIB을 추가 할 수 있다. 본 과제에서 장비의 동작 상태를 확인하기 위하여 DS-2의 MIB을 서버에 삽입하였고, 이 프로그램의 장비의 여러 상태를 확인하는데 유용하게 사용되었다.

또한 plSystemEntry에 포함되어 있는 각각의 OID(Object Identification)들에 대하여 plSysiso(1).org(3).dod(6).internet(1).private(4).enterprise(1).ds2(6798).wisconsin(3).plSystemTable(1).plSystemEntry(1) 를 get하여 표로 보여준다. 이 정보로부터 Firmware version 정보등 DS-2 MIB에서 제공하는 장비의 상태를 파악할 수 있었다.

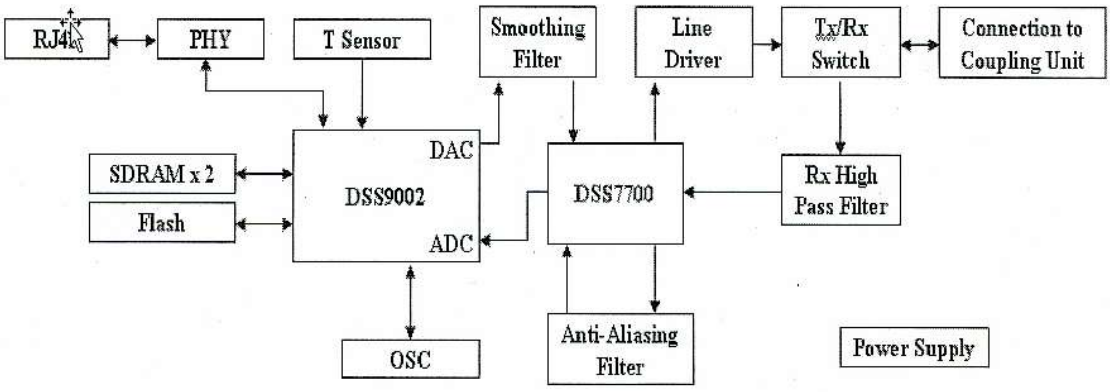
사. 광대역 전력선 통신 모뎀 설계

1) 회로설계

a. 전체 블록도

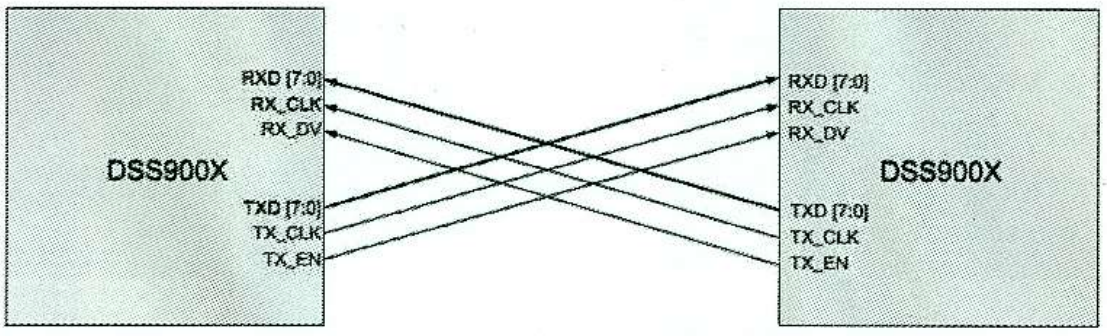
PLC 모뎀 중 HE, TDR, CPE의 내부 구조는 아래 그림과 같다. DSS9002는 PLC 모뎀 칩이며, DSS7700은 AFE(Analog Front End)이다. DSS9002는

128Mbit의 SDRAM과 16MBit의 Flash memory를 내장하고 있다. 또한, 내부의 온도를 측정하기 위하여 T(Temperature) Sensor를 장착할 수 있고, Ethernet의 물리층과 접속하기 위하여 PHY칩을 탑재 하였다. 또한 아날로그 정합부는 송신을 위하여 DAC출력을 평탄화 하기 위한 Smooting filter와 DSS7700에서 출력제어를 위한 Control을 거쳐 Line driver Amp를 통하여 신호를 증폭한 후 송.수신 분리 Switch를 통한 후 Coupler를 거쳐 전력선으로 신호를 전송하게 된다. 역으로, 커플링을 통하여 타 전력선 모뎀으로부터 인입된 전력선 신호는 Rx 타이밍 동안에 수신되어 Rx High pass filter를 경유하여 DSS7700의 수신전력 자동제어를 거치게 되고, 이 과정에서 Anti-Aliasing 회로를 통과하여 Aliasing 효과를 제거한 후 PLC 모뎀 칩인 DSS9002의 AD converter를 경유하여 신호 처리 과정이 수행되게 된다.



[그림 3-5-12] HE, TDR, CPE의 블록 다이어그램

2) DS-2 Interface part



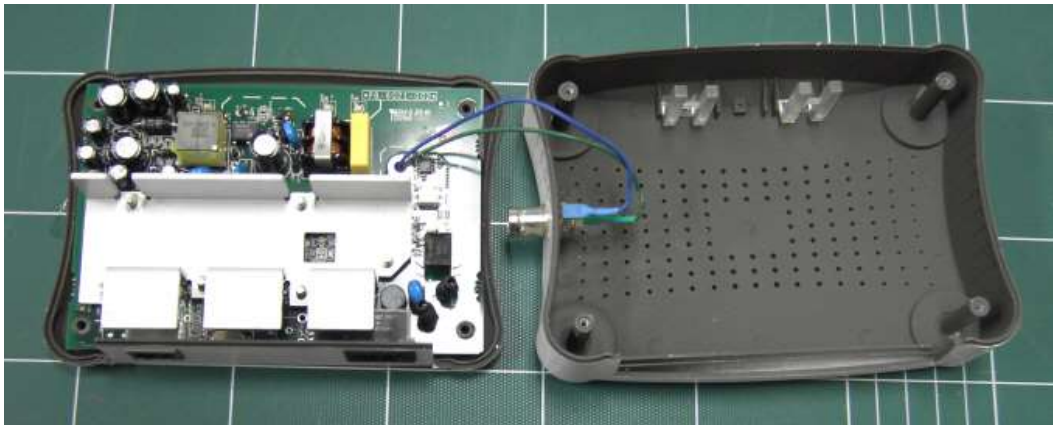
[그림 3-5-13] DS-2 Interface part 블록도

아. 전력선 통신 모뎀 사진





[그림 3-5-14] DS-2 Interface part 블록도



[그림 3-5-15] DS-2 Interface part 블록도



[그림 3-5-16] DS-2 Interface part 블록도

3. 결론 및 향후 계획

옥외용 DS2 Chip 내장형 전력선통신 모뎀은 주파수/Time 제어가 가능한 안정된 제품으로 제작이 가능하며 개발자의 시험에 필요한 다양한 Tuning을 수 있다.

전송율의 안정화 및 속도 향상을 위하여 전차선의 환경조건(Noise)에 최적화 Setting이 최대 관건이며, 전차선의 이동 Noise에 대응할 수 있는 응답성이 빠른 주파수 변경 알고리즘의 진보가 계속 되어야 한다.

본 모뎀을 사용하여 시험선(비 활성)에서 전차선(조가선)을 매개 Data 전송 예비 시험 실시 하였으며, 충분한 전송 속도를 유지하고 있으므로 2차년도 전기철도 전력선통신 시험용으로 사용할 수 있다.

제6절 무접점 전원 공급 장치 개발

1. 서론

고압용 비접촉식(非接觸式) 전원장치는 주상(柱上)의 배전선로에서 상시적으로 존재하는 선로 전류를 이용하여 변류기(變流器, Current Transformer) 방식을 통해 전원을 획득하여 전력선 통신용 Modem 또는 Repeater 등에 공급하기 위한 전원장치 및 그 부속장치이다.

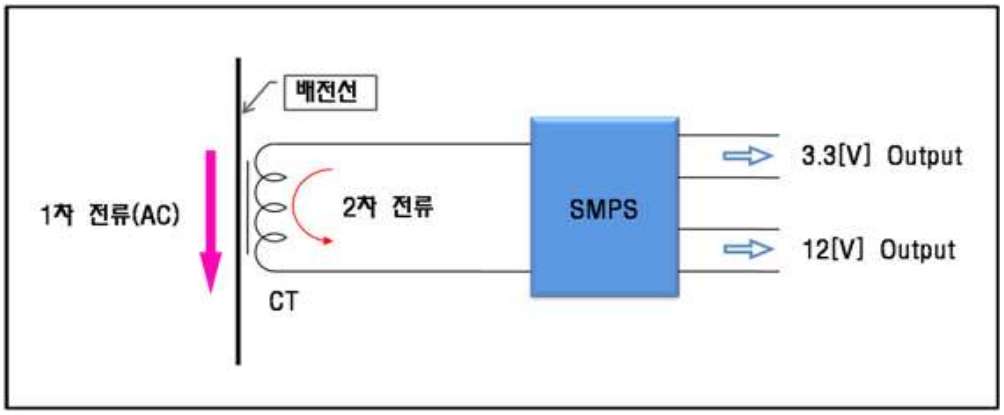
고압 전력선 통신 시스템에서는 전력선이라는 열악한 채널 환경조건 때문에 일정거리 이상 통신 신호를 전송하는 것이 어려워진다. 따라서 일정거리마다 중계기(中繼器)를 설치하여 준다거나 하는 식의 보완책이 필요한데 이러한 보완책의 가장 곤란한 부분 중의 하나가 중계기용 전원의 확보이다. 도심(都心)이나 주택지역에서는 비교적 가까운 거리에 주상변압기(柱上變壓器)들이 설치되어있고 220[V] 교류 저압 전원이 상존하므로 전원의 확보에 별다른 문제가 없으나, 농촌이나 교외지역에는 전원의 확보가 어려운 경우가 많다. 이러한 경우에 가공(架空) 전력선에 비접촉식으로 설치하여 필요한 만큼의 전원을 인출하여 사용할 수 있는 전원장치가 필요하게 된다.

고압용 비접촉식 전원장치는 배전선로에서 전원을 획득하기 위한 변류기부와 획득된 전원을 변환하여 사용하려는 정전압(定電壓) 전원으로 만들어주는 전원회로부로 나눌 수 있다. 변류기부는 선로의 전류를 가능한 한 손실 없이 변환해 주어야 하므로 1차 및 2차 전류에 대한 변환효율(變換效率)이 좋아야 하며, 고압의 배전선로에 설치된 상태에서도 안정적으로 기능하기 위해 상용주파(常用周波) 및 뇌충격파(雷衝擊波)에 대한 충분한 절연내력(絶緣耐力)을 가져야 한다. 또한, 배전선로에 고장발생시 흐를 수 있는 최대의 전류인 최대단락전류(最大短絡電流)에 대해 견딜 수 있는 충분한 용량을 가져야 한다. 변류기는 기존에 설치되어있는 가공 배전선로를 절단하거나 새로운 선로를 설치하지 않고 그 상태에서 간단히 설치할 수 있도록 Clamp 형태로 제작되는 것이 바람직하다.

2. 비접촉식 전원 공급 장치

가. 전원장치 기본 구성

[그림 3-7-1]은 비접촉식 전원장치의 전체적인 구성을 나타낸 구성도이다. 그림에서 보듯이 비접촉식 전원 장치는 배전선의 1차 전류로부터 전자기 유도 방식으로 2차 전류를 유도하는 변류기와 과전압 및 과전류에 대한 보호회로를 포함하는 SMPS(Switching Mode Power Supply)로 구성되어 있다.



[그림 3-6-1] 비접촉식 전원장치의 전체 구성도

나. 변류기의 설계

비접촉식 전원장치의 변류기는 배전선로에 설치가 가능하며 전류 변환효율이 양호한 특성을 가져야 하므로 환형(環形)의 구조가 적당하다. 또한, 기존에 설치되어있는 가공 배전선로를 절단하지 않고도 변류기를 설치할 수 있도록 분할된 코어(Cutting Core)에 Clamp 형태로 제작되는 것이 바람직하다.

변류기의 코어는 규소강판(硅素鋼板) 코어를 사용하였다. 규소 강판은 제조 공법에 따라 열간압연(熱間壓延) 규소 강판과 냉간압연(冷間壓延) 규소 강판으로 분류되나 현재는 거의 냉간압연 규소 강판만 생산되고 있다. 냉간 압연 규소 강판은 또 방향성 규소 강판과 무방향성 규소 강판으로 나뉘어 진다. 무방향성 규소 강판은 실리콘이 약 3[%] 함유된 철과 규소의 합금으로 흔히 0.5[㎜] 두께로 압연 처리하여 일반적인 트랜스포머나 전동기 등에 사용되고 있다.

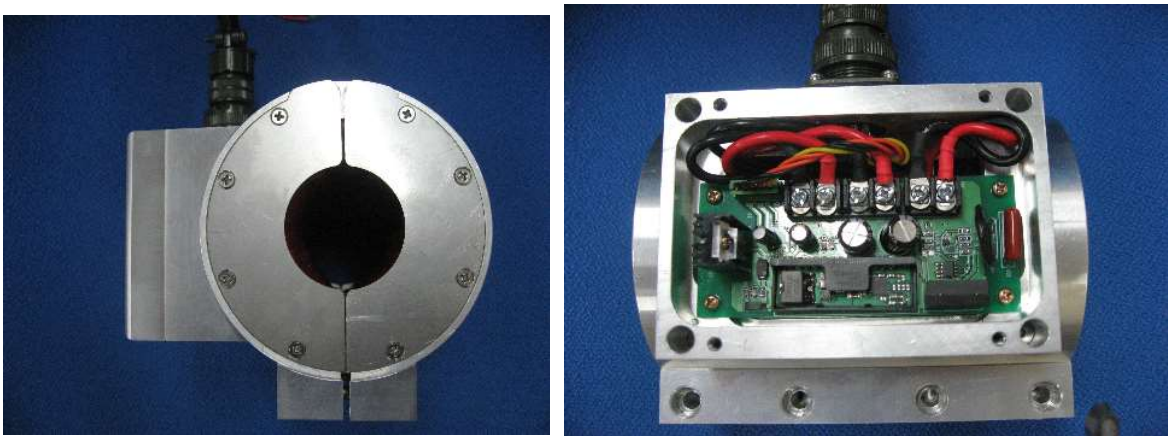
이러한 규소강판을 둘둘 말아서 도넛형으로 만든 것을 토로이달 코어(Toroidal Core)라고 하며, 이것을 잘라서 코일을 삽입할 수 있도록 한 것이 컷트 코어라 불리는 C 코어이다. 이 C코어는 EI형에 비해 손실이 적고 우수한 특성의 트랜스를 만들 수가 있으나 가격이 높아지는 결점이 있다.

변류기는 고압의 배전선로에 설치되므로, 우수한 절연내력(絶緣耐力)이 요구된다. 이러한 절연내력을 확보하기 위해서 변류기의 외부를 에폭시 등의 전기절연재로 Molding하는 것이 필요하다.

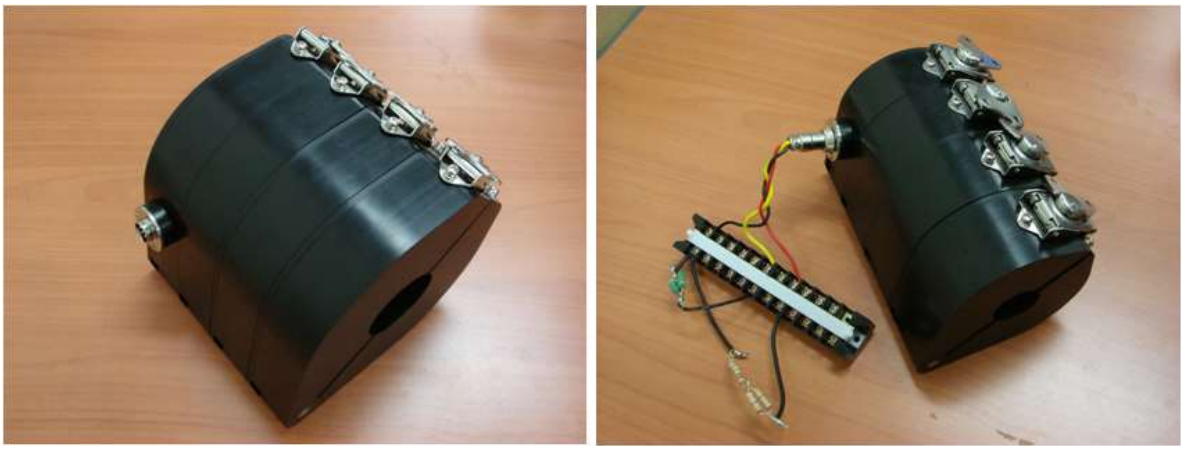
다. 국내의 변류기 개발 현황



[그림 3-6-2] 2차 변류기



[그림 3-6-3] 제작된 3차 변류기 모습



[그림 3-6-4] 제작된 4차 변류기 모습

[표 3-6-1] 일체형 변류기의 시험 결과

CT 수량	적용 부하	정격전압(12V, 3.3V) 출력 시의 1차 전류	비 고
1	Half (3W)	37.6A	
2	Half (3W)	26.3A	
3	Half (3W)	19.9A	
1	Full (6W)	57.6A	
2	Full (6W)	37.2A	

3	Full (6W)	29.0A	

라. 결론

본 연구에서는 전력선 모뎀을 구동시키기 위해 전차선에서 변류기를 통해 전기 전원을 받기 위해서는 변류기의 무게가 10kg이 넘게 제작이 되기 전차선에 설치되기에 부적절하다고 판단이 되었으며, 또한 국내에서 제작을 하기 쉽지 않아 다른 전원 공급 장치에 대해서 연구 개발을 하도록 수정하였다. 적절한 전원 공급원으로는 풍력과 태양 전지가 있다. 이중 설비가 쉽고, 제작이 용이한 태양 전지를 전원 공급 장치로 변경을 하게 되었다.

3. 태양 전지

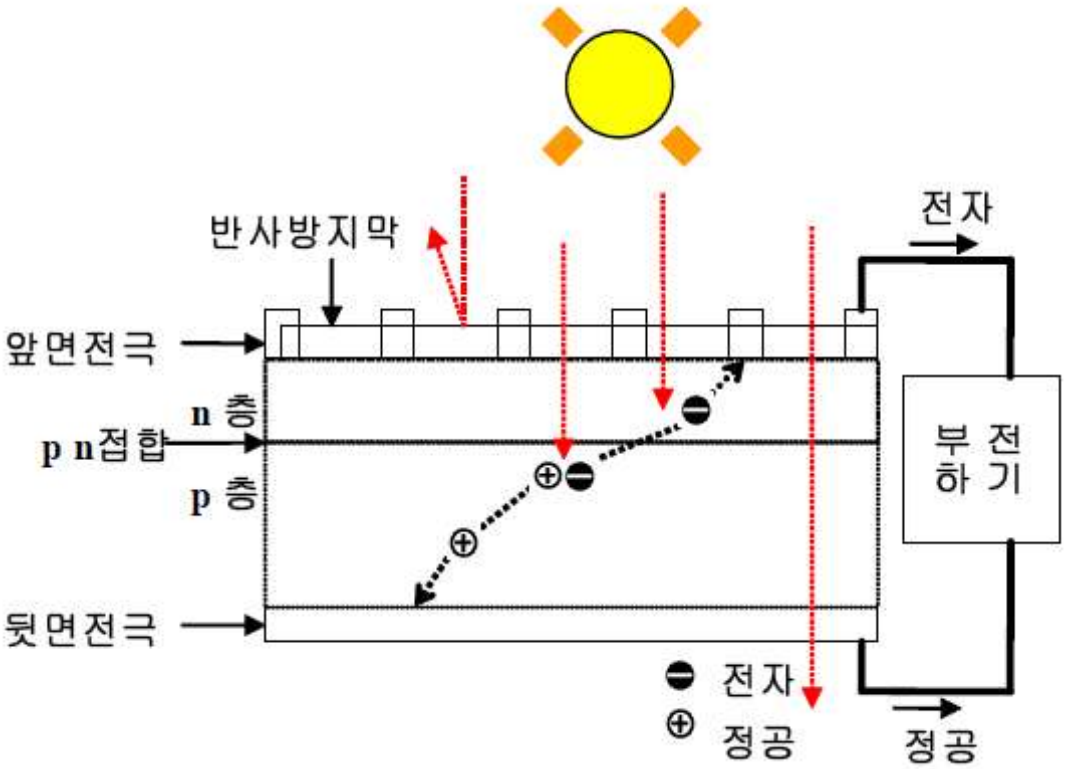
가. 개 요

태양 에너지는 청정하고 재생 가능하며 무한한 에너지원이다. 태양광 기술은태양에너지를 전기 에너지로 변환시키는 시스템 기술이다. 에너지 변환 과정에 기계적, 화학적 작용이 없으므로 시스템의 구조가 단순하여 유지 보수가 거의 요구되지 않고 수명이 20~30년 정도로 길며 안전하고 환경 친화적이다. 또한 발전 규모를 주택용에서부터 대규모 발전용까지 다양하게 할 수 있다.

태양광 시스템은 빛을 받아 전기를 생산하는 태양 전지 모듈과 생산된 전기를 저장하는 배터리, 전기를 직류에서 교류로 변환하고 이를 전력 계통에 연결시키는 등의 기능을 담당하는 인버터 PCS(power conditioning system)으로 구성된다.

나. 태양광 발전의 원리 및 구성 요소

태양 전지의 기본 구조 및 전기 생산 과정을 그림3-1에 나타내었다. 태양전지는 p형과 n형 반도체를 접합시키고 각각의 표면에 금속 전극을 붙여 제작한다. 빛이 반도체에서 흡수되면 전자와 정공쌍이 생성되고 전자와 정공은 p-n 접합부에 존재하는 전기장의 영향으로 서로 반대 방향으로 흘러간다. 따라서도 선으로 연결된 외부 회로에 전기가 발생하게 된다.



[그림 3-6-5] 태양전지의 기본 구조 및 작동 원리

에너지 변환 효율을 높이기 위해서는 가급적 많은 빛이 반도체 내부에서 흡수되도록 하고, 빛에 의해 생성된 전하들이 소멸되지 않고 외부 회로까지 전달되도록 하며, p-n 접합부에 큰 전기장이 생기도록 소재 및 공정을 설계해야 한다.

전체 태양광 시스템은 그림과 같이 빛을 전기로 전환시켜 주는 부분과 생산된 전기를 수요에 맞도록 교류로 변환시키고 계통에 연결 시켜주는 부분(PCS/인버터)으로 구성된다.



[그림 3-6-6] 태양광 발전 시스템의 구성 요소

태양광 시스템의 구성 요소 중 핵심부품은 태양 전지이다. 태양전지는 기본적으로 반도체 소자이며 빛을 전기로 변환하는 기능을 수행한다.

태양 전지의 최소 단위를 셀이라고 하며, 보통 셀 1 개로부터 나오는 전압이 약 0.5~0.6 V로 매우 작으므로 여러 개를 직렬로 연결하여 수 V에서 수백 V이상의 전압을 얻도록 패널 형태로 제작한 것을 모듈이라고 한다. 이 모듈을 여러 개로 이어서 용도에 맞게 설치한 것을 어레이라고 한다.

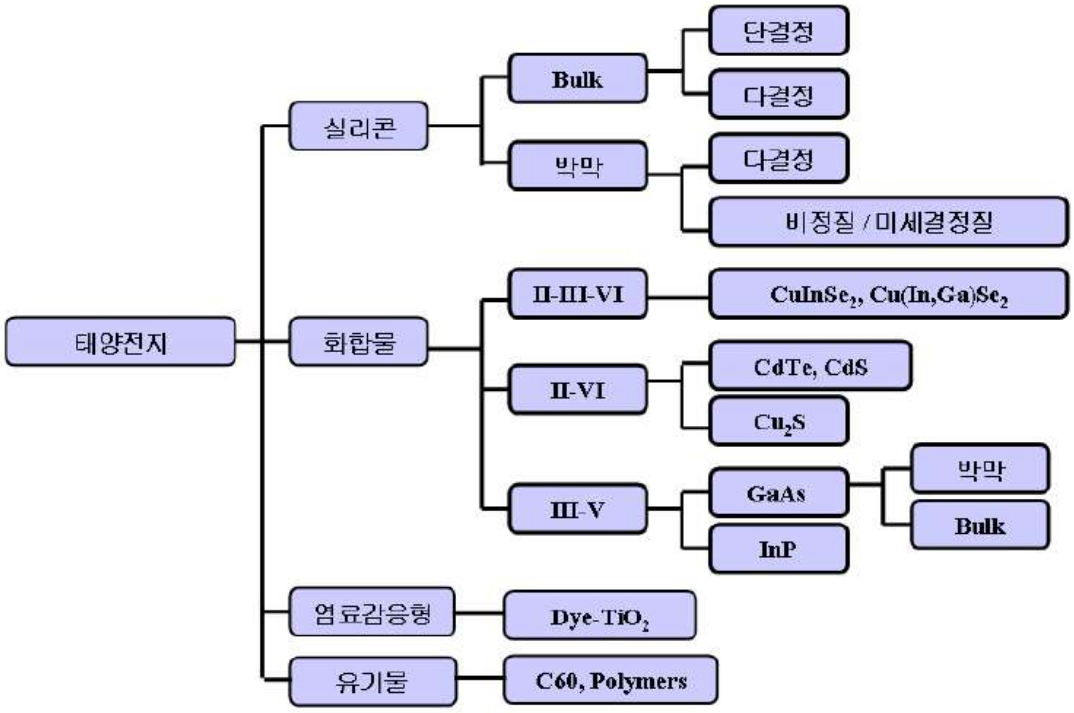
PCS/인버터 부분은 태양 전지 어레이로부터 발생된 직류 전기를 상용 주파수·전압의 교류로 변환하여 전력 계통에 연계하는 역할을 수행하며 동시에 시스템의 직류, 교류측의 전기적인 감시·보호를 하는 등 태양전지 모듈을 제외한 주변 장치 중에서 가장 큰 비중을 차지한다.

태양광 시스템 설계 및 설치의 경우 태양광을 최대한 활용하기 위한 경사각 및 방위각을 위한 설계, 계통 연계를 위한 설계, 사후 관리를 위한 설계 등 시스템 효율의 최적화를 위한 사항들이 검토되어야 한다.

다. 태양 전지의 종류

현재 실용화되어 전원용으로 사용되고 있는 것은 주로 결정질 실리콘 태양 전지이다. 실리콘 태양 전지 기술은 반도체 분야의 기술과 더불어 발전되어 왔으며, 기술의 신뢰성이 높다. 현재 결정질 실리콘 태양 전지는 전체 태양 전지 시장의 90% 이상을 차지하며, 저가 고효율화를 달성하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 태양 전지의 저가화를 위하여 박막형(薄膜型) 태양전지(thin film-type solar cell)에 대한 연구도 활발히 진행되고 있으며 향후 태양 전지 시장에서의 점유율이 높아질 것으로 예상되고 있다.

태양 전지는 물성에 따라 다음과 같이 분류될 수 있다.



[그림 3-6-7] 재료에 따른 태양전지의 분류

1) 결정질 실리콘 태양전지(Crystalline Silicon Solar Cells)

결정질 실리콘은 물리적 특성 면에서 태양 전지를 위한 이상적인 물질은 아니지만 반도체 산업에서 이미 개발된 기술 및 장비를 동일하게 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 실리콘 태양 전지의 이론적 최대 효율은 약 25%이며, 이미 실험실 수준에서는 이 한계치에 가까운 효율이 보고된 바 있다.

2) 박막 태양전지(Thin Film Solar Cells)

박막 태양전지는 유리, 스테인리스 강 또는 플라스틱과 같은 저가의 기판에 반도체막을 코팅하여 제작된다. 결정질 실리콘 전지에 비해 소재를 적게 사용하고 자동화를 통해 모듈 공정까지 일관화 시킬 수 있다는 장점을 가지고 있지만 대체로 효율이 낮고 모듈의 수명에 관한 실증 연구가 부족하다는 단점을 가지고 있다. 양산 관련 기술의 부족으로 아직까지는 결정질 실리콘에 비하여 가격 경쟁력이 검증되지 않은 상태이다.

3) 유기계 태양전지(Organic Solar Cells)

유기계 태양 전지는 유기 소재를 광활성층의 전부 또는 일부에 적용하는

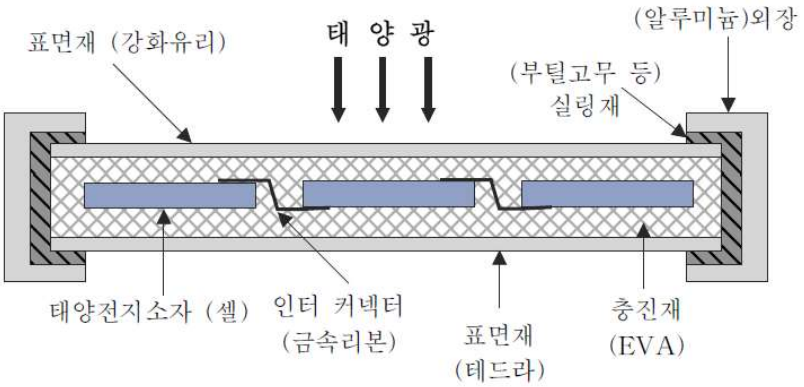
신형 태양 전지로서 염료 감응형과 유기 분자형 구조가 있다. 시스템 가격을 낮출 수 있는 가능성이 크나 집중적인 연구 개발을 통해 내구성 등의 검증이 필요한 기술이다.

4) 집광형 태양전지(Concentrator Solar Cells)

집광형 시스템은 프레넬렌즈나 반사경을 사용하여 넓은 면적의 빛을 태양전지에 집중시키는 방식이다. 대개 수 배~500 배 정도로 집광한다. 동일한 면적에 대하여 태양 전지의 크기를 감소시키고 이에 따라 시스템 가격을 낮출 수 있는 장점이 있지만 집광도를 높일 경우 산란광을 활용하기 어렵고 추적 장치를 통해 항상 태양 방향을 향하도록 해야 한다는 점과 냉각 장치가 필요하다는 단점으로 지적되고 있다.

라. 태양 전지 모듈

실리콘 태양 전지 모듈은 일반적으로 유리/충진재(ethylene vinyl acetate, EVA)/태양 전지 소자/충진재/표면재 (백시트)의 형태로 구성되어 있다.



[그림 3-6-8] 태양전지 모듈 구조도

일반적으로 표면재는 저철분 강화 유리를 사용하는데 광투과도가 높을 것, 표면광 반사 손실을 낮추기 위한 처리가 되어 있을 것 등이 요구된다. 충진재로 쓰이는 EVA는 깨지기 쉬운 태양 전지 소자를 보호하기 위해 태양 전지 전후면과 표면재 사이에 삽입하는 물질이다. EVA 시트는 장기간 자외선에 노출될 경우 변색되고 방습성이 떨어지는 등의 문제가 발생할 수 있으므로 모듈 제조시 EVA 시트의 특성에 맞는 공정을 채택해서 모듈 수명을 연장하고 신뢰성을 확보하는 것이 중요하다.

백시트는 태양 전지 모듈의 뒷면에 위치하게 되는데 각 층간의 접착력이 좋아야하고 다루기가 간편해야 하며, 후면에서 침투하는 습기를 방지하여 태양 전지 소자를 외부 환경으로부터 보호해야 한다.

마. 전력 변환 제어 장치 PCS/인버터

전력 변환 제어 장치는 크게 인버터 부분과 전력 제어 장치 부분으로 구성된다. 인버터는 태양 전지에서 생성되는 직류 전기를 교류 전기로 변환시켜 전력 계통에 공급하는 역할을 한다. 인버터는 계통 연계형 태양광 시스템에 필수적인 요소이다. 전력 제어부분은 태양광 모듈에서 최대 출력을 얻고 직류, 교류측의 전기적인 감시·보호 기능을 수행한다.

바. 태양광 시스템의 종류

1) 계통 연계형 시스템 (grid-connected system)

태양광 시스템에서 생산된 전력을 지역 전력망에 공급할 수 있도록 구성되며 주택용이나 상업용 태양광 발전의 가장 일반적인 형태이다. 초과 생산된 전력을 계통에 보내거나 전력 생산이 불충분할 경우 계통으로부터 전력을 받을 수 있으므로 전력 저장 장치가 필요하지 않아 시스템 가격이 상대적으로 낮다.

2) 독립형 시스템 (off-grid 또는stand-alone system)

전력 계통과 분리된 발전 방식으로써 축전지에 태양광 전력을 저장하고 사용하는 방식이다. 생산된 직류 전력을 그대로 사용할 수 있도록 직류용 가전 제품과 연결하거나 인버터를 통해 교류로 바꾸어준다. 오지, 도서 지역의 주택 전력 공급용이나 통신, 양수펌프, 백신용 의약품 냉동 보관, 안전표지, 제어 및 항해 보조 도구등 소규모 전력 공급용으로 사용된다.

사. 제작된 태양 전지 모듈

본 연구에서 사용되는 하이브리드 모듈레이터와 카메라의 공급 전원은 항시 10W급을 사용한다. 또한 일반적인 일조 시간을 고려하여 50W급으로 전력을 생산하는 태양 전지를 설계하여 이에 맞도록 제작하였다. 아래의 표는 본 연구에서 제작된 태양 전지 모듈의 사양을 보여 주고 있다.

[표 3-6-2] 제작된 태양 전지 모듈의 사양

 그림 태양 전지 모듈	태양전지모듈 SCM 50W 최대전압 (Max. Power Voltage : Vmp) 17.6V 최대전류 (Max. Power Current : Imp) 2.84A 개방전압 (Open-Circuit Voltag : Voc) 21.7V 단락전류 (Short-Circuit Current : Isc) 3.06A 크기 (Dimension) 787mm×545mm×40mm 무게 (Weight) 5.1kg
 그림 전원 충전 모듈	컨트롤러 ESC 1206 12V 6Ah 컨트롤러 한국형 배터리에 맞는 정확한 컨트롤, 여유있는 설계와 부품사용(CE / RoHS인증) LVD 기능방진, 방습 기능 확실한 A/S
 그림 배터리	배터리 KB 55Ah 12V 무누액 밀폐형 배터리 무누액 밀폐형 축전지로 고율방전 성능이 우수하며, 전압을 안정시키고 내부저항은 최소화함으로써, 강력한 파워와 긴 수명을 보장합니다. Size : 228×138×216 무게 : 19.0kg

아래의 [그림 3-6-9]는 태양 전지와 하이브리드 모듈레이터와 연결되

어 전원을 급하는 사진이다. 실험 중에 태양 전지를 통해 충분한 전력을 받을 수 있어, 충분한 전원 공급 장치로써 역할을 할 수 있었다.



[그림 3-6-9] 태양 전지 모듈과 연결된 하이브리드 모듈레이터

아. 결론

본 연구에서는 태양 전지 모듈을 제작하여 주광시 50W까지 전력을 생산할 수 있으며, 그 전력은 배터리 충전하고, 하이브리드 모듈레이터를 운영할 수 있었으며, 야간시에는 저장된 전력으로 하이브리드 모듈레이터를 작동시킬 수 있었다. 또한 배터리로 충전하기 때문에 우천시나 날씨가 좋지 않을 때도 하이브리드 모듈레이터를 작동 시킬수 있다. 완전히 태양이 가려졌을 때, 약 2일간 하이브리드 모듈레이터 작동시킬 수 있었다.

제7절 전력선 통신 현장 적용성 분석

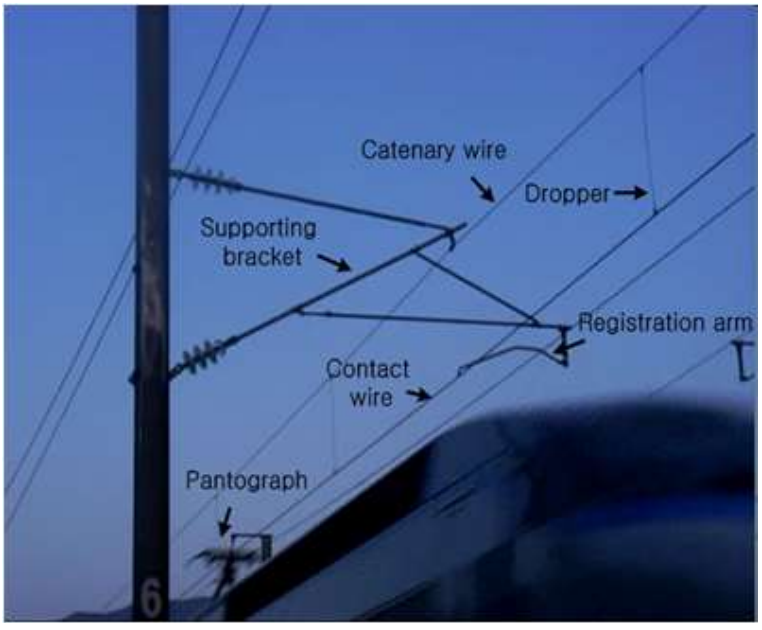
1. 일반사항

가. 전차선로 가선방식

전차선로에는 현수형태에 따라 심플 커티너리(Simple catenary), 변Y형 커티너리(Stitched catenary), 컴파운드 커티너리(Compound catenary) 등의 타입이 있으며, 각 나라의 여건에 따라 적절한 형태로 개발 및 발전되어 왔다.

1) 심플 커티너리 방식

심플 커티너리는 집전성능이 가선의 정적 탄성특성(Static elasticity)보다는 진동특성에 더 크게 영향받는 원리를 이용하여 드롭퍼 간격조정을 통해 탄성의 불균일성을 감소시킴과 함께 장력을 높여 단순 구조화를 실현한 설계이다. 심플 커티너리는 프랑스, 우리나라 및 일본의 차세대 고속전철 시스템에서 채택하고 있다. 경부고속철도는 조가선의 장력을 14[kN], 전차선의 장력을 20[kN]으로 하고, 가고를 1,400[mm]로 하여 심플 커티너리 방식으로 운행되고 있다.



[그림 3-7-1] 심플 커티너리 방식

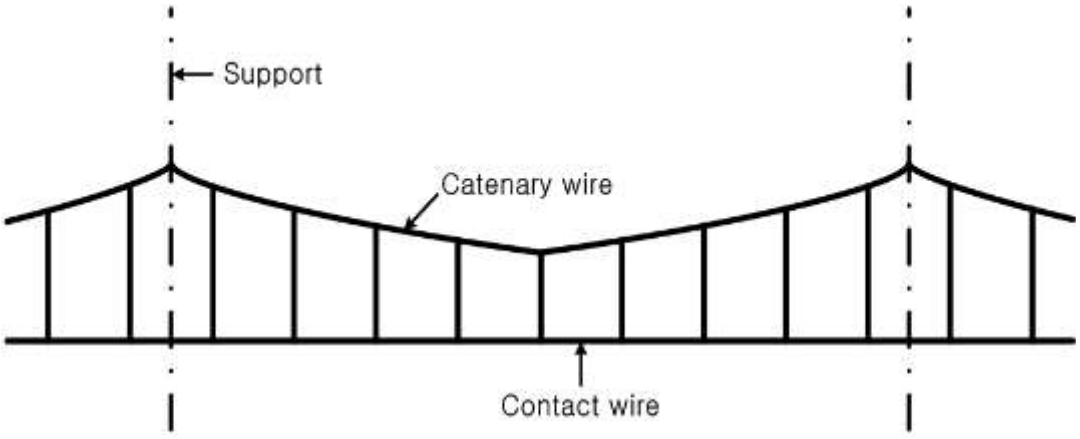
[그림 3-5-1]은 심플 커티너리 방식의 경부고속선 전차선로를 보여주고 있다. 심플 커티너리 방식의 전차선로 구조를 상세히 살펴보면 전차선(Contact wire), 조가선(Catenary wire), 드롭퍼(Dropper), 지지브라켓(Supporting bracket) 및 곡선당김금구(Registration arm)로 구성되어 있다. 전차선은 주기적으로 설치된 드롭퍼에 의해 조가선에 지지된다. 조가선은 지지브라켓에 의해 지지되며 곡선당김금구는 활 모양으로 휘어져 있는 형상을 한 금구로 전차선이 편위(Stagger)를 가지도록 설치되어 있다.

2) 변Y형 커티너리

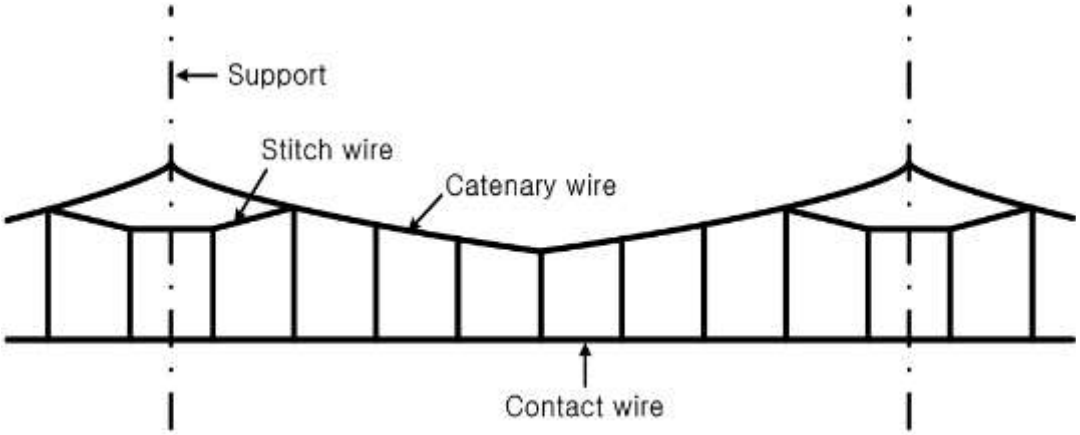
변Y형 커티너리는 전철주 지지점에서의 큰 강성도를 분산시키기 위해 Stitch선을 추가한 구조로서 비교적 단순한 구조이면서 어느 정도의 균일한 탄성을 확보할 수 있는 이점이 있어 독일 및 스페인에서 채택하고 있는 타입이다. 그러나 동역학 시뮬레이션을 해보면 드롭퍼가 유연한(Flexible)케이블로 되어 있어 조가선 지지점에서의 탄성변화는 드롭퍼(Dropper)의 간격조정 등을 통해 심플 커티너리에서도 극복할 수 있는 것으로 밝혀지고 있다.

3) 컴파운드 커티너리 방식

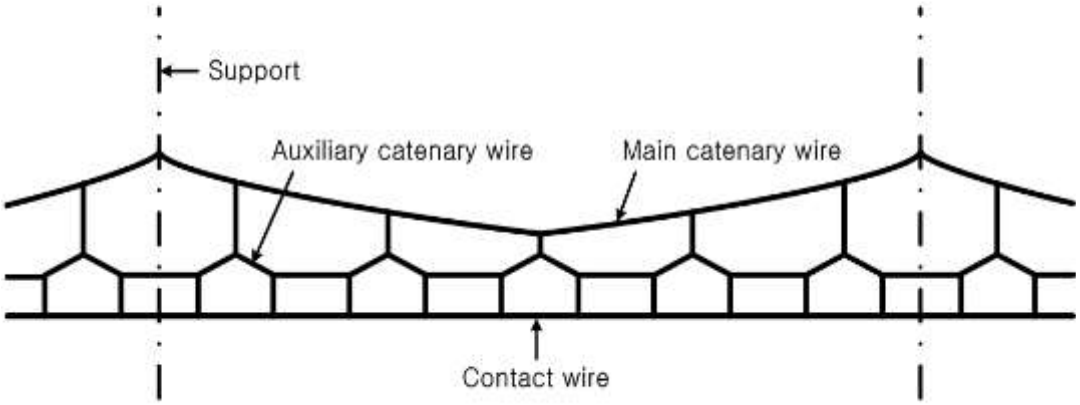
컴파운드 커티너리는 일본 신간선의 표준가선으로 열차가 동력분산식이기 때문에 다수 팬터그래프를 갖게 되고, 따라서 팬터그래프간 거리가 짧게 되어 상호진동의 간섭에 의한 공진 및 이선이 심각하게 되므로 전차선에서 일정한 탄성을 유지하는데 중점을 둔 구조이다.



Simple catenary



Simple catenary with stitch wire



Compound catenary

[그림 3-7-2] 전차선로 가선방식

나. 전차선로의 기계적 특성

정적해석이라 함은 팬터그래프와 같은 외부작용이 없는 상태에서 커티너리 구조에 대한 특성 해석을 의미한다. 정적해석은 드롭퍼의 길이 계산에서부터 탄성도 특성, 불균일율 파악, 고유주파수 해석, 정적 압상량 파악 등이 있고, 이외에도 파동전파속도, 반사계수, Doppler 계수, 증폭계수 등 각종 커티너리 특성을 나타내는 계수의 파악 등도 이 범주와 관련이 있다고 할 수 있다. 정적해석의 결과는 그 자체로서 커티너리가 갖추어야 할 기본 설계 조건을 제시하는 경우도 있겠지만 대체로는 팬터그래프와의 동력학 특성을 미리 예측하는 자료로서 사용된다.

전기철도의 전원공급은 궤도면 위 일정한 높이에 가설된 전차선과 전기차의 집전장치를 통하여 공급하게 되는데 전차선과 팬터그래프 사이의 동력전달은 동역학적 운동 등의 기계적 특성에 대단히 민감하여 이러한 접촉력 패턴에 대한 집전특성은 열차운전에 있어 가장 중요한 요소가 된다. 집전특성을 판단하는 방법으로는 다음과 같은 것이 있다.

1) 이선현상

팬터그래프와 전차선은 계속 접촉된 상태로 있어야 하나 팬터그래프의 이동에 따라 순간적으로 이탈이 발생하며 이러한 현상을 이선현상이라고 한다. 이선은 전기적으로 불완전한 접촉을 발생시켜 아크를 일으키며, 이로 인해 전차선과 팬터그래프의 이상마모 및 손상을 가져온다. 그러므로 차량의 이동 중에 생기는 이선현상은 열차의 속도를 결정하는 중요한 요소가 된다.

이선의 정도를 이선율이라 하고 식 (1), (2)로 표시한다.

$$\text{이선율} = \frac{\text{일정구간 주행시 이선시간의 합}}{\text{일정구간 주행시간}} \times 100[\%] \quad (1)$$

$$= \frac{\text{일정구간 주행시 이선하여 주행한 거리의 합}}{\text{일정구간 주행거리}} \times 100[\%] \quad (2)$$

일반적으로 전철의 속도향상은 이선율을 얼마나 작게 하느냐로 말할 수 있으며, 일반전철에서는 3[%]이하로 제한하고 있고, 고속철도에서는 1[%]

이하로 제한하고 있다. 이선율은 접전성능과 팬터그래프 슬립면(Contact Strip)의 마모정도를 나타내는 주요 성능지수로서 가능한 한 낮아야 한다.

2) 탄성률

전차선로는 일반적으로 한 경간마다 지지해 주는 지지점을 갖게 되므로 위치에 따른 탄성이 균일할 수가 없으며 일정간격 즉, 한 경간마다 주기적으로 탄성이 변하는 특성을 갖게 된다.

한 경간 내에서 위치에 따른 탄성(elasticity)을 구하는 방법으로는 해석적으로 구하는 방법과 실험적으로 구하는 방법 등이 사용되어 왔다. 해석적 방법 중에서 유한요소법은 높은 정확도의 탄성해석결과를 제공하는 것으로 알려지면서 이 기법이 전차선로 탄성을 구하는 데에도 적용되고 있다.

전차선로는 어느 정도의 탄성을 가지고 있기 때문에 고속운전을 위해서는 탄성을 가능한 낮추어야 한다. 탄성률(e)은 식 (3)으로 표시된다.

$$e = \frac{S}{K(T_t + T_m)} [mm/N] \qquad (3)$$

여기서, S : 전주경간[m], Tt : 전차선의 장력[kN]

Tm : 조가선의 장력[kN], K : 상수

탄성률은 경간이 짧을수록 전차선, 조가선의 장력이 클수록 작아져 가선 특성이 좋아진다.

3) 비균일률

한 경간에 걸친 전차선로의 탄성 변화를 평가하는 방법으로 비균일률(U)은 식 (4)로 표시된다. 전차선로는 경간 중앙 및 지지점에서 각기 다른 탄성을 갖고 있으므로 이들 두 개소에서의 탄성을 가능한 일정하게 유지하여야 한다.

$$U = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} [\%] \quad (4)$$

여기서, Emax : 경간 중앙의 탄성, Emin : 지지점의 탄성

4) 반사계수

반사계수는 전차선로의 기술적 데이터에 의해 정해지며 식 (5)로 표시된다.

$$r = \frac{\sqrt{T_m \cdot m_m}}{\sqrt{T_m \cdot m_m} + \sqrt{T_t \cdot m_t}} \quad (5)$$

여기서, mm : 조가선의 단위 길이당 질량[kg/m]

mt : 전차선의 단위 길이당 질량[kg/m]

Tm : 조가선의 장력[kN]

Tt : 전차선의 장력[kN]

5) 도플러계수

운전속도에 따라 달라지는 전차선로의 동적작용은 도플러계수에 의해 접근할 수 있다. 도플러 계수는

$$\alpha = \frac{C - V}{C + V} \quad (6)$$

여기서, V : 운전속도[m/sec]

C : 파동전파속도[m/sec]

6) 증폭계수

반사계수(r)와 도플러계수(α)의 비를 증폭계수라 하고 증폭계수(γ)는

$$\gamma = \frac{r}{\alpha} \tag{7}$$

여기서, 도플러 계수가 0에 가까워지면 증폭계수는 무한대로 되게 되는데 이는 운전속도가 전차선의 파동전파속도에 접근하는 경우가 된다.

파동반사에 의한 접촉력의 변동은 증폭계수가 1보다 큰 경우에는 팬터그래프가 파동이 반사되는 위치에 가까우면 가까울수록 접촉력의 변동이 커지고, 증폭계수가 1보다 작은 경우에는 접촉력 변동이 적어지게 된다고 한다. 경험상 반사파에 의한 이선을 저감하기 위하여 전차선로의 설계시 증폭계수를 2.5 이내로 둔다고 한다.

7) 무차원화비

무차원화비란 파동전파속도와 열차속도의 비를 말하며 다음과 같이 표시된다.

$$\beta = \frac{V}{C} \tag{8}$$

여기서, V : 열차속도[m/sec]

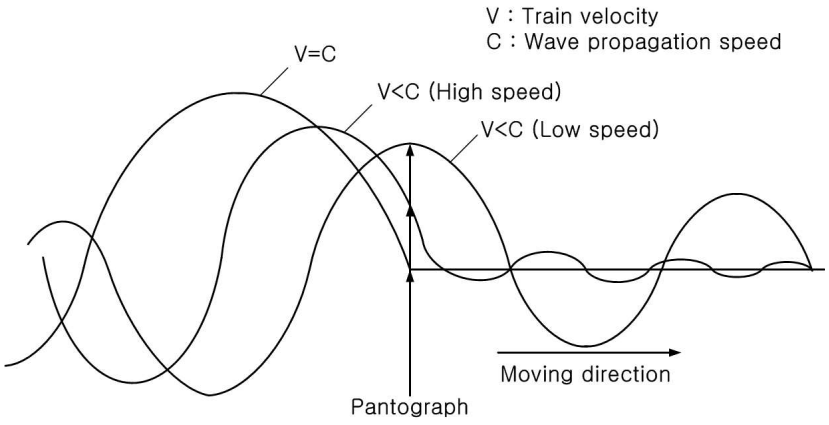
C : 파동전파속도[m/sec]

무차원화비가 작을 때 즉 열차속도가 낮을 때에는 팬터그래프의 접촉점

의 압상량은 적어지게 되고, 무차원화비가 1에 가까우면 즉 열차속도가 파동전파속도에 가까우면 팬터그래프의 이선, 전차선 압상량 및 응력이 급격히 증대하여 전차선이 휘어져 꺾이게 되며, 팬터그래프가 통과한 뒤에는 진폭이 크게 되어 이선 현상이 심해진다. 또한 과도한 압상량은 가선금구의 접촉과 파괴를 야기시키기도 하고 전차선의 변형과 단선을 유발하기도 한다. 따라서 가선의 영업속도에 알맞은 무차원화비는 대략 70[%]에 기준으로 하고 있다.

다. 전차선 진동

팬터그래프의 주행속도가 파동전파속도에 접근하게 되면 이선에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보기 위하여 팬터그래프가 저속, 고속, 파동전파속도로 주행하는 3가지 경우에 대하여 확인하고자 한다.



[그림 3-7-3] 팬터그래프 주행속도에 따른
전차선 진동모습

팬터그래프가 저속으로 주행하는 경우에는 팬터그래프에 의해 전차선에 가해지는 외란이 전 · 후방으로 퍼지게 되어 전차선의 변위는 팬터그래프를 중심으로 거의 대칭이 되나 고속으로 주행하여 파동전파속도에 보다 접근하는 경우에는 팬터그래프에 의한 외란이 전방보다는 후방에 전달되어 팬터그래프의 후방에 위치한 전차선의 변위가 전방에 위치한 전차선의 변위보다 크게 되어 팬터그래프의 위치에서 전차선이 음의 구배를 가지게

된다. 이러한 음의 구배를 갖는 전차선을 주행하는 팬터그래프는 아래 방향으로 내려가는 관성력을 받게 되어 경간 지지점과 같이 강성변화가 생기는 곳에서 전차선을 추종할 수 없어 이선이 생기게 된다. 팬터그래프의 주행속도가 파동전파속도와 같게 되면 한번 이선이 생기게 되는 경우에 팬터그래프와 전차선 사이의 갭이 지속적으로 팬터그래프를 따라 가게 되어 집전을 할 수 없게 된다.

또한, 전차선에 걸리는 응력은 주행속도 대 파동전파속도의 비에 의존한다. 해석적인 방법을 이용하여 구한 전차선의 동적 굽힘 응력은 아래식과 같이 표현되는데 주행속도가 파동전파속도와 같게 되면 이론적으로 굽힘 응력이 무한대가 된다.

$$\sigma = \frac{F}{2Z} \cdot \sqrt{\frac{EI}{T}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-(V/c)^2}}$$

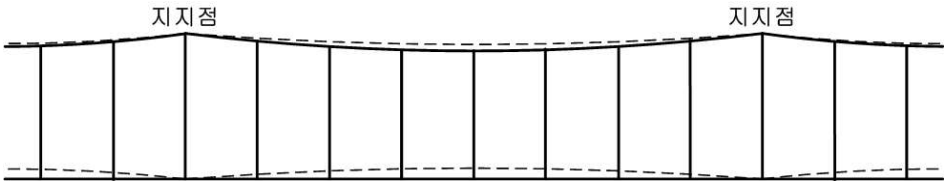
여기서, F, Z, EI, T, V, c는 압상력, 단면계수, 강성, 장력, 주행속도, 파동전파속도를 나타낸다.

라. 사전이도

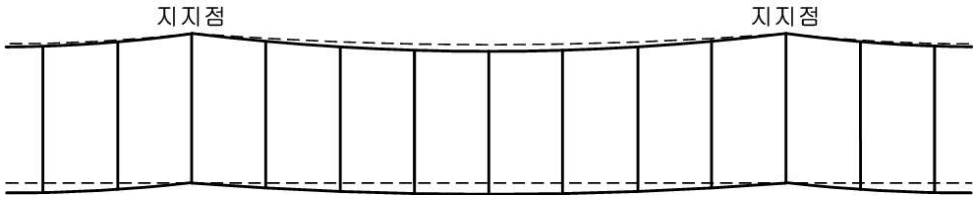
전차선의 양호한 가선특성은 등고, 등요 및 등장력에 있다. 등고는 레일과 전차선간의 높이가 일정한 것을 의미하는데 이는 정적인 상태에서는 일정하지만 열차가 진행하는 동적인 상태에서는 팬터그래프의 압상력 등으로 변동하게 됨으로서 등고가 되지 않는다. 지지점과 경간간의 탄성률의 값이 다르므로 비균일한 형상이 나타난다. 따라서, 비균일율이 적으면서 동적인 상태에서도 가능한 등고를 유지하려는 가선 방법의 하나가 사전이도(Pre-sag)라 할 수 있다.

사전이도는 경간과 경간사이에 전차선의 높이를 등고로 가설하지 않고 처음부터 어느 정도 이도를 줌으로서 전차선이 처진상태가 되도록 가선한 구조를 말한다. 시공방법은 첫 번째 드롭퍼와 마지막 드롭퍼간에 이도값을 고려하여 모든 드롭퍼 길이를 정확히 계산 및 제작하며 시공한다.

고속차량이 운전할 때 압상력은 점선으로 표시된 부분이며 이를 최소화하기 위해 드롭퍼 첫 번째 드롭퍼와 마지막 드롭퍼간 사이에 사전 이도를 주어 압상력을 최소화하고자 한다.



[그림 3-7-4] 전차선 수평가선



[그림 3-7-5] 전차선 사전이도 가선

사전이도는 정적인 상태에서 이도가 있어 등고가 아니지만 동적인 상태에선 등고를 유지하도록 하여 비균일률이 적게 되도록 하는 것으로서 가선특성이 향상된다. 한국고속철도의 사전이도값은 경간/2,000으로 결정한다. 사전이도의 단점은 유지관리상 전차선을 조정할 경우 사전이도값 조정 및 유지관리가 어렵다.

마. 외국의 전차선로 기술동향

일본에서는 그동안 신간선 전차선로로 헤비 컴파운드 커티너리(Heavy Compound Catenary) 타입의 가선시스템이 오랫동안 사용되어 왔다. 헤비 컴파운드 가선은 전류용량과 전차선의 허용 마모량이 크고 가선의 진동이 비교적 작으므로 열차 수량이 많고 통과 팬터그래프의 수량이 많은 일본의 신칸센에 적합하다고 판단하여 적용된 가선 구조이다. 그러나 이 타입의 가선은 얻을 수 있는 집전 성능 측면의 장점에 비하여 가선의 구조가 복잡하다는 단점이 더 크게 부각되어온 것이 사실이다.

그러나, 이후 건설된 신칸센은 이전까지의 신칸센에 비해서 팬터그래프 통과 수량이 적어지고 전차선 부속품의 수량도 경감하고 전선의 총 장력

도 경감하여 비용의 경감을 도모하는 것이 가능해졌다. 그래서 전차선을 동복강선(CS)전차선을 적용하고 보다 작은 직경으로도 동일한 장력을 인가하는 전차선의 개발로 260~ 300[km/h]의 고속운전이 가능한 심플 커티너리(simple catenary)방식이 개발되어 적용되고 있다. 이것이 정비 신칸센 전차선로이다. 이 정비 신칸센 전차선로에 적용되고 있는 동복강선(CS) 전차선은 동과 강의 복합구조에 의해 전기적 용량을 충족하면서 기계적 강도를 높이고 전차선로의 파동전파속도를 높이는데 핵심적인 역할을 했다.

열차속도가 300[km/h]를 초과하면서 후속 팬터그래프의 이선이 증가하며 CS 심플커티너리 방식은 현재 신칸센의 영업최고속도 300[km/h]까지 대응 가능한 적합한 성능을 가지는 것으로 확인되어 일본에서 평가하고 있다. 동북 신간선에서 CS전차선을 채용한 정비 신칸센이 최초로 고속용 심플 커티너리로서 사용된 이래로 일본에서도 이제는 심플 커티너리방식이 고속용 가선으로 자리잡아가고 있는 것 같다.

또 다른 일본의 기술 개발의 방향으로 CS 전차선 대신에 PHC (Precipitation Hardening Copper Alloy) 전차선을 사용한 심플 커티너리가 있다. PHC는 고강도와 고도전율을 함께 얻고자 하는 목표로 개발된 동합금으로서, 전차선의 마모 경감에 의한 교체 주기의 연장, 리사이클성이 우수한 재질의 적용 등 환경에 대한 배려의 요구에 부응하고 300[km/h] 이상의 고속성을 동시에 추구하는 목적으로 개발된 가선 방식이다.

PHC 전차선은 무산소동에 크롬 또는 지르코늄 등을 첨가한 석출 경화형 합금 동선으로서, 성능면에서 뛰어나지만 제조 비용이 조금 비싼 단점이 있으므로 도전성은 조금 부족하더라도 비용과 강도 측면에서는 뛰어난 Cu-Ni-Si 합금 전차선도 개발하여 시험하고 있다. PHC 심플 커티너리에서는 후속 팬터그래프의 이선 증가에 대응하기 위하여 지지점 부근에 4개의 댐퍼형 행거를 설치하여 전차선의 지지점과 지지점 사이에서 경간 전체의 스프링 정수의 평준화와 진동억제를 목표로 한 전차선구조이다. 아울러 국부 마모에 대한 새로운 대책으로 균압선 겸용 행거의 개발 적용도 이루어지고 있다.

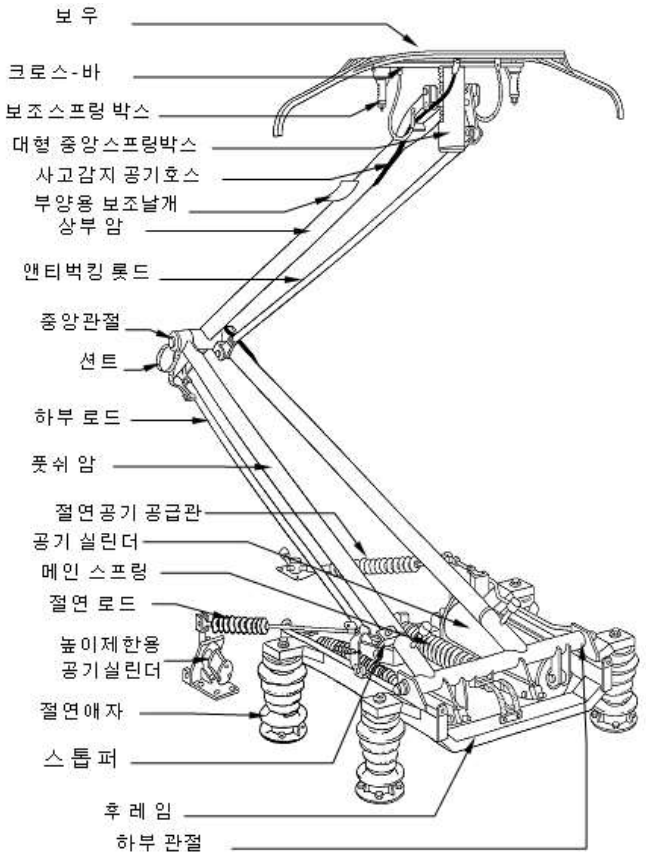
프랑스에서는 2007년에 새로 개통된 파리 동선부터 전차선과 조가선의 장력을 높여 새로운 가선을 선보이고 있다. 이 가선은 이전의 고속선과 마찬가지의 심플 커티너리 구조이나 전차선의 장력은 26[kN], 조가선의 장

력은 20[kN]을 사용한다. 전차선의 장력을 이렇게 높일 수 있었던 것은 청동을 섞은 동합금을 사용하였기 때문이다. 대신 전도율이 떨어지므로 조가선 단면적을 키워 통전전류에 대하여 보완하는 구조로 하였다.

독일에서는 예전과 마찬가지로 Y-stitched 심플 커티너리 방식을 사용하고 있으며, 전차선은 마그네슘 합금 동 전차선을 사용하여 전차선의 장력을 높이는 추세로 가고 있다.

바. KTX 집전장치

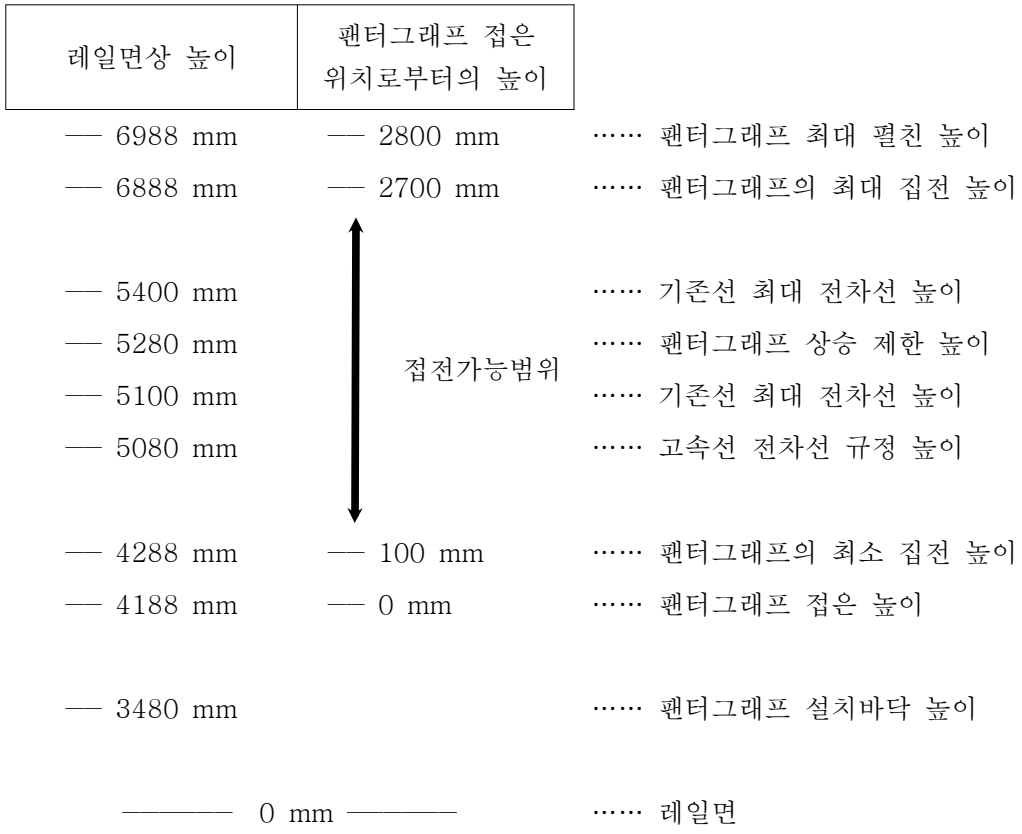
팬터그래프는 동력차의 지붕위에 설치되어 전차선과 직접 접촉하여 전차선으로부터 전력을 공급받아 동력차에 전달을 시켜주며, 전차선과 팬터그래프의 밀착상태를 유지시켜 전차선에 흐르는 전기를 효율적으로 받아들일 수 있도록 각 동력차에는 Single Arm 타입의 GPU 25[kV]용 팬터그래프가 설치되어 있다.



[그림 3-7-6] KTX 팬터그래프 구성

팬터그래프 자체로는 팬터그래프의 펼친 길이가 100[㎜]에서부터 2700[㎜]까

지에 걸쳐 정상 집전이 가능하다. 이 길이를 레일면상 높이로 환산해 보면 4288[㎜]로부터 6888[㎜]까지에 해당하므로 이 높이구간에서 팬터그래프는 정상 집전할 수 있음을 알 수 있다.



[그림 3-7-7] KTX 팬터그래프 측면의 집전 높이

2. 전차선 이선시험

KTX 열차의 팬터그래프의 정상 집전 상태와 가선품질을 측정하기 위하여 KTX 36호 지붕에 설치된 카메라와 아크센서를 이용하여, 호남선 송정리-목포 구간 상선 및 하선에서 이선율 측정 및 전차선/팬터그래프의 집전상태를 모니터링 하였다. 아래 그림은 KTX 36호 지붕에 설치된 전차선 측정 시험장비와 1호차 내부에 설치된 전차선로 모니터링 장비의 사진이다.



[그림 3-7-8] 지붕에 설치된
카메라 및 아크센서



[그림 3-7-9]
전차선로 모니터링장치

가. 이선율 측정

열차가 주행하면서 전차선으로부터 전력을 공급받을 수 있는 능력을 집전성능(Current collection quality)이라 한다. 열차의 속도가 높아지면 전차선로의 지지점과 중간과의 높이 차, 전차선로의 경점(Hard point), 마모, 진동 등에 의하여 전차선과 팬터그래프 사이에 이선(Loss of contact)이 발생하게 된다. 이선은 전기적으로 불완전한 접촉을 발생시켜

아크를 일으키며, 이로 인해 전차선과 팬터그래프의 이상 마모와 손상을 가져온다. 그러므로 차량의 이동 중에 생기는 이선현상은 열차의 속도를 결정하는 중요한 요소가 되며, 이선의 정도를 '이선율(ration of contact keep)'이라한다.

$$\text{이선율} = \frac{\text{일정구간 주행시의 이선시간의 합}}{\text{일정구간 주행시간}} \times 100[\%]$$

$$= \frac{\text{일정구간 주행시 이선하여 주행한 거리의 합}}{\text{일정구간 주행거리}} \times 100[\%]$$

전철의 속도 향상은 일반적으로 이선율을 얼마나 작게 하느냐로 말할 수 있으며, 일반철도에서는 3%이하로 제한하고 있고 고속철도에서는 1% 이하로 제한하고 있다.

아래 표는 호남선 송정리-목포간 이선율 분석결과로 3회 왕복 모두 허용 기준치 이내의 값이 측정되었다.

[표 3-7-1] 호남선 전차선 이선율 분석결과

전체 운행 구간				증속 운행 구간(160km/h이상)			
운행구간	운행거리	이선거리	이선율	운행구간	운행거리	이선거리	이선율
송정리~임성리 (1차 하선)	59.386km	76.272m	0.128%	송정리~임성리 (1차 하선)	22.014km	36.086m	0.164%
임성리~송정리 (1차 상선)	59.386km	160.499m	0.27%	임성리~송정리 (1차 상선)	17.226km	129.911m	0.754%
송정리~목포 (2차 하선)	66.491km	289.222m	0.435%	송정리~목포 (2차 하선)	22.038km	18.746m	0.085%
목포~송정리 (2차 상선)	66.731km	87.621m	0.131%	목포~송정리 (2차 상선)	18.967km	87.621m	0.462%
송정리~목포 (3차 하선)	66.500km	475.314m	0.715%	송정리~목포 (3차 하선)	24.480km	48.195m	0.197%
목포~송정리	66.655km	72.911m	0.109%	목포~송정리	20.971km	0m	0%

(3차 상선)				(3차 상선)			

나. 전차선/팬터그래프 집전상태 모니터링

전차선의 궤도 중심면에서 수평거리를 편위라 한다. 전차선의 편위가 너무 크면 팬터그래프가 전차선을 벗어나 사고를 일으키게 되는데 전차선의 편위는 일정한 한계를 두어 그 값이 정해지고 있다. 전차선의 편위를 정하는 요소는 아래와 같다.

- ○ 전기차 동요에 따른 집전장치의 편위
- ○ 풍압에 따른 전차선의 편위
- ○ 곡선로에 의한 전차선의 편위
- ○ 가동브래킷, 곡선당김금구의 이동에 따른 전차선의 편위
- ○ 지지물의 변형에 따른 전차선의 편위

전차선의 편위는 궤도면에 수직한 궤도중심면에서 200㎜이내로 하여야 한다. 가공전차선은 직선로에서 궤도중심면에 대하여 반드시 지그재그 편위를 주어야 하며, 곡선선로에서도 팬터그래프는 그 유효면에 분산하여 집전할 필요가 있기 때문에 그 시설에 대하여 궤도중심에서 좌우 편위를 주는 것이 바람직하다. 그러나 한도를 넘어서는 안 되는데 풍속 30m/s일 때 전차선의 풍압 편위, 지지물의 변형, 전기차 동요 등을 감안해서 최대 250㎜로 규정하고 있다. 아래 그림은 호남선 송정리-목포간 전차선/팬터그래프간 모니터링한 결과이며 측정결과는 양호하였다.



[그림 3-7-10] 전차선로 모니터링

(하선 : 송정리→목포)



[그림 3-7-11] 전차선로 모니터링

(상선 : 목포→송정리)

3. 에폭시 글래스 튜브 기술검토

가. 절연계급 검토 및 적용방안

- 이선이나 차단동작에 따른 내부 서지는 뇌격 서지에 비하면 그 레벨이 매우 낮으므로 절연설계에서는 주로 유도뢰 서지를 보호하도록 설계한다.

- 교류 급전회로의 전철설비의 절연강도는 일반의 3상 전력계통에서 사용되고 있는 절연계급을 적용하여 결정한다.

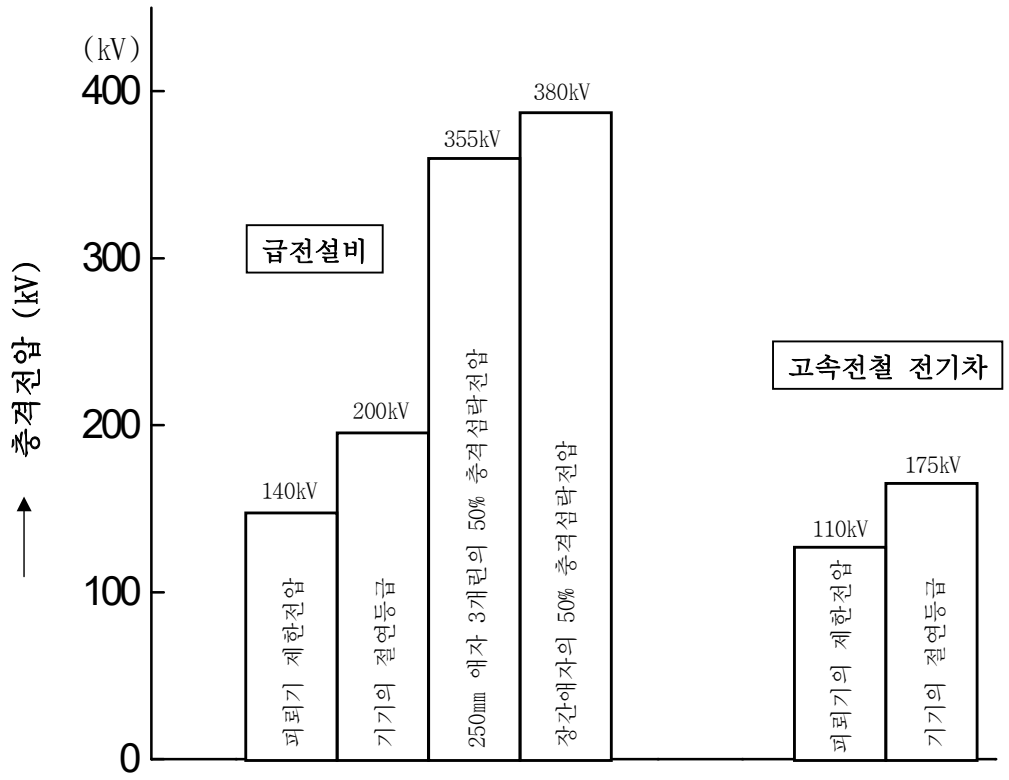
[표 3-7-2] 전차선로 급전회로에 발생하는 이상전압의 종류

종 류	정상시 최고전압	이상전압의 배수	이상전압치
개폐 서지에 의한 이상전압	27.5kV	2.0~2.5배	60~70kV
팬터그래프의 이선 등에 의한 이상전압		1.5~2.0배	40~60kV
뇌격 서지 전압		3.6~5.5배	100~150kV
		11.0~88.0배	300~500kV
전차선로에 이행하는 진행전압		애자의 플래시 오버전압	250~300kV

○ 즉, 급전전압이 25kV인 경우, 전력계통의 공칭전압 33kV의 절연계급을 적용하는 것이다. 공칭전압 33kV의 전력기기의 충격절연 전압강도(BIL : Basic Impulse Insulation Level)는 200kV로 되어 있다. 그러나, 전차선로에서는 연선에 다수의 애자가 설치되어 있고 애자 섬락시의 전차선을 지지하는 장간애자의 열적파괴를 방지하기 위한 기계적 강도의 강화 등의 제 조건을 고려하여 실제적인 애자의 절연강도는 200kV보다 높은 300~400kV의 레벨을 취한다.

○ 직류방식과 다르게 전차선로 애자의 절연강도는 일반적으로 예상되는 낙뢰의 유도뢰에 의한 이상전압보다 높으므로 전차선로의 애자를 보호하기 위한 피뢰기는 특별히 고려하지 않으며 연선의 피뢰기 설비로 급전회로의 중간에 분산 배치되어 있는 단권변압기(AT), 흡상변압기(BT) 등의 전력기기 보호용의 피뢰기만 설치된다.

○ 교류전철설비의 전체적인 절연레벨을 살펴보면 아래 그림과 같다. 수전으로부터 부하말단의 전기차까지의 절연강도는 전기차의 변압기를 최저레벨로 하고 다음으로 변전 및 전력기기, 이어서 가장 많은 설비인 애자의 절연강도를 상당히 높게 취하여 낙뢰의 영향을 최소화하는 것이 가능하다.



[그림 3-7-12] 교류전철(25㎸)의 절연강도

○ 에폭시 글래스 튜브 설계는 선로에 사용되는 전기설비와의 상호 절연협조 즉 절연 레벨(BIL)을 고려하여야 하며. 위에 그림에 나타난 바와 같이 25㎸교류 급전설비의 절연강도는 피뢰기의 경우 충격제한전압이 140㎸, 변압기나 차단기 등과 같은 기기의 절연강도는 200㎸, 그리고 애자의 경우는 350㎸~400㎸로 적용되어 있습니다.

○ 애자의 경우 뇌충격섬락레벨이 350㎸~400㎸인데 이 섬락치는 IEEE-48에 보면 69㎸에 해당하는 값으로 철도의 급전계통의 경우 정격전압이 25㎸이지만 부하의 변동이나 개폐서지가 가혹하여 69㎸에 준하는 애자의 절연강도를 요구하고 있다.

○ 외국의 사례 및 현재 사용중인 애자의 절연강도를 살펴보면 대부분 69㎸급을 적용하고 있으며, 일부분의 경우 46㎸급을 사용하고 있는 것으로 나타났다.

나. 섬락거리(㎜) 검토

○ 에폭시 글래스 튜브의 섬락특성에 영향을 주는 요소로는 유효절연

거리, 섬락거리 등을 들 수 있다.

○ 섬락전압 특성은 에폭시 글래스 튜브의 한쪽에 고압을 인가하고 다른 한쪽을 접지에 연결하였을 때, 상용주파 섬락전압의 경우에는 일정한 비율로 전압을 증가시키며 에폭시 글래스 튜브의 연면에 대한 섬락전압 특성을 구하며, 뇌충격 섬락전압의 경우에는 정 또는 부의 단일극성의 표준 파형을 인가하여 섬락전압 특성을 파악하는 시험방법이다.

○ 상용주파섬락전압은 선로의 상용주파수 범위에서의 개폐서지와 관련이 있으며, 뇌충격 섬락전압 특성은 자연적인 뇌해(雷害)로부터 계통보호와 관계가 있다.

○ 따라서 에폭시 글래스 튜브의 설계시 우선적으로 계통 전압의 뇌충격 절연 레벨을 산정하고, 뇌충격 섬락전압을 상회(上廻)하는 섬락거리를 확보해 주어야 한다.

○ 에폭시 글래스 튜브의 전기적 특성은 ANSI C29.13 DS-46로 만족하도록 선정하였다.

[표 3-7-3] 폴리머애자와 관련된 국제규격

시험항목		단위	CEA LWMWG-01		ANSI C29.13		IEEE1024	
			DS-46	DS-69	DS-46	DS-69	DS-46	DS-69
연결길이		㎜	565±25	860±25	590±50	750±75	590±50	750±75
누설거리		㎜	950	1,420	900	1,190	900	1,190
섬락거리		㎜	415	710	-	-	-	-
건조섬락		kV (rms)	180	275	180	220	-	-
주수섬락		kV (rms)	145	215	145	185	145	185
50%충격섬락		kV (peak)	280	390	280	360	280	360
전파장애 전압	시험전압	kV (rms)	30	45	30	45	30	45
	RIV	㎶	10	10	10	10	10	10
인장하중(SML)		kN	70	70	46	46	45	45
비틀림내하중		N·m	55	55	48	48	-	-

4. 에폭시 글래스 튜브 전기적 성능 시험

가. 1차 시험

1) 에폭시 글래스 튜브 전기적 성능시험 방법 논의

- ANCI C29.13 DS-46 기준(46kV급)의 전기적 성능시험 항목 협의 - 46kV급 애자성능에 준하는 건조섬락전압/주수섬락전압/50%충격섬락전압 시험방법 협의 ※ ANCI C29.13 : 미국국가표준원	

2) 전기적 성능시험 항목에 따른 기준값 검토

- 누설거리 : 900[mm]이상 - 상용주파건조섬락전압시험 : 180[kV] 이상 - 상용주파주수섬락전압시험 : 145[kV]이상 - 50%뇌충격섬락전압시험 : 280[kV] 이상	

3) 시험 결과

- 상용주파건조섬락전압시험시 101.2 ~ 103.9[kV]에서 연면방전이 발생함 - 상용주파건조섬락전압시험에 만족하지 못하므로 상용주파주수섬락전압시험 및 50%뇌충격섬락전압시험 미실시	

4) 시험성적서

에폭시 글래스 튜브 절연내력 시험성적서

시험일시 및 장소: 2010년 9월 9일(목) 고려애자공업(주)

시험 항목 기준(ANSI C29.13) DS-46기준(46kV급)	시험 결과		
상용주파건조섬락전압시험 (180kV)	#1	103.9 103.3	평균: 103.6
	#2	101.2 101.8	평균: 101.5
상용주파주수섬락전압시험 (145kV)	미실시		
뇌충격섬락전압시험 (280kV)	미실시		

나. 2차 시험

1) 보완 내용

- 상용주파건조섬락전압시험시 101.2 ~103.9[kV]에서 연면방전이 발생함(9/9 시험) - 연면 방전을 고려하여 누설거리를 증가 시킴 - 에폭시 글래스 튜브 양쪽에 7개 련(連) 설치	

2) 시험 결과

- 상용주파건조섬락전압시험시 134.7[kV]에서 에폭시 글래스의 절연파괴 발생함 - 상용주파건조섬락전압시험에 만족하지 못하므로 상용주파주수 섬락전압시험 및 50%뇌충격섬락 전압시험 미실시	

3) 에폭시 글래스 튜브 전기적 성능향상 방법 논의

○ 기존 에폭시 글래스 두께가 12[㎜]임

○ 건조섬락전압이 180[kV] 이면, 15[kV/㎜] × 12[㎜] = 180[kV]로 계산됨

○ 하지만, 에폭시 글래스 두께를 20[㎜]이상으로 할 필요가 있음

4) 시험성적서

에폭시 글래스 튜브 절연내력 시험성적서

시험일시 및 장소: 2010년 9월 16일(목) 고려애자공업(주)

시험 항목 기준(ANSI C29.13) DS-46기준(46kV급)	시험 결과
상용주파건조섬락전압시험 (180kV)	134.7kV
상용주파주수섬락전압시험 (145kV)	-
뇌충격섬락전압시험 (280kV)	-

다. 3차 시험

1) 보완 내용

- 상용주파건조섬락전압시험시 134.7[kV]에서 에폭시 글래스의 절연파괴 발생함(9/16 시험) - 따라서, 에폭시 글래스 튜브 두께를 12mm에서 20mm로 보완함 - 또한 연면 방전을 고려하여 누설거리를 증가시키 위해 에폭시 글래스 튜브 양쪽에 7 → 10개 련(連)으로 추가설치(샘플 2개 제작)	

2) 시험 결과

- 상용주파건조섬락전압시험시 시료 #1인 경우, 150.9[kV]에서 연면방전 발생함	
- 상용주파건조섬락전압시험시 보강작업한 시료 # 2인 경우, 167.1[kV]에서 연면방전 발생함 ※보강작업(실리콘 스프레이 및 고무)  	
- 상용주파건조섬락전압시험에 만족(180[kV])하지 못하므로 상용주파주수섬락전압시험 및 50%뇌충격섬락전압시험 미실시	

3) 에폭시 글래스 튜브 전기적 성능향상 방법 논의

○ 연면방전을 고려하여 누설거리를 증가시키 위해 에폭시 글래스 튜브 양쪽에 연(連) 설치시 충분한 절연처리가 필요함

4) 시험성적서

에폭시 글래스 튜브 절연내력 시험성적서

시험일시 및 장소: 2010년 10월 7일(목) 고려애자공업(주)

시험 항목 기준(ANSI C29.13) DS-46기준(46kV급)	시험 결과	
상용주파건조섬락전압시험 (180kV)	#1	150.9
	#2	167.1
상용주파주수섬락전압시험 (145kV)	-	
뇌충격섬락전압시험 (280kV)	-	

라. 4차 시험

1) 보완 내용

- 상용주파건조섬락전압시험시 150.9[kV](#1)/167.1[kV](#2)에서 에폭시 글래스의 연면 방전 발생함(10/7 시험) - 각 쉘(Shell)들과 절연로드간 절연상태 보완	

2) 시험 결과

- 상용주파건조섬락전압시험 : 182.44[kV] → 180[kV] 만족	
	
- 상용주파주수섬락전압시험 : 149.84[kV] → 145[kV] 만족	
	
- 50%뇌충격섬락전압시험 : 285.4[kV] → 280[kV] 만족	
	

3) 시험성적서

에폭시 글래스 튜브 절연내력 시험성적서

시험일시 및 장소: 2010년 10월 15일(금) 고려애자공업(주)

시험 항목 기준(ANSI C29.13) DS-46기준(46kV급)	시험 결과
상용주파건조섬락전압시험 (180kV)	182.4
상용주파주수섬락전압시험 (145kV)	149.8
뇌충격섬락전압시험 (280kV)	285.4

5. 전차선로 노이즈대역 측정

가. 목적

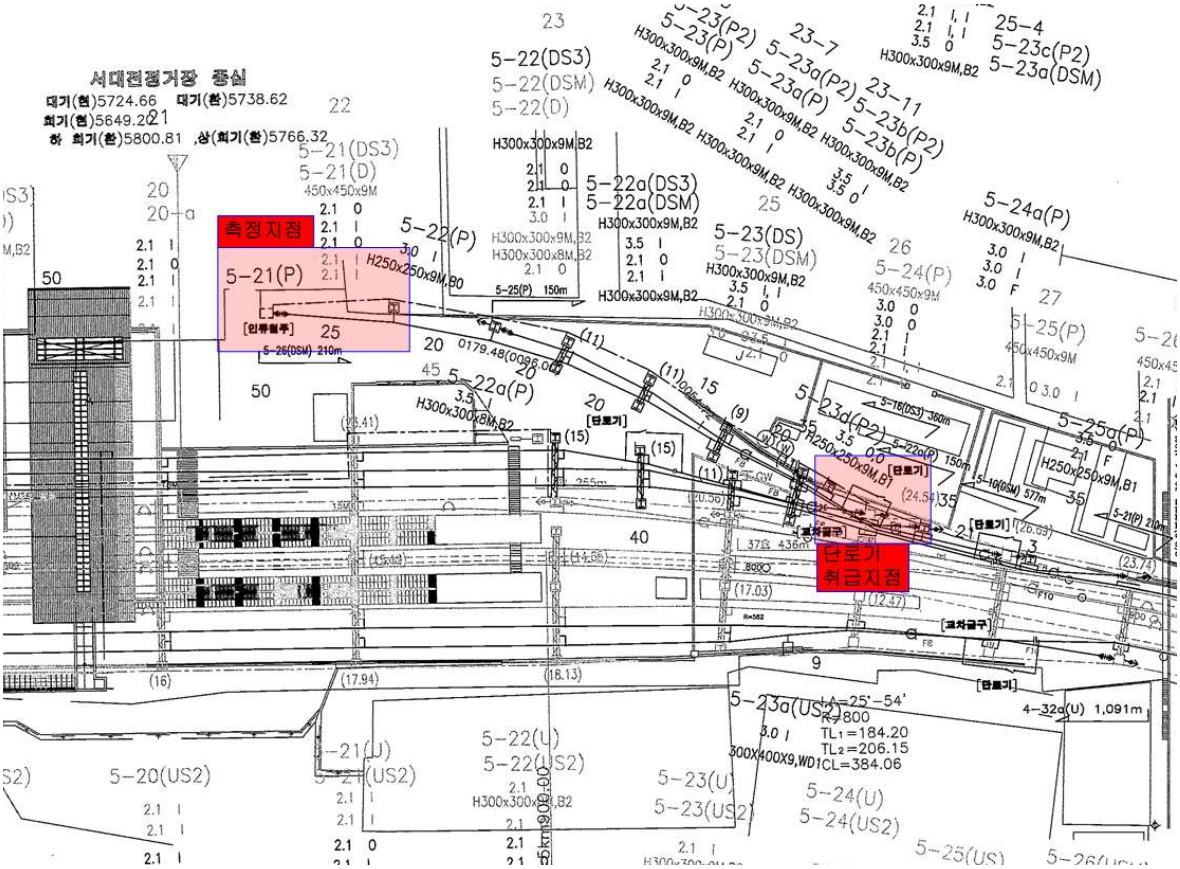
본 측정은 고속PLC 주파수 대역에서 전차선로 노이즈를 측정하여 필터와 모뎀을 설계하고자 함

나. 측정개요

○ 측정 일시 : 2010. 10. 27(수) 10:00 ~ 18:00

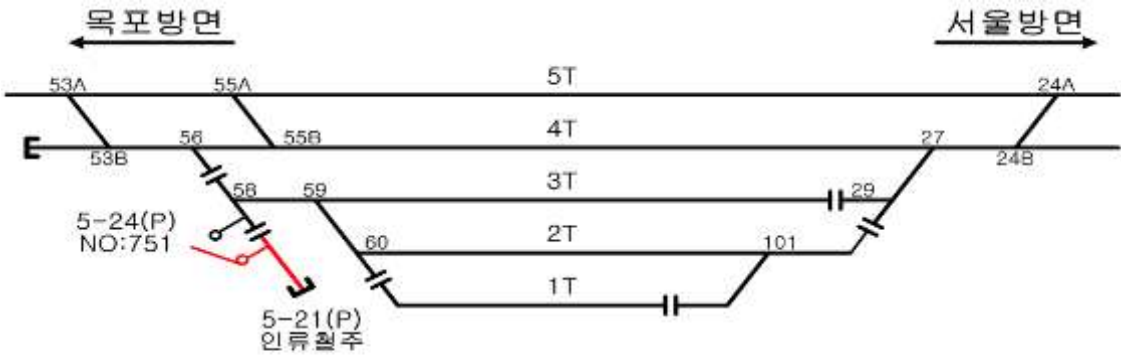
○ 측정 장소 : 호남선 서대전역구내 황하선(5-21(P) ~ 5-24(P)호주)

○ 측정 항목 : 1.7[MHz]~30[MHz] 대역의 전차선로 노이즈 특성



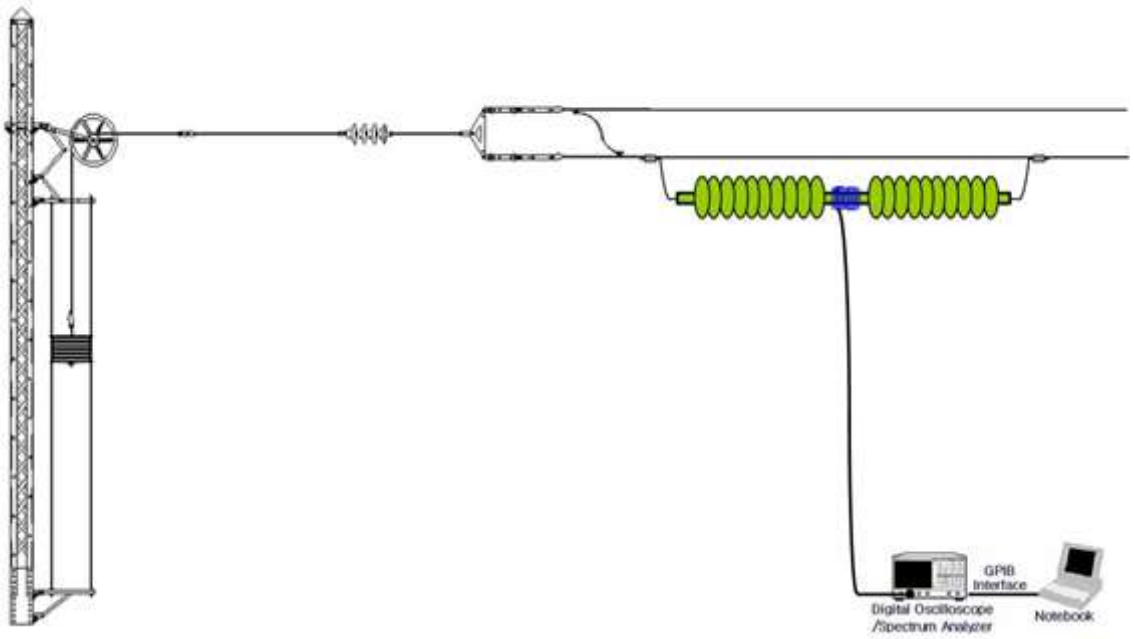
[그림 3-7-13] 호남선 서대전역 전차선로 평면도

다. 서대전역 급전계통



[그림 3-7-14] 서대전역 급전계통도

라. 노이즈 측정시스템 구성



[그림 3-7-15] 전차선로 노이즈 측정시스템 구성도

장비명	수량	Model	비 고
신호결합기	1	MTR-ICU-H58	2~30MHz
Spectrum Analyzer	1	E7402	6kHz~3GHz
Notebook	1	-	MS Windows XP
이동형 전원장치	1	-	24V 100A/H
전차선 절연체	1	EGT	Epoxy Glass Tube



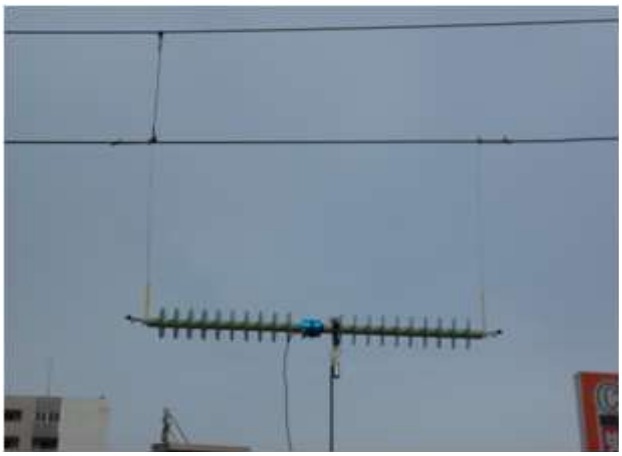
[그림 3-7-16] 신호결합기 설치작업1



[그림 3-7-17] 신호결합기 설치작업2



[그림 3-7-18] 신호결합기 설치된 모습



[그림 3-7-19] 접지걸이선 연결 모습



[그림 3-7-20] KTX하선 역행 모습



[그림 3-7-21] 노이즈대역 측정 모습

제8절 철도 차량용 MMI 및 NMS 개발

1. 연구배경

가. 개요

본 연구는 전기철도 열차의 안전업무종사자(관제사, 기관사, 신호원)간에 실시간으로 안전정보를 공유할 수 있는 전용통신시스템을 관리하는 MMI(Man Machine Interface) 및 NMS(Network Management System)를 개발하고자 함이다.

이 시스템은 주행 중인 전기차량과 실시간으로 선로주변 안전정보 및 철도운영정보(TIS:Train Information System))등을 지상근무 안전업무종사자간에 양방향으로 제공할 수 있는 전차선의 전력선 통신(PLC:Power Line Communication)을 의미한다.

본 과제에서 개발하여야 하는 시스템은 NMS(Network Management System)과 MMI(Man Machine Interface)시스템으로 관련 정의 및 기술내용은 다음과 같다.

나. 연구개발의 중요성

1) 다양한 철도안전정보를 실시간으로 공유할 수 있는 통신매체(예: PLC)가 필요

- ○ 기존 선로주변의 정보수집은 다양한 전달매체(CCTV, 사고예방 감지정보 등)로 운영하고 있음.
- ○ 전기철도의 안전정보는 선로를 기준으로 넓은 영역에 산재되어 있으므로 실시간 안전업무종사자간에 정보공유가 매우 어렵다.
- ○ 이를 해결하기 위하여 전기철도구간에서 장비특성 및 위치에 제한없이 단일체계로 실시간 정보를 수집 및 제공할 수 있는 전력선통신시스템이 매우 필요함.

2) 주행 중인 열차와 지상근무 철도안전업무종사자간의 양방향 전용 통신매체가 필요

○ 주행 중인 전기철도차량에 다양한 안전정보를 안전업무종사자간에 양방향으로 공유할 수 있는 철도통신매체시스템은 현재로선 없음.

○ 정부가 연구/투자 개발하여, 현재 상용화단계에 있는 전력선통신시스템을 전기철도전용 전력선통신 시스템으로서 적극 활용함.

○ 안정된(검증된) PLC 시스템의 기반기술을 활용하여 신규 연구에 소요되는 기간을 단축하고 정부 연구개발 비용을 절감함.

3) 무인운전시대를 대비한 단일 철도전용 통신매체의 개발이 필요

○ 향후 계획/도입예정인 도시철도(신교통시스템)의 무인화 운영에 대한 절대적 안전성 확보하기 위한 요소기술을 확보함.

○ 차량/승객 및 정거장내 다양한 안전정보를 실시간 원격감시/제어할 수 있는 단일통신매체의 요소기술 개발이 매우 필요함.

다. 산업적 측면

1) 신교통시스템 도입 시 시설인프라 감축

○ 도시철도(신교통시스템)의 설계과정에 전차선 및 3궤조방식의 급전시스템과 전기철도용 전력선 통신시스템을 일체화함으로써 철도 시스템이 반듯이 확보해야하는 신호제어시스템 및 통신을 위한 인프라 시스템을 줄일 수 있음.(향후 요소기술 적용시)

○ 세계적으로 전기철도를 위한 전력선통신의 연구가 미진한 가운데 선행연구를 통하여 미래철도의 기술적 선점 및 철도의 해외진출에 크게 기여함.

2) 전기철도가 기본적으로 확보하고 있는 전차선을 전기철도용 전력선 통신 구축을 위한 기반 인프라로 활용

○ 현재영업중인 기존 철도의 경우 이미 확보되어 있는 전기철도의 기본 구성요소인 전차선을 전력선통신의 전송매체로 활용하여 적은 시설투자 비용으로 실시간 철도안전정보 공유 및 다양한 응용을 구현함.

○ 전기철도용 전력선 통신 시스템 인프라를 통한 높은 경제성 기대

라. 사회·문화적 측면

1) 첨단 IT기술을 철도차량 주행 동안 시간 및 공간의 제한 없이 공유

○ 이동 중인 전기철도 차량에서 고정(정지)되어있는 지상의 시설물과 동일한 조건으로 Network망에 접근이 가능하여 향후 요소기술 적용시 사용자의 편이성 제공 및 교통수단 이동시 제한되는 생활의 패턴에 새로운 변혁을 이루는 계기가 된다.

2) 열차의 관제 및 통제(관리)를 위한 제한된 시설/공간을 개선

○ 열차의 관제 및 통제(관리)는 제한된 환경 내에서만 가능하나, 전차선을 이용한 전력선통신을 향후 적용시 위치(장소)나 공간의 제한 없이 적용함.

○ 향후 계획/도입예정인 도시철도(신교통시스템)의 무인화 운영에 대한 절대적 안전성 확보를 위해서는 차량/승객 및 정거장내 다양한 안전정보를 실시간 원격감시/제어할 수 있는 단일통신매체의 개발이 매우 필요함.

2. 연구개발내용

가. 관련기술검토

1) NMS(Network Management System)

네트워크상의 전 장비들의 중앙 감시 체제를 구축하여 Monitoring, Planning 및 분석이 가능하여야 하며 관련 데이터를 보관하여 필요 즉시 활용 가능하게 하는 관리 시스템이다. 다시 말하면, NMS는 네트워크 관리자가 NMS제품을 사용하여 현재 운영되는 workstation으로부터 네트웍을 control and monitor할 수 있게 한다.

2) NMS의 역할

- 네트워크상의 전 장비들의 중앙 감시 체제를 구축하여 Monitoring, Planning 및 분석이 가능하여야 하며 관련 데이터를 보관하여 필요 즉시 활용 가능하여야 한다.
- SNMP Protocol을 관리Protocol로 사용하며 CMIP으로의 전환 방안이 제시되어야 한다.
- Ethernet및 FDDI네트워크에 접속되어있는 자원들을 관리할 수 있어야 한다.
- Graphic User Interface를 지향해야 한다.
- MIB-1, MIB-2및 타 Vendor Specific MIB을 지원할 수 있어야 한다.
- 보안성이 우수하고 관리가 용이해야 한다.

통상 NMS는 Workstation급에 Network관리자가 사용하기에 편한 곳에 설치하며 단위 Network에 복수 개의 NMS를 병행할 수도 있다. NMS구동은 SNPM에 의해 작동하며 SNMP(Small Network Management Protocol) System은 NMS, NMS Agent, MIB(Management Information Base) 3부분으로 이루어진다. SNMP는 Network Device 즉, Routers, Bridges, Terminal Server, Host PC 등에 직접 Query하는 Transaction-Oriented Protocol이다.

NMS는 SNMP Agent에 정보를 의뢰함으로써 Device들을 감시 제어한다.

SNMP Agent는 NMS의 요구에 응답하고 Network상의 관리 대상 장비에 존재하는 S/W이다. Agent에는 장비에 관한 정보인 MIB(Routing Table Counter, status indication 등)이 있으며 이들은 Agent에 대한 NMS의 Poll과 Query에 대한 응답으로 NMS에 보내지고 이들은 다시 DB에 저장된다.

본래 의미에서의 네트워크 관리 기능은 아직 사람에게 의지하고 있지만 최근에는 SNMP등의 규격화된 관리용 Protocol을 이용하는 제품이 출하되기 시작했다. 그러나 SNMP을 지원하고 있는 기기만 관리 대상이 되므로 이후 network에 접속되는 기기는 이와 같은 Protocol을 지원하는 추세가 가속화 되고 있다.

3) SNMP프로토콜

SNMP(Small Netowork Management Protocol)은 다음의 3부분으로 구성되어 있다.

- 관리대상 (서비스 제공자, Agent)
- 네트워크 관리 Station(서비스 이용자, manager)
- 네트워크 관리 Protocol

SNMP는 IP (Internet Protocol)에서 작동하는 UDP(User datagram Protocol:커넥션형 트랜스포트 프로토콜)에 장치되어 있다. 따라서 SNMP 통신을 하기 위해서는 Manager와 Agent모두에게 가IP Address가 필요하다.

SNMP의 기본 명령어 및 동작은 아래 표와 같다.

[표 3-8-1] SNMP의 기본 명령어

명령어	
GET	관리정보를 검색하는데 사용된다.
GET-NEST	관리정보를 연속해서 검색하는데 사용된다.
SET	관리정보를 바꿔 쓰는데 사용된다.
TRAP	예외 작동을 통지하는 경우에 사용된다.

[표 3-8-2] SNMP의 기본 동작

동작	
변수 읽어 들이기	Agent가 가지고 있는 변수를 읽어 들인다.
변수 써 넣기	Agent가 가지고 있는 변수를 바꿔 쓴다.
트립	네트워크장비에 예상치 못한 이벤트가 발생하였음을 알린다.

이러한 명령어들은 모두 SNMP Manager측에서 발신되지만 SNMP Agent측에서는 장애 등의 예상치 못한 사태가 발생했을 때에만 SNMP Manager에게 trap명령을 통지하는 구조로 되어 있다.

나. MMI(Man Machine Interface)

1) 개요

MMI란 Man-Machine Interface의 약어로서 기기의 상태를 사람이 인지할 수 있도록 그래픽으로 표현하여 주는 컴퓨터 시스템을 말한다.

본 과제에서의 MMI의미 또한 일반적으로 사용하고 있는 의미와 유사하게 선로상의 각종 장비들의 상태를 MMI운영자, 기관사가 인지 할 수 있도록 그래픽 컬하게 표현하여주는 기능 외에 선로에 위치하고 있는 CCTV의 화면을 출력하기 위한 기능을 담당하게 된다.

2) 기능

산업에서의 일반적인 MMI의 기능은 다음과 같다.

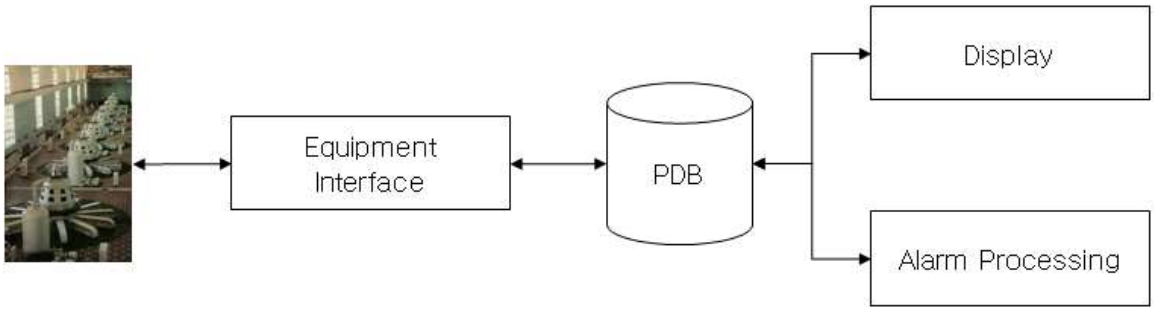
- 각종 정보의 실시간 취득 및 제공으로 관리 효율 향상
- 비 가동 상황 등 실시간 전달로 생산성 향상
- 설비를 제어하는 MMI와 POP 장비를 통합하므로써 작업자 I/F를 간소화

- 설비 도입 시부터 상위시스템과의 I/F를 고려, POP기능을 추가하므로 써 POP장비 별도설치 불필요
- 각종 품질, 실적에 있어 설비와 직접적으로 취득을 함으로써 정도율 향상
- 각종 제어/Trend 성의 데이터도 상위 시스템으로 보고함으로써 Lot 추적용이
- 사무실 어떠한 장소에서도 설비 모니터링 가능
- 설비 자동 세팅을 통한 품질 균일화 및 생산성 향상

3) 구성

MMI시스템의 기능을 수행하기위하여 다양한 방식의 구성 요소가 필요하지만 가장 일반적으로 필요로 하는 구성 모듈은 다음과 같다.

[그림 3-8-1]



a. Data수집기능

설비로부터 데이터를 수집하는 기능으로 설비의 상태정보, 실적정보 등을 수집한다.

b. 화면표시기능

수집된 데이터를 가공하거나 수집된 그대로 운영자가 인지할 수 있도록 컴퓨터 모니터에 표시한다.

c. 설비제어기능

운영자의 제어명령을 설비로 전송하거나 내부의 연산에 의한 판단으로 명령을 생성하여 설비로 전송하여 설비를 제어한다.

d. 알람처리

운영자에 의하여 설정된 기준에 의하여 설비의 이상상태발생시 이를 운영자가 인지 할 수 있도록 화면에 표시하거나, 운영자의 인지여부를 관리한다.

다. 업무정의

PLC(Power Line Communication)를 이용하여 CCTV영상을 표현하기 위한 MMI(Man Machine Interface)와 선로상의 장착되어 있는 CCTV의 상태를 감시하기 위한 NMS시스템을 구축을 위한 업무정의

1) 업무 유스케이스 모형

[그림 3-8-2] 업무 유스케이스 모형



[표 3-8-3]

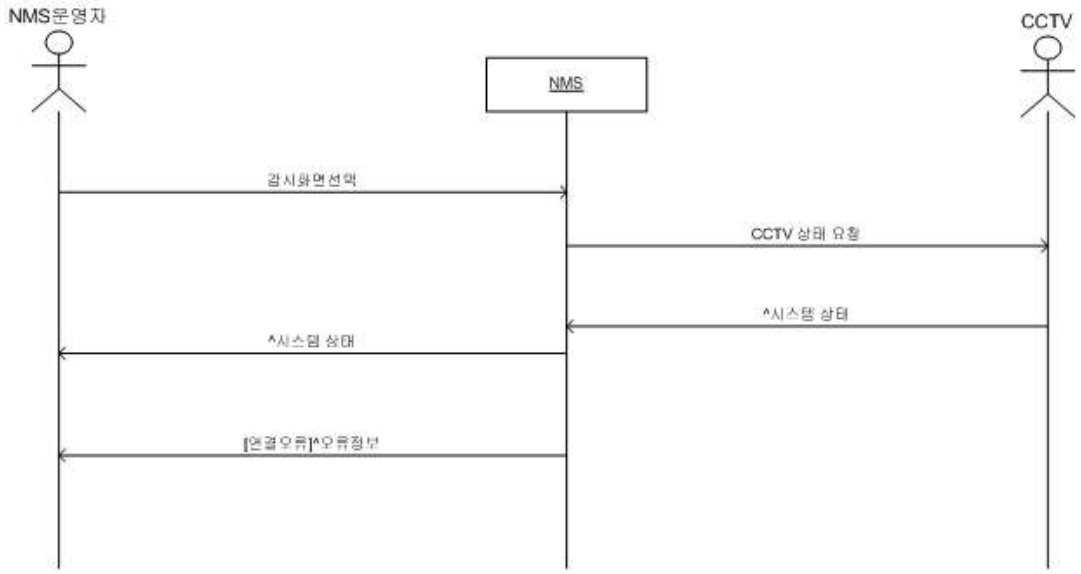
ACTOR	ACTOR 설명
NMS운영자	CCTV의 상태를 감시하기 위한 운영자
MMI운영자	CCTV를 통하여 선로의 상태를 감시하는 운영자로 본 과제에서는 기관사가 MMI운영자가 된다.
CCTV	운행정보를 영상으로 알려주기 위한 CCTV로 선로 상에 설치된다.

라. 시나리오

1) CCTV상태를 감시한다.

이 USECASE는 NMS운영자가 선로에 부착되어 있는 CCTV의 상태를 감시하기 위한 USECASE로 시스템이 CCTV의 상태를 읽는 단계부터 시작합니다.

[그림 3-8-3]



a. 정상흐름

- NMS운영자는 CCTV의 상태를 감시하기 위한 화면을 선택한다.
- 시스템은 CCTV의 상태를 요청한다.
- 시스템은 CCTV로 부터 상태정보를 수신한다.(예외1)
- 시스템은 CCTV로 부터 수신한 상태정보를 화면에 표시한다.

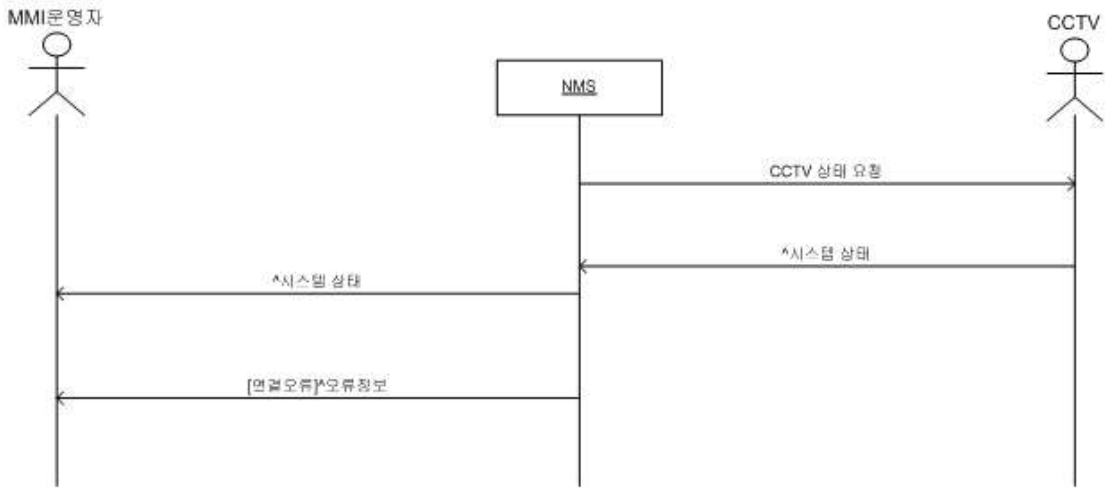
b. 예외흐름

- 예외1) 네트워크 경로의 이상으로 상태정보를 수신하지 못할 경우 오류정보를 NMS운영자기 인식할 수 있도록 한다.

2) CCTV상태를 표시한다.

이 USECASE는 MMI운영자를 위한 USECASE로 MMI운영자(기관사)의 운행경로 상의 CCTV의 상태를 인지할 수 있도록 하기 위한 USECASE이다.

[그림 3-8-4]



a. 정상흐름

- O 시스템은 CCTV의 상태를 요청한다.
- O 시스템은 CCTV로 부터 상태정보를 수신한다.(예외1)
- O 시스템은 CCTV로 부터 수신한 상태정보를 MMI화면에 표시한다.

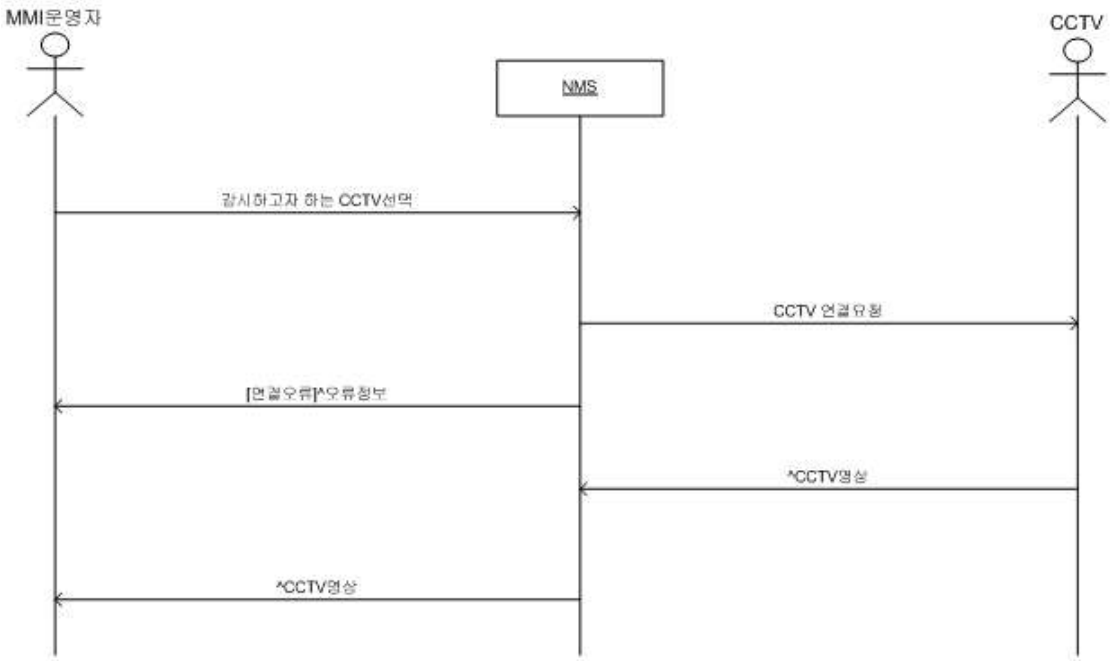
b. 예외흐름

- O 예외1) 네트워크 경로의 이상으로 상태정보를 수신하지 못할 경우 오류정보를 NMS운영자기 인식할 수 있도록 한다.

3) CCTV영상을 표시한다.

이 USECASE는 CCTV로부터 영상을 수신하여 NMS운영자가 이를 통하여 상황 판단 및 조치를 취할 수 있도록 하기 위한 USECASE입니다.

[그림 3-8-5]



a. 정상흐름

- MMI운영자는 감시하고자 하는 CCTV를 선택한다. (예외1)
- 시스템은 선택된 CCTV와 연결을 시도한다.(예외2)
- 시스템은 연결된 CCTV로부터 CCTV영상을 수신한다.
- 시스템은 수신된 영상을 MMI운영자가 감시할 수 있도록 화면에 출력한다.

b. 예외흐름

○ 예외1) 이 시스템이 실제 현장에 적용되지 위해서는 MMI운영자가 CCTV를 선택하지 않고 열차의 위치에서 근거리에 있는 CCTV의 위치 정보(IP주소 등)을 자동으로 인식하여 연결하도록 구성되어야 하나 당해 년도 과제에서는 PLC를 통한 CCTV영상의 송수신만을 파악하는 단계이므로 MMI 운영자CCTV를 선택하여 감시하는 USECASE를 적용한다.

○ 예외2) 선택된 CCTV와의 연결이 되지 않을 경우에는 MMI화면에 연결오류 되었다는 사실정보와 연결오류원인을 표시한다.

마. MMI및 NMI화면구성

1) 개요

NMS운영자를 위한 NMS화면과 MMI운영자를 위한 MMI화면은 현장(선로)에 설치된 CCTV등으로부터 정보를 수신하여 화면에 표시하게 된다.

선로에 위치한 CCTV및 각종 전송장비의 상태정보를 PLC(Power Line Communication)을 통하여 NMS(Network Management System)에 표시하거나 열차 내에 설치될 예정인 MMI에 선로영상 및 모뎀을 포함한 각종기기의 상태를 표시하게 된다.

2) 화면일람

본 과제에서의 화면은 크게 NMS운영자를 위한 NMS화면과 MMI운영자를 위한 MMI화면과 같이 두 종류의 화면으로 구성이 된다.

[표 3-8-4] 화면일람

화면명		기능
NMS화면	NMS구성화면	감시하고자 하는 NMS화면을 구성하기 위한 화면으로 당해 년도 과제에서는 제외됩니다. 당해 연도에서는 감시하고자 하는 화면에 대한 구성은 표준 에디터를 이용하여 XML문서로 작성하며 내년도에 Builder에 대한 기능을 추가합니다.
	NMS표시화면	감시하고자 하는 NMS화면을 표시하는 화면으로 NMS구성화면에서 작성된(당해 년도의 경우에는 XML에 의하여 구성)파일을 이용하여 CCTV의 상태정보를 표시하도록 구성합니다.
MMI화면	MMI구성화면	NMS화면구성에 사용되는 모듈을 재활용하여 구성하게 되며 당해 년도의 경우에는 NMS구성 화면과 동일한 방식으로 작성된 XML파일을 이용하여 처리합니다.
	MMI표시화면	MMI구성화면 툴을 이용하여 작성된 파일을 기준으로 하여 CCTV의 상태를 포함한 각종 정보를 표시하거나 CCTV의 영상을 표시하도록 구성합니다.

3) 화면구성방식

NMS및 MMI화면 구성하는 방법에는 다양한 방법이 있을 수 있지만 본 과제에서 적용할 수 있는 방법에는 두 가지가 있다.

a. 프로그램에 의한 구성

프로그램에 의한 화면구성은 C#, VB와 같은 4세대언어를 이용하여 화면을 프로그램에 의하여 구성하는 방법으로 제약 없이 화면 구성이 가능하나 변경사항 발생시 개발자 외에는 수정할 수 없다는 단점이 있다.

b. 운영화면 Builder에 의한 구성

별도의 운영화면 Builder를 이용하여 화면을 구성하는 방법은 별도의 운영화면 Builder를 개발하여 개 하는 단점이 있습니다만 변경사항 발생시 프로그램개발자가 아니더라도 손쉽게 변경할 수 있는 장점이 있다.

운영화면 Builder를 이용하는 방식의 경우 기능상에 제약에 발생할 경우 구성이 불가능할 수도 있지만 Builder 및 Viewer의 업그레이드만 가능하다면 프로그램을 이용하여 구성하는 방식의 장점을 모두 수용하면서 변경사항 반영을 프로그래머가 아닌 사람이 손쉽게 변경사항을 반영할 수 있다는 장점이 있어 본 과제에서는 운영화면 Builder를 통한 화면구성방식을 적용할 예정이다.

4) 화면구성언어

운영화면구성을 위한 Builder를 이용하여 NMS 및 MMI화면을 구성할 경우 Builder의 출력파일 이면서 NMS및 MMI 입력 파일형식은 매우 중요하다. 본 과제에서는 최근 들어 각종 분야에서 사용하고 있는 XML파일을 이용한 화면 구성방식을 적용할 예정이다.

화면을 구성할 객체의 종류는 MMI및 NMS에서 가장 많이 사용되는 CCTV, 모뎀등과 같은 감시 대상이 되는 컨트롤 객체와 화면을 보조적으로 표시하기 위한 문자표시창, 선, 사각박스, 원 등과 같은 스태틱 객체가 선언되어 화면구성모듈에서 사용되게 된다.

a. 컨트롤 객체

동영상을 표시하기위한 동영상 컨트롤, CCTV 컨트롤, PLC모뎀 컨트롤등과 같이 상태정보를 가지고 있는 컨트롤에 대한 객체를 의미하며 각 컨트롤은 상태를 실시간으로 표시하거나 실제 이미지와 유사한 형태로 화면에 표시되게 된다.

[표 3-8-5] 컨트롤 객체

객 체 명	기능
동영상 컨트롤	CCTV로부터 수신한 영상을 표시한다.
CCTV컨트롤	CCTV상태를 표시한다.
PLC모뎀	PLC모뎀의 상태를 표시한다. 송수신 데이터 통계를 제공한다.(PLC모뎀이 기능제공시)
텍스트 컨트롤	추 후 MMI에 안전정보를 표시하기위한 컨트롤로서 중앙센터로부터 각종정보를 수신하여 화면에 표시하기 위한 컨트롤

b. 스태틱 객체

컨트롤 객체를 보조하여 화면을 구성하는데 사용되는 객체로 선, 사각박스, 원(타원포함), 텍스트박스등과 같은 객체로 이벤트에 따라 색상 등을 변화할 수 있도록 구성된다.

[표 3-8-6] 스태틱 객체

객 체 명	기능
선	감시화면에 선을 표시하기 위한 객체
사각박스	감시화면에 사각박스를 표시하기 위한 객체.
원	타원그리기를 포함한 원을 표시하기 위한 객체

c. 속성

컨트롤 객체 및 스태틱 객체는 MMI, NMS화면에 표시될 수 있도록 하기위한 속성을 가지고 있으며 속성은 공통속성과 컨트롤객체의 경우 컨트롤 객체의 행위를 위한 고유한 특성이 정의된다.

먼저 공통속성에는 다음과 같이 정의된다.

[표 3-8-7] 공통속성

속 성	기능
Left	객체의 왼쪽 위치 좌표
Right	객체의 오른쪽 위치 좌표
Height	객체의 높이
Width	객체의 넓이
LineColor	객체의 외곽선 색상
FillColor	객체내부의 색상

동영상 컨트롤 객체의 추가속성은 다음과 같다.

[표 3-8-8] 동영상 컨트롤 객체의 추가속성

속 성	기능
IPAddr	CCTV의 IP주소정보
Port	CCTV의 서비스포트 정보

CCTV 컨트롤 객체의 추가속성은 다음과 같다.

[표 3-8-9] CCTV 컨트롤 객체의 추가속성

속 성	기능
IPAddr	CCTV의 IP주소 정보
Port	CCTV의 서비스포트 정보

PLC모뎀 컨트롤 객체의 추가속성은 다음과 같다.

[표 3-8-10] PLC모뎀 컨트롤 객체의 추가속성

속 성	기능
IPAddr	PLC모뎀 IP주소정보
Port	PLC모뎀의 서비스포트 정보

텍스트 컨트롤 객체의 추가속성은 다음과 같다.

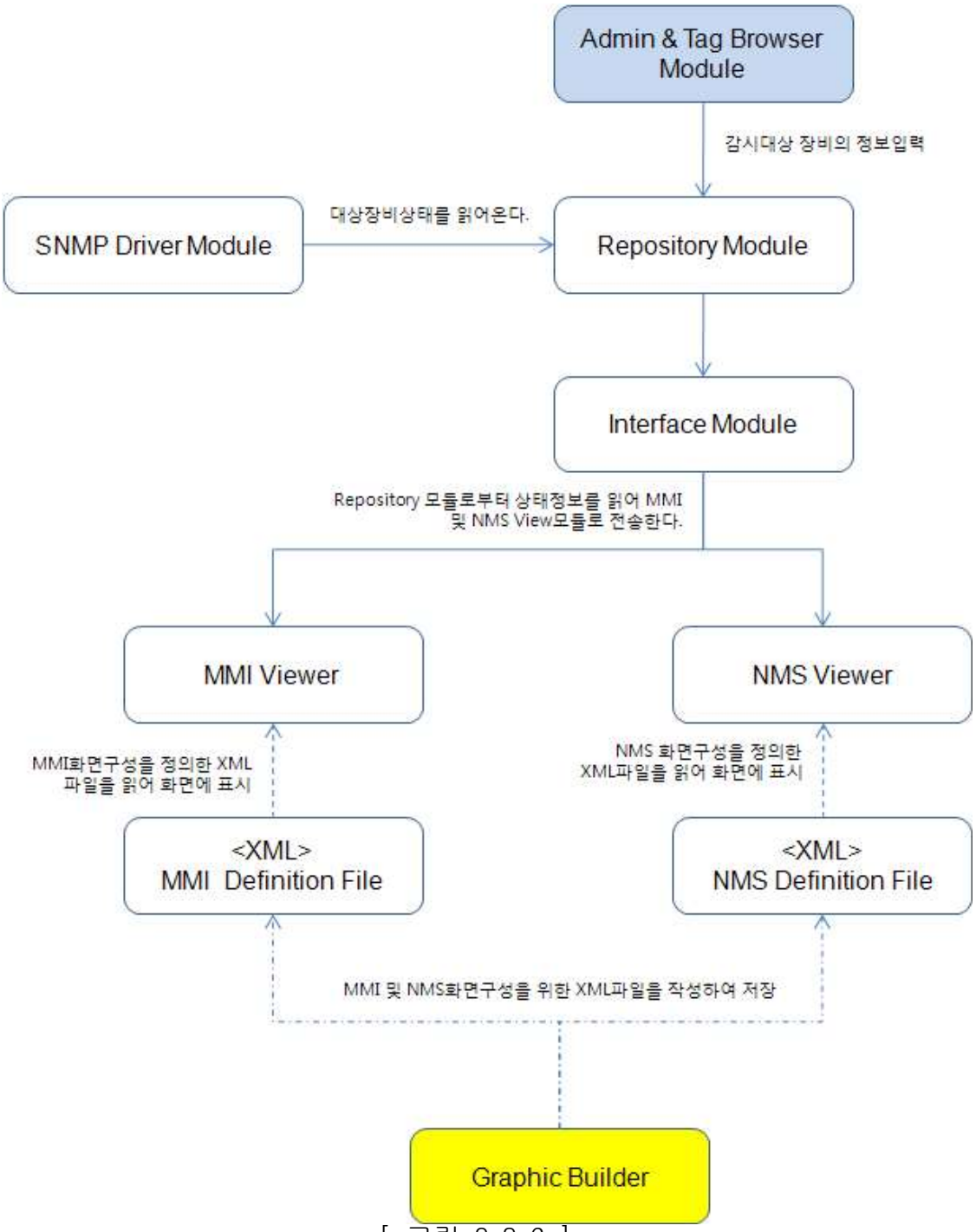
[표 3-8-11] 텍스트 컨트롤 객체의 추가속성

속 성	기능
IPAddr	텍스트정보를 표시하기 위한 서버 IP정보
Port	텍스트정보를 표시하기 위한 서버 PORT정보

바. 상세설계

1) 모듈배치

당해연도 과제에서의 MMI및 NMS모듈은 화면 표시 기능만을 구현하게 되며 각 구현모듈의 구성은 다음과 같다.



[그림 3-8-6]

2) 모듈 기능

NMS및 MMI시스템을 위한 모듈및 기능은 다음과 같다.

[표 3-8-12] NMS및 MMI시스템을 위한 모듈및 기능

모듈명	설명
SNMP 드라이버모듈	선로에 설치되는 CCTV, PLC모뎀등의 상태정보를 읽어오기 위한 모듈로 일반적인 NMS에서 표준으로 사용하고 있는 프로토콜인 SNMP를 통하여 상태정보를 읽어온다.
Repository 모듈	시스템의 안정성을 확보하기 위하여 데이터를 관리만을 위한 별도의 모듈을 구성하였으며 기 개발된 관리모듈과 연계가능하도록 구성한다.
Interface 모듈	NMS및 MMI Viewer모듈로 수집된 정보를 전송하기 위한 기능을 담당하는 모듈로 Repository 모듈에 저장되어 있는 CCTV, PLC모뎀의 상태가 변경될 때마다 운영자의 조작없이 NMS및 View모듈로 전송하도록 구성한다.
NMS Viewer모듈	NMS운영자에 의하여 관리되는 모듈로 Interface모듈에 의하여 전송된 정보를 화면에 표시하는 기능을 담당한다. 화면구성정보는 차기연도 개발예정인 Graphic Builder에의하여 생성된 XML을 이용하여 화면을 표시하게 된다.
MMI Viewer모듈	MMI운영자에 의하여 관리되는 모듈로 Interface 모듈에 의하여 전송된 정보를 MMI화면에 표시하는 기능을 담당한다. NMS Viewer 모듈과 동일하게 화면구성정보는 Graphic Builder에 의하여 작성된 XML파일을 이용하여 화면을 구성하게 된다.

Graphic Builder모듈은 NMS 및 MMI의 설계단계에서 새롭게 추가된 모듈로 차기연도에 개발될 예정이며, 화면구성을 운영자가 손쉽게 하기 위한 유틸리티 모듈로써 구성된다.

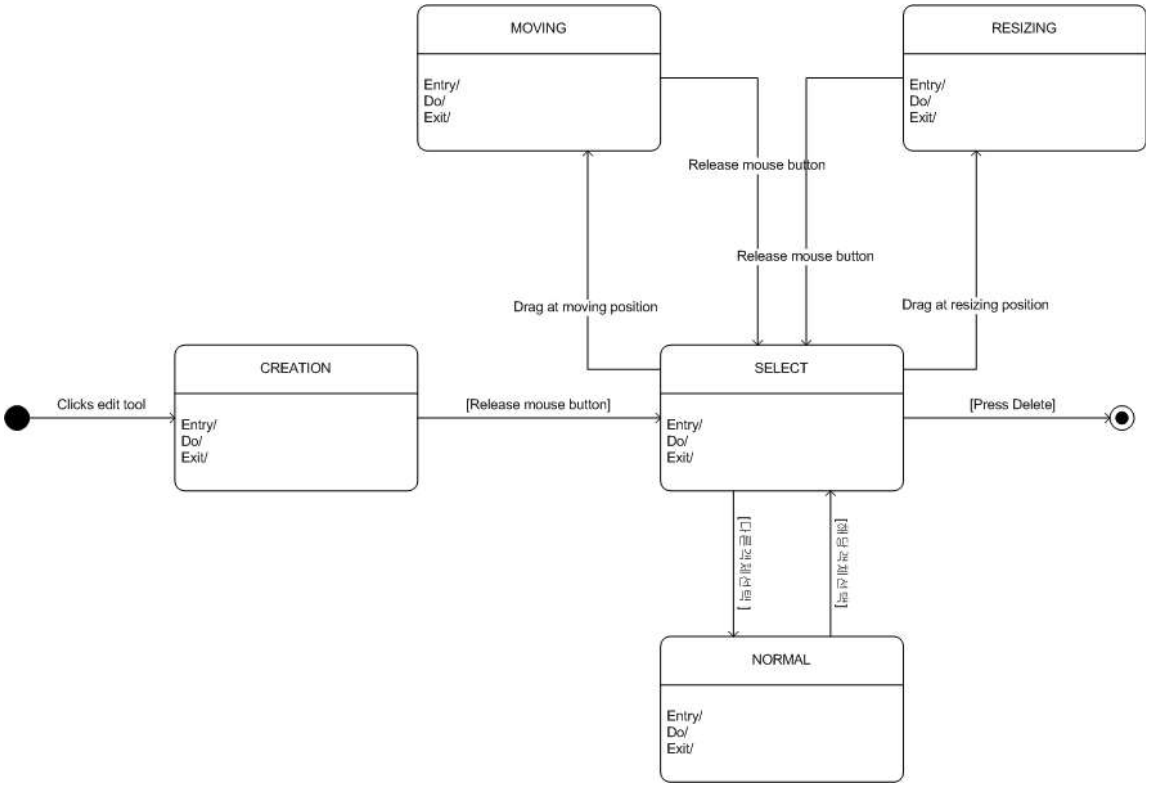
드라이버 구성 및 정보관리를 위한 유틸리티 모듈은 타 시스템 구성에서 사용되었던 모듈을 재활용하게 되며 이를 위하여 Repository모듈과 Admin 모듈의 호환성 유지를 위하여 내부데이터 구조를 통일하여야 한다.

3) Graphic Builder

Graphic Builder구현을 위한 상세설계 문서는 다음과 같다.

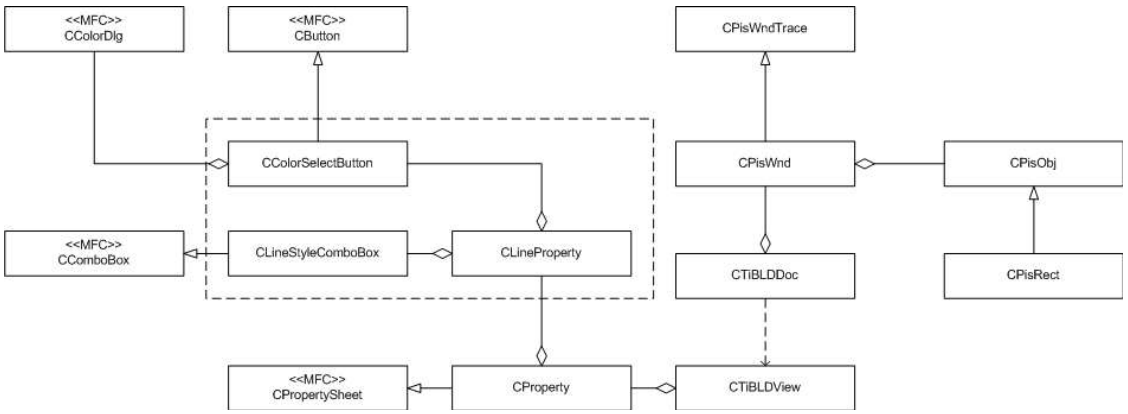
1) StateChart Diagram

[그림 3-8-7] StateChart Diagram



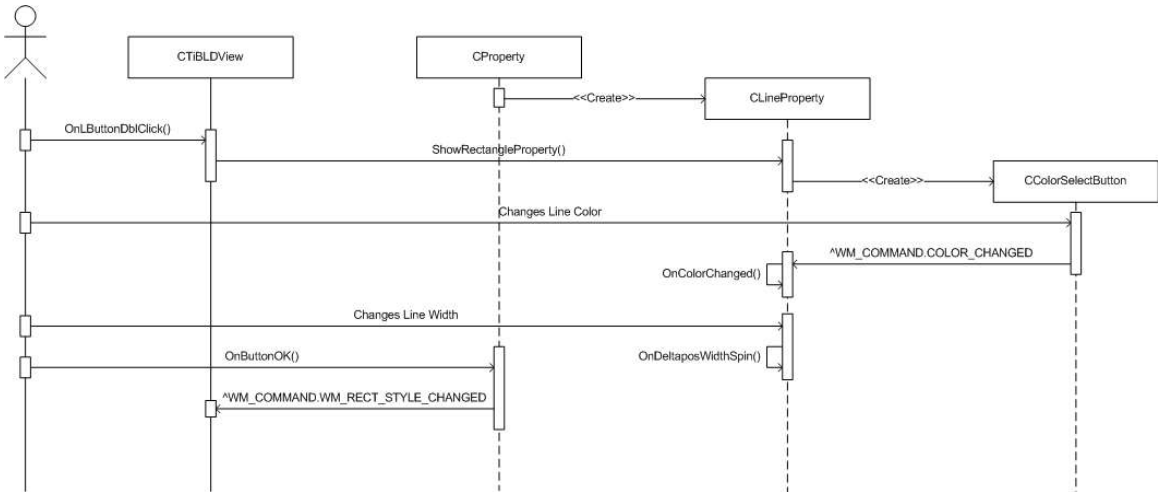
2) Class Diagram

[그림 3-8-8] Class Diagram



3) Sequence Diagram

[그림 3-8-9] Sequence Diagram



3. 결론 및 향후 계획

가. 결론

전기철도 전차선의 전력선 통신을 활용한 실시간 안전정보 공유시스템을 위한 NMS및 MMI시스템의 경우에는 일반산업분야에서 사용되고 있는 NMS와 MMI와 많은 유사한 면이 있기는 하나 PLC(Power Line Communication)을 이용하여 데이터를 전송한다는 점과 대상설비가 철도분야에만 국한된다는 점에 있어 일반적인 NMS와 MMI기술을 그대로 적용하기에는 무리가 있다고 본다.

본 연구에서는 이러한 점을 해결하기 위하여 일반적인 NMS시스템과 MMI시스템의 기술을 검토하였으며 데이터 취득을 위한 다양한 방법 중에 상태정보와 오류정보를 동시에 처리할 수 있는 SNMP(Small Network Management Protocol)를 채택하여 구현하게 되었다.

SNMP의 경우에는 주기적으로 상태를 요청함으로 인하여 네트워크 상에 약간의 트래픽을 발생시키기는 하나 상태정보를 수집하기 위하여 Request Response방식으로 패킷을 송수신하기 때문에 패킷 송수신 오류가 많이 발생할 수 있는 PLC통신에 가장 적합하다고 생각된다.

SNMP 드라이버모듈의 개발은 마이크로소프트사 Visual Studio Tool에서 제공한 WinSnmp모듈을 이용하여 개발하게 됨으로 인하여 처음부터 개발할 경우 발생할 수 있는 모듈 신뢰성에 대한 문제를 해결할 수 있었다.

CCTV의 영상 전송 및 송수신방식은 이미 타 연구에서 많이 연구되어 있고 실용화단계에 있는 H.264 코덱을 채택하였으며 그에 따른 각종 송수신 소프트웨어 모듈은 그 개발된 모듈, 마이크로소프트사에 제공된 윈도우 운영체제를 설치하게 될 경우 같이 설치되는 Window Media Player모듈을 이용하여 구성하였다.

Viewer 모듈의 설계단계에서 화면구성을 손쉽게 하기 위한 방법을 검토하는 과정 중에 계획하지 못했던 모듈개발의 필요성이 발행하였으며 이에 대한 설계는 당해연도에서 완료하였으며 모듈 개발은 차기연도에서 개발하는 것으로 하였다.

별도의 Graphic Builder모듈의 개발이 완료되게 되면 운영자는 손쉽게 운영화면을 소프트웨어 개발자 도움 없이 변경이 가능하게 되어 향후 현장 적용시

운영자의 취향대로 화면변화를 줄 수 있어 유연하게 현장 적용이 가능할 것으로 생각된다.

이를 위하여 MMI 및 NMS화면을 프로그램 개발자의 프로그램으로 화면을 구성하기로 하였던 계획에서 벗어나서 화면정의는 운영자가 정의된 화면정의 파일을 로드하여 화면에 표시하는 기능은 프로그램 개발자가 구현하는 방식으로 개발을 하게 되었다.

나. 향후계획

향후 계획에는 초기 계획단계에서 계획되었던 단위 및 통합테스트가 진행되면서 개발된 모듈에 대한 보완 작업이 이루어질 것이며 계획되지 않았던 Graphic Builder개발에 대한 작업이 동시에 진행될 예정이다.

1) 시험계획

a. 단위 기능시험

1차 년도에 개발된 소프트웨어 모듈에 대한 내부적인 기능 시험단계로 이 시험을 통하여 구현된 기능의 정확성, 안정성에 대한 검토를 진행하며 검토결과를 이용하여 모듈의 개선작업이 이루어질 예정이다.

b. 연계 기능시험

PLC모뎀, CCTV와의 연계시험을 통하여 구현된 기능의 정확성, 안정성에 대한 검토작업이 이루어지게 되며 검토결과에 따른 모듈 개선작업도 병행될 예정이다.

c. 종합시험

소 단위의 NMS및 MMI시스템을 구축하여 계획되었던 기능이 정상적으로 작동하는지 시험하게 되며 시험결과에 따른 모듈 보완 작업을 병행하게 된다.

2) Graphic Builder 개발

1차년도 설계단계에서 추가모듈 필요성이 야기되었던 Graphic Builder에 대한 설계를 기본으로 하여 모듈 개발을 진해한다. 모듈 개발은 시험계획에서는 사용되지 않는 모듈이므로 시험계획 일정하고는 별도의 일정으

로 개발되며 Viewer모듈과의 연계시험을 진행하게 된다.

3) 소프트웨어 등록

단위 기능시험이 끝나는 시점에서 개발된 소프트웨어 모듈의 저작권을 보호하기 위하여 소프트웨어 산업협회를 통하여 소프트웨어 저작권 등록 작업을 진행하도록 한다.

등록대상 소프트웨어 모듈은 추가로 개발되는 Graphic Builder모듈을 포함하여 NMS/MMI Viewer모듈 및 SNMP Driver모듈, Repository 모듈이 그 대상이 될 것이다.

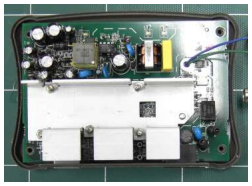
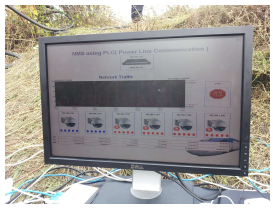
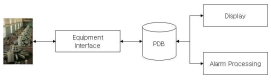
제4장 시험수행 내용 및 결과

제1절 2차년도 시험 계획

1. 시험 계획 개요

1차년도 연구결과의 산출물을 활용하여 전기철도 활선에서 전력선통신의 기본 구성에 대한 시험 및 차량과 연계한 시험을 실시한다.

[표 4-1] 1차년도 연구 산출물

구 분	산출물	규 격	비 고
Device 개발	비 접촉식 신호결합기	출력단자 :BNC 고정방식 : 클램핑 최대전류 : 800A 주파수 대역 : (1.7 ~30 MHz) 삽입손실 : 50dB이내	
	Hybrid Modulator	주파수 대역 : (1.7 ~30 MHz) Interface : TCP/IP, BNC	
	전원공급장치	출력 : 220V 10W	
Solution 개발	MMI 장치 개발	Display : 14 “LCD Interface : Serial, TCP/IP In-put : Touch방식	
	NMS 개발	Data수집기능 화면표시기능 설비제어기능	

가. 시험 계획의 목표

시험 구분	세부추진 계획 및 방법
전기철도 전력선통신 시험환경 구축	- 전차선 25KV 환경의 시험환경 구축 - 시험을 위한 안전시설 설치 - 야외용 시험 Station 설치
전기철도 단위기능 전력선통신 시험	- 전차선 25KV 환경의 시험환경 구축 - 시험을 위한 안전시설 설치 - 야외용 시험 Station 설치
전기철도 Device간 전력선통신 연동기능 시험	- 단위 시험결과 문제점 개선 - Devise 상호간 연동용 Simulation 프로그램 운영 - 시험평가 기록 및 개선점 돌출
전기철도 전력선통신 종합	- 연동 시험결과 문제점 개선 - Pear to Pear간 Data 전송 시험 - 시험평가 기록 및 문제점 개선

나. 시험 추진 절차

1 비접촉식 신호결합기 및 절연체를 활용한 시험

시험 장소 협의 및 시험 방법 협의

- 활선에서 절연체를 포함한 비접촉식 신호결합기 취부방법에 대한 문제점 돌출

2 접촉식 신호결합기를 활용한 시험 계획 수립

시험 방법 및 절차 수정

- 활선에서 전연체를 포함한 비접촉식 신호결합기 취부방법에대한 문제점 돌출

3 전력산업분야에서 실용화된 접촉식 신호결합기를 활용한 제품개발

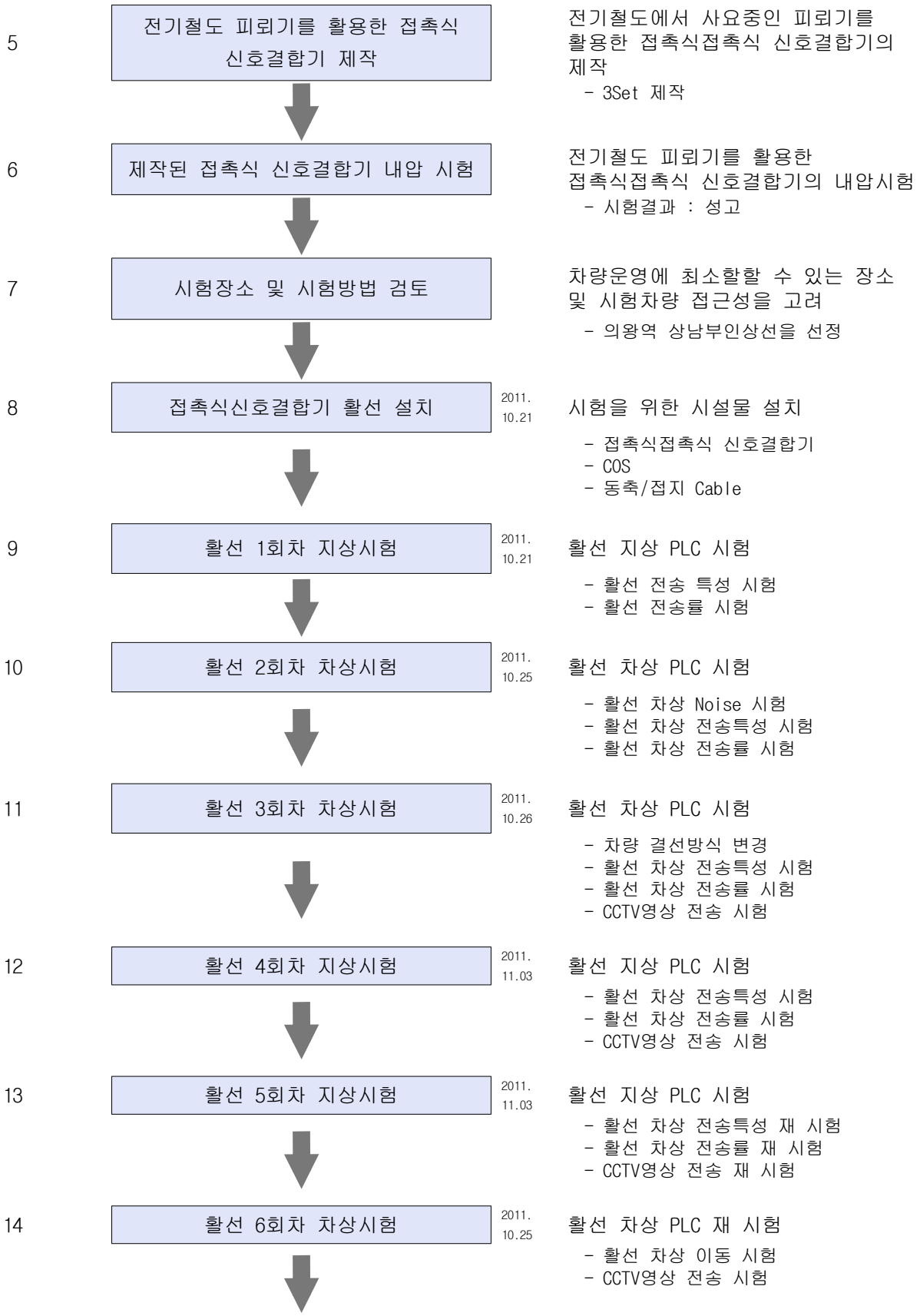
접촉식 신호결합기 제작

- 3Set 제작

4 제작된 접촉식 신호결합기 내압 시험

전력산업분야에서 실용화된 접촉식접촉식 신호결합기의 내압시험

- 시험결과 : 실패


5
전기철도 피뢰기를 활용한 접촉식 신호결합기 제작
전기철도에서 사요중인 피뢰기를 활용한 접촉식접촉식 신호결합기의 제작
- 3Set 제작
6
제작된 접촉식 신호결합기 내압 시험
전기철도 피뢰기를 활용한 접촉식접촉식 신호결합기의 내압시험
- 시험결과 : 성고
7
시험장소 및 시험방법 검토
차량운영에 최소할할 수 있는 장소 및 시험차량 접근성을 고려
- 의왕역 상남부인상선을 선정
8
접촉식신호결합기 활선 설치
2011. 10.21
시험을 위한 시설물 설치
- 접촉식접촉식 신호결합기
- COS
- 동축/접지 Cable
9
활선 1회차 지상시험
2011. 10.21
활선 지상 PLC 시험
- 활선 전송 특성 시험
- 활선 전송률 시험
10
활선 2회차 차상시험
2011. 10.25
활선 차상 PLC 시험
- 활선 차상 Noise 시험
- 활선 차상 전송특성 시험
- 활선 차상 전송률 시험
11
활선 3회차 차상시험
2011. 10.26
활선 차상 PLC 시험
- 차량 결선방식 변경
- 활선 차상 전송특성 시험
- 활선 차상 전송률 시험
- CCTV영상 전송 시험
12
활선 4회차 지상시험
2011. 11.03
활선 지상 PLC 시험
- 활선 차상 전송특성 시험
- 활선 차상 전송률 시험
- CCTV영상 전송 시험
13
활선 5회차 지상시험
2011. 11.03
활선 지상 PLC 시험
- 활선 차상 전송특성 재 시험
- 활선 차상 전송률 재 시험
- CCTV영상 전송 재 시험
14
활선 6회차 차상시험
2011. 10.25
활선 차상 PLC 재 시험
- 활선 차상 이동 시험
- CCTV영상 전송 시험

15 전철주 No2 수정 2011. 10.21 시험을 위한 시설물 점검
- Fuse 및 Cable 접속 점검
- 동축 Cable 및 BNC Connector 점검



16 활선 7회차 지상시험 2011. 11.03 활선 지상 PLC 재 시험
- 활선 차상 전송률 재 시험
- CCTV영상 전송 재 시험

2. 시험 계획서

가. 시험의 개요

본 계획서는 전기철도 열차의 안전업무종사자(관제사, 기관사, 신호원)간에 실시간으로 안전정보를 공유할 수 있는 전용통신시스템 개발을 위하여 AC25,000V 전차선 및 전기차량을 활용하여 접촉식 신호결합기의 특성 및 성능을 시험하기 위한 절차 및 방법을 제시(정의)하여 시험 중 발생할 수 있는 안전사고를 예방하고 충실한 시험 결과를 얻기 위함이다.

시험 구분은

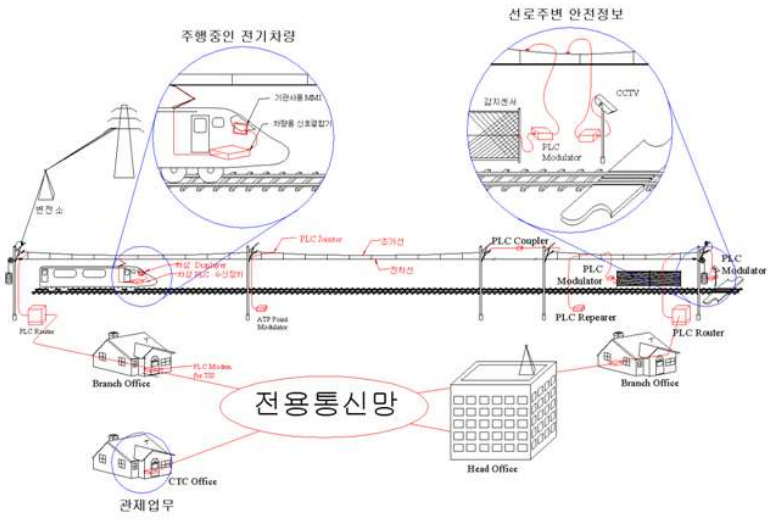
- ○ 접촉식 신호결합기 활선 특성 시험
- ○ 전차선을 통한 전기차량 Data전송 시험

으로 구분 한다.

나. 시험의 목적

전력산업 분야(AC22.9KV)에서 이미 활성화 되어 있는 접촉식신호결합기 방식을 전기철도(AC25KV)에서 활용하기 위하여 전기철도에서 안전성이 검증된 전차선 피뢰기를 활용하여 접촉식신호결합기를 제작하고 이를 전차선에 취부하여 PLC 통신을 시험하기 위함이다.

1) 전기철도 PLC 통신의 개념



○ 전력선통신을 기반으로 전차선과 판토그라프의 접촉을 통하여 이동하는 전기차량에 실시간으로 Data를 전송하여 다양한 응용 업무를 수행 할 수 있다.

다. 시험 범위

구 분	내 용
접촉식 신호결합기 활선 시험	• 전차선용 피뢰기를 활용한 접촉식신호결합기 42KV 안전성 시험(시험기관)
	• 접촉식신호결합기 활선(25KV) 시험 • 거리별 Data 전송률 시험
전차선->전기차량 Data 전송 시험	• 단위 구간 내에서 전차선의 신호결합기와 전기차량의 판토그라프를 경유한 Data 전송 시험
	• 전기차량의 이동시 PLC 통신 특성 시험

라. 시험 목표

구 분	내 용	목 표
접촉식 신호결합기 활선 시험	• 전차선용 피뢰기를 활용한 접촉식신호결합기 42KV 안전성 시험(시험기관)	• 42KV이상의 절연내력 • 1Mbps 이상의 Data 전송
	• 접촉식신호결합기 활선(25KV) 시험 • 거리별 Data 전송률 시험	• 전철주 경간(50m) 간 접촉식신호결합기 통신 • 활선상태에서 PLC Data 전송율 시험
전차선->전기차량 Data 전송 시험	• 단위 구간 내에서 전차선의 신호결합기와 전기차량의 판토그라프를 경유한 Data 전송 시험	• 판토그라프를 경유하는 전기차량 PLC 통신 • 지상 시스템(전차선)과 전기차량 간의 Data 전송
	• 전기차량의 이동시 PLC 통신 특성 시험	• 이동하는 전기차량에 PLC Data 전송

마. 시험 역할

구 분	항 목	역 할
주관연구기관 (한국철도대학)	시험준비	• 전차선용 피뢰기 특성 분석 • 피뢰기 현황조사 및 구입 • Cut Off Switch 현황조사 및 구입
	활선시험	• 측정Data 특성 분석
공동연구기관 (지에스솔루션)	시험준비	• 전차선 피뢰기를 활용한 접촉식신호결합기 제작 • 접촉식신호결합기 Data 비 활선구간 전송시험 • 절연 안전성 시험 • 접촉식신호결합기 Bracket 및 COS Bracket 제작
	활선시험	• 신호결합기 전차선 및 전기차량에 취부 • Data 전송 측정
위탁연구기관 (코레일 연구원)	시험준비	• 전차선 피뢰기 안전성 검토 • Cut Off Switch 안전성 검토 • 활선 시험 구간 검토 • 활선 시험 차량 검토
	활선시험	• 활선시험 구간 제공 • 시험용 전기차량 제공 • 시험과정 안전 관리
위탁연구기관 (솔텍시스템)	시험준비	• NMS 프로그램 구축 • MMI 프로그램 구축
	활선시험	• Data 전송 특성 분석

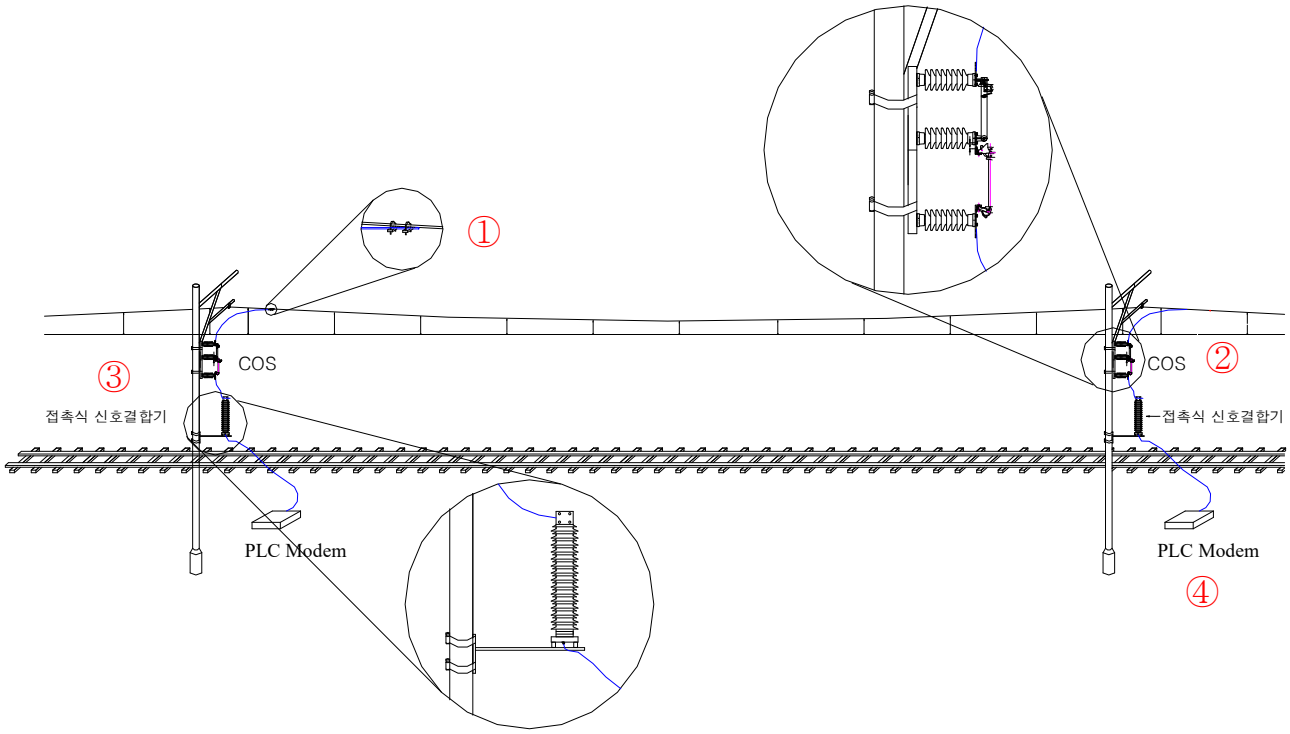
3. 시험 방법

가. 시험 구성

1) 지상 장치

이동하는 전기 차량과 Data전송을 위하여 조간선에 클램프 방식으로 신호결합기를간접결합하고, 전철주에 브라켓으로 고정한다.

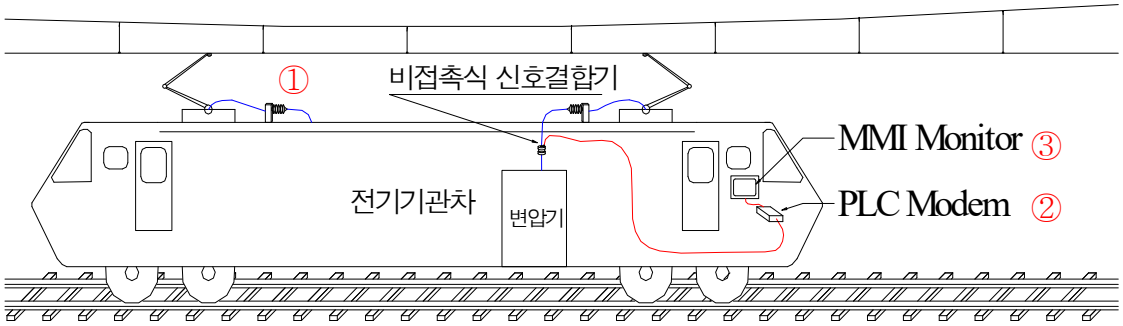
전기적 안전을 고려하여 조가선과 신호결합기 사이에 Cut off Switch를 설치한다



No	장 치 명	기 능
①	접촉식 신호결합기	PLC Data 전송 to. 전차선
②	Cut off Switch	안전차단장치
③	Cable 접속 클램프	전차선(조가선) + 연장선 클램핑
④	PLC Modem	Data Modulator

2) 차상 장치

판토그라프와 MCB사이에 비접촉식 신호결합기를 커플링 방식으로 설치한다

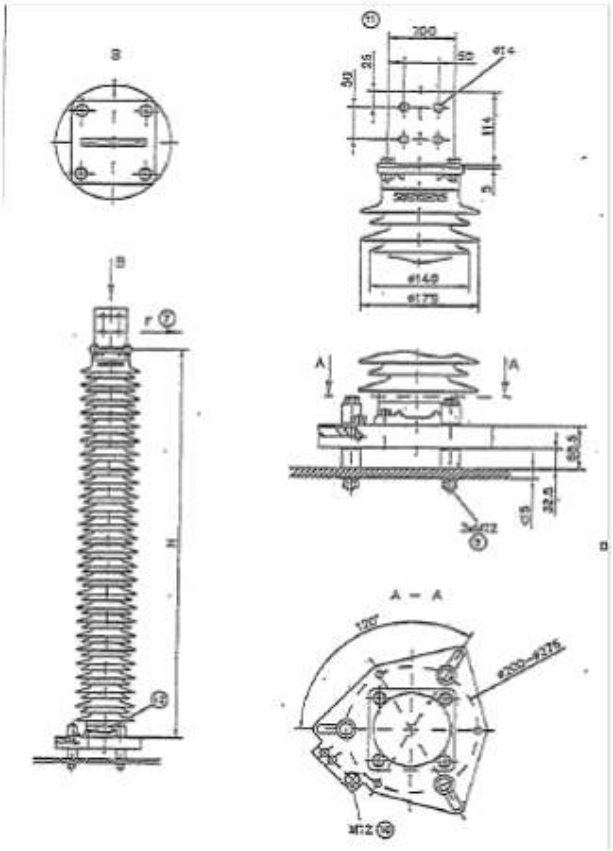


No	장 치 명	기 능
①	비접촉식 신호결합기	PLC Data 전송 to. 전차선
②	PLC Modem	Data Modulator
③	MMI Monitor	영상 및 Data Display

나. 시험 구성품

1) 접촉식 신호결합기

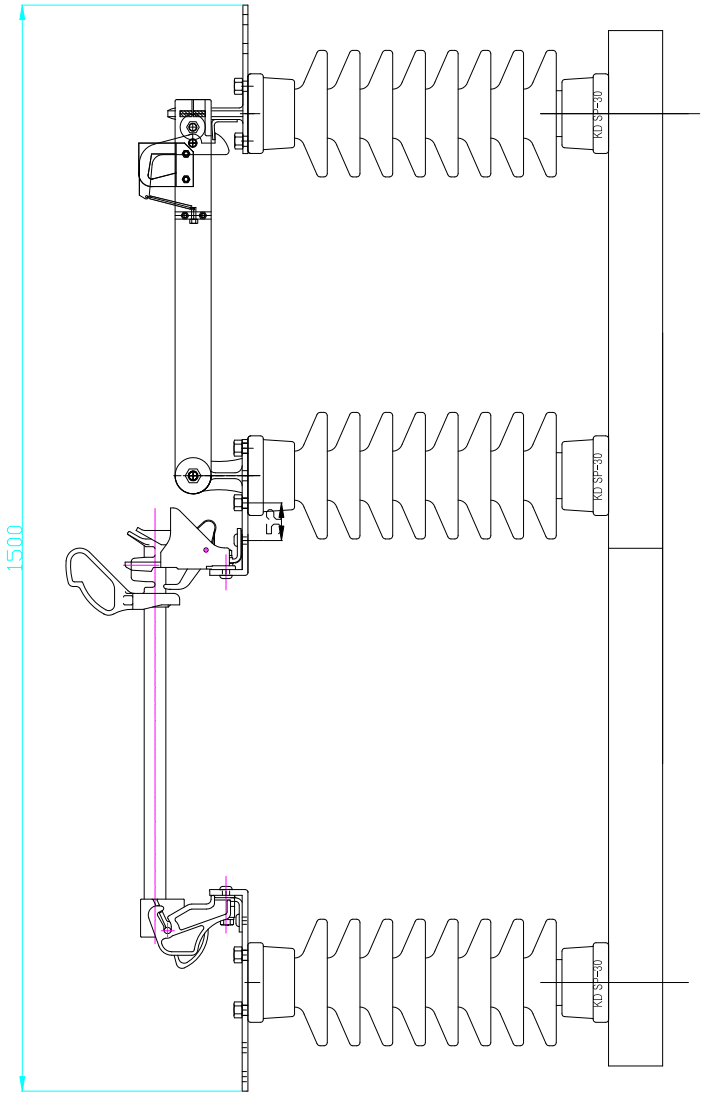
No	구 분	사 양
가	정격전압	42kv
나	연속운전전압	34kv
다	정격주파수	60Hz
라	공칭방전전류	10kA
마	선로방전등급	3 class(IEC60099-4)
바	단락회로특성	65kA
사	표면누설거리	2390mm
아	절연재료 및 색상	Grey Sillicon
자	방전계수기 (누설전류계 포함)	



H	705mm
G	22kg
N	
D	
I	

2) COS Switch

No	구 분	사 양
가	정격전압	25kv



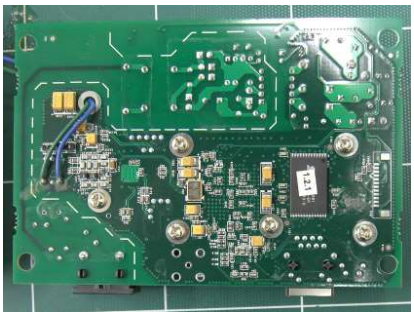
3) Cable 접속 클램프

`



4) PLC Modem

장비명		세부사양
Main Chipset		DSS9002 x 1EA
Analog Front End		DSS7700 x 1EA
Port	MV Coupling	BNC x 1EA
	Ethernet connector	RJ-45 x 2 Port
	Power connector	220/100VAC
	Console	D-SUB9 x 1EA
	Loop control	D-SUB9 x 1EA
LED	Power LED	1EA
	PLC Connect	1EA
	Ethernet Connect	2EA
Power Switch		1EA





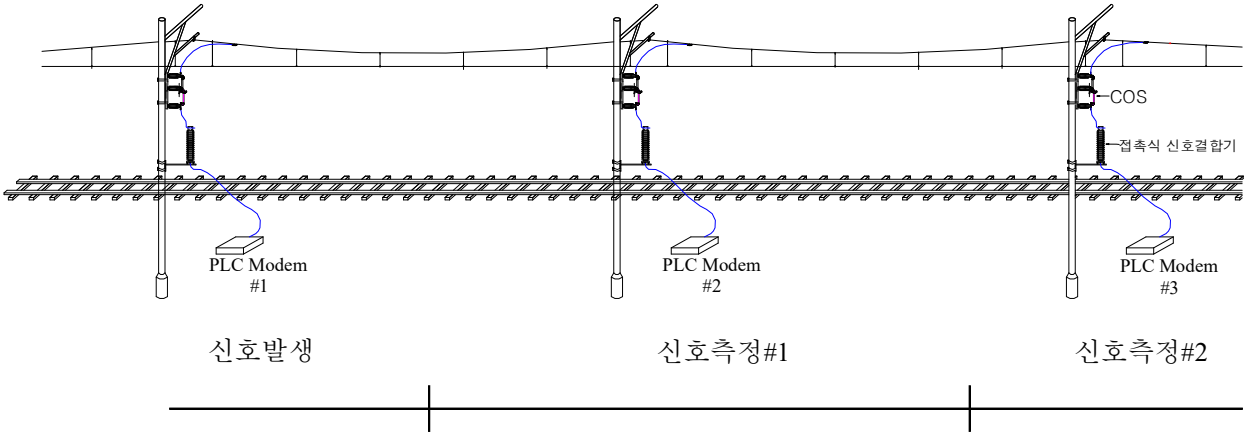
5) 접촉식 신호결합기

구분	세부사양	
Coupling	Phase-to-phase/	
Insulation Voltage	25kV	
Frequency Range	2MHz ~ 30MHz	
Insertion Loss	4dB 이하	
Maximal Current	800A	
Dimensions	ID58xOD105xH105mm 1.9kg	

4. 시험 절차

가. 접촉식 신호결합기 Data 전송

1) 시험 조건



- 차량기지내 3개의 전철주를 기준으로 COS 및 접촉식신호결합기를 설치한다
- 신호결합기 외측에 PLC Modem을 설치한다.
- Modem#1 측에 신호발생기를 설치하고 Modem#2 ~ #3에서 Data 수신율을 측정한다.

2) 시험 목표

- 전철주 경간(50m) Data 전송율 및 감세율을 측정한다

3) 시험 장소

- 의왕역 상남부인상선
- 첨부 도면 참조

4) 시험 주관 및 입회

가) 총괄책임자 : 한국철도대학 산학협력단 김 재문 교수

나) 시험감독자(안전책임자) : 코레일연구원 이병곤 차장

다) 시험자 :

장비설치 : 지에스솔루션 곽 영규(주관), 장 용호

동국전력개발 안태산 차장외 전철전공 7인 보통인부3인

Data 측정 : 지에스솔루션 곽 영규

솔텍시스템 문 병선

라) 현장지원 : 코레일 수원전기사무소 :

마) 중장비지원 : 동국전력개발

5) 업무분장

가) 총괄책임자

- 시험 총괄 관리

나) 시험감독자(안전책임자) :

- 시험 통제
- 안전관리

다) 시험담당

- 시험 장치 설치
- PLC Data 측정

라) 수원전기사무소

- 전원 차단 및 투입
- 전기 안전관리

6) 시험 준비물품

가) 설치를 위한 설비

순번	장비명	사양	수량
1	사다리차	전차선 작업용	1
2	안전밸트	고소작업용	10
3	안전핼멧		10
4	작업이마등		10
5	조가선 연결용 브라켓		3
6	연장용 조가선		10
7	작업공구류		1
8			
9			

나) 시험을 위한 장비

순번	장비명	사양	수량
1	접촉식신호결합기(피뢰기)	25KV용(정격42KV)	3
2	FDS(현장단로기 및 퓨즈)	25KV용(정격42KV)	3
2	모뎀	다목적용 PLC	2
3	CCTV Camera	NTSC형	1
		TCP-IP형	1
4	Note-Book	Win XP	1
5	HUB	8Port 10/100bps	2
6	Server	NMS용	1
7	MMI		1
8	NMS		1
9	발전기	2KW급	1
10	자동차용 Battery	12V -> AC220V	1
11	시험용 Table		3

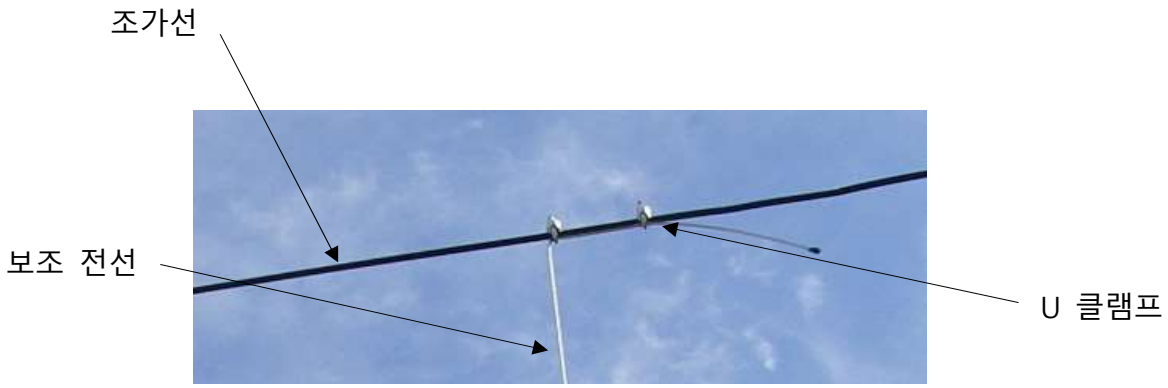
7) 시험절차

순번	작업(업무)	소속	담당
1	시험장소 안내	수원전기사업소	전 우경
2	설치 장비 이동	지에스솔루션 동국전력개발	곽 영규 안 태산
2	전력차단 (단전)	수원전기사무소	
3	단전 유무 확인	시험감독자	이 병곤
4	전차선(조가선)에 보조(시험용) 전선 결합	동국전력개발	안 태산
5	FDS용 Bracket을 전철주에 설치	동국전력개발	안 태산
6	FDS용 Bracket에 FDS 조립	동국전력개발	안 태산
7	보조(시험용) 전선을 FDS 전단에 결합	동국전력개발	안 태산
8	신호결합기용 Bracket을 전철주에 설치	동국전력개발	안 태산
9	신호결합기용 Bracket에 신호결합기 조립	동국전력개발	안 태산
10	FDS 후단의 전선을 신호결합기 전단에 결합	동국전력개발	안 태산

11	신호결합기(피뢰기) Housing -> 접지(전철주)간 전압측정 (주의 : 전압이 수100V 이상일 경우 정밀 검토 진행)	지에스솔루션	곽 영규
12	신호결합기(피뢰기) Signal -> 접지(전철주)간 전압측정 (주의 : 전압이 수100V 이상일 경우 정밀 검토 진행)	지에스솔루션	곽 영규
13	신호결합기 하부 PLC Data용 동축 Cable 결선	지에스솔루션	곽 영규
14	동축 Cable의 Shield 부분을 전철주(접지)에 결선	지에스솔루션	곽 영규
15	신호결합기 동축 Cable을 모뎀에 결선 (주의 : 절연장갑 착용)	지에스솔루션	곽 영규
16	CCTV Camera 설치 및 UTP Cable 결선	지에스솔루션	곽 영규
17	Note-Book 및 MMI/NMS 설치 및 결선	솔텍시스템	문 병선

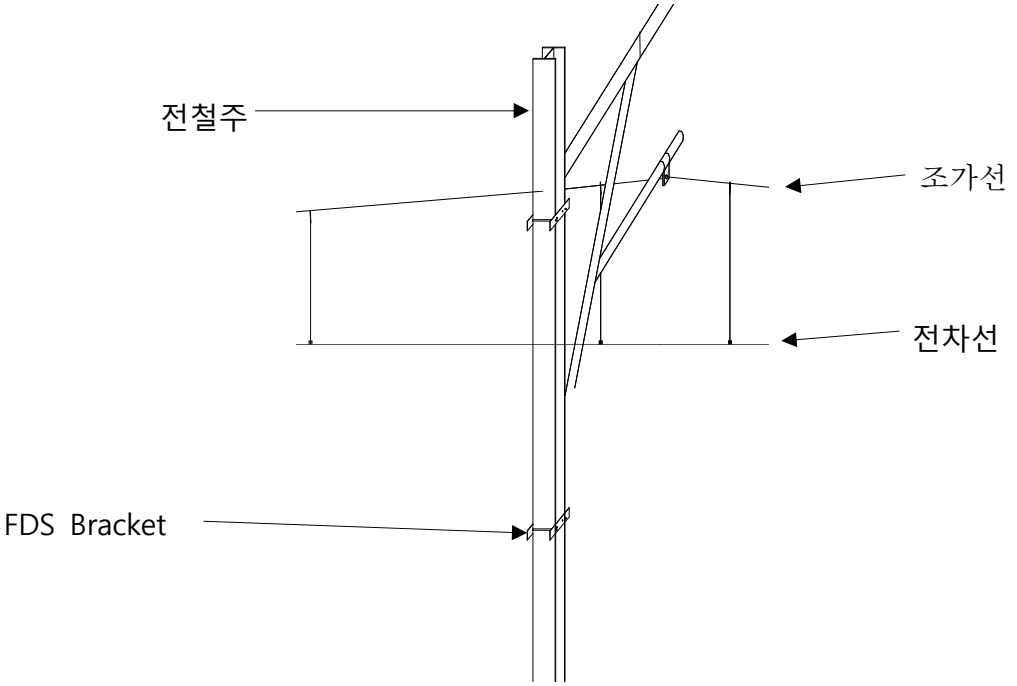
8) 전차선(조가선) 보조(시험용) 전선 결합 :시험절차 4

○ U 크램프 2개(1조)를 이용하여 조가선과 보조 전선을 결선한다

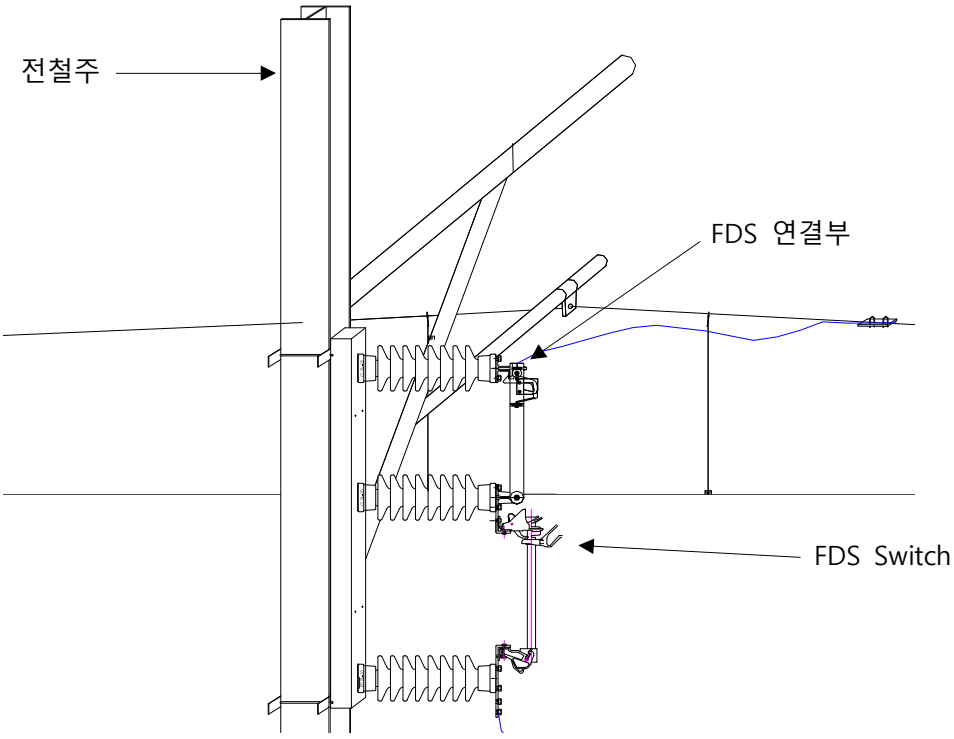


9) FDS 설치 : 시험절차 5

○ 별도 제작된 Bracket을 이용 전철주에 고정 한다.

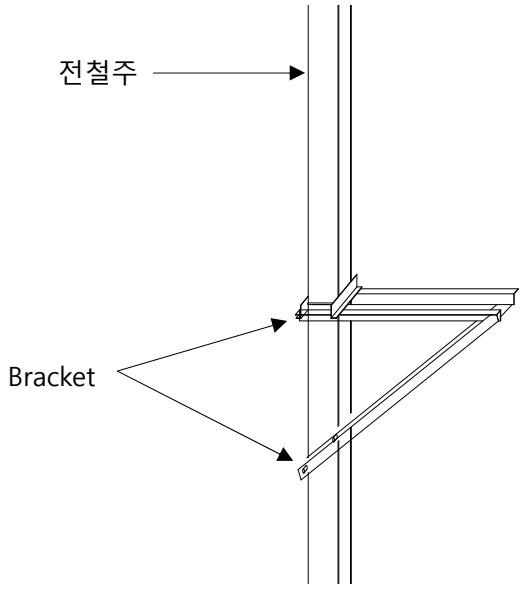


○ Bracket에 FDS를 고정 한다.

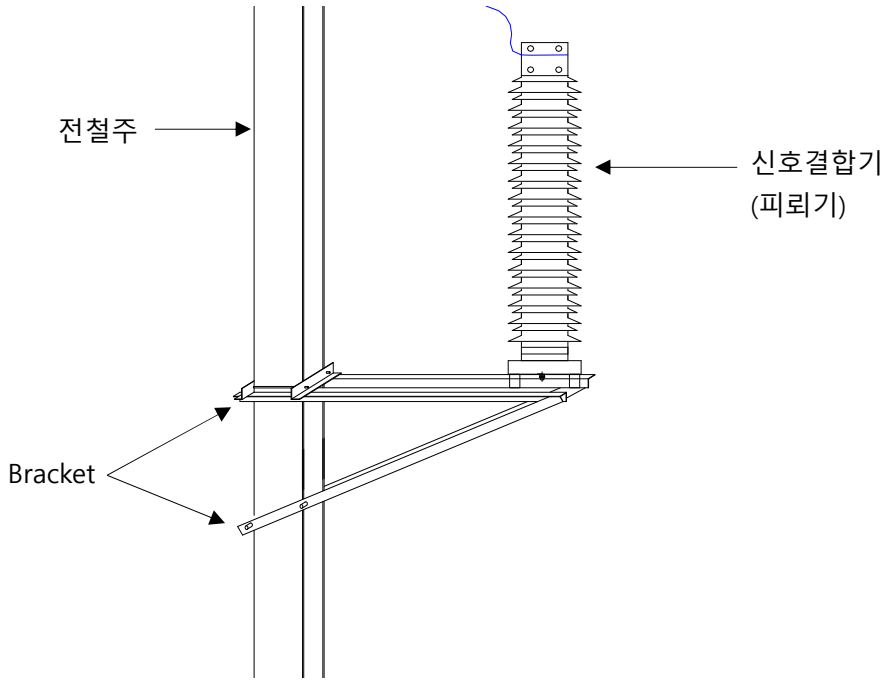


10) 접촉식신호결합기 설치

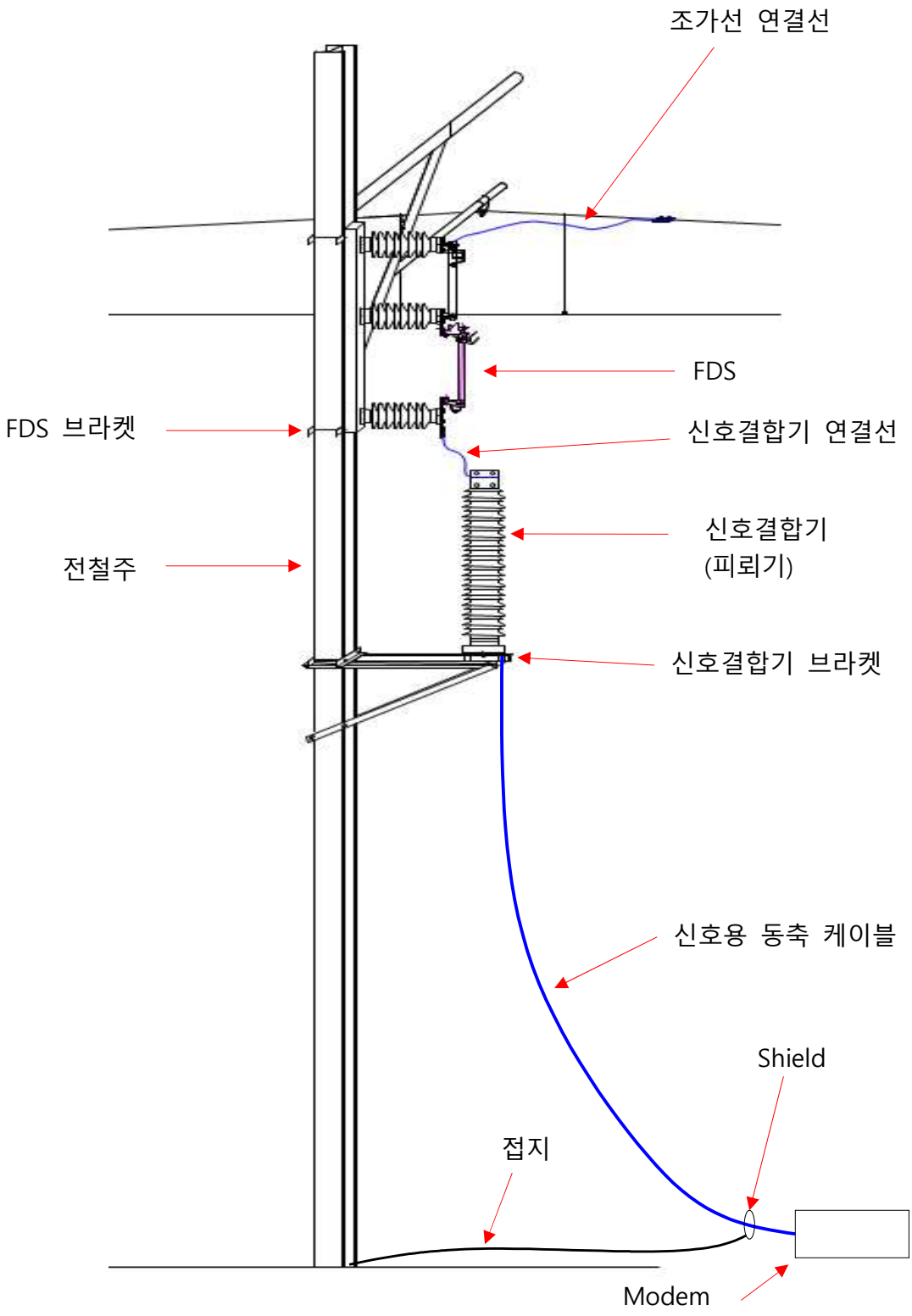
○ 별도 제작된 Bracket을 이용 전철주에 고정 한다.



○ Bracket에 신호결합기를 고정 한다.

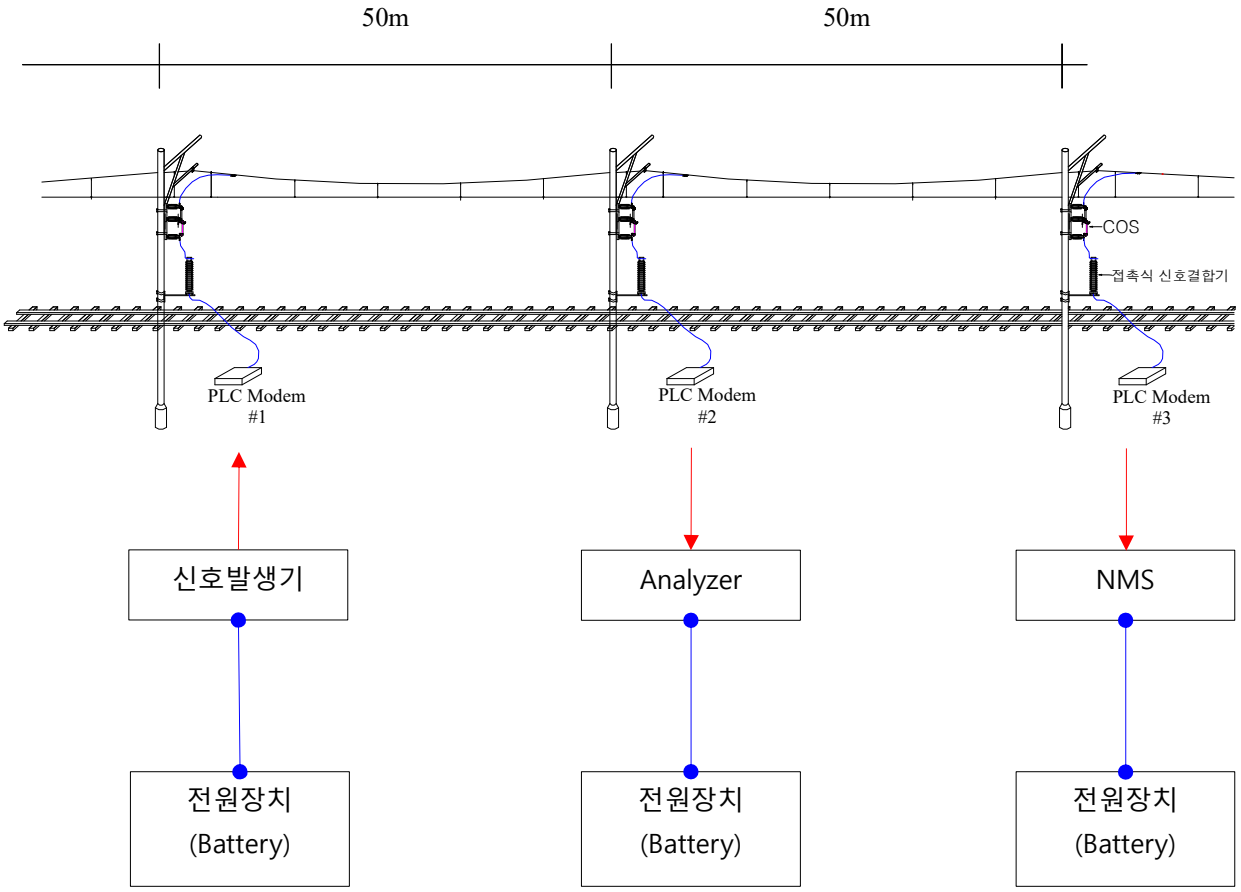


11) 활선시험을 위한 설치도



12) Data 전송특성 시험치

- Modem#1 측에 신호발생기를 취부하고
- Modem#2 측에 Data Analyzer를 통하여 Data 특성 및 손실을 측정한다.
- Modem#3 측에 NMS을 설치하여 통신상태를 모니터링 한다



13) Data 측정 Sheet

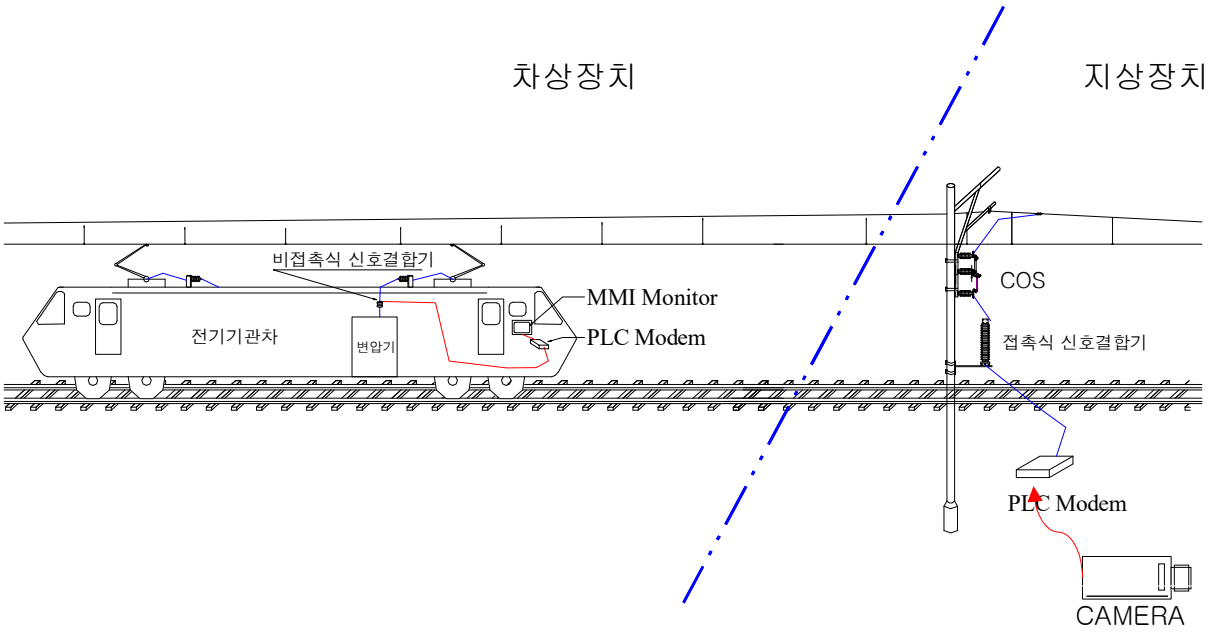
시 험 기 록 일 지

시험일자	2011년 09월 00일	00시:00 ~ 00:00	맑음 (32℃)
시험계정	**접촉식 신호결합기 Data 전송 시험**		
시험목적	- 전철주 경간(50m) Data 전송율 및 감세율을 측정한다 - 전차선(조가선)의 가압 조건하에 PLC 통신 시험		
시험장소	경기도 의왕 : 차량기지 3번선		
시험장비	주 장비	신호결합기(3Set), Modulator(3Set),Notebook(1대), Data Analyzer, 신호발생기	
	보조장비	Battery(12V 3대), Inverter(3대), 카트(3대), 종합공구(1식)	
시험참여	김재문, 이병곤, 장용호, 곽영규, 박병훈, 문병선, 박광재		
시험지원	OO전기사업소 : OOO		

시험내용 (TEST ITEM)	**시험결과** (RESULTS)	**비고** (REMARKS)
1. 25kv시험선로 50m 간격으로 설치된 신호결합기간 PLC 통신 신호 전달 상태 시험	통신부절	동축케이블 및 Computing 환경 미흡
▶ 10Mhz 전송시	OOOHz	OOO bps
▶ 15Mhz 전송시		
▶ 20Mhz 전송시		
▶ 25Mhz 전송시		
▶ 30Mhz 전송시		
▶ 35Mhz 전송시		
2. 25kv시험선로 50m 간격으로 설치된 신호결합기간 PLC 통신 Data전달 상태 시험	통신부절	동축케이블 및 Computing 환경 미흡
▶ 1Mbps 전송시		
▶ 10 Mbps 전송시		
▶ 20 Mbps 전송시		
▶ 50 Mbps 전송시		
▶ 80 Mbps 전송시		
▶ 100 Mbps 전송시		
기타사항 : 3회이상 반복 시험 예정		
시험기록자 : 장용호	시험책임자 : 김재문	

나. 전차선->전기차량 Data 전송 시험

1) 시험 조건



- ○ 차량기지내 3개의 전철주를 기준으로 FDS 및 접촉식신호결합기를 설치한다
- ○ 신호결합기 외측에 PLC Modem을 설치한다.
- ○ 전기기관차 MCB와 변압기 사이에 비 접촉식 신호결합기를 설치 한다.
- ○ 전기기관차 내에 PLC Modem 및 MMI Monitor를 설치 한다.

2) 시험 목표

- ○ 지상장치와 차상장치간의 Data 전송을 시험한다.
- ○ 지상장치와 차상장치간의 Data 전송 특성을 측정한다.

3) 시험 장소

- ○ 의왕역 상남부인상선
- ○ 첨부 도면 참조
- ○ 전기기관차 NEL8200호대

4) 시험 주관 및 입회

가) 총괄책임자 : 한국철도대학 산학협력단 김 재문 교수

나) 시험감독자(안전책임자) : 코레일연구원 이병곤 차장

다) 시험자 :

장비설치 : 지에스솔루션 곽 영규(주관), 장 용호

동국전력개발 안태산 차장외 전철전공 7인 보통인부3인

Data 측정 : 지에스솔루션 곽 영규

솔텍시스템 문 병선

라) 현장지원 : 코레일 수원전기사무소 :

마) 중장비지원 : 동국전력개발

5) 업무분장

가) 총괄책임자

- 시험 총괄 관리

나) 시험감독자(안전책임자) :

- 시험 통제
- 안전관리

다) 시험담당

- 시험 장치 설치
- PLC Data 측정

라) 수원전기사무소

- 전원 차단 및 투입
- 전기 안전관리

6) 시험절차

- ○ “3.1” 과 같이 접촉식신호결합기를 설치 한다.
- ○ PLC Modem#1에 CCTV Camera를 설치 한다.
- ○ PLC Modem#2에 Data Analyzer를 설치 한다.
- ○ PLC Modem#3에 NMS를 설치 한다.
- ○ 전기기관차의 변압기 앞단에 비 접촉식신호결합기를 설치 한다
- ○ “1.2.1” 과 같이 Modem 및 MMI를 설치 한다.
- ○ 전기관차의 판토그라프를 올린상태에서 MMI 모니터에 CCTV 영상이 전송되는지 시험한다.
- ○ 전기기관차를 지상장치가 설치된 구역으로 이동한다.
- ○ 전기기관차가 이동하는 동안 CCTV 연상의 변화를 관찰한다.

- 전기기관차가 이동하는 동안 신호결합기의 Data특성을 Analyzer를 통하여 관찰 한다.
- 전기기관차가 이동하는 동안 NMD를 통하여 Data 전송률의 변화를 관찰 한다.

7) 시험기록일지

시 험 기 록 일 지

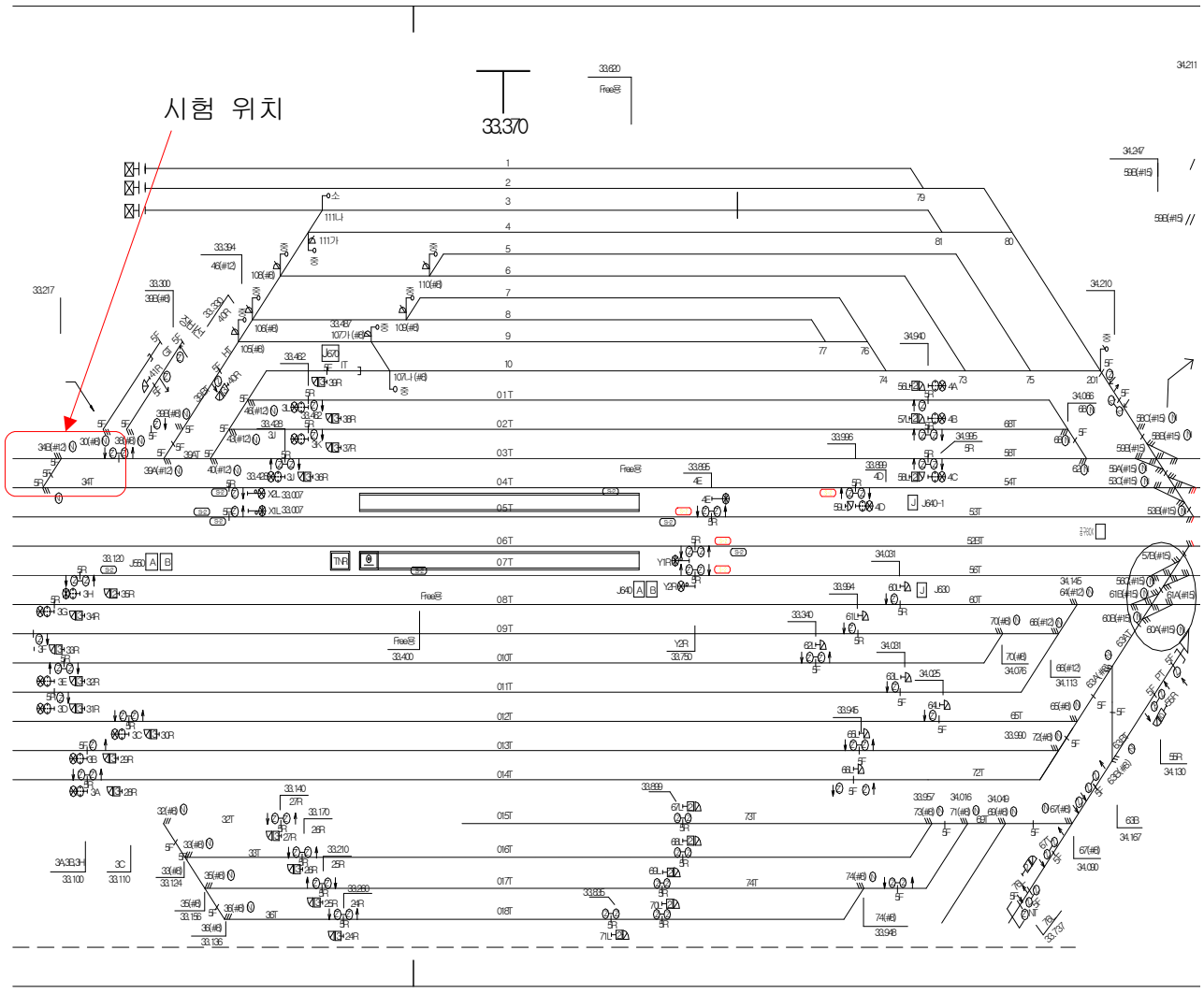
시험일자	2011년 09월 00일	00시:00 ~ 00:00	맑음 (32℃)
시험계정	**전차선->전기차량 Data 전송 시험**		
시험목적	지상장치와 차상장치간의 Data 전송을 시험한다. 지상장치와 차상장치간의 Data 전송 특성을 측정한다.		
시험장소	경기도 의왕 : 차량기지 3번선		
시험장비	주 장비	신호결합기(3Set), Modulator(3Set),Notebook(1대), Data Analyzer, 신호발생기	
	보조장비	Battery(12V 3대), Inverter(3대), 카트(3대), 종합공구(1식)	
시험참여	김재문, 이병곤, 장용호, 곽영규, 박병훈, 문병선, 박광재		
시험지원	OO전기사업소 : OOO		

시험내용 (TEST ITEM)	**시험결과** (RESULTS)	**비고** (REMARKS)
1. 25kv시험선로 50m 간격으로 설치된 신호결합기간 PLC 통신 신호 전달 상태 시험	통신부절	동축케이블 및 Computing 환경 미흡
▶ 10Mhz 전송시	OOOHz	OOO bps
▶ 15Mhz 전송시		
▶ 20Mhz 전송시		
▶ 25Mhz 전송시		
▶ 30Mhz 전송시		
▶ 35Mhz 전송시		
기타사항 : 3회이상 반복 시험 예정		
기험기록자 : 장용호	시험책임자 : 김재문	

■ 측정장소

다양한 열차 운영환경 및 접근성을 고려하여 경부선(의왕역)에서 실시한다.

영업본선에 영향을 최소화 할 수 있는 측선(상남부인상선)을 활용한다.



제2절 접촉식 신호결합기

1. 개 요

가. 기술의 개요

접촉식 신호결합기 기술은 전력선통신(PLC, Power Line Communication)부품으로서 전력선 통신을 실현하기 위하여는 여러 종류의 부품(장치)들이 있으나, 그중 핵심부품인 PLC 접촉식 커플러에 한한다.

접촉식 신호결합기 핵심부품의 설계, 제조기술뿐만 아니라 기반이 되는 원천소재인 특고압 유전소재의 개발과 이러한 소재를 적용한 특고압 유전체 세라믹 캐패시터 설계 및 제조, 또한 제품을 이루는 Drain coil설계 및 제조 등은 앞으로 통신혁명을 이룰 수 있는 전력선 통신망에 필수적인 요소로서 제품을 이루는 원천 소재부터 이를 제품화하기까지의 모든 기술이 포함된다.

전력선통신용(PLC) 신호결합 Coupler는 전력선 상의 1차측 통신신호 만을 받아들여 신호감쇄를 피하기 위하여 Loss Component (변압기 등)를 우회 (By-Pass), 2차측에 신호를 결합시키거나 2차측의 통신신호를 1차측에 주입시키기 위한 용도로 사용되는 전력선통신용 핵심부품이다.

2. 접촉식 커플러의 구조

고압 배전선용 신호결합회로로서 그림 4-2-1과 같이 신호결합장치는 크게 커플링 커패시터부와 드레인 코일부로 구성되어진다.

커플링 커패시터부는 전력선 연결부와 전력선 통신신호의 커플링을 담당하며, 고주파 통신신호는 커패시터에서 감쇄 없이 통과되며, 고주파 신호에 대해 낮은 임피던스를 가지는 트랜스포머 방향으로 전달되게 된다. 커패시터는 하우징 내에 삽입시 진공 몰딩공정에서 철저한 품질관리가 필요하다. 약간의 공기층에 의해서도 실제 내압이 인가된 상황에서는 발전성 결함이 발생하여 일정시간 경과 후 신호결합장치 자체가 파괴되는 경우가 있기 때문이다.

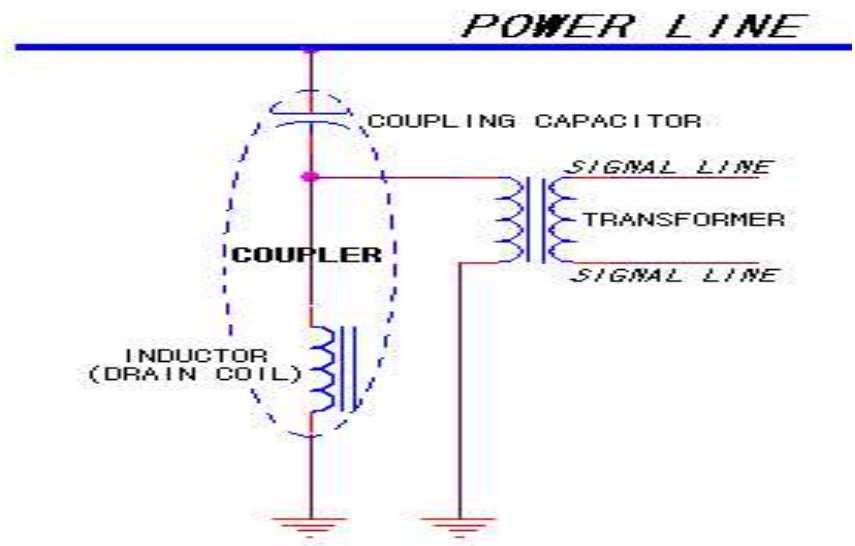
방류 코일부는 전력신호를 저주파신호(100kHz이하) 및 절연 파괴 시 유입될 수 있는 전력주파수(50~60Hz)를 방류 코일을 통해 접지로 흐르게 하는 역할을 한다. 방류 코일은 접지선과 연결되어 있으며 저주파 전기신호(60Hz)에 대하여 낮은 임피던스를 가진다. 따라서 커패시터와 드레인 코일의 전압 배분 시 인가된 전압은 주로 커패시터에 걸리게 된다. 이것은 결합 회로를 구성하는 보호 회로와 임피던스 정합 트랜스포머 및 전력선 네트워크 장치에 대한 최초의 보호 장치가 된다. 보호 원리는 커패시터의 절연 파괴 시 저

주파 전기 신호에 대하여 낮은 임피던스를 가지는 방류코일 방향으로 전기신호가 흐르게 되어 안전성을 유지하는 방식이다.

임피던스 매칭부는 2차측 모뎀에서 출력되는 신호의 연결선과 커플링 커패시터부와의 부정합 손실을 줄이기 위한 부분이다. 고압배전선로와의 임피던스 부정합에 의한 반사손실은 커플링 커패시터의 신호투과특성이 양호하여도 절대적인 신호주입양이 적어지는 문제를 야기한다. 따라서 임피던스 매칭부의 성능은 고압 배전선로 전력선 통신망의 신호전송거리와 통신 속도에 직접적인 영향을 준다.

접지부는 통과된 신호에 대하여 접지로 연결시켜주고, 통신신호 연결부는 전력선 통신신호를 다음 트랜스포머로 연결시켜주는 역할을 한다.

그림 4-2-1의 개요도에서 보이는 바와 같이 커플링 커패시터를 통하여 필터링되는 고주파 통신신호는 트랜스포머로 전달되며, 저주파(~100kHz)신호 및 절연파괴시 유입될 수 있는 전력 주파수(50~60Hz)는 드레인 코일을 통하여 접지로 흐르게 된다.



[그림 4-2-1] 신호결합장치 회로도

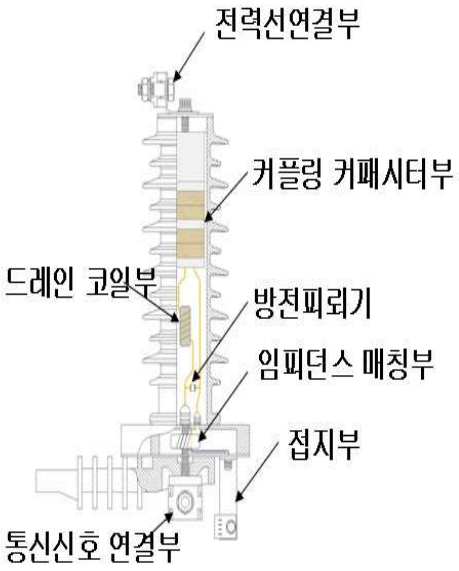
고압 고주파 신호결합장치의 내부구조는 그림 4-2-2에서 보는 바와 같이 전력선 연결부위인 전력입력부와 통신신호대역의 커플링을 담당하는 커패시터부, 전력신호를 포함한 저주파대역을 통과시키는 드레인 코일부, 통과된 신호에 대하여 접지로 연결시켜주는 저주파 접지부, 선별된 통신신호를 다음 트랜스포머로 연결시켜주는 통신신호 연결부로 구성되어진다. 설계시 외부 신호 연결단자의 구조와 내부 연결선의 재질 및 특성 등이 주요 고려대상이 된다.

또한 드레인 코일은 폴리머 애자형태의 외함에 삽입된다. 이것은 신호결합시스템의 설치의 간편성과 전력선 통신망의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 방안으로 고주파 신호결합장치의 중요한 핵심 부품이다.

커플러의 하우징 재질은 그림 4-2-3에서 보는 바와 같이 폴리머로 되어 있다. 하우징의 재질은 특성 및 상태에 따라 변경도 가능하다. 하우징 표면은 연면방전을 감안한 주름을 주어 안전거리를 확보한 형태로 채택된다. 이 방법은 그동안의 여러 전력용 부품의 외장에 채택된 방법이다.

드레인 코일은 접지선과 연결되어 저주파 전기신호(~60㎐)에 대하여 낮은 임피던스를 가진다. 따라서 커패시터와 드레인 코일의 전압 배분은 주로 커패시터에 걸리게 된다. 이것은 결합 회로를 구성하는 보호 회로와 임피던스 매칭장치 및 전력선 네트워크장치에 대한 가장 기본적인 보안장치이다. 또한 커패시터의 절연 파괴 시에 저주파 전기 신호에 대하여 낮은 임피던스를 가지는 드레인 코일방향으로 전기 신호가 흐르게 되어 안정성을 유지한다.

그리고 고주파 통신신호는 커패시터에서 감쇠 없이 통과되며 낮은 임피던스를 가지는 트랜스포머 방향으로 전달되게 된다. 커패시터의 형태는 기존의 저주파용으로 많이 사용되는 필름 커패시터로는 고주파용으로 사용할 수 없으며 세라믹 재질을 이용한 고주파용 커플링 커패시터를 사용한다. 또한 기존의 라인 어레스터와의 외형상의 분간과 결연 내력의 신뢰성을 위하여 그림 4-2-3과 같이 폴리머 하우징 형태로 제작된다.



[그림 4-2-2] 신호결합 내부 구조



[그림 4-2-3] 신호결합장치 외형

3. 신호결합장치 특성

가. 신호결합장치 사양

커플링 커패시터는 전력선 모뎀의 신호를 고압 배전선에 전달하기 위한 것으로 중요한 개발 사양은 내전압 특성과 신호전송을 위한 광대역 특성을 만족해야 한다. 고압 신호결합장치의 주요특성은 표 4-2-1과 같다.

[표 4-2-1] 고압 배전선로용 신호결합 장치 사양

No	항 목	특 성
1	주파수 범위(Frequency Range)	-3dB 이내1MHz~30MHz
2	감쇠율(Attenuation Ratio)	-3dB 이내
3	정격전압(Rating Voltage)	22.9kV (3상4선식 고압배전선로용)
4	내전압 특성(단자-단자간) (Testing Voltage, T-T)	10sec at 40000VAC (R.V*2)
5	내전압 특성(단자-케이스간) (Testing Voltage, T-C)	10sec at 40000VAC (R.V*2)
6	드레인 코일(Inductance)	1mH, M급
7	RIV 특성(Radio Influence Voltage)	Below 250㎶ at 1MHz
8	밀폐성(Airtight Char.)	80℃에서 이상 없을 것

나. 커플링 커패시터부

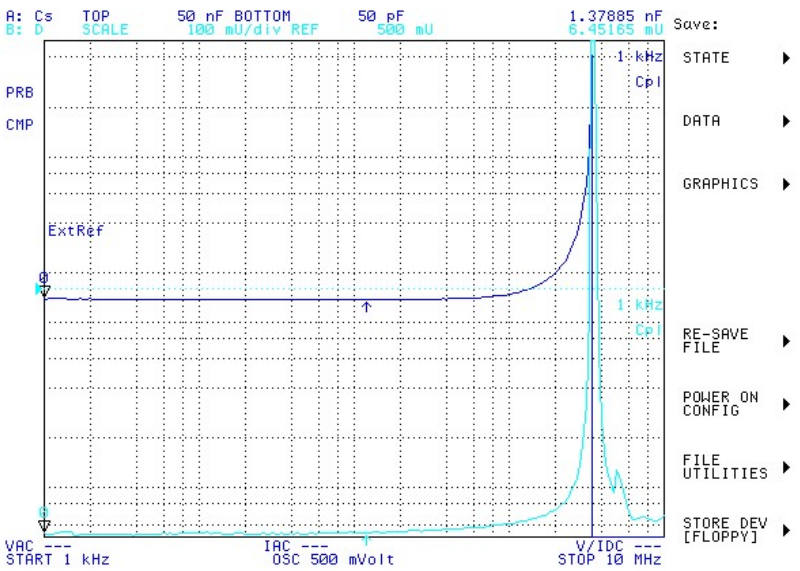
커플링부는 패러데이 법칙과 렌쯔의 법칙에 의한 전자기 유도원리를 이용하여 전력선 통신신호를 가공선로에 전력선 통신 신호를 주입하거나, 가공선로상의 전력선 통신 신호를 추출하는 부분이다. 전력선 통신은 전력선에 흐르는 통신신호를 모뎀으로 최소 손실로 전송시켜야 하는데, 주상변압기를 통과한 음성 및 데이터는 수 MHz이상에서부터 열적손실에 따른 전송신호의 감쇄가 발생하여 신호전송 특성이 현저히 감소하게 된다. 이와 같은 신호 전송 문제는 커플러를 통해 해결하게 되는데 커플러는 고압선에서의 통신을 위해 필요한 통신 신호만을 선별하여 커플링 해주는 역할을 하는 전력선 통신에서의 핵심부품으로 고조파와 같은 노이즈뿐만 아니라 전송하고자 하는 통신신호까지도 변압기를 통해서 전송할 수 없으므로 커플러는 브리지 회로를 고압 주상변압기의 전, 후단이 연결되도록 장착하여 신호전송 특성을 향상시켜주는 역할을 한다.

2~30MHz의 광대역에 적용하기 위해 커플링부의 공진주파수가 30MHz이상에 위치할 수 있도록 설계해야 한다. 이는 자심재료의 공진주파수 이상의 주파수에서는 자심재료의 기능을 상실하여 신호결합장치의 커플링 효과가 급격하게 저하될 수 있다. 또한 고압배전망에는 수백 A의 대전류가 흐르기 때문에 커플러에 적용되는 자심재료는 전류에 의해 포화되어 자기적 특성을 상실하므로 자심재료의 최대자속밀도를 증가시켜야 한다. 즉, 비접촉식 커플러용 자심재료는 30MHz의 고주파와 수백 A의 대전류에서 전력손실이 작고 포화되지 않는 우수한 전자기적 특성을 발휘해야 하고, 이를 위해 포화자화, 투자율 및 비저항 값이 증가되어야 한다. 이러한 특성들은 재료에 따라 서로 상관관계에 있기 때문에 요구되는 사양에 따라 적절한 제어가 필요하다. 또한 포화특성을 만족시키기 위해 자심재료의 크기를 무한정으로 증가시킬 수 없으므로 자심재료의 형상도 따로 정의되어야 한다. 또한 자심재료의 특성이 우수하더라도 30MHz이상까지 신호전송 특성이 안정적으로

유지되지 못하면 신호결합장치의 기능을 제대로 발휘하지 못하며, 전력선에 맞는 임피던스 매칭이 이루어져야 고주파 특성이 안정적으로 유지될 수 있고, 전력선과 신호출력선 간의 결합도의 향상을 이루어야 커플러 크기를 최소화 할 수 있다.

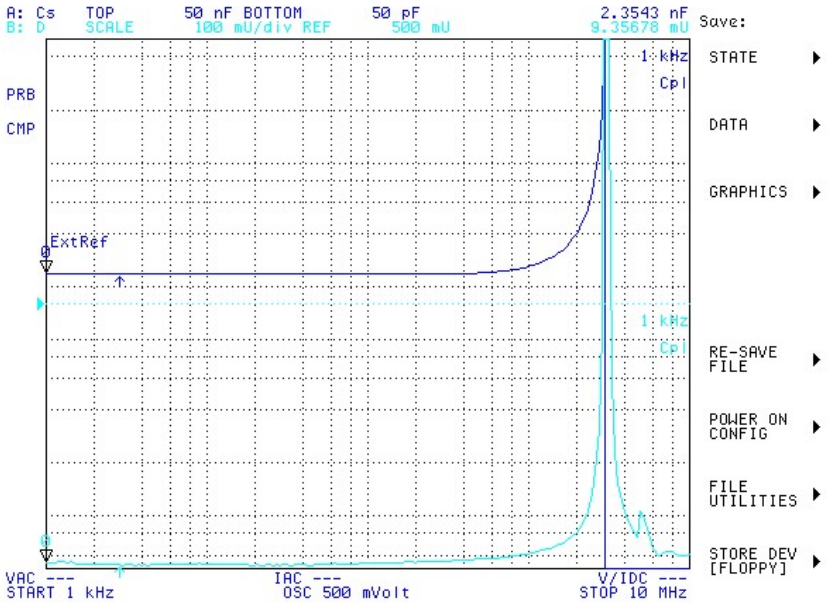
또한 비접촉식 신호결합장치는 자심재료의 절단이 필요한데, 절단면의 상태에 따라 생성되는 Air gap이 변하여 신호전송 특성이 급격히 변하게 되므로 절단면은 최대한 매끄럽게 처리되어야 한다. 이와 같은 우수한 절단면을 갖기 위해서는 절단기술 뿐 아니라, 자심재료의 에폭시 함침조건, 경화제 몰딩조건 등을 고려하여 제작하여야 한다.

커플링 커패시터의 주파수 특성을 임피던스 분석기로 분석한 결과를 그림 4-2-4와 그림 4-2-5에 나타낸다.



[그림 4-2-4] 커패시터 특성

커패시턴스는 1.2nF~3.0nF 정도로 요구되는 신호결합특성과 내전압 특성 등을 고려하여 조정되어진다. 참고적으로 신호결합용 세라믹 커패시터의 경우는 용량값이 상승하면 동일한 감쇄율(-3dB)을 기준 했을 때 고주파와 저주파 대역의 범위가 확대된다.



[그림 4-2-5] 커패시터 특성

이러한 방법을 통하여 현재 저주파 통신대역(100kHz~450kHz)을 포함한 고주파 통신대역까지도 하나의 제품으로 가능하도록 하기 위한 연구가 진행되고 있다. 고압용 고용량 세라믹 콘덴서의 제조와 제조된 콘덴서의 직·병렬 조합기술이 복합되어져야 가능하다.

세라믹 커플러는 고용량화와 고전압화에 한계가 있어 현재까지 개발에 어려움이 많았지만 소체 설계 기술인 세라믹 소체의 직. 병렬 결합기술을 통하여 이러한 부분을 해결 할 수가 있으며, 여러 차례의 실장 테스트를 거쳐 취약부분이 보완 되었다.

전력선을 이용한 고속통신망용 고주파 초고압 유전체 세라믹 캐패시터가 장착되는 배전선로에는 고전압이 상시 인가되어 있으므로 상기한 모든 특성을 갖추고 있더라도 안전에 직결되는 유전체 세라믹 소체의 절연내력 확보는 매우 중요하다. 그러나, 일반적인 유전체 세라믹 소체의 제조방법으로는 소체 내부의 치밀화의 균일한 정도와 부위에 따른 소결 밀도의 편차, 조립 과정의 열 충격에 의한 미세 균열 등의 치명적인 문제를 가지고 있다.

상기의 문제점을 해결하기 위해 요구되는 정전용량의 분할 설계, 소체의 직경과 두께의 비율 설계,최적 치밀화의 균일도를 위한 제조 조건의 설정,조립 과정의 열 충격을 방지

할 수 있는 소체의 결합방법에 대한 기술이 개발되어 졌으며, 전력선을 이용한 고속통신망용 고주파 초고압 유전체 세라믹 캐패시터의 제조공정 불량 중 약 80%이상이 소체의 조립과정 중에 발생되는 열 충격으로 인한 크랙으로 발생되며, 불량인자를 내재한 제품이 내전압 검사에서 통과되어 실장된 경우 안전에 대한 신뢰성을 보장할 수 없기 때문에, 소체의 제조과정을 통해 소결이 완료된 소체의 조립과정 중에 발생되는 열 충격을 방지할 수 있는 소체의 결합재료와 결합방법을 사용한다. 즉 전력선을 이용한 초고압 저주파 세라믹 캐패시터의 제조시 최적 치밀화를 이루고 제반 특성을 만족하는 소체를 직렬 다중결합(고내전압화)과 병렬(고용량화)로 결합시키면서 절연 내력의 향상과 제조공정 중의 크랙 불량인자를 제거하여 실장 사용시 절연 파괴에 따른 안전상의 문제를 해결하고 고용량화를 꾀함으로서 저주파대역의 주파수범위를 감쇄없이 Filtering할 수 있게 되었다.

일체형과 직렬다중 결합형 유전체 세라믹소체의 직경과 두께를 동일하게 각각의 소체를 결합하여 제반특성과 내전압을 측정하여 보면 유전율, 정전용량, 유전손실, 일정 온도범위에서 정전용량의 변화율을 나타내는 온도특성 등은 동등한 수준을 나타내고 있으며 절연저항(I.R.)은 일체형 540,000㏁에서 직렬다중 결합형 710,000㏁으로 향상되었고 내전압 강도는 일체형 38㎸에서 직렬다중결합형 62㎸로 1.5배정도 향상된 결과를 갖고있다. 이론적인 수식에 의하면 두 가지 유전체 세라믹소체의 제조방법에 의해 제조된 후 절연저항 및 내 전압강도는 동등한 수준이어야 한다. 그러나 측정결과가 일체형에 비해 직렬다중 결합형의 절연저항 및 내전압 강도가 향상된 것은 1개의 유전체 세라믹 소체 내에서 성형밀도 및 소성밀도의 부위별 편차 범위가 일체형에 비해 직렬다중 결합형이 매우 작기 때문이며, 고주파 초고압 유전체 세라믹 캐패시터는 절연 특성이 매우 우수한 저유전손실, 광역 온도특성을 가진 고유전율의 조성 원료를 사용하는 데 사용 재료가 비가소성인 관계로 원활한 성형을 위해서 폴리비닐알코올을(유기 결합재의 일종)균일하게 혼합하여 사용한다.

이러한 방법을 적용하여 40ton이상/㎠의 고압으로 성형하더라도 성형 직경과 두께에 따라 밀도의 편차가 변하게 되고 이러한 밀도의 편차는 소성 후까지 연관되어 결함개소로 작용하게 되므로 밀도의 편차를 최소화할 수 있는 최적 직경과 두께의 비를 설계하여야 한다.

정전용량은 $C = \frac{\epsilon D2}{114t}$ (ε:비유전율, D:전극직경, t:유전체두께)의 수식에 의해 산정되는데 비유전율은 유전소재의 고유상수값이므로 내전압 규격인 약27㎸를 전제로 하여 유전체의 최소 두께를 시험 산정한후 직경을 구할 수 있다.

일체형의 경우는 직경을 고정하게 되면 성형체의 두께만을 가변인자로 할 수 있으므로 배전선로 상의 고압을 고려한 내전압 규격인 27㎸를 전제로 하여 성형체의 두께를 산정하면 적절한 직경과 두께비(D/T Ratio)를 적용한 설계가 되지 않아 많은 결함개소를 내

포한 직경과 두께의 비로 설계하게 된다.반면에 직렬다중 결합형의 경우에는 사용 재료와 성형기, 성형압, 직경을 고정인자로 하고 각각의 소체의 소결밀도 편차범위를 평균치 ±5%로 하여 최적의 직경과 두께비를 반복실험에 의해 구해서 최적 직경과 두께비에 근접하도록 2개 이상으로 소체의 두께를 분할하도록 설계한다. 즉 상기한 일체형에 비해 직렬다중 결합형의 절연저항과 내전압 강도 측정결과가 1.5배 이상 향상된 것은 소체에 내포된 결함 개소를 최소화한 것에서 기인된 것이다.

다. 드레인 코일부

고압 고주파용 드레인 코일은 1㎜H로 하여 제품 내에 삽입되며, 커플링 커패시터 하단부에서 위치한다. 드레인 코일의 인덕턴스는 산출된 값으로 커패시터의 용량에 따라서 그림 4-2-6에서 보는 바와 같이 인덕턴스 값의 변화가 있을 수 있다.

드레인 코일의 인덕턴스를 1㎜H로 하였을 때의 임피던스 특성으로 약 50㎑ 대역에서의 값이 1.2㏀으로 그림 4-2-7의 그래프 상의 대역에서 고주파로 갈수록 임피던스 값이 떨어지는 특성을 보인다.



[그림 4-2-6] 인덕턴스 특성

커플링 캐패시터와 Drain coil을 하나로 모듈화 하여 폴리머 하우징에 삽입하여, 신호결합 시스템의 설치의 간편성과 전력선 통신망의 신뢰도를 향상하고 비용을 절감하게 된다.

Drain coil은 접지선과 연결되어 저주파 전기신호(60㎐)에 대하여 낮은 임피던스를 가진다. 따라서 커패시터와 Drain coil의 전압 배분은 주로 커패시터에 걸리게 된다. 이것은

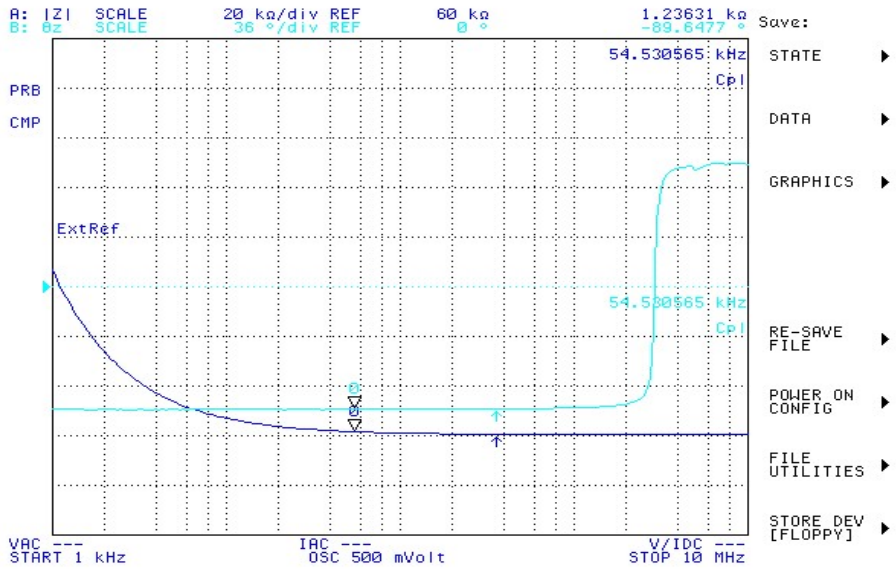
결합회로를 구성하는 보호회로와 전력선 네트워크장치 등에 대한 가장 기본적인 보안장치이다.

또한 캐패시터의 절연 파괴시에 저주파 전기신호에 대하여 낮은 임피던스를 가지는 Drain coil 방향으로 전기신호가 흐르게 되어 안정성을 유지한다.

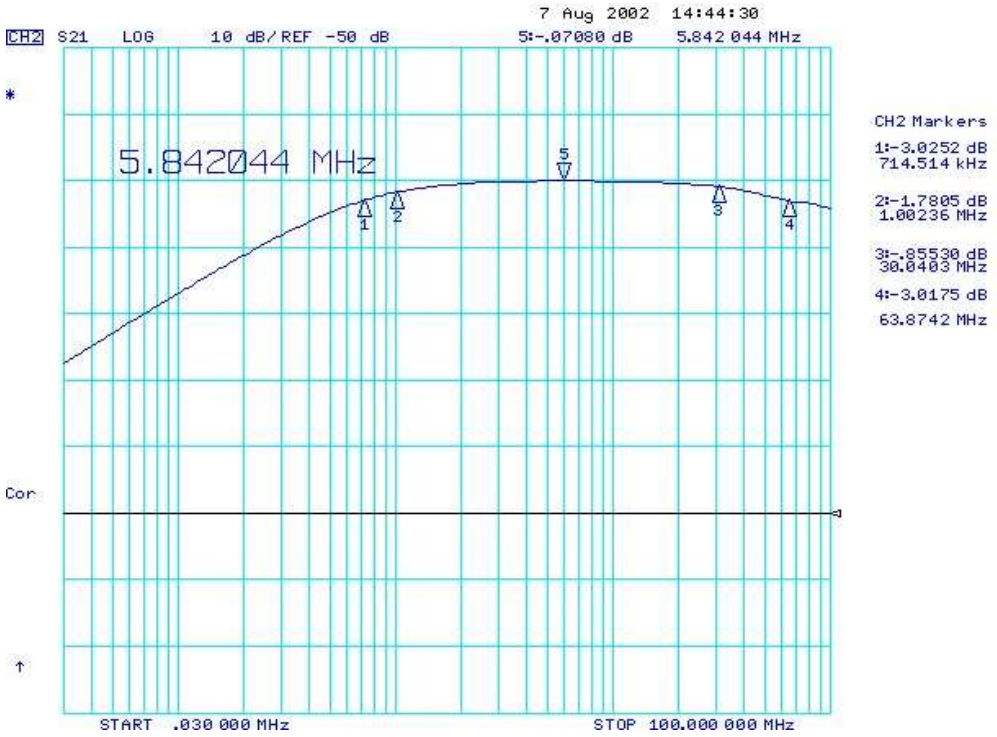
Drain coil은 Ring형 Core에 Urethane-wire를 권선하여 설계 치의Inductance를 만들어내며, 권선된 두가닥의 wire중 안쪽은 커플링 캐패시터 하단 부에 연결하고 나머지 한쪽은 접지로 연결하여 저주파신호에 대하여 접지를 잡는다. Drain coil의 Inductance는 $f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{LC}$에 의하여 산출되며 캐패시터의 용량에 따라 Inductance값의 변화가 있을 수 있다.

라. 커플러 감쇄 특성(S_{21})

고압 고주파 커플링 커패시터의 신호감쇄특성은 그림 4-2-8에서 볼 수 있듯이 통신대역인 1MHz~30MHz에서 -1dB 이내로 통신신호의 감쇄가 거의 없어 통신대역의 통과특성이 매우 우수한 것으로 나난다. 세라믹 커플링 커패시터의 용량값을 약 15nF까지 상향하면 저주파 통신대역인 100kHz~450kHz를 포함하여 고주파대역(~60MHz이상)까지 커플링할 수 있는 광대역 커플러의 특성으로 확대할 수 있다.



[그림 4-2-7] 임피던스 특성



[그림 4-2-8] 커플링 감쇄 특성(S_{21})

마. 내전압 및 밀폐특성, RIV특성

1) 내전압 특성

항목	시험 조건	규격 및 결과	
Terminal-Terminal	10sec at 40kV	외관 및 특성에	양호
Terminal-Case	10set at 40kV	이상 없을것	양호

* T-T 테스트 경우 커플러의 입력부와 접지부에, T-C테스트 경우 입력부와 접지부를 한 라인으로 묶은 것과 하우징(Case)에 각각 40kV를 10초간 인가한 후 이상이 없어야 한다

2) 밀폐 특성

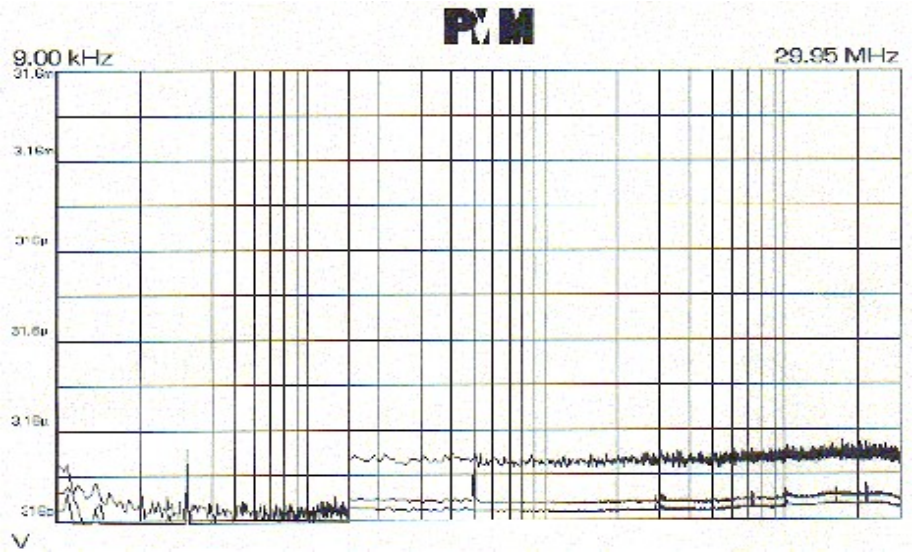
항목	시험 조건	규격 및 결과	
외관	80℃, 2Hr방치	외관에 이상이 없을것	양호

* 고온방치후 누유 및 제품의 변색, 변형, 손상이 없어야 한다.

3) RIV(Radio Influence Voltage) 특성

* 배전선에 부착되는 모든 기기는 RIV시험을 거쳐 기존 AM, FM라디오방송에 영향을 미치지 않도록 해야 한다.

배전선로용 RIV규정은 전압인가 후 1MHz 단일주파수에 대하여 250㎶를 초과하지 않을 것을 기준으로 하며 본 연구에서 시험한 특성측정 결과는 그림 4-2-9와 같다.



[그림 4-2-9] 고압 배전선로용 신호결합장치 RIV시험 결과

4. 세라믹 유전소체 제작 기술

가. 제조방법 및 핵심기술

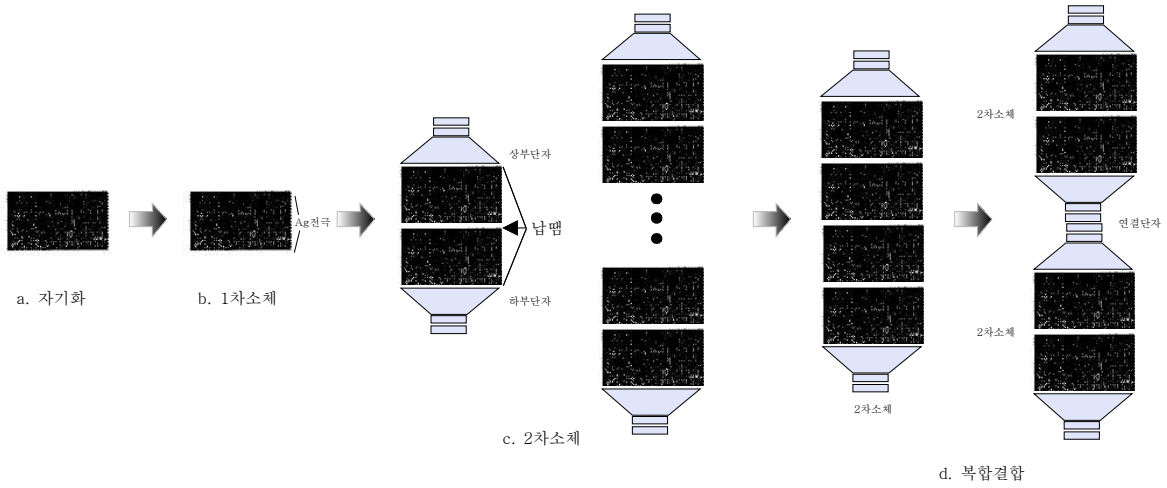
원료부터 소체결합까지의 제조공정과 주요 핵심요소기술은 다음의 표 4-2-2와 같다.

[표 4-2-2] 세라믹 유전소체 핵심 기술

제조 공정		주요 핵심요소기술
원료 공정	원료	-. BaTi03계 Y5U특성 ε6500이상 원료 시험 선정
자기화 공정	성형	-. 유전소체 설계기술 → Green Body D/T Ratio 설정 → Aging, TCC, 공정별 ⊿&C% 등 보정 -. Forming 기술 (고압성형)
	소성	-. Sintering 기술 → Binder-Burn-Out Profile 설정 → 고온부 소결 Profile 설정
	표면연마	-. 소체 표면 평활도 유지 기술 → 소결체의 De-binding에 의한 소체결함등의 등의 문제해결
소자화 공정	은도	-. Ag Paste Screen Printing 기술 -. 전극 도포두께 관리 기술
	은소	-. Printing된 전극을 세라믹 소체에 소부(燒附)시키기 위한 은소 Profile 설정
결합 공정	납도	-. Solder Paste Screen Printing 기술
	소체결합	-. 목표용량에 따른 소체 결합 (소체의 직.병렬 결합기술 특허 출원중)
	세척	-. Flux 제거
	측면연마	-. 납맺힘 및 이물질 제거
소체절연 공정	결합소체 1차절연	-.액상에폭시 코팅 (에드락카 하도) → 미세기공 제거
	경화	-. 자연경화, 열경화 조건 설정
	결합소체 2차절연	-. 필라멘트와인딩 or 액상에폭시 몰딩
	경화	-. 열경화 조건 설정

공정의 유전체 세라믹 캐패시터의 내전압 기준으로는 특고압인 관계로 절연특성이 매우 우수한 조성의 고유전율 원료로(저손실, 광역 온도특성) 40～100ton/㎠의 성형압을 인가하여 성형한 후 1200～1400℃의 대기 중에서 48시간 이상 소성(소결과정)하고 냉각 중

미세 균열이 발생하지 않도록 서냉하여 자기(그림 4-2-104. a1)를 제조한다. 제조된 자기는 소체면의 평활도 유지를 위하여 평면연마 실시 및 세척후 소체 위에 고순도의 Ag전극을 도포하고 750~850℃에서 소부 시켜서 전극(그림 4-2-10. b2)을 형성한다. 전극이 형성된 소체 위에 다시 Solder를 도포하고 상,하 동단자와 함께 직렬 다중복합결합(4-2-10. c3, d4)을 실시한다. 이렇게 완료된 결합소체의 외면을 절연재로 코팅 및 몰딩하여 하나의 결합소체를 완성한다.



[그림 4-2-10] 소체 직렬결합

a1. 자기화 : 고온(1,200℃이상) 소결시킨 원통형의 Ceramic Body
b2. 1차 소체 : 자기의 상부 및 하부면에 고순도 Ag전극을 형성
c3. 2차 소체 : 2개 이상의 1차소체를 직렬결합 후 상·하부에 결합단자 부착
d4. 복합 결합 : 제조된 2차소체의 상부 및 하부면에 부착된 결합단자를 이용하여 필요한 (설계된) 용량만큼 분할되도록 내부 연결용 단자로 연결/결합.

다음으로 캐패시터의 용량은 전극의 면적과 소체의 두께를 증감하여 조절하며, 통신 신호를 커플링할 주파수 대역의 조절은 기초 원료 선정 및 용량을 변화시키며 가변하여 가능케 한다(다른 인자는 고정한 상태). 그러나 안전도(신뢰성)의 확보를 위해서는 내전압의 하한 규격보다 어느 정도 높은 수준(최소 2배 이상)을 전극의 면적과 소체의 두께에 대한 조절 한계로 하여 요구되는 주파수 특성, 내전압, 제반 전기적 특성을 만족시킬 수 있는 구조로 옥내, 옥외 장착이 가능한 전력선을 이용한 고속통신망용 초고압 저주파 유전체 세라믹 캐패시터를 제조한다.

그리고 연관된 개발기술로서 이렇게 소체의 설계 및 제작을 최적화한 후 그림 4-2-10와 같이 각각의 소체를 결합시키는 과정에서 열 충격에 의해 소체에 균열이 발생하거나 부

적절한 결합에 의해 소체간에 부분적 분리 헌상이 발생하게 되면 옥외에 실장하여 사용시 치명적인 문제를 야기한다. 따라서 소체의 분할설계 방법을 적용하여 열 충격에 의해 소체에 균열이 발생하거나 부적절한 결합에 의해 소체간에 부분적 분리현상이 발생하지 않도록 유전체 세라믹 소체를 직렬다중 결합하는 방법은 매우 중요하다.

상기한 바와 같이 제조공정 중 발생될 수 있는 열 층격으로 인한 크랙발생을 제거하여 공정 불량을 근본적으로 제거하고 절연파괴로부터 사용자의 안전성을 확보하기 위하여 전력선을 이용한 통신망용 초고압 저주파 유전체 세라믹 캐패시터의 소체를 직렬다중으로 결합시키는 방법과 재료에 관한 좀더 세부적인 내용은 다음과 같다.

소성 완료된 원기둥 형상의 유전체 세라믹 자기의 상하면에 고순도의 Ag전극을 형성시킨 소체들을 각각의 소체간의 땜납재료인 크림 솔더나 프리폼 솔더 등의 용융점TI(액상선)이 약 250℃ 이상인 크림 솔더를 스크린 프린팅하거나 프리폼 솔더를 소체의 평면에 맞추어 삽입 또는 도포하여 설계된 소체의 층대로 직렬다중화하고 최상하층 소체의 상하에 외부연결용 상단자와 하단자를 부착한다.다음으로 소체간 땜납재료의 용융점인TI(액상선) 이상의 온도까지 소체를 서서히 가열하여 용융점 +30℃ 이상의 적정온도에서 5분에서 60분간 유지하여 소체들을 결합시킨 후 열충격으로 인한 크랙이 발생하지 않도록 서냉하는 방법으로 유전체 세라믹 소체를 직렬다중 결합시킨다.

여기서 소체를 일체형(단일소체)를 사용하지 않고 다중결합방법을 사용한 배경에 대하여 기술하면 상기의 제조 방법에 따라 일체형과 다중결합형의 시료를 제조하여 그 제반 특성 및 결합회로의 주파수(S21, 신호감쇄) 특성을 측정한 결과는 아래와 같다.

본 결과는 양산 가능한 제조방법으로 30회 이상 반복 제조하여 재현성을 확인함으로써 측정 결과의 신뢰성을 높인다.

첫 번째, 정전용량은 HP 4278A LCR Meter를 이용하여 측정한 결과 일체형과 직렬다중 결합형 모두 동등한 값을 나타내며 데이터간의 산포는 중심치 ±7%의 범위 내에서 나타난다. 추가적으로 정전용량의 값은 초기 개발시 적용하였던 정전용량의 설계에 의해 결정된 것이며,정전용량의 범위는 조성 및 여러 공정인자에 의해 결정되어 진다.

두 번째, 유전손실의 값은 HP 4278A LCR Meter를 이용하여 측정한 결과 일체형과 직렬다중 결합형 모두 평균 0.3% 이하의 값으로 매우 양호한 특성을 나타낸다.

세 번째, 인덕턴스는 HP 4194A Impedance Gain Analyzer를 이용하여 측정하였으며 일체형과 직렬다중결합형 모두 적용 규격 1.0mH ±30%의 범위에 대해 1.0~1.2mH로 양호한 특성을 나타낸다.

네 번째로, 주파수변화에 따른 감쇄율의 변화에 관한 주파수 특성은 HP 8753E(S21 Mode)S-Parameter Network Analyzer로 측정한 결과 일체형과 직렬다중 결합형 모두 정전

용량이 동일한 경우 100㎑～23㎒의 대역에서 감쇄율이 -3㏈ 이하의 값을 나타내었다. 이 결과에서 일체형과 직렬다중 결합형 모두 주파수 특성 측면에서는 적용이 가능함을 알 수 있다.

다섯 번째, 절연저항은 HP 4329A High Resistance Meter를 이용하여 측정한 결과 일체형의 경우 540,000㏁로 측정되었으며, 직렬다중 결합형은 710,000㏁으로 일체형에 비해

약 1.3배정도 향상되었음을 알 수 있다.

여섯 번째, 내 전압강도를 Withstanding V Tester (TS) TH-10010 ARDMPS를 이용하여 측정한 결과 단자와 단자간의 경우 일체형은 38㎸로 나타났으며 직렬다중 결합형의 경우 62㎸를 나타내어 약 1.5배정도 내전압 강도가 향상된 결과를 나타낸다.

따라서 유전체 세라믹 소체 내의 결함 개소를 최소화할 수 있는 직렬다중 결합방법과 납땜시 소체간의 부분분리 현상을 방지할 수 있는 새로운 납땜방법을 적용해서 전력선통신용 고압 저주파 유전체 세라믹 캐패시터를 제조한 후 측정한 결과를 종합하면(표4-2-3), 전력선 통신신호 결합용에 광범위하게 적용할 수 있는 매우 우수한 제반특성을 보유하고 내전압 강도 및 절연저항이 일반적인 일체형에 비해 최소 1.5배 이상 향상된 것을 알 수 있다.

[표 4-2-3] 세라믹 유전소 핵심 기술

항목	일체형	다중 강화형	비교
두께	30㎜	30㎜	동등
직경	44㎜	40㎜	동등
전극	Ag 85%	Ag 85%	동등
용량	15㎋	15㎋	동등
손실	0.3% 이하	0.3% 이하	동등
온도특성	Y5U	Y5U	동등
절연저항	54×104㏁	71×104㏁	다중우수
내전압	38㎸	62㎸	다중우수(약1.5배이상)
주파수(-3㏈)	100㎑~23㎒	100㎑~23㎒	동등

1) 정전용량 : 중심치 -20, +80% ⇒ HP 4278A LCR Meter

2) 유전손실 : 1.0% 미만 ⇒ HP 4278A LCR Meter

3) 인덕턴스 : 1.0mH (30%) ⇒ HP 4194A Impedance Gain Analyzer

4) 주파수 특성 : -3dB이내, 100㎑ ~ 23㎒

⇒ Hp 8753E(S21Mode) S-Parameter Network Analyzer

5) 내전압 : 단자-단자 간 : 27㎸ 1분간 인가후 BDV 시험

⇒ Withstanding V Tester (TS) TH-10010 ARDMPS

끝으로 직,병렬다중결합 및 복합결합 기술의 특징을 요약하면 아래와 같다.

▶ 내전압 한계 극복

▶ 용량 한계 극복

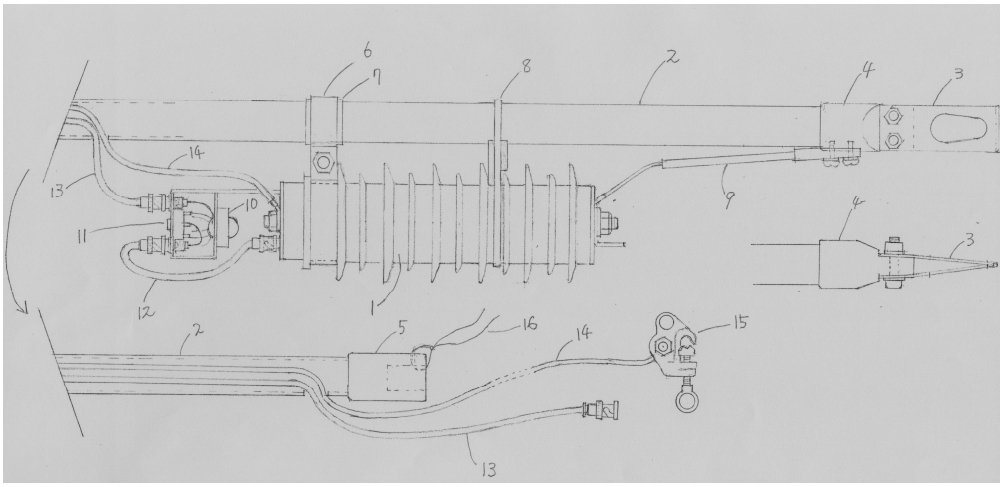
▶ 단일 소체로서의 제작한계 극복

▶ 이(다)중 안전 설계

▶ 유전체 세라믹 소채의 결함 개소 극소화 등

5. 휴대형 고압 신호결합 장치

휴대용 고압 신호결합장치는 현장에서 들고 다니면서 임의의 고압배전선로에 일시적으로 설치하여 통신신호를 전력선에 결합할 수 있도록 고안된 고압 결합장치로서 살아있는 전력선(활선)에 정전 없이 본 장치를 쉽게 설치하고 철거할 수 있게 한 것이 특징이다. 이러한 편리성은 각기 다른 환경과 형태를 가진 고압전력선에 대하여 수시로 통신특성에 대한 여러 가지 시험을 가능하게 하여 다양한 케이스의 자료를 얻을 수 있게 하고 또한 통신 시스템을 설치할 배전선로 계통에 대하여 사전에 회선특성을 정확히 파악할 수 있게 함으로서 시행착오를 줄일 수 있게 하는 등 PLC 연구에 있어서 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.



[그림 4-2-11] 고압 휴대형 신호결합장치.

1:고압결합장치(CC&DC)	2:스틱(Epoxy pipe)
3:스틱 걸개 (Hanger)	4:Stick head(알루미늄)
5:스틱이음금구(알루미늄)	6:강철밴드
7:고무패킹	8:Binder
9:Fuse Link	10:Imp. Matching Trans(MT)
11:탭전환 스위치	12:MT 1차 케이블 (Pri)
13:MT 2차 케이블(Sec)	14:접지선
15:접지선 연결 Clamp	16:스틱 고정용 끈

가. 구조

이 장치는 활선 상태의 전력선에 직접 접촉시킬 수 있도록 활선조작봉(Hot stick)에 고압 결합 커패시터(CC)를 그림 4-2-11과 같이 장착한 구조로 되어있다. 스틱은 직경

32㎜, 길이 2M의 고절연성 에폭시-유리섬유 관이며, 결합 커패시터는 본 연구에서 개발하여 시험선로에 사용중인 주상설치형 고압 결합장치(Drainage Coil 내장)를 사용하였다. 결합장치는 강철밴드를 사용하여 스틱 상부에 고정시킨다.

본 장치 제작에 있어 가장 중요한 포인트는 어떻게 활선 선로에 확실하고 안전하게 이 장치를 접촉시키는가 하는 것이다. 고압 가공 배전선로는 중성선을 제외하고 대부분 피복 전선을 사용하고 있어 선로 계통 중에 심선(芯線)이 노출되어 있는 부분을 찾아서 연결시켜야 한다. 이러한 노출부위는 주로 스위치, 변압기, 피뢰기 등의 기기와 선로와의 연결지점이 해당되는데 조사 결과 변압기와 COS의 접속 지점이 가장 적합할 것으로 판단되었다. COS는 매 변압기에 설치되므로 발생빈도가 높아서 선로선택 및 거리설정의 융통성이 크고, 만일에 경우 결합장치를 접속하고 시험도중에 커패시터 단락 등의 사고가 발생하더라도 COS가 열려 광역 정전사고를 피할 수 있으며, 또한 구조적으로 조작봉을 걸기에 편리하게 되어있다. 즉 COS 아래쪽 크램프의 조임 볼트는 변압기의 고압 리드선이 물려있는 상태에서 20㎜ 이상의 여유가 있고 그 끝이 위쪽으로 경사져 있어 여기에 스틱을 걸어도 미끄러져 떨어질 위험이 없고 또한 본 장치의 무게가 10㎏ 이하이므로 하중상의 문제도 없다.

따라서 본 장치의 걸개(Hanger)는 0.8 ㎜ 두께의 동판을 그림 4-2-11(3)과 같이 가공하여, COS 볼트에 걸었을 때 동판의 날이 볼트 홈에 박혀 미끄러지지 않고 전기적 접촉상태도 좋게 유지될 수 있도록 하였다. 스틱 헤드와 결합 커패시터 사이에 소용량(1A)의 퓨즈 링크(9)를 설치하였는데 이것은 위에서 언급한 고압 배전선로용 신호결합장치 고장시 변압기 COS 퓨즈보다 먼저 끊어져서 그 변압기에 연결된 수용가의 정전을 예방하기 위한 것이다.

임피던스 매칭 기구는 매칭 트랜스(MT : Matching Transformer), Tab 전환 스위치, 입출력 잭 등을 그림 4-2-11(10,11)과 같이 조립하여 고압 배전선로용 신호결합장치 본체에 부착시킴으로서 고압 배전선로용 신호결합장치와 MT 연결선(12)의 길이를 짧게 하여 연결선에 의한 부정합 요인을 최소화하였다. MT 1차 측 임피던스는 고(H), 중(M), 저(L) 등 3가지 상태로 변환이 가능하며 전력선 측 임피던스가 50Ω 이하이면 통신측 케이블을 직결(MT bypass)한다. MT의 2차 측 단자는 50Ω이며 여기에 50Ω 동축케이블을 통하여 계측기 또는 통신 시스템을 연결하여 시험을 행하게 된다. 고압 배전선로용 신호결합장치의 접지단자(내장 DC의 접지단자)에는 주상 설치 시와 같이 단시간 대 전류에 충분히 견딜 수 있는 굵기의 접지선이 연결된다. 이들 동축케이블과 접지선은 스틱 내부를 관통하여 아래쪽 구멍으로 인출함으로서 본 장치 가설 시 인접 타 전선과 접촉되는 위험이 없도록 하였다. 접지선의 일단에 달린 활선 클램프(15)는 접지선을 나선인 배전선로 중성선에 확실하고 안전하게 접속하는 역할을 한다.

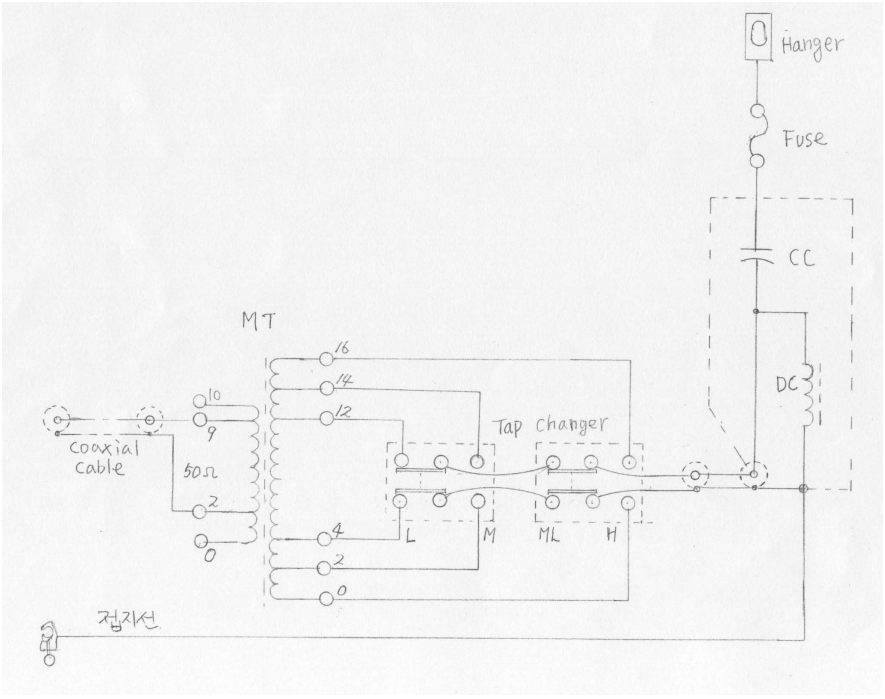
본 장치의 설치작업은 반드시 먼저 접지선에 달린 클램프를 선로 중성선에 걸고 단단히 조인 다음 스틱 행거를 COS 아래쪽 단자 볼트에 걸어야 한다. 이 순서가 바뀌면 고압 배

전선로용 신호결합장치를 통해 고전압이 접지선에 나타나서 감전될 위험이 대단히 높다. 스틱을 정확하게 걸고 나서 고정 끈을 전주 또는 적당한 전주부착물에 묶어 스틱이 흔들리지 않게 고정시킨다.

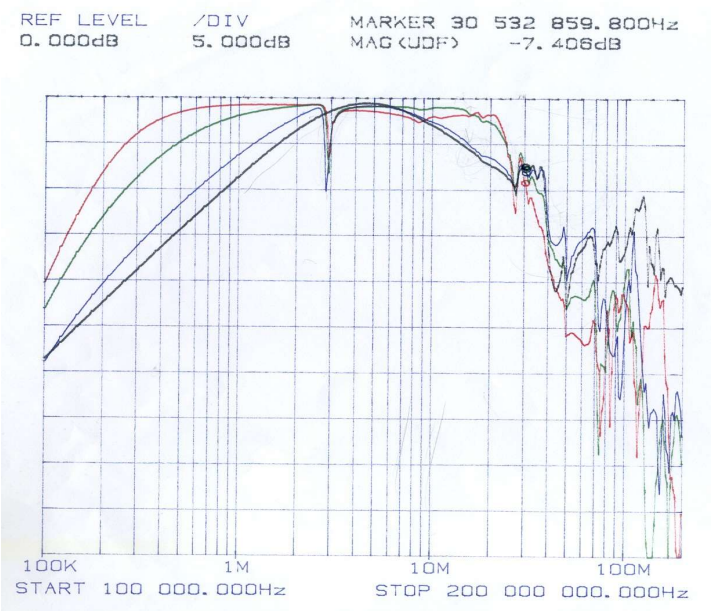
나. 전송 특성

그림 4-2-12은 본 장치의 회로도이다. MT 각 탭의 번호는 그 탭의 turn 수를 나타내고 각 전환모드에서의 임피던스 값은 고(H) 262Ω, 중(M) 167 Ω, 저(L) 73Ω, 직결(MT bypass) 50Ω 이다. 그림 4-2-14는 2개의 MT를 대향 접속하여 H, M, L 각 모드에서의 전송특성을 측정한 것이다. 즉 순수한 MT 만의 특성이며 광대역에 걸쳐서 양호한 결과를 보이고 있다.

그림 4-2-13은 완전 조립된 2개의 휴대형 고압 결합장치를 대향 접속하여 H, M, L 각 모드 및 직결(MT bypass) 상태에서의 전송특성을 측정한 것이다. 이 그림은 고압 배전선로용 신호결합장치, 연결선, 스위치 등의 영향으로 전송특성이 현저히 열화하고 있음을 보여주는데 MT의 임피던스를 낮게 할수록 심해지는 것을 알 수 있다. 그것은 연결선을 포함한 고압 배전선로용 신호결합장치 측의 임피던스가 H 값에 가깝다는 것을 의미한다. 임피던스 M 값 이상의 범위에서 감쇠량 5dB 이하인 주파수 대역은 0.7~23MHz 임으로 PLC 시스템 시험에 활용성이 높을 것으로 기대된다.

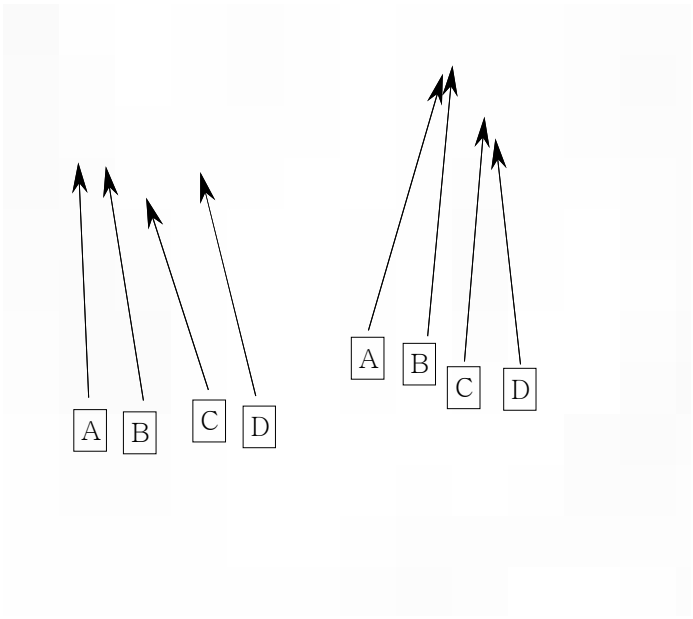


[그림 4-2-12] 휴대형 고압 결합장치 회로



[그림 4-2-13] 휴대형 고압 결합장치
대향전송특성

A : H	262 Ω
B : M	167 Ω
C : L	73 Ω
D : 직결	50 Ω



[그림 4-2-14] 정합 트랜스포머 전송특성

6. 고압 배전선로용 블로킹 필터 개발

가. 블로킹 필터의 필요성

고압 전력선망을 이용하여 통신망을 구성할 때 고주파 대역에서 저주파 대역에 비해 신호 잡음 레벨은 작지만 감쇠가 심하고 임피던스 특성이 계속 변동하기 때문에 전송거리 연장을 위해 중계기를 사용하게 되는데 이때 이 중계기의 성능을 좌우하는 것이 블로킹 필터이다.

블로킹 필터는 일명 라인트랩이라고 불리는데 라인 트랩은 반송 주파수대에서 임피던스가 높아지는 것을 방지하는 장치로, 신호가 분산되는 현상을 방지하거나 정보 전송의 경로 이외에서 결합으로 인하여 접지화 되는 것을 방지하는 역할을 한다. 또한 주 전송선로의 분기나 감쇠를 방지하는 역할도 한다. 하지만 라인트랩은 전력선을 끊고 설치해야 하는 단점 있는데 이것을 보완한 것이 블로킹 필터이다. 블로킹 필터는 간단한 T형 필터로서 전력선의 단절 없이 간단하게 설치가 가능하다. 이 블로킹 필터는 LC 공진회로로 구성되어 있고 대역저지 특성을 가지고 있다.

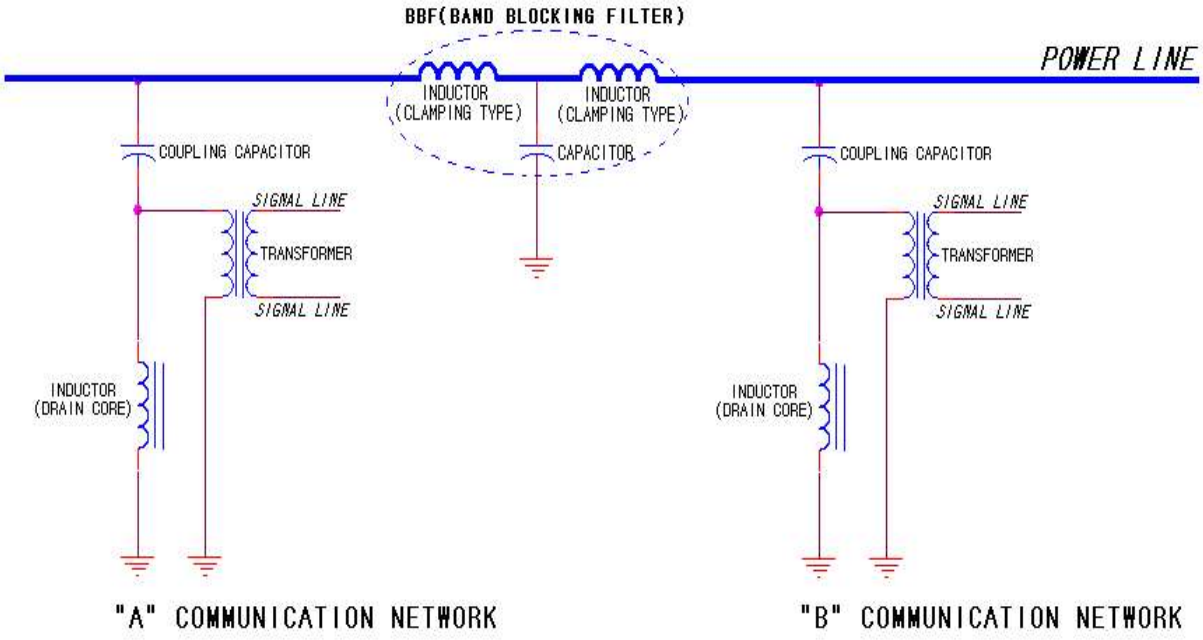
나. 블로킹 필터 모의실험

1) 블로킹 필터 설계를 위한 모의실험 고려사항 및 구성도

블로킹 필터를 설계 제작하기 위해서는 모의실험을 통해 블로킹 필터의 특성을 먼저 파악하고 우리가 원하는 이상적인 대역저지 특성을 찾아내야 한다. 먼저 모의실험시 고려되어야 할 사항을 살펴보면 필터 양단의 특성 임피던스를 50Ω으로 설정하고, 주파수의 변화에 상관없이 인덕터(L:10μH)의 값과 커패시터 값(C:10nF)은 변화하지 않는다고 가정한다. 실제적으로 주파수에 따라 인덕터와 커패시터의 값은 변화하지만 그 변화량을 모의실험에 적용하지는 않았다.

모의실험한 주파수 범위는 100kHz-50MHz 사이의 주파수로 1MHz부터 30MHz 사이의 대역을 사용하는 전력선 모뎀의 주파수 대역을 포함한다. 결과 그래프는 S-파라메타를 기준으로 분석하였다. 사용한 모의실험 툴은 Multisim 2001 PowerPro이며 이 프로그램에 있는 RF 모의실험 기능의 네트워크 분석기를 이용하여 필터의 신호통과 특성을 구하였다.

모의시험을 위한 회로는 그림 4-2-15와 같다. 가운데에 위치한 회로가 블로킹 필터이며, 블로킹 필터에 의해 분리되어 있는 양측의 회로는 가입자망을 구성하는 통신 세그먼트이다.

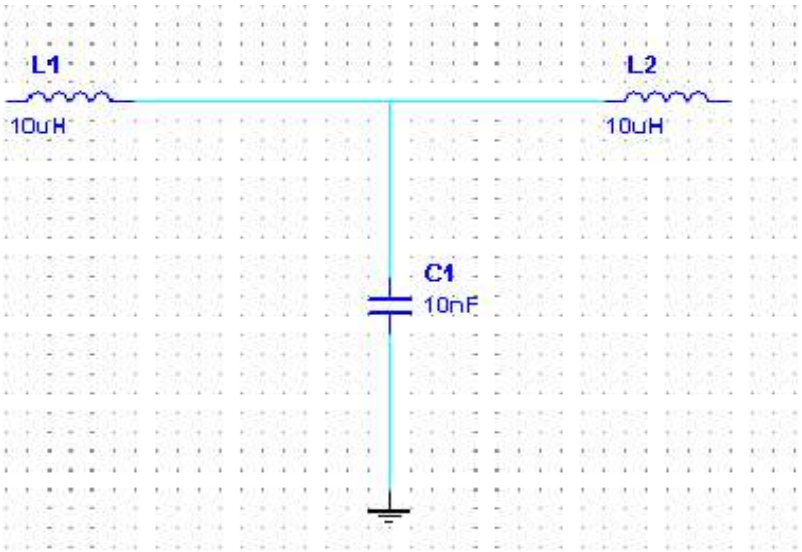


[그림 4-2-15] 블로킹 필터의 구성도

2) 모의실험의 회로도 및 결과 분석

a. 모의실험 회로도

블로킹 필터 모의실험 회로도는 앞에서 서술한 것과 같이 대역저지 필터로써 2개의 10uH 인덕터와 1개의 10nF의 커패시터로 구성되며 구체적인 구성은 그림 4-2-16와 같다.



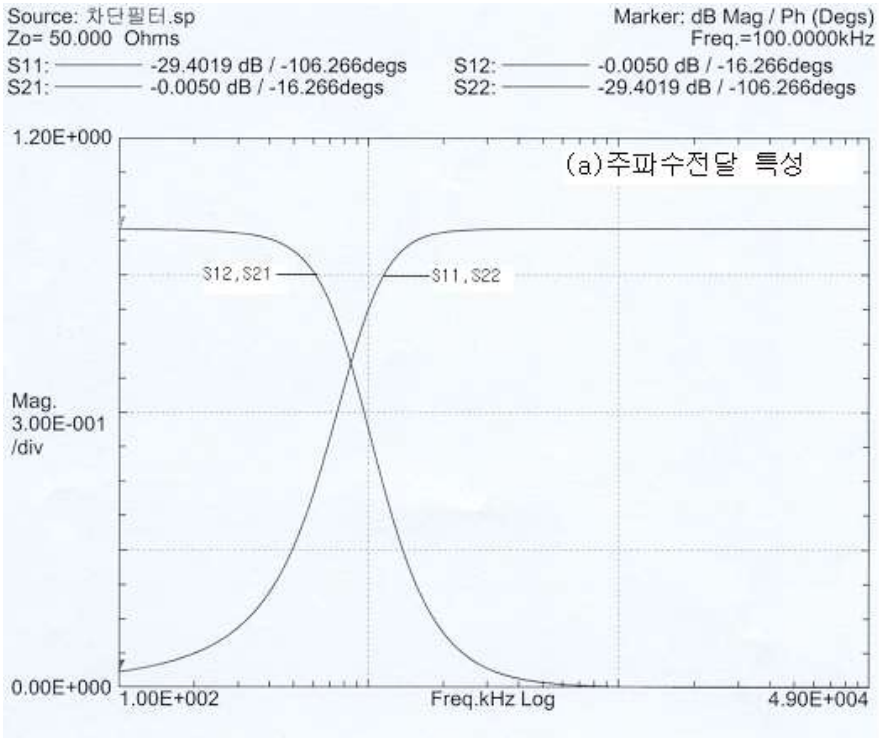
[그림 4-2-16] 모의실험 회로도

b. 모의실험의 결과분석

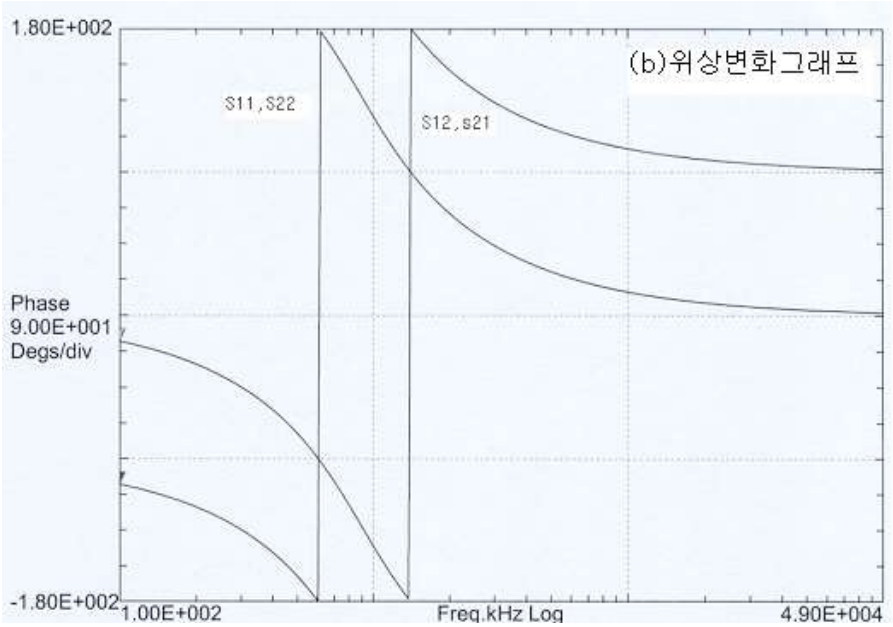
그림 4-2-17의 (a)그래프에서 차단 필터의 주파수 통과 특성을 살펴보면 500kHz부터 신호 통과 특성이 감쇠하며 1MHz 대역 이후부터는 거의 모든 신호가 차단됨을 볼 수 있다. 먼저 S11, S22 값을 살펴보면 저주파 대역에서는 거의 모든 신호가 통과되는 것을 볼 수 있으며, 1MHz 이후 대역에서는 거의 모든 신호가 차단되는 것을 볼 수 있다.

S12, S21 그래프를 살펴보면 1MHz 이하의 대역에는 넘어 오는 신호가 있지만 1MHz 이상의 대역에서는 블로킹 필터를 통과해서 넘어오는 신호가 거의 없는 것을 볼 수 있다.

그림 4-2-17의 (b)그래프는 신호들의 위상의 변화를 보여주는 그래프이다.



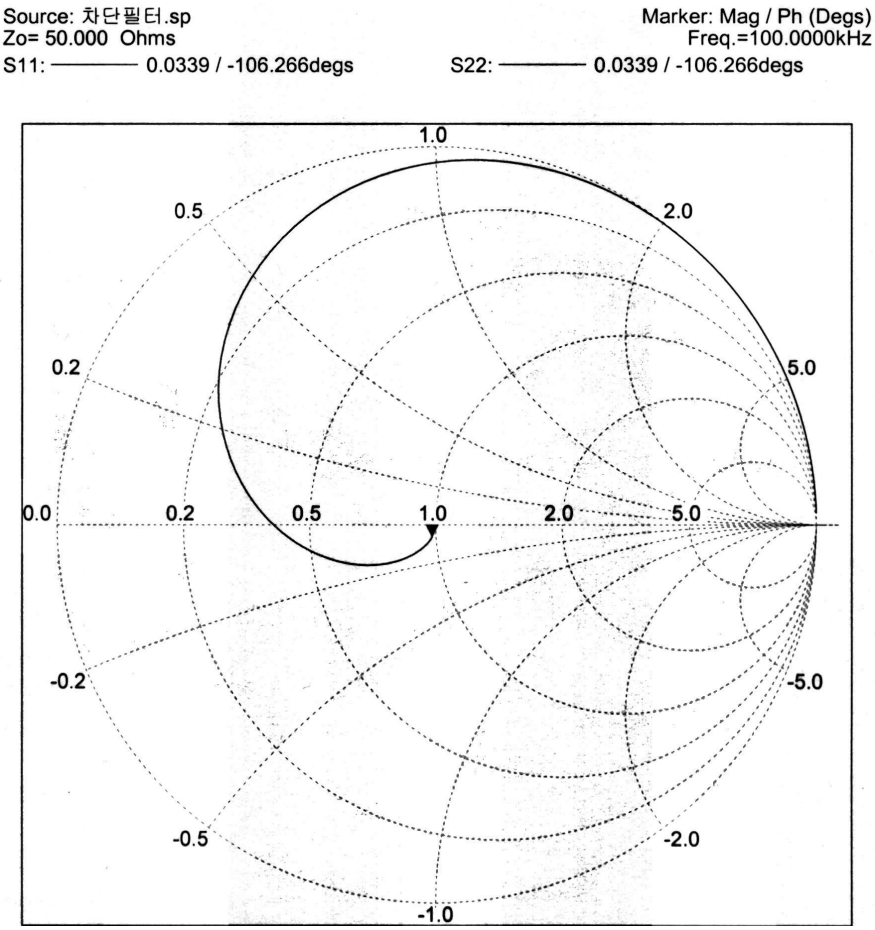
(a) 주파수 전달특성



(b) 위상변화 그래프

[그림 4-2-17] 모의실험 결과 그래프

그림 4-2-18의 스미스 차트는 그림 4-2-16의 크기와 위상정보를 동시에 나타낸 그래프이다.



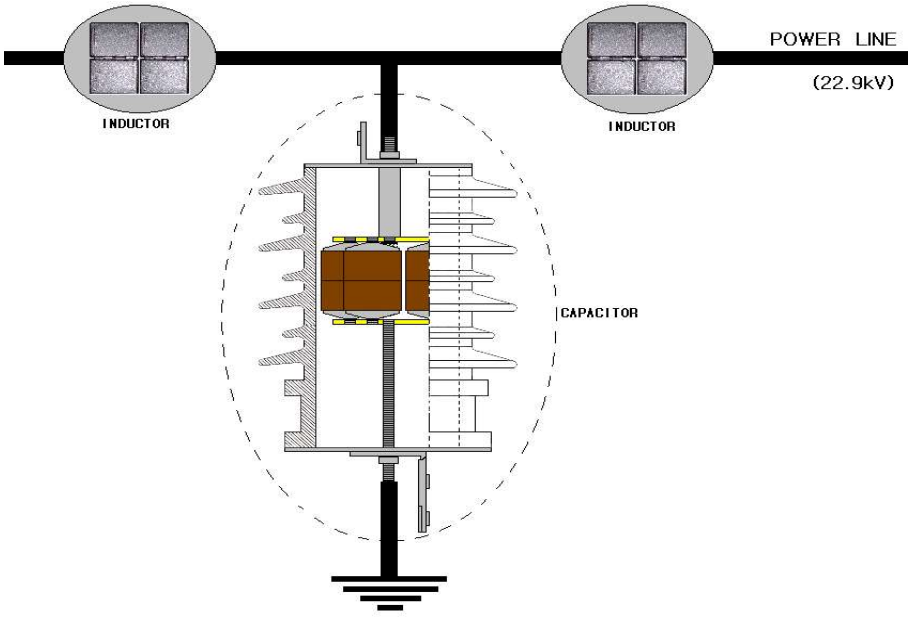
[그림 4-2-18] 스미스 차트로 나타낸 모의실험 결과

7. 고압 블로킹 필터

가. 블로킹 필터의 구성

블로킹vvvvvvvvvv 필터는 고압배전선망에서 고주파(1MHz-30MHz)용 블로킹 필터로서 블로킹 필터는 배전급 22.9kV에 적합한 세라믹 유전체를 사용하여 제작한 세라믹 소체를 다중 결합하여 절연 내력을 강화하여 제작한다. 고주파(1MHz-30MHz)밴드 블로킹에 적합한 투자율을 가진 고임피던스 Ferrite Core를 사용하며, 활선 상태에서 작업이 가능할 수 있도록 3 터미널방식의 구조와 Clamping Type의 인덕터를 사용한다.

그림 4-2-19과 같은 구조의 고압 블로킹 필터는 2개의 인덕터 부분과 1개의 커패시터 부분으로 L+C 공진회로 형태로 설계된다. 인덕터는 활선 상태에서 설치가 가능하도록 clamp 타입으로 고안되며, 커패시터 부분은 22.9kV를 견딜 수 있도록 설계 및 구성된다.



[그림 4-2-19] 고압 블로킹 필터의 구성

나. 고압 블로킹 필터의 인덕터와 커패시터의 특성

인덕터 부분의 성분은 산화 제이철(Fe203)을 주원료로 하는 페라이트를 사용한다. 소프트 페라이트의 고주파 영역은 1MHz - 1,000MHz의 범위이며, 이 범위에서의 주 사용용도는 TV, Radio, VTR 등 가전기기의 중간주파 변압기, 인덕터, 노이즈 제거용 등으로 사용되어 지며, 페라이트재 중에서 이원 소프트 페라이트는 MnO+ZnO+Fe203의 화합물인 Mn-Zn 페라이트와 NiO+ZnO+Fe203의 화합물인 Ni-Zn 페라이트 두 종류가 있다.

페라이트의 특징은 금속 자성재료에 비해서 105배 이상의 비저항을 가지고 있는 점으로 페라이트재의 경우는 금속자성 재료와 같이 와전류 때문에 얇은 필름형태나 미분형태로 가공하지 않아도 상당한 고주파까지도 일정한 투자율과 낮은 자기 손실을 가지는 것이 가능하다.

그리고, 동작 주파수가 1MHz를 넘을 경우에는 Ni-Zn 페라이트가 주로 사용되어 진다. 이러한 이유 때문에 Ni-Zn 페라이트를 사용하였으며, 그 중에서 높은 주파수 대역에서의 고임피던스 재료를 선택하여 사용한다.

또, 페라이트 코어는 활선 상태에서 작업이 가능하도록 하기 위해 분리 형태로 컷팅 가공한 컷 코어를 사용하였는데, 여기서 컷 코어와 컷 코어사이의 결합이 잘 되지 않는 경우 원하는 특성이 나오지 않아 코어의 외형 케이스부분에 결합을 도와줄 수 있는 보강물을 사용한다.

그림 4-2-20와 그림 4-2-21은 초기 상태의 인턱터의 L & |Z|의 특성 그래프이다.

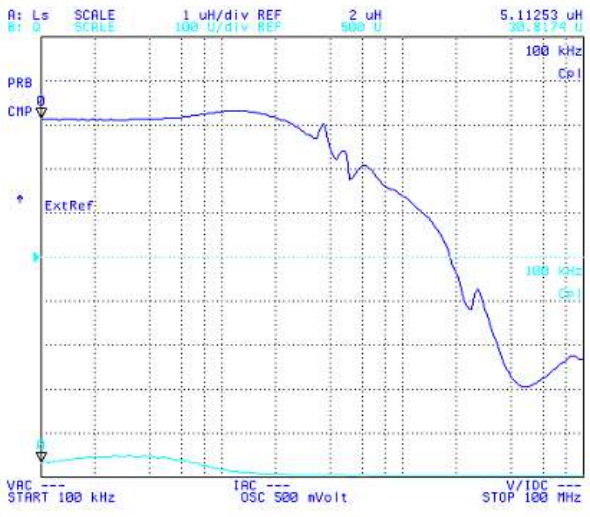


그림 4-2-20. 초기 인덕턴스의 특성

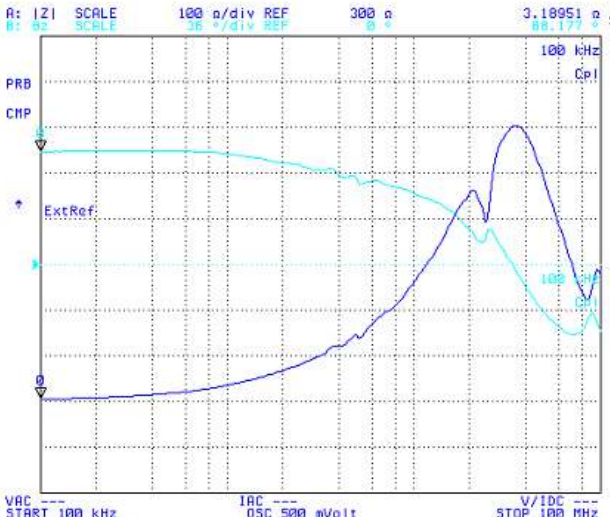


그림 4-2-21. 초기 임피던스의 특성

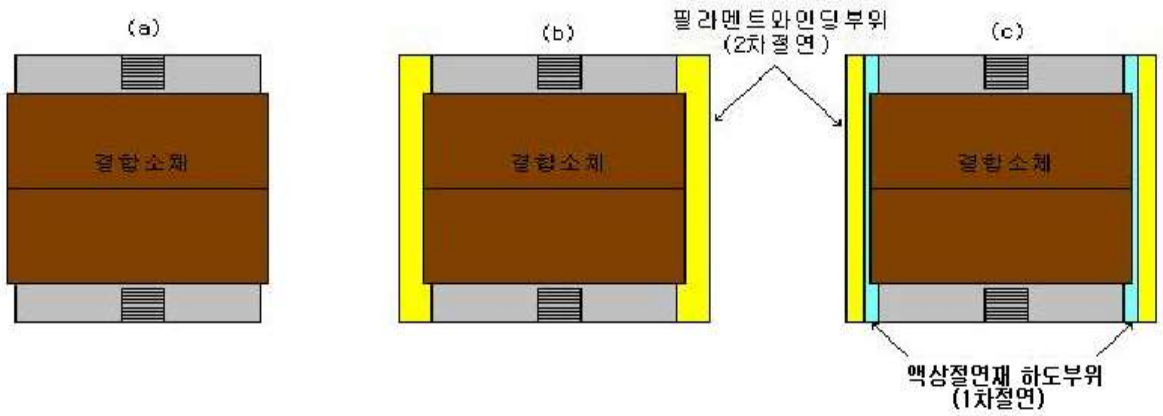
커패시터 부분은 항상 18kV 이상의 고전압이 인가되는 고압 배전선로에 설치 사용되므로 필요한 모든 특성을 갖추고 있더라도 수용가의 안전에 직결되는 유전체 세라믹 소체의 절연 내력 확보가 중요하다.

유전 소재는 고압전압(22.9kV)과 고압전류에 맞는 고유전율 유전 재료를 사용하여 저유전 손실, 온도 특성, 절연 저항 등의 전기적 특성이 만족하도록 제작한다. 절연 내력 확보를 위해서는 다중 결합된 유전체 2차 소체와 단자의 연결 구조를 체계적으로 설계 적용하여 제조상의 문제를 최소화 한다.

본 제조방법을 적용하여 제작하면 배전전압의 약 2배인 40kV 이상의 내전압에 견딜 수

있으며, 항상 배전선에 18kV 이상의 고전압이 인가되는 상태에서도 신뢰성을 확보할 수 있다.

절연 외장 부문에서도 절연재를 2번에 걸쳐 처리하는 방식으로 처리한다. 세부 내용을 살펴보면 다중 결합된 소체를 1차로 액상 절연재로 하도를 한다. 그 위에 필라멘트 와인딩을 하는 방식으로 진행하여 내전압 특성시 측면을 타고 넘어가는 플래시오버 현상에 대해서도 견딜 수 있도록 내전압 특성을 보강 한다. 이것이 2차 절연이며, 그 외부에 폴리머 하우징을 사용하여 최종 절연 처리 한다.



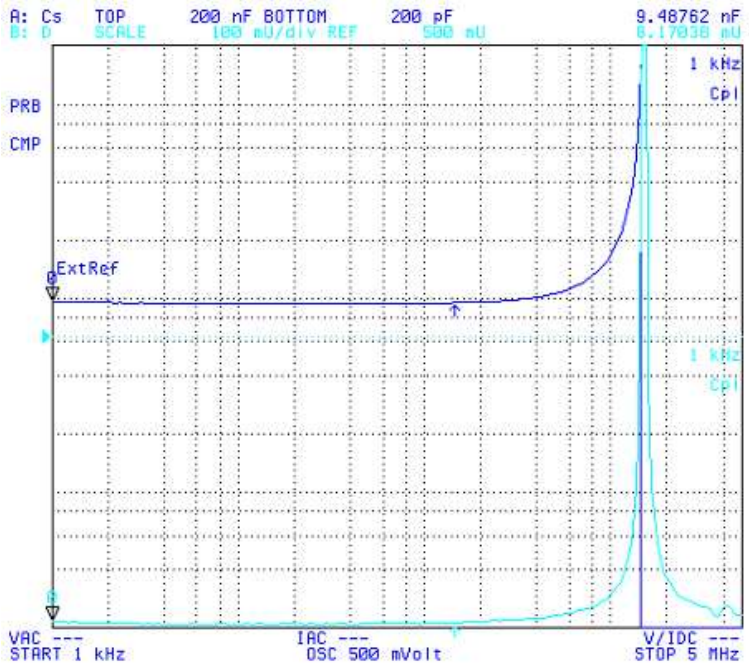
[그림 4-2-22] 1, 2차 절연 외장 처리

그림 4-2-22과 같이 절연 외장을 할 때 주의할 점은 소체와 절연물 사이의 밀착성이 뛰어나야 한다. 그리고 위에서 말한 필라멘트 와인딩이란 유리섬유에 에폭시를 적시어 소체에 감아주는 제조 방법을 말한다.

다. 최종 제품형태의 블로킹 필터 특성측정 결과 및 제품 외형

1) 블로킹 필터 특성측정 결과

고압 블로킹 필터는 고압내전압 특성과 신호차단 특성을 위한 대역저지 특성을 만족해야한다. 다음은 고압 블로킹 필터의 주요특성 측정 그래프이다. 그림 4-2-23는 커패시터의 용량특성 그래프이다.

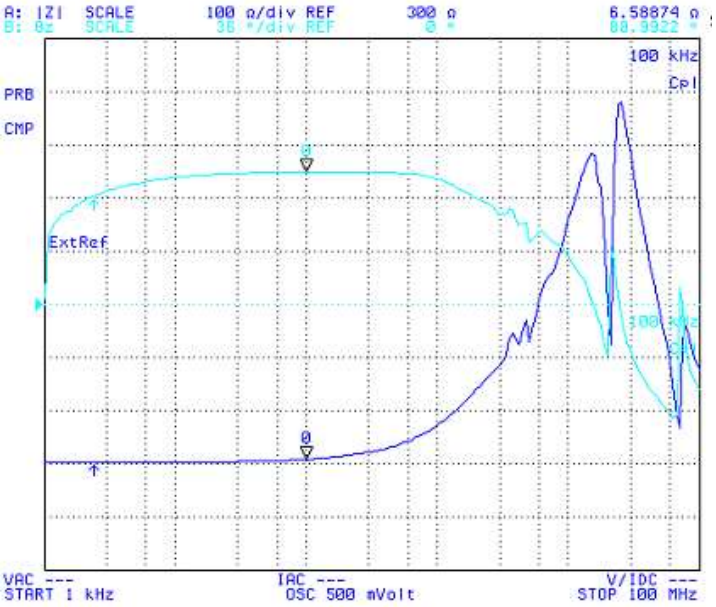


[그림4-2-23] 커패시터시터의 용량특성 그래프

그림4-2-24, 그림4-2-25는 인덕터의 인덕턴스와 임피던스 특성 그래프이다.

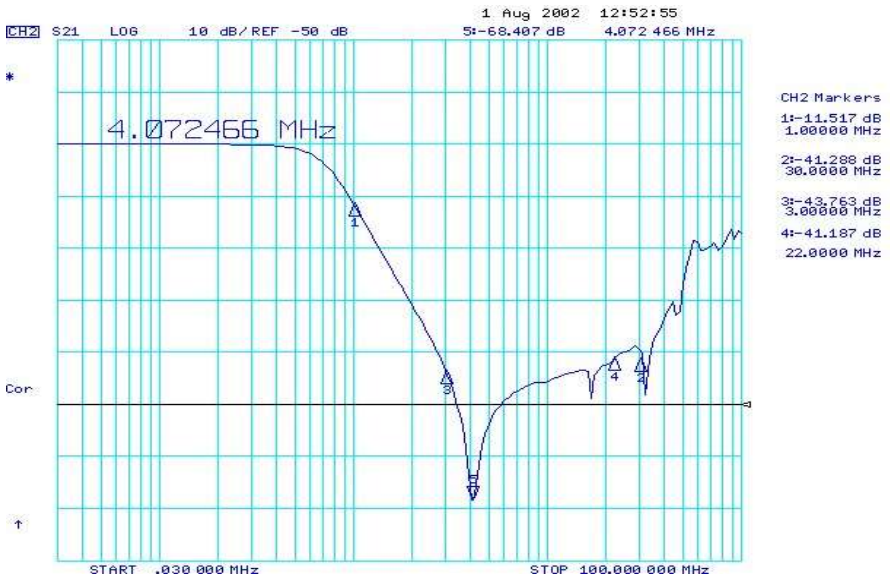


[그림 4-2-24] 인덕턴스 특성



[그림 4-2-25] 임피던스 특성

그림 4-2-26는 인덕터와 커패시터를 완전한 형태로 구성한 후 주파수에 따른 감쇠 특성을 측정한 그래프이다. 1MHz 이후에 대역저지 특성이 30-40dB 임을 보여준다.



[그림 4-2-26] 주파수에 따른 감쇄특성

2) 블로킹 필터의 제품 외형

다음은 실제 제품 형태의 블로킹 필터의 인덕터와 커패시터를 촬영한 사진이다. 그림 4-2-27의 실제 인덕터는 앞에서 말한 것처럼 전선을 절단하지 않고 설치가 가능하다. 그림 4-2-28은 블로킹 필터의 커패시터 부분이다. 그림 4-2-28은 실제 고압

배전선로상에 가설된 블로킹 필터의 설치사진을 나타낸다.

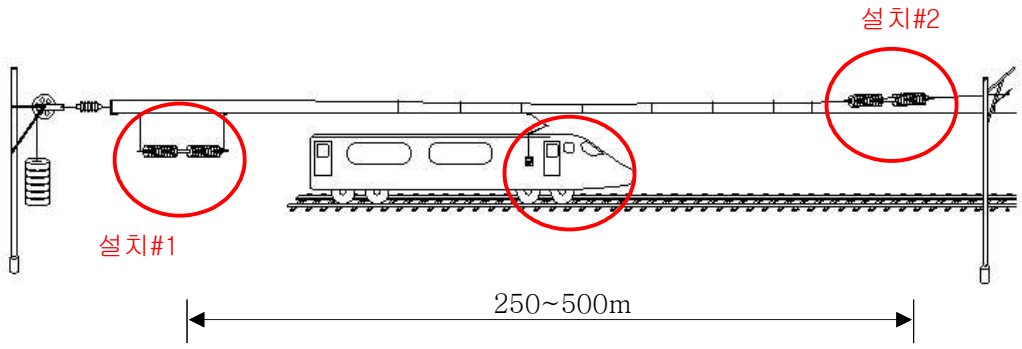


[그림 4-2-27] 인덕터 외형

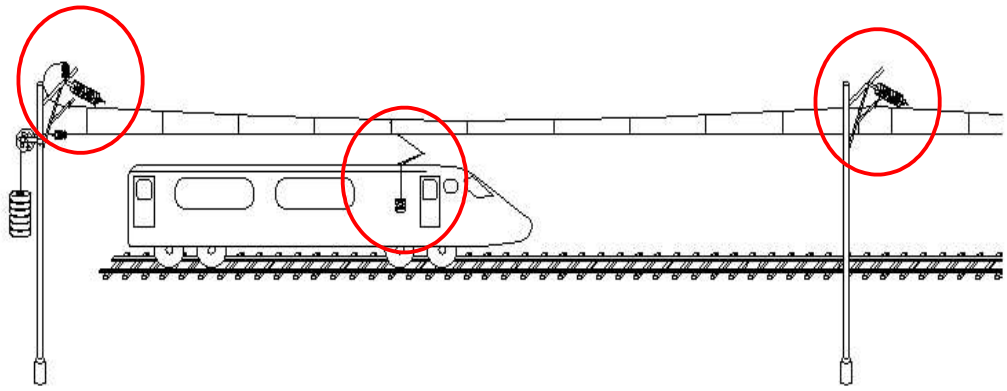
8. 접촉식신호결합기 제작

가. 접촉식신호결합기 제작사유

1차년도 계획에 따른 비접촉식 결합기를 활용하여 활선 시험할 수 있는 여건이 어려워 접촉식 신호결합기를 활용하는 방안으로 계획을 수정함

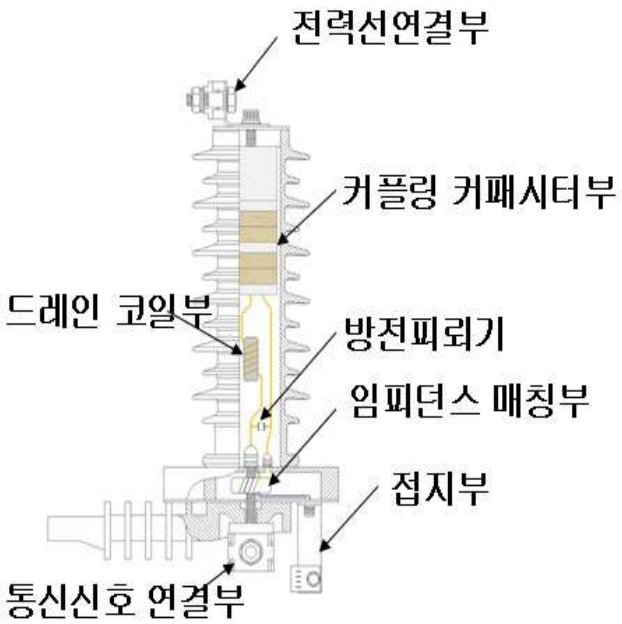


[그림 4-2-28] 비 접촉식 신호결합기를 활용한 시험계획 원안

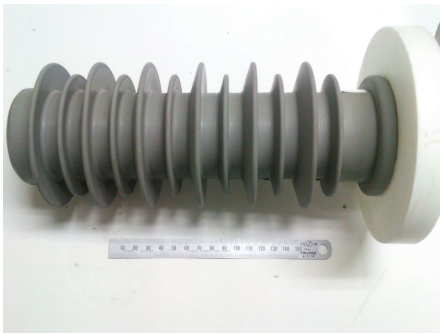
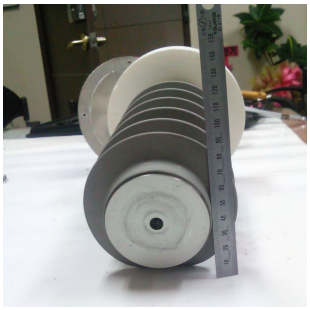


[그림 4-2-29] 인덕터형 접촉식 신호결합기를 활용한 시험계획 수정안

나. 접촉식신호결합기 제작



[그림 4-2-30] 인덕터 신호결합기 내부 구조

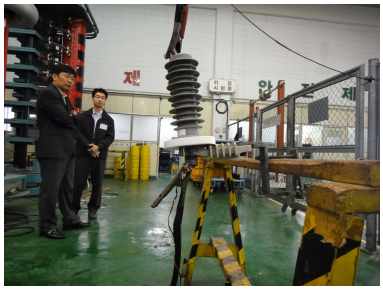





[그림 4-2-31] 전력산업분야에 실용화된 접촉식 신호결합기 활용한 신호결합기

다. 접촉식신호결합기 내압 시험

전력산업분야에서 실용화된 제품을 활용하여 전기철도용 접촉식 신호결합기를 제작하였으나 절연 내력이 전기철도의 기준(50KV)에 적합하지 않아 실패함





[그림 4-2-32] 전력산업분야에 실용화된 접촉식 신호결합기 내압시험

라. 접촉식신호결합기 내압 시험 결과

전력산업분야(22.9KV)에서 실용화된 접촉식 신호결합기의 내압 한계기준이 42KV이며, 전기철도(25KV)에서 사용하기위한 한계기준은 50KV이므로 50KV를 기준으로 내압시험을 실시하였으나 전력산업분야에서 실용화된 접촉식 신호결합기는 42KV범위에서 절연이 파괴되어 적합성 시험이 실패 되었다.

따라서 전기철도에 적합한 접촉식신호결하기의 제작이 검토 되었으며, 전기철도에 사용되고 있는 피뢰기를 활용할 경우 유사기능을 발휘할것으로 분석었다.

제3절 피뢰기를 활용한 접촉식 신호결합기

1. 개 요

전력산업에서 실용화된 제품을 활용하여 전기철도용 접촉식 신호결합기를 제작하였으나 절연 내력이 전기철도의 기준(50KV)에 적합하지 않아 활선 시험이 불가함으로써 전기철도용 접촉식신호결합기 제작의 필요성 발생하였다.

접촉식 신호결합기 제작에 소요되는 최소 공정 및 기간을 감안할 때 본 과제의 연구(시험) 일정에 적합하지 않으므로 기존의 전기철도 시설물중 전기적 특성이 유사한 피뢰기를 활용하여 접촉식 신호결합기를 제작하였다.

또한 25KV전압에 직접 접촉하여 시험하게 되므로써 안전을 위한 COS를 전단에 구성하였다

2. 전기철도 피뢰기의 사양

가. 적용범위

교류 25KV 전차선로에서 뇌, 또는 회로개폐에 의한 과전압을 제한하며, 속류를 차단하는 보호장치로서 폴리머재질의 하우징(Housing)내에 갭이 없는 산화아년형 폴리머피뢰기(이하 피뢰기라 한다)에 적용한다.

나. 적용규격

- ○ 한국철도표준규격 KRS PW 0004-06
- ○ 한전표준 구매시방서 : ES153-261~283(전력용 피뢰기)
- ○ IEC60099-4 : Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c systems(갭레스 산화금속피뢰기)

다. 정격

피뢰기의 정격은 다음과 같다.

1) 정격전압 : 42 kv

2) 연속운전전압 : 34kv

3) 정격주파수 : 60Hz

4) 공칭방전전류 : 10kA

5) 선로방전등급 : 3 class(IEC60099-4)

6) 단락회로특성(0.2s) : 65kA

7) 표면누설거리 : 2390㎜

8) 절연재료 및 색상 : grey sillicon

9) 방전계수기(누설전류계 포함) : 한국전기연구원 공동개발.

가. 제작후 검수시험

피뢰기의 성능은 한국철도표준규격 KRS 0004-06에 만족하여야 하며 다음과 같은 검수시험을 실시한다. 시험은 한국철도표준규격 4항 시험 및 검사규격에 의거 시험수량 및 시험방법을 정하여 진행한다.

1) 구조검사

2) 누설전류시험

3) 기준전압측정

4) 제한전압시험

5) 부분방전시험

나. 표시

피뢰기 명판 및 제품에는 아래와 같이 명기한다.

1) 명 칭

2) 형 식

3) 정 격 전 압

4) 연 속 운 전 전 압

5) 방 전 등 급

6) 방 전 전 류

7) 적 용 규 격

8) 제 품 번 호

9) 제 조 년 원 일

10) 제작사(상호

SIEMENS

Technical Datasheet
Offer number: 30010622

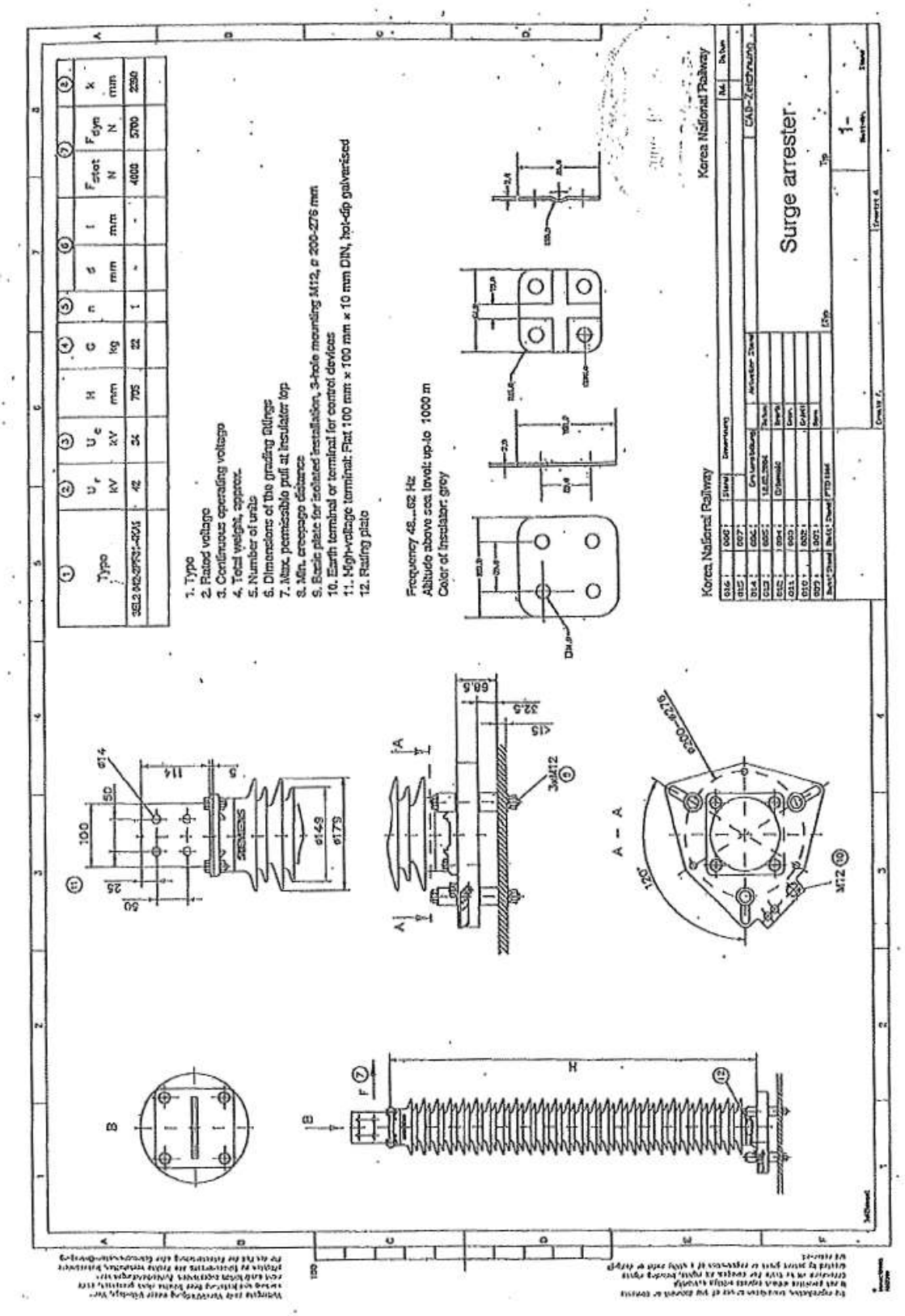
Attachment

Siemens HPCs 120 3EL2042-2PF31-4KA1		
System Information		
Highest Voltage of Equipment (Um)	52,0	kV
Basic Insulation Level (BIL)	145	kV
Maximum altitude of installation (a.s.l.)	1 000	m
Neutral system earthing	solid	
Power Frequency	48...62	Hz
Electrical data		
Applied Standard	IEC 60099-4	
Rated voltage (Ur)	42,0	kV
Maximum continuous operating voltage (Uc / MCOV)	33,0	kV
Nominal discharge current (In, 8/20 µs)	10	kA
Line discharge class	3	
Long duration impulse current withstand (2 ms)	650	A
High current impulse withstand (4/10 µs)	100	kA
Rated short circuit current (0,2 s)	65,0	kA
Maximum residual voltage at :		
10 kA 1/2 µs	107	kV
5 kA 8/20 µs	94,8	kV
10 kA 8/20 µs	101	kV
20 kA 8/20 µs	112	kV
40 kA 8/20 µs	127	kV
500 A 30/60 µs	80,6	kV
1 kA 30/60 µs	82,7	kV
2 kA 30/60 µs	86,7	kV
Temporary overvoltage for 1 s	48,3	kV
Temporary overvoltage for 10 s	45,1	kV
Energy discharge capability - thermal	8,00	kJ/kVr
Energy discharge capability - impulse	4,00	kJ/kVr
Power Frequency withstand voltage (1min, wet), arrester complete	170	kV
Lightning impulse withstand voltage (1,2/50 µs), arrester complete	365	kV
Mechanical data		
Height (H)	705	mm
Minimum creepage distance	2390	mm
Number of units	1	
Weight (G)	20,3	kg
Color of housing	grey	
Cantilever load, static (Fstat)	3.970	N
Cantilever load, dynamic (Fdyn)	5.670	N
Drawing number	PTD H51 / 30010622.0020	
Accessories		
Line terminal	Flat terminal, compl.EL2 DIN	
Ground terminal	Basic acc. 3EL2-std ø200-ø276/3 isolated	

08.06.2006 PTD H 513 / 30010622.01 / RG

□ 특성소자의 특징.

Please find attached the U-I curve for the 3EL2042-2PF31-4KA1



□ 누설전류 값

The values are as follows :

Peak value resistive component :

at 100% Ur : 1.8 mA

at 60% Ur : 0.1 mA

at 40% Ur : 0.05 mA

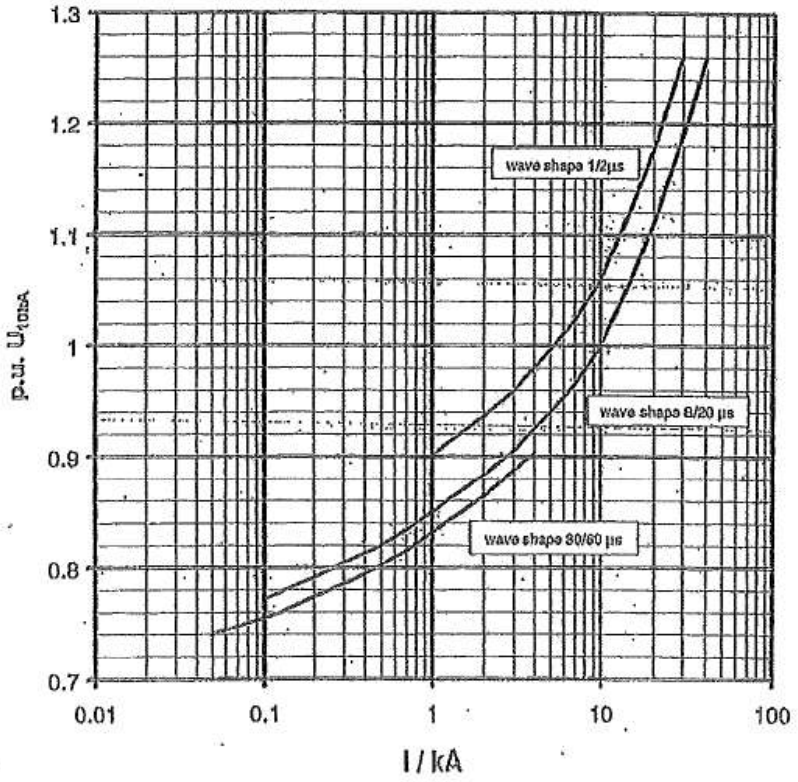
SIEMENS

Report No.: HBA 9463 P Sheet: 20

6.4 Residual voltage characteristic

6.4.1 Maximum specified values

In per unit of the residual voltage at 10 kA, 8/20 µs:

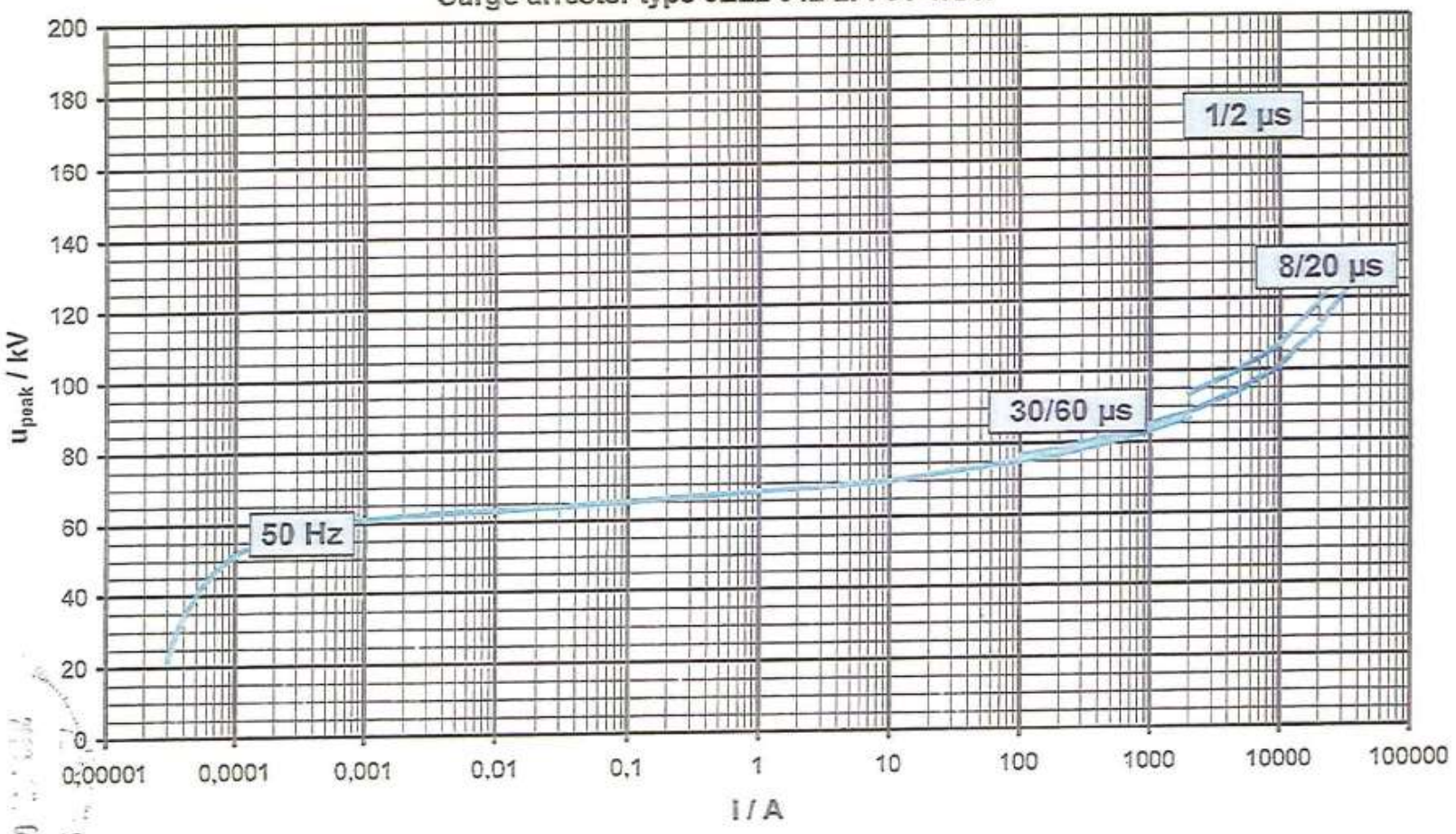


라. 피뢰기 시험성적서

SIEMENS

Voltage Current Characteristic

Surge arrester type 3EL2 042-2PF31-4KA1



22.04.2009 E T HP AR R&D1 Kruska

에너지절약 이제는 실천입니다

한국철도공사

수신자 수신자참조
(경유)
제목 전차선로용 피뢰기 제작사양서 승인 알림

1. 구매팀-1963('09.3.26)호 및 천호(영) 0904-2('09.4.27)호의 관련입니다.

2. 우리공사 계약번호 제1100006669호로 계약된 "전차선로용 피뢰기"의 제작사양서를 붙임과 같이 승인하여 알려드리니, 해당물품의 검사 및 인수에 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

붙임 제작사양서 승인 1부(벌송). 끝.

한국철도공사 사장

수신지 천호산업주식회사 대표이사, 한국철도공사연구원장(시험인증센터장), 한국철도공사수도권남부지사장(전기팀장), 한국철도공사수도권북부지사장(전기팀장), 한국철도공사경북남부지사장(전기팀장)

차장 김상진 전철팀장 전결 05/04

협조자

시행 전철팀-1012 (2009.05.04.) 접수 ( )

우 302-701 대전광역시 서구 선사로 139(둔산동 920) 정부대전청사 2동(1104호) /http://www.korail.com
전화 (042)609-3442 /전송 (042)609-4900 / ksj69@korail.com / 공개

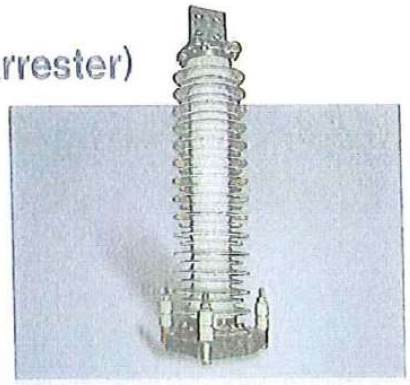
ter & Surge Counter



최근 지구의 환경변화로 지진, 폭우, 해일, 낙뢰 등의 기상이변에 의한 대형사고가 지구촌 곳곳에서 빈번히 일어나고 있다. 특히 낙뢰에 의한 뇌격전류가 커지고, 뇌격 빈도 또한 급격히 증가하고 있으므로, 주거환경과 산업시스템(가정용 전기전자 제품, 의료기구, 컴퓨터, 산업용 자동화기기, 항공 시스템)에 치명적인 손상을 초래하고 있다. 이에 써어지 보호장치와 피뢰기를 설치하고 있고 방전 계수기로 인해 이의 열화 및 수명을 예측할 수 있다.

전차선 피뢰기 (Lightning Arrester)





제품 특성



- 기미우미 뛰어난 플리미 소재
- 직입에 용이
- 오임에 강하다
- 뛰어난 밀수성
- 우수한 안정성
- 미신방지구조

전차선 피뢰기 (Lightning Arrester)의 형식 및 정격

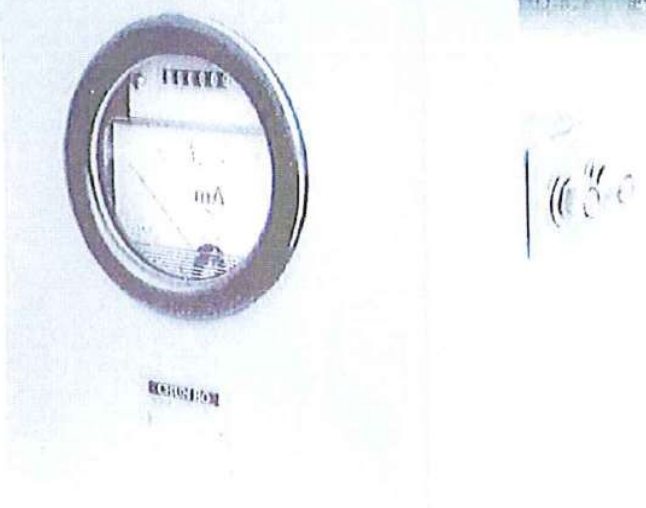
형 식	정격전압	연속운전전압	선로방전등급	공칭방전전류	단락전류
PS 42	42kV	34kV	Class 3	10kA	50kA

시험 및 검사

시험항목	참고시험	검사시험	비고
1. 절연저항시험	O	O	
2. 누설전류시험	O	-	
3. 등작개시전압시험	O	O	
4. 부분방전시험	O	-	
5. 외관구조검사	O	O	







제품특성

- 충격전류 동작 특성
- 장시간 충격전류 동작 특성
- 대전류 동작 특성
- 환경 특성
- 누설전류계

Surge Counter의 형식 및 정격

형 식	사용전압	선로방전등급	공칭 방전 전류	정격 주파수
CSK-10ZWA	Up to 345kV	Class 3	10 kA	50/60Hz

시험 및 검사

시험항목	인정시험	검사시험	비고
1. 구조검사	O	O	
2. 환경시험	O	-	10kA, 10회
3. 급준충격전류 동작시험	O	-	1kA, 10kA, 1~20㎲
4. 뇌충격전류 동작시험	O	O	1kA, 10kA, 8~20㎲
5. 개폐 충격전류 동작시험	O	-	250A, 1000A 30~100㎲
6. 장시간 충격전류 동작시험	O	-	1.3Ur, 2400T(㎲), 2.8Ur
7. 대전류 동작시험	O	-	100kA, 3.5~4.5㎲
8. 누설전류 동작시험	O	O	1mA, 2mA, 3mA

※ 시험 및 검사는 인정시험과 검사시험으로 구분하고 시험항목은 위 표와 같으며, IEC60099-4(2004)의 시험방법과 절차를 준용한다.

泉湖産業株式會社
본사/서울시 금천구 시흥동 983-8 2F TEL : 02)895-6301 FAX : 02)895-6306
공장/경기도 안성시 죽산면 두현리 457 TEL : 031)675-6804 FAX : 031)675-0753

시 험 성 적 서

▣ 품 명 Fuse Disconnecting Switch(휴즈단로기)
▣ 정 격 36KV 200A
▣ 형 식 철도지시설명서
▣ 제 조 자 천호산업㈜

▣ 시험기간 2011.10.07
▣ 시험방법 신청자 요구
▣ 수량/단위 3 set
▣ 시 험 자 정영준

▣ 시 험 결 과

번호	시험항목	시험기준 / 번호	NO.1	NO.2	NO.3
1	구조 및 외관검사	시방	양	양	양
2	무전압개폐시험	20회 시험시 이상이 없을 것	양	양	양
3	상용주파내전압시험	AC 60kV의 전압을 1분간 인가시 이상이 없을 것	양	양	양
4	절연저항측정	DC 1000 V 절연저항계로 측정함	1000 ㏁ 이상	1000 ㏁ 이상	1000 ㏁ 이상
종 합 판 정			양	양	양

우편번호 456-892
경기도 안성시 죽산면 두현리457
천 호 산 업 주 식 회 사
대표이사 이 강 섭
전 화 번 호 : 031 - 675 - 6803

시 험 성 적 서

공인시험기관

발송번호 : 2009RC01267호 (2009.12.29)

신청자 : 천호산업(주)

주 소 : 서울특별시 금천구 시흥동 956 3F

641-120
경남 창원시 성주동 28-1
한국전기연구원장
TEL : (055) 280-1510~9
FAX : (055) 280-1512
홈페이지 : http://www.keri.re.kr

접수 No. TRA09C01279 (2009.12.10)

No	품 명	규 격	수 량	단위	종합판정
1	피뢰기	42 kV 10 kA	10	개	참고시험

봉인 , 검표 부착 없음

이 하 여 백

원본대조필

수 용 가 명	한국원도*****
비 고	- 본 제품은 수입품임 - 본 성적서는 "참고시험" 으로서 성적서 이외의 성능은 보증할 수 없음 "본 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다."

※ 시험결과 별첨
※ 시험결과는 시험을 실시한 제품에 한함.
※ 본 성적서의 복사본은 무효임
※ 위 성적서는 국제시험기관인정협력체(ILAC)상호인정협정(MRA)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

한국전기연구원

"한국전기연구원의 확인 및 KERI 로고가 없는 용지를 사용한 사본은 무효임."

작성	문인욱
승인 (기술책임자)	정주영

KERI

DF-CA-21/01/01

1 / 5

시 험 결 과

▣ 접수번호 TRA09C01279
▣ 품 명 피뢰기
▣ 정 격 42 kV 10 kA
▣ 형 식 —
▣ 제 조 자 천호산업(주)

▣ 시험기간 2009. 12. 25 ~ 2009. 12. 25
▣ 시험방법 신청자 제출시방
▣ 수량/단위 10 개
▣ 시 험 자 문안욱

▣ 시 험 결 과

번호	시험항목	시험기준 / 제번	CH090924	CH090925	CH090926
1	구조검사	시방	양	양	양
2	절연저항측정	DC 1 000 V 절연저항계로 측정함	1000 MΩ 이상	1000 MΩ 이상	1000 MΩ 이상
3	듐작개시전압시험	교류전압 인가시 내부요소를 흐르는 저항분전류의 파고치가 1 mA일때 인가전압의 실효치가 37.8 kV 이상일 것	양	양	양
종 합 판 정			참고시험	참고시험	참고시험
비고	- 본 제품은 수입품임 - 본 성적서는 "참고시험" 으로서 성적서 이외의 성능은 보증할 수 없음				

원본대조필

한국전기연구원

시 험 결 과

▣ 접수번호 TRA09C01279
▣ 품 명 피뢰기
▣ 정 격 42 kV 10 kA
▣ 형 식 ——
▣ 제 조 자 천호산업(주)

▣ 시험기간 2009.12.25 - 2009.12.25
▣ 시험방법 신청자 제출시방
▣ 수량/단위 10 개
▣ 시 험 지 문인숙

▣ 시 험 결 과

번호	시험항목	시험기준 / 제번	CH090927	CH090928	CH090929
1	구조검사	시방	양	양	양
2	절연저항측정	DC 1 000 V 절연저항계로 측정함	1000 MΩ 이상	1000 MΩ 이상	1000 MΩ 이상
3	동작개시전압시험	교류전압 인가시 내부요소를 흐르는 저항분전류의 파고치가 1 mA일때 인가전압의 실효치가 37.8 kV 이상될 것	양	양	양
종 합 판 정			참고시험	참고시험	참고시험
비고	- 본 제품은 수입품임 - 본 성적서는 "참고시험" 으로서 성적서 이외의 성능은 보증할 수 없음				

원본대조필

한국전기연구원

시 험 결 과

▣ 접수번호 TRA09C01279
▣ 품 명 피뢰기
▣ 정 격 42 kV 10 kA
▣ 형 식 ----
▣ 제 조 자 천호산업(주)

▣ 시험기간 2009.12.25 ~ 2009.12.25
▣ 시험방법 신청자 제출시방
▣ 수량/단위 10 개
▣ 시 험 자 문인묵

▣ 시 험 결 과

번호	시험항목	시험기준 / 제번	CH090930
1	구조검사	시방	양
2	절연저항측정	DC 1 000 V 절연저항계로 측정할	1000 MΩ 이상
3	동작개시전압시험	교류전압 인가시 내부모소를 흐르는 저항분전류의 파고치가 1 mA일때 인가전압의 실효치가 37.8 kV 이상일 것	양
종 합 판 정			참고시험
비고	- 본 제품은 수입품임 - 본 성적서는 "참고시험" 으로서 성적서 이외의 성능은 보증할 수 없음		

원본대조필

한국전기연구원

3. 피뢰기를 활용한 접촉식 신호결합기 제작

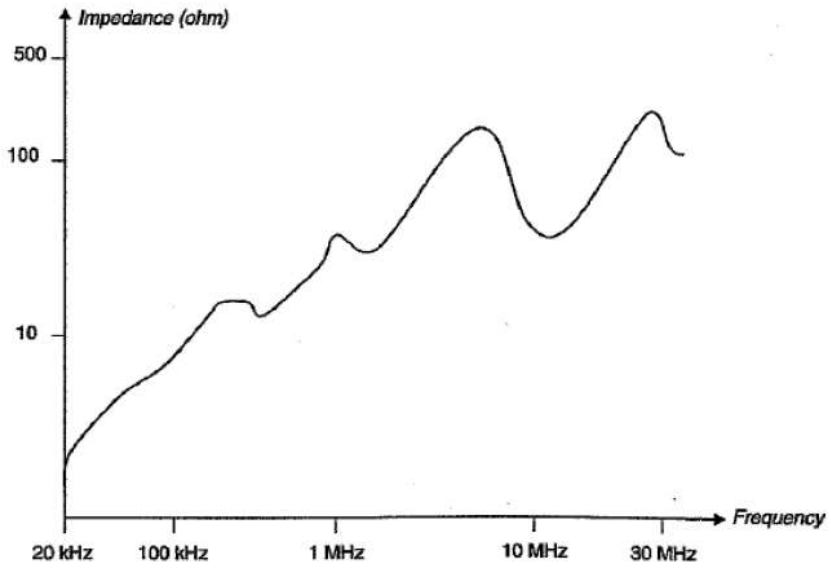
가. 접촉식신호결합기 제작사유

전력산업분야에서 상용화 되어있는 접촉식 결합기의 내압성능이 전기철도의 기준에 미달 하므로 전기철도에 상용화되어있는 피뢰기를 활용하여 전기철도용 접촉식 신호결합기를 제작 한다.

나. 피뢰기를 활용한 접촉식 신호결합기 제작

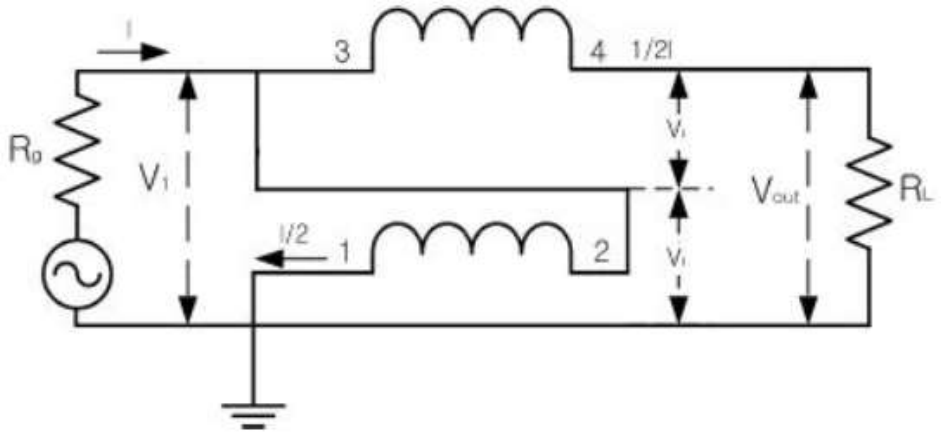
대지귀로 방식을 사용하였을 때 고압배전선로의 입력 임피던스는 특성 임피던스의 절반에 해당하는 약 250Ω에 수렴하므로 전력선통신 모뎀의 신호를 싣는 동축케이블의 특성 임피던스는 대부분 50Ω 이거나 75Ω 이기 때문에 고압 전력선과의 임피던스 정합이 필수적 이다

고압배전선로의 입력 임피던스와 정합을 위해서 신호결합장치 밑단에 정합을 위한 트랜스포머를 내장 하여야 한다.



[그림 4-3-1] 저압 전력선 임피던스 특성곡선

다. 1:4 전송선로 트랜스포머의 구성

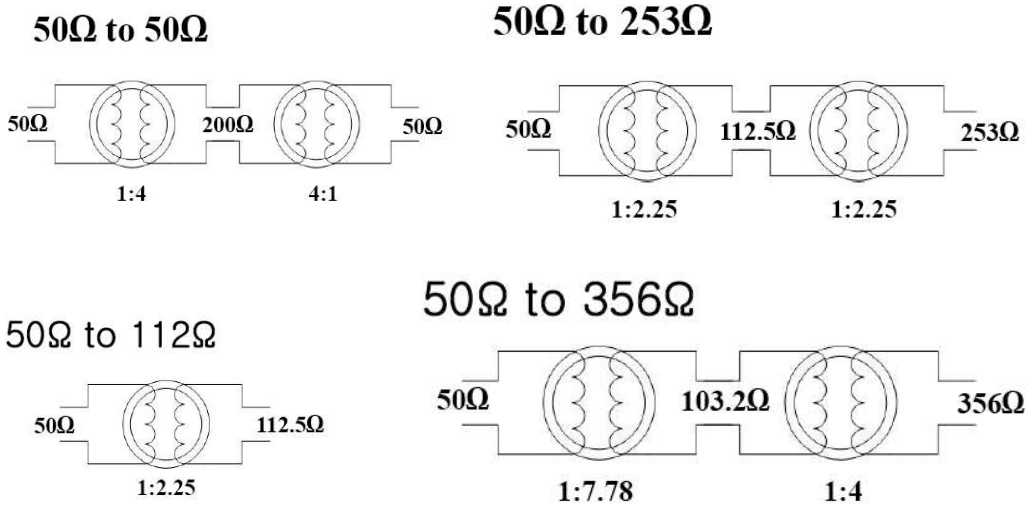


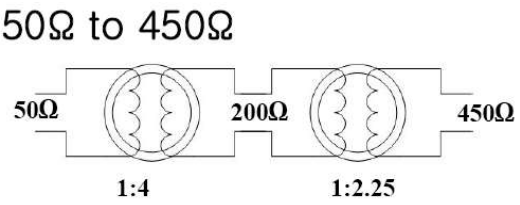
[그림 4-3-2] 전송선로 트랜스포머의 구성도

$$R_g = \frac{V_1}{I}, \quad R_L = \frac{2V_1}{\frac{I}{2}} = \frac{4V_1}{I} = 4R_g$$

R_g와 R_L의 저항비가 임피던스 구성비를 나타냄
R_g는 전력선통신모뎀과 연결되는 동축케이블의 특성 임피던스를 의미함.
R_L은 고압전력선의 입력 임피던스를 의미함.

라. 임피던스별 전송선로 트랜스포머의 구성





[그림 4-3-3] 임피던스별 전송선로 트랜스포머 구성도

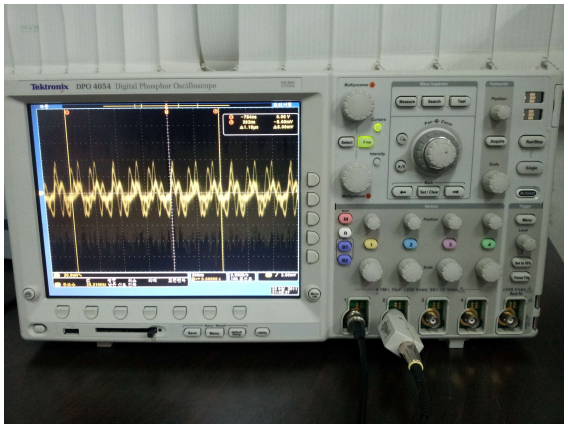


[그림 4-3-4] 제작전 전기철도 피뢰기

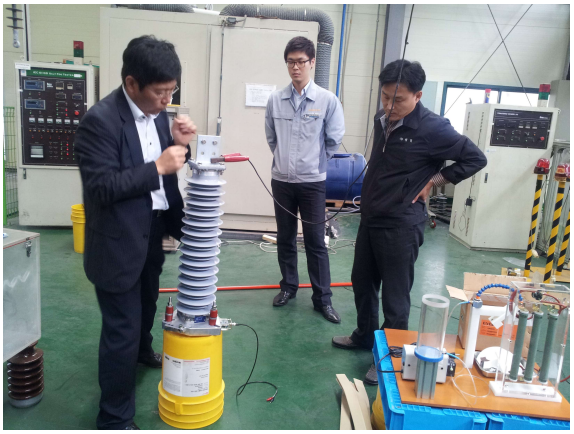


[그림 4-3-5] 전기철도 피뢰기 성능시험 환경구축





[그림 4-3-6] 피뢰기의 전력선통신 성능시험





[그림 4-3-7] 피뢰기를 활용한 접촉식신호결합기 내압시험

마. 결론

피뢰기의 정접압특성(2~5nF) 및 내압특성(50KV)을 이용하여 접촉식 신호결합기를 제작한 결과 전력선통신을 위한 충분한 기능을 발휘한다. 또한 내압특성 및 전압특성을 전기철도에 적합한 사양으로 제작, 시험, 승인 된 검증된 장비이므로 전기철도 활선에서 전력선통신을 하기위한 조건을 모두 갖추었다.

제4절 전력선통신 시험 환경구축

1. 일반사항

가. 전기기관차

전기기관차는 동력을 집중으로 배치한 동력집중방식의 차량으로 여객전용의 객차와 화물전용의 화차에 겸용으로 사용되고 있다. 산업선 전철화 당시 급구배와 심한 곡선로, 속도제한 등을 감안하여 기관차의 성능은 큰 견인력이 필요했으며, 대형 기관차의 최대 출력이 3,000마력인데 비해 전기기관차는 5,300마력으로 견인력이 크게 향상되었다. 또한 고속철도에 운행하는 KTX는 18,000마력의 출력으로 20량의 객차를 대량, 고속으로 수송하므로 써 수송력을 대폭 증가시키고 있다.



[그림 4-4-1] KTX-산천과 8200호대 신형전기기관차

1) 82000호대 전기기관차의 기술적 사양

8200호대 전기 기관차는 오이로슈프린터(유로스프린터, 독일어: EuroSprinter) 2세대 화물형인 ES64F(도이체반 152계)를 원형으로 하여 한국철도 운용 환경에 맞추어 조정한 기관차이다. 지멘스에서 유명한 VVVF 인버터 계열인 SIBAS32계열 전장품을 사용하며, 1300 kW급 전동기 4개로 양당 출력 5200 kW(7000 마력 상당)를 낼 수 있다.

대차는 Bo'Bo'의 4축으로 배열되어 있으며 회생제동과 병용하는 공기제동을 채택하

였고, 대차의 제동은 답면제동이 아니라 차륜 외부의 디스크에 의해 제동력이 전달되는 방식이다. 최고속도는 150 km/h이나 간단한 설계 변경만으로도 220 km/h까지 증속할 수 있다. 통합된 열차 관리 시스템을 채용하고 있어 검수와 운전 편의를 도모하고 있다. 운전실에는 기관사의 편의를 위한 고급화된 버켓시트, 터널 진입 시 압력 변화를 방지하는 조압 장치가 설치되어 있으며, 뒤쪽 벽에는 소용량 냉/온장고를 갖추었고, 전동 창문을 사용하는 등 여러 가지 승무 편의 시설을 채택하고 있다. 8200호대 전기 기관차에는 처음으로 객차에 전원을 공급하는 보조 전원 장치(HEP)가 채용되었다. 최대 12량의 객차에 전원 공급이 가능하며 절연구간 진입 시 전차선으로부터 전원공급을 차단하는 대신 기관차에 순간적으로 회생제동을 걸어 나오는 전력으로 객차에 전원을 계속 공급할 수 있다



[그림 4-4-2] 역내에 정차중인 8200호대 전기기관차

2) 82000호대 운행구간

처음 8200대 도입 후 전철화가 완료된 경부선 천안-조치원 구간과 충북선에서 시험운행을 하였으며 4~6량 단위 영업운행도 병행되었다. 이후 중앙선, 태백선 등으로 범위가 점차 넓어졌다. 이후 경부선 조치원-대전 구간 전철화로 2006년 7월 1일부터는 용산-목포(광주)간의 새마을호, 무궁화호 열차를 견인하기 시작해 처음으로 150km/h 고속운행을 실시하였다. 또한 이후 서울-대전 무궁화호에도 투입되었으며 동시에 이루어진 영동선 동해-강릉 구간 전철화로 청량리-강릉 간의 새마을호, 무궁화호 열차의 중간 기관차 교체가 사라졌다. 2007년 경부선 전 구간의 전철화로 서울-부산간의 무궁화호 견인도 시작하였다. 또 2008년 12월부터는 청량리-안동(-부전)간 새마을호, 무궁화호 일부 열차의 중간 기관차 교체가 시작되었고 2009년 12월부

터는 경부선 오봉-가야 컨테이너 화물열차 견인도 시작하면서 경부선 거의 전 구간에 전기 기관차가 운행하게 되었다. 2010년 3월부터는 영동선 강릉-동대구 간 무궁화호 열차에 중간 기관차 교체를 하여 운행하게 되었고 2011년 10월부터 경전선 서울-마산 구간과 전라선 여수엑스포-익산/용산 구간에도 전기기관차가 운행하게 되었다.

3) 82000호대 제원

- 전기 방식 교류 25,000 V 60 Hz , 제어 방식 VVVF - GTO, 기어비 6.294:1
- 차륜 배열 Bo'Bo', 영업 최고 속도 150 km/h, 설계 최고 속도 220 km/h
- 전동기 출력 5,200 kW, 견인력 330 kN, 전장 19,850 mm, 전폭 3,000 mm
- 전고 3,860 mm, 차량 중량 88 t, 축중 22 t, 궤간 1,435 mm , 구동 장치 유도전동기
- 제동 방식 회생제동병용 공기제동, 보안 장치 ATS,ATP, 제작사 지멘스, 현대로템 (면허생산), 제작 연도 2003년~2009년

나. 전차선 피뢰기

교류 25kV 전차선로에서 뇌 또는 회로개폐에 의한 과전압을 제한하며 속류를 차단하는 보호장치로써 폴리머재질의 하우징내에 갭이 없는 산화아연형 폴리머피뢰기를 사용하며 본 연구에서는 신호결합기 대용으로 독일(지멘스)에서 핵심부품을 수입하여 국내(천호산업)제작된 전차선용 피뢰기를 사용하였다.



[그림 4-4-3] 피뢰기 시험

1) 적용규격

정격전압 42㎸, 연속운전전압 34㎸, 정격주파수 60㎐, 공칭방전전류 10㎄, 선로방전등급 3Class, 단락회로특성(0.2s) 65㎄

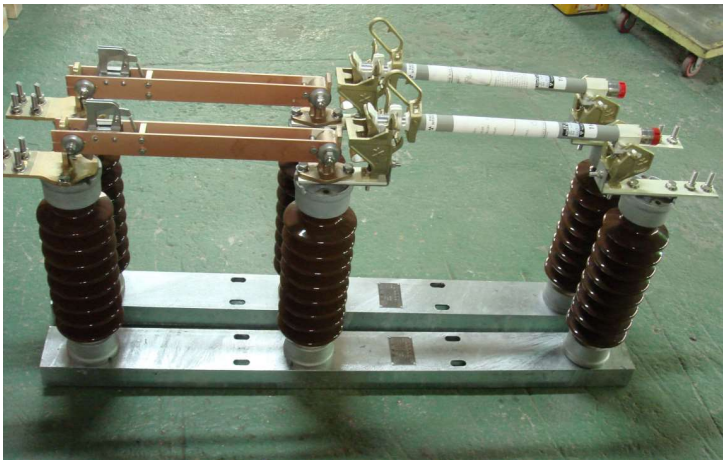
2) 제작 후 검수시험

피뢰기의 성능은 한국철도표준규격 KRS 0004-06에 만족하여야 하며, 다음과 같은 검수시험을 실시한다. 시험은 한국철도표준규격 4항 시험 및 검사규격에 의거 시험수량 및 시험방법을 정하여 진행하며 피뢰기 열차별 사용현황은 다음과 같다.

[표 4-4-1] 차량별 규격 사양

메 이 커	
형 식 명	
표 준 전 압	
정 격 전 압	
연 속 사 용 전 압	
공 칭 방 전 전 류 (8/20us)	
동 작 개 시 전 압 (기 준 전 압 측 정)	

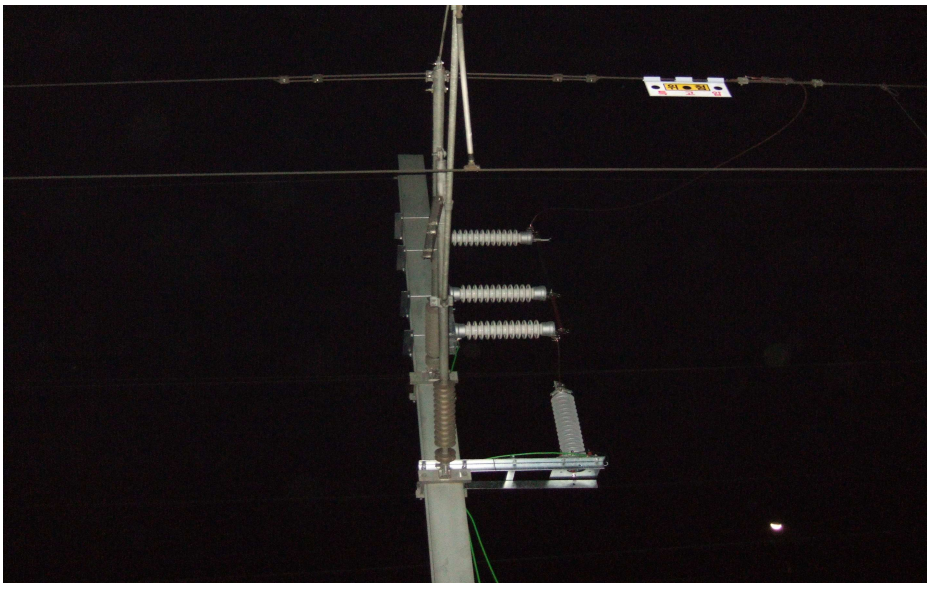
다. 휴즈단로기(FDS)



[그림 4-4-4] 휴즈붙이 수동단로기(FDS)

전력선통신(PLC)을 위해서는 활선중인 전차선에 신호결합기 대용으로 피뢰기를 취부하게 되며, 피뢰기의 절연파괴 등의 사고로 열차운행에 지장을 주지 않기 위해 전차선과 분리할 수 있는 휴즈붙이 분리용단로기(1 Pole Hand Disconnecting Switch)를 취부 하였다. 휴즈는 정격전류 1A용으로 피뢰기 이상 발생 시 동작하여 전차선 회로를 쉽게 분리될 수 있도록 하였다.

○ 휴즈단로기 제원 : 정격주파수 60㎐, 정격전압 36㎸, 정격전류 200A, 최대 정격전류 12.5㎄



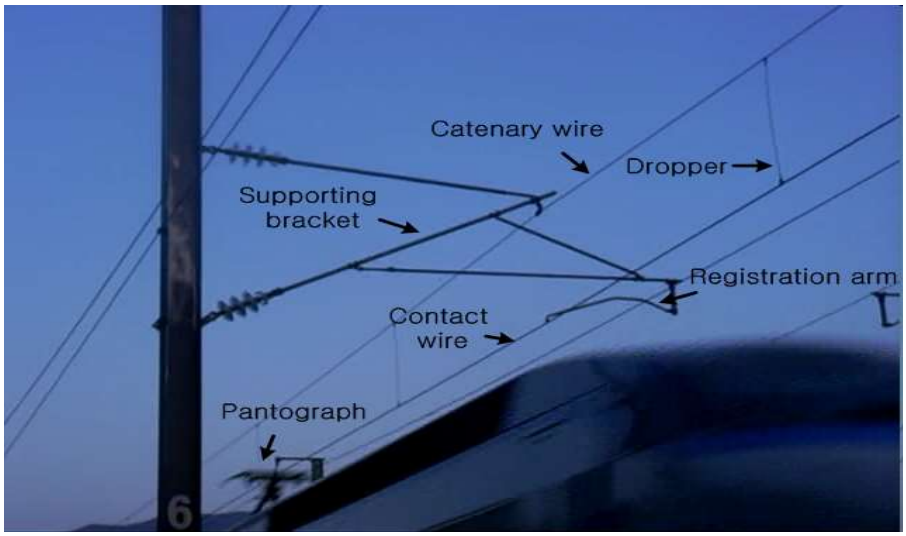
[그림 4-4-5] 전철주에 설치된 휴즈붙이 수동단로기

라. 전차선로 가선방식

전차선로에는 현수형태에 따라 심플 커티너리(Simple catenary), 변Y형 커티너리(Stitched catenary), 컴파운드 커티너리(Compound catenary) 등의 타입이 있으며, 각 나라의 여건에 따라 적절한 형태로 개발 및 발전되어 왔다.

1) 심플 커티너리 방식

심플 커티너리는 집전성능이 가선의 정적 탄성특성(Static elasticity)보다는 진동특성에 더 크게 영향받는 원리를 이용하여 드롭퍼 간격조정을 통해 탄성의 불균일성을 감소시킴과 함께 장력을 높여 단순 구조화를 실현한 설계이다. 심플 커티너리는 프랑스, 우리나라 및 일본의 차세대 고속전철 시스템에서 채택하고 있다. 경부고속철도는 조가선의 장력을 14[kN], 전차선의 장력을 20[kN]으로 하고, 가고를 1,400[mm]로 하여 심플 커티너리 방식으로 운행되고 있다.



[그림 4-4-6] 심플 커티너리 방식

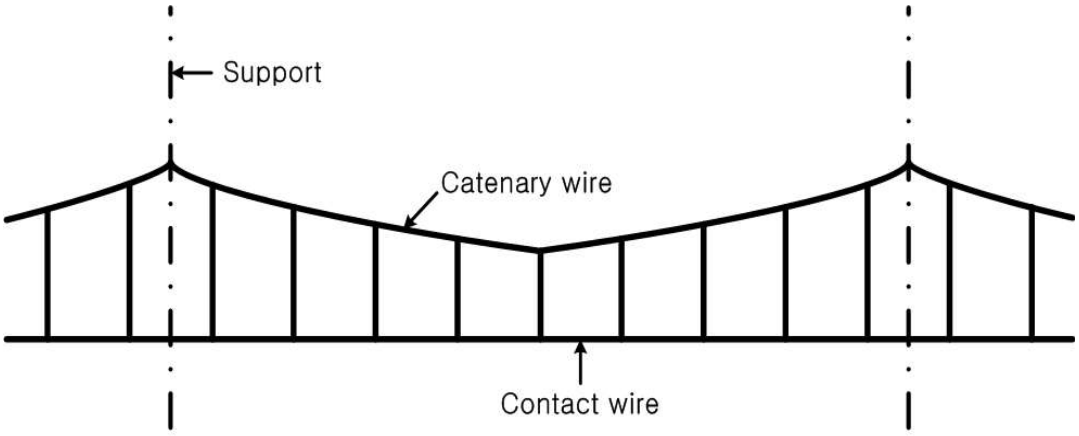
위의 그림은 심플 커티너리 방식의 경부고속선 전차선로를 보여주고 있다. 심플 커티너리 방식의 전차선로 구조를 상세히 살펴보면 전차선(Contact wire), 조가선(Catenary wire), 드롭퍼(Dropper), 지지브라켓(Supporting bracket) 및 곡선당김금구(Registration arm)로 구성되어 있다. 전차선은 주기적으로 설치된 드롭퍼에 의해 조가선에 지지된다. 조가선은 지지브라켓에 의해 지지되며 곡선당김금구는 활 모양으로 휘어져 있는 형상을 한 금구로 전차선이 편위(Stagger)를 가지도록 설치되어 있다.

2) 변Y형 커티너리

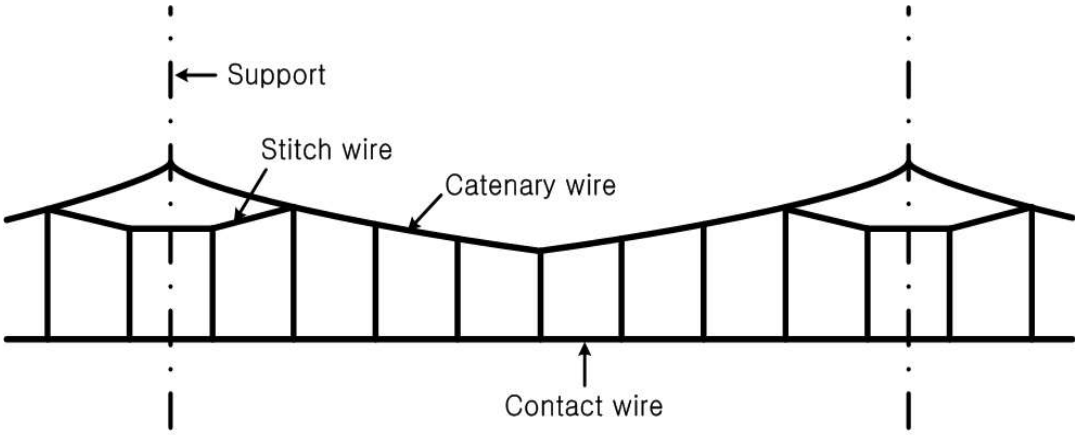
변Y형 커티너리는 전철주 지지점에서의 큰 강성도를 분산시키기 위해 Stitch선을 추가한 구조로서 비교적 단순한 구조이면서 어느 정도의 균일한 탄성을 확보할 수 있는 이점이 있어 독일 및 스페인에서 채택하고 있는 타입이다. 그러나 동역학 시뮬레이션을 해보면 드롭퍼가 유연한(Flexible)케이블로 되어 있어 조가선 지지점에서의 탄성변화는 드롭퍼(Dropper)의 간격조정 등을 통해 심플 커티너리에서도 극복할 수 있는 것으로 밝혀지고 있다.

3) 컴파운드 커티너리 방식

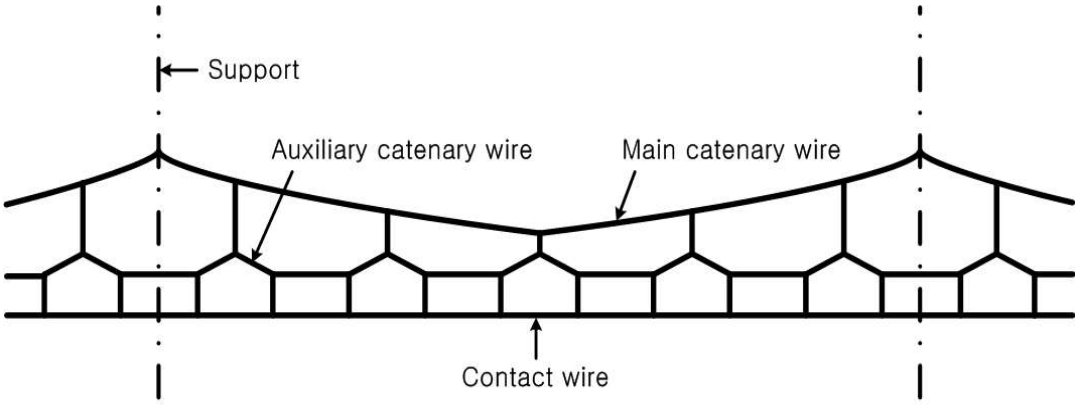
컴파운드 커티너리는 일본 신간선의 표준가선으로 열차가 동력분산식이기 때문에 다수 팬터그래프를 갖게 되고, 따라서 팬터그래프간 거리가 짧게 되어 상호진동의 간섭에 의한 공진 및 이선이 심각하게 되므로 전차선에서 일정한 탄성을 유지하는데 중점을 둔 구조이다.



Simple catenary



Simple catenary with stitch wire



Compound catenary

[그림 4-4-7] 전차선로 가선방식

마. 전차선로의 기계적 특성

정적해석이라 함은 팬터그래프와 같은 외부작용이 없는 상태에서 커티너리 구조에 대한 특성 해석을 의미한다. 정적해석은 드롭퍼의 길이 계산에서부터 탄성도 특성, 불균일율 파악, 고유주파수 해석, 정적 압상량 파악 등이 있고, 이외에도 파동전파속도, 반사계수, Doppler 계수, 증폭계수 등 각종 커티너리 특성을 나타내는 계수의 파악 등도 이 범주와 관련이 있다고 할 수 있다. 정적해석의 결과는 그 자체로서 커티너리가 갖추어야 할 기본 설계 조건을 제시하는 경우도 있겠지만 대체로는 팬터그래프와의 동력학 특성을 미리 예측하는 자료로서 사용된다.

전기철도의 전원공급은 궤도면 위 일정한 높이에 가설된 전차선과 전기차의 집전장치를 통하여 공급하게 되는데 전차선과 팬터그래프 사이의 동력전달은 동역학적 운동 등의 기계적 특성에 대단히 민감하여 이러한 접촉력 패턴에 대한 집전특성은 열차운전에 있어 가장 중요한 요소가 된다. 집전특성을 판단하는 방법으로는 다음과 같은 것이 있다.

1) 이선현상

팬터그래프와 전차선은 계속 접촉된 상태로 있어야 하나 팬터그래프의 이동에 따라 순간적으로 이탈이 발생하며 이러한 현상을 이선현상이라고 한다. 이선은 전기적으로 불완전한 접촉을 발생시켜 아크를 일으키며, 이로 인해 전차선과 팬터그래프의 이상마모 및 손상을 가져온다. 그러므로 차량의 이동 중에 생기는 이선현상은 열차의 속도를 결정하는 중요한 요소가 된다.

이선의 정도를 이선율이라 하고 식 (1), (2)로 표시한다.[그림 4-4-414] 전차선로 가선방식

$$\text{이선율} = \frac{\text{일정구간 주행시 이선시간의 합}}{\text{일정구간 주행시간}} \times 100[\%] \quad (1)$$

$$= \frac{\text{일정구간 주행시 이선하여 주행한 거리의 합}}{\text{일정구간 주행거리}} \times 100[\%] \quad (2)$$

일반적으로 전철의 속도향상은 이선율을 얼마나 작게 하느냐로 말할 수 있으며, 일반전철에서는 3[%]이하로 제한하고 있고, 고속철도에서는 1[%]이하로 제한하고 있다. 이선율은 접전성능과 팬터그래프 슬립면(Contact Strip)의 마모정도를 나타내는 주요 성능지수로서 가능한 한 낮아야 한다.

2) 탄성률

전차선로는 일반적으로 한 경간마다 지지해 주는 지지점을 갖게 되므로 위치에 따른 탄성이 균일할 수가 없으며 일정간격 즉, 한 경간마다 주기적으로 탄성이 변하는 특성을 갖게 된다.

한 경간 내에서 위치에 따른 탄성(elasticity)을 구하는 방법으로는 해석적으로 구하는 방법과 실험적으로 구하는 방법 등이 사용되어 왔다. 해석적 방법 중에서 유한요소법은 높은 정확도의 탄성해석결과를 제공하는 것으로 알려지면서 이 기법이 전차선로 탄성을 구하는 데에도 적용되고 있다.

전차선로는 어느 정도의 탄성을 가지고 있기 때문에 고속운전을 위해서는 탄성을 가능한 낮추어야 한다. 탄성률(e)은 식 (3)으로 표시된다.

$$e = \frac{S}{K(T_t + T_m)} [mm/N] \qquad (3)$$

여기서, S : 전주경간[m], T_t : 전차선의 장력[kN]
T_m : 조가선의 장력[kN], K : 상수

탄성률은 경간이 짧을수록 전차선, 조가선의 장력이 클수록 작아져 가선특성이 좋아진다.

3) 비균일률

전차선로는 경간 중앙 및 지지점에서 각기 다른 탄성을 갖고 있으므로 이들 두 개소에서의 탄성을 가능한 일정하게 유지하여야 한다. 한 경간에 걸친 전차선로의 탄성 변화를 평가하는 방법으로 비균일률(U)은 식 (4)로 표시된다.

$$U = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} [\%] \qquad (4)$$

여기서, E_{max} : 경간 중앙의 탄성, E_{min} : 지지점의 탄성

4) 반사계수

반사계수는 전차선로의 기술적 데이터에 의해 정해지며 식 (5)로 표시된다.

$$r = \frac{\sqrt{T_m \cdot m_m}}{\sqrt{T_m \cdot m_m} + \sqrt{T_t \cdot m_t}} \quad (5)$$

여기서, m_m : 조가선의 단위 길이당 질량[kg/m]

m_t : 전차선의 단위 길이당 질량[kg/m]

T_m : 조가선의 장력[kN]

T_t : 전차선의 장력[kN]

5) 도플러계수

운전속도에 따라 달라지는 전차선로의 동적작용은 도플러계수에 의해 접근할 수 있다. 도플러 계수는

$$\alpha = \frac{C - V}{C + V} \quad (6)$$

여기서, V : 운전속도[m/sec]

C : 파동전파속도[m/sec]

6) 증폭계수

반사계수(r)와 도플러계수(α)의 비를 증폭계수라 하고 증폭계수(γ)는

$$\gamma = \frac{r}{\alpha} \quad (7)$$

여기서, 도플러 계수가 0에 가까워지면 증폭계수는 무한대로 되게 되는데 이는 운전속도가 전차선의 파동전파속도에 접근하는 경우가 된다.

파동반사에 의한 접촉력의 변동은 증폭계수가 1보다 큰 경우에는 팬터그래프가 파동이 반사되는 위치에 가까우면 가까울수록 접촉력의 변동이 커지고, 증폭계수가 1보다 작은 경우에는 접촉력 변동이 적어지게 된다고 한다. 경험상 반사파에 의한 이선을 저감하기 위하여 전차선로의 설계시 증폭계수를 2.5 이내로 둔다고 한다.

7) 무차원화비

무차원화비란 파동전파속도와 열차속도의 비를 말하며 다음과 같이 표시된다.

$$\beta = \frac{V}{C} \qquad (8)$$

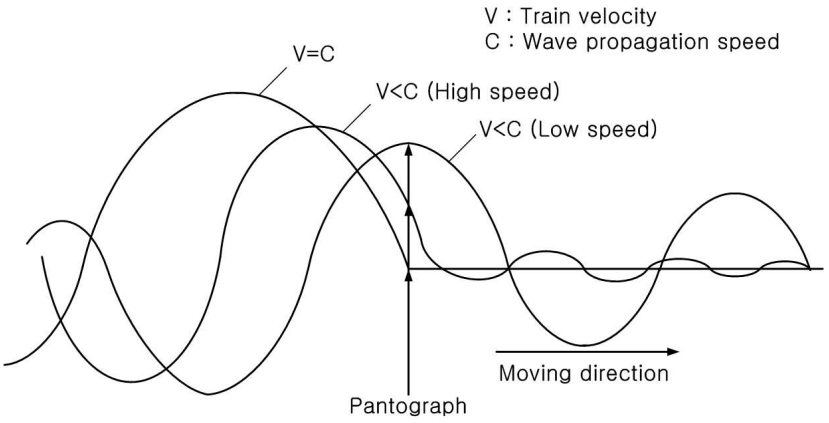
여기서, V : 열차속도[m/sec]

C : 파동전파속도[m/sec]

무차원화비가 작을 때 즉 열차속도가 낮을 때에는 팬터그래프의 접촉점의 압상량은 적어지게 되고, 무차원화비가 1에 가까우면 즉 열차속도가 파동전파속도에 가까우면 팬터그래프의 이선, 전차선 압상량 및 응력이 급격히 증대하여 전차선이 휘어져 꺾이게 되며, 팬터그래프가 통과한 뒤에는 진폭이 크게 되어 이선 현상이 심해진다. 또한 과도한 압상량은 가선금구의 접촉과 파괴를 야기시키기도 하고 전차선의 변형과 단선을 유발하기도 한다. 따라서 가선의 영업속도에 알맞은 무차원화비는 대략 70[%]에 기준으로 하고 있다.

바. 전차선 진동

팬터그래프의 주행속도가 파동전파속도에 접근하게 되면 이선에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보기 위하여 팬터그래프가 저속, 고속, 파동전파속도로 주행하는 3가지 경우에 대하여 확인하고자 한다.



[그림 4-4-8] 팬터그래프 주행속도에 따른 전차선 진동모습

팬터그래프가 저속으로 주행하는 경우에는 팬터그래프에 의해 전차선에 가해지는 외란이 전 · 후방으로 퍼지게 되어 전차선의 변위는 팬터그래프를 중심으로 거의 대칭이 되나 고속으로 주행하여 파동전파속도에 보다 접근하는 경우에는 팬터그래프에 의한 외란이 전방보다는 후방에 전달되어 팬터그래프의 후방에 위치한 전차선의 변위가 전방에 위치한 전차선의 변위보다 크게 되어 팬터그래프의 위치에서 전차선이 음의 구배를 가지게 된다. 이러한 음의 구배를 갖는 전차선을 주행하는 팬터그래프는 아래 방향으로 내려가는 관성력을 받게 되어 경간 지지점과 같이 강성변화가 생

기는 곳에서 전차선을 추종할 수 없어 이선이 생기게 된다. 팬터그래프의 주행속도가 파동전파속도와 같게 되면 한번 이선이 생기게 되는 경우에 팬터그래프와 전차선 사이의 갭이 지속적으로 팬터그래프를 따라 가게 되어 집전을 할 수 없게 된다.

또한, 전차선에 걸리는 응력은 주행속도 대 파동전파속도의 비에 의존한다. 해석적인 방법을 이용하여 구한 전차선의 동적 굽힘 응력은 아래식과 같이 표현되는데 주행속도가 파동전파속도와 같게 되면 이론적으로 굽힘 응력이 무한대가 된다.

$$\sigma = \frac{F}{2Z} \cdot \sqrt{\frac{EI}{T}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-(V/c)^2}}$$

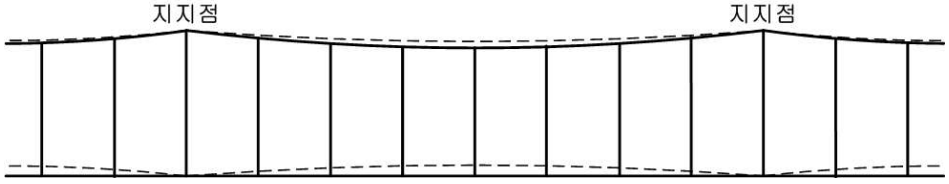
여기서, F, Z, EI, T, V, c는 압상력, 단면계수, 강성, 장력, 주행속도, 파동전파속도를 나타낸다.

사. 사전이도

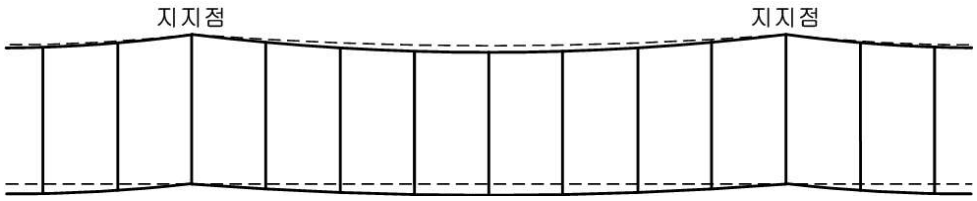
전차선의 양호한 가선특성은 등고, 등요 및 등장력에 있다. 등고는 레일과 전차선간의 높이가 일정한 것을 의미하는데 이는 정적인 상태에서는 일정하지만 열차가 진행하는 동적인 상태에서는 팬터그래프의 압상력 등으로 변동하게 됨으로서 등고가 되지 않는다. 지지점과 경간간의 탄성률의 값이 다르므로 비균일한 형상이 나타난다. 따라서, 비균일율이 적으면서 동적인 상태에서도 가능한 등고를 유지하려는 가선 방법의 하나가 사전이도(Pre-sag)라 할 수 있다.

사전이도는 경간과 경간사이에 전차선의 높이를 등고로 가설하지 않고 처음부터 어느 정도 이도를 줌으로서 전차선이 처진상태가 되도록 가선한 구조를 말한다. 시공방법은 첫 번째 드롭퍼와 마지막 드롭퍼간에 이도값을 고려하여 모든 드롭퍼 길이를 정확히 계산 및 제작하며 시공한다.

고속차량이 운전할 때 압상력은 점선으로 표시된 부분이며 이를 최소화하기 위해 드롭퍼 첫 번째 드롭퍼와 마지막 드롭퍼간 사이에 사전 이도를 주어 압상력을 최소화하고자 한다.



[그림 4-4-9] 전차선 수평가선



[그림 4-4-10] 전차선 사전이도 가선

사전이도는 정적인 상태에서 이도가 있어 등고가 아니지만 동적인 상태에선 등고를 유지하도록 하여 비균일률이 적게 되도록 하는 것으로서 가선 특성이 향상된다. 한국고속철도의 사전이도값은 경간/2,000으로 결정한다. 사전이도의 단점은 유지관리상 전차선을 조정할 경우 사전이도값 조정 및 유지관리가 어렵다.

2. 전차선로 전력품질

가. 필요성

전기철도의 부하 특성은 일반적인 전력계통 부하와는 달리 단상의 대용량 부하로서 시시각각 급격히 변화하는 비선형 부하이다. 또한 전기차량의 견인전동기 및 제어회로 특성으로 인한 고조파의 발생 또한 심하게 나타나고 있다. 이러한 부하 특성으로 인하여 전압강하, 전압 불평형, 고조파 왜곡, 역률 불량과 같은 전력품질이 저하되는 문제를 가지고 있다. 또한, 급변하는 부하특성에 의해 무효전력이 불규칙하고 크게 나타나며 이는 전력계통 전체의 효율을 저하시키는 요인으로 작용하고 있다.

일반적으로 전력품질이 나쁘면 제어시스템이 갑작스럽게 정지하거나, 메모리의 손실, 변경, 리셋 불가, 시스템의 재부팅 등의 직접적인 영향 외에도 통상의 유지보수에 관련된 변압기나 모터 과열, 소음, 역률 보정용 콘덴서 고장, 전자시스템의 고장률 증가, 계측, 테스트 결과 에러 등이 발생하고, 결과적으로 가동률이 저하되고 이는 생산성 저하로 이어져 장기적으로 기업 경쟁력의 약화로 이어진다. 특히 전기철도시스템에서는 무효전력량의 증가로 역률이 급격히 떨어지며 이는 전력요금 낭비의 요인이 되고 각종 송변전 계통 및 전기차량 부속기기의 수명을 단축시키는 요인이 된다.

전력품질을 개선하기 위해서는 일반적으로 역률 보상용 콘덴서 설치 및 고조파 저감용 필터를 설치하는데 이는 설비개선에 따른 많은 투자비용이 발생하며 부하특성에 맞지 않지 않게 설치될 경우 오히려 불필요한 전력의 추가발생, 역률저하 등 부작용이 있다. 이를 방지하기 위해서는 전력품질에 관한 현상 자체를 정밀하게 측정 및 분석하여야 한다.

아울러, 전차선은 한국전력의 배전선로와 달리 일정거리마다 전차선이 분리되어 있으며 단방향성, 장거리에 걸쳐 전력을 공급하고 있다. 또한 전기기관차에 의한 고조파 환경 및 전압불평형 등을 고려하여 전력선통신의 적합성을 확인하여야 할 것이다.

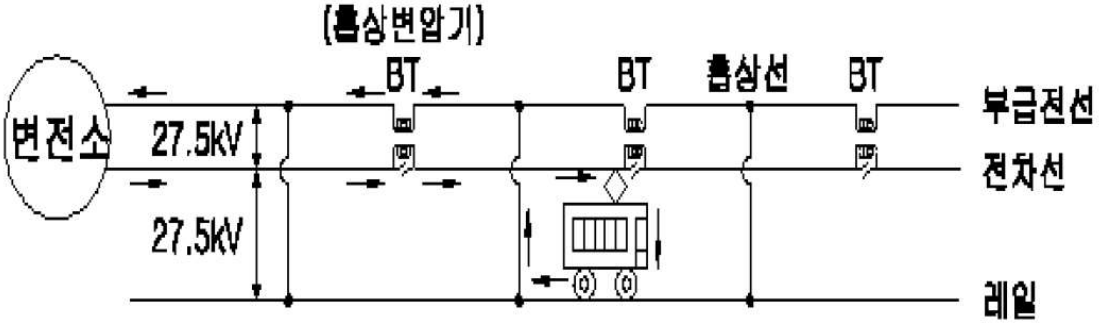


[그림 4-4-11] AT방식의 석항변전소

나. 전기철도 급전방식

1) 흡상변압기 방식(BT) 방식

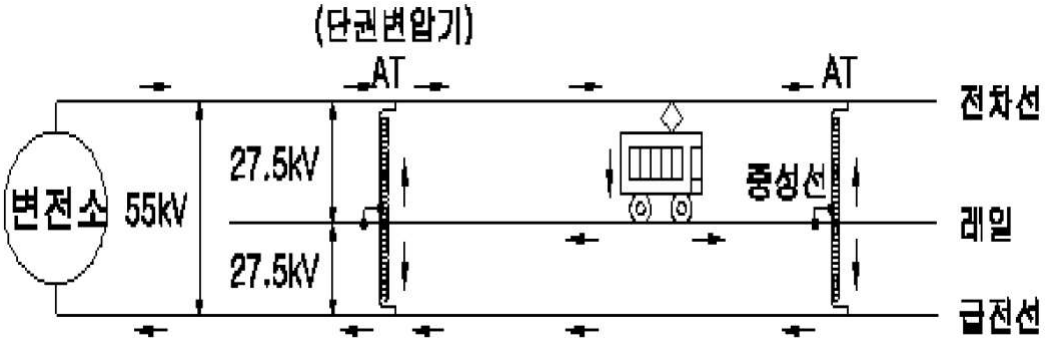
- ○ 급전전압 : 27.5kV
- ○ 흡상변압기 간격 : 약 4㎞ (절연구분장치 설치)
- ○ 변전소 간격 : 약 30~40㎞
- ○ 특　　징 : 통신유도 경감, 고속운전에 부적합
- ○ 설치구간 : 산업선구간 봉양, 증산, 백산, 고사리변전소
- ○ 구　　성 : 권선이 2개인 변압기를 전차선과 부급전선에 직렬로 접속하여 레일에 흐르는 귀전류를 강제로 부급전선으로 흐르도록 하는 급전방식



[그림 4-4-12] BT방식

2) 단권변압기(AT : Auto Transformer) 방식

- ○ 급전전압 : 55㎸
- ○ 단권변압기 간격 : 약 8~10㎞
- ○ 변전소 간격 : 약 40~100㎞
- ○ 특　　징 : 통신유도 경감, 대전력 공급, 고속운전에 적합
- ○ 설치구간 : 산업선구간 석항, 동해, 단양변전소, 기타 전철화 구간
- ○ 구　　성 : 권선이 1개인 변압기를 급전선과 전차선에 병렬로 접속하고 변압기 중성점을 레일에 연결하여 레일에 흐르는 귀전류를 급전선으로 흐르도록 하는 급전방식



[그림 4-4-13] AT방식

다. 전력품질 측정

1) 측정개요

열차의 운행패턴은 일부 임시열차를 제외하고 24시간의 주기로 일정하게 반복되므로 전기철도시스템의 부하변동 주기를 24시간으로 가정하고 변전소별로 24시간씩 2일간의 연속적인 데이터를 취득하였다. 역률 보상설비가 없는 상태에서의 측정값을 얻기 위하여 각 변전소의 역률 보상용 콘덴서 뱅크는 분리한 후 측정하였다.

2) 측정 포인트

○ 전기기관차(8027호)

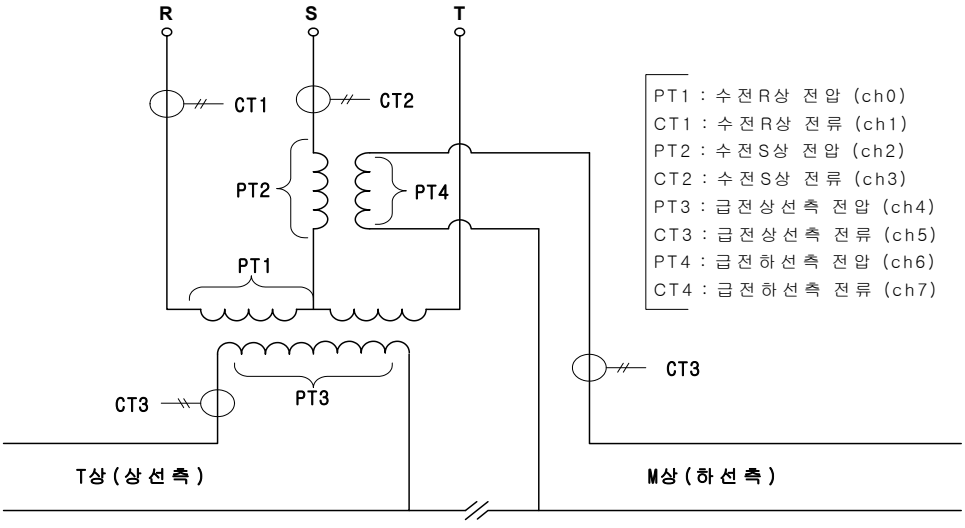
산업선 구간의 대부분의 부하로 작용하는 전기기관차 1대를 선정하여 전력품질 분석기를 설치하고 태백선 구간의 화물열차에 연결하여 운행하면서 현차 측정하였다.



[그림 4-4-14] 제8027호 전기기관차

○ 변전소(태백선 봉양변전소)

측정 포인트는 3상 154㎸ 또는 66㎸ 수전계통 R상 및 S상 또는 T상 중 하나를 선정하였고 55㎸ 또는 25㎸의 급전계통 M상과 T상을 상선방향과 하선방향으로 구분하여 측정하였다.



[그림 4-4-15] 측정 포인트

3) 계측기 사양 및 설정

사용 장비는 전압, 전류 각 4채널씩 측정할 수 있는 오스트리아 데베트론(DEWETRON)사의 PNA-600을 사용하였으며 샘플링 레이트는 5㎑로 설정하고 IEC 61000-4-30(전력품질측정방법)에 따라 측정주기는 200㎳, 저장주기는 3초로 설정하여 3초 동안의 실효값을 기준으로 최저값, 최고값, 평균값을 각각 기록하였다. 측정항목으로는 전압(U), 전류(I), 유효전력(P), 무효전력(Q), 피상전력(S), 역률(PF), 기본파의 위상각(cos_phi), 전압성분의 고조파 왜형률(THD_U), 전류성분의 고조파 왜형률(THD_I), 1차~39차까지의 홀수성분 고조파 전압 및 전류, 주파수 등이다.



[그림 4-4-16] 전력분석기 (PNA-600)

4) 산업선 봉양변전소 전력품질 측정

○ 전압변동율

변전소의 급전측 전압변동률은 우리나라 전차선 전압이 표준전압 25㎸, 최저전압 20㎸, 최고전압 27㎸인 점을 감안하여 -20%, ~ +10%를 기준으로 하였다. 최고전압 및 최저전압은 3초 동안의 평균값을 적용하여 200ms 미만 극히 짧은 순간의 전압변동 요인은 직접 반영되지 않도록 하였다.

[표 4-4-2] 25㎸ 전차선 전압 허용범위
[단위:㎸]

구 분	한 국	UIC/IEC	프랑스(TGV)	일본(신간선)
표준전압	25.0	25.0	25.0	25.0
최고전압	27.5	27.5	27.5	30.0
최저전압	20.0	19.0	18.0	22.5
순시최저	-	17.5	-	20.0

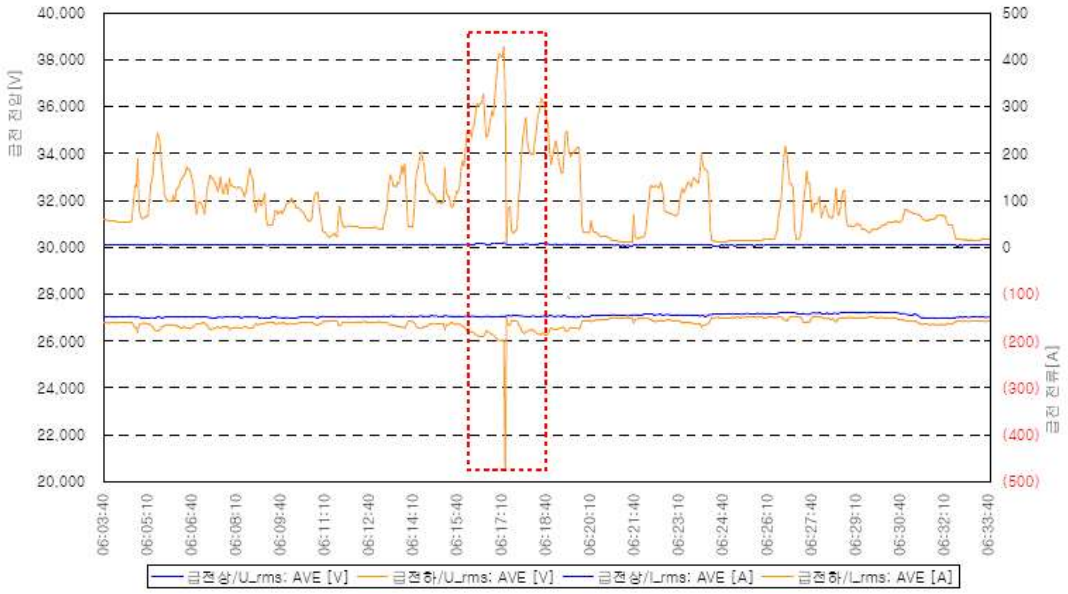
$$\text{전압변동률} = \frac{\text{최고전압} - \text{최저전압}}{\text{표준전압}} \times 100\%$$

$$(-)\text{측 전압변동률} = \frac{\text{최저전압} - \text{표준전압}}{\text{표준전압}} \times 100\%$$

$$(+)\text{측 전압변동률} = \frac{\text{최고전압} - \text{표준전압}}{\text{표준전압}} \times 100\%$$

[표 4-4-3] 산업선 봉양변전소 전압변동 측정

구 분		1일차	2일차	비 고
급전측 (상선)	최저전압[V]	21,540	20,166	
	최고전압[V]	27,271	27,307	
	평균전압[V]	24,541	24,839	
	변동률[%]	22.9	28.6	
	변동범위[%]	-13.8 ~ 9.1	-19.3 ~ 9.2	
급전측 (하선)	최저전압[V]	20,765	20,588	
	최고전압[V]	27,242	27,267	
	평균전압[V]	26,712	26,718	
	변동률[%]	25.9	26.7	
	변동범위[%]	-16.9 ~ 9.0	-17.6 ~ 9.1	



[그림 4-4-17] 봉양SS 급전측 전압-전류 (2일차 06:03 ~ 30min)

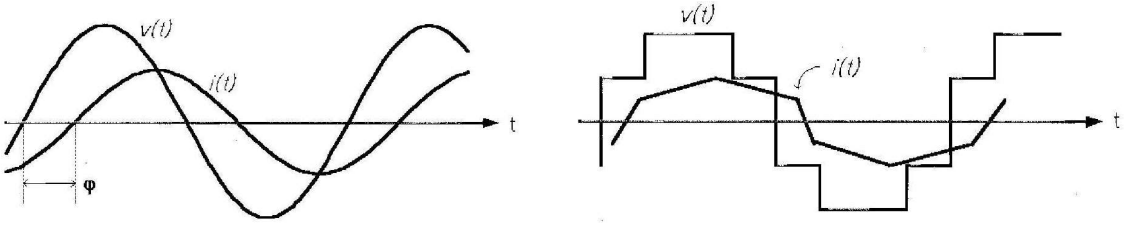
► 분석 : 순간적인 전압강하는 고조파 발생에 영향을 주며 그 순간 전압고조파 왜형률(V_{THD})이 급격히 높아지는 것을 확인할 수 있었으며 이로 인하여 전기기관차 운행 및 기타 주변기기에 나쁜 영향을 미칠 것으로 예상된다.

○ 률과 전압왜형률의 변화 관계

전기설비에 전달되는 피상전력 중에서 유효전력이 차지하는 정도를 표시하는 값인 역률(Power Factor : PF)은 일반적으로 아래 식과 같이 정의하고 있다.

$$PF = \frac{P_{av}}{S}\ ,\quad S : \text{피상전력},\ P_{av} : \text{유효전력}$$

이는 아래 그림과 같이 기본파 성분만을 가진 회로뿐 만 아니라 고조파 성분을 포함하는 회로에서도 적용이 가능한 일반적인 역률의 정의이다.



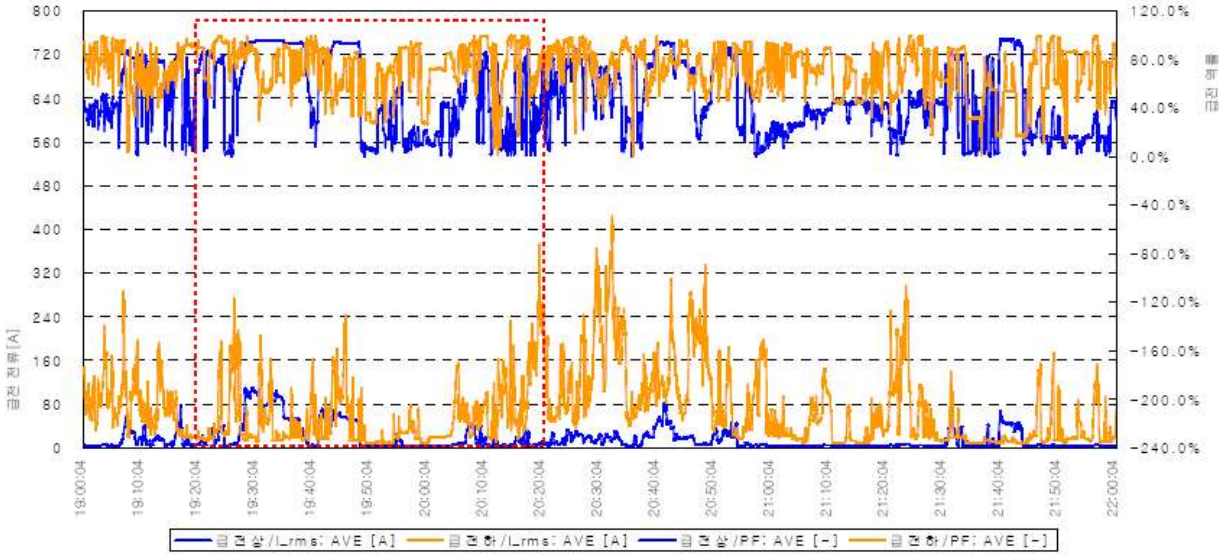
(a) 기본파 성분을 포함한 전압 전류 파형　　(b) 고조파 성분을 포함한 전압 전류 파형

[그림 4-4-18] 부하 입력단에서의 전압전류파형

[표 4-4-4 } 봉양변전소 평균역률(급전계통)

구 분	측정일	봉양변전소	비 고
상 선	1일차	84.4	
	2일차	83.3	
하 선	1일차	74.8	
	2일차	75.6	
급전계통 평균		77.0	

아래 그림은 봉양변전소의 3시간 동안의 전류와 역률의 변화그래프와 점선부분(19:20부터 1시간)을 확대한 그래프이다. 확대 그래프에서 볼 때 대체적으로 전류가 높을 때 역률도 함께 상승하는 것을 볼 수 있다.



[그림 4-4-19] 봉양SS 급전잔류-역률 변화 (1일차 19:00 ~ 3h)

► 분석 : 전기기관차가 운행되는 산업선 봉양변전소의 48시간 동안의 평균역률은 역률보상설비를 분리한 상태에서 77.0%로 측정되었다.

또한, 전압왜형률(VTHD)과 역률의 변화 관계를 그래프로 분석한 결과 특별한 인과 관계는 나타나지 않았다. 일반적으로 고조파 왜형률은 역률에 부정적인 영향을 미치는 것으로 알로 있으나 1시간 확대 그래프에서 볼 때 전압왜형률이 높을 때 오히려 역률이 높아지는 것처럼 보인다. 이는 다음장에서 다룰 고조파 분석부분에서 보면 급전측의 부하전류가 상승할 때 전압왜형률도 함께 상승함을 알 수 있다.

부하전류의 상승은 역률을 개선하는 요인으로 작용하지만 부하전류 상승에 따라 고조파 왜형률도 함께 상승하므로 결과적으로 부하전류의 상승은 역률개선에 큰 영향을 미치지 못하며 마치 고조파 왜형률 상승시 역률이 개선되는 것처럼 보인다.

○ 고조파

고조파는 전자회로의 L(코일), C(콘덴서)등 비선형부하에 의한 전류 왜곡에 의해 발생한다. 이것은 상용전원의 기본파(60Hz)에 대한 정수배인 주파수 성분의 합성으로 분석된다. 종합전압왜형률(VTHD)은 기본파 전압성분 실효치에 대한 고조파 전체성분 실효치의 비율로 나타내며 고조파 발생의 정도를 나타내는데 많이 사용된다.

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \cdots + V_n^2}}{V_1} \times 100[\%] = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{n} V_i^2}}{V_1} \times 100[\%]$$

V_1 : 기본파 전압, V_1, V_2 $\cdots\cdots$ V_n : 각 차수별 고조파 전압

또한 기본파 전류에 대한 전체 고조파 성분의 전류를 종합전류왜형률(ITHD)이라 하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \cdots + I_n^2}}{I_1} \times 100[\%] = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{n} I_i^2}}{I_1} \times 100[\%]$$

I_1 : 기본파 전류, I_1, I_2 $\cdots\cdots$ I_n : 각 차수별 고조파 전압

참고로 고조파 함유율은 어떤 차수의 고조파 성분 실효치의 기본파 성분 실효치에 대한 비율로 다음 식과 같이 표시된다.

$$\frac{I_n}{I_1} \times 100[\%] \text{ 또는 } \frac{V_n}{V_1} \times 100[\%])$$

[표 4-4-5] 96 전압왜형률 (한전기준, 기본공급약관시행세칙 제26조)

구분 / 항목 / 전압	지중선로가 있는 S/S에서 공급		가공선로가 있는 S/S에서 공급	
	전압왜형률	등가방해전류	전압왜형률	등가방해전류
66kV 이하	3%	-	3%	-
154kV 이상	1.5%	3.8A	1.5%	-

[표 4-4-6] 전압왜형률 (IEEE 기준)

회로전압	전압왜형률	각차 고조파 전압	
		기수고조파	우수고조파
415V	5%	4%	2%
6.6kV	4%	3%	1.75%
33kV	3%	2%	1%
132kV	1.5%	1%	0.5%

[표 4-4-7] 전압왜형률 (일본 기준)

고조파차수 / 구 분	3차	5차	7차	11차	총 합
배전계통	3.0%	4.0%	3.0%	2.0%	5.0%
특고계통	2.0%	2.5%	1.5%	1.5%	3.0%

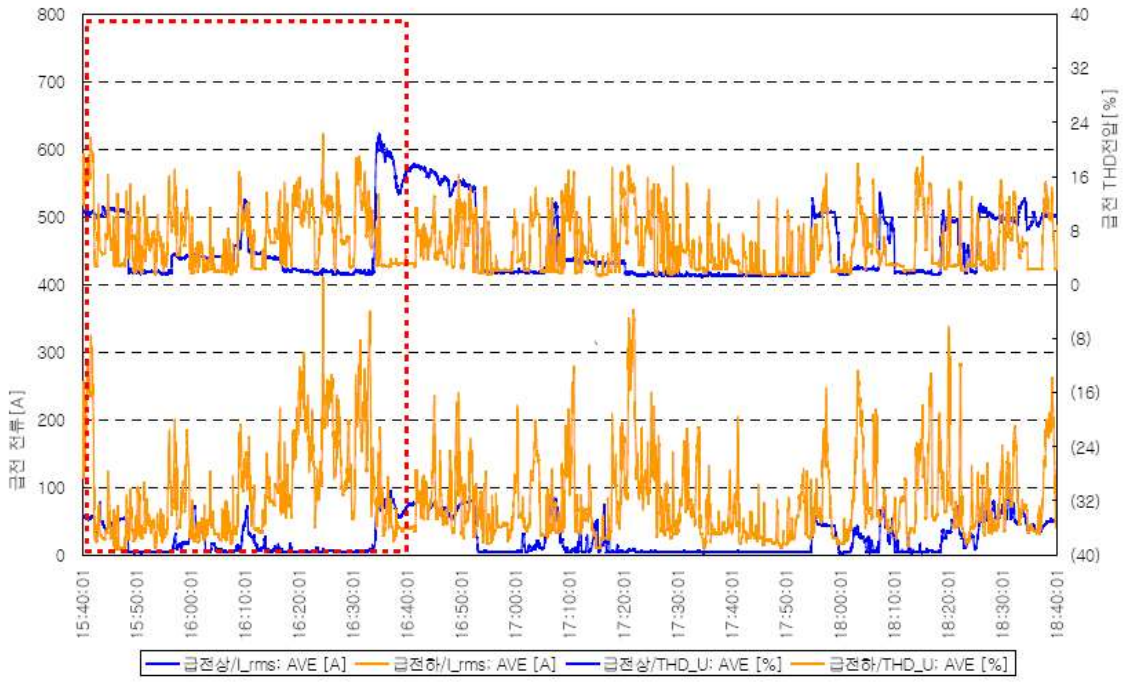
► 분석 : 전력품질 예비측정결과 봉양변전소의 고조파는 홀수차에서 많이 발생되는 것이 확인되어 홀수조파에 대하여 39차까지 측정하였으며 부하전류와의 상관관계, 수전계통과 급전계통 상호간의 상관관계를 분석하였다. 또한 각 조파별 발생정도를 확인하기 위하여 THD가 가장 높은 순간에서의 각 조파에 대한 고조파 함유율을 그래프로 확인하였다.

분석 기준은 전압과 전류성분의 종합왜형률(THD)을 적용하였고 현황분석에서는 24시간 동안 THD값이 가장 높은 순간을 포함한 15분 동안의 평균값을 산출하였다.

그러나 시시각각 변화정도가 심하고 샘플링 구간의 위치에 따라 큰 변화를 보임에 따라 이 값을 고조파 발생의 절대적인 값으로 평가하긴 곤란하여 고조파 발생정도는 참고자료로 활용자료로 하여야 할 것이다.

[표 4-4-8] 봉양변전소 전압왜형률(VTHD) 분석 현황

구 분		측정일	봉 양(66㎸)	비고
수전계통	R 상	1일차	4.5	
			19:20~19:35	
		2일차	5.5	
			12:12~12:37	
	S,T 상	1일차	5.7	
			16:33~16:48	
		2일차	5.3	
			12:18~12:33	
[급전계통	상 선	1일차	13.4	
			16:30~16:45	
		2일차	16.1	
			12:10~12:25	
	하 선	1일차	5.3	
			12:45~13:00	
		2일차	5.9	
			07:02~07:17	



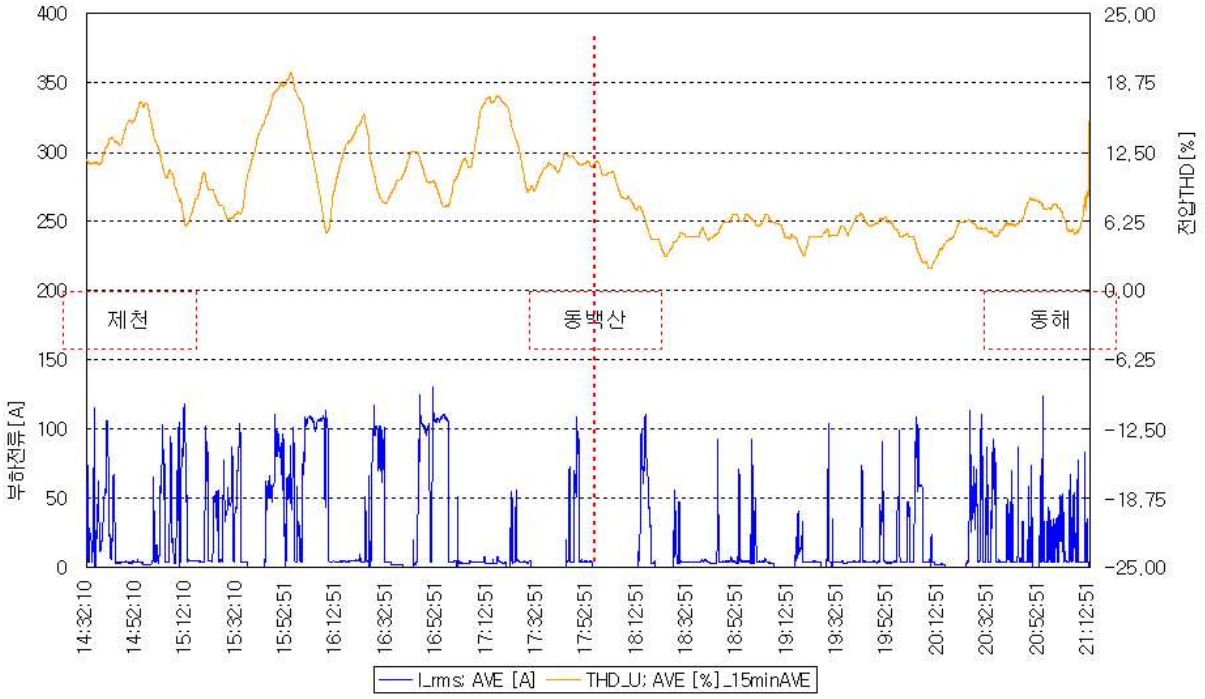
[그림 4-4-21] 봉양SS 급전계통 전류-VTHD (1일차 15:40~, 3h)

5) 전기기관차 전력품질 측정결과

[표 4-4-9] 전기기관차 전력측정 결과

운행 노선	거리 (km)	전 압[V]			전류[A]		전 력[kwh]			THD평균(%)		역률 (%)
		최저	최고	변동(%)	최대	평균	순간최대	소비량	1㎞당	전압	전류	
태백선	191.3	21,967	28,546	26.3	131	20	2,749	2,478	13.0	9.0	54.8	71.6
영동선	87.0	24,463	28,223	15.0	161	20	3,509	939	10.8	5.5	39.3	73.9
중앙선	66.2	24,652	28,234	14.3	170	29	3,583	1,207	18.2	6.1	75.9	74.0

- 최저전압은 절연구간 통과, 판타그라프 하강 등 무전원 상태값을 제거하기 위하여 부하전류가 5A 이상일 때의 측정값을 기준으로 산출함.
- 기관차 중련운전이 감안되지 않은 기관차 1대에 대한 측정결과 임.



[그림 4-4-22] 태백선 제천~증산~옥계 운행시 전압왜형률(15분 평균)

3. 시험장소 선정

가. 안전의 중요성

철도공사에서는 ‘10. 12월 고속철도 2단계 개통으로 그동안 추진했던 안전대책보다 강화된 안전대책이 필요하게 되었다. 특히 ’ 11. 2.12일 광명역 탈선사고 이후 열차안전을 위해 전 직원이 혼연일체가 되어 많은 노력을 기울이고 있으며 안전을 위해 현업의 작업 시행절차와 작업 시 관리 감독을 더욱 강화하고 있다.

또한 철도 선로 변에서 승인되지 않은 작업을 하다가 열차운행에 지장을 주는 사고(장애)가 지속적으로 발생함에 따라 관리소속에서는 승인되지 않은 작업을 사전 차단하기 위해 작업절차 개선에도 많은 노력을 기울이고 있다.

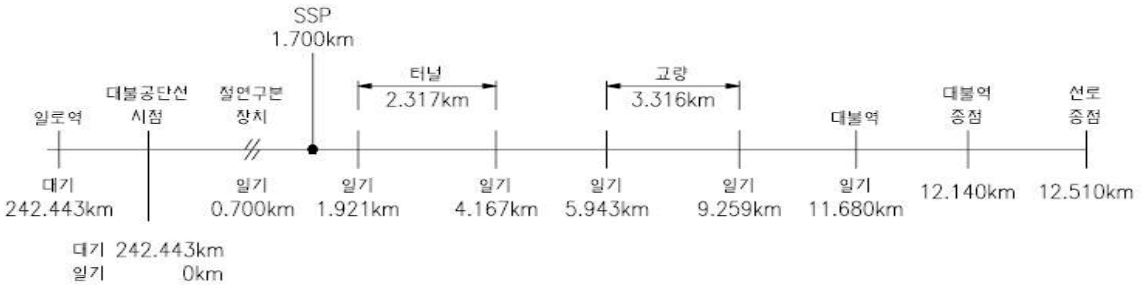
따라서 본 과제에서 반드시 수행되어야 하는 원활한 현장시험을 위해 철도공사의 규정(열차 운행선로 지장업무 처리지침)에 적합한 절차를 수행하며 사전 관리소속과 협의를 통해 안전한 시험을 추진하도록 하였다.

나. 장소선정 배경

현장시험을 위한 장소로는 대불선(시험선), 제천역구내, 의왕역구내 등 크게 3군데를 선정하였으며, 선정조건으로는 첫째, 시험으로 인한 열차운행에 지장이 없을 것 둘째, 많은 시험을 위해 진출입이 쉬울 것 셋째, 전기차량 제공이 쉬운 곳으로 기본조건을 진행하였으며 수차례의 현장답사와 현업의 의견을 수렴하여 최종 의왕역구내를 선정하였다.

다. 대불선

대불선(大佛線)은 전라남도 무안군에 있는 일로역과 영암군에 있는 대불역을 잇는 한국철도공사의 철도 노선으로, 총연장 12킬로미터의 산업철도이다. 2004년 3월 12일에 개통되었으며, 여객 취급은 하지 않는다.



[그림 4-4-23] 429 대불선

대불선의 경우 열차운행 지장을 최소화하는 장점이 있으나, 차량 충당을 위해서는 목포 차량사업소에서 차량을 운행시켜야 하며, 수차례의 시험을 위해서도 많은 인원이 원거리를 왕래해야하는 번거로움이 발생하게 된다.

라. 제천역구내



[그림 4-4-24] 제천역구내에 정차한 전기차량(8200호대)

제천역은 오래전 석탄 등의 화물을 운송하는 철도의 대도시였으나 석탄산업이 쇠퇴하면서 그 규모가 많이 축소되었다. 현재도 태백선 부근의 석탄, 양회 등 많은 화물을 운송하고 있으며 코레일 충북본부, 중앙선 태백선 경유 등 철도 및 물류 유통의 중심지 역할을 수행하고 있다.

또한 제천역은 인근에 차량사업소가 위치하고 있어 시험을 위한 차량 제공이 쉬운 반면, 시험으로 인해 전기가 정전되는 사고 발생 시 물류수송에 많은 차질을 줄 수 있는 단점이 있다.

마. 의왕역구내

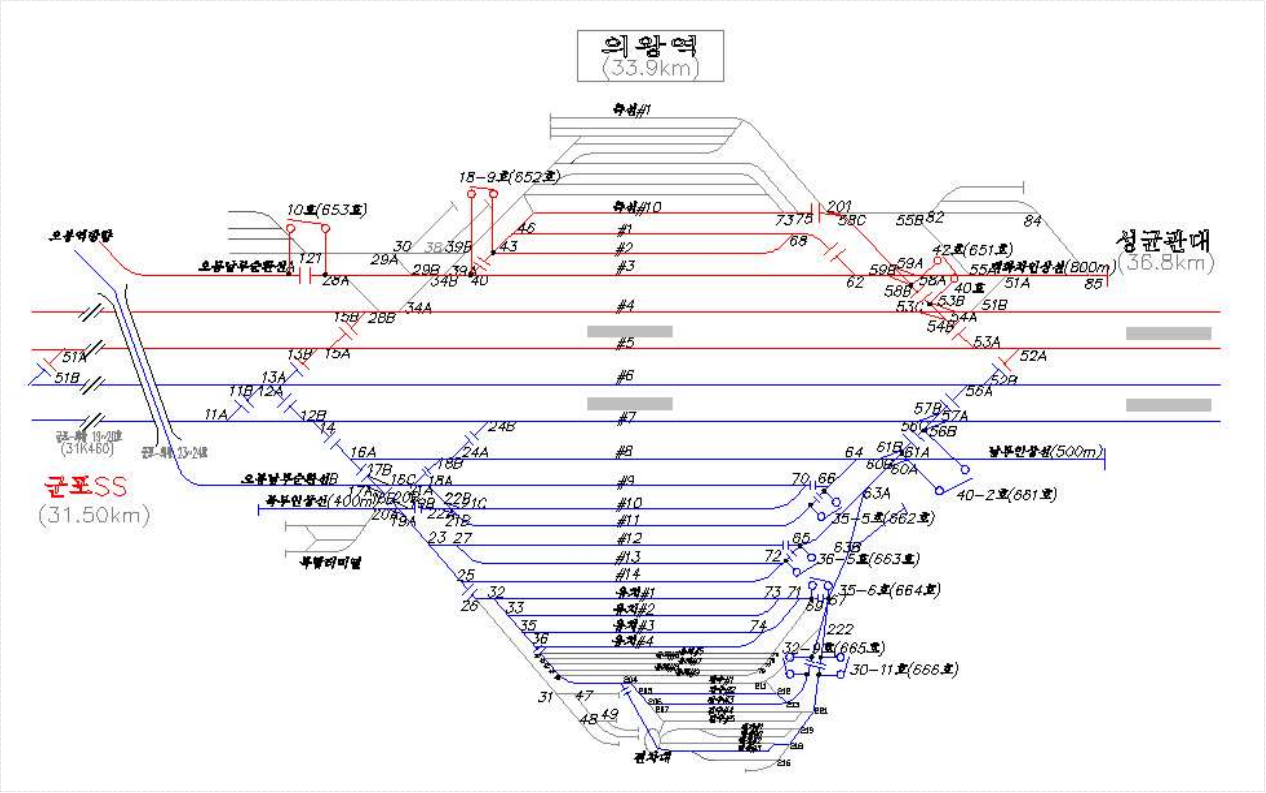
의왕역은 경부선 여객 및 화물열차, 광역전철 및 고속열차(1일 4회)가 운행되고 있으며 철도인재개발원, 철도박물관, 철도대학이 위치하고 있다. 또한 부곡차량사업소 및 기관차승무사업소가 위치하고 있어 철도의 중요한 도시로 자리매김하고 있다.

의왕역은 전력선통신 시험 시 정전으로 인해 광역전철 등 열차운행에 지장을 줄 우려가 있으나, 의왕역구내 회로를 분리할 수 있는 개폐기가 설치되어 있어, 비상시 시험장소(전차선 회로)를 분리할 수 있는 이점이 있다. 또한 인근에 차량사업소가 있어 차량 제공이 쉽다는 장점이 있다. 또한 수도권 인근이므로 시험개소의 진출입이 쉬우며 한국철

도기술연구원 등 연구기관에 의한 기술자문이 가능하다는 점에서 의왕역을 시험장소로 최종 선정하였다.



[그림 4-4-24] 의왕역구내 시험장소(전철주2~4호)



[그림 4-4-25] 의왕역구내 급전계통도

4. 시험차량

가. 시험차량(신형전기기관차) 무상 지원

전기철도에서 전력선통신 적정성 확인을 위해서는 현차시험이 반드시 필요하며 현차시험을 통해 전기철도 환경에서의 전력선통신 가능성을 입증해야만 하였다.

전기차량을 통한 현차시험을 위해서는 주관기관에서 요구한 신형전기기관차(8200호대)가 필요하였으며 국가R&D 연구개발을 위한 주관부서와의 지속적으로 협의와 협조로 신형기관차(NEL) 및 기관사 등을 지원받게 되었다.



[그림 4-4-26] 의왕역구내 정차한 신형전기기관차(8262호)

나. 시험차량 충당일자

- 1차 : '11.10.25~10.26(2일) / 의왕역구내 상남부인상선 / 기관사 등 2명 충당
- 2차 : '11.11.17(1일) / 의왕역구내 상남부인상선 / 기관사 등 2명 충당
- 3차 : 평가를 위한 현장시험('12. 1월 중 예정)

다. 기타(행정사항 처리)

- 차량운행을 위한 운전명령 승인 요청
- 여객본부 차량 및 승무원 협조 요청
- 부곡차량사업소 및 부곡기관차승무사업소 협조 요청

- 본사 공사운영상황실 및 철도교통관제센터 차량 운행 협조 요청

- 관할역(의왕역 운전실) 및 수도권서부본부(차량, 전기처 등) 협조 요청

5. 전력선통신 장비 선정 및 적정성 시험

가. 장비 선정

전력선통신을 위해서는 신호결합기 대용으로 사용하는 피뢰기와 피뢰기 절연파괴 등에 의한 이상 발생 시 전차선로와 분리할 수 있는 분리용단로기를 사용해야 되며, 이 장비들을 전차선에 상시 취부 되어야 함에 따라 열차안전 운행을 위해 장비 선정 시 철도공사에 납품실적이 있는 신뢰성 있는 장비를 선정해야 한다.

또한 장비들은 한국철도표준규격(KRS PW 0004-06)에 의한 인정시험 및 검수시험 등에 통과된 제품을 사용해야 하며, 장비 선정을 위해 철도공사 전기기술단 및 수도권서부본부(전기처, 수원전기사업소)와 협의하여 안전성 및 신뢰성을 검증하였다. 검수시험은 '11.10.14일 공인시험기관인 한국전기연구원의 검수시험을 통과하였다.



[그림 4-4-27] 장비 검증을 위한 현업 방문(수원전기사업소)

4. 시험 및 검사

4.1 시험 및 검사항목

시험은 인정시험과 검수시험으로 구분하며 시험절차는 IEC 6009-4의8항에 따른다.

4.1.1 인정시험

본 제품의 초기개발 또는 제품에 영향을 줄 수 있는 설계 또는 재료의 변경시에 표 7의 해당항목에 대하여 시행하여야 하며, 국가공인기관에서 시행한 시험성적서를 제출하여야 한다.

4.1.2 검수시험

인정시험 및 현장설치시험에 합격한 제품에 한하여 납품시에 실시한다.

4.1.3 참고시험

수요처에서 요구시 참고시험 결과를 제출하여야 한다.

[표 7]

시 험	인정시험	검수시험	참고시험	시험방법	비고
1. 구조검사	○	○		4.3.1항	
2. 누설전류시험	○	○		4.3.2항	
3. 기준전압 측정	○	○		4.3.3항	
4. 제한전압시험 주(2)	○	○ 주(1)		4.3.4항	
5. 장시간 전류 임펄스 내량시험 주(2)	○			4.3.5항	
6 동작책무시험 주(2)	○			4.3.6항	
7. 단락회로내력시험 주(2)	○			4.3.7항	
8. 절연내력시험	○			4.3.8항	
9. 오손시험	○			4.3.9항	
10. 특성요소의 V-I 특성			○	4.3.10항	
11. 부분방전시험	○	○		4.3.11항	
12. 상용주파전압-시간(V-t)특성			○	4.3.12항	
13. 하우징시험	○			4.3.13항.	

※주 : (1) 특성소자 제조업체의 품질보증서로 대신할 수 있으며, 필요시 따로 시험을 시행할 수 있다.
(2) 이 시험은 동일형의 분할구분 또는 분할 단위 각각 별개로 행할 수 있다. 단, 검수시험시 겉모양검사 및 조립완성품상태로 육안 또는 측정도구를 이용하여 검사 가능한 부분에 대하여 실시한다.

시 험 성 적 서

발송번호 : 2011RC00898호 (2011.10.21)

신청자 : 천호산업(주)

주 소 : 경기도 광명시 소하동 1345 광명테크노파크 D동-401호

641-120
경남 창원시 성주동 28-1
한 국 전 기 연 구 원 장
TEL : (055) 280-1510~9
FAX : (055) 280-1512
홈페이지 : http://www.keri.re.kr

접수 No. TRA11C00858 (2011.09.29)

No	품 명	규 격	수 량	단위	종합판정
1	피뢰기(LA)	42 kV 10 kA	6	개	참고시험

봉인 , 검표 부착 없음

이 하 여 백

수 용 가 명	한국철도시설공단*****
비 고	- 본 제품은 수입품임 - 본 성적서는 "참고시험" 으로서 성적서 이외의 성능은 보증할 수 없음 - 본 성적서는 홍보,선전,광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며 용도 이외의 사용을 금합니다.

※ 시험결과 별첨
※ 시험결과는 시험을 실시한 제품에 한함.
※ 본 성적서의 복사본은 무효임

한국전기연구원

"한국전기연구원의 확인 및 KERI 로고가 없는 용지를 사용한 사본은 무효임."

작성	문인욱	
승인 (기술책임자)	김경운	代

KERI

DF-CA-21/01/01

시 험 결 과

▣ 접수번호 TRA11C00858
▣ 품 명 피뢰기(LA)
▣ 정 격 42 kV 10 kA
▣ 형 식 3EL2 042-2PF31-4KA1
▣ 제 조 자 천호산업(주)
▣ 시험기간 2011.10.14 ~ 2011.10.14
▣ 시험방법 신청자 요구
▣ 수량/단위 6 개
▣ 시 험 자 문인욱

▣ 시 험 결 과

번호	시험항목	시험기준 / 제번	CH111006	CH111007	CH111008
1	구조검사	시방	양	양	양
2	절연저항측정	DC 1000 V 절연저항계로 측정함	1000 MΩ 이상	1000 MΩ 이상	1000 MΩ 이상
3	동작개시전압시험	직류전압 인가시 내부요소를 흐르는 저항분전류의 파고치가 1 mA일 때 인가전압을 측정함	57.5 kV	57.5 kV	57.5 kV
종 합 판 정			참고시험	참고시험	참고시험

비고	- 본 제품은 수입품임 - 본 성적서는 "참고시험" 으로서 성적서 이외의 성능은 보증할 수 없음

한국전기연구원

6. 전력선통신 현장 측정

가. 일반사항

1) 시험을 위한 장비 설치

○ 일자 : '11.10.21(금)
○ 장소 : 의왕역구내 상남부인상선 전철주 2~4호
○ 내용 : 신호결합기, 분리용단로기, 동축 및 접지케이블 등 장비 설치



[그림 4-4-28] 전철주에 신호결합기 등 장비설치

2) 활선 1차 지상 측정

○ 일자 : '11.10.21(금)
○ 장소 : 의왕역구내 상남부인상선 전철주 2~4호
○ 항목 : 활선상태에서의 데이터 전송 및 전송률 시험



[그림 4-4-29] 지상에서의 데이터 전송 시험(의왕역구내 전철주 3호주)

3) 활선 2차 지상~차상간 측정

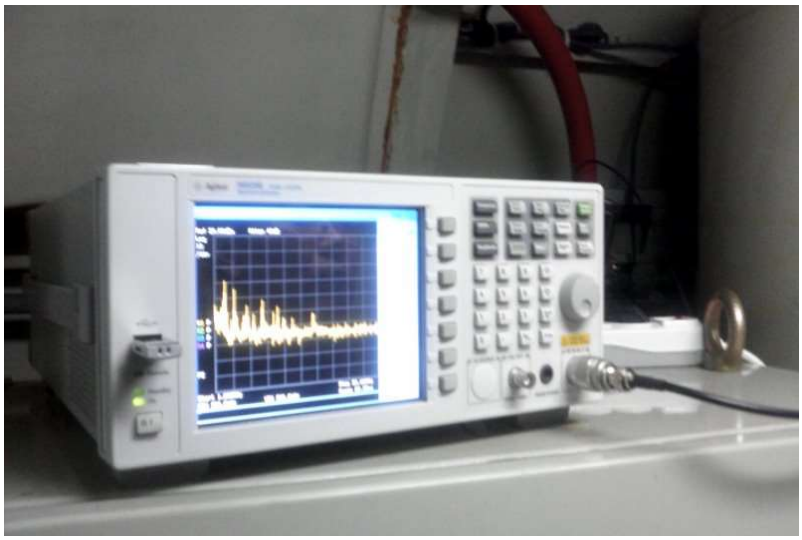
○ 일자 : '11.10.25(화)
○ 장소 : 의왕역구내 상남부인상선 전철주 2~4호
○ 항목 : 활선상태의 신형기관차에서 Noise 및 차상전송, 전송률 특성시험



[그림 4-4-30] 신형기관차에 신호결합기 설치(주변압기 메인부스)

4) 활선 3차 지상~차상간 측정

○ 일자 : '11.10.26(수)
○ 장소 : 의왕역구내 상남부인상선 전철주 2~4호
○ 항목 : 활선상태의 신형기관차에서 Noise 및 차상전송, 전송률 특성시험, CCTV영상 전송 시험



[그림 4-4-31] 신형기관차 기관실에 설치된 스펙트럼 분석기

5) 활선 4차 지상 측정

○ 일자 : '11.11.03(목)
○ 장소 : 의왕역구내 상남부인상선 전철주 2~4호
○ 항목 : 활선 상태 Noise 및 차상 전송, 전송률 특성시험, CCTV영상 전송



[그림 4-4-32] 지상 데이터 전송률 시험

6) 활선 5차 지상~차상간 측정

○ 일자 : '11.11.17(목)
○ 장소 : 의왕역구내 상남부인상선 전철주 2~4호
○ 항목 : 활선상태의 신형기관차에서 Noise 및 차상전송, 전송률 특성시험, CCTV영상 전송 시험



[그림 4-4-33] 신형기관차 지상~차상간 데이터 전송률 시험

7) 신호결합기 보수

○ 일자 : ‘11.12.6(화)
○ 장소 : 의왕역구내 상남부인상선 전철주 2호
○ 항목 : 전철주 2호 신호결합기 통신불능에 따른 케이블, 휴즈 점검



[그림 4-4-34] 전철주 2호 신호결합기 보수

8) 활선 6차 지상 측정

○ 일자 : ‘11.12.7(수)
○ 장소 : 의왕역구내 상남부인상선 전철주 2호
○ 항목 : 활선 상태 Noise 및 차상 전송, 전송률 특성시험 등

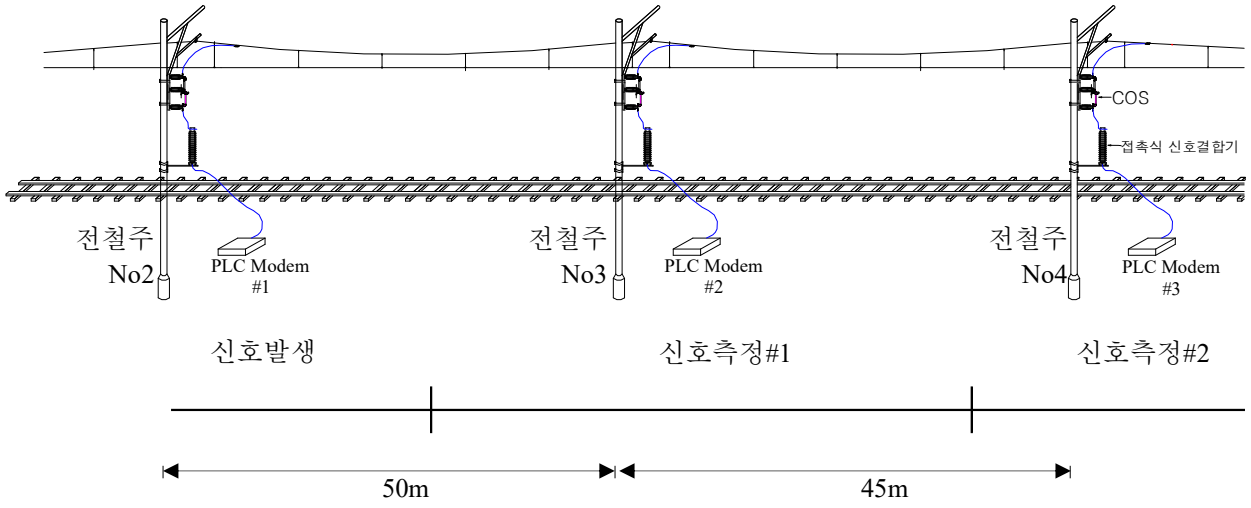


[그림 4-4-35] 전철주 2호 데이터 전송시험

제5절 전력선통신 지상시험

1. 접촉식 신호결합기 Data 전송

가. 시험 조건



[그림 4-5-1] 지상시험 구성도

- ○ 차량기지내 3개의 전철주를 기준으로 COS 및 접촉식신호결합기 설치
- ○ 신호결합기 외측에 PLC Modem을 설치
- ○ Modem#1 측에 신호발생기를 설치하고 Modem#2 ~ #3에서 Data 수신율 측정

신호발생기에서 0 ~ 50MHz의 Sign Wave를 발송하여 신호측정#1, #2에서 Spectrum Analyzer를 사용하여 전송 특성을 측정 하였다

나. 시험 목표

- ○ 전철주 경간(50m) Data 전송율 및 감세율 측정

다. 시험 사진



[그림 4-5-2] COS & 접촉식신호결합기 설치



[그림 4-5-3] 의왕역 상남부인상선(시험구간)



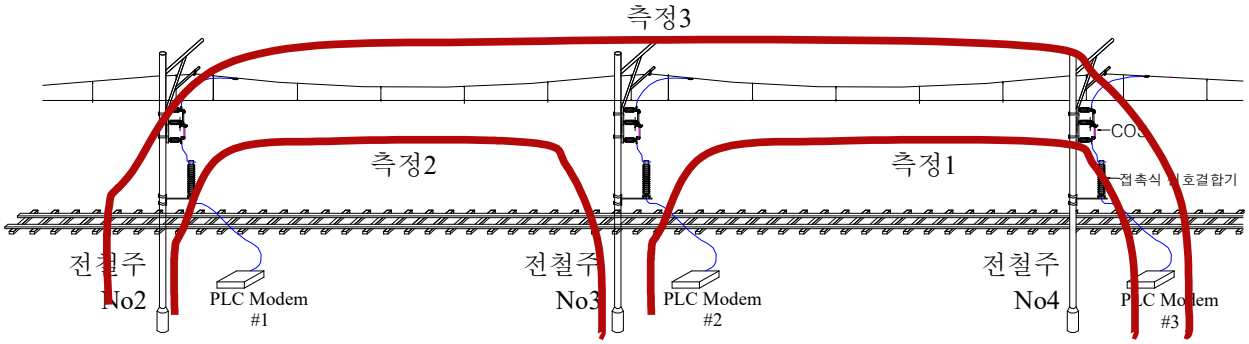
[그림 4-5-4] 신호발생기(Function Generator) 설치

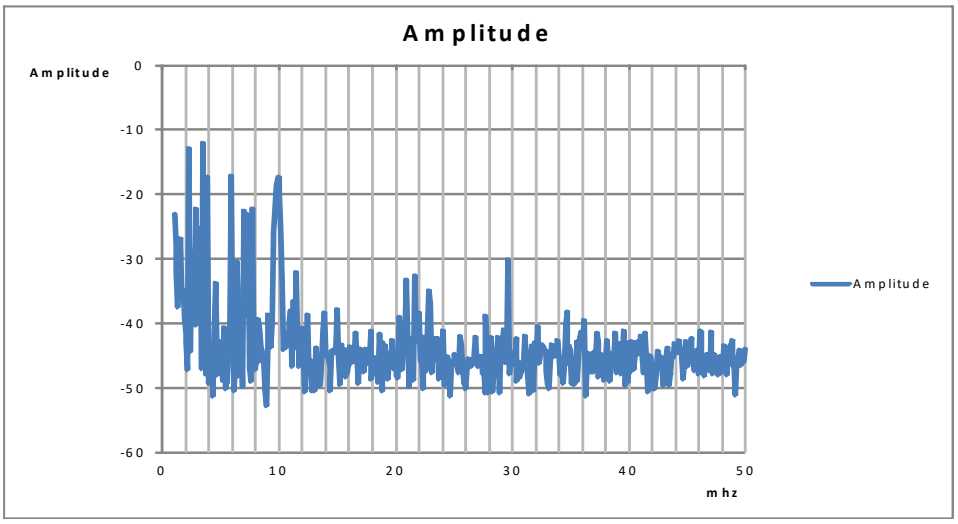


[그림 4-5-5] Spectrum Analyzer 설치

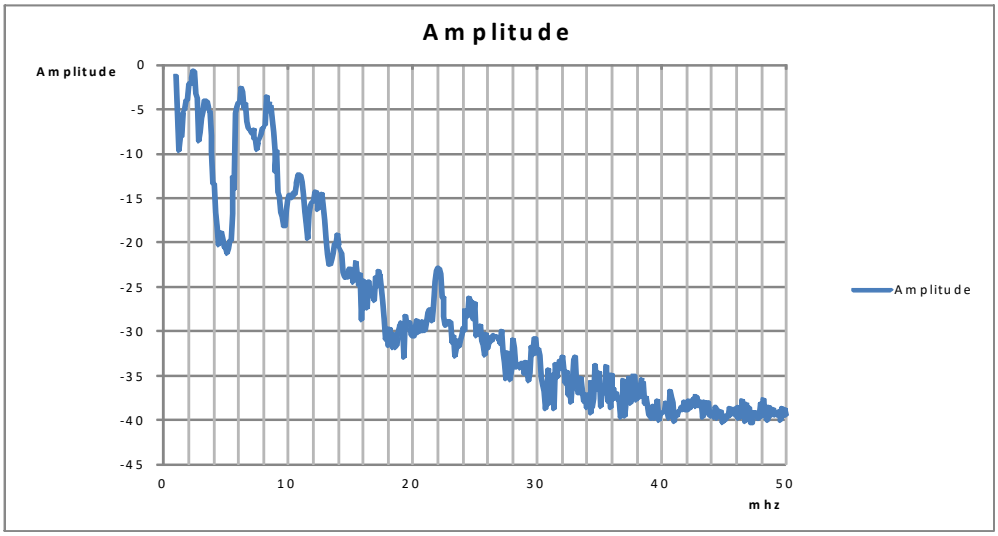
라. 시험 결과

측정점간의 전송특성을 측정한 결과 그림 4-5-6,7,8 에 보듯이 30dbm의 전송특성을 보이고 있다

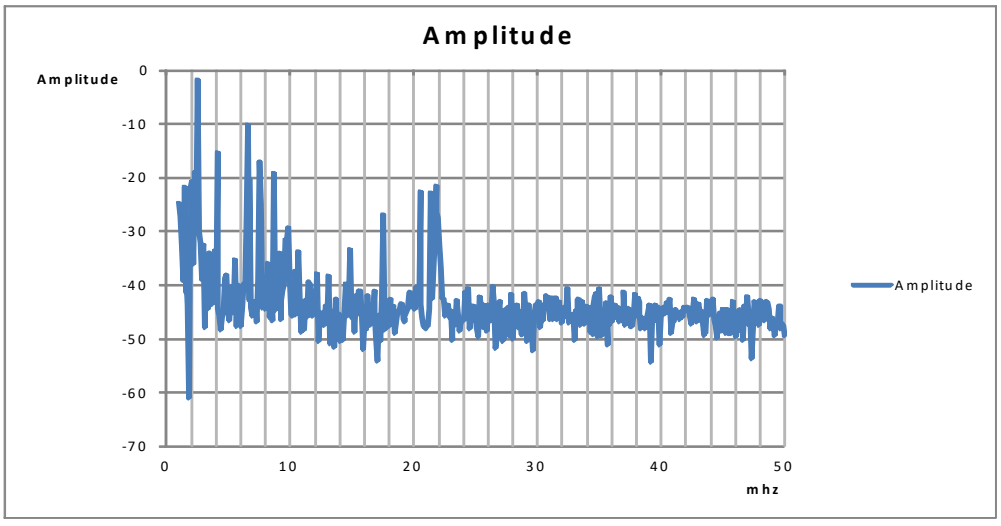




[그림 4-5-6] 측정1 (전철주 No3 -> 전철주 No4) Data 전송 신호 측정

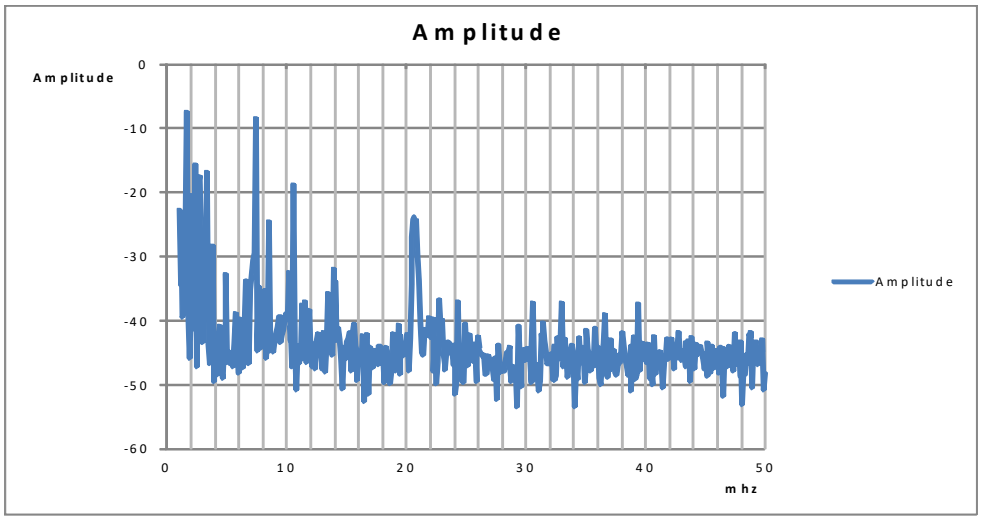


[그림 4-5-7] 측정2 (전철주 No2 -> 전철주 No3) Data 전송 신호 측정

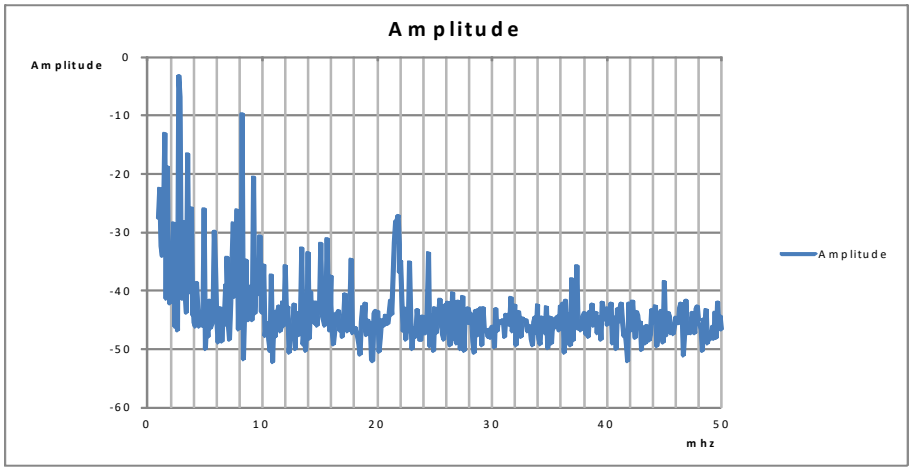


[그림 4-5-8] 측정3 (전철주 No2 -> 전철주 No4) Data 전송 신호 측정

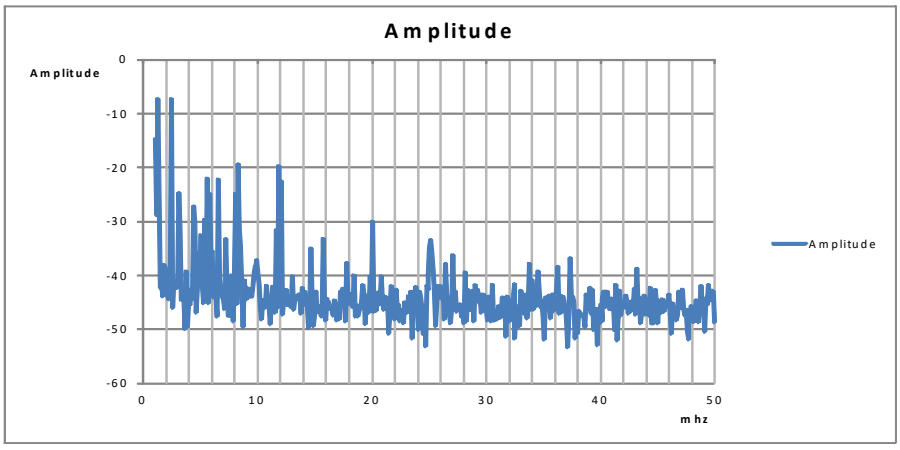
또한 측정점간의 Data 전송율을 측정한 결과 그림 4-5-6,7,8 에 보듯이 30dbm의 전송특성을 보이고 있다



[그림 4-5-9] 측정1 (전철주 No3 -> 전철주 No4) Data 전송율 시험

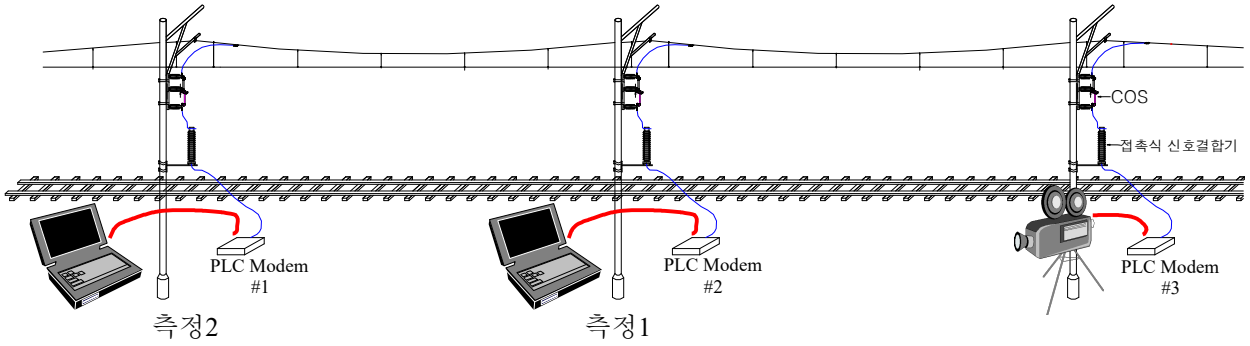


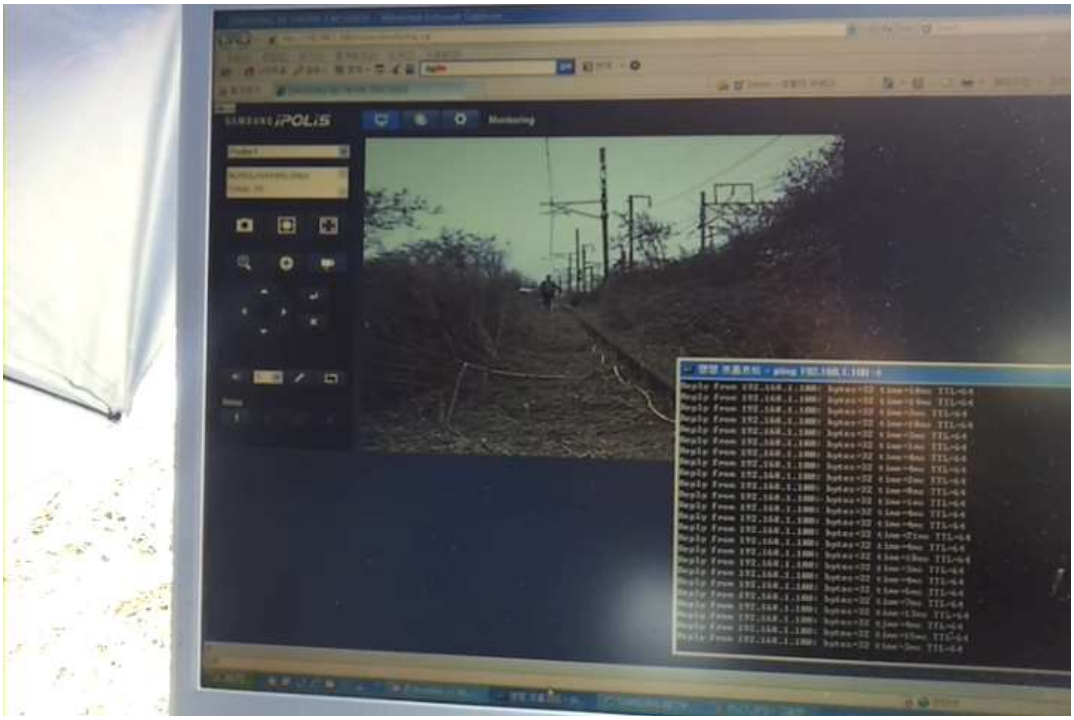
[그림 4-5-10] 측정1 (전철주 No3 -> 전철주 No4) Data 전송율 시험



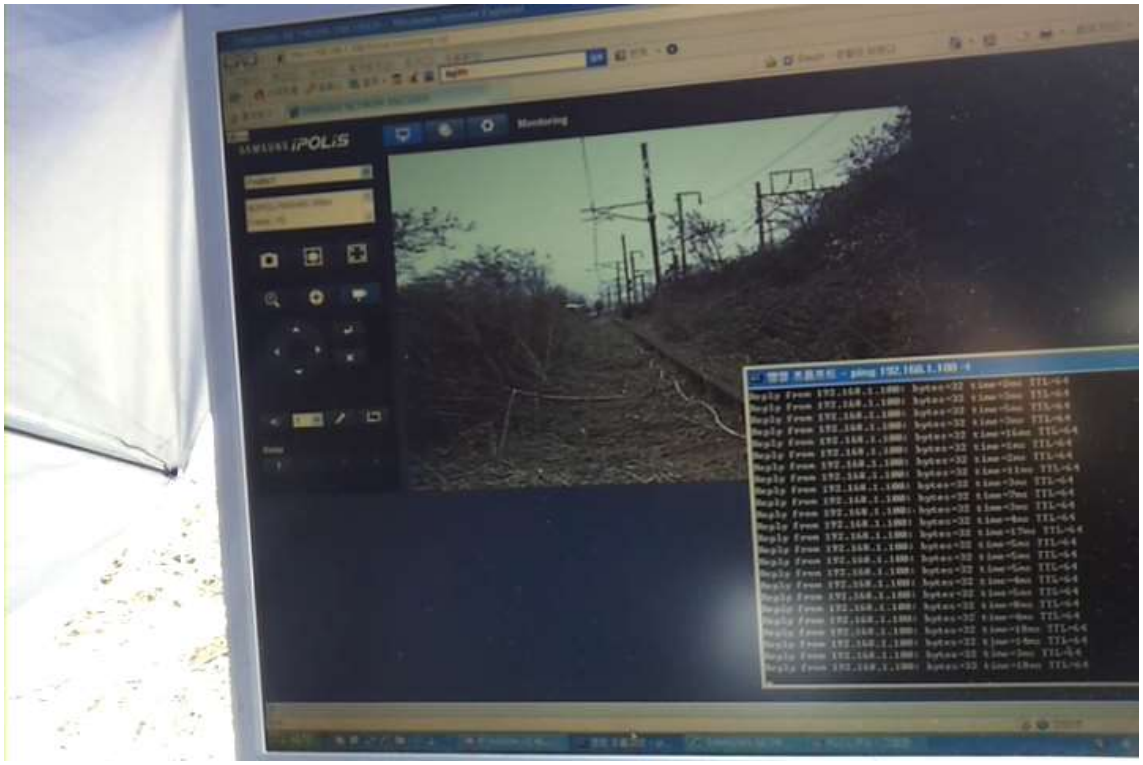
[그림 4-5-11] 측정1 (전철주 No3 -> 전철주 No4) Data 전송율 시험

전철주 No4에 CCTV Camera를 설치하고 전철주 No3,2에서 영상 Data 전송을 시험한결과 20Frame/s(640x480 Pixel) 정도의 영상전송률을 측정한 결과 그림 4-5-6,7,8 에 보듯이 30dbm의 전송특성을 보이고 있다





[그림 4-5-12] 측정1 CCTV 영상 및 Data 전송률 점검 화면



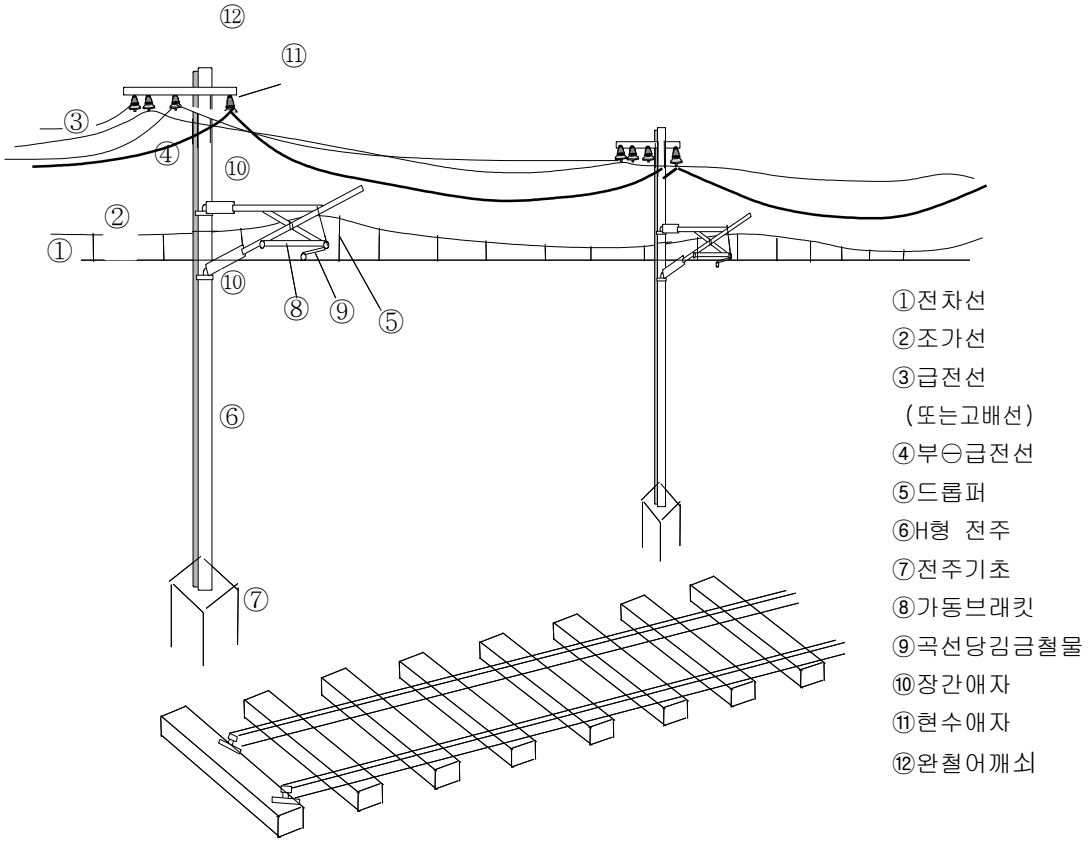
[그림 4-5-12] 측정2 CCTV 영상 및 Data 전송률 점검 화면

3. 결론

활선(25KV)을 매개로한 접촉식 신호결합기를 활용한 전력선통신은 양호한 전송특성을 보이고 있다. 다만 전차선을 이루고 있는 조가선과 가공 부라켓이 PLC의 전파전송특성을 저해하는 요인으로 파악된다. 전기철도 전차선을 활용하여 원거리(1.5Km이상) PLC 통신을 구성할 경우 전차선 구조물에 따르는 전송선로의 임피던의 측정이 선행 되어야 하며 측정된 임피던스 매칭을 위한 매칭트랜스가 제작 되어야 한다.

가. 전기철도 전차선 특성

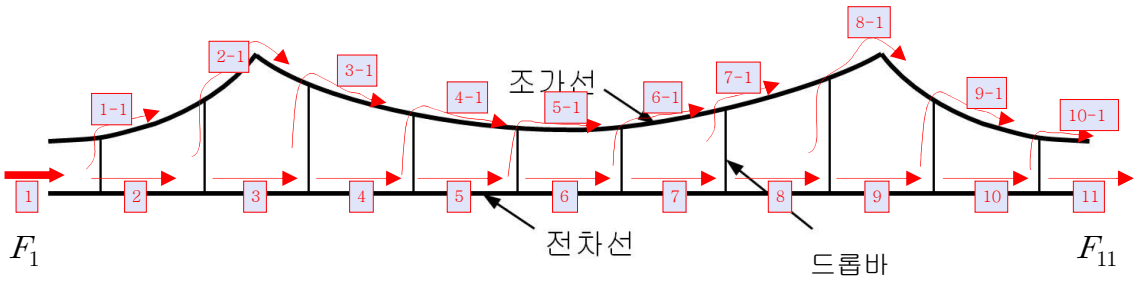
전력선통신 측면에서 보는 전기철도 전차선의 구성요소는, 전차선, 조가선, 드롭바, 급전선, 가공부라켓으로 구분할 수 있으며 이중 조가선과 드로바는 전력선 통신의 매체이자 전송손실의 원이기도 하다.



[그림 4-5-13] 전기철도 전차선의 구성도

나. 전기철도 조가선 특성

전기철도의 전차선은 차량에 전기를 공급해주는 직접 접촉면에 해당하며, 조가선은 전차선의 처짐 방지 및 흔들림 방지의 역할을 한다. 그러나 PLC의 전파특성에는 좋지않은 특성으로 작용한다.



$$F_{11} = (F - (F_{1-1}) - (F_{2-1}) - (F_{3-1}) - (F_{3-1}) - (F_{4-1}) - (F_{5-1}) - (F_{6-1})$$
$$- (F_{7-1}) - (F_{8-1}) - (F_{9-1}) - (F_{10-1}) - (F_{11-1})) \ \chi \ T$$

F_1 : 최초신호 F_{11} : 최종 신호
F_{1-1} : $F_1 - F_2$ F_{2-1} : $F_2 - F_3$
F_{3-1} : $F_3 - F_4$ F_{4-1} : $F_4 - F_5$
F_{5-1} : $F_5 - F_6$ F_{6-1} : $F_6 - F_7$
F_{7-1} : $F_7 - F_8$ F_{8-1} : $F_8 - F_9$
F_{9-1} : $F_9 - F_{10}$ T : 전차선 전송손실률

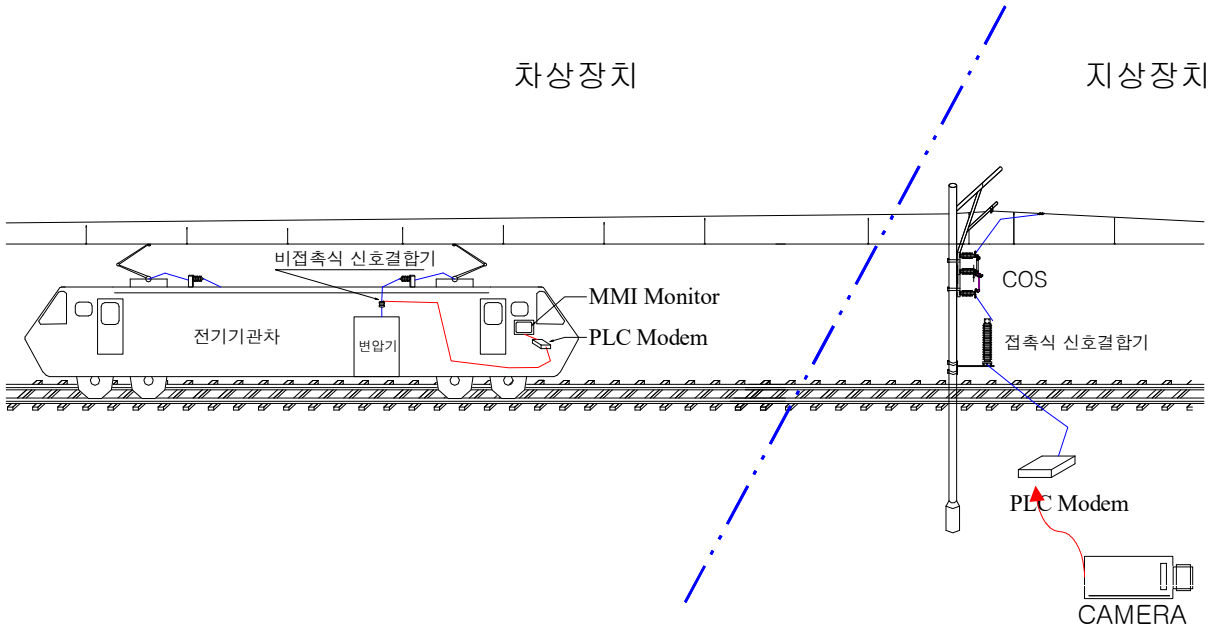
1년의 시험 기간중 환경구축을 제외한 현장접근 기간이 절대적으로 부족하였으며, 전차선로의 이동부하에 따른 임피던스를 측정 및 임피던스 매칭의 연구를 수행하기에 과제의 기간 및 비용이 충분치 못했으며, 향후 전기철도의 전력선통신의 안정성 및 신뢰성을 위해서는 반듯이 추가 연구가 필요하다.

시험환경 구축 요소로써 전기철도의 전차선(주행선로 측선), 전기차량, 구분단로기 등이 지원되어야 하므로 환경구축의 어려움이 많으며, 주행선로 측선은 유효장(열차가 움직일 수 있는거리)의 거리가 짧으며(수백미터), 입환(구내)속도 이상의 주행이 불가능하므로 주행특성에 따른 차상에서의 전력선통신 특성 시험은 충분히 수행하지 못하였으나, 전기차량이 이동시에도 지상에서 전송하는 전송특성을 유지함을 확인 하였다..

제6절 전력선통신 지상<->차상 시험

1. 접촉식 신호결합기 Data 전송 구성

가. 시험 조건



[그림 4-6-1] 지상<->차상 시험 구성도

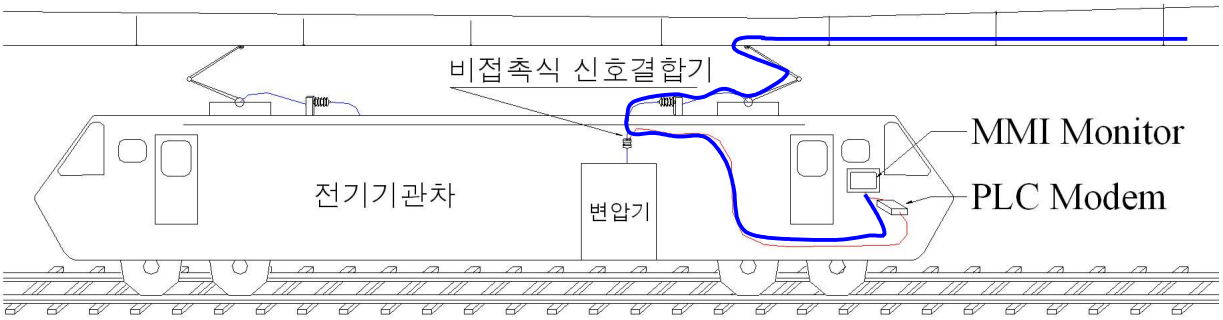
1. 신호결합기 외측에 PLC Modem 설치.
2. 전기기관차 MCB와 변압기 사이에 비 접촉식 신호결합기 설치
3. 전기기관차 내에 PLC Modem 및 MMI Monitor를 설치 한다.
4. 전철주 No3에 CCTV Camera 설치

나. 시험 목표

5. 지상장치와 차상장치간의 영상 Data 전송.
6. 지상장치와 차상장치간의 영상 Data 전송 특성을 측정.

전철주 No3에 CCTV Camera를 설치하고 전기기관차(NEL8200)에 비 접촉식 신호결합기를 통하여 CCTV 영상의 특성을 측정 하였다

다. 차상장치 구성



[그림 4-6-2] 차상장치 설치도

전차선 <-> 판토그라프 <-> MCB <-> 비접촉식 신호결합기 <-> Modem을 MMI를 통하여 정보를 전달함.



[그림 4-6-3] 전기기관차 판토그라프 집전 사진

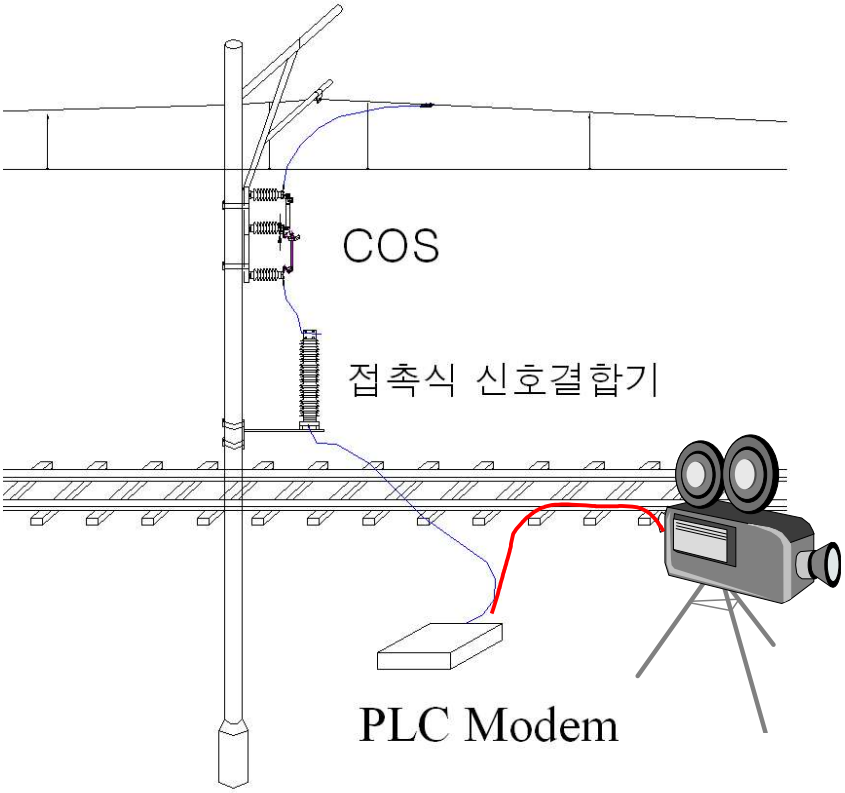


[그림 4-6-4] 전기기관차 신호결합기설치



[그림 4-6-5] 전기기관차 Modem 설치

라. 지상장치 구성



[그림 4-6-6] 지상장치 설치도



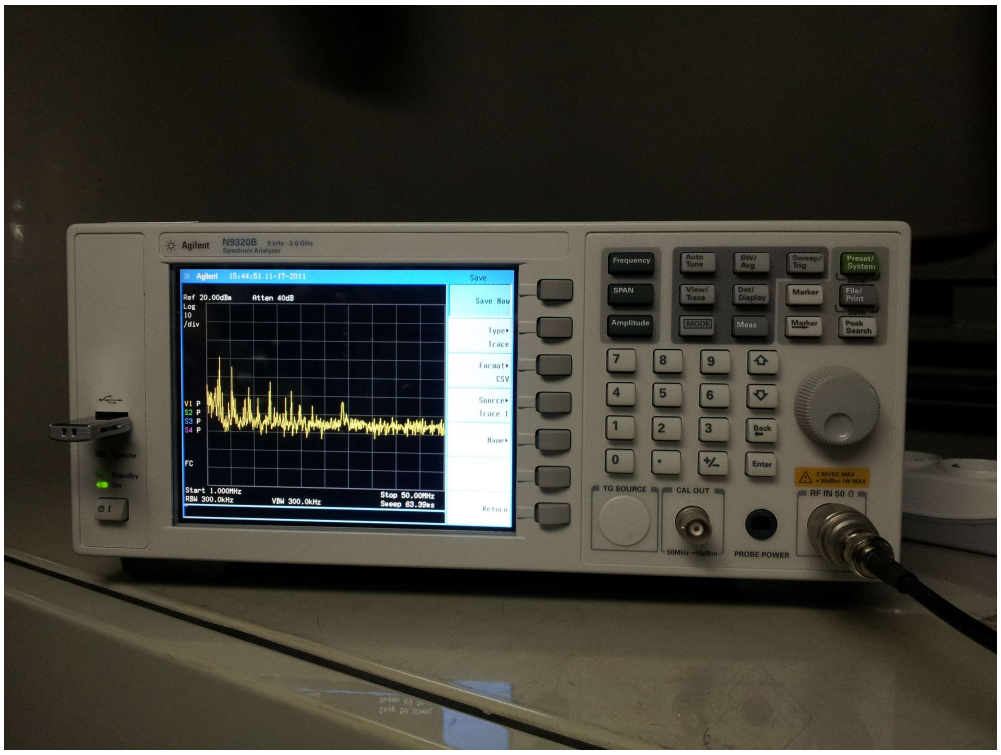
[그림 4-6-7] 지상장치 설치 사진

마. 차상장치에서 Noise 측정

차상에서 활선(25KV)의 Noise를 측정하였다. 지상에서 측정한 측정치와 큰차이가 없었다.

저역(15MHz이하)에서 Noise의 폭이 넓게 분포하고 있으며, PLC통신이 주로 사용하고 있는 고역(20~30MHz)에서 적은 Noise의 형태를 나타내고 있다.

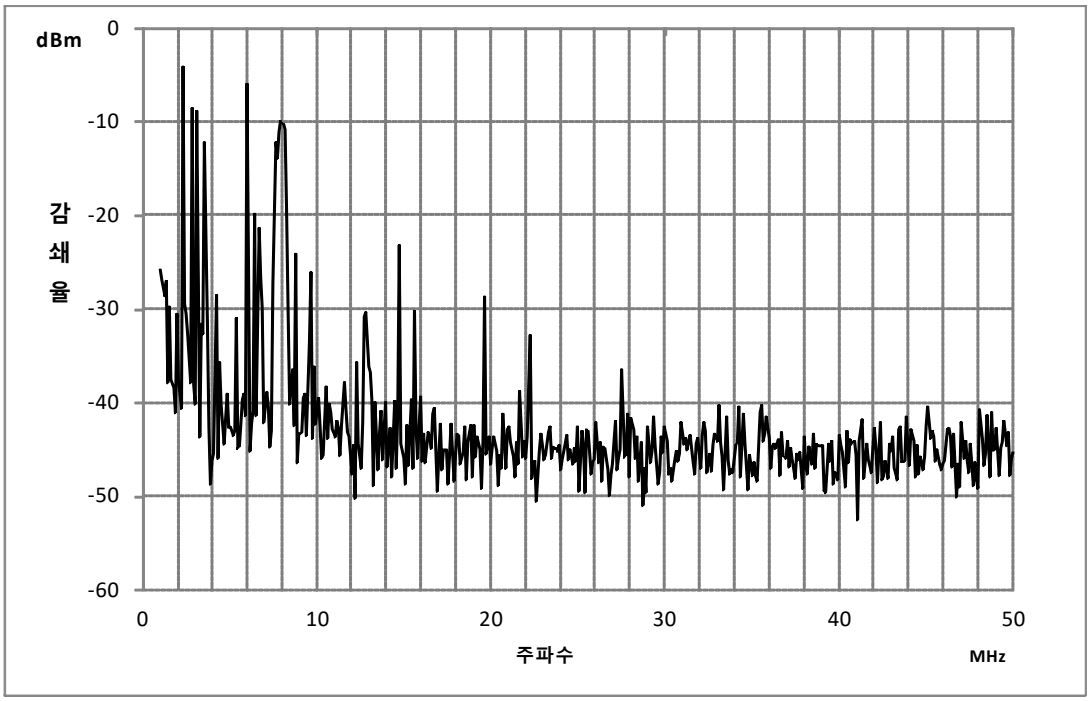
또한 주행, 역행, 제동, 교행 등 전기기관차가 전력 사용시에는 별도의 Noise 영향을 미지 않는다.



[그림 4-6-8] 차상에서 Noise 측정

바. 차상장치에서 Data 전송특성 시험

COS(Fuse) <-> 전차선 <-> 판토그라프 <-> MCB를 경유하는 과정에 Fuse 및 MCB의 접접을 통과하는 특성 및 전차선과 판토그라프(습판체)의 접속 특성을 측정하였으며 Data손실률은 지상에서와 유사한 전송손실을 보여, 접속 손실이 크게 작용하지 않은 것으로 보인다.



[그림 4-6-9] 차상에서 Data 손실 시험

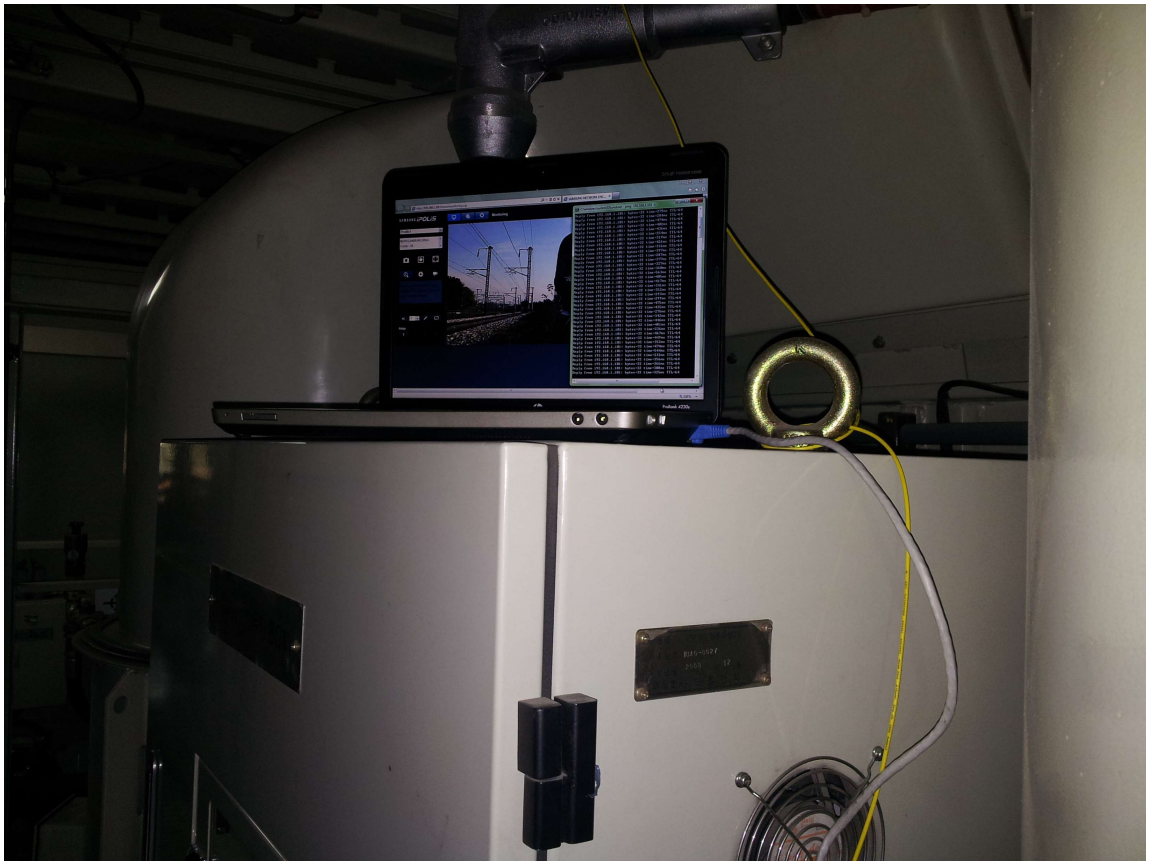
사. 차상장치에서 CCTV영상 전송 시험

지상시험과 동일한 조건으로 지상장치를 구성하고 이동하는 차상에서 CCTV영상의 전송 시험을 실시하였다.

첫번째 차상시험시에 영상의 전송특성이 매우 낮은(20Kbps, 1Frame/s 이하) 전송율을 보였으며, 재 시험을 위한 두 번째 시험에서는 보다 양호한 영상 전송률(400Kbps, 10Frame/s 이상) 을 보였다. 원인은 차량마다 안전 접지의 형태가 다르며 이는 신호결합기의 효율성에 영향을 미쳤다.



[그림 4-6-10] 차상에서 Data 손실 시험



[그림 4-6-11] 차상에서 지상 CCTV영상 수신 #1



[그림 4-6-12] 차상에서 지상 CCTV영상 수신 #2

아. 결론

여러 단계의 접속점을 통과하여 PLC통신을 전송할 경우 접속점의 전송손실 및 차량 내부의 동력 Noise로 인한 전송특성의 저하를 우려하였으나 영상정보(640x480 Pixel)의 전송시 10Frame/s 이상 전송 특성을 나타냈다. 전차선의 임피던스 매칭 및 Modem의 주파수 Searching 특성을 최적화할 경우 보다 좋은 영상 정송을 기대할 수 있을 것 이다.

전력선통신의 전기철도 활선 환경구축 및 응용 및 적용을 중심으로 연구가 추진되었으므로 거리에 대한 경제성 분석이 미흡하였으며, 전기철도의 전력선통신을 다양한 환경(전기차량의 역행,타행,제동)을 대상으로 시험을 실시하였으나 기후부분을 환경변화 항목으로 적용하지 못하였으나, 향후 실용화를 위해서는 반듯이 기후부분을 시험환경에 고려하는 확대 시험이 필요하다.

향후 상용화 연구가 추진되어 접속접의 전송손실률을 계수화하여 전제 전송특성을 설계할 수 있을 경우 다양한 용도의 차상장치를 PLC를 통하여 지상의 안전장치와 통신 할 수 있을 것 이다.

제7절 철도차량용 MMI 및 NMS개발

1. 연구배경

가. 개요

본 연구는 전기철도 열차의 안전업무종사자(관제사, 기관사, 신호원)간에 실시간으로 안전정보를 공유할 수 있는 전용통신시스템을 관리하는 MMI(Man Machine Interface) 및 NMS(Network Management System)를 개발하고자 함이다.

이 시스템은 주행 중인 전기차량과 실시간으로 선로주변 안전정보 및 철도운영정보(TIS:Train Information System))등을 지상근무 안전업무종사자간에 양방향으로 제공할 수 있는 전차선의 전력선 통신(PLC:Power Line Communication)을 의미한다.

본 과제에서 개발하여야 하는 시스템은 NMS(Network Management System)과 MMI(Man Machine Interface)시스템으로 관련 정의 및 기술내용은 다음과 같다.

나. 연구개발의 중요성

(가) 다양한 철도안전정보를 실시간으로 공유할 수 있는 통신매체(예: PLC)가 필요

- o 기존 선로주변의 정보수집은 다양한 전달매체(CCTV, 사고예방 감지정보 등)로 운영하고 있음.
- o 전기철도의 안전정보는 선로를 기준으로 넓은 영역에 산재되어 있으므로 실시간 안전업무종사자간에 정보공유가 매우 어렵다.
- o 이를 해결하기 위하여 전기철도구간에서 장비특성 및 위치에 제한 없이 단일체계로 실시간 정보를 수집 및 제공할 수 있는 전력선통신시스템이 매우 필요함.

(나) 주행 중인 열차와 지상근무 철도안전업무종사자간의 양방향 전용 통신매체가 필요

- o **주행 중인 전기철도차량**에 다양한 안전정보를 안전업무종사자간에 양방향으로 공유할 수 있는 철도통신매체시스템은 현재로선 없음.
- o 정부가 연구/투자 개발하여, 현재 상용화단계에 있는 전력선통신시스템을 전기철도전용 전력선통신 시스템으로서 적극 활용함.
- o 안정된(검증된) PLC 시스템의 기반기술을 활용하여 신규 연구에 소요되는 기간을

단축하고 정부 연구개발 비용을 절감함.

(다) 무인운전시대를 대비한 단일 철도전용 통신매체의 개발이 필요

o 향후 계획/도입예정인 도시철도(신교통시스템)의 무인화 운영에 대한 절대적 안전성 확보하기 위한 요소기술을 확보함.

o 차량/승객 및 정거장내 다양한 안전정보를 실시간 원격감시/제어할 수 있는 단일 통신매체의 요소기술 개발이 매우 필요함.

(2) 산업적 측면

(가) 신교통시스템 도입 시 시설인프라 감축

o 도시철도(신교통시스템)의 설계과정에 전차선 및 3궤조방식의 급전 시스템과 전기철도용 전력선 통신시스템을 일체화함으로써 철도 시스템이 반듯이 확보해야 하는 신호제어시스템 및 통신을 위한 인프라 시스템을 줄일 수 있음.**(향후 요소기술 적용시)**

o 세계적으로 전기철도를 위한 전력선통신의 연구가 미진한 가운데 선행연구를 통하여 미래철도의 기술적 선점 및 철도의 해외진출에 크게 기여함.

(나) 전기철도가 기본적으로 확보하고 있는 전차선을 전기철도용 전력선 통신 구축을 위한 기반 인프라로 활용

o 현재영업중인 기존 철도의 경우 이미 확보되어 있는 전기철도의 기본 구성요소인 전차선을 전력선통신의 전송매체로 활용하여 적은 시설투자 비용으로 실시간 철도안전정보 공유 및 다양한 응용을 구현함.

o 전기철도용 전력선 통신 시스템 인프라를 통한 높은 경제성 기대

(3) 사회·문화적 측면

(가) 첨단 IT기술을 철도차량 주행 동안 시간 및 공간의 제한 없이 공유

o 이동 중인 전기철도 차량에서 고정(정지)되어있는 지상의 시설물과 동일한 조건으로 Network망에 접근이 가능하여 **향후 요소기술 적용시** 사용자의 편이성 제공 및 교통수단 이동시 제한되는 생활의 패턴에 새로운 변혁을 이루는 계기가 된다.

(나) 열차의 관제 및 통제(관리)를 위한 제한된 시설/공간을 개선

o 열차의 관제 및 통제(관리)는 제한된 환경 내에서만 가능하나, 전차선을 이용한

전력선통신을 **향후 적용시** 위치(장소)나 공간의 제한 없이 적용함.

o 향후 계획/도입예정인 도시철도(신교통시스템)의 무인화 운영에 대한 절대적 안전성 확보를 위해서는 차량/승객 및 정거장내 다양한 안전정보를 실시간 원격감시/제어할 수 있는 단일통신매체의 개발이 매우 필요함.

2. 연구개발내용

가. 관련기술검토

(1) NMS(Network Management System)

네트워크상의 전 장비들의 중앙 감시 체제를 구축하여 Monitoring, Planning 및 분석이 가능하여야 하며 관련 데이터를 보관하여 필요 즉시 활용 가능하게 하는 관리 시스템이다. 다시 말하면, NMS는 네트워크 관리자가 NMS제품을 사용하여 현재 운영되는 workstation으로부터 네트웍을 control and monitor할 수 있게 한다.

가) NMS의 역할

- o 네트워크상의 전 장비들의 중앙 감시 체제를 구축하여 Monitoring, Planning 및 분석이 가능하여야 하며 관련 데이터를 보관하여 필요 즉시 활용 가능하여야 한다.
- o SNMP Protocol을 관리Protocol로 사용하며 CMIP으로의 전환 방안이 제시되어야 한다.
- o Ethernet및 FDDI네트워크에 접속되어있는 자원들을 관리할 수 있어야 한다.
- o Graphic User Interface를 지향해야 한다.
- o MIB-1, MIB-2및 타 Vendor Specific MIB을 지원할 수 있어야 한다.
- o 보안성이 우수하고 관리가 용이해야 한다.

통상 NMS는 Workstation급에 Network관리자가 사용하기에 편한 곳에 설치하며 단위 Network에 복수 개의 NMS를 병행할 수도 있다. NMS구동은 SNPM에 의해 작동하며 SNMP(Small Network Management Protocol) System은 NMS, NMS Agent, MIB(Management Information Base) 3부분으로 이루어진다. SNMP는 Network Device 즉, Routers, Bridges, Terminal Server, Host PC 등에 직접 Query하는 Transaction-Oriented Protocol이다.

NMS는 SNMP Agent에 정보를 의뢰함으로써 Device들을 감시 제어한다. SNMP Agent는 NMS의 요구에 응답하고 Network상의 관리 대상 장비에 존재하는 S/W이다. Agent에는 장비에 관한 정보인 MIB(Routing Table Counter, status indication 등)이 있으며 이들은 Agent에 대한 NMS의 Poll과 Query에 대한 응답으로 NMS에 보내지고 이들은 다시 DB에 저장된다.

본래 의미에서의 네트워크 관리 기능은 아직 사람에게 의지하고 있지만 최근에는 SNMP등의 규격화된 관리용 Protocol을 이용하는 제품이 출하되기 시작했다. 그러나 SNMP을 지원하고 있는 기기만 관리 대상이 되므로 이후 network에 접속되는 기기는 이와 같은 Protocol을 지원하는 추세가 가속화 되고 있다.

나) SNMP프로토콜

SNMP(Small Netowork Management Protocol)은 다음의 3부분으로 구성되어있다.

o 관리대상 (서비스 제공자, Agent)

o 네트워크 관리 Station(서비스 이용자, manager)

o 네트워크 관리 Protocol

SNMP는 IP (Internet Protocol)에서 작동하는 UDP(User datagram Protocol:커넥션형 트랜스포트 프로토콜)에 장치되어 있다. 따라서 SNMP통신을 하기 위해서는 Manager와 Agent모두에게 가IP Address가 필요하다.

SNMP의 기본 명령어 및 동작은 아래 표와 같다.

명령어	
GET	관리정보를 검색하는데 사용된다.
GET-NEST	관리정보를 연속해서 검색하는데 사용된다.
SET	관리정보를 바꿔 쓰는데 사용된다.
TRAP	예외 작동을 통지하는 경우에 사용된다.

동작	
변수 읽어 들이기	Agent가 가지고 있는 변수를 읽어 들인다.
변수 써 넣기	Agent가 가지고 있는 변수를 바꿔 쓴다.
트립	네트워크장비에 예상치 못한 이벤트가 발생하였음을 알린다.

이러한 명령어들은 모두 SNMP Manager측에서 발신되지만 SNMP Agent측에서는 장애 등의 예상치 못한 사태가 발생했을 때에만 SNMP Manager에게 trap명령을 통지하는

구조로 되어 있다.

(2) XML

XML(Extensible Markup Language)은 웹에서 데이터를 사용하기 위한 범용 언어로 개발된 데이터 구성용 규약으로 응용프로그램 개발자는 매우 다양한 응용 프로그램으로부터 구조화된 데이터를 로컬 컴퓨팅 및 프레젠테이션을 위해 데스크톱으로 전달할 수 있다.

응용프로그램에서 XML을 사용하게 되면 다음과 같은 장점을 기대할 수 있다.

로컬 컴퓨팅을 위해 데이터를 전달할 수 있다. 로컬 컴퓨팅을 위해 데스크톱으로 전달된 데이터를 사용할 수 있다. XML 파서가 데이터를 읽을 수 있으며 그런 다음 이 데이터는 추가적인 보기나 처리를 위해 브라우저와 같은 로컬 응용 프로그램으로 전달되며 이 데이터는 또한 XML Object Model을 사용하는 기타 프로그래밍 언어 또는 스크립트를 사용하여 조작할 수 있다.

사용자에 적합한 형태로 구조화된 데이터를 볼 수 있다. 응용프로그램으로 전달된 데이터는 다양한 방식으로 표현될 수 있으며, 로컬 데이터 컬렉션은 사용자 기본 설정 및 구성과 같은 인자에 기초하여 사용자에게 가장 적합한 뷰에서 동적으로 표현할 수 있다.

다양한 소스로부터 구조화된 데이트를 통합할 수 있다. 통상적으로 에이전트를 사용하여 중간 계층 서버의 응용 프로그램 및 백 엔드 데이터베이스의 데이터를 통하여 데스크톱 또는 기타 서버에 전달한 다음 추가적인 집계, 처리 및 분배 작업을 할 수 있다.

매우 다양한 응용 프로그램의 데이터를 설명할 수 있다. XML은 확장성이 있기 때문에 웹 페이지 컬렉션의 설명에서부터 데이터 레코드에 이르는 매우 다양한 응용 프로그램에 포함되어있는 데이터를 설명하기 위해 사용할 수 있으므로, XML로 구성된 데이터자체가 설명을 가지고 있기 때문에 내장된 데이터 설명 없이 데이터를 받고 처리할 수 있다.

미립형 업데이트를 통해 성능을 향상시킨다. XML에서는 미립형 업데이트가 가능하여, 개발자는 변경이 생길 때마다 구조화된 데이터를 전부 보낼 필요가 없고, 미립형 업데이트를 사용하면 변경된 요소만 서버에서 클라이언트로 보내면 된다. 변경된 데이터는 전체 페이지 또는 테이블을 새로 고칠 필요 없이 표현될 수 있다.

XML은 웹 사이트 작성 및 문서 작성에서부터 데이터베이스 통합 및 분산 프로그래밍에 이르기까지 놀라울 정도로 폭 넓은 응용 프로그램에서 사용되고 있다. XML의 몇 가지 사용 영역은 다음과 같다.

B2B 전송. 비즈니스 데이터(송장, 구매 요청서, 회계 및 세금 정보 및 그 이상)가 XML 형식으로 업체 간에 전자적으로 전송되고 있다. XML은 하나의 송장 형식을 또 다른 형식으로 변형 작성할 수 있는 편이성이 전혀 없는 이전의 EDI(electronic data interchange) 형식보다 많은 장점을 제공한다.

분산 프로그래밍. XML은 복합적인 다중 플랫폼 응용 프로그램 작성에 이상적이기 때문에 Windows 서버를 다른 운영 체제와 통합할 수 있다.

웹 사이트 아키텍처. XML의 계층 및 분산 성질로 인해 웹 사이트 개발자들은 웹 사이트의 전체 아키텍처 및 탐색 구조에서 XML의 사용을 점진적으로 증가시키고 있다. 내용 및 색인 테이블, 사용자 정보 및 웹 사이트의 상태를 추적하기 위한 XML 구조, HTML 기반 구성 요소 그리고 데이터 흐름을 처리하기 위한 전달 매체 모두가 점진적으로 XML 및 XSLT로 작성되고 있다.

데이터베이스 작업. XML은 데이터베이스와의 상호 작용에 대한 선택 수단으로 호응을 얻고 있다(XML 레코드를 사용한 데이터베이스의 업데이트 또는 SQL 쿼리로부터 XML 데이터 집합을 검색). 이것은 또 한번 구현을 분리하는 장점을 가져다 주며, 데이터를 XML로 표현함으로써 실제 데이터베이스 구조에 대한 지식이 필요 없다.

문서 관리. 대부분의 회사는 서류 업무의 바다에서 허덕이고 있으며 이는 시간이 흐를수록 악화되기만 하고 있어 문서를 더욱 쉽게 검색할 수 있도록 문서를 XML로 인코딩하거나 더 효과적으로 참조할 수 있는 문서에 연결된 어떤 형식의 주석 컨텍스트를 제공하기 위해 XML을 점진적으로 사용하고 있다.

(3) ICMP PROTOCOL

ICMP란 Internet Control Message Protocol의 약자로 인터넷 프로토콜 스위트에 기록된 주요 프로토콜 가운데 하나이다. 네트워크 컴퓨터 위에서 돌아가는 운영체제에서 오류 메시지(Requested service is not available 등)를 전송받는 데 주로 쓰이며 인터넷 프로토콜의 주요 구성원 중 하나로 인터넷 프로토콜에 의존하여 작업을 수행한다. 즉, ICMP는 주로 TCP/IP에서 IP패킷을 처리할 때 발생되는 문제를 알려주는 프로토콜로 사용된다.

또한 TCP/UDP 와는 달리 End System(ES, 종단시스템) 간 자료를 주고받는 역할은

수행하지 않고 단지 네트워크 경로상의 전송이 유효한지를 검사하는 목적으로만 사용하고 있어 이를 이용하여 경로추적 혹은 통신망의 효율을 측정하는 목적으로 사용할 수 도 있다.

ICMP 메시지는 2가지로 분류를 할 수 있는데 첫 번째는 네트워크 오류를 보고 하는 것이고,다른 하나는 네트워크 상태 조사를 할 때 질의를 하고 요청을 할 때 사용을 한다.

ICMP 패킷의 기본 구조는 아래와 같다.

TYPE	CODE	CHECKSUM
ICMP Message		

위의 ICMP 패킷에서

TYPE : ICMP 메시지의 종류

CODE : 타입멸 추가 코드

CHECKSUM : ICMP 헤더의 손상여부를 확인하기 위한 추가정보

본 과제에서는 ICMP를 이용하여 전송효율을 계산하는 데 사용하였으며 기본적으로 적용되어 있는 ICMP의 전송데이터 크기는 단순하게 네트워크상의 경료가 유효한지만 점검하기 위한 목적으로 사용하기 위하여 또한, 네트워크 경로상에 부하를 최소화하기 위하여 작은 크기(약32Bytes)를 송수신하여 정확한 통신 속도를 계산할 수 없어 본 과제에서는 별도의 ICMP프로토콜을 통신속도 측정을 하기 위한 목적으로 개발하여 전력선을 이용한 통신의 부하량을 계산하였다.

(4) MMI(Man Machine Interface)

가) 개요

MMI란 Man-Machine Interface의 약어로서 기기의 상태를 사람이 인지할 수 있도록 그래픽으로 표현하여 주는 컴퓨터 시스템을 말한다.

본 과제에서의 MMI의미 또한 일반적으로 사용하고 있는 의미와 유사하게 선로상의 각종 장비들의 상태를 MMI운영자, 기관사가 인지 할 수 있도록 그래픽 컬하게 표현하여주는 기능 외에 선로에 위치하고 있는 CCTV의 화면을 출력하기 위한 기능을 담

당하게 된다.

나) 기능

산업에서의 일반적인 MMI의 기능은 다음과 같다.

o 각종 정보의 실시간 취득 및 제공으로 관리 효율 향상

o 비 가동 상황 등 실시간 전달로 생산성 향상

o 설비를 제어하는 MMI와 POP 장비를 통합하므로써 작업자 I/F를 간소화

o 설비 도입 시부터 상위시스템과의 I/F를 고려, POP기능을 추가하므로 써 POP장비 별도설치 불필요

o 각종 품질, 실적에 있어 설비와 직접적으로 취득을 함으로써 정도율 향상

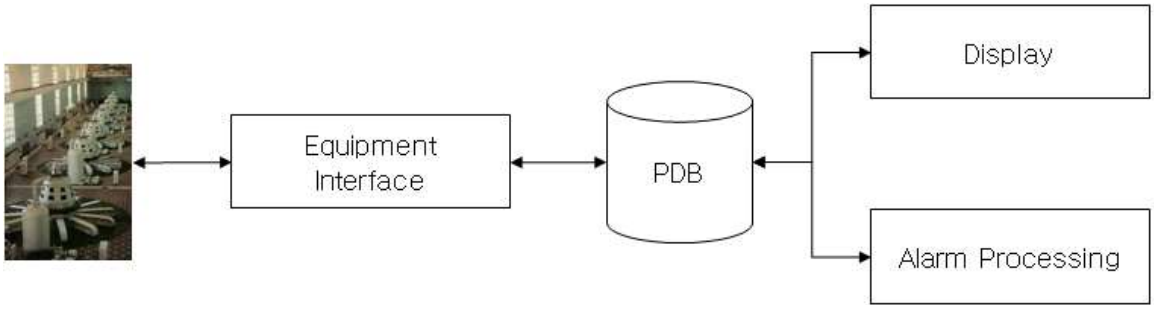
o 각종 제어/Trend 성의 데이터도 상위 시스템으로 보고함으로써 Lot 추적용이

o 사무실 어떠한 장소에서도 설비 모니터링 가능

o 설비 자동 세팅을 통한 품질 균일화 및 생산성 향상

다) 구성

MMI시스템의 기능을 수행하기위하여 다양한 방식의 구성 요소가 필요하지만 가장 일반적으로 필요로 하는 구성 모듈은 다음과 같다.



o Data수집기능

설비로부터 데이터를 수집하는 기능으로 설비의 상태정보, 실적정보 등을 수집한다.

o 화면표시기능

수집된 데이터를 가공하거나 수집된 그대로 운영자가 인지할 수 있도록 컴퓨터 모니터에 표시한다.

o 설비제어기능

운영자의 제어명령을 설비로 전송하거나 내부의 연산에 의한 판단으로 명령을 생성하여 설비로 전송하여 설비를 제어한다.

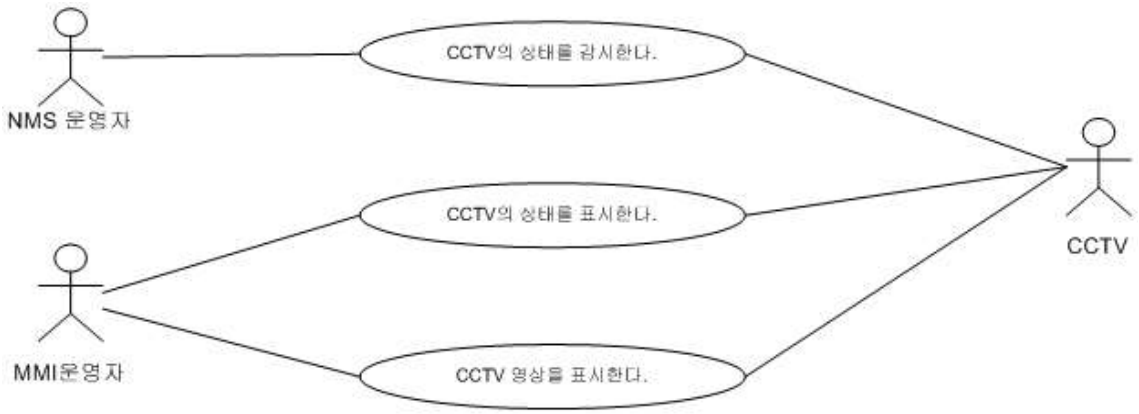
o 알람처리

운영자에 의하여 설정된 기준에 의하여 설비의 이상상태발생시 이를 운영자가 인지할 수 있도록 화면에 표시하거나, 운영자의 인지여부를 관리한다.

나. 업무정의

전차선 전력선을 이용하여 CCTV영상을 표현하기 위한 MMI(Man Machine Interface)와 선로상의 장착되어 있는 CCTV의 상태를 감시하기 위한 NMS시스템을 구축을 위한 업무정의를 위하여 객체지향형 개발 방법론에서 주로 사용하고 있는 UML(Unified Modeling language)를 이용하여 분석 및 설계를 진행하였다.

가) 업무 유스케이스 모형

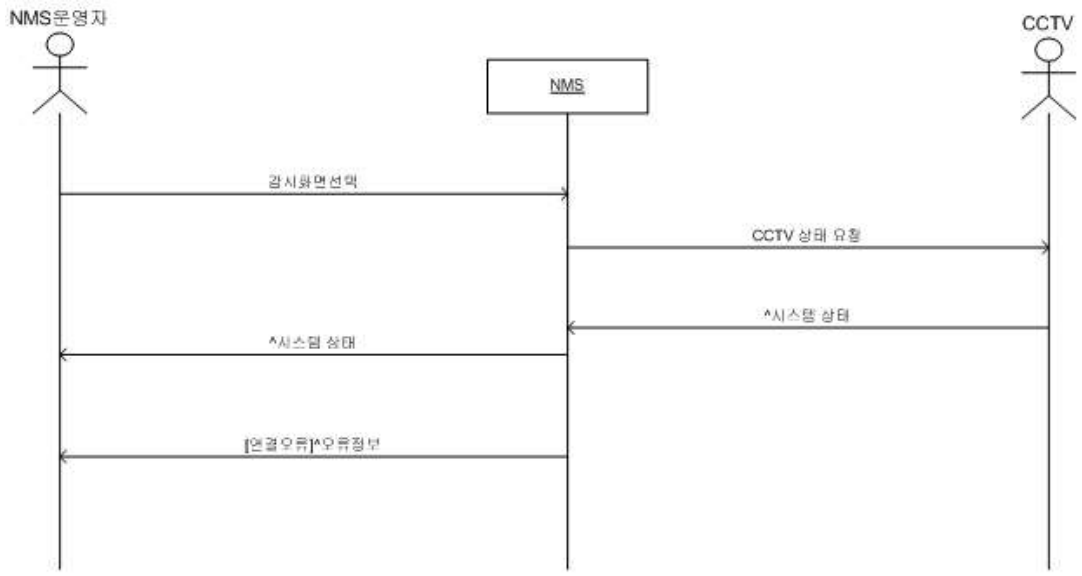


ACTOR	ACTOR 설명
NMS운영자	CCTV의 상태를 감시하기 위한 운영자
MMI운영자	CCTV를 통하여 선로의 상태를 감시하는 운영자로 본 과제에서는 기관사가 MMI운영자가 된다.
CCTV	운행정보를 영상으로 알려주기 위한 CCTV로 선로 상에 설치된다.

나) 시나리오

1) CCTV상태를 감시한다.

이 USECASE는 NMS운영자가 선로에 부착되어 있는 CCTV의 상태를 감시하기 위한 USECASE로 시스템이 CCTV의 상태를 읽는 단계부터 시작합니다.



o 정상흐름

-. NMS운영자는 CCTV의 상태를 감시하기 위한 화면을 선택한다.

-. 시스템은 CCTV의 상태를 요청한다.

-. 시스템은 CCTV로 부터 상태정보를 수신한다.(예외1)

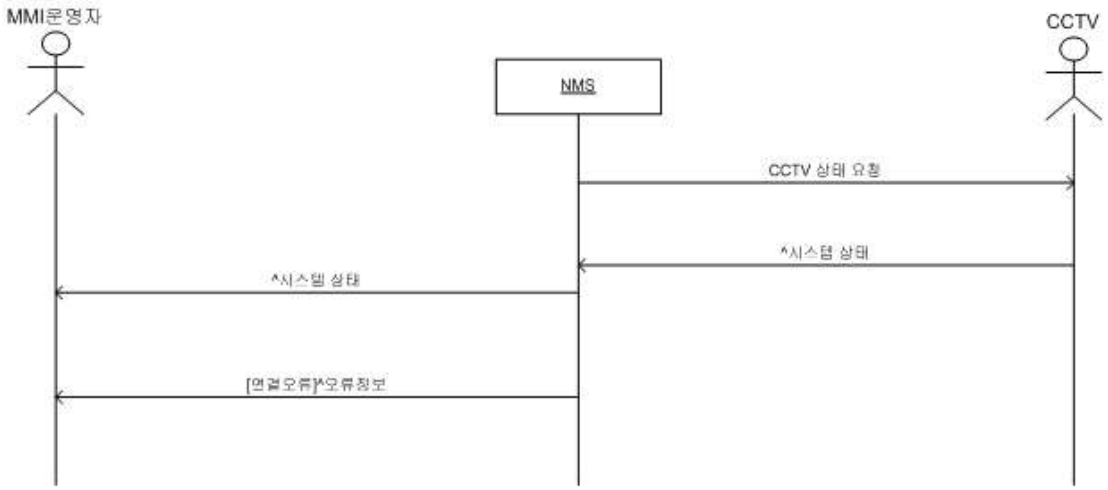
-. 시스템은 CCTV로 부터 수신한 상태정보를 화면에 표시한다.

o 예외흐름

-. 예외1) 네트워크 경로의 이상으로 상태정보를 수신하지 못할 경우 오류정보를 NMS운영자기 인식할 수 있도록 한다.

2) CCTV상태를 표시한다.

이 USECASE는 MMI운영자를 위한 USECASE로 MMI운영자(기관사)의 운행경로상의 CCTV의 상태를 인지할 수 있도록 하기 위한 USECASE이다.



o 정상흐름

-. 시스템은 CCTV의 상태를 요청한다.

-. 시스템은 CCTV로 부터 상태정보를 수신한다.(예외1)

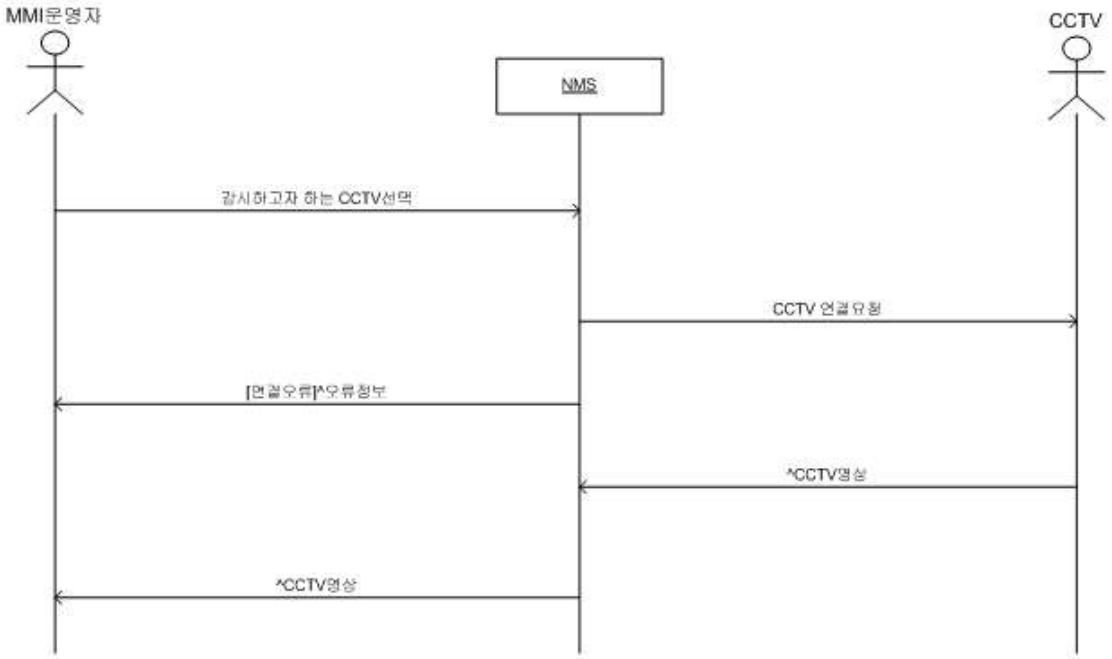
-. 시스템은 CCTV로 부터 수신한 상태정보를 MMI화면에 표시한다.

o 예외흐름

-. 예외1) 네트워크 경로의 이상으로 상태정보를 수신하지 못할 경우 오류정보를 NMS운영자기 인식할 수 있도록 한다.

3) CCTV영상을 표시한다.

이 USECASE는 CCTV로부터 영상을 수신하여 NMS운영자가 이를 통하여 상황판단 및 조치를 취할 수 있도록 하기 위한 USECASE입니다.



o 정상흐름

-. MMI운영자는 감시하고자 하는 CCTV를 선택한다. (예외1)

-. 시스템은 선택된 CCTV와 연결을 시도한다.(예외2)

-. 시스템은 연결된 CCTV로부터 CCTV영상을 수신한다.

-. 시스템은 수신된 영상을 MMI운영자가 감시할 수 있도록 화면에 출력한다.

o 예외흐름

-. 예외1) 이 시스템이 실제 현장에 적용되지 위해서는 MMI운영자가 CCTV를 선택하지 않고 열차의 위치에서 근거리에 있는 CCTV의 위치정보(IP주소 등)을 자동으로 인식하여 연결하도록 구성되어야 하나 당해 년도 과제에서는 PLC를 통한 CCTV영상의 송수신만을 파악하는 단계이므로 MMI 운영자CCTV를 선택하여 감시하는 USECASE를 적용한다.

예외2) 선택된 CCTV와의 연결이 되지 않을 경우에는 MMI화면에 연결오류 되었다

는 사실정보와 연결오류원인을 표시한다.

다. MMI및 NMI화면구성

가) 개요

NMS운영자를 위한 NMS화면과 MMI운영자를 위한 MMI화면은 현장(선로)에 설치된 CCTV 등으로부터 정보를 수신하여 화면에 표시하게 된다.

선로에 위치한 CCTV및 각종 전송장비의 상태정보를 PLC(Power Line Communication)을 통하여 NMS(Network Management System)에 표시하거나 열차 내에 설치될 예정인 MMI에 선로영상 및 모뎀을 포함한 각종기기의 상태를 표시하게 된다.

나)화면일람

본 과제에서의 화면은 크게 NMS운영자를 위한 NMS화면과 MMI운영자를 위한 MMI화면과 같이 두 종류의 화면으로 구성이 된다.

화면명		기능
NMS화면	NMS구성화면	감시하고자 하는 NMS화면을 구성하기 위한 화면으로 당해 년도 과제에서는 제외됩니다. 당해 연도에서는 감시하고자 하는 화면에 대한 구성은 표준 에디터를 이용하여 XML문서로 작성하며 내년도에 Builder에 대한 기능을 추가합니다.
	NMS표시화면	감시하고자 하는 NMS화면을 표시하는 화면으로 NMS구성화면에서 작성된(당해 년도의 경우에는 XML에 의하여 구성) 파일을 이용하여 CCTV의 상태정보를 표시하도록 구성합니다.
MMI화면	MMI구성화면	NMS화면구성에 사용되는 모듈을 재활용하여 구성하게 되며 당해 년도의 경우에는 NMS구성 화면과 동일한 방식으로 작성된 XML파일을 이용하여 처리합니다.
	MMI표시화면	MMI구성화면 툴을 이용하여 작성된 파일을 기준으로 하여 CCTV의 상태를 포함한 각종 정보를 표시하거나 CCTV의 영상을 표시하도록 구성합니다.

다)화면구성방식

NMS및 MMI화면 구성하는 방법에는 다양한 방법이 있을 수 있지만 본 과제에서 적용

할 수 있는 방법에는 두 가지가 있다.

o 프로그램에 의한 구성

프로그램에 의한 화면구성은 C#, VB와 같은 4세대언어를 이용하여 화면을 프로그램에 의하여 구성하는 방법으로 제약 없이 화면 구성이 가능하나 변경사항 발생시 개발자 외에는 수정할 수 없다는 단점이 있다.

o 운영화면 Builder에 의한 구성

별도의 운영화면 Builder를 이용하여 화면을 구성하는 방법은 별도의 운영화면 Builder를 개발하여 개 하는 단점이 있습니다만 변경사항 발생시 프로그램개발자가 아니더라도 손쉽게 변경할 수 있는 장점이 있다.

운영화면 Builder를 이용하는 방식의 경우 기능상에 제약에 발생할 경우 구성이 불가능할 수도 있지만 Builder 및 Viewer의 업그레이드만 가능하다면 프로그램을 이용하여 구성하는 방식의 장점을 모두 수용하면서 변경사항 반영을 프로그래머가 아닌 사람이 손쉽게 변경사항을 반영할 수 있다는 장점이 있어 본 과제에서는 운영화면 Builder를 통한 화면구성방식을 적용할 예정이다.

라)화면구성언어

운영화면구성을 위한 Builder를 이용하여 NMS 및 MMI화면을 구성할 경우 Builder의 출력파일 이면서 NMS및 MMI 입력 파일형식은 매우 중요하다. 본 과제에서는 최근 들어 각종 분야에서 사용하고 있는 XML파일을 이용한 화면 구성방식을 적용할 예정이다.

화면을 구성할 객체의 종류는 MMI및 NMS에서 가장 많이 사용되는 CCTV, 모뎀등과 같은 감시 대상이 되는 컨트롤 객체와 화면을 보조적으로 표시하기 위한 문자표시창, 선, 사각박스, 원 등과 같은 스태틱 객체가 선언되어 화면구성모듈에서 사용되게 된다.

o 컨트롤 객체

동영상을 표시하기위한 동영상 컨트롤, CCTV 컨트롤, PLC모뎀 컨트롤등과 같이 상태정보를 가지고 있는 컨트롤에 대한 객체를 의미하며 각 컨트롤은 상태를 실시간으로 표시하거나 실제 이미지와 유사한 형태로 화면에 표시되게 된다.

객 체 명	기능
동영상 컨트롤	CCTV로부터 수신한 영상을 표시한다.
CCTV컨트롤	CCTV상태를 표시한다.
PLC모뎀	PLC모뎀의 상태를 표시한다. 송수신 데이터 통계를 제공한다.(PLC모뎀이 기능제공시)
텍스트 컨트롤	추 후 MMI에 안전정보를 표시하기위한 컨트롤로서 중앙센터로부터 각종정보를 수신하여 화면에 표시하기 위한 컨트롤

o 스태틱 객체

컨트롤 객체를 보조하여 화면을 구성하는데 사용되는 객체로 선, 사각박스, 원(타원포함), 텍스트박스등과 같은 객체로 이벤트에 따라 색상 등을 변화할 수 있도록 구성된다.

객 체 명	기능
선	감시화면에 선을 표시하기 위한 객체
사각박스	감시화면에 사각박스를 표시하기 위한 객체.
원	타원그리기를 포함한 원을 표시하기 위한 객체

o 속성

컨트롤 객체 및 스태틱 객체는 MMI, NMS화면에 표시될 수 있도록 하기위한 속성을 가지고 있으며 속성은 공통속성과 컨트롤객체의 경우 컨트롤 객체의 행위를 위한 고유한 특성이 정의된다.

먼저 공통속성에는 다음과 같이 정의된다.

속 성	기능
Left	객체의 왼쪽 위치 좌표
Right	객체의 오른쪽 위치 좌표
Height	객체의 높이
Width	객체의 넓이
LineColor	객체의 외곽선 색상
FillColor	객체내부의 색상

동영상 컨트롤 객체의 추가속성은 다음과 같다.

속 성	기능
IPAddr	CCTV의 IP주소정보
Port	CCTV의 서비스포트 정보

CCTV 컨트롤 객체의 추가속성은 다음과 같다.

속 성	기능
IPAddr	CCTV의 IP주소 정보

Port	CCTV의 서비스포트 정보

PLC모뎀 컨트롤 객체의 추가속성은 다음과 같다.

속 성	기능
IPAddr	PLC모뎀 IP주소정보
Port	PLC모뎀의 서비스포트 정보

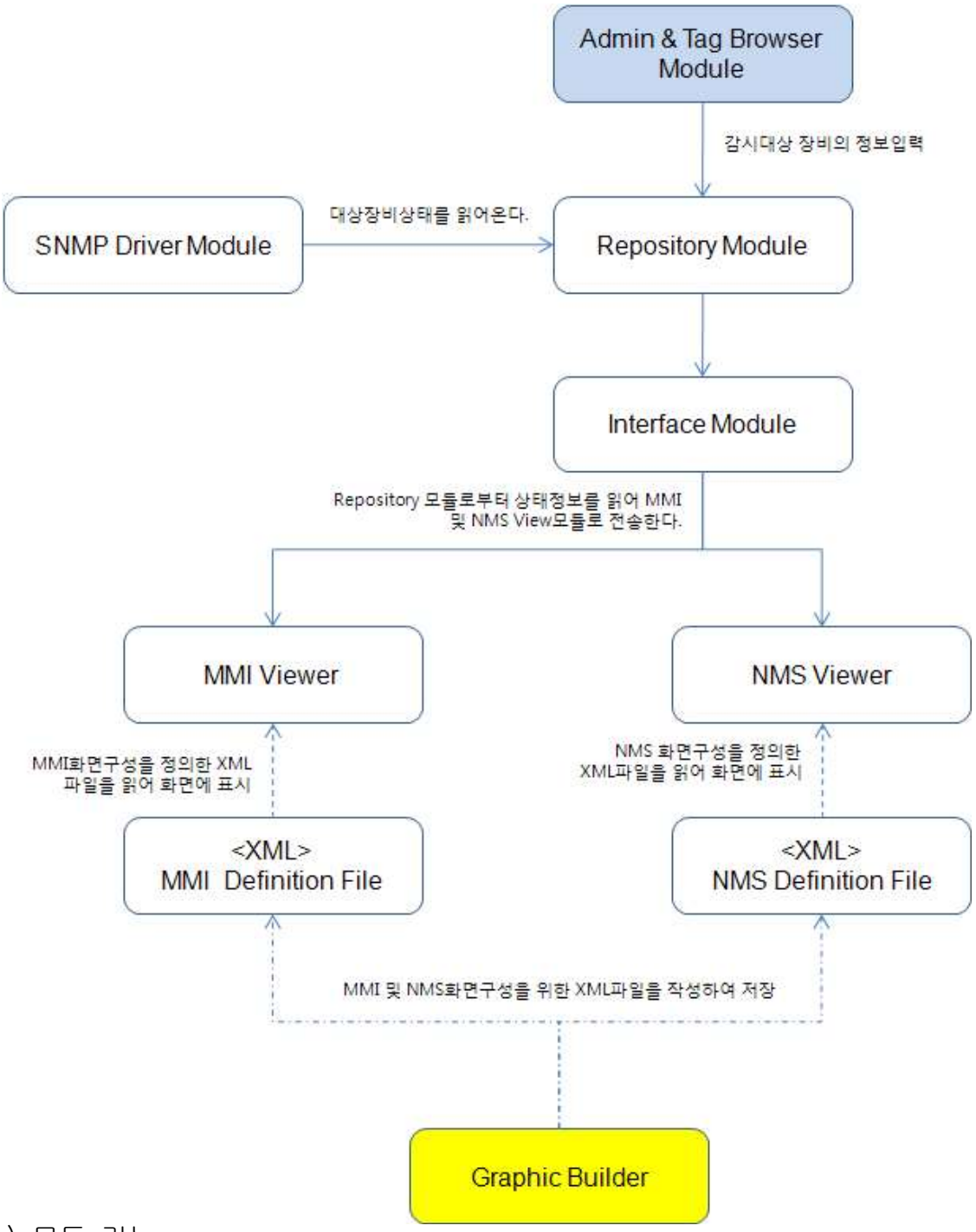
텍스트 컨트롤 객체의 추가속성은 다음과 같다.

속 성	기능
IPAddr	텍스트정보를 표시하기 위한 서버 IP정보
Port	텍스트정보를 표시하기 위한 서버 PORT정보

라. 상세설계

가) 모듈배치

당해연도 과제에서의 MMI및 NMS모듈은 화면 표시 기능만을 구현하게 되며 각 구현모듈의 구성은 다음과 같다.



나) 모듈 기능

NMS및 MMI시스템을 위한 모듈및 기능은 다음과 같다.

모듈명	설명
SNMP 드라이버모듈	선로에 설치되는 CCTV, PLC모뎀등의 상태정보를 읽어오기 위한 모듈로 일반적인 NMS에서 표준으로 사용하고 있는 프로토콜인 SNMP를 통하여 상태정보를 읽어온다.
Repository 모듈	시스템의 안정성을 확보하기 위하여 데이터를 관리만을 위한 별도의 모듈을 구성하였으며 기 개발된 관리모듈과 연계가능하도록 구성한다.
Interface 모듈	NMS및 MMI Viewer모듈로 수집된 정보를 전송하기 위한 기능을 담당하는 모듈로 Repository 모듈에 저장되어 있는 CCTV, PLC모뎀의 상태가 변경될 때마다 운영자의 조작없이 NMS및 View모듈로 전송하도록 구성한다.
NMS Viewer모듈	NMS운영자에 의하여 관리되는 모듈로 Interface모듈에 의하여 전송된 정보를 화면에 표시하는 기능을 담당한다. 화면구성정보는 차기연도 개발예정인 Graphic Builder에의하여 생성된 XML을 이용하여 화면을 표시하게 된다.
MMI Viewer모듈	MMI운영자에 의하여 관리되는 모듈로 Interface 모듈에 의하여 전송된 정보를 MMI화면에 표시하는 기능을 담당한다. NMS Viewer 모듈과 동일하게 화면구성정보는 Graphic Builder에 의하여 작성된 XML파일을 이용하여 화면을 구성하게 된다.

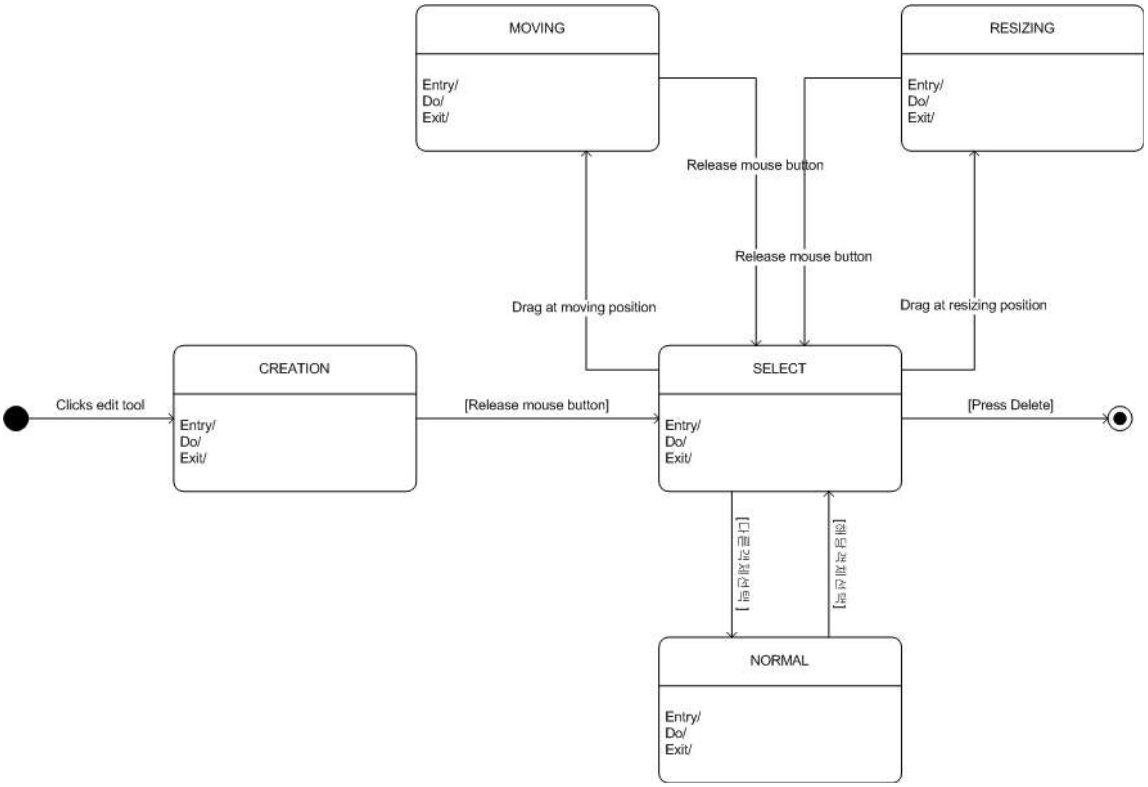
Graphic Builder모듈은 NMS 및 MMI의 설계단계에서 새롭게 추가된 모듈로 차기연도에 개발될 예정이며, 화면구성을 운영자가 손쉽게 하기 위한 유틸리티 모듈로써 구성된다.

드라이버 구성 및 정보관리를 위한 유틸리티 모듈은 타 시스템 구성에서 사용되었던 모듈을 재활용하게 되며 이를 위하여 Repository모듈과 Admin모듈의 호환성 유지를 위하여 내부데이터 구조를 통일하여야 한다.

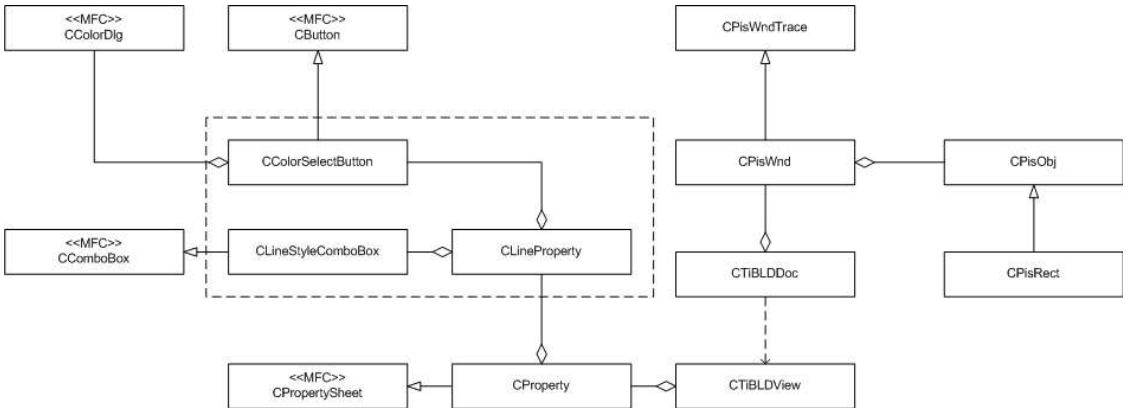
다) Graphic Builder

Graphic Builder구현을 위한 상세설계 문서는 다음과 같다.

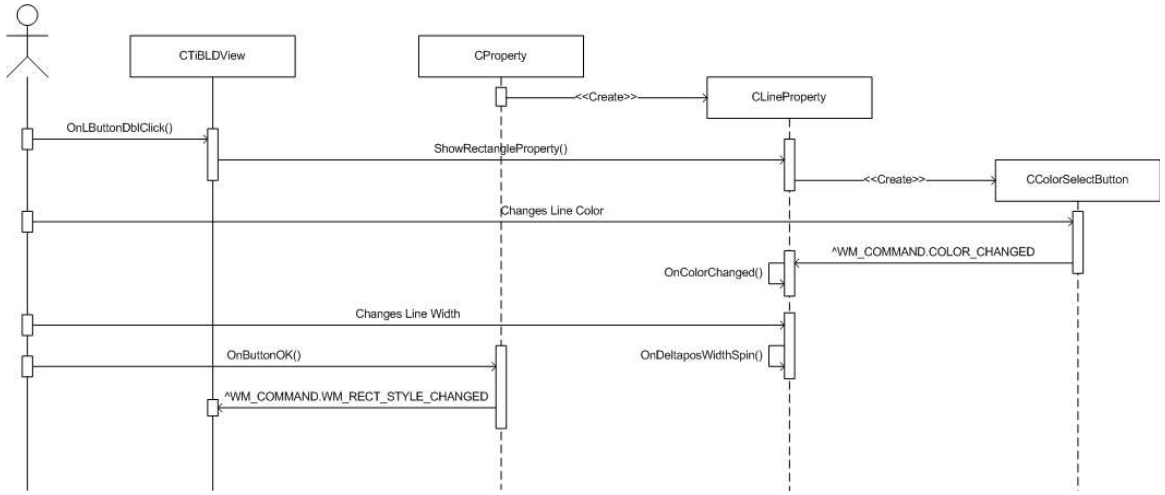
1) StateChart Diagram



2) Class Diagram



3) Sequence Diagram



마. 현장시험

가) 개요

전기철도 전차선의 전력선 통신의 통신효율을 측정하기 위하여 현장에 관련 장비를 설치하고 다음과 같이 실험을 실시하였다.

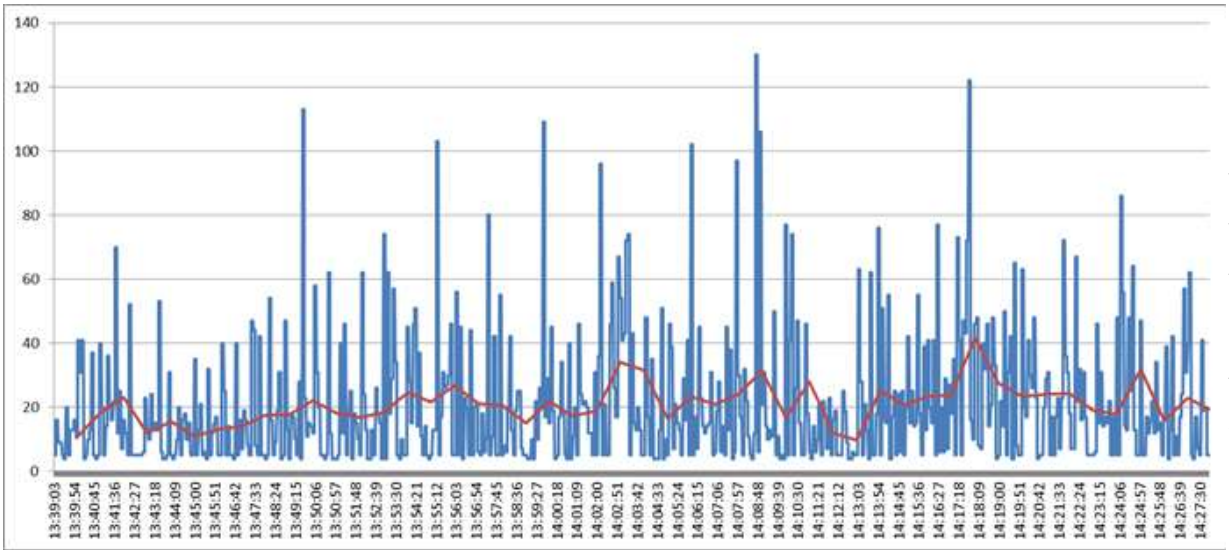
시험일시 : 2011년 10월 21일

시험장소 : 경기도 부곡역

나) 시험결과

전기철도 전력선의 통신속도를 측정하기 위하여 1000 bytes의 데이터를 ICMP (Internet Control Message Protocol)에 실어 1초 간격으로 반대편 전력선 모뎀으로 전송하여 되돌아 오는 시간(이하 응답시간으로 표현)을 밀리 세컨드 단위로 측정하여 방법을 사용하였다.

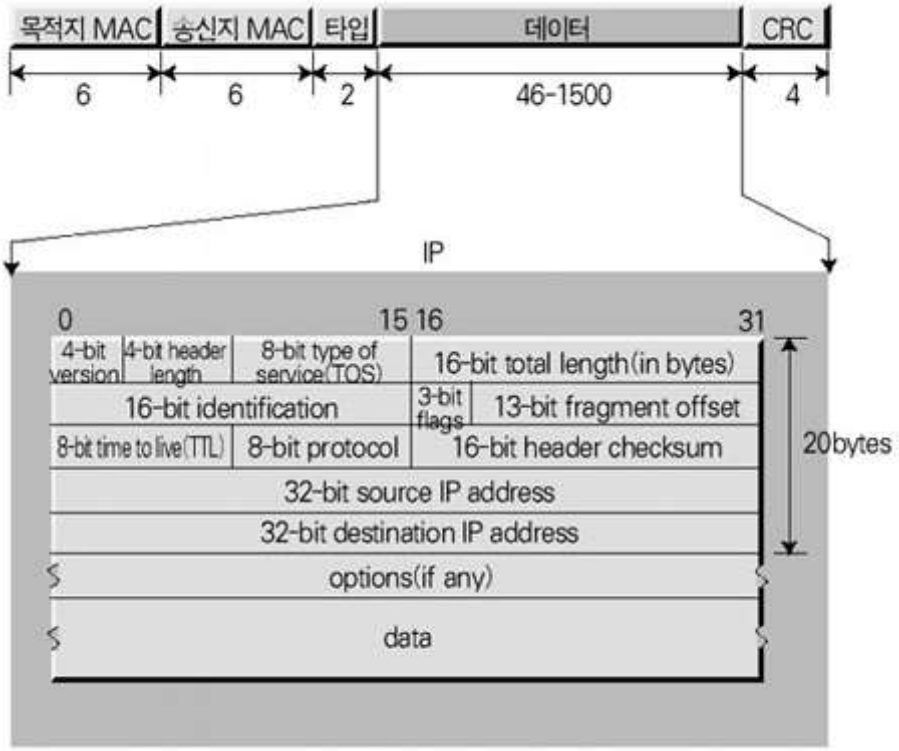
그림1에서 청색은 1초간 격으로 측정한 데이터를 의미하며 적색은 1초간격의 데이터를 1분 간격으로 평균 계산하여 측정한 값을 그래프로 표시하였다.



통신속도를 측정하는 환경은 전기철도 전력선에 AC2500KV가압한 상태이며, 주행선로에는 실제로 전동차, 전기동차, 디젤기관차 등이 주행한 상태에서 측정하였으며, 전동차 등이 주행할 때 통신속도에 영향을 주는지를 비교하였으나 전동차등의 주행과는 관계없이 불규칙하게 통신속도의 변화가 있었다.

응답시간을 이용하여 통신속도를 계산하기 위하여 다음과 같은 식을 사용하였다.

일반적으로 1000 byte의 데이터를 ICMP protocol에 실을 경우 네트워크에 실리는 Packet의 크기는 다음과 같이 계산할 수 있다.



데이터크기 =Ethernet헤더크기(14 Bytes) + IP헤더크기(20 Bytes) + 데이터크기(1000Bytes)+CRC크기(4Bytes)

데이터크기=14 + 20 + 1000 + 4 = 1038 Bytes

위에서 계산 전송데이터를 이용하여 통신속도(Bitrate)를 계산하기 위하여 다음과 같은 식을 사용한다.

$$Bitrate[KBPS] = \frac{PacketLength * 8(bit / byte) * 2}{ResponseTime}$$

위에서 상수 8은 Bytes를 Bit로 변환하기 위한 상수이며, 상수 2는 실험에서 측정된 값이 되돌아온 시간을 의미하므로 단일 방향으로의 통신속도를 계산하기 위하여 사용하였다.

약 1시간에 걸쳐 시험한 응답속도에 대한 평균값을 계산하면 약 20.94msec가 나오며, 이를 이용하여 위의 식에 대입하여 평균통신속도를 계산하면 아래와 같이 793.12 Kbps의 통신속도가 나옴을 확인할 수 있다.

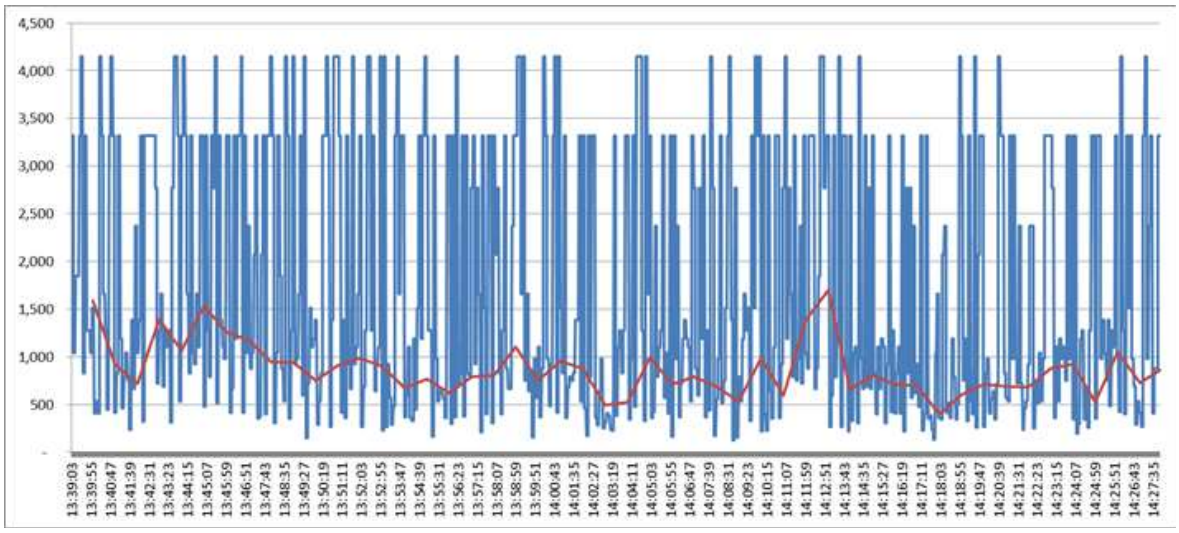
$$Bitrate[KBPS] = \frac{PacketLength * 8(bit / byte) * 2}{Re sponseTime} = \frac{1038 * 8 * 2}{20.94} = 793.12KBPS$$

실험에서 측정된 데이터의 최대, 최소, 평균에 대하여 분석을 하면 아래의 테이블과 같이 응답속도의 경우 4 ~130 msec(1분 평균 응답속도의 경우 9.8 msec ~ 41.52 msec) , KBPS로 표현되는 통신 속도의 경우 1,735 KBPS ~ 4,152 KBS(1분 평균 통신속도의 경우 128 KBPS ~ 1,695 KBPS)로 분포됨을 알 수 있었다.

	응답속도	응답속도(1분평균)	통신속도	통신속도(1분평균)
평균	20.94 msec	29.92 msec	1,735 KBPS	872 KBPS
최대	130 msec	41.52 msec	4,152 KBPS	1,695 KBPS
최소	4 msec	9.8 msec	128 KBS	128 KBPS

평균 통신속도 793.12 KBPS는 일반적으로 지상파DMB수신시 요구되는 Bandwidth 1.5MBPS보다는 느리지만 Frame rate를 저하시키는 수준에서는 수신이 가능한 통신속도라고 할 수 있으므로, 이번 과제에서 필요로 하는 CCTV안전정보를 취득하는 데에는 충분한 속도를 전기철도 전력선 통신을 통하여 얻을 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

참고로 분석에 사용된 데이터를 통신속도로 표현한 그래프는 다음과 같다.



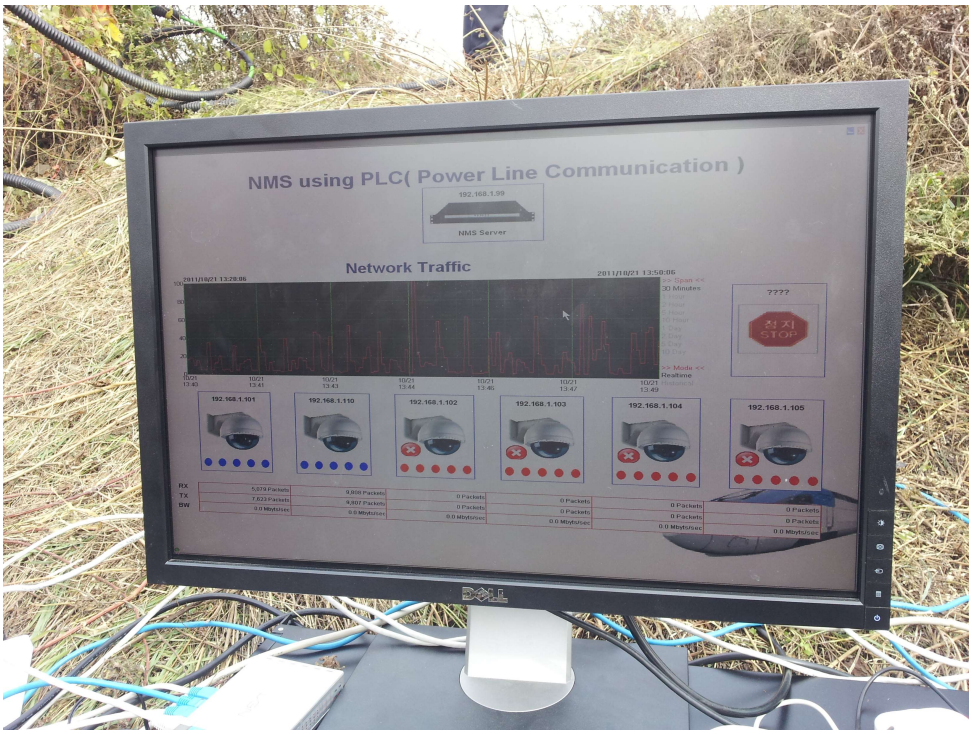
평균 통신속도 793.12 KBPS는 일반적으로 지상파DMB수신시 요구되는 Bandwidth 1.5MBPS보다는 느리지만 Frame rate를 저하시키는 수준에서는 수신이 가능한 통신속도라고 할 수 있으므로, 이번 과제에서 필요로 하는 CCTV안전정보를 취득하는 데에는 충분한 속도를 전기철도 전력선 통신을 통하여 얻을 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

다) 시험현장사진

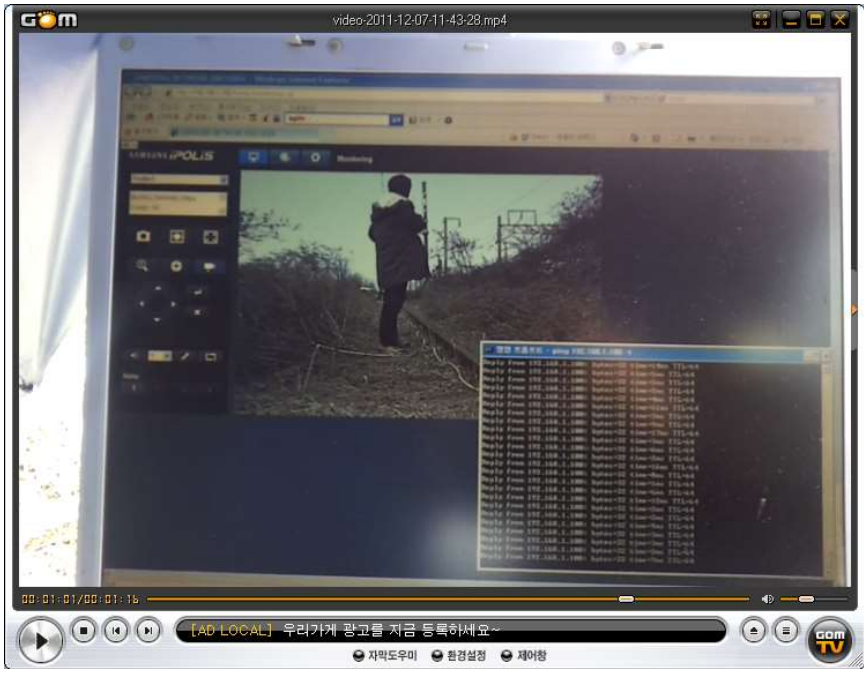
전차선 피뢰기 및 전력선 모뎀 장착



NMS VIEWER를 이용한 전력선 통신장비 모니터링



전력선을 이용한 CCTV영상 수신 시험 동영상 캡쳐



바. 운영.

미래철도기술개발사업 중 '전기철도 전차선의 전력선통신(PLC)을 활용한 실시간 안전정보 공유시스템 개발'에서 사용되는 MMI(Man Machine Interface)화면을 구성하기 위한 MMI BUILDER을 일반적인 에디터 프로그램과 유사한 방식으로 동작하도록 구성되어 있다.

가) 지원되는 컴포넌트

MMI화면에 다양한 정보를 표시하기 위하여 MMI BUILDER는 다음과 같은 컴포넌틀 지원하도록 구성하였다.



동영상 : 윈도우 미디어 플레이어를 지원하는 CCTV영상표시

이미지 : 다양한 이미지 표현

텍스트 : 텍스트로 표시되어야 하는 정보 표시

웹브라우저 : 웹을 지원하는 CCTV연결을 위하여 사용

뉴스티커 :인터넷과 연결시 뉴스의 헤드라인 표시

플래시 : 플래시로 작성된 파일 표시

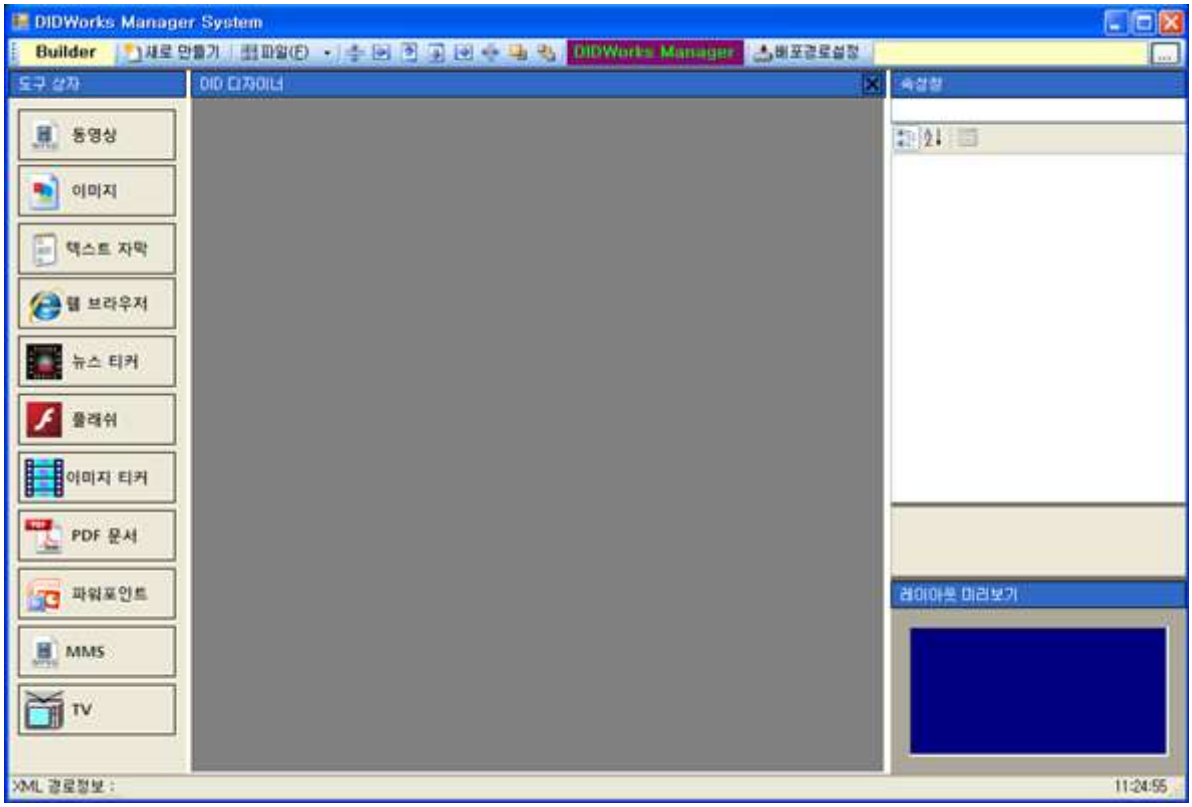
이미지티커 : 연속이미지를 표현하기 위하여 사용

PDF : PDF 형식으로 작성된 문서를 표시

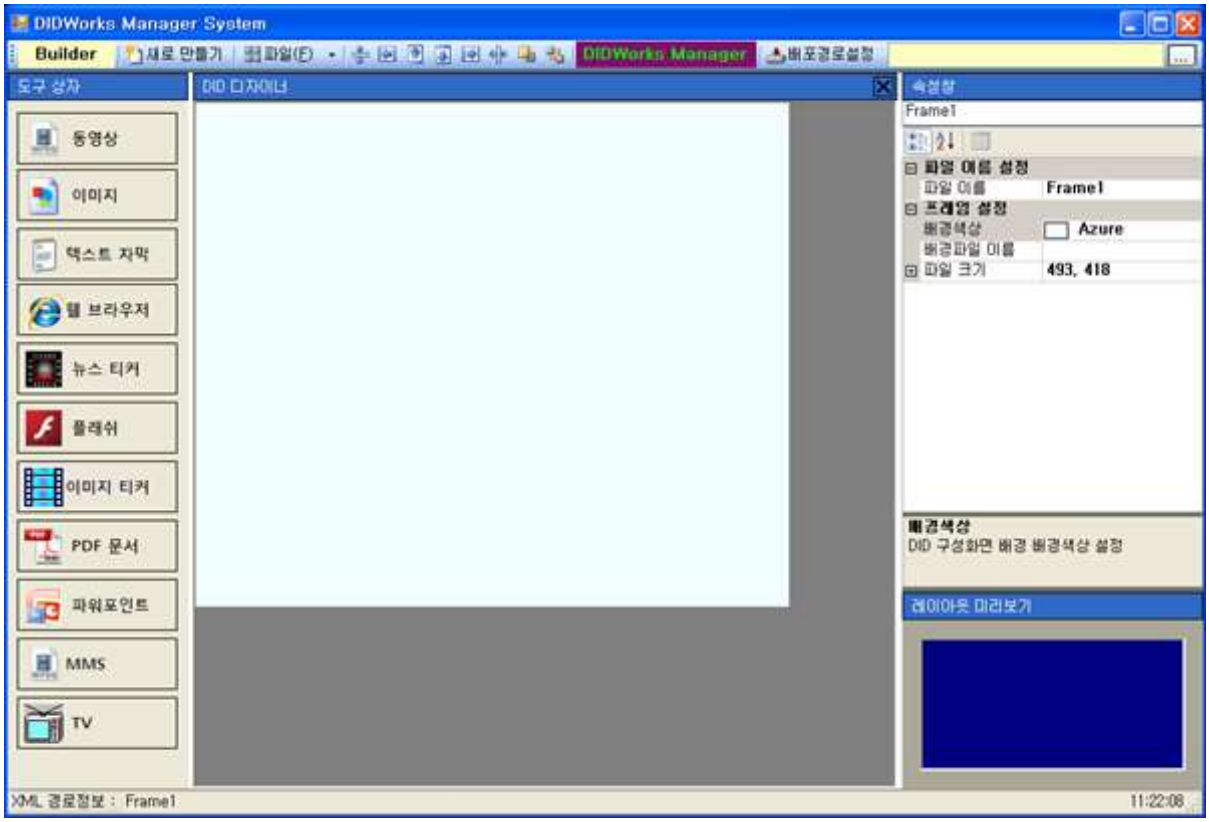
MMS : MMS를 지원하는 CCTV연결시 사용

나) 새로운 MMI화면 구성하기

새로만들기 버튼을 클릭하여 구성하고자 하는 MMI의 작업창을 띄운다.



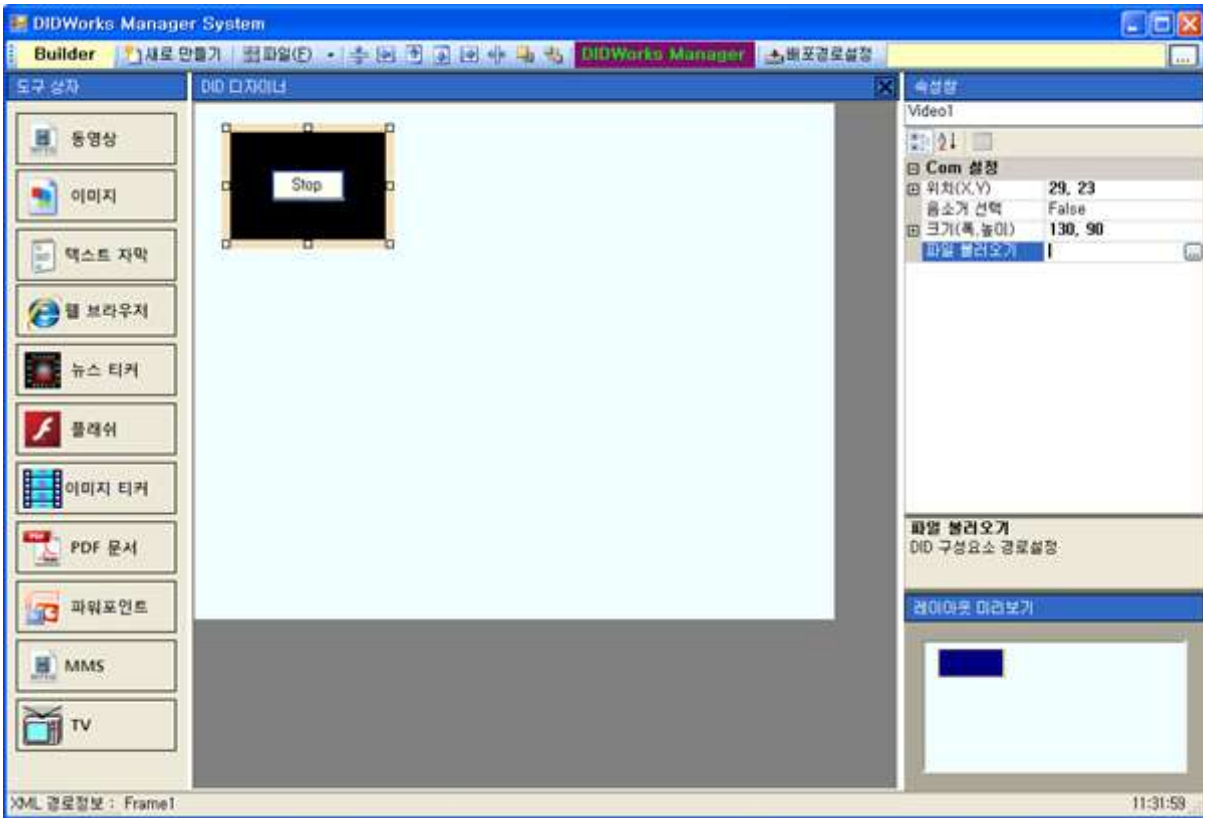




새로 만들기 버튼을 클릭하여 새창을 띄운 화면이며, 창의 크기는 마우스를 이용하여 드래그하는 방식으로 크기를 조절하거나 속성창에서 원하는 숫자를 입력하여 작업창의 크기를 조절할 수 있다.

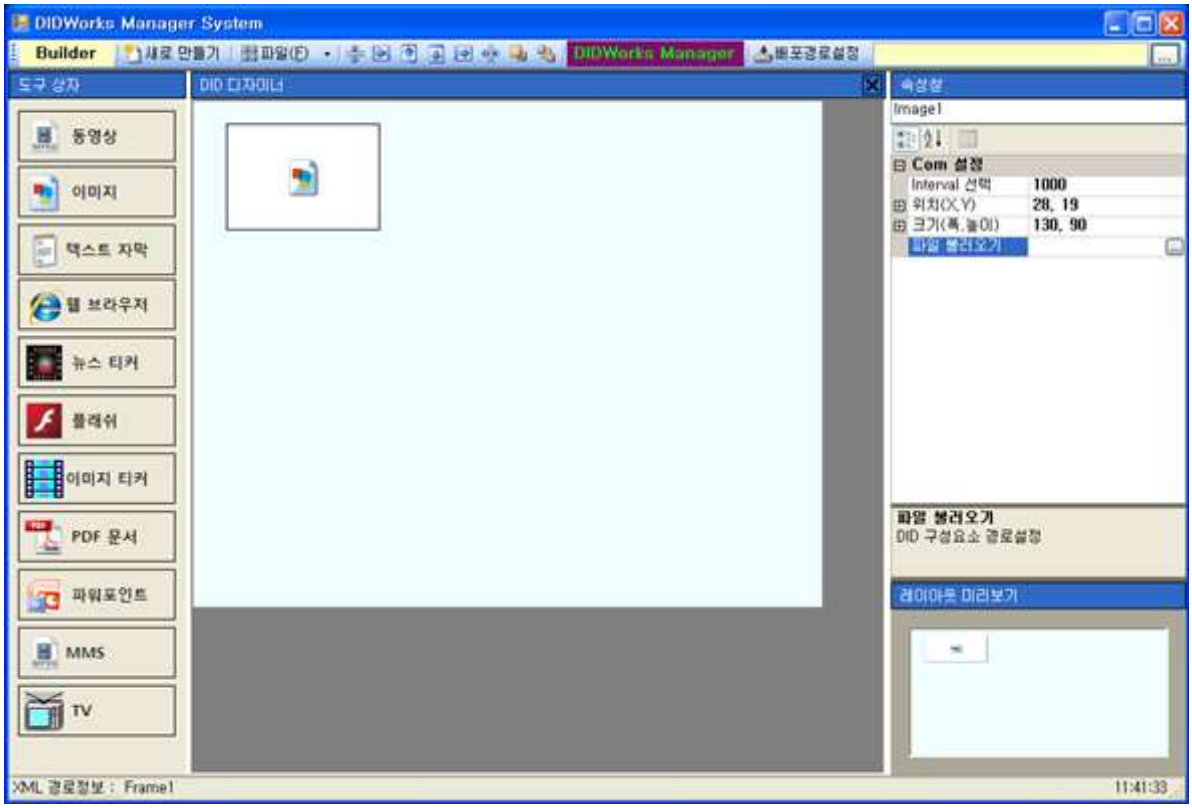
다) 동영상 삽입하기

CCTV와 연결하거나 컴퓨터내에 저장되어 있는 동영상을 연결하기 위하여 왼쪽의 도구상자로부터 '동영상'을 드래그 하여 작업창에 띄운다. 작업창에 삽입된 동영상 컨텐츠는 더블클릭하여 선택모드로 전환한 다음 마우스를 이용하여 드래그하여 위치를 변경할 수 있으며, 속성창에서 속성을 변경할 수 있다. 작업창에 옮겨진 동영상 컴포넌트는 동영상 파일이 연결되지 않는 상태로 속성창의 파일 불러오기에서 버튼을 클릭하여 미디어 파일정보 가져오기 창을 띄운 상태에서 원하는 파일을 선택하면 동영상을 작업창에 삽입할 수 있다.



라) 이미지 삽입하기

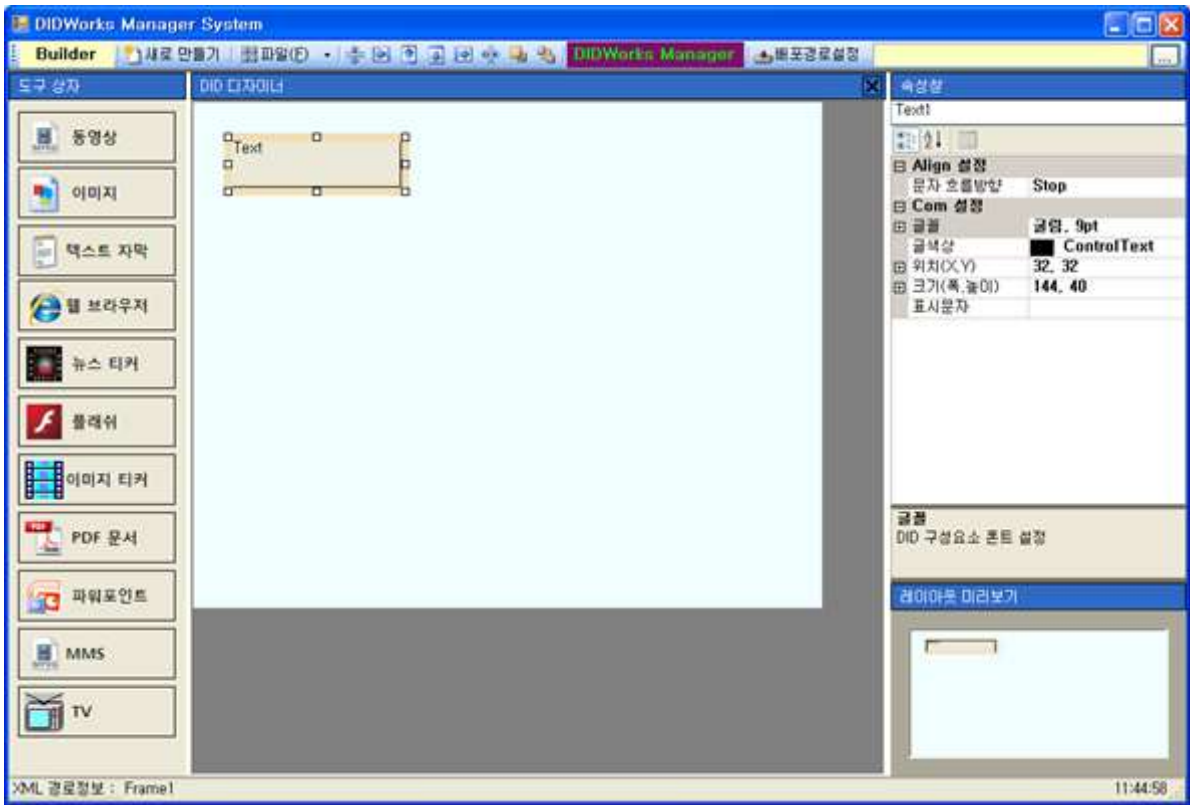
MMI에 필요한 이미지를 삽입하기 위한 작업으로 컴퓨터내에 저장되어 있는 다양한 형식의 이미지 파이을 한 장 혹은 여러장을 연결하여 표시할 수 있도록 하는 작업으로 왼쪽의 도구상자로부터 '이미지'을 드래그 하여 작업창에 띄운다. 작업창에 삽입된 이미지 컴포넌트는 더블클릭하여 선택모드로 전환한 다음 마우스를 이용하여 위치를 변경할 수 있으며, 속성창에서 속성을 변경할 수 있다. 작업창에 옮겨진 이미지 컴포넌트는 이미지 파일이 연결되지 않는 상태로 속성창의 파일 불러오기에서 버튼을 클릭하여 미디어 파일정보 가져오기 창을 띄운상태에서 원하는 파일을 선택하면 원하는 이미지을 작업창에 삽입할 수 있다.



마) 텍스트 삽입하기

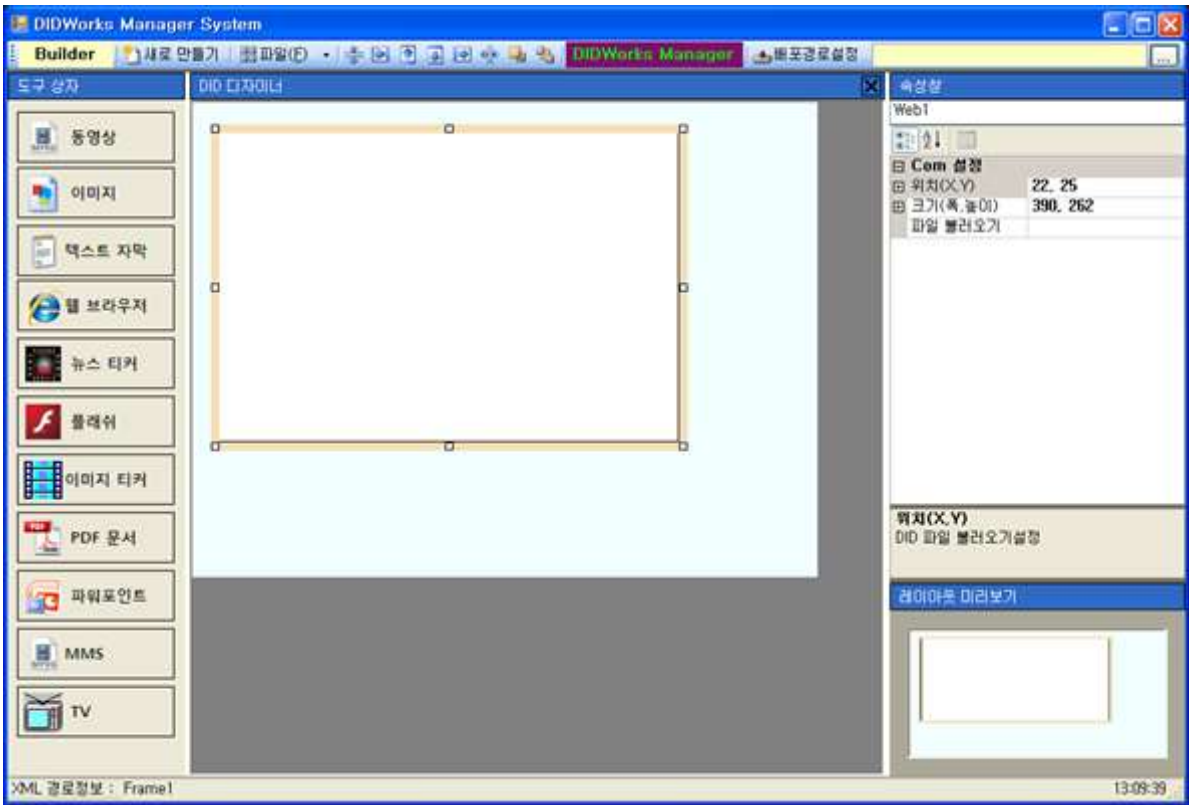
문자형식으로 각종 정보를 표시하기 위한 텍스트는 고정된 형식의 텍스를 정보를 MMI화면에 표시하기 위한 컴포넌트로 왼쪽의 도구 창에서 ‘텍스트’를 선택하여 작업창으로 옮기는 것 만으로 텍스트를 MMI화면에 표시할 수 있도록 한다.

다른 컴포넌트의 사용방식과 유사하게 마우스를 더블클릭하여 선택모드로 전환한 다음 위치를 변경하거나 속성창의 값을 변경함으로 원하는 문자를 표시할 수 있다.



바) 웹브라우저 삽입

최근에 출시되는 CCTV의 경우에는 별도의 프로그래밍 없이 웹을 이용하여 직접 카메라에 연결하여 영상을 감시할 수 있도록 웹연결을 지원하고 있다. 웹 브라우저는 이러한 방식의 카메라와의 연결을 지원하는 컴포넌트로서 왼쪽의 도구 창에서 '웹브라우저 '를 선택하여 작업창으로 옮기고, 마우스를 이용하여 더블클릭하여 선택모드로 전환한 다음 위치를 이동하거나 속성 창에서 CCTV와 연결하기 위한 URL을 변경하는 방식으로 웹브라우저를 MMI에 삽입할 수 있다. 웹브라우저의 경우 원래의 목적대로 웹페이지와 연결하면 웹서버상의 내용을 MMI화면에 출력할 수 있어 빈번하게 변경되어야 하는 정보의 경우에는 웹 컴포넌트를 이용하여 운영자에게 전달 할 수도 있다.



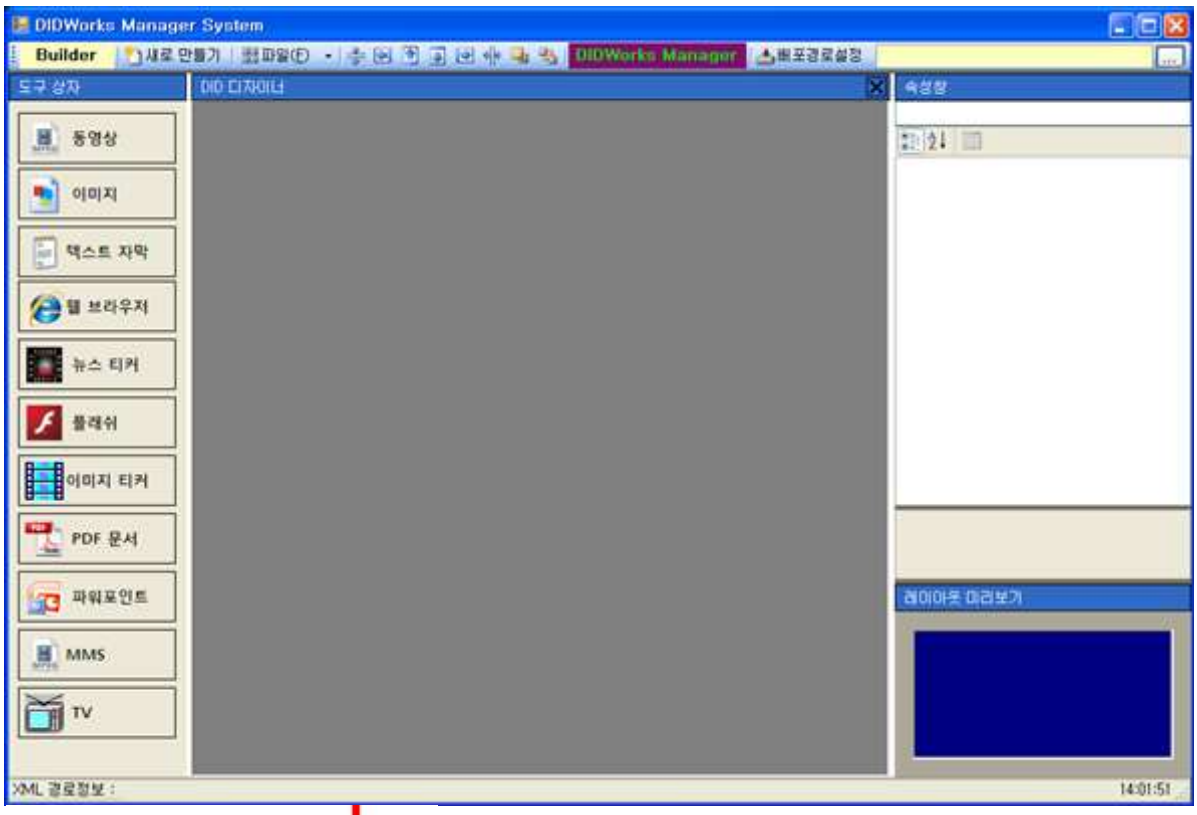
사) 플래시삽입

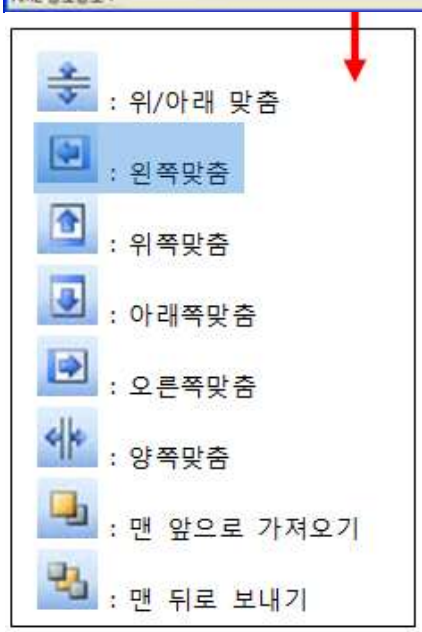
이미지컴포넌트외에 보다 다이나믹한 정보를 MMI화면에 표시하고자 한다면 플래시 컴포넌트를 MMI화면에 삽입할 수 있다. 다른 컴포넌트를 이용하는 방식처럼 왼쪽의 도구창에서 플래시를 선택하여 작업창으로 옮기고 속성창의 값을 변경하는 것으로 다양한 플래시 이미지를 표시할 수 있다.



아) 컴포넌트 정렬

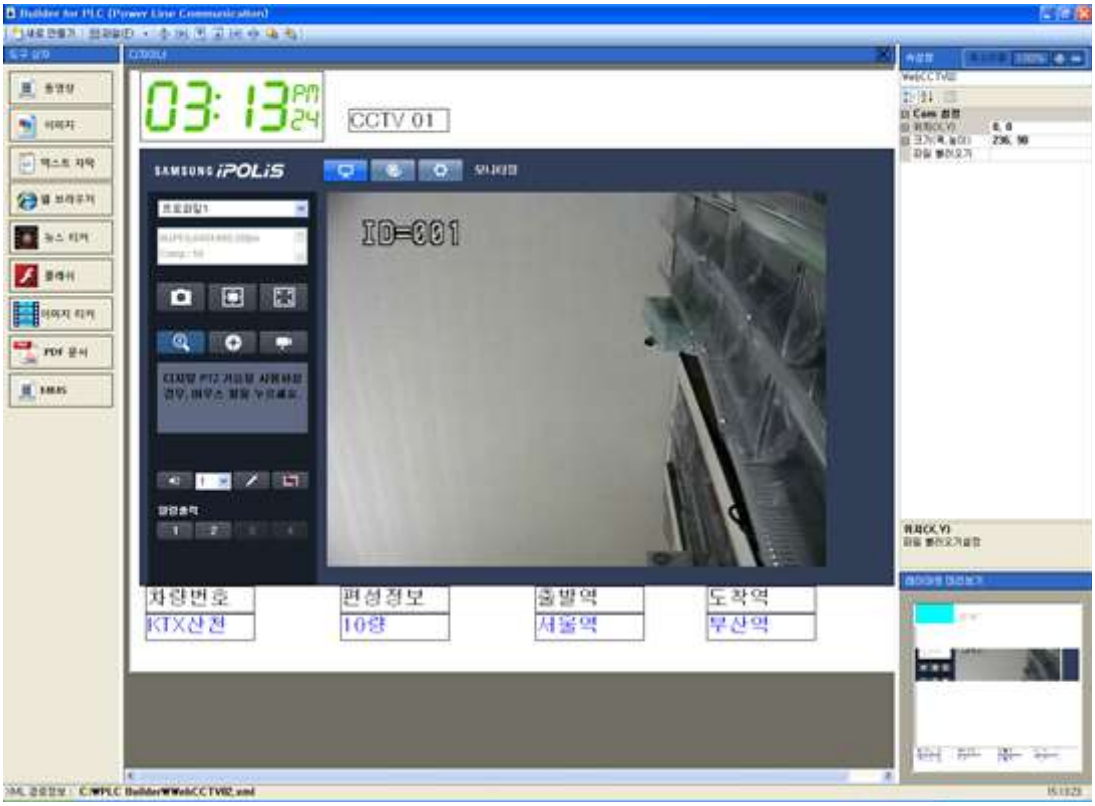
작업창에 삽입된 컴포넌트은 Builder에서 제공하는 정렬기능을 이용하여 손쉽게 컴포넌트의 위치를 정렬 할 수 있다.





자) 웹컴포넌트를 이용하여 카메라를 연결한 샘플 화면

다음 화면은 플래시 이미지, 텍스트, 웹브라우저 컴포넌트를 작업창에 삽입하여 카메라 영상과 텍스트 정보를 표시한 화면 샘플로 시간 정보는 플래시컴포넌트를 이용하였고, 열차정보는 텍스트 컴포넌트를, 카메라표시는 웹 브라우저를 이용하여 연결을 하여 MMI 화면에 표시하도록 구성하였다.



차) XML을 이용한 MMI 구성화면 샘플

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
  <Builder>
    <Version>1.0</Version>
      <Frame Height="900" Width="1026">
        <Background>
          <Src>₩PLCBuilder₩CCTV01₩Image₩INCHEONR.JPG</Src>
          <Backcolor>F0FFFFFFH</Backcolor>
        </Background>
        <Page>
          <Property>
            <Text>
              <Src>CCTV 04</Src>
              <Interval>1</Interval>
              <X>516</X>
              <Y>865</Y>
              <Width>646</Width>
              <Height>895</Height>
              <Align>Stop</Align>
              <Forecolor>000000FFH</Forecolor>
              <Font Size="20.25">굴림</Font>
            </Text>
          </Property>
          <Property>
            <Text>
              <Src>CCTV 03</Src>
              <Interval>1</Interval>
              <X>650</X>
              <Y>301</Y>
              <Width>780</Width>
              <Height>331</Height>
              <Align>Stop</Align>
              <Forecolor>000000FFH</Forecolor>
              <Font Size="20.25">굴림</Font>
            </Text>
          </Property>
          <Property>
          <Text>
            <Src>CCTV 02</Src>
            <Interval>1</Interval>
            <X>471</X>
            <Y>413</Y>
            <Width>601</Width>
            <Height>443</Height>
            <Align>Stop</Align>
            <Forecolor>000000FFH</Forecolor>
            <Font Size="20.25">굴림</Font>
```

```
    </Text>
</Property>
<Property>
    <Text>
        <Src>CCTV 01</Src>
        <Interval>1</Interval>
        <X>473</X>
        <Y>97</Y>
        <Width>601</Width>
        <Height>127</Height>
        <Align>Stop</Align>
        <Forecolor>000000FFH</Forecolor>
        <Font Size="20.25">굴림</Font>
    </Text>
  </Property>
  <Property>
    <Image>
        <Src>₩PLC Builder₩CCTV01₩Image₩오리복정1.JPG</Src>
        <Interval>1000</Interval>
        <X>651</X>
        <Y>337</Y>
        <Width>1009</Width>
        <Height>601</Height>
    </Image>
  </Property>
  <Property>
    <Image>
        <Src>₩PLC Builder₩CCTV01₩Image₩신도림 스크린도어0.JPG</Src>
        <Interval>1000</Interval>
        <X>655</X>
        <Y>616</Y>
        <Width>1011</Width>
        <Height>896</Height>
    </Image>
  </Property>
  <Property>
    <Image>
        <Src>₩PLC Builder₩CCTV01₩Image₩오리복정0.JPG</Src>
        <Interval>1000</Interval>
        <X>10</X>
        <Y>412</Y>
        <Width>468</Width>
        <Height>716</Height>
    </Image>
  </Property>
  <Property>
    <Image>
        <Src>₩PLC Builder₩CCTV01₩Image₩CCTV01.JPG</Src>
        <Interval>1000</Interval>
```

```
            <X>12</X>
            <Y>96</Y>
            <Width>468</Width>
            <Height>398</Height>
          </Image>
        </Property>
        <Property>
          <Flash>
            <Src>₩PLC  Builder₩CCTV01₩Flash₩WATCH.SWF</Src>
            <X>13</X>
            <Y>1</Y>
            <Width>249</Width>
            <Height>91</Height>
          </Flash>
        </Property>
      </Page>
    </Frame>
</Builder>
```

사. 워크샾

가) 개요

미래철도기술개발사업 중 ‘전기철도 전차선의 전력선통신(PLC)을 활용한 실시간 안전정보 공유시스템 개발’ 과제의 2차년도 연구중간 점검 및 차후 계획 수립을 위한 워크샵을 아래와 같이 개최하였다.

일 시 : 2011. 10. 07.(금) 13:00~17:00

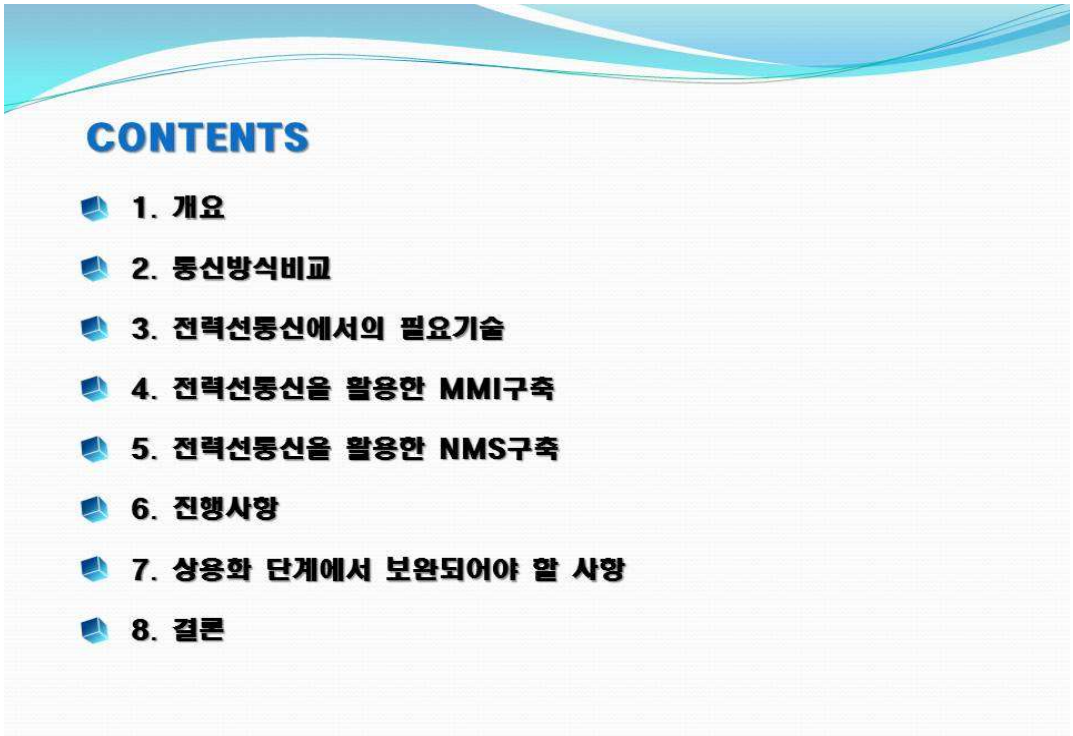
장 소 : 한국철도대학 백주년관 2층 201호

워크샾에서 ‘전력선통신에서의 MMI및 NMS구축’라는 주체로 발표하였던 발표자료는 다음과 같다.

.

나) 세미나 자료


전력선통신에서의 MMI및 NMS구축
2011년 10월 7일


CONTENTS
1. 개요
2. 통신방식비교
3. 전력선통신에서의 필요기술
4. 전력선통신을 활용한 MMI구축
5. 전력선통신을 활용한 NMS구축
6. 진행사항
7. 상용화 단계에서 보완되어야 할 사항
8. 결론

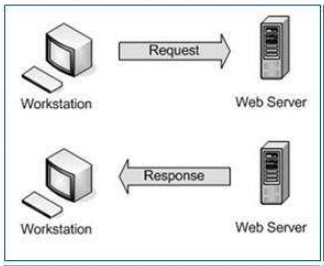
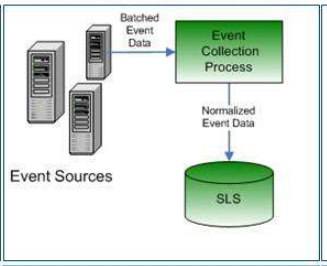
1. 개요

전기철도에 적용되는 NMS 및 MMI는 열차의 안전업무종사자(관제사, 기관사, 신호원)간에 실시간으로 안전정보를 공유할 수 있도록 하기 위한 소프트웨어 모듈로 본과제의 연구적용 안전정보의 범위는 다음 표와 같습니다.

분류	디바이스	비고
네트워크장비	PLC 기반 네트워크장비	PLC기반의 네트워크장비는 통신속도, 통신오류등과 같은 다양한 네트워크정보를 포함하고 있으며 이와 연동하여 NMS화면에 표시 가능 하여야 합니다.
안전시설	낙석감지장치 터널상태 감지장치 연약지반 감지상태 연약지반 감지장치	안전시설은 센서기반의 장치로 구성되어 있으며 장치에서 수집된 정보는 PLC망을 통하여 효율적으로 전송되어 MMI 및 NMS에 표시되어야 합니다.
CCTV영상	철도선로불량시계 공사구간 이동형 카메라 역사플랫폼 CCTV	IP기반의 카메라와 연동되며 PLC망을 통하여 CCTV영상이 MMI화면에 전송되어 표시되어야 합니다.

2. 통신방식비교(Continued)

일반적인 유무선 통신환경에서 각종 네트워크장비의 감시 및 제어를 위하여 이용할 수 있는 통신방식은 아래와 같이 크게 3종류로 분류할 수 있습니다.

Request-Response방식	Report By Exception방식	Broadcast방식
		
데이터요구가 있을 경우에만 디바이스가 상태정보를 전송하는 방식으로 데이터오류가 많은 시스템에서 안정적으로 데이터수집을 할 수 있는 방식	디바이스에 데이터가 있을 경우에만 통신을 하게 되므로 트래픽의 호율적 관리 측면에서는 매우 우수하나 통신망에 따라 상태정보를 잃어버릴수 있다.	디바이스에서의 데이터유무와 관계없이 주기적으로 데이터를 전송하는 방식으로 상태정보전송을 위하여 많은 대역을 사용하는 단점이 있다.

2. 통신방식비교

	Request-Response	Report By Exception	Broadcast
통신망효율	우수	가장우수	나쁨
데이터수집신뢰성	우수	나쁨	가장우수
시스템 구축 측면	보통	복잡	단순
특징	원격지감시/제어에서 가장 많이 사용하는 방식	알람과 같이 발생주기가 일정하지 않은 시스템에서 주로 적용	단순히 상태를 지속적으로 전송하는 지시계와 같은 설비에서 주로 사용
PLC망에서의 적용	오류발생시 반복적인 요청이 가능하며, 대역폭에 따라 수집주기를 시스템 측에서 조절이 가능하다.	데이터송수신 오류가 빈번하여 상태정보를 잃어버릴 수도 있음	지속적으로 데이터를 전송하기 때문에 적합하지 않은 방식

전차선 통신망의 특징(단거리, 많은 오류포함)을 고려하면 가장 안정적으로 상태정보를 수집할 수 있는 통신방식은 Request-Response방식이라 할 수 있습니다.

3. 전력선통신에서의 필요기술

전기철도 전력 망을 활용한 MMI및 NMS시스템 구축 시 필요한 기술은 다음과 같습니다.

DEVICE SEARCHING

선로상에 다양한 CCTV 및 안전정보장치의 정보는 별도의 네트워크 망을 통하여 중앙센터로 전송되어 표시되지만 기관사입장에서는 진행방향의 장비만을 감시하여야 하므로 진행방향의 장비에 대한 IP주소를 GPS를 통한 위치정보와 연계하여 MMI화면에서 운영하여야 합니다.(상용화 과정에서 고려할 사항)

MMI 저작 툴(Graphic Builder)

안전시설 및 CCTV는 필요에 따라 지속적으로 업데이트되어야 하면 업데이트될 때마다 MMI화면은 갱신되어야 합니다. MMI를 고정식으로 구축할 경우 매번 전문가에 의하여 갱신되어야 하지만 Contents 배치정보를 별도로 관리할 경우 저작 툴을 이용하여 손쉽게 안전 시설 정보 등을 추가 변경할 수 있습니다.

Multi Protocol제공

단순 네트워크장비만을 감시하는 NMS가 아니라 안전시설정보등과 같은 다양한 디바이스를 감시하여야 하므로 다양한 protocol을 지원할 수 있는 프레임워크를 지원하여야 합니다.

4. 전력선통신을 활용한 MMI 구축(Continued)

전차선 전력 망을 이용한 MMI시스템 구축은 전력 망을 통하여 전송된 CCTV영상을 표현하기 위한 시스템으로 금년도 과제에서는 전송된 CCTV영상 및 다양한 안전정보를 운영자 측면에서 배치 가능하도록 하기 위한 저작 툴 개발을 목표로 추진되었습니다.



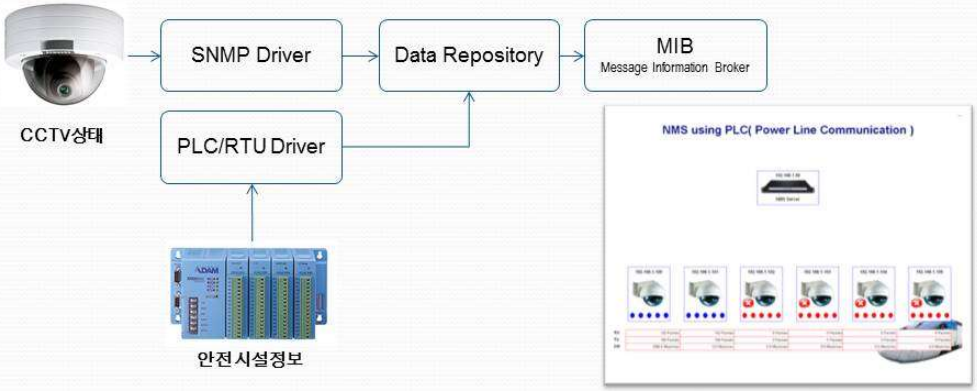
4. 전력선통신을 활용한 MMI 구축

전차선 전력 망을 이용한 MMI시스템 구축을 위한 저작 툴은 CCTV영상과 다양한 정보를 표시하기 위하여 독립적인 Component를 제공합니다.

동영상	동영상	윈도우 Media Player를 지원하는 CCTV영상을 표현
이미지	이미지	다양한 이미지 표현
텍스트 자막	텍스트자막	텍스트로 전송되어지는 정보 표시
웹 브라우저	웹브라우저	웹을 지원하는 CCTV영상 표현
뉴스 티커	뉴스티커	인터넷과 연결시 뉴스 헤드라인을 표시
플래쉬	플래쉬	플래시로 표현된 정보를 표시
이미지 티커	이미지티커	연속이미지 표현
PDF 문서	PDF 문서	PDF로 작성된 문서를 표시
MMS	MMS	NMS형식의 CCTV영상 표현

5. 전력선통신을 활용한 NMS 구축

본 과제의 NMS(Network Management System)는 일반적으로 다른 통신망에서 적용된 NMS시스템과 유사한 방식으로 구축되었으나 다른 유무선망이 네트워크장비만을 대상으로 감시하는 시스템이라면 본 과제에서의 NMS는 네트워크 장비, 안전시설상태를 통합하여 감시할 수 있는 Multi Protocol을 지원할 수 있는 기본 Framework를 갖추고 있습니다.



6. 진행사항

전기철도 열차의 안전정보 공유를 위한 MMI 및 NMS개발 진행단계

성과목표	진행상황
NMS 개발	1차년도 개발 및 자체 시험 완료
MMI 개발	1차년도 개발 및 자체 시험 완료
MMI저작툴	2차년도 개발단계에서 개발 및 시험 완료
로컬연동시험	일반 유선 망을 통한 연동시험 완료 CCTV 영상 연동시험 CCTV 상태정보 수신 시험 RTU(별도시험장비) 상태정보 수신 시험
프로그램 등록	MMI 및 MMI저작툴 프로그램 등록예정(2011년 10월 10일 이후)
현장시험	2011년 10월 10일 이후 진행예정

7. 상용화 단계에서 보완되어야 할 사항

전차선 전력 망을 이용한 MMI 및 NMS시스템을 상용화 하기 위하여 기존에 개발된 내용에서 보완되어야 할 사항은 다음과 같습니다.

NMS를 위한 저작 툴 개발

현재의 NMS는 MMI와 마찬가지로 XML파일 형식으로 배치정보가 별도로 저장되고 있지만 손쉽게 배치정보를 변경하기 위하여 별도의 저작 툴 개발이 필요

DEVICE SEARCHING 알고리즘 적용

진행방향에 있는 CCTV영상 및 안전정보만을 MMI에 표현하기 위하여 GPS기반의 IP주소 검색 알고리즘을 CCTV 표현 컴포넌트에 적용 필요

다양한 Protocol제공

본 과제 에서는 다양한 Protocol을 적용하기 위한 기반을 개발한 것으로 보다 많은 Protocol을 지원하는 드라이버소프트웨어의 개발이 필요

8. 결론

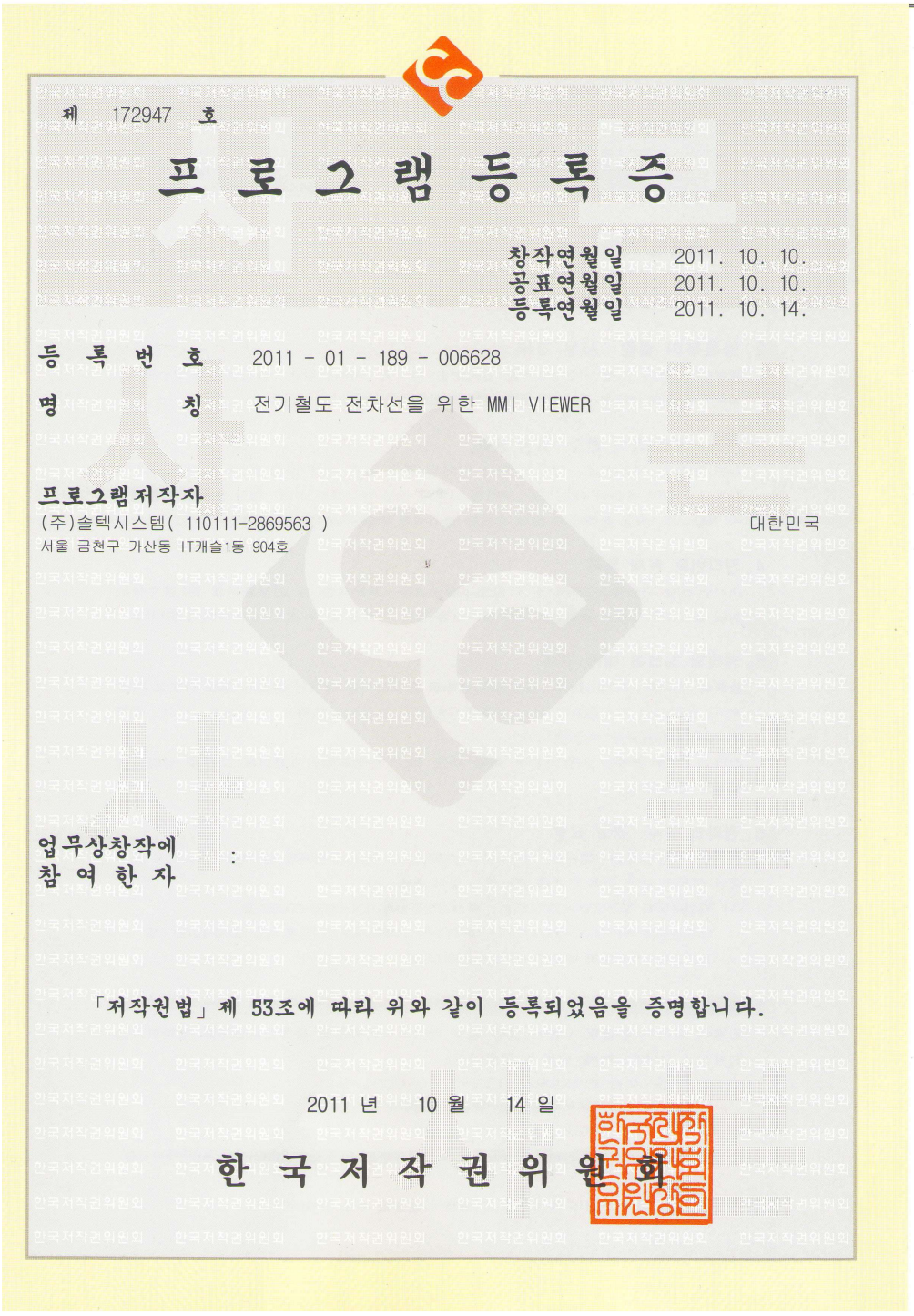
전차선 전력 망을 이용한 MMI 및 NMS시스템은 범용적으로 적용되고 있는 MMI와 NMS에서 적용되는 기반 기술은 동일하다고 할 수 있으나 본 과제에 적용된 NMS및 MMI는 전력선 통신 및 철도차량에 적용하기 위하여 약간의 다른 기능을 제공하여야 합니다.

MMI는 기관사가 감시하기 위한 화면 및 상태정보를 제공하기 위한 시스템으로 고정된 형식이 아닌, 저작 툴을 이용하여 배치를 자유자재로 조절 하거나 필요한 Contents를 추가할 수 있도록 하는 기능을 추가하였습니다.

NMS는 일반적인 NMS에서 구현된 네트워크장비만을 대상으로 하여 정보를 제공하는 기능외에 다양한 Protocol을 적용하여 상태정보를 표시할 수 있도록 하였습니다.

아. 소프트웨어 등록

가) 전기철도 전차선을 위한 MMI Viewer



제 172947 호

프 로 그 램 등 록 증

창작연월일 : 2011. 10. 10.
공표연월일 : 2011. 10. 10.
등록연월일 : 2011. 10. 14.

등 록 번 호 : 2011 - 01 - 189 - 006628

명 칭 : 전기철도 전차선을 위한 MMI VIEWER

프로그램저작자 :
(주)솔텍시스템(110111-2869563)
서울 금천구 가산동 IT캐슬1동 904호
대한민국

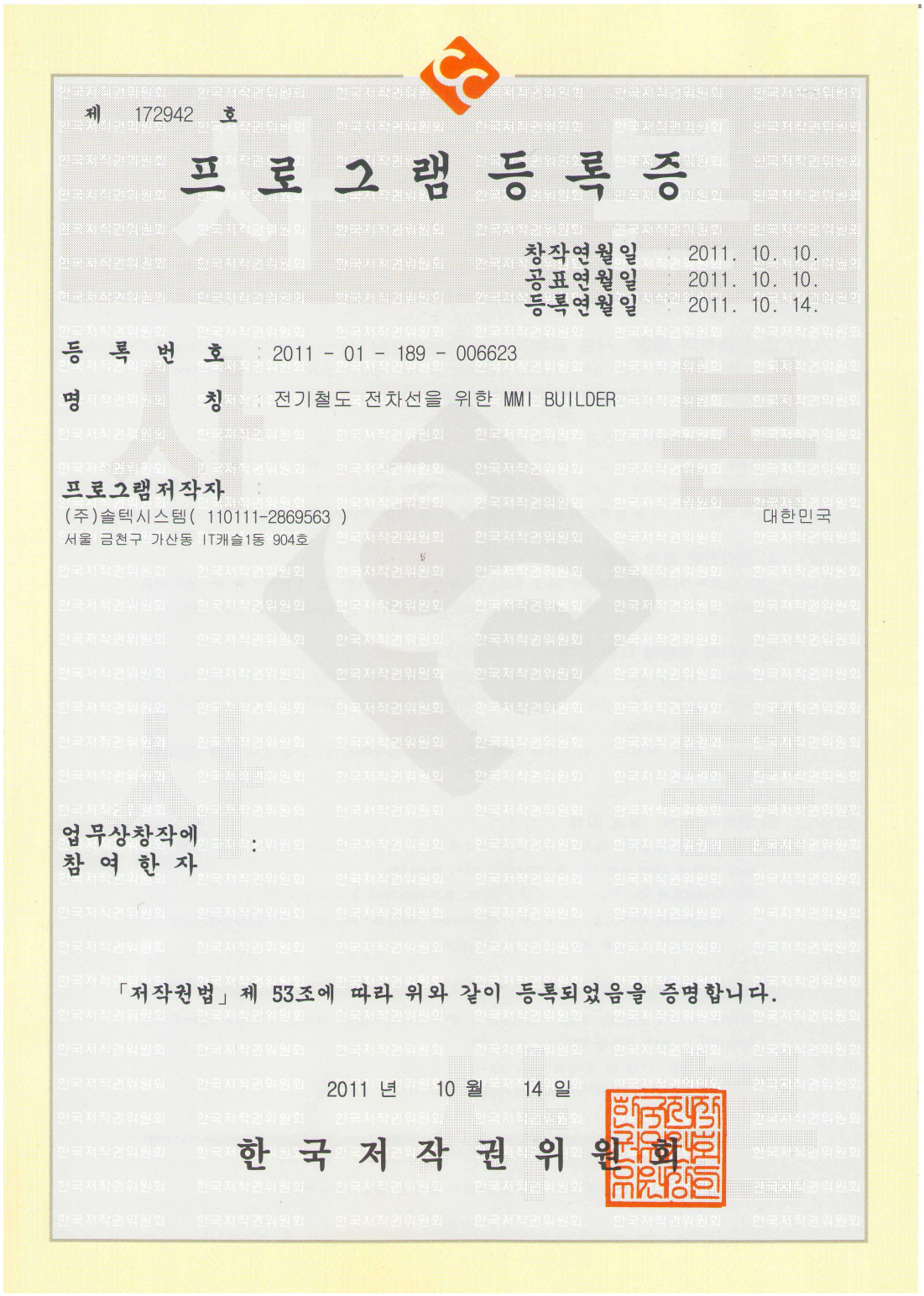
업무상창작에 참 여 한 자 :

「저작권법」 제 53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2011 년 10 월 14 일

한 국 저 작 권 위 원 회

나) 전기철도 전차선을 위한 MMI Builder



제 172942 호

프 로 그 램 등 록 증

창작연월일 : 2011. 10. 10.
공표연월일 : 2011. 10. 10.
등록연월일 : 2011. 10. 14.

등 록 번 호 : 2011 - 01 - 189 - 006623

명 칭 : 전기철도 전차선을 위한 MMI BUILDER

프로그램저작자 :
(주)솔텍시스템(110111-2869563) 대한민국
서울 금천구 가산동 IT캐슬1동 904호

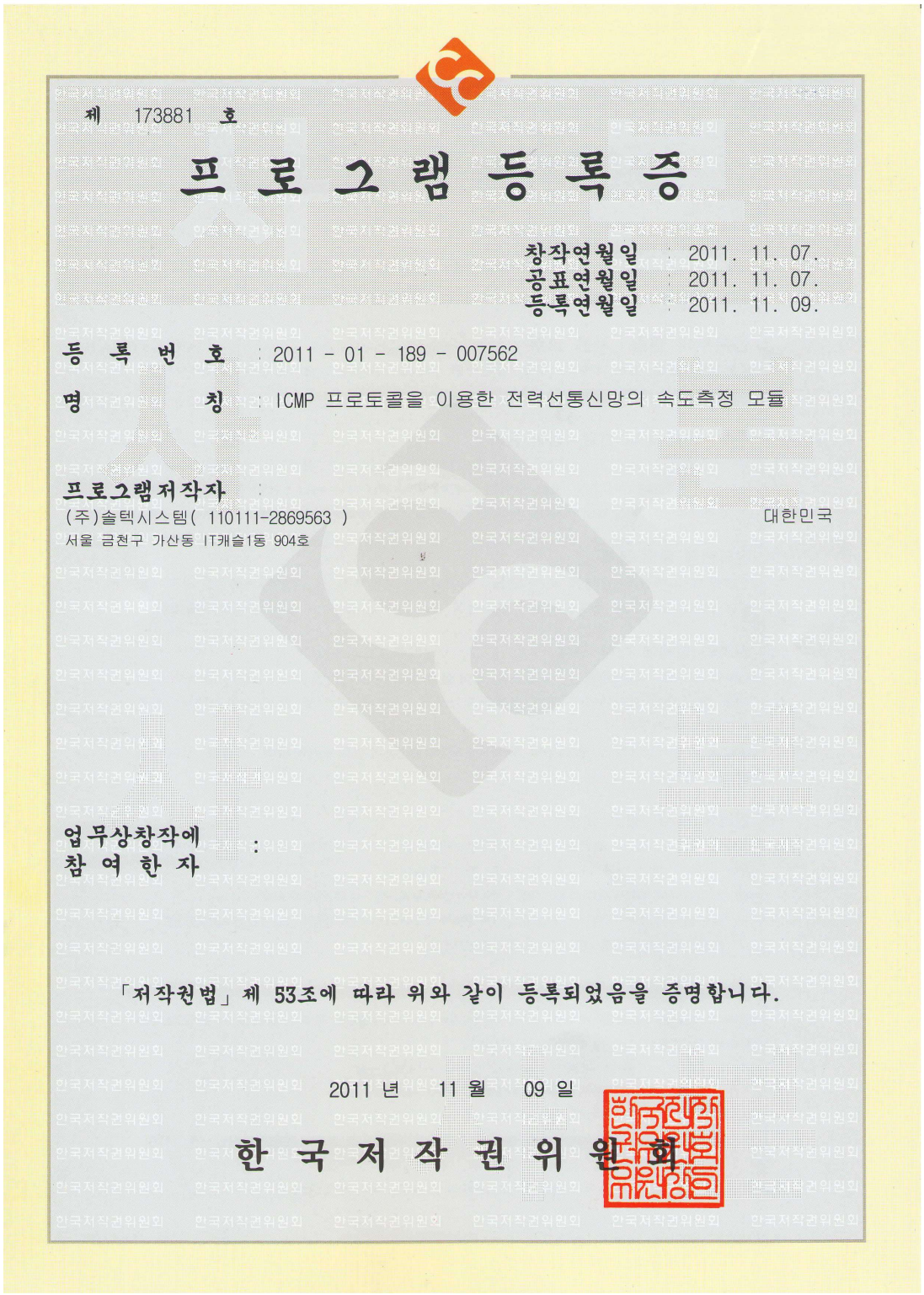
업무상창작에 참 여 한 자 :

「저작권법」 제 53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2011 년 10 월 14 일

한 국 저 작 권 위 원 회

다) ICMP프로토콜을 이용한 전력선 통신망의 속도 측정 모듈



제 173881 호

프 로 그 램 등 록 증

창작연월일 : 2011. 11. 07.
공표연월일 : 2011. 11. 07.
등록연월일 : 2011. 11. 09.

등 록 번 호 : 2011 - 01 - 189 - 007562

명 칭 : ICMP 프로토콜을 이용한 전력선통신망의 속도측정 모듈

프로그램저작자 :
(주)솔텍시스템(110111-2869563)
서울 금천구 가산동 IT캐슬1동 904호
대한민국

업무상창작에 참 여 한 자 :

「저작권법」 제 53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2011 년 11 월 09 일

한 국 저 작 권 위 원 회

3. 결론 및 향후 계획

가. 결론

전기철도 전차선의 전력선 통신을 활용한 실시간 안전정보 공유시스템을 위한 NMS및 MMI 시스템의 경우에는 일반산업분야에서 사용되고 있는 NMS와 MMI와 많은 유사한 면이 있기는 하나 PLC(Power Line Communication)을 이용하여 데이터를 전송한다는 점과 대상설비가 철도분야에만 국한된다는 점에 있어 일반적인 NMS와 MMI기술을 그대로 적용하기에는 무리가 있다고 본다.

본 연구에서는 이러한 점을 해결하기 위하여 일반적인 NMS시스템과 MMI시스템의 기술을 검토하였으며 데이터 취득을 위한 다양한 방법 중에 상태정보와 오류정보를 동시에 처리할 수 있는 SNMP(Small Network Management Protocol)를 채택하여 구현하게 되었다.

SNMP의 경우에는 주기적으로 상태를 요청함으로 인하여 네트워크 상에 약간의 트래픽을 발생시키기는 하나 상태정보를 수집하기 위하여 Request Response방식으로 패킷을 송수신하기 때문에 패킷 송수신 오류가 많이 발생할 수 있는 PLC통신에 가장 적합하다고 생각된다.

SNMP 드라이버모듈의 개발은 마이크로소프트사 Visual Studio Tool에서 제공한 WinSnmp 모듈을 이용하여 개발하게 됨으로 인하여 처음부터 개발할 경우 발생할 수 있는 모듈 신뢰성에 대한 문제를 해결할 수 있었다.

CCTV의 영상 전송 및 송수신방식은 이미 타 연구에서 많이 연구되어 있고 실용화단계에 있는 H.264 코덱을 채택하였으며 그에 따른 각종 송수신 소프트웨어 모듈은 그 개발된 모듈, 마이크로소프트사에 제공된 윈도우 운영체제를 설치하게 될 경우 같이 설치되는 Window Media Player모듈을 이용하여 구성하였다.

1차년도 과제 수행중에 Viewer 모듈의 설계단계에서 화면구성을 손쉽게 하기 위한 방법을 검토하는 과정 중에 계획하지 못했던 모듈개발의 필요성이 발행하였으며 이에 대한 설계는 1차 년도에서 완료하였으며 모듈 개발은 2차 년도에 개발완료하여 최종 소프트웨어 등록까지 완료하였다.

별도로 개발된 MMI Graphic Builder모듈은 운영자는 손쉽게 운영화면을 소프트웨어 개발자 도움 없이 변경이 가능하게 되어 향후 현장 적용시 운영자의 취향대로 화면변화를 줄 수 있어 유연하게 현장 적용이 가능할 것으로 생각된다.

이를 위하여 MMI 및 NMS화면을 프로그램 개발자의 프로그램으로 화면을 구성하기로 하였던 계획에서 벗어나서 화면정의는 운영자가 정의된 화면정의 파일을 로드하여 화면에 표시하는 기능은 프로그램 개발자가 구현하는 방식으로 개발을 하게 되었다.

나. 향후 계획

전차선 전력망을 이용한 MMI 및 NMS시스템을 상용화 하기 위하여 기존에 개발된 내용에서 보완되어야 할 사항은 다음과 같다.

○ NMS를 위한 저작 툴 개발현재의 NMS는 MMI와 마찬가지로 XML파일 형식으로 배치정보가 별도로 저장되고 있지만 손쉽게 배치정보를 변경하기 위하여 별도의 저작 툴 개발이 필요

○ DEVICE SEARCHING 알고리즘 적용진행방향에 있는 CCTV영상 및 안전정보만을 MMI에 표현하기 위하여 GPS기반의 IP주소 검색 알고리즘을 CCTV 표현 컴포넌트에 적용 필요

○ 다양한 Protocol제공 본 과제 에서는 다양한 Protocol을 적용하기 위한 기반을 개발한 것으로 보다 많은 Protocol을 지원하는 드라이버소프트웨어의 개발이 필요

제5장 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도

제1절 연구 목표 달성도

1. 1, 2차년도

구분 / 개발내용	1차년												2차년												진도(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
연구의 목적 및 범위 설정	●	●	●																						2
국내외 기술 동향 조사	●	●	●																						2
전기철도 운영 현황 조사		●	●																						1
PLC 주요 장치 제조사 조사 및 분석		●	●																						1
전기철도 Noise 및 Filter 회로연구			●	●	●	●	●																		4
전기철도 이선현상 연구				●	●	●																			3
전기차량 회생 제동 전기특성 연구				●	●	●																			3
신호결합기 구매 및 전기 특성 분석/설계				●	●	●	●	●																	4
전원공급장치 구매 및 전기 특성 분석/설계					●	●	●	●																	4
Modem 구매 및 기능 분석/설계				●	●	●	●	●	●																5
전기 철도용 신호 결합기 개발						●	●	●	●	●															5
전기철도용 전원공급장치 개발						●	●	●	●	●															4
전기철도용 Modulator 개발						●	●	●	●	●															4
전기철도 PLC 특허출원										●	●														3
전기철도용 신호 결합기 특허출원										●	●														3
중간보고서 작성 및 보고											●	●													3
비접촉식 신호결합기 및 절연체를 활용한 시험												●	●												3

접촉식 신호결합기를 활용한 시험 계획 수립																								3
전력산업분야에서 실용화된 접촉식 신호결합기를 활용한 제품개발																								5
제작된 접촉식 신호결합기 내압 시험																								5
전기철도 피뢰기를 활용한 접촉식 신호결합기 제작																								5
제작된 접촉식 신호결합기 내압 시험																								5
접촉식신호결합기 활선 설치																								8
활선 1,4,5,7회차 지상시험																								6
활선 2,3,6회차 차상시험																								6
최종보고서 작성 및 보고																								3
총 진도율																								100

2. 목표 달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
철도 고압전차선을 이용한 전력선통신 솔루션(PLC Solution) 연구	95%	- 전기철도 PLC를 위한 철도전기 Noise 분석 및 Filter 기술 연구
	99	- 전차선과 판토그라프간의 이선현상에 따른 변복조 기술 및 Data Packet Solution 기술연구
	95%	- 전기차량 회생제동시 전력 위상변화 및 전류방향 변화에 따른 전력선통신 (PLC)의 Noise, 신호감쇄 및 신호왜곡과 같은 통신장애 요인으로부터 안정적인 통신망을 유지/관리하기 위한 기술연구
전기철도용 전력선통신 장치(PLC Device) 개발	95%	- 전력/전자 분야에서 연구/개발 및 검증된 신호결합기를 전기철도에 적합한 사양(기능)으로 응용/연구개발
	70%	- 선로(전차선) 주변의 안전정보를 전차선에 직접연결할 수 있도록 전력/전자 분야에서 연구/개발된 Modem Module을 응용하여 Hybrid Modulator 연구/개발
	90%	- 전원공급이 위치(지리)적으로 부적합한 안전정보장치에 전차선의 전원을 공급하기 위한 전원공급장치 개발(전력/전자 분야에서 기 개발된 제품을 전기철도용에 적합하도록 최적화 함)
전기철도 활선 PLC 통신 시험	95%	- 전기철도 활선시험을 위한 전차선(조가선) 취부용 접촉식신호결합기 개발
	100%	- 전기철도 활선시험을 위한 전차선(조가선) 취부용 접촉식신호결합기 내압시험
	90%	- 전기철도 활선 지상 시험 (Data 전송 특성/ 전송률 시험 / CCTV 영상)
	85%	- 전기철도 활선 지상<->차상 시험 (Data 전송 특성/ 전송률 시험 / CCTV 영상)

제6장 연구 개발 결과의 활용 계획

제1절 연구 개발의 응용 및 사업화 활용방안

구 분	내 용
정책적 활용방안	o 전력선통신의 지속적인 기술 발전은 고속 전력선통신 방식과 관련된 국가표준인 KS X 4600-1이 제정되어 기준이 마련되면서 다양한 응용 분야에 기술발전의 계기가 되었다. 따라서 본 과제는 전차선을 활용한 전력선 통신(전기철도 전력선통신)의 표준화를 위한 기초 자료로 활용 가능함 o 미래 철도의 안전업무를 정의하는 체계적 기초 자료로 활용 가능
기술적 활용방안	o 주행 중인 기관사의 실시간 안전정보(시설) 공유 o 안전업무종사자간의 실시간 안전정보 공유 o 신 개념 철도 신호시스템 도입

1. 추가연구의 필요성

가. 기술적 측면

1) 현황

o 당 연구과제를 수행함에 있어 기존에 알려지고 인지된 PLC통신의 문제점들, 예를 들어 제한된 전차선 Noise, 가변잡음, 임피던스 레벨잡음등은 여전히 표출되었다.

o 그럼에도 불구하고 전기철도의 전차선(조가선)의 활선 상태에서 운행중인 전기차량과 지상장치간의 전력선 통신을의 실험을 성공적으로 이끌어 내므로해서 PLC 기술을 전기철도에 적용 가능성을 확인하고 이를 실험을 통해 입증 하였다.

o 전기철도 PLC의 상용화는 아직은 광대역 원거리 고속 통신망을 구축하기에는 여러 가지 기술적인 연구과제를 안고 있으나, 부분적인 특정 시스템을 위한 통신으로써는 그 성과가 가시화되었다.

o 당 연구과제 시험의 결과로써 전차선 상에서의 영상 통신을 약 150m를 기준으로 전기차량간의 영상 통신(약200m, 5km/h이하 저속운행)이 성공하였으며, 전송 특성을 산출하여 추정할 경우 500m까지는 전력선통신을 위한 전송특성이 유지될것으로 보인다..

o 따라서 전기철도분야에 PLC 통신기술이 활용될 수 있음이 입증되었으며 전기철도 PLC 특성을 고려하여 전기철도에서도 다양한 목적으로 유용하게 활용될 수 있다.

o 본 연구는 전기철도의 전차선을 매개로하는 전기철도 전력선통신 기술의 확보뿐만 아니라 철도차량 궤도를 활용한 전력선통신을 활용하여 안전업무의 실시간공유 통하여 전기철도의 새로운 기반기술 분야를 제시하는 효과가 기대 된다.

2) 필요성

o 당연구과제의 최종목표인 “전기철도 열차의 안전 종사자(관제사, 기관사, 신호원)간에 실시간 안전정보를 공유할 수 있는 전용통신시스템을 개발”을 위해 1,2차년도의 개발 연구의 결과 목표의 이론적 타당성이 실험적으로 입증되었다.

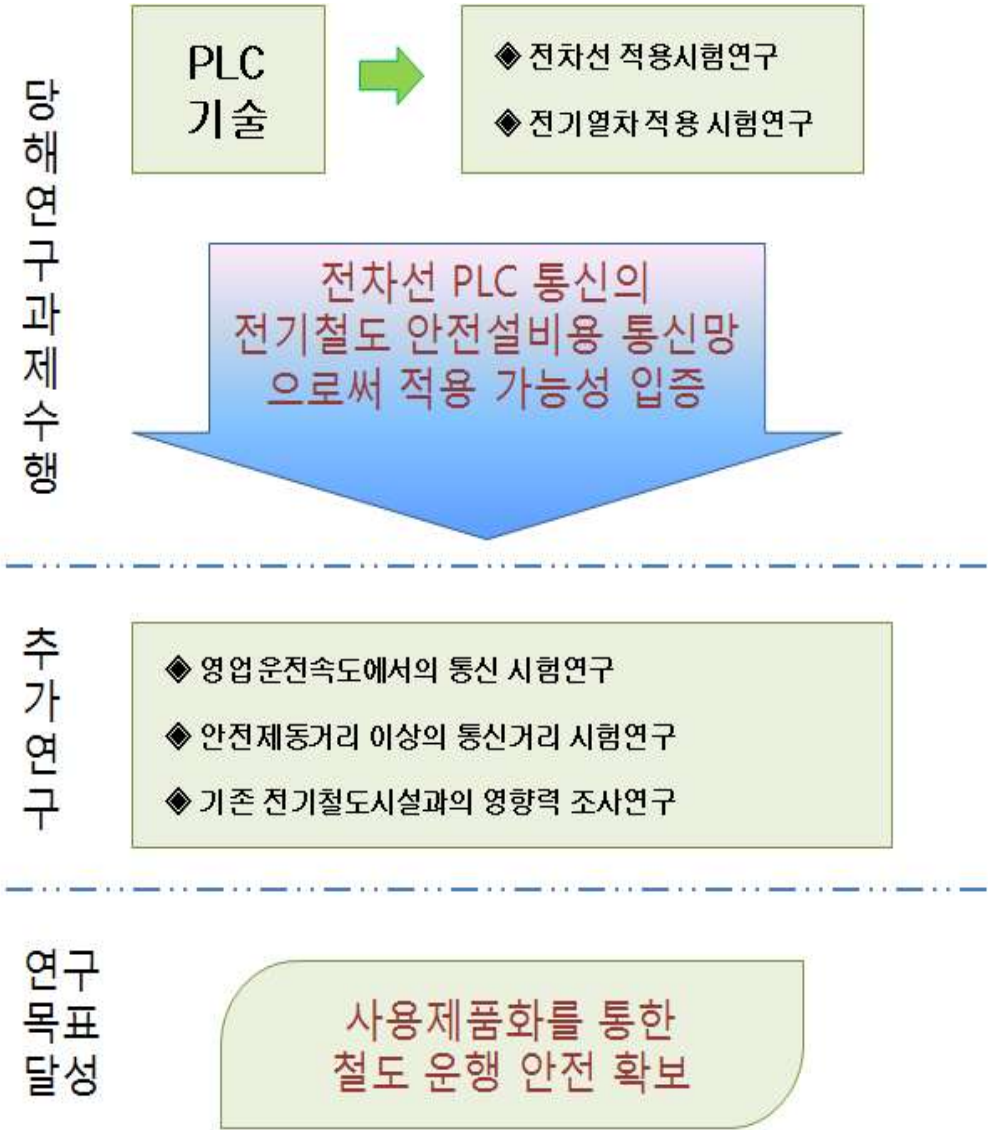
o 연구과제 목표의 상용 제품화를 위해 몇가지 기술적인 추가연구가 반드시 필요하다.

o 전차선을 통한 PLC 기술을 적용은 기존의 PLC 적용 분야와는 달리 이동중인 전기차량 내부/ 외부와의 통신을 이루어야 한다는 것이 특징적이다. 여러 단계의 접속점을 경유하는 과정에서 PLC통신의 특성 변화 및 손실을 연구하는데 중점을 두었으나 기반기술을 개선하여 특성을 유지하는 연구까지 진행되지 못했으며, 향후 추가 연구를 통하여 충분히 실용화의 가능성이 있으므로, 기존의 철도의 안전 시스템과 상호 보완관계를 구축하므로 안전시스템의 2중화 기능에 유용하게 적용될 것이다.

o 본 연구과제의 결과로 인하여 이론적인 가능성을 시험을 통하여 입증하였다. 그러나 본 연구과제의 시험은 제한적 상황하에서 진행되었고 PLC 기술의 적용 가능성에 대한 연구 실험만 진행되었기에 이를 응용한 실용 시스템에 적용하기에는 기술적으로 지속적이고 추가적인 연구가 필요하다.

o 즉, 제한적인 실험환경이 아니라 보다 광범위한 범위의 환경에서 실험이 필요하며 이는 전기열차의 영업운행 환경을 말한다.

o 본 연구의 성과를 좀더 구체화하고 응용 시스템을 구축하기 위해서는 실용화 환경에 부합되는 연구 시험 환경내에서 추가적인 연구 과제를 수행하여 실제 적용 가능한 성과를 도출하여야 한다.


당해연구과제수행
PLC 기술
◈ 전차선 적용시험연구
◈ 전기열차 적용 시험연구
전차선 PLC 통신의 전기철도 안전설비용 통신망으로써 적용 가능성 입증
추가연구
◈ 영업 운전속도에서의 통신 시험연구
◈ 안전제동거리 이상의 통신거리 시험연구
◈ 기존 전기철도시설과의 영향력 조사연구
연구목표달성
사용제품화를 통한 철도 운행 안전 확보

나. 경제·산업적 측면

1) 현황

o PLC는 그동안 여러가지 많은 장점에도 불구하고, 기술적인 측면에서 제한된 전송 전력, 높은 부하 간섭, 가변감쇠, 임피던스 레벨 잡음등으로 인하여 광범위하게 이용되지 못하였다.

o 특히 국내의 경우 초고속통신망이 범용화되어 상대적으로 전력선 통신의 필요성이 작아지긴 했으나 아직도 홈네트웍, 원격검침등 특정 분야에서는 그 중요성, 효율성이 뛰어나 필요성이 강조되고 있다.

o 최근 PLC가 갖는 기술적 문제점들이 하나씩 해결되어 가고 있어 각 분야별로 적용 사례가 늘어가는 추세이다.

o 당 연구과제의 수행 결과 전기철도 영역에서도 응용 가능성이 입증되었으며, 이를 통하여 본 연구과제의 목표인 전기철도 열차 안전정보 공유 전용통신시스템 중에 아래와 같은 분야에서 실용화 구축이 가능하다고 판단된다.

안전업무 구분		주요 안전정보
선로 주변 안전정보 (안전시설)	안전 시설	• 지장물 감지장치 • 낙석 감지장치 • 교량 상태감지 장치 • 터널 상태 감지 장치 • 연약지반 감지 장치 • 건널목 상태감지 장치 • 중요 시설 감지 장치 등
	CCTV 영상	• 철도선로 불량視界 CCTV(건널목 등) • 공사구간 이동형 카메라 • 역사 플랫폼 CCTV • 관제사 ⇔ 기관사 간 동영상
	정보공유	• Jumper선 없이 차량간 정보전달 • 후부차량 분리 감시 • 이동차량 인터넷 공급 • 차량정비 지상근무자의 실시간 차량상태 점검
	전기철도 망	• 모든 차량 위치정보 관리 • 철도신호 보조 매체 • 철도 통신의 이중화 수단으로 활용

2) 필요성

o 철도는 시설의 범위가 전국적으로 광범위하고 최근에는 운행속도의 향상을 위해 선로의 직선화를 이루면서 산악의 절개지, 터널, 교량등 안전을 위해 항상 감시해야할 지형 지물등이 늘고 있다. 이러한 지형지물들은 최근 수년간 문제가 되고 있는 국지성 호우와 같은 기상변화시 산사태, 매몰, 붕괴등의 대규모 사고를 유발할 수 있다. 이를 위한 시설 안전 감시시스템이 필수적으로 요구된다.

o 또한 선로보수공사, 역사내, 건널목등에서 수시로 발생하는 선로상에 각종 안전사고는 철도 시설 안전감시시스템을 시급히 도입해야 할 또다른 이유이기도 하다.

o 철도 시설물은 그 특성상 감시, 관리해야 할 범위가 광범위하여 전국적인 규모의 감시망을 구축 할 수 있는 통신시스템이 요구된다. 현재 공중인터넷망과 이동통신망이 상용 구축되어 있지만 철도는 국가의 중요기간 시설임으로 외부 통신망과 엄격히 분리해야 할 필요성이 있다. 또한 자체적으로 전력선통신(PLC)를 이용하는 것보다 유지운영비가 많이 들고 초기에 투자 비용이 더 많이 소요 될 수도 있다.

o 국가의 기간 운송 수단인 철도의 운영안전 및 효율을 위해서 시설 안전 감시 시스템의 도입은 필수적인 사업이고 이를 위해 PLC 기술을 활용하는 것이 가장 경제적이고 효과적인 방법이다.

o 뿐만 아니라 안전 감시 시스템의 운영과 관련 산업의 생산 유발 효과와 고용 증대 효과를 기대 할 수 있다. 따라서 본 연구개발의 후속과제 연구개발은 반드시 수행되어 그 성과물이 상용화되어 최종 목표인 전기철도 열차 안전정보 공유 전용통신시스템이 성공적으로 구축 되어야 할 것이다.

o 국내 철도의 기술적 자립도는 100%에 근접하는 수준까지 이르고 있다. 그러나 미래철도 기술은 철도선진국의 주도로 매우 활발하게 진행되고 있으며, 당해 국가의 미래성장동력으로 자국의 이익 및 기업의 이익과 결부 되어 매우 폐쇄적으로 기술을 선도하기위한 노력이 진행 중이며 우리의 미래철도기술은 미약한 수준에 머무르고 있다.

다. 관련 후속연구개발의 전망

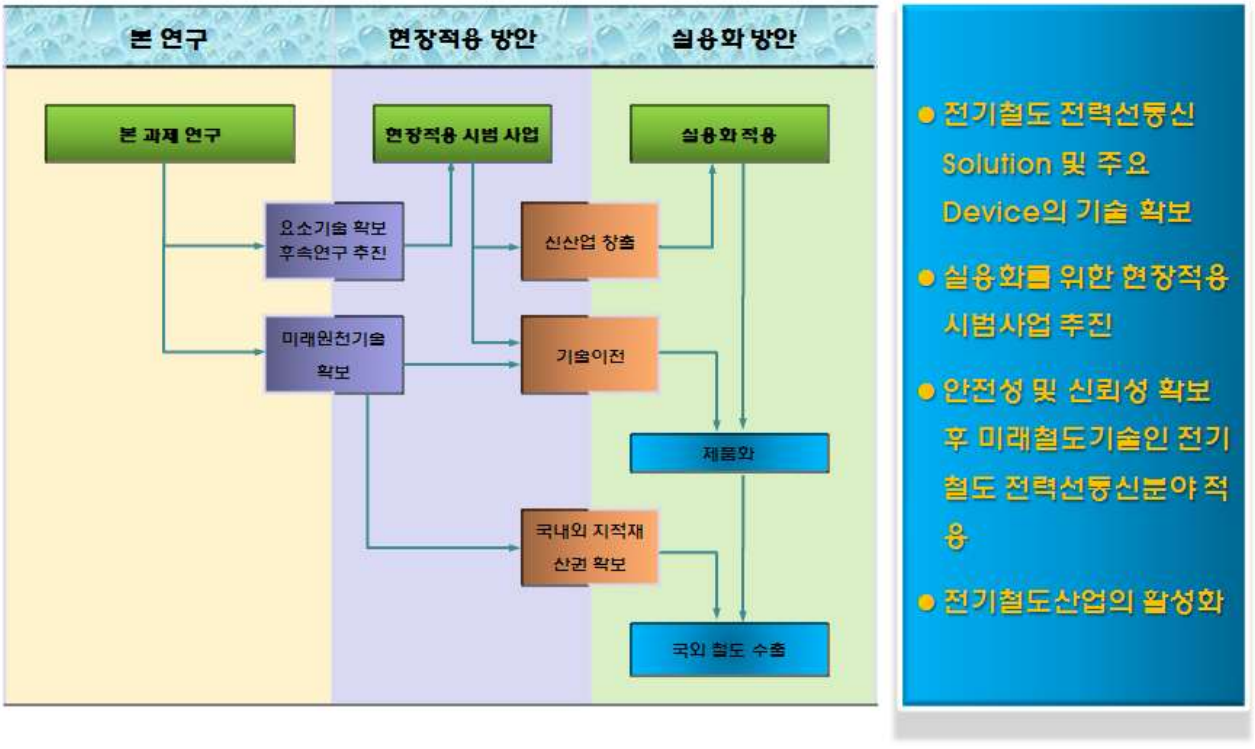
o 본 연구에서 얻어진 전기철도 전력선통신 Solution 및 주요 Device의 연구/개발의 결과를 기반으로 **실용화를 위한 현장적용 시범사업이 추진**되어 **안전성 및 신**

뢰성의 확보가 요구 되며, 미래철도기술인 전기철도 전력선통신 Solution을 바탕으로 전기철도산업의 활성화가 기대됨.

o 해외에 새로운 철도기술수출 전략산업으로 육성할 필요.

o IT강국으로서 지식경제부 산하 전력IT사업단(Smart Grid)을 중심으로 전력선통신 기술의 상당한 결과를 이루었으며, 전력IT 선진국과 대등한 수준의 기술력을 확보하고 있다. 전력산업분야에서 연구,개발된 전력선통신 요소기술을 전기철도 응용개발/연구에 적용하여 미 개척분야인 전기철도 전력선통신의 기술적 선점은 물론 향후 급증이 예상되는 유럽/아시아철도시장의 수출 및 규격 표준화에 대비하여 선진기술의 종속화에서 탈피하고 국가 경쟁력 강화에 기여함.

따라서 전차선 전력선통신을 이용한 실시간 양방향 철도안전정보 공유시스템을 철도기술수출 전략산업으로 육성이 필요함



제7장 연구개발 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보

제1절 PLC 통신

전력선을 이용한 통신은 1920년대 유럽에서 시작되었으며, 1950년대에는 단방향 통신을 이용하여 가로등, 부하 제어, 요금변경 등에 사용되었다. 그 후 1980년대 중반부터 전력선을 데이터 전송의 매개체로 사용하는 실험이 실시되었으며, 신호와 잡음 레벨에 관한 연구가 계속되었다. 이어서 전력선을 이용한 양방향 통신기술이 개발되고, 1990년대 후반부터 PC의 보급과 네트워크의 발전에 따라 고속의 데이터 신호를 전송할 수 있는 전력선 통신기술이 개발되었다. 그 동안 PLC 기술은 저속, 저 기능, 고비용 등의 문제로 활성화되지 못하였으나, 최근 홈 네트워크 산업에 따라 관심이 집중되고 있다. PLC 기술은 신규 투자비용이 저렴하고, 전 세계적으로 동일한 표준을 사용할 수 있는 장점이 있다. 따라서 통신 인프라가 취약한 국가, 저속 네트워크를 사용하는 국가에서 PLC를 채택하려는 경향이 있다.

PLC는 높은 부하와 잡음, 간섭현상, 가변 임피던스, 신호 감쇄현상 등 많은 어려움을 극복하고 제한된 전송전력을 이용, 데이터를 전송하여야 한다. 또한 비동기적으로 발생하는 잡음, 고주파 잡음, 전자제품의 스위치 작용으로 발생하는 임펄스 잡음 등 채널특성이 있다. 따라서 이 채널특성을 파악하고 채널상의 잡음을 극복할 수 있는 기술, 신호 감쇄현상, 전자제품과의 임피던스 부정합 현상을 극복 할 수 있는 기술 등이 연구되고 있다.

제2절 전력선 통신 기술 표준화 동향

1. PLC 표준화 기술

전력선 통신 기술은 2000년 이전에는 500KHz이하의 주파수 대역의 반송 주파수를 이용하는 9600bps의 협대역 방식이 주로 제어 계측 분야에 사용되어 왔다. 대표적인 표준방식으로는 X-10, LonWorks, CEBus를 들 수 있다. X-10은 가정내의 옥내 전기 배선을 통해 설비와의 통신을 원격 제어하기 위한 통신 프로토콜로서 주로 건물 자동화에 활용되고 있으며, LonWorks는 전력선을 이용한 분산 제어 네트워크 기술로서 홈 네트워킹 분야를 겨냥하여 만들어짐으로서 홈 네트워킹 분야의 표준으로 사용되고 있다. 특히 강점 중의 하나는 에너지 관리 기능과 유틸리티 제어 네트워크의 요구를 수용할 수 있는 유연성이 양호하다.

CEBus는 기존의 단순한 빌딩 및 주택 자동화를 위한 조명 및 에너지 기기 제어에 국한하지 않는 보다 폭넓은 홈 네트워킹 기술을 개발하였다. EIA(Electronics Industry Association)의 회원들을 중심으로 제안 및 개발된 것으로 CEBus 표준 기술을 결합한 제품들은 상호간에 통신이 가능하여 보다 유연한 홈 네트워킹 기술을 구사할 수 있는 장점을 갖고 있다.

고속 광대역 표준화 기술은 디지털 PLC 통신 기술이 개발되기 시작한 2000년 이후부터 시작되어 아직은 기술의 표준이 국제적으로 통일되지 않은 채 각 국가별로 추진되고 있다. 고속 전력선 통신 기술의 표준화 동향을 각 기구별로 살펴보면 다음과 같다.

가. PLC Forum

2000년 3월에 스위스에서 17개국 전기 통신 회사와 제조 업체 및 개발업자 51개 회원들이 중심이 되어 창립하였다. 전력선 통신 기술을 촉진시키기 위해 법 규정, 표준화, 마케팅의 연구를 진행하고 있다. 현재 Regulatory, Technology, Marketing 분야에 대한 Working Group이 조직되어 있으며, Modulation techniques, 기존망과의 연계 Electromagnetic compatibility, Optimum frequency range 등에 대한 표준화 연구가 추진되고 있다.

나. Home Plug

2000년 3월 미국에서 창립된 PLC 연구 단체이며 주로 홈 네트워킹의 신뢰성 향상과 전력선 네트워킹 기술 규격 설정 그리고 효율성 및 호환성 통신 기술 개발 분야에 초점을 두고 OFDM 모뎀 기술 Interference와 FCC issues, Reliability Ethernet 속도 보장 등의 기술 항목에 대한 연구를 진행하고 있다. 2000년 5 월에 Ethernet에 기반을 둔 홈 네트워킹 기술을 제안하였으며, 2001년 3~5월에 각 국 회원사의 500 가구를 대상으로 하여 실증 시험을 착수 하였으며 V1.0 최종 규격 설정과 품질 인증 활동을 전개하고 있다. 한편 전력선 가입자망 활용을 위해 2001년 전력 회사의 회원 중심으로 규정 완화 및 개선을 위한 PLCA가 조직되어 활동을 하고 있다.

다. Echonet

1998년 일본에서 발족된 전력선 통신 연구 단체이며 에너지 소비 효율화와 Co2 배출 절감 및 지역 에너지 통합 시스템의 관리에 의한 에너지 절감 등의 목표를 갖는다. 부가적으로 가정 의료 및 Security의 통합적 시스템 구축도 고려하고 있으며, 현재 통신 방식 인터페이스 등에 대해 연구하고 규격을 설정하여 개방하고 있다. 개인 주택집, 합주택, 점포, 소규모 빌딩의 PLC 응용 인터페이스 프로토콜의 표준화로서 Plug & Play 기능과 미들웨어 개념의 Open System 지원 및 외부망 접속 표준을 개발하였다. 단계적인 응용 전개를 위해 우선 지구 환경에 큰 영향을 미치는 전력 DSM(Demand Side Management)을 목표로 개발하고 2 단계에 기반 기술을 기초로 원격 의료나 재택 간호 지원등의 신규 서비스에 대응할 수 있는 기능을 강화하는 기술 개발 추진 목표를 지향하고 있다.

라. PLC Forum Korea

2001년 전력선 통신 기술의 국내 표준을 연구하기 위한 표준화 기구로 40여 개의 가전 및 PLC 통신 장비 회사가 포럼을 결성하여 활동을 시작하였다. PLC 통신 기술 가전 시장에 관한 기술 위원회 활동을 통해 1 차적으로 협대역 저속 PLC 홈 네트워크 응용을 위한 전력선 통신 기반의 기기들 사이의 통신 방법에 대한 기준인 Home Network Control Protocol(HNCP) 1.0을 2003년에 개발 완료하였으며, 현재는 BPLC 표준화 연구를 추진하고 있다. HNCP는 다중 마스터 슬레이브 구조를 지향하고 4계층 프로토콜 구조로 Categorized Address system을 갖고 있다. 표준 메시지 셋을 정의하고 기기 모뎀간 표준 인터페이스 규격 및 네트워크 관리를 제공하는 특징을 갖고 있다.

제3절 전력선 홈 네트워킹 IC 판매 업체

1. Adaptive Network

Adaptive Network는 1983년에 설립된 이후로 20여년동안 전력선 네트워킹 산업에 종사해 왔다. Adaptive Network는 고속 전력선 네트워킹 기술인 PowerStream으로 명성을 날렸다. 이 기술은 광대역 스프레드 스펙트럼 변조, 어댑티브 균등화, 신속한 동기화, 오류 관리 암호화 및 네트워킹 프로토콜로서의 token passing schcme을 사용하고 있다.

2. Cogency Semiconductor

Cogcncy scmiconductor는 전신인 Congcncy Tcchnology는 1997 년에 설립되었다. 이 회사의 주력 제품은 HomePlug compliant 전력선 네트워킹 칩셋이다. Cogency는 통합된 MAC와 PHY 컨트롤러, 및 아날로그 기기와 더불어 개발된 아날로그 프론트 엔드 (AFE) 로 구성되는 Piranha chipset 을 2001년 발표했다.

3. Conexant

Conexant 가 HomePlug 시장에 내놓은 제품은 Single chip의 PHY기기인 CXI 1647 이다. CXI 1647은 저비용 구현을 목표로 하고 있으며. 산업규격 MII 인터페이스를 통해서 뿐만 아니라 GPSI 인터페이스를 통해 대부분의 802.3 MAC 와 인터페이스 할 수 있다

CXI 1647은 저비용 홈 전력선 실행 라우터를 제작하기 위하여 Conexant의 CX82100 홈 네트워크 프로세서와 연결하여 사용된다.

4. Enikia

Enikia는 소규모 반도체 회사이며, 새로운 전력선 네트워킹 환경에서 회사의 입지를 구축하기 위해 과거 수 년간 노력해왔다. 1999년 등장과 동시에 명성을 떨쳤음에도 불구하고 Enikia는 자체적으로 OFDM 기술을 개발해낸 것처럼 보이지는 않으며 Intellon이 OFDM 솔루션을 선택했을 때, 크게 당황했다. Enikia 는 전력선 WAN 접속 기술을 포함시키기로 제품 목표를 확장하고, 유틸리티 기반 서비스를 제공하기 위한 기반 구축을 목표하였다.

5. Inari

이 회사는 전력선 네트워킹용 실리콘을 개발하는데 주력해 왔고, 자체 기술을 개발하기로 하고 2 Mbps 칩셋을 기반으로 RCA System Link 제품을 출고한 Thomson Multi-media와의 제휴를 통해 다소나마 성공을 거두었다. 하지만 Inari는 2002년 4 Mbps 칩셋을 시판하였으며, MAC/PHY와 별도의 AFE 을 가진 디지털 컨트롤러를 포함되었다. 또한 전력선 브리지 및 어댑터 제품에 대해 자체 이더넷을 부착할 뿐만 아니라 기타 부서들과 손잡고 이리한 기술을 개발할 것이다.

6. Intellon

Intellon은 전력선 통신 칩셋을 전문으로 하는 소규모 반도체 회사이다. 이 회사의 최근 추진 목표는 Power Packet 기술을 활용하여 고속 전력선 홈 네트워킹 시장에 적극 진입하는 것이다. Power Packct는 HomePlug 규격의 기반이 원 Intcllon의 특허 기술이며 최초 제품은 INT5130 트랜시버이다. INT5130은 가옥 전체에 걸쳐서 전력 통신 시스템을 제공하는 통합식 MAC/PHY 컨트롤러이며, 최대 14Mbps 원 데이터 처리를 위한 통신을 실행한다. 현재 대부분의 옥외 솔루션을 개발하고 있으며, 이론상 200 Mbps의 속도를 낼 수 있는 제품을 출시하고 있다.

7. Valence Semi

Valence는 Mixed-signal 통신 IC 회사인 Irvine 이다. 이 회사의 4 개 제품 세그먼트는 홈 네트워킹, 이동 연결, 멀티미디어 및 광대역 접속이다. 또한 HomcPlug와 802.11x 에 기반을 둔 제품들을 홈 네트워킹 시장에 내놓으려는 계획을 가지고 있다. 이 회사의 최초

Home Plug 제품은 VS6801 HomcPlug Analog Front E:nd(AFC) 이며 싱글칩 기기이다. 이 기기는 아날로그/디지털 변환기 (ADC)와 디지털/아날로그 변환기 (DAC)를 포함하고 있다.

제8장 참 고 문 헌

1. 이현소, 이영환, 장동원, 김경석, “OFDM 기반 전력선 통신을 위한 Notch Filter 설계”, 한국콘텐츠학회논문지, 제9권 제3호 2009.3, pp.58~71
2. 이정열, 윤진희, 전해성, 김학범, “고속전력선통신이 적용된 홈네트워크의 보안취약점 분석 ”, 정보보호학회지, 제20권 제1호 2010.2, pp. 66~73
3. 안진웅, 이재호, 조황, 이기서, “Design of Management Information Base for SNMP-based Power Line Communication System Applicable to Railway Vehicles”, 한국철도학회 논문집, 제11권 제1호 (통권44호) 2008.2, pp. 69~74
4. 박병석, 최영림, 유동희, 현덕화, “저압 인입선에서의 고속 전력선통신 특성 분석”, 전력 전자 학회논문지, 제10권 제3호 2005.6, pp. 264~273
5. 허윤석, “전력선 통신을 위한 옥내 전력선 임피던스 특성 측정 시스템”, 한국정보기술학회논문지, 제4권 제5호 2006.10, pp. 67~74
6. 윤영직, 허준, 홍충선, 주성호, 임용훈, “전력선 통신 네트워크를 위한 혼합형 보안구조 설계”, 한국정보과학회 2007 가을 학술발표 논문집 제34권 제2호(D) 2007.10, pp. 127~131
7. 천동완, 박영진, 김관호, 신철재, “전력선통신을 위한 고압 배전선로의 방사전계강도 계산”, 한국통신학회논문지, 제30권 12A호 2005.12, pp. 1136~1145
8. 이병록, 최승권, 조용환, “홈 네트워크 구성에서 전력선 통신 기술의 효율적인 활용”, 한국콘텐츠학회논문지, 제5권 제5호 2005.10, pp. 65~77
9. 임수빈, “전력선통신(Powerline Communication) 기술 및 응용”, 전기의 세계, 제49권 제11호 2000.11, pp. 17~21
10. 박영진, 김관호, “고속 전력선 통신용 옥내 저전압 전력선 임피던스 측정 및 특성 연구”, 전자공학회논문지-TC, 제41권 제8호 (통권 제326호) 2004.8, pp. 619~623
11. 김병운, “전력선이용 통신의 경쟁력 분석 및 시장전망”, 한국기술혁신학회 2001년 춘계학술대회 2001.5, pp. 93~103
12. 이덕무, 김병운, “전력선 이용 통신(PLC)의 국내·외 동향 및 시장전망에 따른 가격전략”, 2000년도 추계학술대회 發表論文集 2000.9, pp. 615~630
13. 임승하, “전력선 통신환경에서의 구동회로 개선에 관한 연구”, 전자공학회논문지-IE, 제44권 제4호 2007.12, pp. 30~34
14. 于韜, 송성근, 이민중, 김광헌, 박성준, “DC 전력선 통신을 이용한 Plug-in형 BLDC 구동 시스템”, 전력전자학회논문지, 제14권 제2호 2009.4, pp. 105~111
15. 김영현, 박병석, 최문석, 주성호, 최인지, “전력설비에 내장된 전력선통신 시스템 설계”, 전력전자학회 2006년도 전력전자학술대회 논문집 2006.6, pp. 125~127
16. 김선효, 김상태, 이영철, 신철재, “고속 전력선 통신을 위한 중전압 선로의 방사전자파 측정 및 분석”, 한국전자파학회논문지, 제14권 제1호 (통권68호) 2003.1, pp. 54~61
17. 김영현, 최문석, 최영림, 정영호, 이상윤, “전력선통신 종합시험장 구축모델 및 시험기준 설계에 관한 연구”, 전력전자학회 2005년도 전력전자학술대회 논문집 2005.7, pp. 87~89
18. 이영훈, 현덕화, “전력선통신을 이용한 배전자동화 시험망 구축에 관한 연구”, 한국정보기술학회논문지, 제7권 제3호 2009.6, pp. 95~101
19. 윤재식, 위정철, 송용재, 박중하, 김재헌, “전력감시 및 이상전력 차단 기능을 갖는 저전력 전력

선통신 모뎀 개발1)"2009 대한전기학회 제40회 하계학술대회 2009.7, pp. 1964~1965
20. 서희종, 주효정, "전력선통신에서 직접확산 스펙트럼(DSSS) 계의 성능 분석", 전자공학회논문지-TC, 제41권 제11호 (통권 제329호) 2004.11, pp. 25~32
21. 한경호, 황하윤, "양방향 다중직렬통신을 위한 이중전압 직류 전력선 통신 드라이버 구현", 조명·전기설비학회논문지, 제23권 제10호 2009.10, pp. 29~35
22. 이희준, 안승호, 강승욱, 이종구, "전기 철도의 전력선 통신을 위한 전차선과 조가선의 통신 특성 분석", 조명·전기설비학회논문지, 제24권 제10호 2010.10, pp. 157~162
23. 신일식, 오현경, 김영일, 천행춘, 유영호, "전력선 통신을 이용한 가정용 원격 검침 시스템에 관한 연구", 한국박용기관학회 2004년 춘계학술대회논문집 2004.5, pp. 223~228
24. 허윤석, "전력선 통신을 위한 옥내 전력선 임피던스 특성 측정 시스템", 2006년도 하계종합학술발표논문집 2006.6, pp. 51~58
25. 유법상, 권병열, "전력선통신을 이용한 팬코일 유닛 제어시스템", 대한설비공학회 2010년도 하계학술발표대회 2010.6, pp. 1142~1147
26. 김영현, 박병석, 최문석, 주성호, 최인지, "배전자동화를 위한 전력선통신 제어 칩 개발", 전력전자학회 2006년도 전력전자학술대회 논문집 2006.6, pp. 31~33
27. 이홍희, 김관수, "전력선 통신 환경에서의 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 잡음제거에 관한 연구", 전력전자학회 2001년 학술대회논문집 2001.7, pp. 642~645
28. 안남호, 장태규, 황경태, "전력선 통신 응용을 위한 저압 댁내망의 채널 특성 분석 기법에 관한 연구", 2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A 2001.7, pp. 305~307
29. 주성호, 이태영, 박병석, 임용훈, 유동희, "전력선 통신을 이용한 지하공동구 종합감시제어 시스템 개발", 전력전자학회 2004년도 전력전자학술대회 논문집(II) 2004.7, pp. 728~732
30. 현덕화, 이영훈, 강철신, "복합 전력선통신시스템을 이용한 배전자동화 시험망 구축에 관한 연구", 한국정보기술학회 2007년도 하계학술발표논문집 2007.6, pp. 172~177
31. 정영화, "[소특집-전력선 통신기술]전력선통신기술 표준화 동향", 전자공학회지, 제30권 제1호 (통권 제224호) 2003.1, pp. 74~83
32. 박종연, 주병훈, "전력선 통신을 이용한 조광제어 시스템", 전력전자학회 2000년 학술대회논문집 2000.7, pp. 107~110
33. 김현종, 윤상흠, 김호, " [소특집-전력선 통신기술]전력선통신 기술동향 및 전망", 전자공학회지, 제30권 제1호 (통권 제224호) 2003.1, pp. 67~73
34. 이원태, 임자용, 이영철, "BPSK 변조방식을 적용한 전력선 통신 모뎀의 FPGA 구현", 대한전기학회 제37회 하계학술대회 논문집 D 2006.7, pp. 2019~2020
35. 윤재식, 위정철, 원동선, 박중하, 송용재, "저전력 대기모드를 지원하는 전력선통신 모뎀 개발에 관한 연구", 2008 CICS 정보 및 제어 학술대회 논문집 2008.10, pp. 536~537
36. 유지헌, 박경섭, "UWB 전송 기술을 이용한 전력선 통신에 관한 연구", 대한전기학회 제37회 하계학술대회 논문집 D 2006.7, pp. 2021~2022
37. 천동완, 이진택, 박영진, 김관호, 신철재, "전력선 통신 시스템의 입력 임피던스 계산", 한국통신학회논문지, 제29권 9A호 2004.9, pp. 983~990
38. 천동완, 박영진, 김관호, 신철재, "전력선통신을 위한 고압 배전선로의 임피던스 특성", 전자공학회논문지-TC, 제42권 제11호 (통권 제341호) 2005.11, pp. 67~78
39. 임은정, 박병석, 주성호, 안기석, 강철신, "고압 전력선통신망을 위한 재전송 프로토콜의 설계

및 성능분석", 한국정보기술학회논문지, 제5권 제4호 2007.12, pp. 69~81
40. 임수빈, "고속 PLC 홈네트워크 솔루션", 한국통신학회지(정보와통신), 제23권 제8호 2006.8, pp. 35~42
41. 한재용, 이순흠, "전력선 통신을 이용한 에어컨 피크 전력 제어 시스템 개발", 전자공학회논문지-SC, 제46권 제5호 (통권 제329호) 2009.9, pp. 44~51
42. 박병석, "전력선통신 유비쿼터스 기술개발", 조명·전기설비, 제21권 제6호 2007.12, pp. 35~39
43. 백승룡, "전력선 통신을 이용한 사이버 홈", 전자공학회지, 제28권 제11호 (통권 제210호) 2001.11, pp. 73~78
44. 박병석, 이영훈, 강철신, "국가 표준형 전력선통신 MAC 프로토콜 시뮬레이션 및 성능분석", 한국정보기술학회 2008년도 IT기반 융합서비스 웍샵 및 하계 종합 학술 대회 2008.5, pp. 84~84
45. 이삼진, 양승학, 권기현, "전력선 통신방식을 이용한 가전기기 전원제어장치", 전력전자학회 2001년 학술대회논문집 2001.7, pp. 666~668
46. 이원태, 변우봉, 원동선, "Spread Spectrum 방식을 이용한 전력선 통신 모뎀의 FPGA 구현", 대한전기학회 제37회 하계학술대회 논문집 D 2006.7, pp. 2017~2018
47. 임수빈, "고속 전력선통신 기술의 현재와 미래", 전자파기술, 제15권 제4호 (통권52호) 2004.10, pp. 39~46
48. 차주헌, 전희연, 김재덕, "전력선 통신을 이용한 인터넷 기반 원격 제어 시스템", 한국정밀공학회지, 제18권 제10호 (통권127호) 2001.10, pp. 26~32
49. 이정훈, 이종주, 서종완, 이승연, 신명철, 고은영, "데이터 통신을 위한 전력선 CDMA 통신 시스템", 2000년도 대한전기학회 추계부문학술대회 논문집 A 2000.11, pp. 211~213
50. 김용성, 김재철, 이양진, 조성민, "전력선 통신을 위한 저압 배전 시스템의 임피던스 연구", 한국조명·전기설비학회 2006 춘계학술대회 논문집 2006.5, pp. 78~81
51. 송용수, 이상수, 한성호, "전력선 통신을 이용한 열차내 서비스기기 제어에 관환 연구", CICS 2009 정보 및 제어 학술대회 논문집 2009.10, pp. 345~346
52. 이원태, 이재조, 김관호, 변민섭, 우대호, 정영화, 김철, "40kbps급 협대역 전력선 통신 모뎀 구현에 관한 연구", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 D 2003.7, pp. 2714~2716
53. 송석호, 원영진, 임승하, "전력선 통신에서의 D급 증폭기를 이용한 구동 회로 설계", 대한전자공학회 2010년 하계종합학술대회 2010.6, pp. 1759~1762
54. 박성욱, 박종욱, "5-ary 주파수 천이 키잉 방식을 이용한 전력선 캐리어 모뎀 구현에 관한 연구", 전자공학회논문지-IE, 제42권 제3호 2005.9, pp. 39~44
55. 안남호, 장태규, 김훈, "인터넷 가전 제어를 위한 전력선 통신망 채널 특성 추정 기법에 관한 연구", 2002 대한전기학회 하계학술대회 논문집 D 2002.7, pp. 2559~2561
56. 이상무, 은창수, "전력선 유도전압 기초 산출을 위한 전자계 해석", 전자공학회논문지-TC, 제47권 TC편 제5호 2010.5, pp. 60~68
57. 차재상, "디지털 가전채널 변동특성을 반영한 최적 변복조 시스템에 관한 연구", 조명·전기설비학회논문지, 제20권 제3호 2006.3, pp. 20~27
58. 이영현, 현덕환, "A study on the composite Powerline communication network", 한국정보기술학회논문지, 제8권 제5호 2010.5, pp. 1~11
59. 정준영, 이병윤, 김광수, "이기종 무선통신방식의 적응형 미들웨어에 관한 연구", 2007 CICS 정보 및 제어 학술대회 논문집 2007.10, pp. 373~374

60. 안남호, 장태규, “저 비트율 전력선 모뎀에 대한 저압 댁내망의 채널 특성 시뮬레이션 기법에 관한 연구”, 전기학회논문지 D, 제51D권 제5호 2002.5, pp. 197~202
61. 고준호, 박철원, 김윤상, “국내 전력 감시시스템의 유무선 통신 기술 사례 연구”, 2009 대한전기학회 제40회 하계학술대회 2009.7, pp. 139~140
62. 차재상, 김성권, “연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드 기반의 구내용 PLC에 관한 연구”, 조명·전기설비학회논문지, 제20권 제2호 2006.2, pp. 38~44
63. 차주헌, “[집중기획 : 실내공기질과 공기청정기] PLC 기반의 홈 네트워크 시스템”, 설비저널, 제33권 제5호 2004.5, pp. 21~26
64. 최태섭, 안인수, “PLC에서의 임피던스 저하 개선에 관한 연구”, 전자공학회논문지-IE, 제42권 제3호 2005.9, pp. 7~12
65. 김호수, 이명섭, 구경완, 한상옥, “전력선을 이용한 음향전달 시스템의 구성 및 특성 분석”, 조명·전기설비학회논문지, 제18권 제3호 2004.5, pp. 128~134
66. 김대홍, 양철오, 이대성, 임동순, 강건민, 양세영, 송명현, 박규남, “풀 코드 스위치 동작상태 모니터링 시스템”, 2009 대한전기학회 제40회 하계학술대회 2009.7, pp. 1690~1691
67. 최원호, 박준용, 노경호, 박종연, “FH방식의 전력선 모뎀에 의한 집단 조광제어 시스템 구현”, 전력전자학회 2004년도 전력전자학술대회 논문집(Ⅰ) 2004.7, pp. 163~166
68. 오휘명, 김영선, 이재조, “LDPC Coded OFDM 시스템에서 적응형 비트 로딩을 고려한 Sum-Product 복호기 성능에 관한 연구”, 대한전기학회 제37회 하계학술대회 논문집 D 2006.7, pp. 2027~2028
69. 여진기, 이승민, 이흥호, “내잡음성 저속 전력선 모뎀의 구현”, 2002년도 대한전자공학회/대한전기학회 시스템 및 제어분야 합동 추계학술대회 논문집 제25권 제2호 2002.11, pp. 558~561
70. 현덕화, 최인지, 강철신, 이영훈, “22.9㎸ 지중 배전케이블에서의 통신신호 전송특성 연구”, 2006년도 하계종합학술발표논문집 2006.6, pp. 78~83
71. 고종선, 김영일, 김규겸, “페라이트 코어와 스위칭 증폭기를 이용한 PLC 신호 감쇠 저하 시스템”, 전력전자학회논문지, 제6권 제6호 2001.12, pp. 474~480
72. 홍덕표, 이진목, 김수철, 최재호, 홍현문, “옥내 전력선 채널 분석”, 전력전자학회 2006년도 전력전자학술대회 논문집 2006.6, pp. 456~458
73. 주성호, 곽귀일, 임용훈, 박병석, 김영현, 이범석, 현덕화, “배전선로를 이용한 통신망 구성 및 통신 프로토콜 설계”, 전력전자학회 2006년도 전력전자학술대회 논문집 2006.6, pp. 475~477
74. 차주헌, 전성, 이상화, “고속 기반 섬유기계 원격 제어 시스템 PLC”, 대한기계학회 2006년도 추계학술대회 강연 및 논문 초록집 2006.11, pp. 11~16
75. 김수남, 강동욱, 김기두, 유현중, “DSP를 이용한 원격 제어용 전력선 모뎀 구현에 관한 연구”, 한국통신학회논문지, 제29권 10C호 2004.10, pp. 1433~1443
76. 김영석, 송길목, 김선구, “저전압 전기설비의 온라인 감시시스템 구축을 위한 국내외 실태조사”, 조명·전기설비학회논문지, 제21권 제5호 2007.6, pp. 75~81
77. 허영, 최현호, 오상기, 김관호, “확산 대역 통신 방식을 이용한 전력선 반송 시스템에 관한 연구”, 1991年度 夏季學術大會 論文集 1991.7, pp. 841~845
78. 김영현, 명노길, 최인지, 박병석, 이상진, “전력선통신을 위한 커플러 내장형 변압기 개발”, 대한전기학회 제39회 하계학술대회 논문초록집 2008.7, pp. 236~236
79. 최원호, 임병노, 박종연, “신뢰적인 전력선 통신을 위한 라인 커플러의 개발”, 대한전기학회 제

37회 하계학술대회 논문집 D 2006.7, pp. 2009~2010
80. 고종선, 김주환, 윤성구, 이기원, “전력선 통신 시스템을 위한 신호 감쇠 저하 장치 연구”, 전력전자학회 2000년 학술대회논문집 2000.7, pp. 103~106
81. 손현일, 오휘명, 이재조, 이원태, 김관호, “전력선 통신 채널의 간접 잡음 측정에 대한 방안 연구”, 2002 대한전기학회 하계학술대회 논문집 D 2002.7, pp. 2611~2613
82. 이수동, 최영윤, 박종일, 김요희, 김관호, “전력선 반송을 위한 부호 편이 키잉 대역 확산 통신 방식”, 한국통신학회 학술대회 논문집 (통신정보합동) 제2권 1992.1, pp. 323~329
83. 박해수, 이원태, 김요희, “고속 전력선통신 시범마을 구축 및 운용”, 대한전기학회 제36회 하계학술대회 논문집 2005.7, pp. 2980~2982
84. 박재호, 노대석, 오용택, 홍상은, “전력선 통신을 이용한 전력 감시 시스템 구성에 관한 기초연구”, 2004 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집 2004.11, pp. 166~168
85. 김호, 이원석, 전희종, 박종찬, “전력선 통신을 이용한 원격 부하제어 시스템의 구축”, 전력전자학회 2002년 학술대회논문집 2002.7, pp. 685~688
86. 조성민, 김재철, 김용성, 이양진, 정범진, “옥외 전력선 통신을 위한 저압 변압기 노이즈에 대한 연구”, 대한전기학회 제37회 하계학술대회 논문집 A 2006.7, pp. 127~128
87. 박준현, 김남용, 강창언, “전력선 통신을 위한 고조파 잡음의 적응 제거”, 한국통신학회 학술발표회 논문집 제9권 3호 1990.1, pp. 105~110
88. 김동순, 서종완, 김도경, 최종찬, “전력선 채널 특성을 통한 고속 데이터 통신 방법 연구”, 2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 D 2001.7, pp. 2499~2501
89. 이수동, 최영윤, 박종일, 김요희, 김관호, “전력선 반송을 위한 부호 편이 키잉 대역 확산 통신 방식”, 대한전자공학회 학술대회 논문집 (통신정보합동) 제2권 2호 1992.4, pp. 323~329
90. 최성수 , 이원태, “스마트그리드를 위한 전력선통신 기술기준 및 표준화에 관한 연구”, 대한전자공학회 2010년 하계종합학술대회 2010.6, pp. 1059~1060
91. 송용수, 신경호, 김용규, “전력선 통신을 적용한 열차내 온도제어 시스템 구현 연구”, 대한전자공학회 2010년 하계종합학술대회 2010.6, pp. 1049~1052
92. 이재조, 이원태, 오휘명, 김관호, 이대영, “고압전력선 통신 채널 특성 측정 시스템 개발”, 2002 대한전기학회 하계학술대회 논문집 D 2002.7, pp. 2640~2642
93. 변우봉, 이준희, 김종령, 정원채, 김현식, 오영우, 곽귀일, 주성호, “자심재료 특성에 따른 전력선 통신용 비접촉식 커플러의 특성”, 2006 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 춘계학술대회 논문집 2006.4, pp. 258~260
94. 유정훈, 최승지, 박영진, 이원태 김관호, 홍충선, 이대영, “고압 전력선 통신을 위한 임피던스 측정과 정합 방안 연구”, 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 C 2003.7, pp. 1981~1983
95. 이재조, 유정훈, 홍충선, 이대영, “고압전력선 통신을 위한 임피던스 측정 및 정합 방안 연구”, 전기학회논문지 D, 제53D권 제5호 2004.5, pp. 345~352
96. 오휘명, 김관호, 이원태, 이재조, “전력선 통신 채널 Data Base 구축을 위한 기본 연구”, 2002 대한전기학회 하계학술대회 논문집 D 2002.7, pp. 2619~2621
97. 이재조, 박영진, 오휘명, 김관호, 이대영, “고압 배전선로 전력선 통신 신호결합장치 개발”, 전기학회논문지 D, 제54D권 제6호 2005.6, pp. 409~416
98. 문경환, 신명철, 서희석, 최상열, 최인혁, 고은영, 이종주, 차재상, “임펄스 잡음 문제의 해결을

위한 인터리빙 기반의 전력선 통신시스템", 2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A 2004.7, pp. 316~318
99. 최원호, 이후찬, 박종연, "전력선 통신을 이용한 원격 전력분석 및 제어시스템에 관한 연구", 전력전자학회 2005년도 전력전자학술대회 논문집 2005.7, pp. 211~213
100. 임용훈, 현덕화, "대지귀로 전류에 의한 전력선과 통신선의 상호임피던스 해석", 대한 전기학회 전력기술부문회 2003년도 추계학술대회 논문집 2003.11, pp. 269~271
101. 한상준, 박일한, 김병성, 이세희, 변진규, 나완수, "전자장 수치해석을 이용한 전력선 통신용 비접촉식 Blocking Filter 해석", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 2001년도 추계학술대회 논문집 2001.10, pp. 110~112
102. 최백구, 고광철, "EMTP를 이용한 가공송전선로에 의한 통신선의 유도전압 해석", 2007 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집 2007.11, pp. 112~114
103. 박청윤, 장목순, "주파스 직접확산(DS-SS) 기술을 이용한 전력선 통신 시스템의 개발", 전기학회논문지, 제47권 제7호 1998.7, pp. 1023~1030
104. 현덕화, 최인지, 강철신, 이영훈, "22.9㎸ 지중 배전케이블에서의 통신신호 전송특성 연구", 한국정보기술학회논문지, 제4권 제4호 2006.8, pp. 33~39
105. 김종령, 김현식, 허정섭, 이해연, 이준희, 오영우, 변우봉, "나노 결정립 재료를 이용한 비접촉식 커플러의 설계 및 특성", 한국자기학회지, 제16권 제6호 2006.12, pp. 300~304
106. 권민성, 김완수, 김호준, "저전력 PLC 외장 모뎀 개발", 한국정보기술학회논문지, 제7권 제1호 2009.2, pp. 15~24
107. 유강원, 강동성, 정동규, 반재경, "전력선 통신 시스템 설계를 위한 옥내 배전선의 전송특성 측정", 대한전자공학회 학술대회 논문집 제17권 1호 1994.7, pp. 44~47
108. 정광현, 박종연, "전력선 채널의 주기적 잡음 적응형 DS/SS 시스템의 구현 방법", 전자공학회논문지-TC, 제47권 TC편 제2호 2010.2, pp. 47~55
109. 김영선, 최성수, 오휘명 이재조, 김관호, "전력선 채널에서 나카가미-m 배경 잡음에 대한 통계적 특성", 대한전기학회 제37회 하계학술대회 논문집 D 2006.7, pp. 2011~2012
110. 박영진, 이재조, 김관호, 이원태, "Impedance measurement and analysis of overhead medium voltage power lines for broad band power line communication (BPLC) ", 대한전기학회 제36회 하계학술대회 논문집 2005.7, pp. 2345~2347
111. 이승준, 신동환, 김용화, 이재조, 엄기환, "고압 전력선 통신을 위한 지중 고압 배전 선로에서의 배경잡음 분석 및 모델링", 대한전자공학회 2010년 하계종합학술대회 2010.6, pp. 986~987
112. 손도선, 김기현, 김상철, 전의석, 이상훈, "Method and implementation for reducing standby power consumption in intermediate capacity power supply with Power Line Communication", 대한전기학회 제39회 하계학술대회 논문초록집 2008.7, pp. 502~502
113. 윤재식, 위정철, 원동선, 박중하, 송용재, "저전력 전력선 통신 모뎀 개발을 위한 AC 커플러 개발 ",대한전기학회, 2007 CICS 정보 및 제어 학술대회 논문집 2007.10, pp. 495~496
114. 정범진, "고속 전력선 통신 기술 동향과 산업화 전망 ",대한전기학회, 전기의세계, 제54권 제11호 2005.11, pp. 22~27
115. 이재조, 이원태, 변우봉, 최성수, "고속 전력선 통신을 위한 고압 배전선로 입력 임피던스 특성 연구 " ,대한전기학회, 대한전기학회 제37회 하계학술대회 논문집 D 2006.7, pp. 2031~2032

116. 김회수, 조원서, 조희곤, "전력선통신의 CISPR 전자파 장해 표준화 동향 " ,한국전자파학회, 전자파기술, 제15권 제4호 (통권52호) 2004.10, pp. 32~38
117. 박병석, 송석영, 임용훈, " 배전 계통의 자동화용 고압 전력선 통신 시스템 " ,대한전기학회, 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 D 2003.7, pp. 2708~2710
118. 김선효, 이원태, 이영철, 신철재, "22.9kV중 전압 전력선 통신을 위한 금속귀로 채널과 대지귀로 채널의 특성분석 " ,한국통신학회, 한국통신학회논문지, 제27권 9B호 2002.9, pp. 886~894
119. 이재조, 박해수, 이원태, 김관호, "전력선 통신을 위한 고압 배전선로 특성 파라미터 해석 " , 대한전기학회, 대한전기학회 제37회 하계학술대회 논문집 D 2006.7, pp. 2029~2030
120. 오휘명, 최성수, 김관호, 황금찬, "충격 잡음 수신 레벨 제한을 통한 전력선 통신 시스템 성능 열하 완화 " ,대한전기학회, 대한전기학회 제37회 하계학술대회 논문집 D 2006.7, pp. 2025~2026
121. 이영훈, 현덕화, 강철신, "고압 배전선 계통에서의 전력선통신 복합통신망 구현에 관한 연구 " ,한국정보기술학회, 한국정보기술학회논문지, 제5권 제3호 2007.9, pp. 89~97
122. 고종선, 김주환, 윤성구, 이기원, "전력선 통신 시스템을 위한 신호 감쇠 저하 장치 연구 " ,전력전자학회, 전력전자학회논문지, 제5권 제4호 2000.8, pp. 370~376
123. 손주희, 신명철, 박영, 권삼영, 박현준, 차재상, "적응형 정합필터링을 통한 전력선통신에서의 임펄스 잡음 제거기법에 관한 연구 " ,대한전기학회, 대한전기학회 제36회 하계학술대회 논문집 A 2005.7, pp. 75~77
124. 안병록, 송준호, 이해기, 이춘모, "전력선 통신에 적합한 모뎀의 설계 및 성능평가 " ,대한전기학회, 대한전기학회 전문대학교육위원회 2003년도 학술대회 논문집 2003.7, pp. 62~69
125. 차주헌, "고속 전력선 통신 기반의 네트워크 카메라 시스템 " ,한국정밀공학회, 한국정밀공학회 2009년도 추계학술대회 논문집 2009.10, pp. 151~152
126. 노성호, 이동욱, 안도랑, "OFDM 방식을 이용한 전력선 통신 시스템에 관한 연구 " ,대한전기학회, 2000年度 大韓電氣學會 夏季學術大會 論文集 D 2000.7, pp. 3121~3123
127. 박종연, 정동열, "전력선 통신 채널의 시뮬레이터 개발 " ,대한전기학회, 대한전기학회 1999년도 하계학술대회 논문집 G 1999.7, pp. 3114~3116
128. 김용성, 김재철, 권영목, 이양진, "Analysis of distribution grid for power line communication network " ,대한전기학회, 대한전기학회 제36회 하계학술대회 논문집 A 2005.7, pp. 102~104
129. 최승지, 유정훈, 오휘명, 이재조, 이원태, 김관호, "전력선 통신 채널의 잡음 특성에 관한 연구 " ,대한전기학회, 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 D 2003.7, pp. 2696~2698
130. 이정훈, 서종완, 이종주, 신명철, 성낙환, "전력선 통신을 위한 채널 특성 분석 " ,대한전기학회, 2000年度 大韓電氣學會 夏季學術大會 論文集 A 2000.7, pp. 558~560
131. 이재조, 이원태, 김관호, 김요희, "전력선 가입자망을 위한 배전선용 커플러 개발에 관한 연구" ,대한전기학회, 하계학술대회 논문집 2000.7.17-20 pp.
132. 천동완, 이진택, 박영진, 김관호, 신철재, "전력선 통신의 입력 임피던스 계산" ,한국통신학회논문지 04-9. Vol29 No9A.
133. 김병호, 이헌용, 김지균, 김유경, 최용호, "전력선 통신의 결합 캐피시터의 전기적 특성" ,대한전기학회, 하계학술대회 논문집 2002.7.10-12 pp.

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 미래철도개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 미래철도개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.