

# 고속철도 전차선 아크 측정시스템 개발 연구보고서

2014. 5.

주관연구기관 / 투아이시스(주)

국 토 교 통 부  
국토교통과학기술진흥원

고속철도 전차선 아크측정시스템 개발  
연구보고서(최종)

2014

국토교통과학기술진흥원  
국토교통부

고속철도 전차선 아크 측정시스템 개발 최종 연구보고서

12PRTD-C061753-01

# 고속철도 전차선 아크측정시스템 개발 연구보고서

2014. 5.

주관연구기관 / 투아이시스(주)

국 토 교 통 부  
국토교통과학기술진흥원



## 제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 “고속철도 전차선 아크 측정시스템 개발”의 최종년도 연구보고서로 제출합니다.

2014. 5.

주관연구기관명 : 투아이시스 (주)

주관연구책임자 : 박 종 국

- |                 |             |           |
|-----------------|-------------|-----------|
| ■ 주 관 연 구 책 임 자 | 수석연구원 박 종 국 | 투아이시스 (주) |
| ■ 주관연구기관 참여연구원  | 수석연구원 박 종 국 | 과제총괄      |
|                 | 수석연구원 양 일 동 | 시스템설계     |
|                 | 책임연구원 김 정 연 | 이선분석소프트웨어 |
|                 | 선임연구원 장 순 만 | 하드웨어개발    |
|                 | 선임연구원 오 민 수 | 하드웨어개발    |

## 보고서 요약서

|                                                                                                                          |                                |                                                          |                     |          |                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------|----------|------------------------------------------------------------|
| 과제고유번호                                                                                                                   | R&D /<br>12PRTD-C0<br>61753-01 | 해 당 단 계<br>연 구 기 간                                       | 2012.3 ~<br>2014.3  | 단 계 구 분  |                                                            |
| 연 구 사 업 명                                                                                                                | 건설교통기술촉진연구사업                   |                                                          |                     |          |                                                            |
| 연 구 과 제 명                                                                                                                | 고속철도 전차선 아크 측정시스템 개발           |                                                          |                     |          |                                                            |
| 연 구 책 임 자                                                                                                                | 박 종 국                          | 총연구기간<br>참 여<br>연구원 수                                    | 총 : 10명<br>내부 : 10명 | 총연구비     | 정부 :<br>450,000천원<br>기업 :<br>150,000천원<br>계 :<br>600,000천원 |
| 연구기관명 및<br>소 속 부 서 명                                                                                                     | 투아이시스 (주)                      |                                                          | 참여기업명               | 투아이시스(주) |                                                            |
| 요약                                                                                                                       |                                |                                                          |                     | 보고서면수    | 294<br>본문 188<br>/붙임 106                                   |
| 국제 표준(IEC62486)을 만족하는 광학식 이선 검출(NQ)과 전류식 이선 검출(CQ)을 겸하는, 최대 400km/h의 차량 속도에서도 측정 가능한 고속철도용 전차선 아크 측정 장치(센서 및 데이터처리부)의 개발 |                                |                                                          |                     |          |                                                            |
| 색 인 어<br>(각 5개 이상)                                                                                                       | 한 글                            | 고속 철도, 전차선, 아크, 태양광, 이선                                  |                     |          |                                                            |
|                                                                                                                          | 영 어                            | High-speed Train, Catenary, Arc, Solar-ray, Contact-loss |                     |          |                                                            |

# 요 약 문

## I. 제목

고속철도 전차선 아크 측정 시스템 개발

## II. 연구개발의 목표 및 필요성

### 1. 연구개발의 목표

국제 표준(IEC62486)을 만족하는 광학식 이선 검출(NQ)과 전류식 이선 검출(CQ)을 겸하는, 최대 400km/h의 차량 속도에서도 측정 가능한 고속철도용 전차선 아크 측정 장치(센서 및 데이터처리부)의 개발

### 2. 연구개발의 필요성

#### 가. 기술적 측면

해외에서도 개발이 진행 중인 기술 분야로서 기술개발 완료 시 선진 업체와 기술적으로 대등한 위치에 서게 될 것으로 예상하며 정부 및 산업계가 추진하고 있는 고속철도 산업의 해외 진출을 위한 핵심기술 개발에 기여할 것으로 기대된다.

아크와 전류 파형을 함께 진단하는 기술은 각 방식의 단점을 서로 보완하여 좀 더 종합적인 진단을 할 수 있는 기술이라 할 수 있으며 철도전력 외에 기타 전력 설비 진단 분야로도 확대 적용이 가능할 것이다.

#### 나. 경제·산업적 측면

국내 시장 규모는 2010년 외산 장비기준으로 1,000억 정도로 추산하면 향후 철도전철화 및 유지보수 자동화 수요로 지속적으로 성장하여 2015년에는 1,500억원에 이를 것으로 전망(해외시장의 5%추정)된다.

해외 시장은 2015년 3조원 규모에 이를 것으로 추정되며 향후 국산 고속철도 해외 수출과 맞물려 검측장비의 동반 수출이 예상되며 관련 매출도 비약적으로 증대할 것으로 예상된다.

### III. 연구개발의 내용 및 범위

- 이선 전류 파형 분석 알고리즘 개발
  - 전류 파형의 주파수 성분을 분석하여 소이선/대이선을 검출
  - 실차 취득 이선 전류 파형 및 시뮬레이션 파형으로 디지털 필터 설계 및 검증
- 국제표준을 만족하는 광학식 이선 검출기 제작
  - 광학필터, 광증배관, 신호처리 및 통신부 제작
  - 국제규격에 준한 표준광원 및 광학베드 제작
- 국제표준을 만족하는 전류식 이선 검출기 개발
  - 고압 이선 전류 파형 취득 장치 개발
  - 이선 전류 파형 분석 알고리즘을 탑재한 고속 데이터 취득 및 분석 장치 개발
- 실차 탑재 시험을 통한 광학식과 전류식 이선 검출 성능 결과 비교검증
  - NQ와 CQ간 상관 관계 도출

#### ■ 연차별 개발 목표 및 내용

| 연 차  | 연구목표                                                                         | 주요 연구내용                                                                                                                                                                         |
|------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 광학식 이선 검출기 제작 및 검증</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 광학식 이선 검출기 제작</li> <li>▪ 고속 데이터수집장치 시제품 개발</li> <li>▪ 기본 성능 검증 시스템 제작 및 성능 검증</li> </ul>                                               |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 이선 전류 파형 분석 알고리즘 개발 및 검증</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 소이선/대이선을 검출할 수 있는 전류 파형 분석 알고리즘을 개발하고 시뮬레이션 환경에서 이를 검증</li> </ul>                                                                      |
| 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 광학식 및 전류식 겸용 이선 측정장치 개발</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 모듈형 광학식 이선 검출기 제작</li> <li>▪ 고속 고압 전류 파형 측정 및 전송 장치 개발품</li> <li>▪ 전류 파형 및 이선 분석 장치 개발</li> <li>▪ 국내 형식승인을 통한 외산센서 대비 성능 검증</li> </ul> |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 광학식 과 전류식 비교 검증</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 고속차량에서의 실차 성능 비교 검증</li> <li>▪ NQ와 CQ방식의 상관 관계 도출</li> </ul>                                                                           |

※ CQ(전류식이선검출)기술관련 연구내용은 1차년도 중간(2012.10)에 개발범위에 추가됨.

#### IV. 연구 개발 결과

| 연차       | 연구<br>목표                                          | 연구 내용                               | 연구 결과                                                                                                                                                                     |
|----------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1차<br>년도 | 가.<br>광학<br>식 이선<br>검출기<br>제작 및<br>검증             | 1)외산 센서<br>벤치마킹 및 성능<br>검증          | 일본으로부터 도입된 외산센서의 성능을 분석하고 벤치마킹 하였으며 EN50317의 부합여부와 장단점을 파악하였다.                                                                                                            |
|          |                                                   | 2)외산 센서 대비<br>동등 이상의 개발<br>성능지표 도출  | 외산 센서의 성능과 EN50317의 표준 규격을 검토하여 동등 이상의 개발성능지표를 도출하였다.                                                                                                                     |
|          |                                                   | 3)아크 감지용 고속<br>광학센서 개발              | 아크로부터 발생하는 광과장 중에서 220-225nm의 파장을 선택적으로 검출하기 위한 광학필터와, 10 $\mu$ s의 고속응답 특성을 만족하는 광증배관(PMT)과, 특정과장에 반응하는 형광창(Fluorescent window), 광을 전송하기 위한 광섬유 등을 적용하여 광학센서를 설계 및 제작하였다. |
|          |                                                   | 4)태양광 제거를<br>위한 특수 광부품<br>개발        | 태양광에 포함된 220nm의 극미량 자외선을 제거하기 위한 특수 광부품을 설계하고, MEMS 기술을 적용하여 부품을 제작하고 직사광선 하에서 태양광 간섭 여부를 검증하였다. 태양광 간섭효과는 정상적인 아크 신호 대비 2% 이하로 만족하였다.                                    |
|          |                                                   | 5)고속 데이터수집<br>장치 개발                 | 1MHz의 A/D변환회로, TCP-IP 통신회로, DSP를 적용한 고속 마이크로컨트롤러와 펌웨어 등을 개발하였다.                                                                                                           |
|          |                                                   | 6)기본 성능 검증<br>시스템 제작 및<br>성능 검증     | 표준광원을 이용하며 국제표준을 만족하는 지 여부를 검증하고 관련된 기본성능을 확인하였다.                                                                                                                         |
|          | 나.<br>이선<br>전류<br>파형<br>분석<br>알고리<br>즘 개발<br>및 검증 | 1) 관련 기술 및 동<br>향 조사                | 국내는 주파수 성분으로 이선여부를 추정하는 사례가 있었으며 국외, 일본의 경우는 실제 이선을 측정에 적용하고 있으며 국제 규격화하였다.                                                                                               |
|          |                                                   | 2) 이선 전류파형<br>분석 알고리즘 개<br>발 및 검증   | 순시 전류 파형을 취득하여 주파수 성분에 따라 소이선과 중이선/대이선을 구분하고 영점 전류 구간의 시간을 누적하여 실시간으로 이선율을 계산하는 알고리즘을 개발하였다.                                                                              |
|          |                                                   | 3) 이선 전류파형<br>시뮬레이터 개발              | 소이선/중이선/대이선 종류별로 이선 발생율을 입력하면 이선 구간의 전류가 0이 되는 이선 전류파형을 모의 발생하도록 제작하였다.                                                                                                   |
|          |                                                   | 4) 전류식 이선 검<br>출기 프로토타입<br>(시작품) 제작 | 알고리즘 개발 및 검증이 용이하도록 PC기반으로 시작품을 제작하였다. 로코스키, 클램프 타입의 전류 미터 아날로그 인터페이스, 모니터링 영상 인터페이스, ARC-DAQ통신 인터페이스를 구비하였다.                                                             |
|          |                                                   | 5) 알고리즘 기본<br>성능 검증                 | 시뮬레이터를 이용하여 알고리즘 기본 성능을 검증하였다. 시뮬레이터에서 입력한 이선률과 전류식 이선 검출 장치에서 검출한 이선률을 서로 비교하였다.                                                                                         |

| 연차       | 연구<br>목표                                    | 연구 내용                           | 연구 결과                                                                                                                                                                              |
|----------|---------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2차<br>년도 | 가.<br>광학식 및<br>전류식<br>검출기<br>이선 측정<br>장치 개발 | 1) 모듈형 광학식 이선 검출기 개발품           | 최종 목표 성능을 모두 만족하는 개발품 제작을 완료함.<br>- 응답속도: 10us 미만<br>- 검출감도: $0.02\mu W/cm^2$ 미만<br>광학부와 DAQ부를 일체화하여 검출 성능을 개선하고 센서 크기도 크게 줄였으며 PoE지원 등으로 설치가 용이하여 실용성 및 활용도가 매우 높음.               |
|          |                                             | 2) 국내 전차선 아크 스펙트럼 분석            | 모의 이선 아크 측정장치를 이용하여 국내에서 사용중인 전차선-팬더그래프 재질별 스펙트럼 분석을 완료하고 220~225nm 대역이 전차선 아크를 검출하는 데 적절한 영역임을 확인하고 이를 아크센서 설계에 반영                                                                |
|          |                                             | 3) 전류식 이선 검출기 개발품               | 무선 전송 및 광전력공급을 지원하여 고압환경에도 설치가 용이한 설치 환경에 따라 클램프미터, 로고스키, CT등을 선택적으로 사용할 수 있도록 개발품 제작을 완료함.                                                                                        |
|          |                                             | 4) 종합 이선 분석 장치                  | 19"표준 랙에 광학식 및 전류식 이선 분석이 모두 가능한 개발품을 제작하고 모의시험 및 현차 시험 데이터에 대한 NQ, CQ이선율 분석을 완료함. UV-가시광 변환방식의 1차년도 광학식 이선 검출기도 같이 수용할 수 있도록 제작.                                                  |
|          |                                             | 5) 공인시험 및 외산 센서 대비 시험을 통한 성능 검증 | 반응속도 및 감도, 파장 특성을 더 정밀하게 측정할 수 있도록 테스트베드를 보완하고 개발품 성능 시험 및 외산제품 비교 시험을 수행하였으면 개발품은 목표 성능을 모두 만족하며 외산제품보다 우수한 성능을 보임을 확인함                                                           |
|          | 나.<br>광학식 과<br>전류식<br>비교 검증                 | 1) 고속 차량 현차 시험                  | HEMU-430X 및 KTX36호에서 현차 시험을 실시하였다. HEMU-430X현차 시험은 NQ센서 설치 위치의 제약 등 차량사정으로 만족할 만한 결과를 얻지 못하였다. KTX36호 현차 시험은 NQ시험 결과는 만족스러운 결과를 얻었으나 CQ센서는 상용운전 차량으로 설치 위치에 제약이 있어 제한적인 시험 결과를 얻었음 |
|          |                                             | 2) NQ 및 CQ상관 관계 도출              | KTX36호 시험 데이터 및 모의 아크 발생 장치 시험데이터를 토대로 분석한 결과 NQ와 CQ간 뚜렷한 상관도를 찾지는 못하였으나 전류파형 분석결과 CQ가 NQ상보적인 이선 검출수단으로 활용될 수 있음을 확인하였다.                                                           |

## V. 연구개발 결과의 활용 계획

- (성과물활용) 광학식 및 전류식 이선 검출 기술과 이를 검증할 수 있는 테스트베드 및 시뮬레이터는 타 유사 제품 및 기술 개발에도 폭 넓게 활용할 수 있을 것이다.
- (검측장비사업화) 본 과제를 통해 제품 개발이 완료되면 바로 사업화를 할 계획이며 아래와 같은 전차선로 검측 분야에 적용할 계획이다.
  - 고속철도 집전 품질 검증용 이선 검출 시스템
  - 고속철도/도시철도 유지보수용 이선 검출 시스템
  - 철도 전차선 분야 종합 검측 솔루션 구축차량에 설치하는 방식뿐만 아니라 지상에 설치하는 방식의 진단 시스템도 수요가 있을 것으로 기대된다.
- (응용분야확대) 아크와 전류 파형을 함께 진단하는 기술은 각 방식의 단점을 서로 보완하여 좀 더 종합적인 진단을 할 수 있는 기술이라 할 수 있으며 철도전력 외에 기타 전력 설비 진단 분야로도 확대 적용할 계획이다.
- (타 시스템 연계) 광학식 이선 검출기와 전류식 이선 검출기 모두 네트워크로 쉽게 연결할 수 있도록 제작되어 있으며 단순하면서도 타 시스템과 통합 및 확장이 용이하도록 프로토콜을 설계하였다. 전차선로 검측 분야 장비간의 연계뿐만 아니라 타 분야의 장비와도 용이하게 연계되어 그 활용 범위를 넓힐 것으로 기대된다.

## <차 례>

|                                 |               |
|---------------------------------|---------------|
| <b>제1장 연구개발 과제의 개요</b>          | <b>1</b>      |
| 제1절 연구개발 기술 개요 및 필요성            | 1             |
| 1. 연구개발 기술 개요                   | 1             |
| 2. 연구개발의 필요성                    | 2             |
| 제2절 연구개발 내용 및 범위                | 4             |
| 1. 연구개발 목표                      | 4             |
| 2. 연구개발 내용 및 범위                 | 4             |
| 제3절 연구 개발 추진 체계 및 전략            | 5             |
| 1. 연구개발 추진 체계                   | 5             |
| 2. 연구개발 추진전략 및 방법               | 6             |
| <br><b>제2장 아크 검측기술 동향</b>       | <br><b>8</b>  |
| 제1절 이선 현상                       | 8             |
| 제2절 국제규격 동향                     | 10            |
| 1. EN50317 이선 유럽규격              | 10            |
| 2. IEC62486 국제규격 동향             | 12            |
| 제3절 국내외 이선아크 측정연구 사례            | 13            |
| 1. 국내 측정 사례                     | 13            |
| 2. 국외 측정 사례                     | 18            |
| 제4절 해외 시스템 사례                   | 24            |
| 제5절 시사점                         | 25            |
| <br><b>제3장 연구 개발 수행 내용 및 결과</b> | <br><b>26</b> |
| 제1절 광학식 이선 검출기 제작 및 검증          | 26            |
| 1. 외산 센서 벤치마킹 및 성능 검증           | 27            |
| 2. 외산 센서 대비 동등 이상의 개발 성능 지표 도출  | 29            |
| 3. 아크 감지용 고속 광학센서 개발            | 32            |
| 4. 태양광 제거를 위한 특수 광부품 개발         | 37            |
| 5. 고속 데이터 수집 장치 개발              | 42            |
| 6. 기본 성능 검증 시스템 제작              | 47            |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| 7. 아크 센서 기본 성능 검증 .....                  | 53         |
| 8. 광학식 이선 검출기 시제품 제작 사양 .....            | 55         |
| 제2절 이선 전류 파형 분석 알고리즘 개발 및 검증 .....       | 56         |
| 1. 이선 전류파형 분석 알고리즘 개발 .....              | 56         |
| 2. 이선 전류 파형 시뮬레이터 개발 .....               | 66         |
| 3. 전류식 이선 검출기 시제품(프로토타입) 개발 .....        | 69         |
| 4. 이선 전류 분석 알고리즘 기본 성능 검증 .....          | 76         |
| 제3절 전차선-팬터그래프간 이선에 따른 스펙트럼 분석 .....      | 79         |
| 1. 이선 모의 아크측정장치 .....                    | 79         |
| 2. 도시철도 재질별 과장대역 분석 및 평가 .....           | 83         |
| 3. 고속철도 및 일반철도 재질별 과장대역 분석 및 평가 .....    | 88         |
| 4. 각도 및 거리에 따른 과장대역 분석 및 평가 .....        | 90         |
| 5. 결 론 .....                             | 93         |
| 제4절 광학식 및 전류식 겸용 이선 측정 장치 개발 .....       | 95         |
| 1. 국내외 관련분야의 환경변화 .....                  | 95         |
| 2. 모듈형 광학식 이선 검출기 제작 .....               | 100        |
| 3. 외산센서 대비 성능 검증 .....                   | 104        |
| 4. 전류 파형 및 이선 분석 장치 개발 .....             | 108        |
| 5. 고속 고압 전류 파형 측정 및 전송 장치 개발품 제작 .....   | 111        |
| 제5절 실차 시험 및 광학식과 전류식 비교 검증 .....         | 113        |
| 1. 고속차량에서의 실차 성능 검증 .....                | 113        |
| 2. 모의 아크 발생 장치 시험 .....                  | 122        |
| 3. NQ와 CQ방식의 상관 관계 도출 .....              | 126        |
| 참고 문헌 .....                              | 128        |
| <br><b>제4장 목표 달성도 및 관련 분야의 기여도 .....</b> | <b>130</b> |
| 제1절 연구 목표의 달성도 .....                     | 130        |
| 1. 연구개발 수행 진도율 .....                     | 130        |
| 2. 연구개발 목표의 달성도 .....                    | 132        |
| 3. 정량적 성과지표 달성도 .....                    | 133        |
| 제2절 연구 수행에 따른 문제점 및 개선사항 .....           | 134        |
| <br><b>제5장 연구개발 결과의 활용 계획 .....</b>      | <b>135</b> |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 제1절 연구 개발 성과 .....          | 135 |
| 제2절 연구결과의 활용방안 및 기대효과 ..... | 136 |
| 1. 활용 방안 .....              | 136 |
| 2. 기대 효과 .....              | 137 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 별첨1. 자체평가 의견서 .....             | 139 |
| 별첨2. 성과점검기준표 및 보완대비표 .....      | 142 |
| 별첨3. 시제품 사양 및 시험성적서 .....       | 145 |
| 별첨4. 특허 증빙 (3건) .....           | 169 |
| 별첨5. S/W등록 증빙 (2건) .....        | 248 |
| 별첨6. 논문 증빙 (게제 1건, 발표 2건) ..... | 250 |
| 별첨7. 공인인증 시험 .....              | 260 |
| 별첨8. KTX 현차 시험 데이터 .....        | 266 |

## 〈표 차례〉

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 표 1 연차별 연구 목표 및 내용 .....           | 4   |
| 표 2 EN50317 요구사항 .....             | 6   |
| 표 3 POF를 이용한 이선 아크 검측장치 구성요소 ..... | 19  |
| 표 4 SOF를 이용한 이선 아크 검측장치 구성요소 ..... | 20  |
| 표 5 이선 아크 검측장치의 비교 .....           | 21  |
| 표 6 아크 빛 분광분석을 위한 재료 .....         | 23  |
| 표 7 외산 Y사 센서 사양 .....              | 27  |
| 표 8 아크센서 개발 성능 지표 .....            | 29  |
| 표 9 EN50317 NQ이선율 계산식 .....        | 29  |
| 표 10 자외선 반사경의 특성 .....             | 37  |
| 표 11 자외선 형광창의 특성 .....             | 38  |
| 표 12 태양광 투과 필터의 사양 .....           | 39  |
| 표 13 UV광원 사양 .....                 | 49  |
| 표 14 UV렌즈 사양 .....                 | 50  |
| 표 15 조리개 사양 .....                  | 50  |
| 표 16 초파 사양 .....                   | 51  |
| 표 17 배경신호, 직사광신호 및 램프신호의 비교 .....  | 53  |
| 표 18 아크 검출시스템의 개발결과물의 성능 요약 .....  | 55  |
| 표 19 파형 발생기 사양 .....               | 67  |
| 표 20 전류측정 장치 사양 .....              | 71  |
| 표 21 아크 모니터링 카메라 사양 .....          | 71  |
| 표 22 아날로그 입력 장치 사양 .....           | 71  |
| 표 23 프레임 그래버 사양 .....              | 72  |
| 표 24 이선 전류 파형 분석 장치 사양 .....       | 72  |
| 표 25 이선률 분석 .....                  | 77  |
| 표 26 사용된 시험편 .....                 | 80  |
| 표 27 이선 아크 검측 시험 결과값 (각도변화) .....  | 91  |
| 표 28 이선 아크 검측 시험 결과값 (거리변화) .....  | 92  |
| 표 29 접촉력, 아크, 전류식 비교 .....         | 97  |
| 표 30 아크 검출시스템의 개발결과물의 성능 요약 .....  | 102 |
| 표 31 아크 광원 사양 .....                | 104 |
| 표 32 초파용 고속 모터 사양 .....            | 105 |
| 표 33 초파용 차폐 제작 슬릿 사양 .....         | 105 |
| 표 34 스펙트럼 분석기 사양 .....             | 105 |
| 표 35 외산 센서 성능 비교 결과 표 .....        | 107 |
| 표 36 고속 데이터 수집 장치 사양 .....         | 109 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 표 37 종합 이선 분석 서버 사양 .....           | 110 |
| 표 38 UPS사양 .....                    | 110 |
| 표 39 전류식 이선 검출 장치 주요 사양 .....       | 112 |
| 표 40 전류식 이선 검출 장치 MCU사양 .....       | 112 |
| 표 41 광전력 전송 모듈 사양 .....             | 112 |
| 표 42 KTX36호 시운전 NQ이선율 분석 결과 .....   | 116 |
| 표 43 속도별 이선율 평가 기준 표(EN50317) ..... | 117 |
| 표 44 아크 발생시 전압 전류 파형 .....          | 118 |
| 표 45 KTX36호 시운전 CQ이선율 분석 결과 .....   | 120 |
| 표 46 아크 발생시 전압전류 파형 .....           | 124 |
| 표 47 모의 아크 발생 장치 이선율 분석 결과 .....    | 125 |

## 〈그림 차례〉

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| 그림 1 연구개발 내용 및 범위 (2012.10 CQ범위 추가) .....           | 4  |
| 그림 2 연구개발 추진 체계 .....                               | 5  |
| 그림 3 전차선과 팬터그래프 사이의 이선헌상 .....                      | 8  |
| 그림 4 이선헌상에 따른 아크발생 .....                            | 9  |
| 그림 5 사구간 통과시의 아크현상 일례 .....                         | 9  |
| 그림 6 아크 검측장치 위치 .....                               | 11 |
| 그림 7 IEC62486 규격 (NQ 0.2% ≍ CQ 30%) .....           | 12 |
| 그림 8 전차선 전류의 주파수 분석 (위에서부터 (a), (b), (c)) .....     | 14 |
| 그림 9 열차 전압, 전류, 속도 프로파일 .....                       | 14 |
| 그림 10 측정 데이터 테이블 .....                              | 15 |
| 그림 11 대이선 발생시 이선 시작과 종료 시점 .....                    | 15 |
| 그림 12 아크 측정 시스템의 구성 .....                           | 17 |
| 그림 13 아크 측정 시스템의 제작 구성도 .....                       | 17 |
| 그림 14 아크 검측장치 구성의 일례 .....                          | 18 |
| 그림 15 수광부 구성 방법 .....                               | 18 |
| 그림 16 POF를 이용한 이선 아크 검측장치 구성 .....                  | 19 |
| 그림 17 SOF를 이용한 이선 아크 검측장치 구성 .....                  | 20 |
| 그림 18 UVSM을 이용한 이선 아크 검측장치 구성 .....                 | 20 |
| 그림 19 UTVA를 이용한 이선 아크 검측장치 구성 .....                 | 21 |
| 그림 20 아크 빛 분광 분석의 도식 개요 설정 .....                    | 23 |
| 그림 21 아크 빛의 스펙트럼 .....                              | 23 |
| 그림 22 해외 광학식 및 전류식 검용 이선 측정 시스템 구성도 (JR, 일본) .....  | 24 |
| 그림 23 JR 이선테이터 처리 장치 .....                          | 24 |
| 그림 24 이선테이터 처리용 컴퓨터 화면 .....                        | 25 |
| 그림 25 아크센서 구조 및 신호검출 흐름도 .....                      | 26 |
| 그림 26 외산 Y사 아크 센서 사진 .....                          | 27 |
| 그림 27 검측 차탑 및 차상에 수광부와 검출부가 설치된 모습 .....            | 28 |
| 그림 28 아크 검출기의 설치 위치 (EN50317) .....                 | 31 |
| 그림 29 해외 연구에서의 아크 검출기의 광학부 구성도 .....                | 32 |
| 그림 30 본 연구의 아크 검출기의 광학부 구성도 .....                   | 33 |
| 그림 31 아크 검출기 광학부 구조 .....                           | 35 |
| 그림 32 해외선행연구에서 사용한 UV bandpass filter의 투과율 특성 ..... | 36 |
| 그림 33 연구에서 사용한 UV bandpass filter의 투과율 특성 .....     | 36 |
| 그림 34 특수 자외선 반사경의 구조 .....                          | 37 |
| 그림 35 자외선 형광창의 형광 사진 .....                          | 38 |
| 그림 36 태양광 투과 필터의 특성 .....                           | 39 |

|       |                                           |    |
|-------|-------------------------------------------|----|
| 그림 37 | 광섬유 케이블의 도면                               | 40 |
| 그림 38 | 광증배관의 원관                                  | 41 |
| 그림 39 | 광증배관의 사양                                  | 41 |
| 그림 40 | 고속 마이크로 컨트롤러 외관                           | 42 |
| 그림 41 | 고속 마이크로 컨트롤러 CPU사양                        | 43 |
| 그림 42 | 송수신 시퀀스                                   | 46 |
| 그림 43 | 아크 센서 성능 검증 시스템의 외관                       | 47 |
| 그림 44 | 아크 센서 성능 검증 시스템의 광학계 구성                   | 47 |
| 그림 45 | UV광원 기구 도면                                | 48 |
| 그림 46 | UV광원의 스펙트럼 특성                             | 48 |
| 그림 47 | UV렌즈 파장 특성                                | 49 |
| 그림 48 | 조리개 사진                                    | 50 |
| 그림 49 | 초퍼 사진                                     | 51 |
| 그림 50 | ILT1400/SEL240 사양 및 특성                    | 52 |
| 그림 51 | 화각(View angle) 시험 결과                      | 53 |
| 그림 52 | 응답성 시험 결과 ( $\Delta t = 93.8\mu s$ )      | 54 |
| 그림 53 | 전류식 이선 측정 개요 (출처:KRRI)                    | 56 |
| 그림 54 | 전류식 이선 측정 개요도 (출처:RTRI)                   | 57 |
| 그림 55 | 이선 전류 파형 분석 개요도                           | 57 |
| 그림 56 | Notch-off Operation                       | 58 |
| 그림 57 | 이선 전류 파형 분석 알고리즘 흐름도                      | 58 |
| 그림 58 | 버터워스 저역필터 특성                              | 62 |
| 그림 59 | 필터 타입별 특성 비교 (n=5차)                       | 62 |
| 그림 60 | 1차원 버터워스 필터의 보데플롯                         | 63 |
| 그림 61 | 이선 신호 생성                                  | 66 |
| 그림 62 | 시뮬레이션 루프                                  | 66 |
| 그림 63 | 이선 전류 파형 시뮬레이터 구성 및 사진                    | 67 |
| 그림 64 | 이선 전류 파형 시뮬레이터 메인 화면                      | 68 |
| 그림 65 | 이선 분석 장치 구성도                              | 69 |
| 그림 66 | 이선 전류 분석 장치 시작품 사진 및 분석 S/W화면             | 69 |
| 그림 67 | 이선 전류 파형 분석 S/W 메인 화면                     | 73 |
| 그림 68 | 이선 전류 파형 분석 화면                            | 74 |
| 그림 69 | 시뮬레이션 파형 분석 화면                            | 76 |
| 그림 70 | 시뮬레이터 화면                                  | 76 |
| 그림 71 | 대이선 검출 신호(위 그래프) 및 최종 이선 검출 신호 비교(아래 그래프) | 78 |
| 그림 72 | 이선 아크 검측장치 구성                             | 79 |
| 그림 73 | 이선 아크 검측장치 집전 시스템 시험편                     | 80 |
| 그림 74 | 이선 아크 검측장치 모의시험                           | 81 |
| 그림 75 | 이선 아크 검측 시험 결과 파형                         | 81 |

|        |                                           |     |
|--------|-------------------------------------------|-----|
| 그림 76  | 햇빛에 대한 방사조도 측정 .....                      | 82  |
| 그림 77  | 강체가선(T bar) - VVVF 전동차 팬터그래프 실험 파형 .....  | 83  |
| 그림 78  | 강체가선(T bar) - VVVF 전동차 팬터그래프 실험 .....     | 84  |
| 그림 79  | 강체가선(T bar) - 누리로 팬터그래프 실험 파형 .....       | 84  |
| 그림 80  | 강체가선(T bar) - 누리로 전동차 팬터그래프 실험 .....      | 85  |
| 그림 81  | 가공전차선 - VVVF 전동차 팬터그래프 실험 파형 .....        | 85  |
| 그림 82  | 가공전차선 - VVVF 전동차 팬터그래프 실험 .....           | 86  |
| 그림 83  | 가공전차선 - 누리로 팬터그래프 실험 파형 .....             | 86  |
| 그림 84  | 가공전차선 - 누리로 팬터그래프 실험 .....                | 87  |
| 그림 85  | 가공전차선 - KTX1 팬터그래프 실험 파형 .....            | 88  |
| 그림 86  | 가공전차선 - 고속철도차량(KTX1) 팬터그래프 실험 .....       | 88  |
| 그림 87  | 가공전차선 - 전기기관차(8200호대) 팬터그래프 실험 파형 .....   | 89  |
| 그림 88  | 가공전차선 - 전기기관차(8200호대) 팬터그래프 실험사진 .....    | 89  |
| 그림 89  | 이선 아크 검측 시험 결과 파형(각도변화) .....             | 90  |
| 그림 90  | 이선 아크 검측 시험 결과 파형(4[cm] 거리) .....         | 92  |
| 그림 91  | 이선 아크 검측 시험 결과 파형(8[cm] 거리) .....         | 92  |
| 그림 92  | 아크에 의한 파장 - 강체가선 .....                    | 93  |
| 그림 93  | 아크에 의한 파장 - 가공전차선 .....                   | 94  |
| 그림 94  | 아크에 의한 파장 - 강체가선 및 가공전차선 .....            | 94  |
| 그림 95  | 팬터그래프 전차선간 이선아크 검측센서 요구사항 .....           | 96  |
| 그림 96  | 이선아크 검측 순서도 .....                         | 96  |
| 그림 97  | 이선 아크 발생 시 팬터그래프-전차선 간 전류 파형 예 .....      | 98  |
| 그림 98  | C-R식 이선 검출 방법 (출처:RTRI) .....             | 99  |
| 그림 99  | 2차년도 개발품 개선 사항 .....                      | 100 |
| 그림 100 | 모듈형 광학식 이선 검출기 구조 .....                   | 100 |
| 그림 101 | 광학식 이선 검출기 개발품 사진 .....                   | 101 |
| 그림 102 | 광학식 이선 검출기 기구 도면 .....                    | 101 |
| 그림 103 | PMT 응답 특성 .....                           | 102 |
| 그림 104 | 모듈형 DAQ 블록도 .....                         | 103 |
| 그림 105 | 아크 발생 지점 영상 분석 개요 .....                   | 103 |
| 그림 106 | 테스트베드 구성 .....                            | 104 |
| 그림 107 | 외산센서 비교 시험 사진 .....                       | 106 |
| 그림 108 | 아크신호 및 이선전류파형 종합 분석 개요도 .....             | 108 |
| 그림 109 | 종합이선 분석 장치 사진 .....                       | 109 |
| 그림 110 | 고압 전류 측정 및 전송장치 구성 .....                  | 111 |
| 그림 111 | 전류식 이선 검출기 개발품 사진 (Wifi모듈 및 안테나 장착) ..... | 111 |
| 그림 112 | 아크센서 HEMU 차량 설치 사진 .....                  | 113 |
| 그림 113 | 아크센서 ktx36호 설치 사진 .....                   | 113 |
| 그림 114 | ktx36호에 시설치한 전차선 이선 측정 장치 사진 .....        | 114 |

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| 그림 115 팬터전류, 인통선 전류, 주변압기 전류 측정점 예 .....         | 114 |
| 그림 116 이선율 분석 화면(대전-오송 간) .....                  | 115 |
| 그림 117 이선율 분석 화면(울산-신경주 간) .....                 | 115 |
| 그림 118 이선율 분석 화면(동대구-대전 간) .....                 | 116 |
| 그림 119. KTX 속도 증속시(250km/h->270km/h) 전류파형 .....  | 117 |
| 그림 120. KTX 속도 감속시(300km/h->280km/h) 전류 파형 ..... | 117 |
| 그림 121 CQ이선율 분석화면 (대전-오송간) .....                 | 119 |
| 그림 122 CQ이선율 분석 화면(울산-신경주 간) .....               | 119 |
| 그림 123 CQ이선율 분석화면 (동대구-대전간) .....                | 119 |
| 그림 124 이선 검출 구간 파형 샘플 .....                      | 121 |
| 그림 125 모의 아크 발생 시험 구성도 .....                     | 122 |
| 그림 126 모의 아크 발생 시험 사진 .....                      | 123 |
| 그림 127 S/W 측정 화면 .....                           | 123 |
| 그림 128 이선율 분석화면(모의 아크 발생 장치) .....               | 125 |
| 그림 129 NQ(접촉력)와 CQ상관관계 도출 사례(출처:RTRI) .....      | 126 |
| 그림 130 모의 아크 발생 시험 NQ, CQ 이선율 비교 .....           | 126 |

# 제1장 연구개발 과제의 개요

## 제1절 연구개발 기술 개요 및 필요성

### 1. 연구개발 기술 개요

철도운송은, 20세기 초 이후 개인교통 수단(자동차)의 급속한 보급, 항공교통의 발달로 인해 상대적으로 쇠퇴하였으나, 20세기 중반 이후 중흥기가 도래하고 있다. 철도의 기본 특성인 대량수송성, 정시성, 저공해성과 함께 최근 고속전철이나 경전철에서 추구하고 있는 쾌적성까지 합쳐, 21세기 육상교통 및 육상교통산업의 주력으로 계속 성장할 전망이다.

미래에는 서울에서 신의주까지의 경의선이 개통될 것으로 예상되며, 이는 북경과 파리, 런던을 잇는 대륙간 이동 수단이 될 것이다. 이러한 철도 운송 수단을 통하여 각 도시와 각 나라의 문화, 기술, 인적요소 등이 전파되고 활발한 교류가 이루어질 것이다. 따라서 철도 운송 수단은 국가에 있어서는 그 나라의 얼굴이 될 것이며 이를 통하여 각국의 이미지를 전파시키는 시대가 도래할 것이다. 철도산업이 국가의 기간 산업이며 국가 간의 이미지를 선양하는 중요한 수단이 될 것이므로 철도 운송의 화재에 대한 안전성능의 개발 또한 매우 중요한 의미를 갖는다.

최근 전세계적인 철도산업의 흐름은 고속철도의 발전에 초점이 맞추어져 있다. 국내에서도 고속철도 분야에서는 재정적으로 부가가치를 내고 있으나 기존의 철도 산업에서는 그렇지 못하다. 가까운 중국 뿐만 아니라, 최근 언론에 알려진 남미에서의 고속철도 사업 수주 소식은 이 분야가 신성장동력 산업임을 입증하고 있다. 이러한 고속철도 사업을 위해서는 고밀도 운전 신호기술, 자기 진단 및 고장 예방 기술, 무인화기술 등의 개발에 주력하여야 한다. 국내에서도 최근 우리나라 고속철도 사업에 적용된 해외 첨단 기술을 국산화하는 데 많은 노력을 기울이고 있다.

고속철도 기술에서 차량의 주행속도는 더욱 증가하고 있으며, 국내에서는 시속 400km(HEMU-400X)로 주행하는 새로운 고속철도 기술을 개발 중에 있다. 이러한 고속철도 기술에서, 차량에 전력을 공급하는 전력선(전차선)과 차량(팬타그래프) 사이의 원활한 접속(전력공급)은 매우 중요한 부분이나, 관련된 국내 기반기술의 부

족으로 어려움을 겪고 있다. HEMU-400X의 시운전 중에 발생한 전력선 단선은, 전력선과 팬타그래프 사이에서 발생한 아크에 의한 것이었다. 이러한 아크 발생은 전력선과 팬타그래프 사이의 동적 관계, 팬타그래프의 품질 이상 및 노후, 전력선의 가설 이상 및 노후 등 다양한 원인이 있을 수 있으나, 이에 대한 원인을 밝히고 해법을 찾는 데 첫 번째 단추는 아크의 정확한 측정기술이라 할 수 있다. 고속·고정밀 아크 측정기술은 고속철도 차량의 주행속도가 증가할수록, 차량과 관련 기술의 개발에 매우 중요한 기술로서 주목받고 있다.

아크의 측정기술과 관련해서는, 국제표준(BS EN 50317:2002)이 정립된지 얼마되지 않았으며, 국내에서는 관련기술의 개발이 상업화로 이어지지 않고 있으며 또한 표준화 방안과 철도안전기준 등이 확립되지 않았다. 또한 해외에서도 추가적인 기술개발이 2000년대 들어와서 활발하게 진행되고 있으며, 완벽하게 기술개발이 완료된 분야라기보다는 개발이 진행 중인 기술 분야로 사료된다.

## 2. 연구개발의 필요성

고속철도에서 전력선과 팬타그래프 사이의 이선에 의해서 발생하는 아크는 매우 큰 에너지를 방전함으로써, 순간적으로 전력선과 팬타그래프에 큰 손상을 발생시킨다. 또한 동일한 위치에서 반복적으로 아크가 발생할 경우에는 아크의 강도가 더욱 커지며 결국에는 전력선의 단선으로 이어지고 대형 사고를 유발시킬 수 있다.

따라서 전력선 및 팬타그래프의 이상에 의해서 아크가 발생하면 초기에 이를 감지하고 신속한 점검 및 보수를 통해서 대형 사고를 예방하여야 한다.

특히 최근에 개발하는 고속철도는 주행 속도를 더욱 증가시키고 있으며, 통상적으로 철도차량의 주행속도가 증가하면 아크의 발생 빈도 및 강도가 더욱 높아진다. 최근 국내의 R사가 시속 400km의 고속철도 차량을 개발하다가 아크에 의해서 전력선이 단선된 사례로부터 잘 알 수가 있다.

국내에서는 고속철도 차량에서 발생하는 아크의 측정기술이 개발되어 있지 않으며, 해외에서도 최근에 국제표준(BS EN 50317)이 제정되었다. 국제적으로는 유럽의

M사가 상업화하여 전세계에 처음 공급하였으며, 최근에는 일본에서도 이 기술의 개발이 개발되었다고 한다. 그러나, 유럽의 M사가 2000년대 초반에 우리나라에 보급한 아크감지시스템은 기술적으로 여러 가지 문제점이 있는 것으로 평가되었다.

유럽 M사의 아크측정시스템은 국내 공급가격이 100만유로 정도로 매우 고가이다. 단지 시스템의 일부분인 아크검출기만 15만유로 정도의 가격에 공급되고 있다. 국내에서는 고속철도 사업을 해외 기술을 이전받아 도입한 이후, 최근 KTX (산천호)부터는 국산화율을 높이고 있으며, 특히 핵심기술의 국산화에 큰 노력을 기울이고 있다. 그러나 고속철도차량에서 발생하는 아크 측정기술은 국산화하지 못하였다. 특히 주야간을 구분하지 않고 고속철도 차량을 운행할 때 항상 아크를 감지하고 기록하여야 하나, 이 또한 현재 시행되지 못하고 있으며, 철도안전기준에 적용하지 못하고 있다.

KTX를 해외로부터 도입한 이 후부터 핵심기술의 국산화에 박차를 가하고 있으나, 아직 상당수의 핵심기술이 해외에 의존하고 있다. 이는 국내 고속철도 산업의 발전과 해외 진출에 걸림돌이 될 수 있다. 따라서 고속철도의 핵심기술 국산화 연구개발에 대한 과감한 지원이 시급히 요구되고 있다.

## 제2절 연구개발 내용 및 범위

### 1. 연구개발 목표

본 연구에서는, 국제 표준(IEC62486)을 만족하는 광학식 이선 검출(NQ)과 전류식 이선 검출(CQ)을 겸하는, 최대 400km/h의 차량 속도에서도 측정 가능한 고속철도용 전차선 아크 측정 장치(센서 및 데이터처리부)의 개발을 최종목표로 한다.

### 2. 연구개발 내용 및 범위

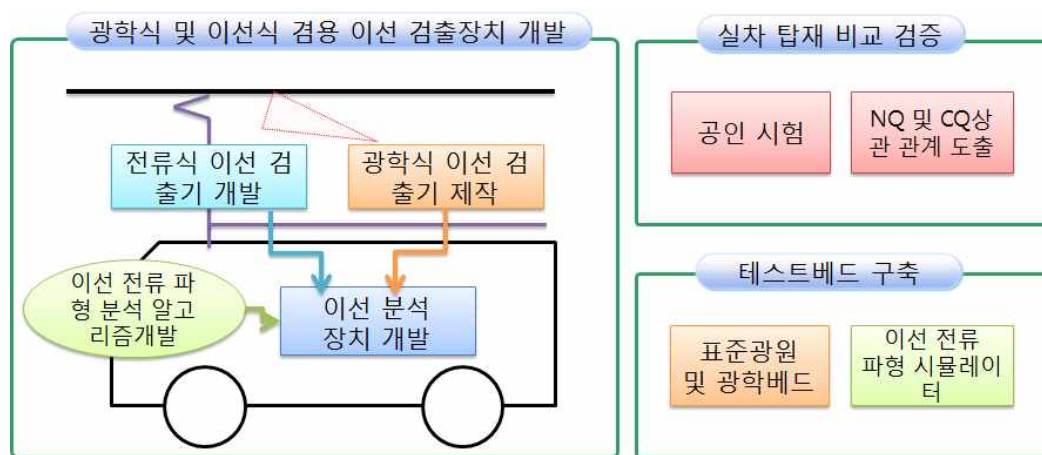


그림 1 연구개발 내용 및 범위 (2012.10 CQ범위 추가)

| 연 차  | 연구목표                                                                       | 주요 연구내용                                                                                                                                                                 |
|------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>광학식 이선 검출기 제작 및 검증</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>광학식 이선 검출기 제작</li> <li>고속 데이터수집장치 시제품 개발</li> <li>기본 성능 검증 시스템 제작 및 성능 검증</li> </ul>                                             |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>이선 전류 파형 분석 알고리즘 개발 및 검증</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>소이선/대이선을 검출할 수 있는 전류 파형 분석 알고리즘을 개발하고 시뮬레이션 환경에서 이를 검증</li> </ul>                                                                |
| 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>광학식 및 전류식 겸용 이선 측정장치 개발</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>모듈형 광학식 이선 검출기 제작</li> <li>고속 고압 전류 파형 측정 및 전송 장치 개발품</li> <li>전류 파형 및 이선 분석 장치 개발</li> <li>국내 형식승인을 통한 외산센서 대비 성능 검증</li> </ul> |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>광학식 과 전류식 비교 검증</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>고속차량에서의 실차 성능 비교 검증</li> <li>NQ와 CQ방식의 상관 관계 도출</li> </ul>                                                                       |

표 1 연차별 연구 목표 및 내용

### 제3절 연구개발 추진 체계 및 전략

#### 1. 연구개발 추진 체계

1차년도 원천기술의 개발을 위한 시제품 제작에 착수하여, 설계, 조립 및 성능 검증을 하였고, 2차년도에는 실차 설치 및 시험을 진행하여 성능을 검증하고 미흡한 부분의 개선 연구를 수행하여 과제를 완료하고, 완료와 동시에 실용화할 수 있도록 준비하였다.

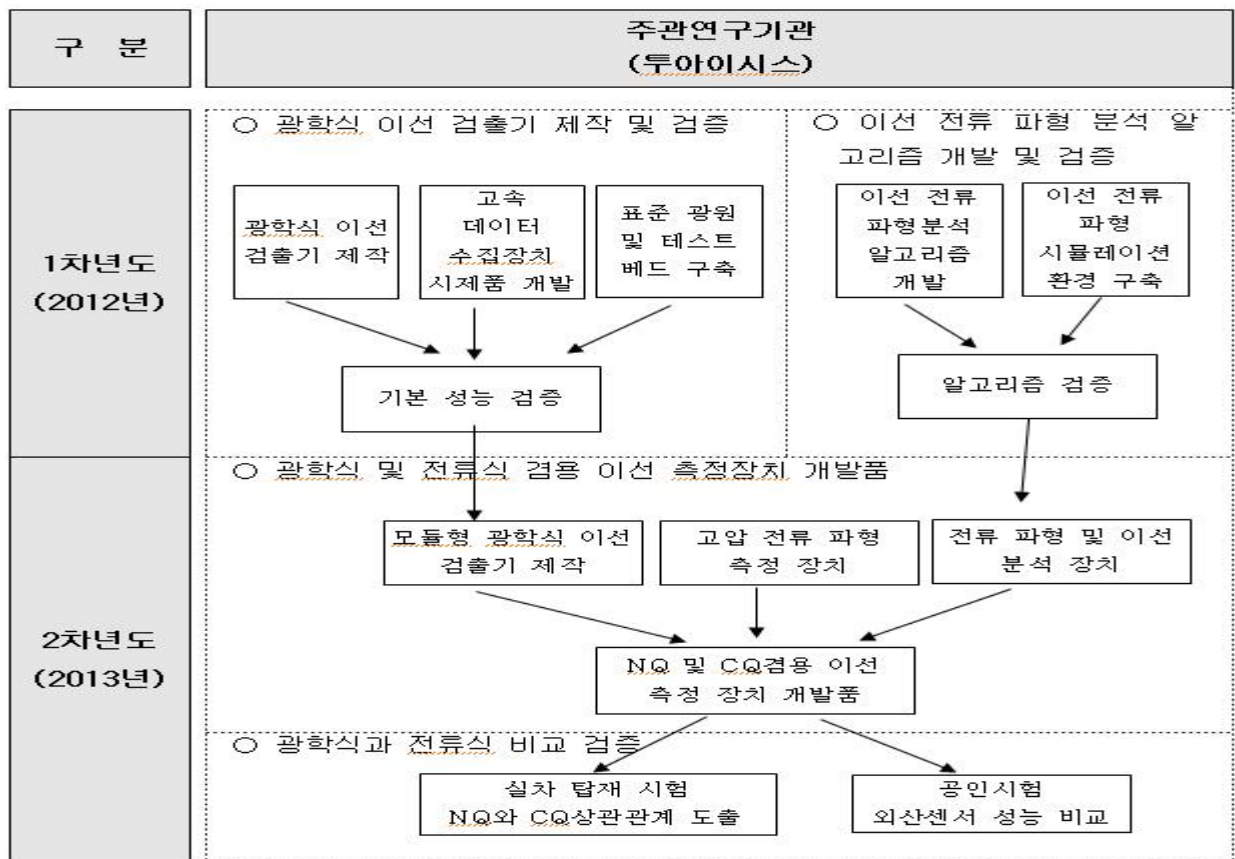


그림 2 연구개발 추진 체계

## 2. 연구개발 추진전략 및 방법

### 가. 광학식 이선 검출기 개발 및 검증

○ (개발성능지표도출) 이선측정용 아크 센서는 고가 검측 장비로 외산 장비로 다수 도입되어 운용되고 있으나 구체적인 사양을 파악하기 어려우므로 1차로 EN규격에 준한 성능치를 개발 목표치로 선정한다. EN규격을 만족하는 것도 기술적으로 쉬운 것이 아니며 유럽에서도 규격을 만족하는 제품이 거의 없는 실정이다. EN 규격에서는 측정 파장, 응답시간, 감도차, 태양광 반응여부에 대한 요구사항을 규정하고 있다.

| 항목      | EN50317요구사항                |
|---------|----------------------------|
| 파장      | 220nm-225nm 또는 323nm-329nm |
| 감도차     | 10% (판토그래프 동작 범위내)         |
| 반응속도    | 100us (최소반응속도)             |
| 태양광반응여부 | 330nm 이상 반응하지 않음           |

표 2 EN50317 요구사항

○ (주요광학부품개발)전차선 아크는 주로 220nm 대역의 자외선이 발생하는 스펙트럼 특성과 태양광에는 330nm미만의 파장이 거의 존재하지 않는 특성을 이용하여 태양광에는 반응 하지 않으며 전차선 아크만을 검출하기 위해서는 220nm-225nm대역의 BPF와 330nm이상을 cut하는 LPF를 사용해야 하며 파장대가 일반적으로 사용되는 영역이 아니고 일반 상용품은 최적의 사양의 것이 없어 달성할 수 있는 성능에 한계가 있으므로 주요 광학 부품은 개발 사양에 맞도록 직접 주문 제작한다. 아크 검출 감도를 높이기 위해 광증배관을 이용해 신호를 고증폭하며 광증배관은 동작 파장대가 가시광 영역이고 또한 플라스틱 광케이블이 자외선 파장대에서 감쇠가 심해 전달 거리가 짧은 단점을 극복하기 위해 자외선을 가시광으로 변환하는 형광창을 직접 제작한다.

○ (성능평가)EN규격에 준한 시험을 할 수 있는 아크 테스트베드를 직접 구축하여 주요 성능 지표에 대한 시험을 완료하고 외산 센서와 비교 시험을 통하여 그 성능 수준을 평가한다. 새로 제작된 센서에 대해서는 최소 아래 시험을 수행해야한다.

- 1) 파장범위시험
- 2) 태양광 반응시험
- 3) 팬터그래프 동작 범위 시험(1차년도 테스트베드에서 실측)
- 4) 아크 반응 속도시험(1차년도 테스트베드에서 실측)

## 나. 전류식 이선 검출기 개발 및 검증

- (알고리즘 개발 및 검증) 고주파 필터와 저주파 필터로 대이선과 소이선 신호를 구분하고 제로 크로싱을 제외한 영전류 구간(이선구간)을 누적하여 이선율을 계산하는 단순한 알고리즘에서부터 시작하여 시험 결과를 토대로 지속적으로 개선해가도록 한다. 1차년도에 알고리즘 구현 및 검증이 용이하도록 PC기반 시작품을 제작하고 이선 전류 파형 시뮬레이터도 구축하였다. 실측한 이선 전류 파형을 시뮬레이터 재생하는 기능을 구비하여 탑재 이전에 실제와 유사한 환경에서 충분히 알고리즘을 검증하도록 한다.
- (실차시험) 300km/h이상의 차량에 탑재를 해야 하므로 국내에서 가능한 차량은 ktx36이나 HEMU등이며 차탑 고압부에 아크센서 및 전류 센서를 설치해야 하므로 관련 부서와 충분히 협조하여 진행하며 실차탑재와 유사한 환경에서 동적 성능을 검증하는 방법도 검토하도록 한다.
- (성능평가) NQ와 CQ 비교 시험을 통해 성능을 평가한다. NQ관련해서는 국내에서도 국제기준에 준한 시험 방법이나 기준이 정립되어 가고 있으며 이 기준으로 성능 평가를 하며 CQ는 NQ와의 비교 시험을 통해 그 성능과 효용성을 평가한다.  
(※ 관련 국제 규격: EN50317, IEC62486 )

## 제2장 아크 검측기술 동향

### 제1절 이선 현상

집전 시스템은 크게 전기를 공급하는 전차선(Contact wire)과 전력을 공급받는 장치인 팬터그래프(Pantograph)로 구성된다. 고속전철의 고속화에 따른 연구개발이 철도선진국을 중심으로 급속히 이루어지고 있다. 그러나 고속전철의 고속화됨에 따라 대두되는 문제들 중의 하나는 안정된 집전 능력을 확보하는 것이다. 즉, 고속전철의 속도 성능향상은 팬터그래프 시스템이 고속에서도 안정된 집전 능력을 갖추어야 하는 선행과제가 해결되어야 한다.

기존 연구결과에 의하면, 고속전철의 운행 속도가 증가함에 따라 팬터그래프와 가선 사이에 진동도 증가하게 된다. 그 결과로 팬터그래프와 가선 사이의 접촉력 변화가 커지고 이로 인한 이선과 그에 따른 아크가 발생하고 가선과 팬터그래프 집전파의 손상을 초래한다. 이런 현상은 고속전철의 고속화에 어려움을 주고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 연구가 이루어지고 있다. 고속에 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 행해지고 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  $di/dt$ 로 인해 전기철도 차량 주회로 및 제어회로에 손상을 줄 수 있다.

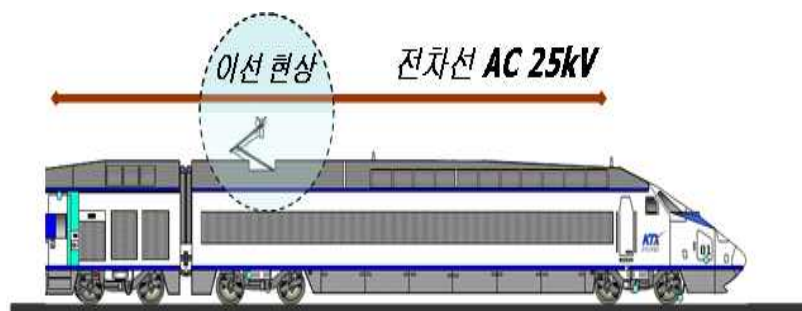


그림 3 전차선과 팬터그래프 사이의 이선현상

전력을 공급하는 전차선과 차량내에 전력을 유입하는 팬터그래프 사이에 그림 3과 같이 이선현상(Contact loss phenomenon)이 나타나는데, 소이선, 중이선, 대이선으로 나눈

다. 소이선인 경우 팬터그래프 습동판의 미세 진동에 의해 발생하는 것으로 이선시간은 수십 분의 1초 정도이고, 중이선은 일반적으로 팬터그래프가 전차선의 경점에 의해 충격을 받을 때 발생하는 것으로 이선시간은 수 분의 1초 정도이다.

대이선은 전차선의 지지점 통과 직후 팬터그래프 자체가 도약하여 발생하는 현상으로 이선시간은 1~2초에 이른다. 고속전철이 역행시에 이선이 발생하게 되면 이선 개소의 시점부 및 종단부는 아크 및 충격에 의해 국부적으로 전차선의 마모가 촉진되어 단선될 가능성이 높아진다. 또한 이선현상이 발생하는 동안 역행에 따른 집전이 중지되고, 무선 잡음 장애가 발생하며, 심한 경우 고속전철의 견인전동기 혹은 전력변환장치의 반도체 소자를 비롯한 전장품이나 보호기기류가 섬락에 의해 파괴되기 쉽다.

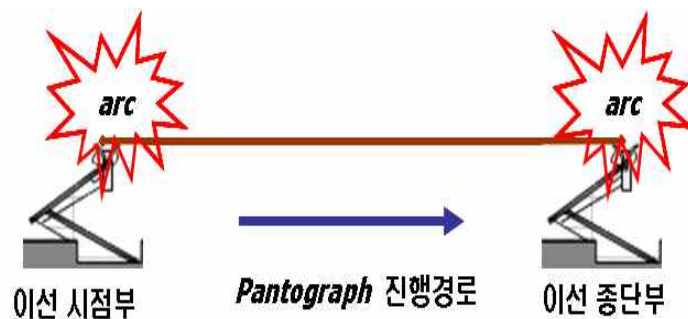


그림 4 이선현상에 따른 아크발생

한편 아래 그림 5와 같이 고속전철 급전계통시스템은 전기적으로 절연역할을 하는 사구간 또는 Dead section이 존재하는데, 전원의 접속개소에서 아크현상이 발생한다. 즉 고속전철이 절연구간을 통과할 때, 예기치 않은 상황에서 가압구간에서 무가압 구간으로 보호 절차 없이 진입하게 되면 고속전철의 팬터그래프와 전차선 사이에 아크 발생 확률이 높다. 뿐만 아니라 절연구간을 통과할 때 무가압 구간에서 바로 가압구간으로 진입하게 되면 아크가 발생하기 쉽다.

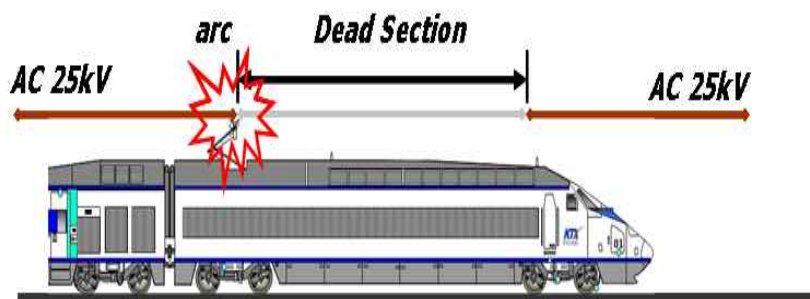


그림 5 사구간 통과시의 아크현상 일례

## 제2절 국제규격 동향

### 1. EN 50317 이선 유럽규격

카티너리 가공전차선 시스템에서 원활하게 전류를 집전하려면, 가공전차선(Overhead contact wires)과 팬터그래프 습판체(Pantograph contact strips) 사이의 지속적인 접촉을 유지하는 것이 중요하다. 그러나 열차의 속도 증가는 이선(contact-loss)이라고 불리는 두 가지 요소의 분리로 인해 강한 빛을 동반한 아크 방전의 원인이 된다. 따라서 아크방전 검출(Arc discharge detection)이 집전 성능을 판단하는 중요한 측정 항목이다.

그러나 환경의 밝기가 가시광선 탐지에 기반한 시스템의 측정 정확도에 영향을 미친다. 그러므로 측정은 야간이나 터널 구역에서 수행되지만, 역(逆)에서 오는 빛의 영향을 받는 구역에서 측정하기는 어렵다. 하지만 외국 철도에 대한 측정 시스템은 아크방전에서의 자외선을 감지하는 방법을 채택하고 있으며, 그러한 요구사항은 유럽표준(European Standards)에 설명되어 있다.

즉, 전기 철도차량에 대한 증가로 이선에 대해 EN 50317(2002)에서 규정하고 있다. 아크율(NQ)은 식 1과 같이 정의하고 있다.

$$NQ = \frac{\sum t_{arc}}{t_{total}} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

여기서,  $t_{arc}$ 는 1[ms] 이상 아크 지속기간,  $t_{total}$ 은 공칭전류의 30%보다 큰 전류 측정시간

아크를 측정할 때 샘플링 시간은 200[Hz]보다 커야 한다. 그리고 접촉력은 20[Hz] 차단주파수를 갖는 저주파 필터(Low Pass Filter)를 사용하며 최소한 교류 구간용 팬터그래프는 0~500[N], 직류구간용 팬터그래프는 0~700[N] 측정범위를 갖는다.

한편 아크 측정에 따른 일반적인 사항을 살펴보면, 아크 검출기는 구리(Cu) 재질에 의해 방사되는 빛 파장에 민감해야 한다. 동(Cu)과 동(Cu) 합금 전차선 파장 범위인 220 nm~225 nm 또는 323 nm~329nm 에 적용되어야 한다. 두 개의 파장대역은 실질적인 동(Cu) 방사율을 갖고 있어 검측시스템은 330 nm이상되는 가시광선 파장대역에서는 둔감해야 한다. 상기와 같은 조건을 만족하는 아크 검출기를 이용하기 위해서는 아래와 같은 조건을 가져야 한다.

- (1) 높은 감광도를 얻기 위해 팬터그래프와 매우 근접한다.
- (2) 철도차량의 세로축에 최대한 가깝게 한다.
- (3) 차량의 진행방향에 따라 팬터그래프 후면에 위치한다.
- (4) 집전장치의 팬터그래프의 집전판을 향하게 한다.
- (5) 팬터그래프 동작범위의 영역에서 허용오차가 10% 이내로 한다.
- (6) 시작과 끝이 100us미만인 아크를 감지해야한다.
- (7) 최소 아크 측정에 따라 임계점을 측정해야한다.

아크가 발생하는 위치와 측정 장비의 거리에 따라 임계점은 달라진다. 그림 6은 이선시 아크 검출을 위한 검측장치 설치 위치를 보여준다.

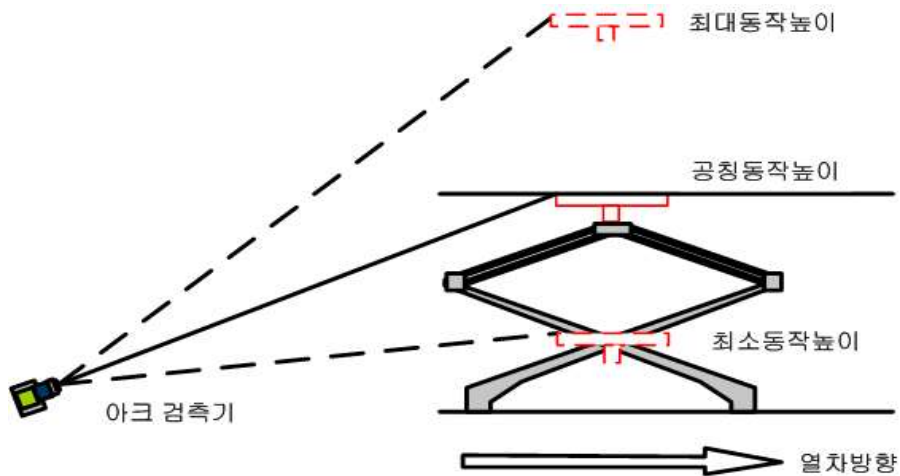


그림 6 아크 검측장치 위치

## 2. IEC62486 국제규격 동향

최근 국제 규격(IEC62486)에는 자외선 파장대를 검출하는 방식(NQ)외에 가시광 영역을 검출하는 방식(AQ)와 전류파형을 분석하는 방식(CQ)등이 추가되었다. NQ는 유럽규격(EN50317)에서 채택된 것이고 AQ,CQ방식은 일본규격이 채택된 것이다. 각 방식마다 장단점이 있으며 절대적인 비교는 하기 어려우며 서로 상보적인 관계에 있다. CQ는 고압측(인통선)에 흐르는 전류 파형을 분석하는 방식으로 시스템 구성이 간단하며 NQ방식으로는 검출이 어려운 아크가 발생하지 않는 소이선이나 큰 아크간에 전개되는 대이선 등을 검출할 수 있다는 장점이 있다.

국제 규격에는 집전 품질, 즉 이선율을 측정하는 다양한 방법 및 기준을 제시하고 있으나 각 방법 간의 상관관계나 상호 보완 방법은 제시하지 않고 있다. 즉 접촉력을 이용하여 산출한 이선율과 아크를 이용하여 산출한 이선율이 서로 상이하며 가시광을 이용한 방식이나 이선 전류를 이용한 방식과는 더욱 차이가 난다.

국가나 철도 운영기관마다 집전 품질을 평가하는 방식과 기준이 다른 실정이며 국내에서는 접촉력과 아크를 측정하는 NQ 방식을 주로 사용하고 있다.

| Requirements                                                                                     | for $v \leq 160$ km/h                                  | for $160 < v \leq 250$ km/h                            | $v > 250$ km/h                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Percentage of arcing at maximum line speed, $NQ$ (%) <sup>b</sup> (minimum duration of arc 5 ms) | $\leq 0,1$ for AC systems<br>$\leq 0,1$ for DC systems | $\leq 0,1$ for AC systems<br>$\leq 0,2$ for DC systems | $\leq 0,2$ <sup>a</sup> for AC systems |
| $AQ$ (%) <sup>c</sup><br>(by detecting an arc with visible light)                                | 5                                                      | 5                                                      | 5                                      |
| $CQ$ (%) <sup>d</sup><br>(based on the waveform of collected current)                            | 30                                                     | 30                                                     | 30                                     |

그림 7 IEC62486 규격 (NQ 0.2% ≒ CQ 30%)

## 제3절 국내외 이선아크 측정연구사례

커티너리 팬터그래프 시스템에서 원활하게 전류를 모으려면, 가공전차선(Overhead contact wires)과 팬터그래프 습판체(Pantograph contact strips) 사이의 지속적인 접촉을 유지하는 것이 중요하다. 그러나 열차의 속도 증가는 이선(Contact Loss)이라고 불리는 두 가지 요소의 분리로 인해 강한 빛을 동반한 아크 방전의 원인이 된다. 따라서 아크방전 검출(Arc discharge detection)이 집전 성능을 판단하는 중요한 측정 항목이다. 이러한 방전을 감지하는 광학 이선측정 시스템(Optical contact-loss measuring system)은 측정의 정확성을 향상시키기 위해 플라스틱 광섬유를 사용한 이선 측정 시스템을 비롯하여 다양한 형태의 검측장치가 개발되고 있다.

이선 아크 검측장치는 전차선과 팬터그래프간 이선 중에 발생하는 아크를 검출하여 이를 전기적 신호로 바꾸어 물리적 양을 측정하는 것이다. 이선 아크는 일반적으로 강한 빛을 내면서 전차선과 팬터그래프 집전판 사이에 공극(Air gap)을 통해 전류가 흐를 때 아크가 발생하게 된다. 순간적으로 공극이 발생하는 시간에 따라 소이선, 중이선, 대이선으로 나눌 수 있으며, 소이선 이하의 시간동안 공극(Air Gap)이 발생하는 경우는 이선에 해당되지 않는다.

상기에 언급한 이선 아크를 검측하기 위해 다양한 장치들이 개발되지만, 전차선의 소재인 구리(Cu) 재질에서 발생하는 아크 파장은 220 ~ 225 nm 또는 323 ~ 329 nm로 자외선 영역이므로 정확한 분석이 어려운 실정이다. 다음은 이선 아크 검측 방법 일례를 기술하였다.

### 1. 국내 측정사례

#### 가. 전차선로 전기적 특성 평가 시스템 구현

(오석용외 4명, 참조문헌 14참조 )

국내에서는 아직 전류식 이선 검출에 대한 직접적인 연구 사례는 없으며 한국철도기술연구원에서 전차선로 전기적 특성 평가를 위해 취득한 전류 주파수 성분으로부터 이선 전류를 아래와 같이 추정한 사례가 있다.

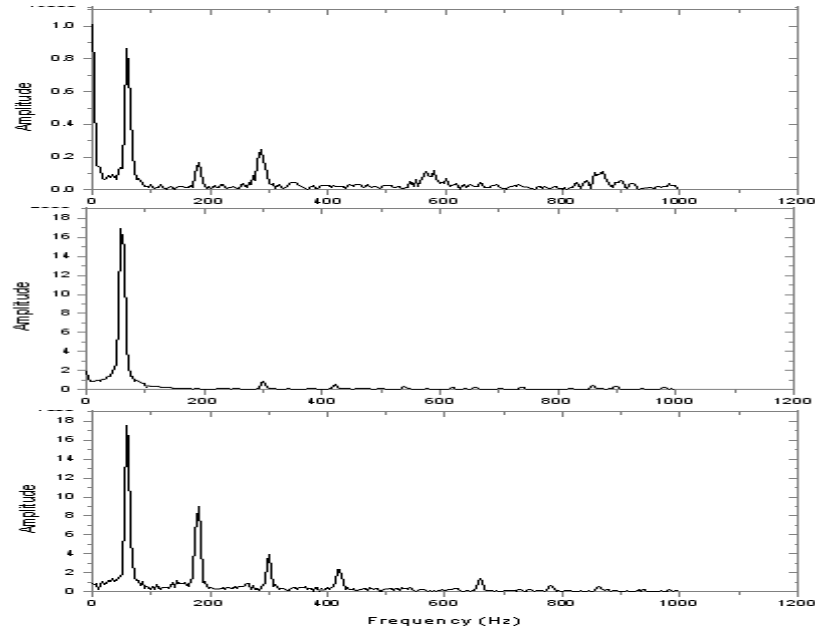


그림 8 전차선 전류의 주파수 분석 (위에서부터 (a), (b), (c))

그래프에서 (b)의 경우는 기본 주파수 성분이 크고 고조파 성분이 적어 역행(가속) 상태로 해석하였고 (c)의 경우는 (b)와 기본 주파수 성분의 크기는 비슷하나 3,5,7,11,13 고조파 성분이 많이 포함되어 전차선과 팬터그래프의 이선에 의한 아크로 판단하였으며 고조파 크기들을 합산한 값들을 계산하여 비를 구하는 방식으로 아크 발생 기준을 결정하는 방안을 제시하였다.

AC-DC 전기철도 절연구간 아크 발생에 대한 시뮬레이션 연구에 대한 논문에서는 KTX 45.78km구간의 운행에서 아크와 이선 데이터를 측정하여 21회의 소이선, 6회의 중이선이 발생한 것으로 기록하였다. 이 논문에서 소이선은 판토그래프의 진동에 의한 것으로 수십분의 일초 이내로, 중이선은 전차선의 uneven stiff point를 통과할 때 발생하며 1초 정도, 대이선은 브라켓 지지점을 통과할 때 판토그래프의 점프 동작으로 발생하며 수초이상 지속되는 것으로 분류하였으며 아래 <그림9>와 <그림 10> 측정 데이터 테이블과 전압, 전류, 속도 프로파일을 발췌한 것이다.

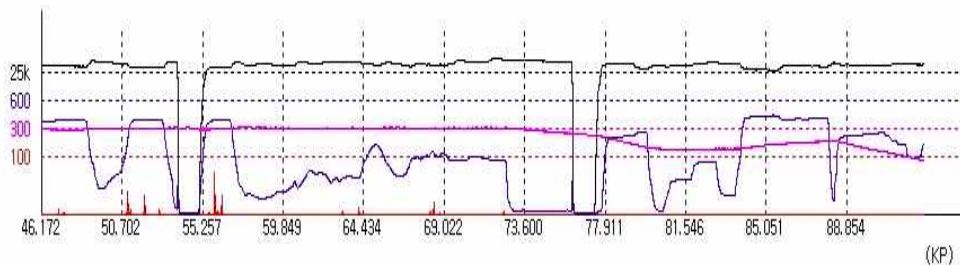


그림 9 열차 전압, 전류, 속도 프로파일

| Order | Time              | Arc location [KP] | Arc strength [RI] | Contact loss Length [m] | Train Speed [km/h] | Current [A] | Voltage [kV] |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|-------------|--------------|
| 1     | 2009/01/4 1:10:44 | 47.17             | 11                | 8.231                   | 296.3              | 494         | 26.1         |
| 2     | 2009/01/4 1:10:47 | 47.435            | 1                 | 4.099                   | 295.1              | 497         | 26.05        |
| 3     | 2009/01/4 1:10:47 | 47.452            | 2                 | 4.115                   | 296.3              | 497         | 26.05        |
| 4     | 2009/01/4 1:10:48 | 47.468            | 3                 | 4.103                   | 295.4              | 497         | 26.05        |
| 5     | 2009/01/4 1:11:30 | 50.954            | 1                 | 4.167                   | 300                | 318         | 26.46        |
| 6     | 2009/01/4 1:11:31 | 51.055            | 49                | 12.5                    | 300                | 399         | 26.23        |
| 7     | 2009/01/4 1:11:31 | 51.089            | 9                 | 4.182                   | 301.1              | 437         | 26.09        |
| 8     | 2009/01/4 1:11:33 | 51.206            | 8                 | 4.169                   | 300.2              | 477         | 25.92        |
| 9     | 2009/01/4 1:11:41 | 51.909            | 2                 | 4.149                   | 298.7              | 495         | 25.75        |
| 10    | 2009/01/4 1:11:42 | 52.01             | 33                | 4.147                   | 298.6              | 496         | 25.74        |
| 11    | 2009/01/4 1:11:52 | 52.846            | 9                 | 4.168                   | 300.1              | 496         | 25.75        |

그림 10 측정 데이터 테이블

위 측정 데이터를 분석해 보면 열차 운행 속도가 300km/h일 때 열차는 초당 83m 정도를 주행하므로 4m, 8m의 이선 구간 길이를 이선 시간으로 환산하면 각각 0.05초, 0.1초 정도 되며 가장 긴 구간이 12.5m로 이선시간은 0.15초가 된다. 주목할 점은 아크강도와 이선 길이 측정데이터가 정확하게 비례관계에 있지 않다는 점이며 이는 측정 시스템의 정확도에도 어느 정도 기인을 하겠으나 접촉력을 이용한 이선 측정과 아크를 이용한 이선 측정 결과가 중이선나 대이선의 경우는 아크가 이선의 시작과 종료 시점에서만 발생하므로 근본적으로 크게 차이가 날 수 있음을 의미한다.

아래 그림은 대이선이 발생했을 때 실제 이선 발생 시간과 아크 발생 시간 간에 차이가 있음을 잘 보여주고 있다.

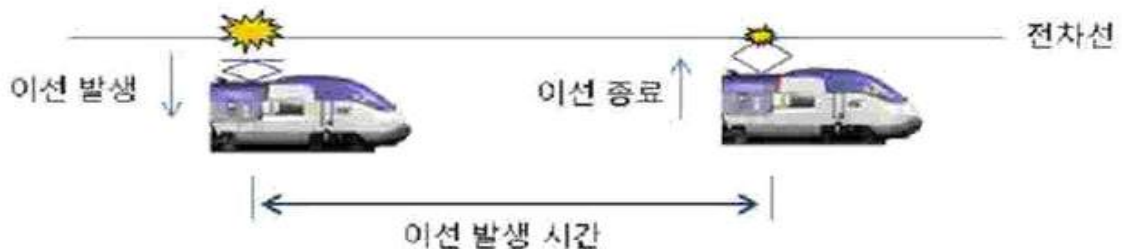


그림 11 대이선 발생시 이선 시작과 종료 시점

## 나. 고속열차 전기적 이선 특성 측정 방안 연구

(조홍식 외 4명, 참고문헌 8 참조)

### □ 개 요

PT(Potential Transformer) 및 CT(Current Transformer)에서 출력되는 전압 및 전류를 측정하여, 전기적인 접촉 및 이선을 구하고자 한다. 아크 방전이 발생하였을 경우, 보통 아크방전은 고주파 성분을 띄므로, 고주파 성분에 관한 파형을 분석할 수 있는 시스템을 구성하여, 열차가 주행 시 아크 방전이 발생하여 전기적인 이선이 발생하였음을 기록한다. 본 시스템 구성을 통하여, 판토품그래프를 포함한 집전 시스템의 성능을 판단한다.

### □ 내 용

철도차량에서 발생하는 아크 방전은 열차와 가선 간의 인덕턴스에 저장되는 에너지를 보존하려는 성질에서 발생하므로, 보통 고주파 성분을 띄고 있다. 따라서, 본 연구에서는 차세대고속철도기술개발사업을 통하여 개발되고 있는 400 [km/h]급 동력분산형 차세대고속철도 차량을 대상으로 아크 측정 시스템을 구성하여 PT(Potential Transformer) 및 CT(Current Transformer)의 전압 및 전류 신호를 분석한 후, 고주파 신호에 관하여 아크로 판별하여 집전 상태를 판단하도록 한다.

아크는 상당히 다양한 파형을 띄고 있다. 차세대고속철도 차량은 현재 제작중에 있으므로 차량의 PT와 CT에서 직접 데이터를 측정할 수 없으므로, 일단 임의파형발생기(Arbitrary Waveform Generator)를 장착하여 시스템을 구성하였다. 임의파형발생기는 10 [MHz]까지 임의의 파형을 발생시킬 수 있는 장비로 구성하였다. 아크는 순간적인 과도현상(Transient Phenomenon)이며, 기존의 연구에서 보듯이 보통 100 [kHz] 이상의 영역에서 존재하는 경우가 많다. 실제로 변압기, 모터블럭 등에서 돌입전류(Inrush Current), 자석의 히스테리시스(Hysteresis) 및 공급되는 전압, 전류의 품질 저하 등으로 고조파(Harmonics)가 발생하지만 고조파 성분은 대부분 전도성 노이즈를 발생시키므로, 대부분 수 [kHz] 이하에 존재한다. 따라서, 전도성 및 복사성 노이즈 성분을 띄는 아크 방전은 대략 100 [kHz] 이상의 영역의 신호로 판단할 수 있고, 100 [kHz] 이상을 수신할 수 있는 DAQ(Data Acquisition System)이 필요하다. 그림 12와 그림 13은 아크 측정 시스템의 구성 및 제작 구성도를 보여준다.

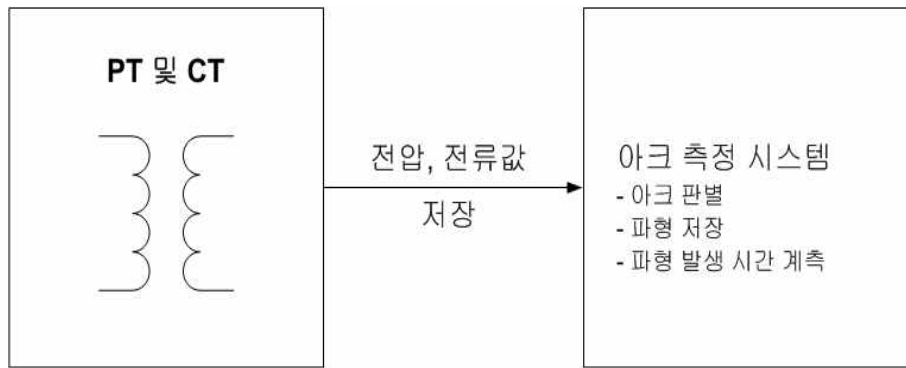


그림 12 아크 측정 시스템의 구성

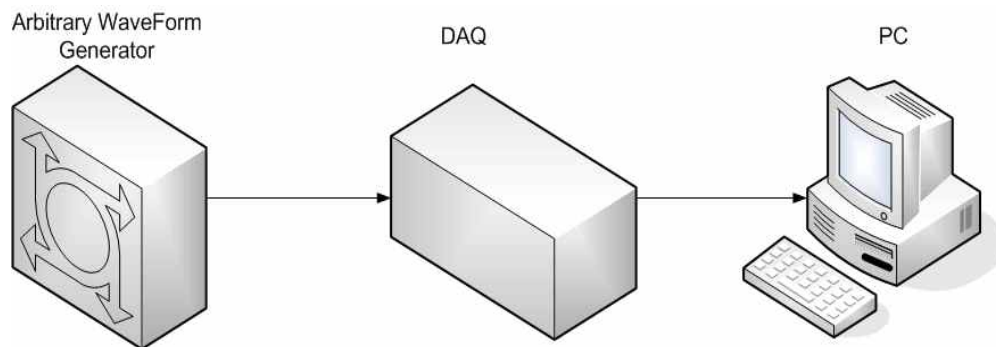


그림 13 아크 측정 시스템의 제작 구성도

#### □ 결 론

본 연구에서는, 고속 열차의 가선과 판토타이프의 이선을 통한 집전 성능을 판단하기 위하여, 아크 분석 측정 시스템을 구성하는 방법을 논하였다. 아크 방전은 가선과 판토타이프 사이의 인덕턴스를 유지하려는 현상에서 비롯되므로, 주로 고주파를 띄고 있으므로, 고주파 신호에 대하여 PT(Potential Transformer) 및 CT(Current Transformer)의 신호를 통하여 검출할 수 있는 알고리즘을 개발하고, 소프트웨어를 구성하였다. 본 시스템은 향후에 차세대고속열차의 시운전 시 장착될 예정이며, 이를 통해 전기적 집전 성능 및 아크 분석을 수행할 예정이다.

## 2. 국외 측정사례

### 가. 플라스틱 광섬유를 이용한 이선 아크 검측장치

전차선과 팬터그래프 사이에서 아크가 발생하게 되면, 그림 14와 같이 아크 검측장치는 수광부, 검출기, 기록장치가 필수적으로 수반된다. 수광부(Acceptor)는 열차 지붕 위에 설치되어 전차선과 팬터그래프 사이에 이선이 발생하게 될 때 아크에 따른 방사되는 빛을 받아들인다. 검출부(Detector) 및 기록장치(Recorder)는 열차 내부에 설치되어 수광부를 통해 입력되는 빛에서 아크가 발생할 때 생성되는 빛만을 필터링하여 기록장치에 저장하게 된다.

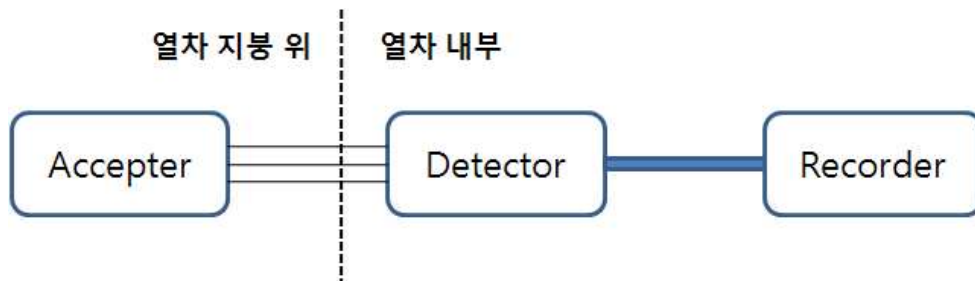


그림 14 아크 검측장치 구성의 일례

기존 검측장치에서 수광부(Acceptor)는 플라스틱 광섬유(Plastic Optical Fiber, 이하 POF), 석영 광섬유(Silica Optical Fiber, 이하 SOF), 자외선 센서 모듈 이용, 간섭 필터 및 형광유리 이용하는 방법 등이 제시되었다.

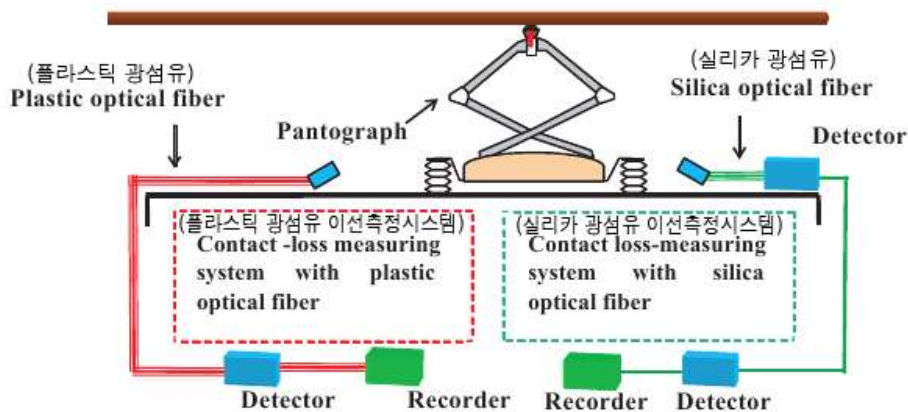


그림 15 수광부 구성 방법

기존의 측정 시스템은 상기 그림과 같이 플라스틱 광섬유(POF) 또는 실리카 광섬유(SOF)가 구비되어 있다. POF가 장착 된 시스템은 SOF가 장착된 시스템이 자외선 영역의 빛을 감지하는 동안 가시광선 영역의 빛을 감지한다. SOF 타입은 열차에서 설치를 위한 요구사항이 많아서 거의 사용되지 않는다.

표 3는 플라스틱 광섬유를 이용한 이선 아크 검측장치의 구성 요소를 나타내며, 그림 16은 구성도를 보여준다.

| 구 성 | 특 징                     |
|-----|-------------------------|
| 광섬유 | 플라스틱                    |
| 검출기 | 가시광선<br>Photomultiplier |

표 3 POF를 이용한 이선 아크 검측장치 구성요소

전차선과 팬터그래프 사이에서 발생하는 아크가 검출기의 플라스틱 광섬유를 통과하여 광전자 증배관에 의해 전기신호로 변환된다. 플라스틱 광섬유는 자외선 및 가시광선을 흡수하기 때문에 시스템에 의해 감지된 파장은 가시광선 영역이 포함되어 있어 측정환경에 의한 제약이 존재한다.

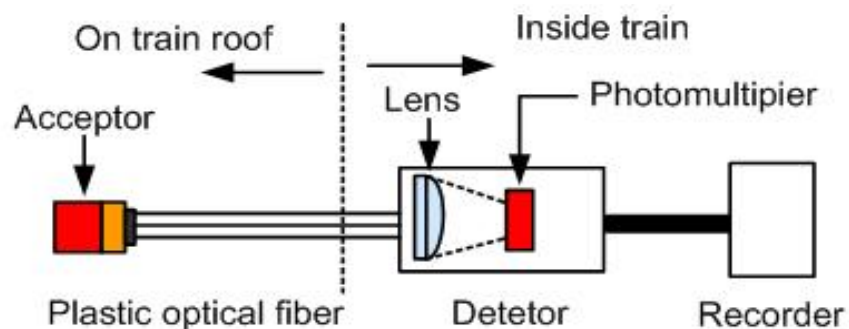


그림 16 POF를 이용한 이선 아크 검측장치 구성

표 4는 실리카 광섬유를 이용한 이선 아크 검측장치의 구성 요소를 나타내며, 그림 17은 구성도를 보여준다.

이 장치는 실리카 광섬유를 통해 간섭 필터를 사용하여 자외선의 파장을 감지하여, 포토다이오드를 통해 323~329nm 파장대역을 검출한다. 하지만 실리카 광섬유는 고가이며 짧게 유지해야 하기 때문에 열차 지붕 위에 검출기를 설치해야 하는 불편함이 있다. 이러한 이유로 최근에 거의 사용되지 않는다.

| 구 성 | 특 징                           |
|-----|-------------------------------|
| 광섬유 | Silica(석영)                    |
| 검출기 | 자외선<br>Photodiode (323~329nm) |

표 4 SOF를 이용한 이선 아크 검측장치 구성요소

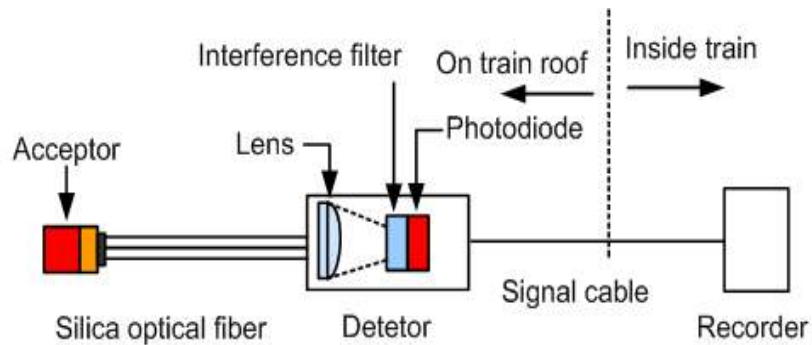


그림 17 SOF를 이용한 이선 아크 검측장치 구성

플라스틱 광섬유를 이용한 검측장치는 검출 파장이 가시광선 범위 내에 있기 때문에 아크 이외의 다른 빛의 영향을 받는 경향이 있다. 반면, 실리카 광섬유를 이용한 경우 자외선 검출을 기반으로 하기 때문에 다른 빛에 의한 영향을 받지 않지만 비용 및 설치 관점에서 보면 사용하기가 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 자외선 센서 모듈을 이용한 새로운 측정 시스템이 개발되었다. 그림 18은 UV센서모듈을 이용한 이선 아크 검측장비 구성도이다. UV 파장을 검출하는 Photocell을 검출기에 부착하여 아크를 검측 한다.

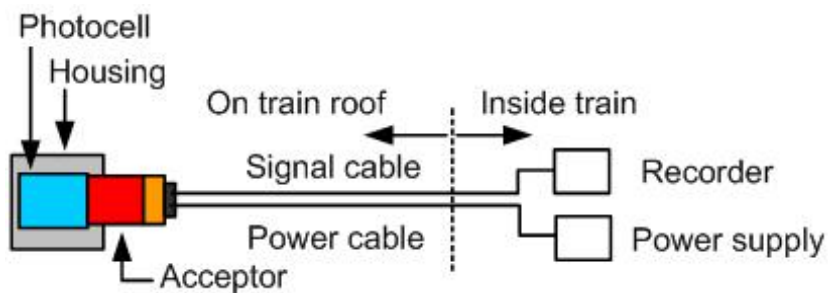


그림 18 UVSM을 이용한 이선 아크 검측장치 구성

이선에 따라 발생한 아크의 자외선을 가시광선으로 변환한 장착된 이선 아크 검측장치

는 플라스틱 광섬유를 이용하여 자외선을 사용하는 감지 시스템으로 사용할 수 있다.

그림 19는 검측장치의 내부 구성 요소를 보여준다. 간섭 필터는 아크 빛으로부터 가시광선을 제거하고, 통과된 자외선은 형광유리를 통해 가시광선으로 변화된다.

- (1) 아크가 검출기에 도착
- (2) 간섭필터를 통해 가시광선 제거
- (3) 통과한 자외선이 형광유리를 통해 가시광선으로 변경
- (4) 플라스틱 광섬유를 통해 광전자 증배관을 통해 변환

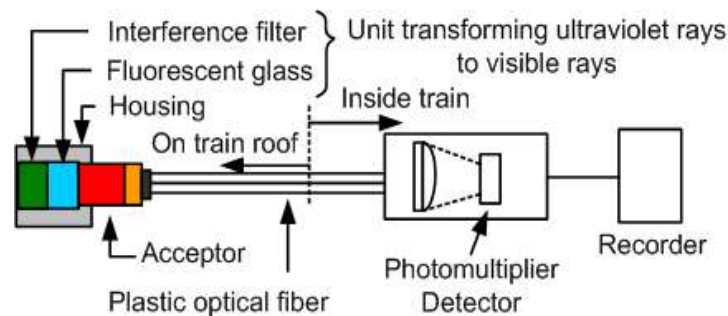


그림 19 UTVA를 이용한 이선 아크 검측장치 구성

표 5는 각각의 측정 시스템의 특징을 비교한 것이다. 플라스틱 광섬유, 실리카 광섬유를 이용한 검측장치의 아크 전력밀도는 정의되어 있지 않다. UVSM 검측장치는 가격대비 좋은 감도를 나타내고 있다. UTVA 검측장치는 플라스틱 광섬유를 이용하므로 UVSM에 비해 가격이 다소 높지만 가장 높은 감도를 가지고 있다.

| 검측장치 | 과 장             | 방사조도                 | 가 격 |
|------|-----------------|----------------------|-----|
| POF  | 가시광선            | -                    | 보통  |
| SOF  | UV(323 ~ 329nm) | -                    | 고가  |
| UVSM | UV(200 ~ 279nm) | 60uw/cm <sup>2</sup> | 저가  |
| UTVA | UV(206 ~ 226nm) | 5uw/cm <sup>2</sup>  | 보통  |

표 5 이선 아크 검측장치의 비교

## 나. 철도에서 이선으로 인한 아크방전의 특징(연구사례, 일본)

### □ 이선에 의한 아크방전 메커니즘

이선은 전차선 진동, 비정상적인 모양의 커티너리, 경점(hard points)의 존재 등 여러 가지 이유로 발생한다. 그리고 이선에 따른 강한 빛을 동반한 아크 방전은 전차선과 팬터그래프 습판 사이에서 발생함을 볼 수 있다. 아크 빛의 내부는 음극과 양극에서 방출된 물질에서의 전자와 이온으로 가득 차 있다. 그리고 각각 서로 충돌하여 에너지를 교환한다. 이 충돌은 그것들이 저레벨(Low Level) 또는 그라운드 상태(Ground state)로 돌아갈 때 어느 특정 파장의 광자(Light quanta)를 방출하는 물질의 전자와 이온을 자극한다. 아크 빛의 파장은 관련된 에너지 준위(Energy level) 또한 특색을 보여줌으로써 각각의 재료 특유의 것이다. 따라서 특정 파장을 감지하여 낮 시간대의 이선 측정을 감지할 수 있다.

### □ 아크 빛의 파장

가공전차선과 팬터그래프의 습판체에 사용되는 재료는 오로지 구리, 알루미늄, 탄소와 철로 거의 이루어져있다. 예를 들면, 가공전차선의 기반은 구리이고, 습판체는 구리, 탄소와 철이다. 단일 물질을 사용하는 경우 아크 빛의 스펙트럼은 방출 스펙트럼 분석 자료[7]에서 확인할 수 있지만, 보고서는 전극(electrodes) 등의 물질 조합을 사용하는 경우의 아크 빛에 관한 양적 스펙트럼 데이터를 제공하지 않는다. 정확하게 아크 빛을 감지하기 위해, 우리는 스펙트럼 분석을 사용하여 햇빛과 아크 빛의 파장을 측정하였다[8]. 그림 20은 아크 스펙트럼 분석 장치의 개략적인 개요를 보여준다. 그것은 양극과 관련하여 위아래로 이동할 수 있는 음극을 가지고 있으며, 아크는 전극 사이에서 생성되었다. 아크 빛이 분광장치의 검출기(detector of a spectrograph)에 광자 검출기(photon detector)를 통과하며 스펙트럼은 컴퓨터 모니터에 출력된다. 아크 발생 전극과 광자 검출기 사이의 거리가 1,100mm이며, DC power supply의 출력은 330A, 50V로 설정된다. 분광기는 햇빛의 스펙트럼을 측정하고, 아크 빛의 스펙트럼과 비교한다. 전극에 사용되는 물질은 표 6에 나타내었다.

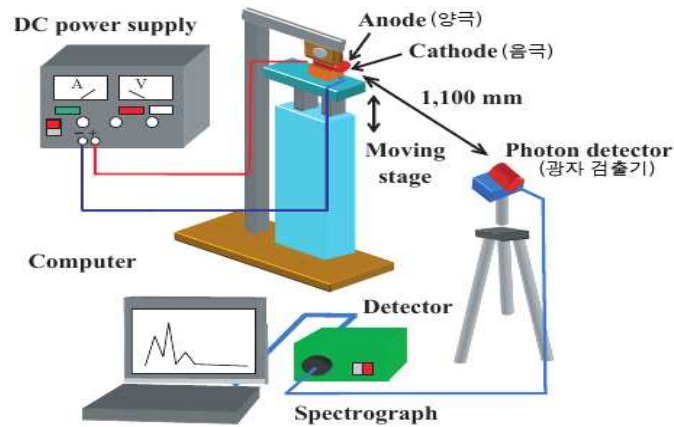


그림 20 아크 빛 분광 분석의 도식 개요 설정

|    |                                                     |
|----|-----------------------------------------------------|
| 극성 | 물질 : 약어                                             |
| 양극 | 경동 전차선 : Cu                                         |
| 음극 | 철계 소결 금속 습판 : BF<br>구리계 소결 금속 습판 : BC<br>탄소 습판체 : C |

표 6 아크 빛 분광분석을 위한 재료

그림 21은 햇빛의 스펙트럼과 이들 물질이 전극에 사용될 때의 아크 빛의 스펙트럼을 보여준다. 햇빛과 BF, BC와 C는 음극에 사용되고, 구리(Cu)는 양극에 사용될 때 아크 빛의 스펙트럼은 음극에서 사용되는 재료와 다르지만, (A)의 200nm에서 240nm 또는 (B)의 320nm에서 340nm까지의 파장 범위에서 일정한 강도가 있다. 햇빛의 스펙트럼 강도는 350nm 이상에서 점차 커지고, 350nm 미만의 스펙트럼에서는 거의 포함되어 있지 않다. 아크 빛은 햇빛의 영향을 받지 않은 측정이 영역을 감지하여 만들 수 있다는 것을 의미하는 자외선 영역의 특정 스펙트럼을 가지고 있다.

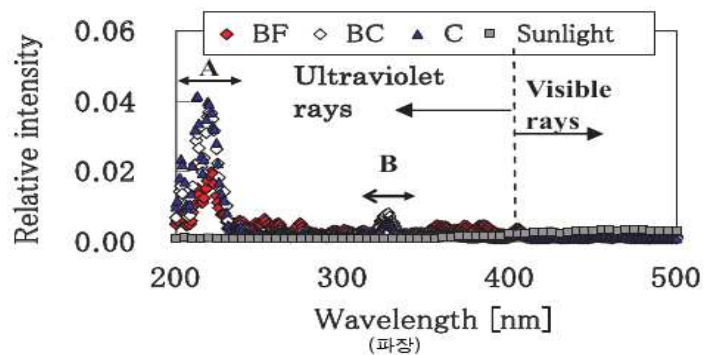


그림 21 아크 빛의 스펙트럼

## 제4절 해외 시스템 사례

해외 적용사례로 JR에서 동일본, 서일본 철도 고속주행시험 및 신간선 개통시험에 NQ와 CQ를 동시에 사용하였다. 각 판토타그래프마다 2개의 광학식 센서와 1개의 전류식 센서가 설치되어 있으며 이선시간을 누적하여 실시간으로 이선율을 계산한다. 시스템 구성은 아래 그림과 같다.

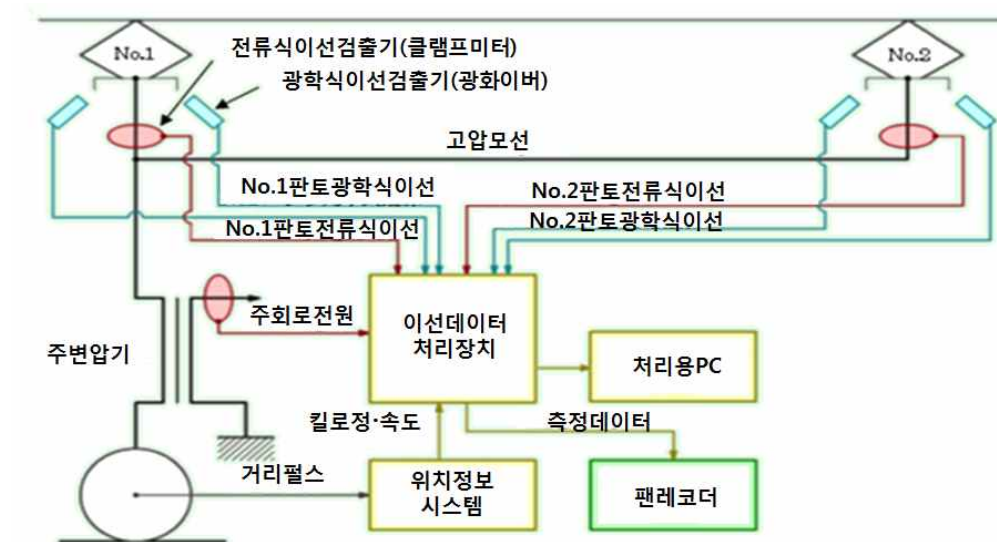


그림 22 해외 광학식 및 전류식 겸용 이선 측정 시스템 구성도 (JR, 일본)

아래 <그림23>과 <그림24>는 각각 이선 데이터 처리 장치 사진과 이선 데이터 처리용 컴퓨터 화면을 나타낸다.



그림 23 JR 이선데이터 처리 장치

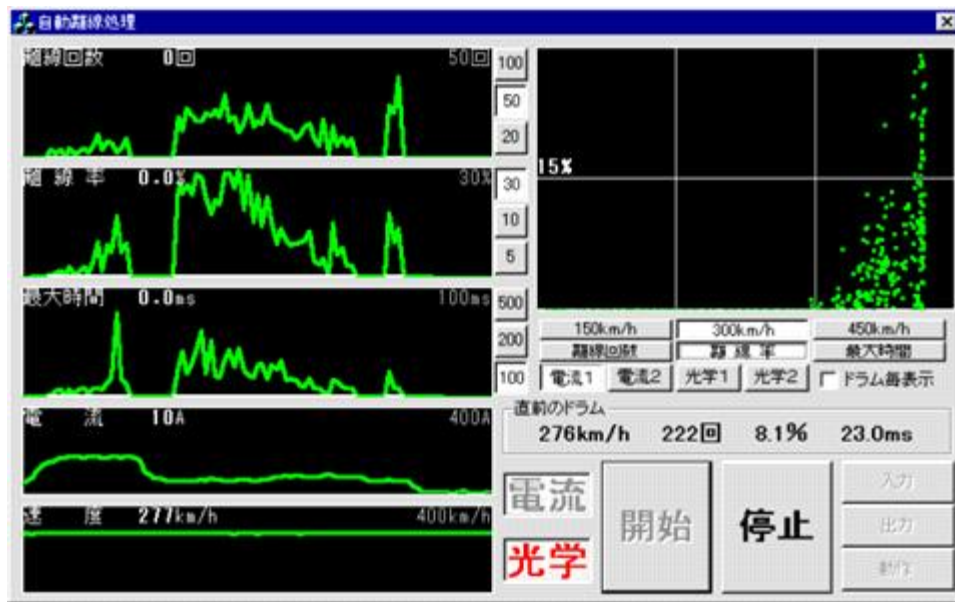


그림 24 이선데이터 처리용 컴퓨터 화면

## 제5절 시사점

전류식 이선 검출 방법은 최근 국제 규격에도 포함되었고 일본 JR에서 오랜 기간 실용하고 있는 방식이다. 또한 국내 KTX검측 사례에서 살펴본 바와 같이 아크 측정 만으로는 대이선을 정확하게 측정할 수 없음으로 전류식 이선 검출 기술을 개발하여 광학식 이선 검출 결과와 상호비교하고 상관 관계를 도출하여 상호 운용 또는 독자 운용의 가능성을 검토해 보고자 하는 본 과제의 목표가 타당하다 볼 수 있다.

## 제3장 연구 개발 수행 내용 및 결과

### 제1절 광학식 이선 검출기 제작 및 검증

아크광 스펙트럼 분포를 보면 태양광에는 220~225nm 파장이 거의 존재하지 않는 반면 아크광은 전극 재질에 관계없이 220~225nm 파장대가 가장 크므로 해당 대역 밴드패스 필터로 아크를 선택적으로 검출할 수 있다.

발생한 아크는 220nm의 특정 파장만을 투과시키는 자외선 밴드패스필터 (Interference filter)를 통과한 다음, 광섬유케이블(Plastic optical fiber)을 따라서 전송되어 광증배관(Photomultiplier)에 입사하게 된다. 광증배관에서는 입사 광의 크기에 비례하는 전기적인 신호( $0\sim100\mu A$ )를 출력으로 얻을 수 있다. 이 전기적인 신호와, 발생한 아크의 에너지 사이의 상관관계를 도출하여 아크의 강도( $\mu W/cm^2$ )를 구할 수 있다.

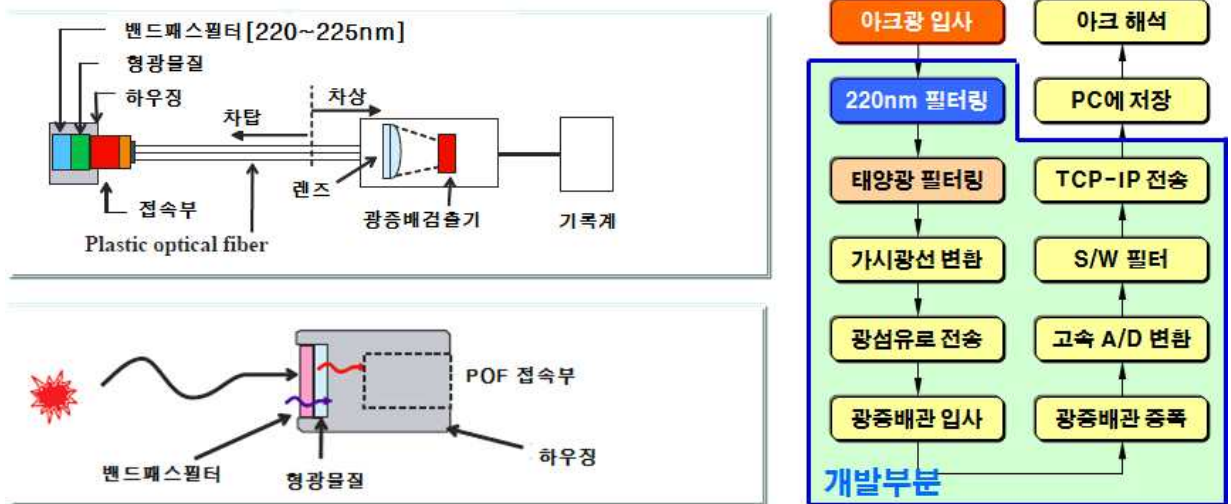


그림 25 아크센서 구조 및 신호검출 흐름도

## 1. 외산 센서 벤치마킹 및 성능 검증

벤치마킹에 사용할 외산 센서로는 일본의 M사가 제작한 전차선 검측 시스템인 카테나리 아이에 탑재된 아크 검출 센서를 선정하였다. 기타 유럽의 제품들도 국내에 도입이 되어 사용 중에는 있으나 기술적인 정보에 접근하는 것이 극히 어려운 실정이어서 비교 대상으로 선정할 수 없었다.

아래는 비교 시험에 사용할 일본 Y사 센서의 모습과 사양이다.



그림 26 외산 Y사 아크 센서 사진

왼쪽 위부터 시계방향으로 검출부, 전원부, 수광부, 광케이블로 구성됨

| 항목   | 사양                              | 비고           |
|------|---------------------------------|--------------|
| 반응속도 | DC ~ 200kHz                     | EN50317 만족   |
| 최소감도 | $7.4 \times 10^{-4} \mu W/cm^2$ | EN50317 만족   |
| 검출파장 | 206 ~ 226nm                     | EN50317 만족   |
| 검출각도 | $\pm 5^\circ$                   | 감도 90% 감쇠 각도 |

표 7 외산 Y사 센서 사양

단순한 센서 하나로 구성된 장치가 아닌 수광부, 광케이블 전송부, 검출부로 구성되는 하나의 복잡한 시스템임을 알 수 있다.

센서 반응 속도는 200kHz로 본과제에서 제작하는 아크센서 반응 속도(<10us)를

시험하기에 충분한 속도이고 최소 검출 감도도  $7.4 \times 10^{-4} \mu\text{W}/\text{cm}^2$  로 목표 사양인  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  총를 시험하는데 충분하다. 검출 파장은 206 ~ 226nm 이다.

판토포그래프를 앞뒤에서 감시할 수 있도록 2개의 광학 센서를 부착할 수 있도록 되어 있으며 광증배관을 보호하도록 센서 인입부에는 광학 셔터가 달려 있다.

외산 센서에 대한 성능 검증을 할 수 있는 장비를 구비한 곳이 국내에는 없고 본 과제에서 제작하는 테스트베드도 사양이 충분치 않아 성능 검증은 별도로 하지 않았다.

외산 센서의 운용 실태를 조사하기 위해서 일본 도쿄 전철을 방문하였으며 아래는 카테나리아이 시스템에 실제 설치되어 있는 사진이다.



그림 27 검측 차탑 및 차상에 수광부와 검출부가 설치된 모습

## 2. 외산 센서 대비 동등 이상의 개발 성능지표 도출

앞의 일본 Y사 센서 사양을 기준으로 본 과제에서 개발하고자 하는 아크센서의 성능 지표를 도출하였다.

아래는 Y사 센서와 본과제에서 개발할 센서의 주요 사양을 비교한 표이다.

| 번호 | 항목       | 개발품                               | 외산 (일본 Y사)                                   | 비고              |
|----|----------|-----------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|
| ①  | 반응속<br>도 | DC ~ 100kHz                       | DC ~ 200kHz                                  | EN50317 만족      |
| ②  | 최소감<br>도 | $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$<br>이하 | $7.4 \times 10^{-4} \mu\text{W}/\text{cm}^2$ | EN50317 만족      |
| ③  | 검출파<br>장 | 220~225nm                         | 206 ~ 226nm                                  | EN50317 만족      |
| ④  | 검출각<br>도 | $\pm 8^\circ$ 이상                  | $\pm 5^\circ$                                | 감도 90% 감쇠<br>각도 |

표 8 아크센서 개발 성능 지표

|                                                                |                                                                        |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| $NQ = \frac{\sum t_{\text{arc}}}{t_{\text{total}}} \times 100$ | $t_{\text{arc}}$ - 5ms이상 아크 시간<br>$t_{\text{total}}$ - 정격 전류 30%이상인 시간 |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|

표 9 EN50317 NQ이선율 계산식

집전 품질을 측정하기 위해서 아크나 접촉력을 측정하는 방법이 주로 사용되고 있으며 아크를 이용한 이선율을 부하전류가 30%이상인 상황에서 EN50317규격은 5ms 이상 지속된 아크 시간을, 국내 고속 철도 규격은 10ms이상 지속된 아크 시간을 누적인 후 총 검측 시간으로 나눠 계산한다. 아래는 이선율 계산식을 나타낸 것이다.

EN50317은 아크 센서의 반응 속도가 100us이하여야 된다는 것만 구체적으로 명시하고 있고 기타 항목은 아크센서의 최소검출감도( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 이하)를 명시해야 한다, 검출각도는 판토티그래프의 거동 범위를 모두 감시 할 수 있어야 한다 등으로만 규정하고 있다. 이는 아크 지속시간은 거리에 관계없이 정확히 측정할 수 있는 반면 필요한 화각이나 검출감도는 아크센서의 설치 위치에따라 달라지기 때문이다. 아래에 성능 지표별로 국제규격과 외산 센서 사양과 비교하며 적정성을 검토하였다.

### ① 반응속도 성능지표

반응속도는 아크센서 성능 지표 중에 가장 중요한 것으로 EN규격은 아크센서 반응속도가 100us이하로 규정하고 있다. 개발품의 반응 속도 10us로 국제규격을 만족하면 또한 Y사 제품과 근사한 성능 수치이다.

### ② 최소감도 성능지표

광도는 거리에 반비례해서 감소하며 실운용에 필요한 아크센서의 감도는 설치위치하고도 관계가 된다. 검출각도가 좁으면 센서 설치 위치가 멀어져야 하고 검출각도가 넓어 가까이 설치할 수 있으면 상대적으로 센서 감도가 낮아도 된다. 본 과제에서는  $1\mu\text{W}/\text{cm}^2$  이하를 목표 성능 수치로 선정했으며 Y사 센서에 비해서 감도는 떨어지는 편이나 검출각도가 커서 설치 위치를 가깝게 할 수 있으므로 실용적으로 문제가 없는 수준이다.

### ③ 검출파장 성능지표

검출 파장 대역은 EN규격에서 220 ~ 225nm로 규정하고 있으며 개발품이나 외산 제품 모두 동일한 파장 대역을 검출하고 있다. 이 대역폭은 Deep UV영역으로 실제 자연적으로는 이 파장대의 자외선이 발생하지 않으며 태양광에도 거의 포함되지 않는 영역이다. 이상적인 대역 필터(BPF)를 사용하는 경우에는 태양광의 영향 없이 아크광 만을 걸러낼 수 있으나 실제 제품 개발 시에는 필터 성능이 이상적이지 않으므로 이에 대한 충분한 보상 설계를 해야 태양광의 영향을 제거할 수 있다.

EN규격은 323~329nm대역도 사용할 수 있다고 되어 있으나 태양광과 근접해 있고 220nm대역의 신호에 비해 약하여 대부분의 아크센서 제품은 220nm대역을 검출하고 있다. 대역필터의 폭을 어느 정도로 할 것인가는 검출각도와 서로 trade-off 관계에 있으므로, 즉 대역필터 폭을 좁히면 선택도는 높아지나 화각이 좁아지고 대역필터 폭을 늘리면 선택도는 떨어지나 화각이 넓어지므로 목적에 맞도록 설계치를 조정할 필요가 있다.

### ④ 검출각도 성능지표

아크 센서 검출 각도에 대해서는 따로 규정하는 국내외 규격은 없으나 실용적인

로 아크센서의 설치 위치에 제약을 준다. 철도 차량의 차탑이 검측 장치를 설치할 공간이 협소한 점을 고려하면 가능하면 화각이 넓어 판토티그래프에 근접해서 설치하는 것이 감도나 설치 용이성에서 이점이 있다.

아래는 EN규격에 나와 있는 아크검출기 설치 위치에 대한 사양으로 열차가 운행하는 방향 뒤편에서 판토티그래프를 모니터링해야 하면 최대, 최소 거동 범위를 모두 검출해야한다는 것만 명시하고 있다.

판토티그래프의 거동 범위는 노선에 따라 차이가 있으나 대략 1m범위를 거동한다 가정할 시 화각이 5도인 경우는 설치가 위치가 11m이상 이 되어야 하고 10도인 경우는 5.7m정도면 충분하다. 화각이 2배 늘어나면 설치위치도 2배로 줄어 검출 감도가 실질적으로 4배가 증가하는 효과가 있고 차량 길이가 통상 20m인 점을 감안하면 설치 위치에 대한 제약도 적어 실용적으로는 중요한 성능 지표라 할 수 있다.

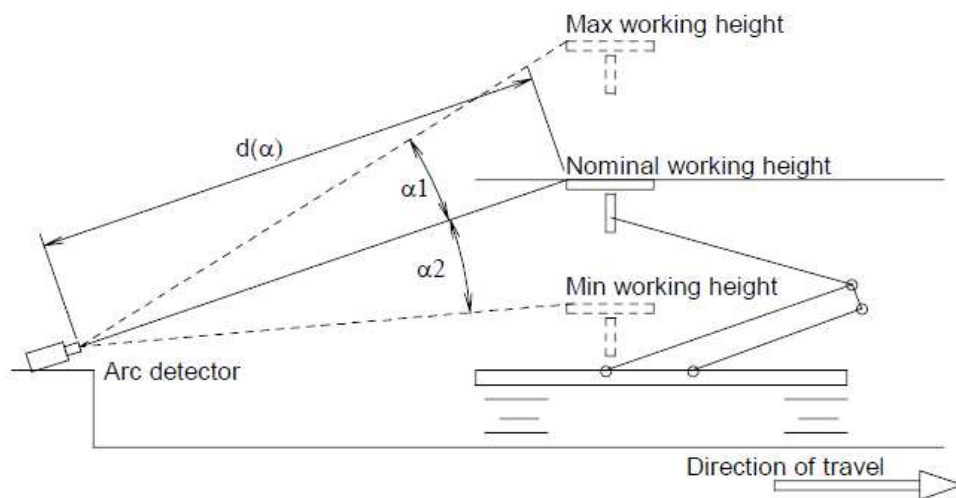


그림 28 아크 검출기의 설치 위치 (EN50317)

### 3. 아크 감지용 고속 광학센서 개발

EN50317을 만족하기 위하여, 아크로부터 발생하는 광파장 중에서 220-225nm의 파장을 선택적으로 검출하기 위한 광학필터를 선정하고, 태양광을 아크와 분리하기 위한 특수반사경(Reflective mirror), 태양광 투과필터 등을 제작하였으며, 220-225nm의 파장에 반응하여 가시광선을 형광하는 형광창(Fluorescent window), 형광된 가시광선을 전달하기 위한 광섬유케이블을 제작하였으며, 전달된 가시광을 검출하고 10 $\mu$ s의 고속응답 특성을 만족하는 광증배관(PMT)을 선정하였다.

아래는 Hayasaka의 논문에서 제시된 해외 아크 검출기의 광학구조와 단순화한 그림이 제시되어 있다.

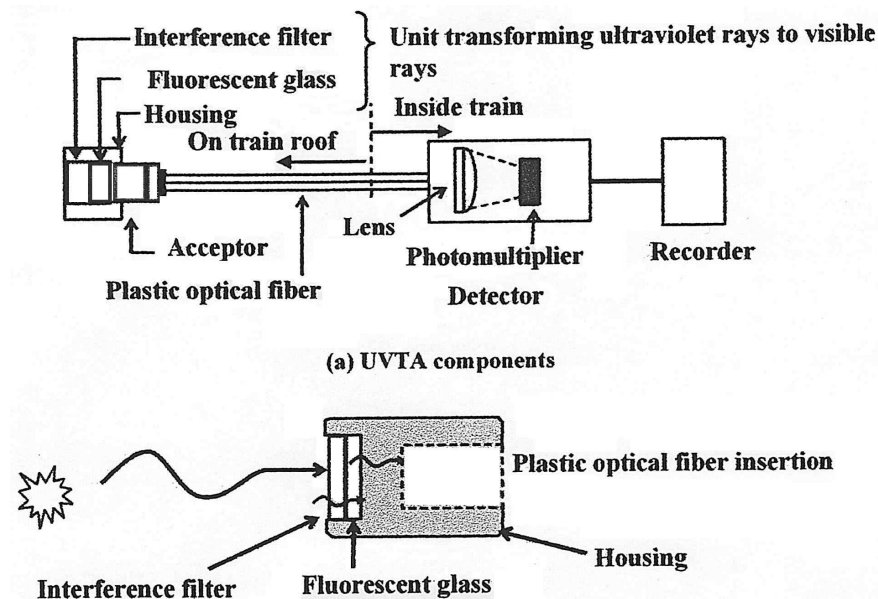


그림 29 해외 연구에서의 아크 검출기의 광학부 구성도  
( T. Hayasaka, "Development of Contact-Loss System Using  
Ultraviolet Ray Detection",  
QR of RTRI, vol.50, no.3, Aug., 2009.)

아래 (A) 그림에서, 아크(1)가 광학부(4)의 입사창(2)으로 들어온 후, 220-225nm의 자외선을 투과시키는 밴드패스 필터(2)를 거쳐서, 투과된 자외선이 자외선 형광창(3)에서 가시광선으로 변환된다. 변환된 가시광선은 광섬유케이블(5)을 통해서 전달되고, 집광렌즈(6)를 거쳐서 광증배관(7)에 입사된다. 광증배관에서는

광자(Photon)에 의한 전류변환이 발생한다. 이 전류 신호는 신호선(9)을 통해서 고속 마이크로컨트롤러(10)에 입력된다. 고속마이크로컨트롤러(10)는 광증배관의 안정되게 제어하며 동시에 안정된 신호를 검출하고 A/D변환기를 통해서 디지털 값으로 변환한 다음, 디지털통신선(11)을 통해서 측정값을 컴퓨터(12)에 전송한다.

(A) 구조에서는 자외선 밴드패스필터(2)에서 매우 미세하게 누출되는 태양광을 제거할 수 있는 어떠한 구조도 포함되어 있지 않다. 이를 개선하기 위한 구조가 (B) 구조이다. 이 구조는 본 연구에서 개발한 결과물로서, 태양광의 영향을 완벽하게 제거하기 위한 구조이다. 외부에서 아크나 태양광(13)이 입사창(14)을 통해서 광학부로 입사되면, 본 연구에서 개발한 특수반사경(17)에 의해서 두 가지 광경로(Optical path)로 광량이 분할된다. 분할된 광은 평면의 자외선 반사경(15, 16)에서 반사되어 두 가지 광경로를 통해서 전달된다. 첫 번째 경로는 자외선 밴드패스필터(18)와 자외선 형광창(19)을 통해서 전달되고, 두 번째 경로는 특수2중필터(20)와 자외선 형광창(21)를 통해서 전달된다. 특수2중필터(20)는 220-225nm를 투과시키는 자외선 밴드패스필터와 310nm 이상을 투과시키는 태양광 투과 필터가 하나로 합쳐진 필터이다.

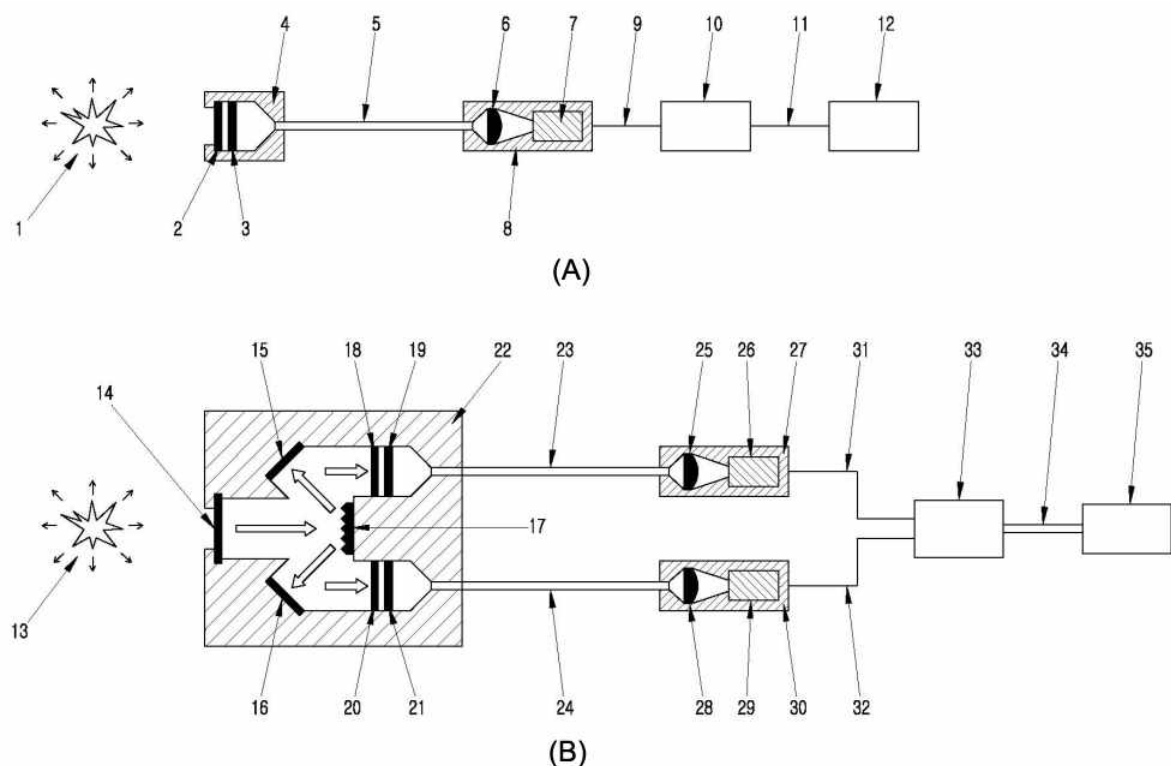


그림 30 본 연구의 아크 검출기의 광학부 구성도

첫 번째 경로에서 자외선 밴드패스필터(18)를 투과한 광에는, 아크로부터 발생한 220-225nm의 자외선 광량(La)과 220-225nm 범위를 벗어나는 300nm 이상의 미세한 태양광의 일부(Ls)가 함께 포함되어 있다. 자외선 밴드패스필터(18)가 완벽하게 220-225nm 범위의 파장만을 투과시키지 못하기 때문이다. 이러한 현상은 선행연구에서 실제 실험을 통해서 확인되었다. 따라서 자외선 형광창(19)에서는, 아크로부터의 자외선 광량(La)과 태양광으로부터의 미세한 자외선 광량(Ls)에 의한 형광(Lf1)이 함께 발생한다. 즉, 이 경로를 통해서는 태양으로부터 오는 UV-C 영역의 자외선(Ls)을 완벽하게 제거하지 못한다.

두 번째 경로에서 특수2중필터(20)에서는, 특수2중필터를 구성하는 자외선 밴드패스필터를 통과할 때는 아크로부터의 자외선 광량(La)과 태양광으로부터의 미세 자외선 광량(Ls)이 함께 투과된다. 다음에 특수2중필터를 구성하는 태양광 투과필터를 통과하면 아크로부터의 자외선 광량(La)이 제거되고 태양광으로부터의 미세 자외선 광량(Ls)이 투과된다. 투과된 자외선 광량(Ls)는 자외선 형광창(21)에 도달하면 가시광선(Lf2)으로 변환된다.

결과적으로, 첫 번째 경로에서 발생한 형광량(Lf1)은 아크와 태양광의 총합에 의한 형광량이고, 두 번째 경로에서 발생한 형광량(Lf2)는 태양광에 의한 형광량이다. 따라서 순수하게 아크로부터의 자외선에 의한 형광량(Lf)은, 첫 번째 경로의 형광량(Lf1)으로부터 두 번째 경로의 형광량(Lf2)을 뺀 광량( $Lf=Lf1-Lf2$ )이다. 물론 이 과정은 다소 단순하게 설명되었지만, 문제는 이러한 광학 구조를 구성할 수 있는 상업적인 광학부품들이 시중에서 판매되지 않고 있다는 점이다. 본 연구에서는 이러한 논리를 구현하기 위해서 시중에서 판매되지 않는, 특수반사경(17), 자외선 형광창(19, 21), 특수2중필터(20)를 자체 설계 및 개발하였다. 제작은 전문회사에 의뢰하여 제작하였다.

(B)에 도시된 개념이 구현된 광학부의 실제 도면이 아래 그림에 제시되어 있다.

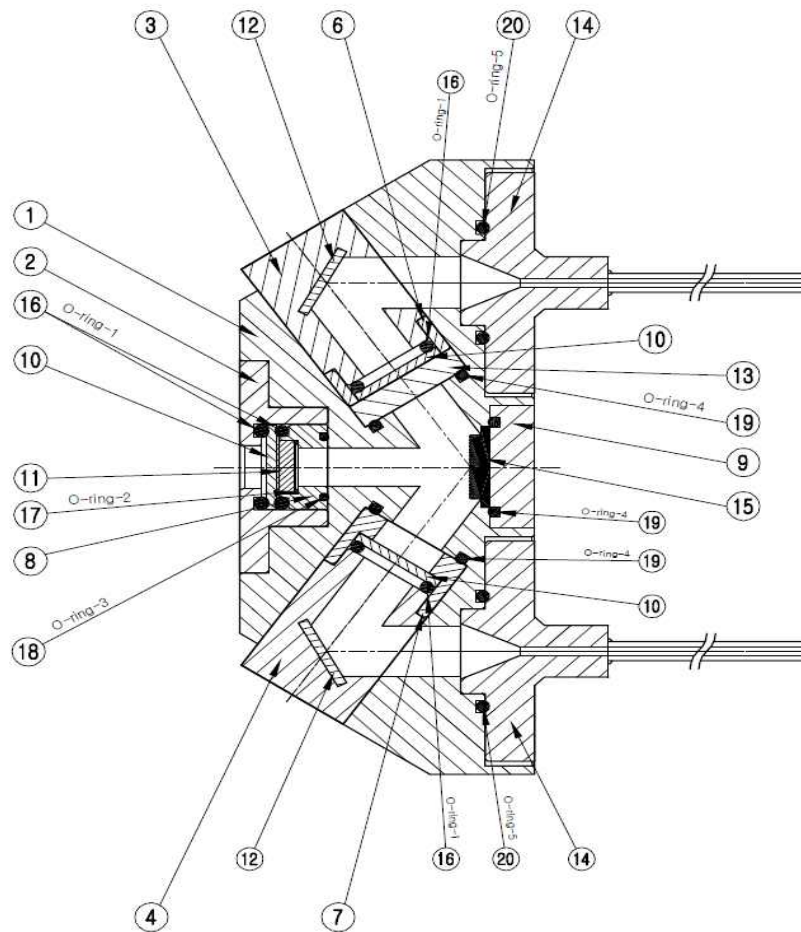


그림 31 아크 검출기 광학부 구조

아래에 해외 연구에서 사용된 220-225nm를 투과시키는 자외선 밴드패스필터와 본 연구에서 사용된 자외선 밴드패스필터의 투과 특성이 제시되어 있다. 본 연구에서 사용된 필터가 좀 더 좁은 범위의 220-225nm 파장을 투과시키고 최고 투과율은 5% 정도 높다. EN50317 표준의 만족이라는 측면에서는 본 연구에서 사용된 필터가 좀 더 충실함을 직관적으로 알 수가 있다.

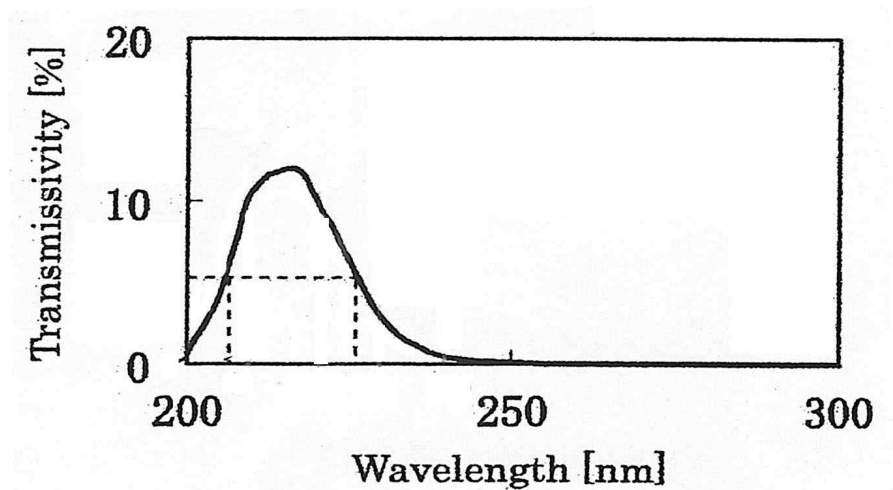


그림 32 해외선행연구에서 사용한 UV bandpass filter의 투과율 특성  
 ( T. Hayasaka, "Development of Contact-Loss System Using  
 Ultraviolet Ray Detection",  
 QR of RTRI, vol.50, no.3, Aug., 2009.)

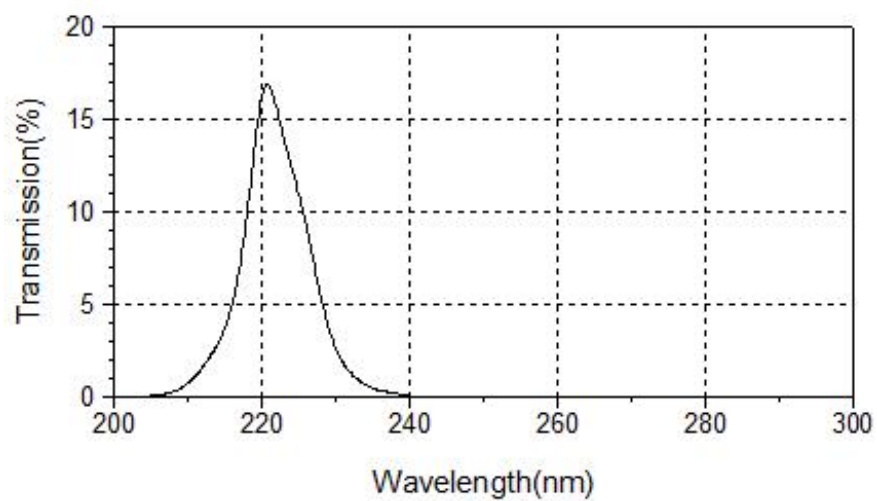


그림 33 연구에서 사용한 UV bandpass filter의 투과율 특성

#### 4. 태양광 제거를 위한 특수 광부품 개발

아래에는 본 연구를 통해서 개발한, 자외선 반사율이 높은 특수반사경의 특징과 구조가 제시되어 있다. <그림 30> (B)의 입사창(14)을 통과한 광량이 <그림 30>과 <그림 34>의 특수반사경(17)에 도달하면 정확하게 1/2로 분할되어 두 가지 광경로를 따라서 전달된다. <그림 34>의 특수반사경은 미세가공기술로 제작되었다. 중앙의 원형부(A)의 확대부는, 밑변(폭) 0.75mm, 높이 0.2mm의 삼각형 형상이다. 입사광이 이 경사면에 도달하면 광량이 1/2로 분할되어 두 가지 경로로 분할되는 것이다. 실제 제작된 특수반사경의 반사 성능은 매우 우수한 것으로 확인되었다.

| 항 목   | 특 성                                                        |
|-------|------------------------------------------------------------|
| 품명    | UV(200-300nm) Reflective Mirror                            |
| 재질    | Zn coated SUS304                                           |
| Zn 두께 | More than $10\mu\text{m}$ after electro-chemical polishing |
| 표면거칠기 | Less than $0.1\mu\text{m}$                                 |
| 반사 특성 | More than 80% for wavelength of 200-300nm                  |
| 형상 오차 | Less than 0.05mm, and $0.1^\circ$                          |

표 10 자외선 반사경의 특성

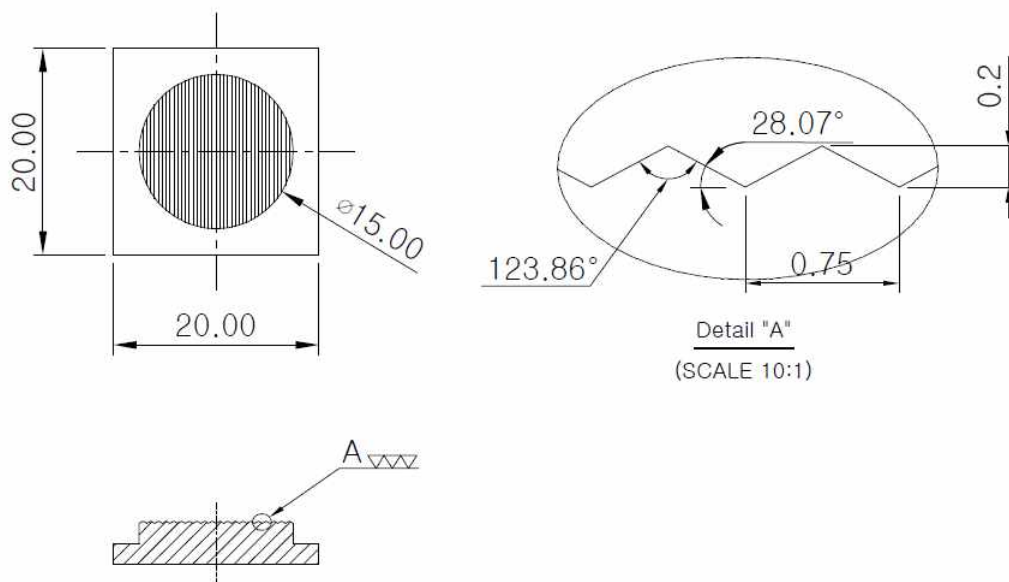


그림 34 특수 자외선 반사경의 구조

아래 표와 그림에는 본 연구를 통해서 개발한, 자외선 형광창의 특징과 사진이 제시되어 있다. UV-A, B, C 영역의 300nm 이하 파장에 반응하여 가시광선을 형광하는 특성을 갖는다. 그림은 암실에서 형광창에 200~400nm의 파장을 조사하였을 때 형광창이 형광하는 실물 사진이다. 조사한 200~400nm의 파장에는 노란색 파장이 포함되어 있지 않으므로 실제로 형광에 의한 빛임을 알 수가 있다. 예상보다 훨씬 많은 가시광선이 형광되었다. 이 형광 특성은 형광창에 도포된 희귀금속에 의한 것이다.

| 항 목      | 특 성                                                                                                                                                                                                                              |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 흡수파장     | 300nm 이하의 자외선 파장                                                                                                                                                                                                                 |
| 발광파장     | 400nm 이상의 가시광선 파장                                                                                                                                                                                                                |
| 창의 재질    | Sapphire single crystal                                                                                                                                                                                                          |
| 창의 도포물질  | 부타디엔 및 헥사트리엔 등 다중결합 컨쥬게이션된 폴리머를 기본으로 소량의 희귀금속을 배합. 용매는 Dioxane과 THF를 사용.                                                                                                                                                         |
| 도포물질의 특성 | UV를 흡광 후 분자 진동에 의한 Visible 광을 방출하며, Singlet Excited State에서 신속하게 기저상태로 이동하여 전자기파의 에너지 방출 시간이 $10^{-9}$ 초 정도로 매우 짧음.<br>창에 액체 상태의 형광물질을 도포 후, 청정공간과 상온에서 24시간 방치하여 완전히 굳힘. 굳은 다음에는 물에 녹아 나오지 않으나, 유기용매에는 형광물질이 녹을 수 있으므로 주의하여야 함. |
| 주의점      | 먼지 등의 오염을 제거하기 위한 세척을 할 수 없으므로, 청정하게 유지하여야 함.                                                                                                                                                                                    |

표 11 자외선 형광창의 특성

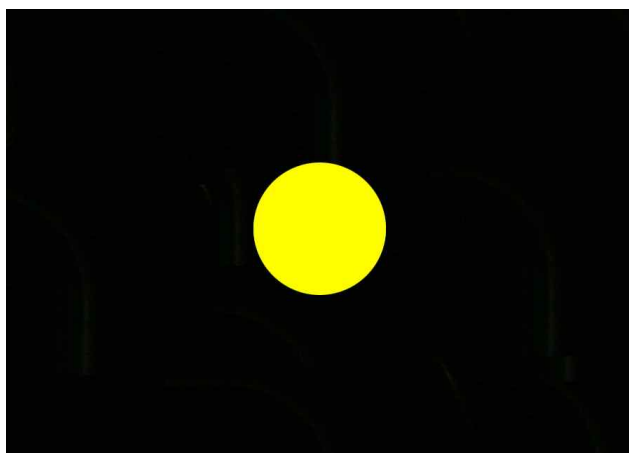


그림 35 자외선 형광창의 형광 사진

<그림 30> (B)의 특수 2중필터(20)에 결합된 태양광 투과필터의 특성이 아래 표와 그림에 제시되어 있다. 이 필터는 특수 제작된 사양이며 일반 상업적인 부품이 아니다. 원래 개발 의도는 230nm 이상의 파장을 모두 투과시키는 필터를 제작하고자 하였으나 그런 필터를 제작하는 광학회사를 찾을 수 없었다. 아래 그림에서 알 수 있듯이 이 필터는 310nm 이상의 파장에 대해서 투과율이 높다. 그러나 이 파장에 대해서도 100% 투과하는 것이 아니라 10% 이하의 광손실이 발생한다. 따라서 두 가지 광경로 상의 광량에 있어서, 태양광으로부터의 자외선 광량에 대한 정밀한 보정 절차를 거쳐야 한다.

| 항 목   | 특 성                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 품명    | Specialized Solar Filter(300nm Edge Filter)                                                                                                                                                                                                                                  |
| 파장특성  | The wavelength longer than 300nm shall be transmitted of more than 80% of incident intensity. The wavelength shorter than 300nm shall be blocked of more than 99.9% of incident intensity 1X10 <sup>-4</sup> avg. from X-ray to FIR.<br>Maximum survival : CW/L 340 to 800nm |
| 필터 크기 | 25.0mm+/-0.25                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 표면품질  | 80-50(Per MIL-O-13830)                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 사용 온도 | 23℃                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 형상 오차 | Less than 0.05mm, and 0.1°                                                                                                                                                                                                                                                   |

표 12 태양광 투과 필터의 사양

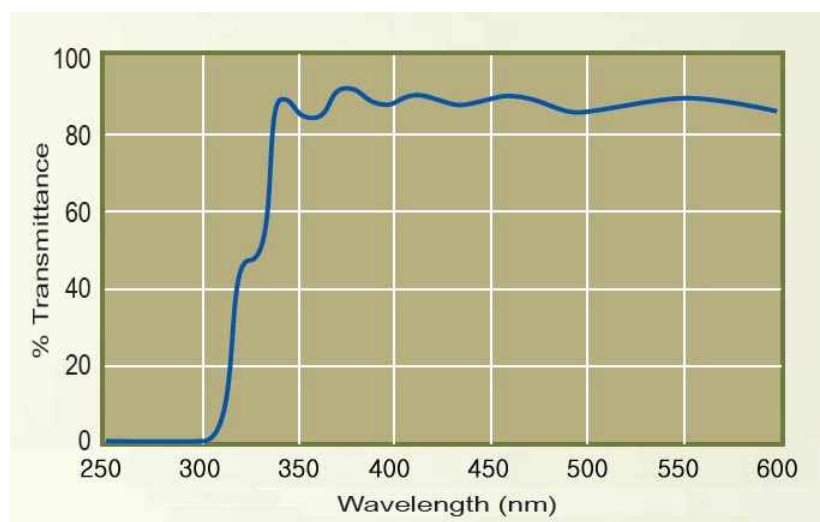


그림 36 태양광 투과 필터의 특성

아래는 본 연구에서 제작한 광섬유케이블의 도면이 제시되어 있다. 두 가지 광 경로로 광을 분리해서 전달하기 위하여 두 갈래의 광섬유케이블이 일체형으로 제작되었다.

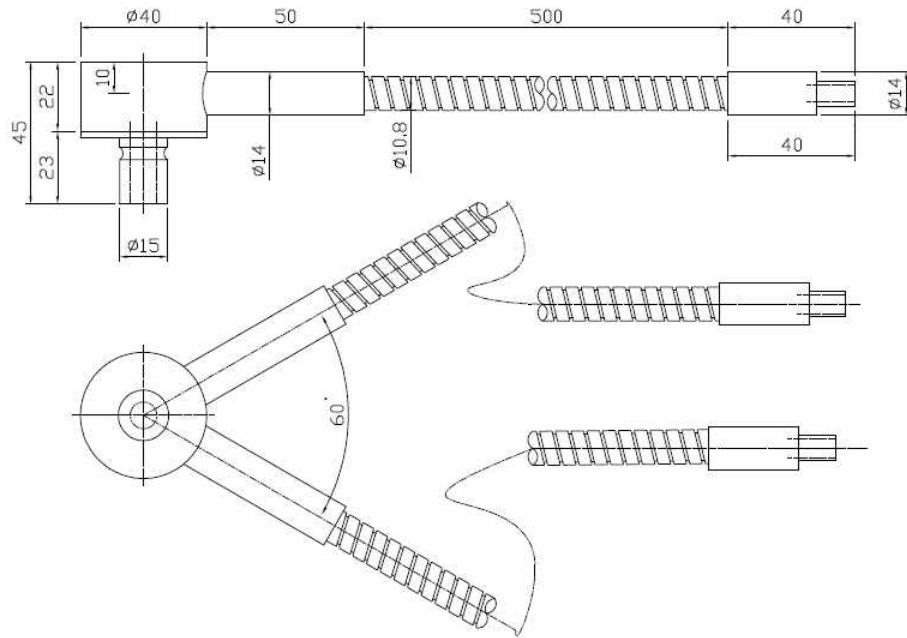


그림 37 광섬유 케이블의 도면

아래 그림 및 표에는 본 연구에서 채택한 일본 H사의 광증배관의 외관 사진과 사양이 제시되어 있다. 표로부터 알 수 있듯이 응답속도를 나타내는 Rise Time이 1.5ns로 매우 빠르다. 본 연구에서 개발하고자 하는 아크 검출기의 응답속도( $T_{90}$ )은  $1\mu s$  이내이어야 한다. 따라서 광증배관의 응답속도는 충분하다.



그림 38 광증배관의 원관

| Parameter                                    |                        |      | Specifications              | Unit  |
|----------------------------------------------|------------------------|------|-----------------------------|-------|
| Spectral Response                            |                        |      | 300 to 650                  | nm    |
| Input Voltage                                |                        |      | +11.5 to +15.5              | V     |
| Max. Input Voltage                           |                        |      | +18                         | V     |
| Max. Input Current                           |                        |      | 3.0                         | mA    |
| Max. Output Signal Current                   |                        |      | 100                         | μA    |
| Max. Control Voltage                         |                        |      | +1.2 (Input impedance 1 MΩ) | V     |
| Recommended Control Voltage Adjustment Range |                        |      | 0.5 to 1.1                  | V     |
| Effective Photocathode Area                  |                        |      | φ22                         | mm    |
| Sensitivity Adjustment Range                 |                        |      | 1: 1000                     | —     |
| Peak Sensitivity Wavelength                  |                        |      | 420                         | nm    |
| Cathode                                      | Luminous Sensitivity   | Min. | 60                          | μA/lm |
|                                              |                        | Typ. | 90                          |       |
|                                              | Blue Sensitivity Index | Typ. | 10.5                        | —     |
|                                              | Radiant Sensitivity    | Typ. | 85                          | mA/W  |
| Anode                                        | Luminous Sensitivity   | Min. | 40                          | A/lm  |
|                                              |                        | Typ. | 180                         |       |
|                                              | Radiant Sensitivity    | Typ. | 1.7 × 10 <sup>5</sup>       | A/W   |
|                                              |                        | Typ. | 3                           |       |
|                                              | Dark Current           | Max. | 20                          | nA    |
|                                              |                        | Typ. | 1.5                         |       |
| Rise Time                                    |                        | Typ. | 1.5                         | ns    |
| Ripple Noise (peak to peak)                  |                        | Max. | 0.5                         | mV    |
| Settling Time                                |                        | Max. | 10                          | s     |
| Operating Ambient Temperature                |                        |      | +5 to +50                   | °C    |
| Storage Temperature                          |                        |      | -20 to +50                  | °C    |
| Weight                                       |                        |      | 170                         | g     |

그림 39 광증배관의 사양

## 5. 고속 데이터 수집 장치 개발

4채널 500kS/s의 A/D변환회로, TCP-IP 통신회로, 고성능 CPU(ARM 32bit, Cortex M3)를 적용한 고속 마이크로컨트롤러와 펌웨어 등을 개발하였다. 뿐만 아니라, 고속 마이크로컨트롤러에는 광증배관의 제어회로 및 증폭회로가 함께 집적되었다.

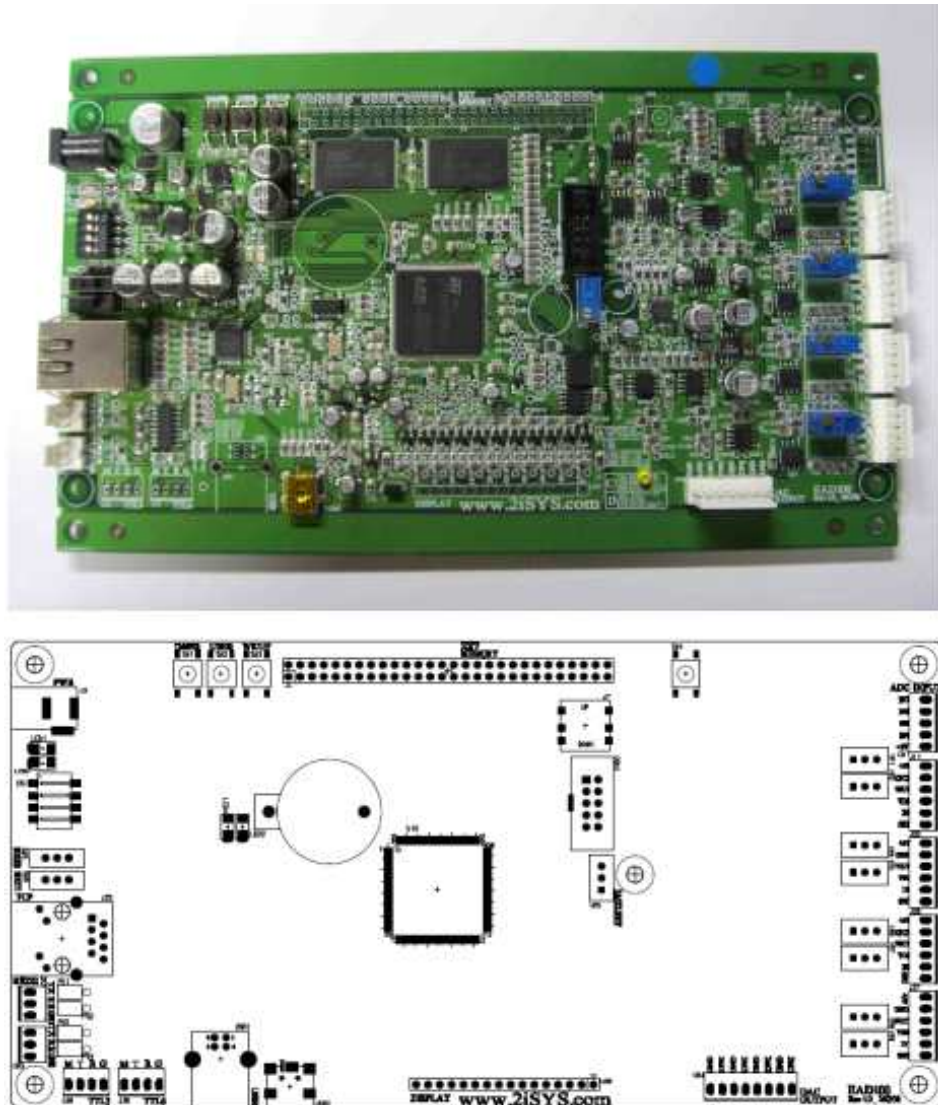


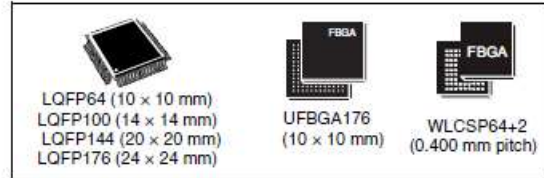
그림 40 고속 마이크로 컨트롤러 외관

# ARM-based 32-bit MCU, 150DMIPs, up to 1 MB Flash/128+4KB RAM, USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 15 comm. interfaces & camera

Datasheet – production data

## Features

- Core: ARM 32-bit Cortex™-M3 CPU with Adaptive real-time accelerator (ART Accelerator™) allowing 0-wait state execution performance from Flash memory, frequency up to 120 MHz, memory protection unit, 150 DMIPS/1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1)
- Memories
  - Up to 1 Mbyte of Flash memory
  - 512 bytes of OTP memory
  - Up to 128 + 4 Kbytes of SRAM
  - Flexible static memory controller that supports Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR and NAND memories
  - LCD parallel interface, 8080/6800 modes
- Clock, reset and supply management
  - From 1.65 to 3.6 V application supply and I/Os
  - POR, PDR, PVD and BOR
  - 4 to 26 MHz crystal oscillator
  - Internal 16 MHz factory-trimmed RC (1% accuracy at 25 °C)
  - 32 kHz oscillator for RTC with calibration
  - Internal 32 kHz RC with calibration
- Low power
  - Sleep, Stop and Standby modes
  - V<sub>BAT</sub> supply for RTC, 20 × 32 bit backup registers, and optional 4 KB backup SRAM
- 3 × 12-bit, 0.5 μs A/D converters
  - up to 24 channels
  - up to 6 MSPS in triple interleaved mode
- 2 × 12-bit D/A converters
- General-purpose DMA
  - 16-stream DMA controller with centralized FIFOs and burst support
- Up to 17 timers
  - Up to twelve 16-bit and two 32-bit timers, up to 120 MHz, each with up to 4 IC/OC/PWM or pulse counter and quadrature (incremental) encoder input
- Debug mode
  - Serial wire debug (SWD) & JTAG interfaces
  - Cortex-M3 Embedded Trace Macrocell™



- Up to 140 I/O ports with interrupt capability:
  - Up to 136 fast I/Os up to 60 MHz
  - Up to 138 5 V-tolerant I/Os
- Up to 15 communication interfaces
  - Up to 3 × I<sup>2</sup>C interfaces (SMBus/PMBus)
  - Up to 4 USARTs and 2 UARTs (7.5 Mbit/s, ISO 7816 interface, LIN, IrDA, modem control)
  - Up to 3 SPIs (30 Mbit/s), 2 with muxed I<sup>2</sup>S to achieve audio class accuracy via audio PLL or external PLL
  - 2 × CAN interfaces (2.0B Active)
  - SDIO interface
- Advanced connectivity
  - USB 2.0 full-speed device/host/OTG controller with on-chip PHY
  - USB 2.0 high-speed/full-speed device/host/OTG controller with dedicated DMA, on-chip full-speed PHY and ULPI
  - 10/100 Ethernet MAC with dedicated DMA: supports IEEE 1588v2 hardware, MII/RMII
- 8- to 14-bit parallel camera interface: up to 48 Mbyte/s
- CRC calculation unit
- 96-bit unique ID
- Analog true random number generator

Table 1. Device summary

| Reference   | Part number                                                                                                                                                                          |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STM32F205xx | STM32F205RB, STM32F205RC, STM32F205RE, STM32F205RF, STM32F205RG, STM32F205VB, STM32F205VC, STM32F205VE, STM32F205VF, STM32F205VG, STM32F205ZC, STM32F205ZE, STM32F205ZF, STM32F205ZG |
| STM32F207xx | STM32F207IC, STM32F207IE, STM32F207IF, STM32F207IG, STM32F207ZC, STM32F207ZE, STM32F207ZF, STM32F207ZG, STM32F207VC, STM32F207VE, STM32F207VF, STM32F207VG                           |

그림 41 고속 마이크로 컨트롤러 CPU사양

운용체제는 향후 확장성을 고려하여 범용 O/S인 Linux가 탑재되었다.

광학식 이선검출기의 인터페이스가 TCP/IP통신이 가능하도록 제작하였으며 이는 향후 수광부와 DAQ부를 일체화한 모듈형 광학식 이선 검출기 제작 시에 전원도 PoE 방식으로 공급함으로써 LAN케이블 하나만으로 차탐에 설치된 센서와 연결이 가능하도록 한다. 아래는 ARC-DAQ와 Host간의 통신 프로토콜을 정의한다. 가능한 흐름제어를 단순화하고 여러 대의 ARC-DAQ와 연결이 가능하며 다른 장치들에도 사용할 수 있도록 확장성을 고려하여 설계하였다.

#### □ ARC-DAQ 통신 프로토콜 정의

##### (1) 개요

DAQ와 Host간에는 TCP/IP로 연결하며 DAQ가 네트워크 서버 역할을 Host가 네트워크 클라이언트 역할을 한다.

Host는 여러 대의 DAQ와 접속할 수 있고 각 DAQ로부터 동기화된 샘플링 데이터를 취득한다.

Host장치 간에 데이터를 전송할 때에도 서버 역할을 하는 호스트가 DAQ역할을 하며 본 프로토콜을 동일하게 적용한다.

본 프로토콜을 485등 시리얼 통신에 적용할 시에는 STX, CRC, ETX 등을 프레임 양단에 추가하고 LEN, SEQ등 헤더 필드는 통신 속도 및 데이터 량에 맞게 그 크기를 조절한다.

##### (2) 전송 프레임 포맷.

###### ① ACK 프레임

| Length | Type | SQ No | CH. ID |
|--------|------|-------|--------|
| (4)    | (1)  | (4)   | (1)    |

- a. Length - Length를 포함한 전체 Packet 길이(byte) (10바이트)
- b. Type - ACK(0)
- c. SQ No - 수신한 packet seq. no.

예)

| Length<br>(4) | Type<br>(1) | SQ No<br>(4) | CH. ID<br>(1) |
|---------------|-------------|--------------|---------------|
| 10            | ACK(0)      | 1234         | 0             |

## ② DATA 프레임

| Length<br>(4) | Type<br>(1) | SQ No<br>(4) | CH. ID<br>(1) | Sample<br>Rate<br>(4) | Data.<br>Type<br>(1) | Data<br>QTY<br>(2) | Sample<br>Data<br>(n개) |
|---------------|-------------|--------------|---------------|-----------------------|----------------------|--------------------|------------------------|
|---------------|-------------|--------------|---------------|-----------------------|----------------------|--------------------|------------------------|

- a. Length - Length를 포함한 전체 Packet 길이(byte)
- b. Type - DATA(1)
- c. SQ No - 패킷 전송시 오름차순으로 시퀀스번호 부여 (0,1,2, ...,n,n+1,...)
- d. CH ID - 데이터 채널 ID (default: 0)
- e. SampRate - Hz단위. 10kHz이면 10000으로설정(100kHz이면 100000으로 설정)
- f. DataType - 샘플 데이터 타입을 정의

0 - CHAR (8bit)

1 - UCHAR (8bit)

2 - SHORT (16bit)

3 - USHORT (16bit)

4 - LONG (32bit)

5 - ULONG (32bit)

6 - FLOAT (32bit)

7 - DOUBLE (64bit)

- g. Data QTY - 전송할 샘플 데이터 수

- h. Data - 샘플 데이터 필드 (샘플 데이터 x QTY개)

예) 10khz단위로 측정중인 아크데이터를WORD 타입으로 1,000개 전송 시

| Length<br>(4) | Type<br>(1) | SQ No<br>(4) | CH. ID<br>(1) | Sample<br>Rate<br>(4) | Data.<br>Type<br>(1) | QTY<br>(2) | Sample Data<br>(n) |
|---------------|-------------|--------------|---------------|-----------------------|----------------------|------------|--------------------|
| 2018          | DATA(1<br>) | 1234         | 0             | 10000                 | 3                    | 1000       | 2000               |

### ③ 송수신 시퀀스

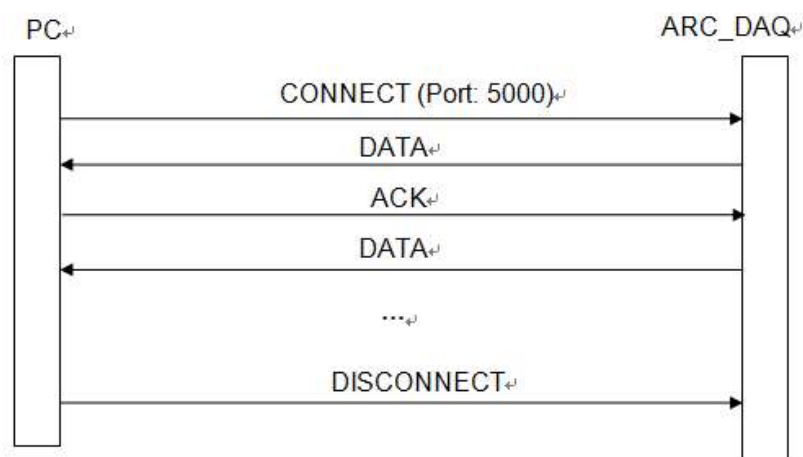


그림 42 송수신 시퀀스

- TCP/IP 통신 방식을 사용하며 네트워크 포트는 5000번을 사용한다. PC가 클라이언트, ARC\_DAQ가 서버가 된다.
- ARC\_DAQ는 소켓 연결이 되면 DATA전송을 자동으로 시작하고 소켓 연결이 해제될 때까지 전송을 반복한다.
- ARC\_DAQ는 네트워크 트래픽을 감안하여 지정 수 만큼의 샘플 데이터가 모이면 DATA를 전송한다.  
예) 10kHz샘플링 시 - 1,000개, 100kHz샘플링 시 - 4,000개
- PC는 DATA가 정상적으로 수신되면 ACK로 응답한다. 수신 DATA이상 시에는 별도 응답을 하지 않는다. (실시간 통신이므로 이상 프레임은 재시도 없이 손실 처리됨)
- ARC\_DAQ는 네트워크 트래픽 제어를 위해 DATA 패킷을 일정 수량(1초 정도) 버퍼링하고 있어야 하며 버퍼가 다 찰 때까지 ACK가 수신되지 않으면 가장 오래된 패킷부터 삭제한다.

## 6. 기본 성능 검증 시스템 제작

아래는 개발한 아크센서 성능을 위해 제작한 검증 시스템(테스트베드) 사진과 구성을 나타낸다. 아크 성능 검증 시스템은 아크센서의 주요 성능 지표인 응답속도, 최소감도, 검출각도 등을 시험할 수 있도록 제작하였다.

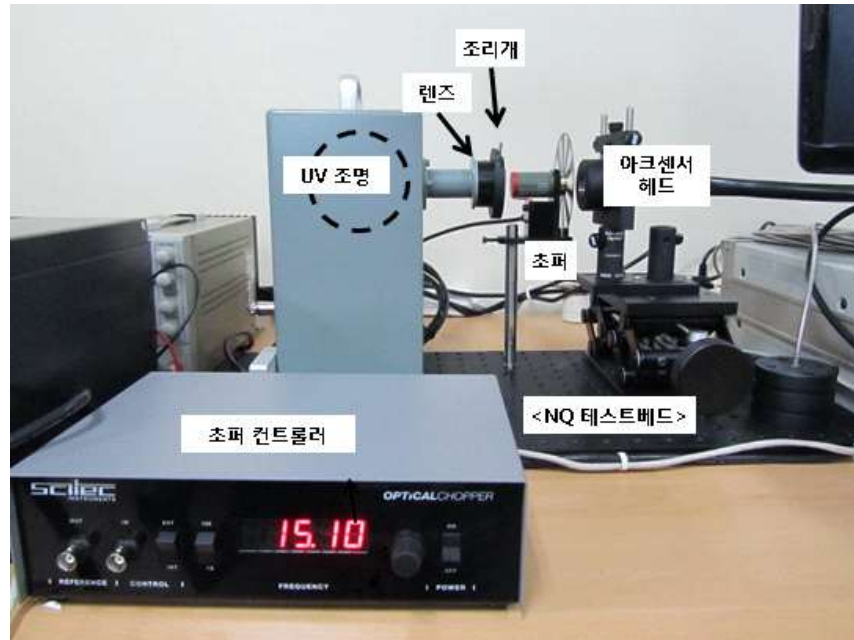


그림 43 아크 센서 성능 검증 시스템의 외관

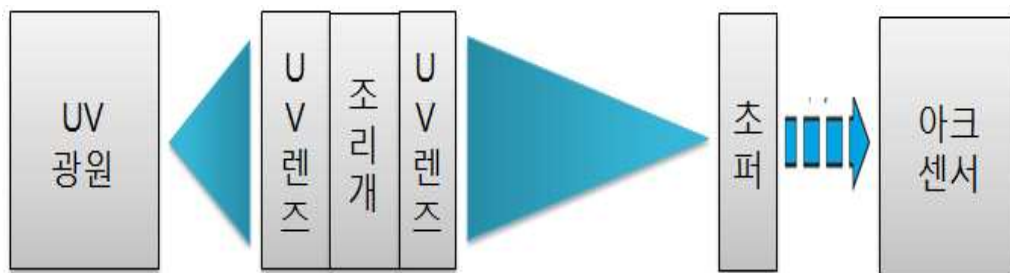


그림 44 아크 센서 성능 검증 시스템의 광학계 구성

자외선 광원을 렌즈를 통해 집광하고 조리개로 광량을 조절하며 초퍼로 광펄스를 만들도록 제작하였다. 센서 내에 220nm필터가 내장되어 있고 렌즈도 240nm이상은 차단하는 UV렌즈로 다른 파장(330nm) 대역의 실험이 필요하지 않아 대역필터(BPF) 휠은 따로 사용하지 않았다.

아래 그림은 UV광원 기구도면을 나타낸다. 아크센서 기본 성능을 검증할 뿐만 아니라 현장에서 설치한 후에 센서 동작 성능을 검증하는 데도 사용할 수 있도록 휴대성을 고려하여 설계하였다.

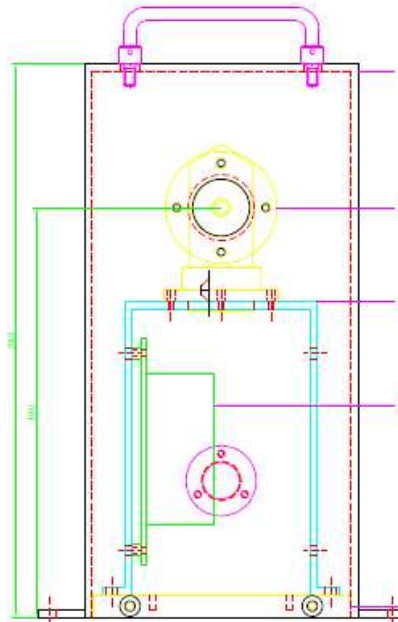


그림 45 UV광원 기구 도면

아래 그림과 표에 UV광원의 파장 특성과 사양이 제시되어 있다. 전차선과 판토 사이 이션 발생시 생성되는 아크 광원과 동일한 파장을 발생시키는 광원으로 스펙트럼 특성을 보면 220nm 대역에서 광도가 가장 센 것을 알 수 있으며 광원의 안정도도 0.05%로 매우 높아 아크센서 시험용 광원으로 적합함을 알 수 있다.

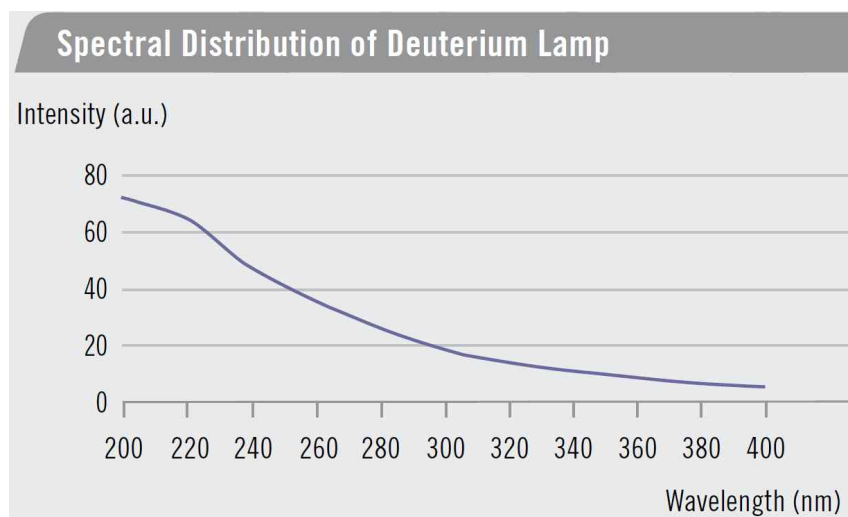


그림 46 UV광원의 스펙트럼 특성

| 항목                  | 사양                 |
|---------------------|--------------------|
| Spectral Range      | 190nm ~ 360nm      |
| Light Aperture Size | 0.5mm (nominal)    |
| Life Time           | ≥ 2000h            |
| Stability           | ≤ 0.005%p-p @ 250m |
| Power               | 30W                |

표 13 UV광원 사양

아래 그림과 표에 UV렌즈의 사진과 사양이 제시되어 있다. UV렌즈는 UV조명의 파장 중에서 240 nm 이상의 파장은 차단시키고, 아크 센서 헤드에 입사하는 출력을 강하게 하기 위해 빛을 집광시키는 역할을 한다. 초점거리가 각각 50mm, 150mm인 렌즈를 2개 사용하였으며 첫 번째 렌즈는 UV광원 평행광으로 만들고 두 번째 렌즈는 초퍼가 위치한 150mm지점에 광원을 집중한다.

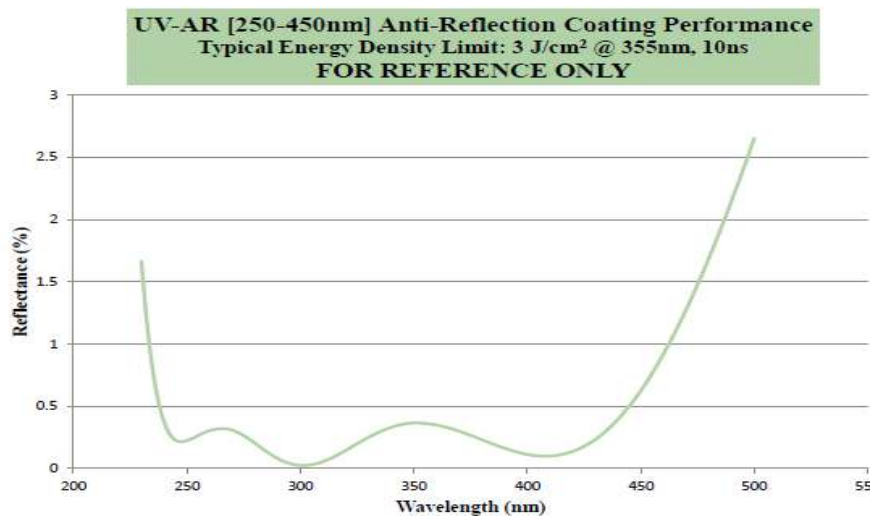


그림 47 UV렌즈 파장 특성

| 구분                              | 내용                                                                                                                     |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diameter (mm)                   | 25.00                                                                                                                  |
| Clear Aperture CA (mm)          | 24.00                                                                                                                  |
| Effective Focal Length EFL (mm) | 50.00                                                                                                                  |
| Back Focal Length BFL (mm)      | 46.00                                                                                                                  |
| Design Wavelength DWL (nm)      | 587.6                                                                                                                  |
| Coating                         | UV-AR, $R_{abs} \leq 1.0\%$ @ 250 - 425nm<br>$R_{avg} \leq 0.75\%$ @ 250 - 425nm<br>$R_{avg} \leq 0.5\%$ @ 370 - 420nm |
| Typical Energy Density Limit    | 3 J/cm <sup>2</sup> @ 355nm, 10ns                                                                                      |

표 14 UV렌즈 사양

아래 그림과 표에 조리개 사진 및 사양이 제시되어 있다. 아크 센서 헤드에 입사하는 UV 조명의 광도를 조절하는 역할을 한다.



그림 48 조리개 사진

| 구분                    | 내용   |
|-----------------------|------|
| Outer Diameter (mm)   | 53.0 |
| Maximum Aperture (mm) | 37.0 |
| Minimum Aperture (mm) | 1.50 |

표 15 조리개 사양

아래 그림과 표에 초퍼 사진과 사양이 제시되어 있다. 초퍼는 아크센서 바로 전단에 서 일정한 주기로 광을 차단하여 광펄스를 생성하는 역할을 한다.



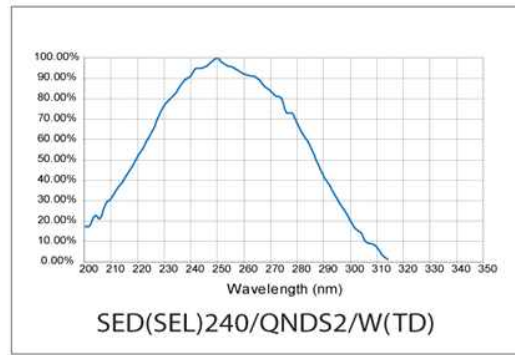
그림 49 초퍼 사진

| 구분                                    | 내용                                                  |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Frequency Range                       | 5Hz ~ 20kHz                                         |
| Slot Variants Included                | 2, 5, 10, 30, 200                                   |
| Mark-Space Ratio                      | 1:1 When Using 1 Blade                              |
| Temperature Coefficient @ 25°C (%/°C) | >0.01                                               |
| Frequency Stability (%)               | > ±0.1 of Reading within 10 - 100% of Max Frequency |

표 16 초퍼 사양

초퍼는 슬롯 개수에 따라 200개 짜리 블레이드(chopping blade)를 사용하면 최대 20kHz까지 모듈레이션이 가능한 사양이나 아크센서 주요 성능 지표는 반응 속도로 슬롯 10개짜리 블레이드를 사용하여 최대 1070Hz에서 시험을 하였다. UV렌즈로 집광된 빔 직경이 2mm정도로 블레이드 직경이 100mm이고 초당 100회의 속도로 회전할 때 블레이드의 슬롯 수에 관계없이 rising time이 ~100us인 펄스가 만들어진다. rising time을 더 줄이기 위해서는 집광된 빔의 직경을 더 줄이거나 블레이드의 회전 속도를 더 높일 필요가 있다.

아래 그림은 감도 보정에 사용한 광도계 ILT1400/SEL240의 사양과 스펙트럼 특성을 나타낸다. Center Wavelength가 220nm근처인 제품이 없으므로 240nm 제품이나 185nm 제품을 이용하여 상대적인 크기로 감도를 보정한다. 이상적으로는 220nm ~ 225nm 대역만을 필터링하여 측정하여야 하나 BPF의 대역폭이나 투과율에 편차가 있어 정확한 감도 측정에는 한계가 있다.



**Measurement Range:**  $3.33\text{e}^{-5}$  to  $3.33\text{e}^{-1}$  Watts/cm<sup>2</sup>  
**Spectral Range:** 185 – 320 nm, calibration wavelength at 254 nm  
**Order part number:** ILT1400 (meter), SEL240/QNDS2/TD (detector)  
**Dimensions:** 65 mm x 42 mm diameter

그림 50 ILT1400/SEL240 사양 및 특성

## 7. 아크 센서 기본 성능 검증

본 연구에서 개발한 아크 검출 시스템을 이용해서 직사광의 신호를 측정하였다. 아래 표에 배경신호(Background signal), 표준광원신호와 함께 제시되어 있다. 배경신호는 아크 신호 대비 0.02% 이내였으며 이 값은 광학부의 창을 막아서 광이 전혀 입사되지 않고 있을 때의 출력신호이다. 직사광의 신호는 광학부의 창이 태양을 정면으로 마주보고 있을 때의 신호이며, 표준광원을 사용한 아크 신호 대비 1.33% 정도였다. 이 신호는 1초간 50만개의 데이터를 획득하여 평균한 값이다. 표준광원이 방전에 의하여 광을 생성시키기 때문에 평균한 값으로 처리하였다.

|   | Arc signal(V) | (%)   | REM.                   |
|---|---------------|-------|------------------------|
| 1 | 0.0008        | 0.02  | Background signal      |
| 2 | 0.0524        | 1.33  | Direct sunlight signal |
| 3 | 3.9437        | 100.0 | Lamp test signal       |

표 17 배경신호, 직사광신호 및 램프신호의 비교

아래 그림에는 화각(View angle) 시험 결과를 제시하였다. 1차년도 개발목표인 5° 이상을 만족하였다. 해외 기술보다 우수한 특성을 보여주고 있다.

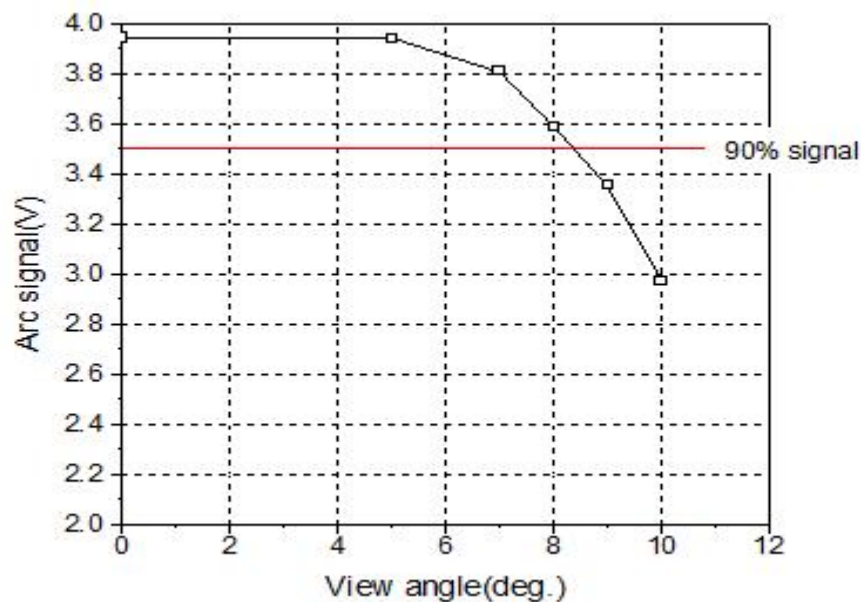


그림 51 화각(View angle) 시험 결과

아래는 응답성 시험을 한 결과이다. 초퍼 성능의 한계로 응답속도가 <100us 미만인 것만을 확인 하였다. 아크센서 설계 사양으로는 10us 정도를 충분히 달성할 것으로 사려되며 2차년도에 테스트베드를 보완한 후 추가로 성능을 확인할 계획이다.

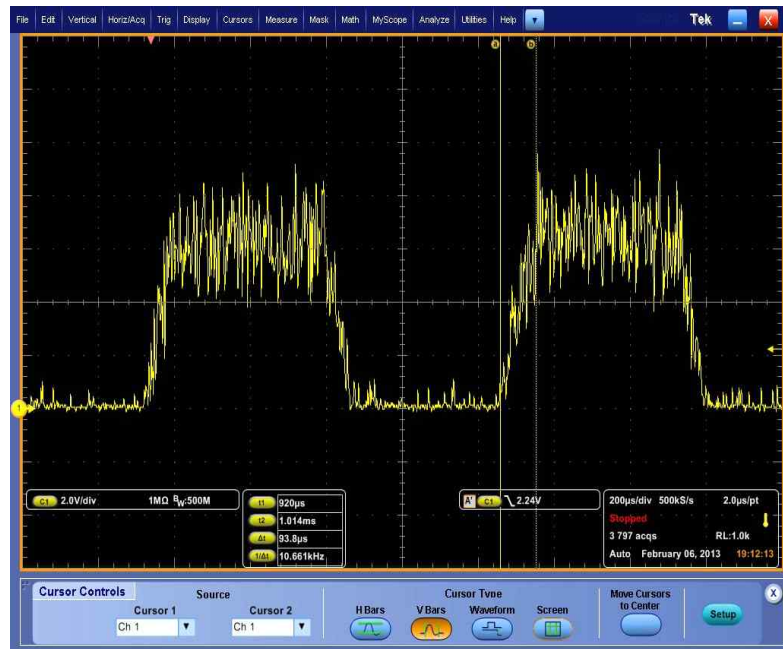


그림 52 응답성 시험 결과 ( $\Delta t = 93.8\mu s$ )

## 8. 광학식 이선 검출기 시제품 제작 사양

본 연구를 통해서 개발된 아크 검출 시스템의 성능을 아래 표에 요약하였다.

|    | 성능 항목                  | 사양                                                  | 비 고                                               |
|----|------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1  | 검출파장(nm)               | 220~225                                             | - UV 밴드패스필터 적용                                    |
| 2  | 차단파장(nm)               | 300nm이상 99% 제거                                      | - Solar 필터 추가 적용<br>- 태양광 노이즈는 아크 최대 측정 신호의 1% 미만 |
| 3  | UV 반사경                 | 5:5 광학분할구조<br>Zn 코팅 SUS304                          | - $R_{max} < 0.1\mu m$<br>- 반사율 > 80%             |
| 4  | UV 발광창 응답속도            | $10^{-9}(ns)$ 미만                                    | - UV 흡광 후 가시광선 발광                                 |
| 5  | 광증배관 응답속도              | 0.6ns                                               |                                                   |
| 6  | 광증배관 증폭출력              | 0~10VDC                                             |                                                   |
| 7  | 화각(View Angle)         | $\geq 5.0^{\circ}$                                  | - 추가연구를 통해서 확장 가능할 것으로 판단됨.                       |
| 8  | 아크 반응속도                | 5~10 $\mu s$                                        | - 100 $\mu s$ 미만의 아크의 처음과 끝에 반응                   |
| 9  | 아크 시간                  | 5ms 이상 아크 측정                                        | - 옵션으로 0.1~5.0ms 사이에서 조정 가능                       |
| 10 | 아크 수                   | 누적 회수 측정                                            |                                                   |
| 11 | 최저아크강도( $\mu W/cm^2$ ) | 0.2 미만                                              | - 직사광 없을 때.<br>- 직사광 노이즈는 1.0 미만                  |
| 12 | 아크측정범위( $\mu W/cm^2$ ) | 0.0~1000                                            | - 증폭회로 제어를 통해서 측정범위 가변 조정                         |
| 13 | 이선율 계산                 | 실시간 계산                                              |                                                   |
| 14 | 광전송 케이블                | 최대 40m                                              |                                                   |
| 15 | 측정 차량 속도               | 최대 700km/h                                          |                                                   |
| 16 | 마이크 CPU                | ARM 32bit Cortex-M3,<br>150 DMIPS, 1MB Flash<br>Ram | - Linux 기반                                        |
| 17 | 아크강도 입력                | 16bit, 500kS/sec<br>4channels, 0~10V                |                                                   |
| 18 | 아크강도 출력                | 12bit, 500kS/sec<br>2channels, 0~10V                |                                                   |
| 19 | 디지털 통신                 | TCP-IP(10/100Mbps),<br>RS422, RS232                 |                                                   |
| 20 | EN50317 만족 여부          | 만족                                                  |                                                   |

표 18 아크 검출시스템의 개발결과물의 성능 요약

## 제2절. 이선 전류 파형 분석 알고리즘 개발 및 검증

### 1. 이선 전류파형 분석 알고리즘 개발

#### □ 전류식 이선 검출 개요

<그림53> 은 전류식 이선 측정 방법에 대한 개념도이다. 팬터그래프 고압측 부스에 접속한 회로의 팬터 전류를 측정하여 이선을 검출하며 이선시 측정대상 팬터그래프 전류는 영(zero)이 된다.

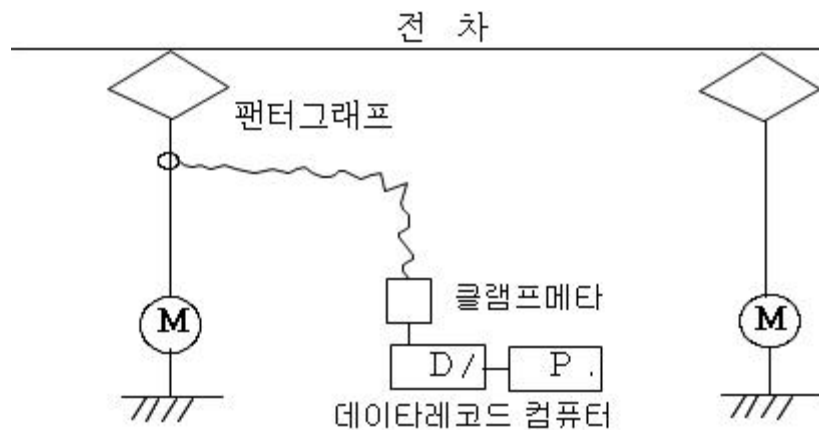


그림 53 전류식 이선 측정 개요 (출처:KRRI)

실제 양쪽 팬터그래프는 인통선을 통해 연결되어 있다. 국내의 경우는 한쪽 팬터그래프만 상승하여 집전을 하지만 일본의 경우는 양쪽 팬터그래프로 동시에 집전을 한다. <그림54>는 양쪽 팬터그래프로 집전을 하고 변압기 인입단과 인통선에서 전류를 취득한 경우 양쪽 팬터그래프의 전류를 구하는 방법을 보여주고 있다.

팬터그래프단의 전류를 직접 측정할 지 아니면 변압기 인입단과 인통선의 전류의 차를 구할 지는 전류 미터의 설치 여건에 따라 선정하며 최종적인 팬터그래프 전류가 이선 전류 파형 분석 알고리즘의 입력값이 된다.

<그림55>는 이선 전류 파형 분석의 개요를 보인 것으로 팬터그래프 전류 입력을 받아 크게 아래의 과정을 거쳐 이선을 검출한다.

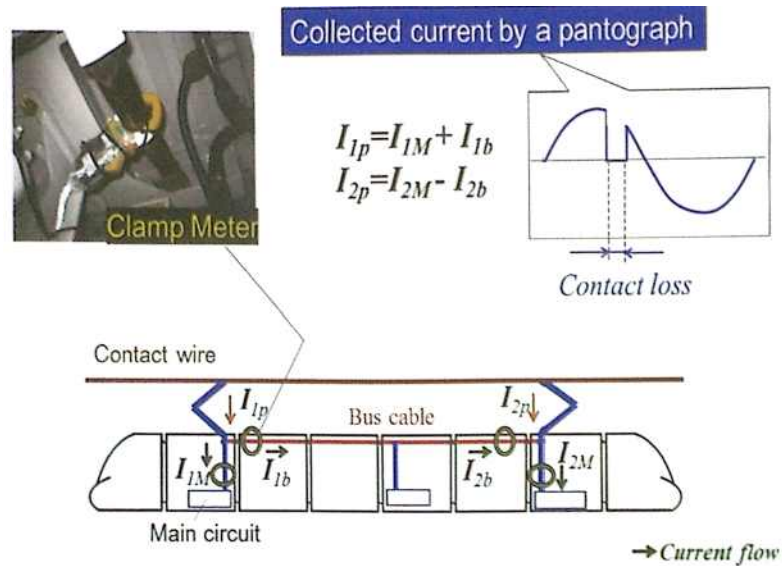


그림 54 전류식 이선 측정 개요도 (출처:RTRI)

- LPF 및 일련의 처리과정을 거쳐 종이선 및 대이선 검출
- HPF 및 일련의 처리과정을 거쳐 소이선 검출
- 소이선, 종이선 및 대이선 검출 결과를 합하여 검출 결과 출력
- Zero crossing을 이선 검출에서 제외
- 향후 Notch condition 을 이선 검출에서 제외

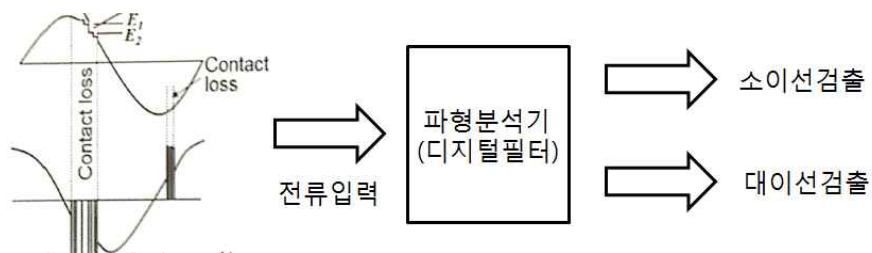


그림 55 이선 전류 파형 분석 개요도

Notch condition은 절연구간을 통과할 때 MCB를 차단하는 것으로 전압을 같이 취득해야 이 조건을 알 수 있으므로 1차년도에는 고려하지 않았다. 아래 그림은 Notch-off Operation에 대한 설명으로 절연구간을 통과할 시에는 MCB를 차단해야 하며 그렇지 않을 시에는 절연구간 진입 시나 진출 시에 전차선과 팬터그래프 간에 대규모 아크가 발생하게 된다.

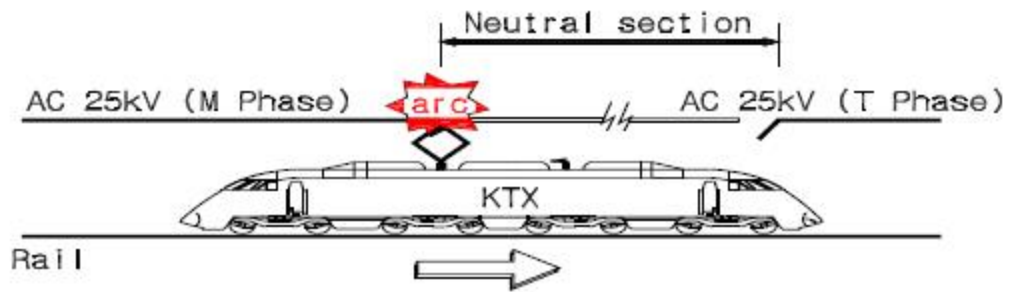


그림 56 Notch-off Operation

#### □ 이선 전류 파형 분석 알고리즘 흐름

다음은 이선 전류 분석 알고리즘의 흐름과 각 단계별 처리 내용을 설명한다.

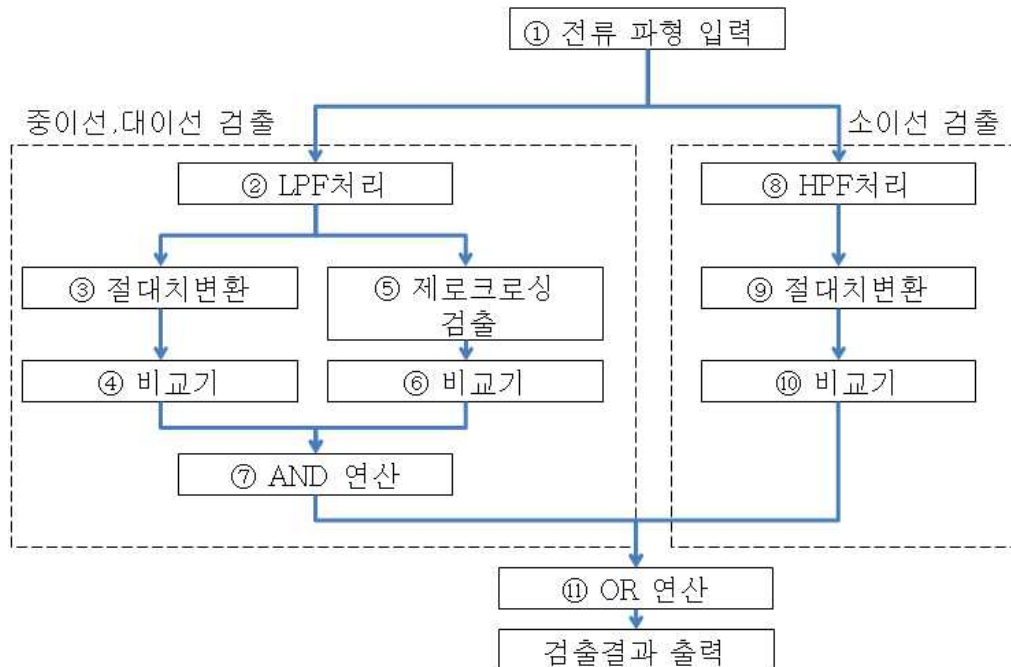
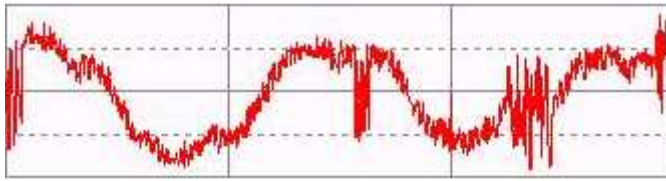


그림 57 이선 전류 파형 분석 알고리즘 흐름도

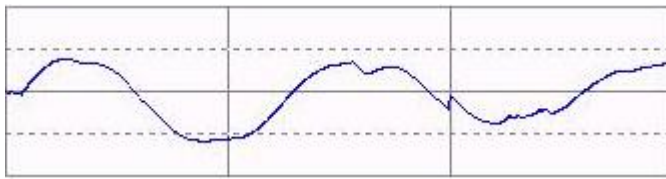
#### ① 전류 파형 입력

팬터그래프 전류의 파형(순시값)을 입력 받는다. 변압기전류와 인통선 전류를 받은 경우는 그 차를 입력한다.



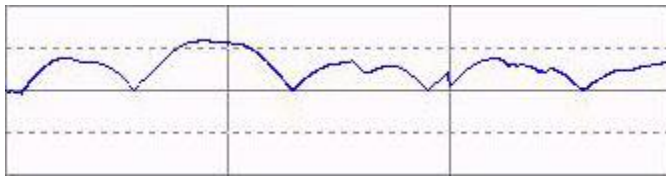
## ② LPF 처리

입력된 전류 파형에는 60Hz의 기본파형 이외에 고주파 노이즈 성분 및 소이선 파형, 저주파 대이선 파형 등이 섞여 있다. 이중에서 중이선, 대이선 파형을 검출하기 위해 저역통과 필터에 통과시켜 고주파 노이즈 성분 및 소이선 파형을 제거한다.



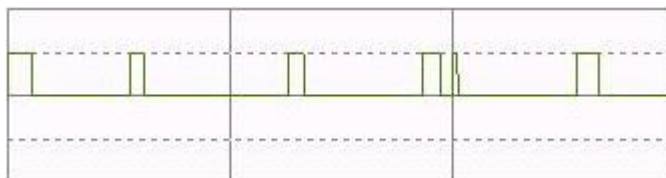
## ③ 절대치 변환

저역 통과 필터를 통과한 파형을 절대치 변환 처리한다



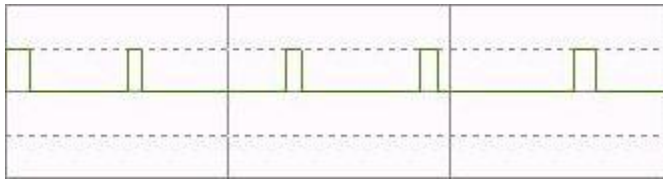
## ④ 비교기

전류가 0인 구간을 검출한다. 전류 파형에서 2가지 경우에 전류값이 0이 된다. 한 경우는 이선이 발생하는 구간에서 이고, 나머지 경우는 전류가 제로크로싱 되는 지점이다. 비교기에서 검출된 전류 0인 지점은 이 두가지 경우를 모두 포함한다.



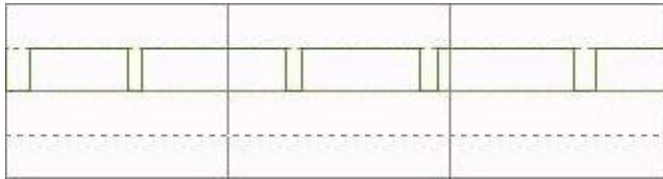
## ⑤ 제로크로싱 검출 ( “② LPF” 에서 출력된 신호 제로크로싱 검출)

LPF 처리된 전류 파형에서 이선이 아니며 전류값이 0인 지점을 찾기 위해, 제로 크로싱 검출 처리를 한다.



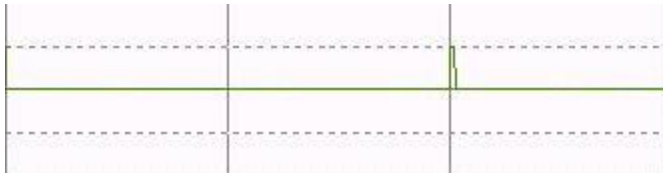
#### ⑥ 비교기

제로크로싱이 아닌 지점을 검출한다.



#### ⑦ AND 연산

“④ 비교기”에서 출력된 신호와 “⑥ 비교기”에서 출력된 신호에서 제로크로싱 지점이 아니며 전류가 0인 지점 (중이선, 대이선 발생지점)을 검출하기 위해 AND 처리를 한다.



#### <소이선 검출>

#### ⑧ HPF 처리

소이선의 경우 펄스형태의 고주파 신호이기 때문에 소이선을 검출하기 위해 “① 전류 파형 입력”에서 입력 받은 신호에 섞여 있는 저주파 성분을 제거하기 위해 고역 통과 필터를 사용한다.



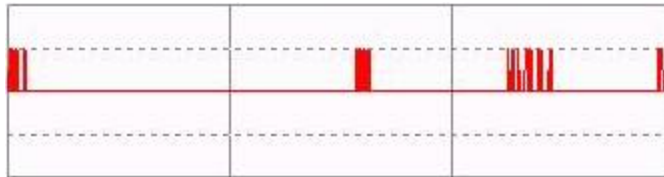
#### ⑨ 절대치 변환

고역 통과 필터를 통과한 파형을 절대치 변환 처리를 한다.



#### ⑩ 비교기

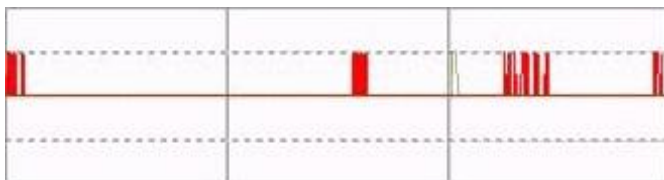
소이선 발생 구간을 검출한다.



< 이선 (소이선, 중이선 및 대이선) 검출 >

#### ⑪ OR 연산

“⑦ AND 연산” 에서 출력된 신호와 “⑩ 비교기” 에서 출력된 신호를 OR 연산 처리해서 소이선, 중이선 및 대이선 검출 신호를 출력한다.



### □ 디지털 필터

이상적인 저역통과 필터에 근접하도록 필터 설계는 주파수 응답을 통과 대역에서 충분히 평평하게 그리고 차단 주파수에서는 충분히 가파르게 떨어지도록 해야한다. 이러한 기준을 만족하기 위해 흔히 사용되는 필터 설계 중의 하나가 버터워스 필터이다. 아래는 N차 버터워스 필터의 수식이다.

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_c)^{2N}}}$$

차수 N이 커질 수록 크기 특성은 이상적인 필터 특성에 가까워진다. 아래는 버터워스 필터의 특성 그래프이다. RC저역통과 필터는 1차 버터워스 필터이다. 각각의 N 값에 대해서 크기 스펙트럼이 동일한 차단주파수  $\omega_c$ 를 갖고 있다.

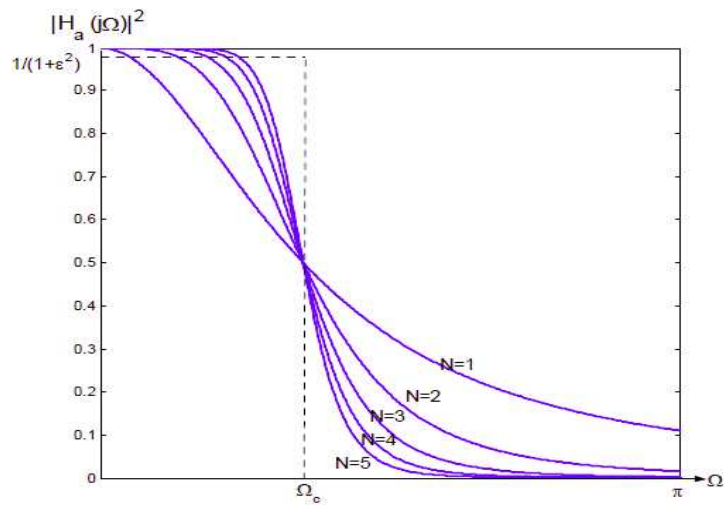


그림 58 버터워스 저역필터 특성

아래는 필터 타입 별로 게인 특성을 비교한 것이다.

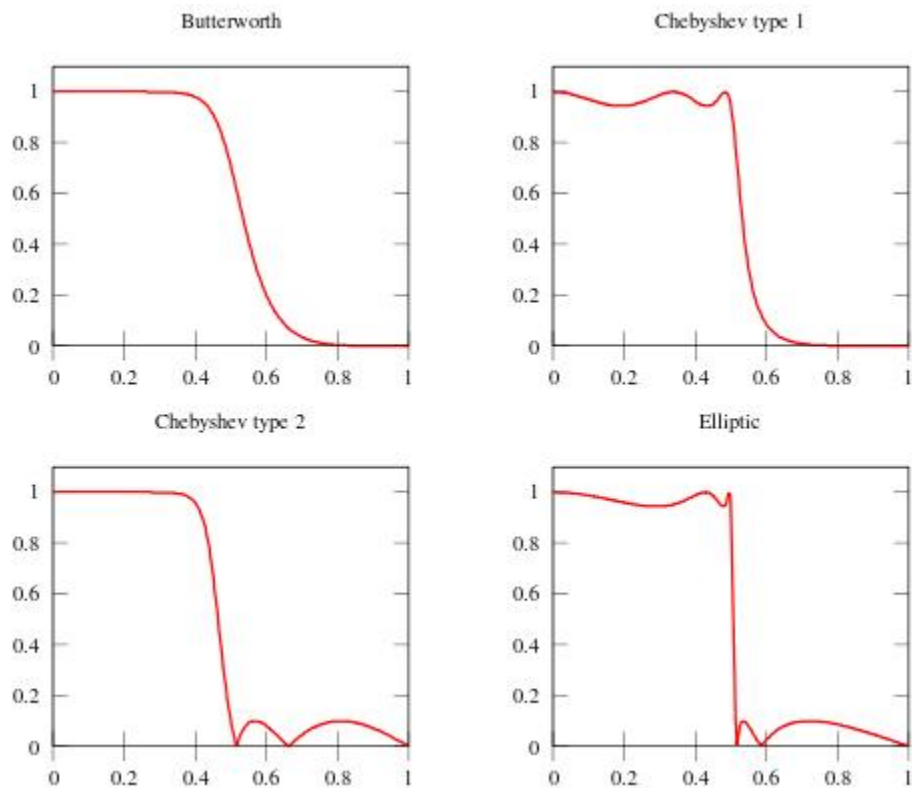


그림 59 필터 타입별 특성 비교 (n=5차)

1차년도에는 알고리즘 구현 및 기본 성능이 주 목적이므로 1차 저역통과 필터와 1차 고역통과 필터를 사용하였다. 아래 그림은 1차 버터워스 필터의 보데 플롯을 보인 것이다.

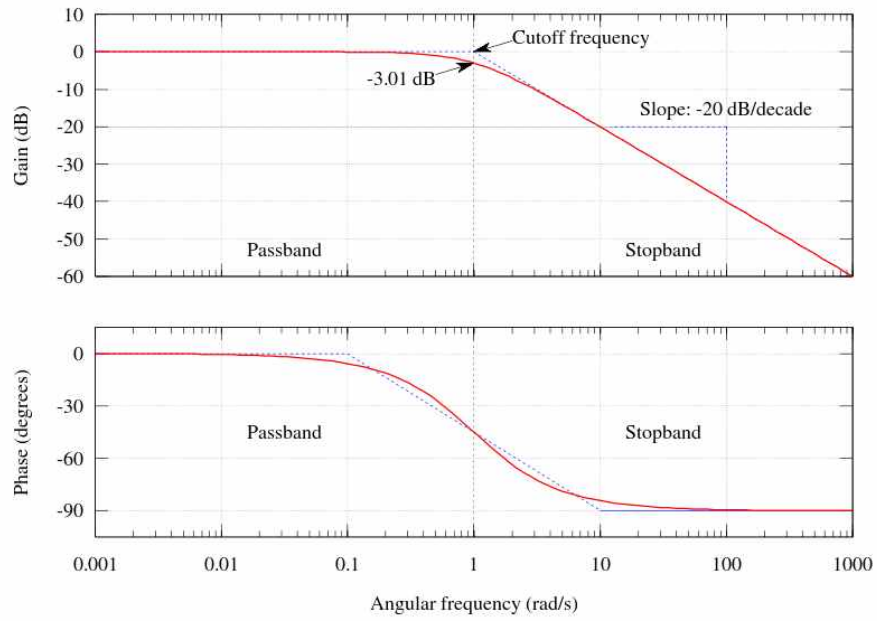


그림 60 1차원 버터워스 필터의 보데플롯

$$\begin{aligned}
 H(s) &= \frac{w_0}{s + w_0} \\
 &= \frac{w_0}{2f_s \frac{z-1}{z+1} + w_0} \\
 &= \frac{w_0 z + w_0}{(2f_s + w_0)z + (w_0 - 2f_s)} \\
 &= \frac{w_0 + w_0 z^{-1}}{(2f_s + w_0) + (w_0 - 2f_s)z^{-1}}
 \end{aligned}$$

아래는 1차원 저역 통과 필터(LPF)의 수식과 의사 코드이다.

위의 식을 정리하면  $\frac{Y(s)}{X(s)} = H(s)$  이므로

$$Y = \left(\frac{w_0}{2f_s + w_0}\right)X + \left(\frac{w_0}{2f_s + w_0}\right)z^{-1}X - \left(\frac{w_0 - 2f_s}{2f_s + w_0}\right)z^{-1}Y$$

Low Pass Filter 의사코드:

```

w0 = 2*3.14*CutOffFrequency;
a1 = (w0 - 2*SamplingFrequency)/(2*SamplingFrequency + w0);
b0 = w0/(2*SamplingFrequency + w0);
b1 = b0;

*Output = b0>(*Input) + b1>(*PastInput) - a1>(*PastOutput);
*PastOutput = *Output;
*PastInput = *Input;

```

아래는 1차원 고역 통과 필터(HPF)의 수식과 의사 코드이다.

$$\begin{aligned}
 H(s) &= \frac{s}{s + w_0} \\
 &= \frac{(2f_s)z - 2f_s}{(w_0 + 2f_s)z + (w_0 - 2f_s)}
 \end{aligned}$$

위의 식을 정리하면  $\frac{Y(s)}{X(s)} = H(s)$  이므로

$$Y = \left(\frac{2f_s}{w_0 + 2f_s}\right)X - \left(\frac{2f_s}{w_0 + 2f_s}\right)z^{-1}X - \left(\frac{w_0 - 2f_s}{w_0 + 2f_s}\right)z^{-1}Y$$

High Pass Filter 의사코드:

```
float a1,b0,b1,w0;  
w0 = 2*3.14*CutOffFrequency;  
a1 = (w0 - 2*SamplingFrequency)/(2*SamplingFrequency + w0);  
b0 = 2*SamplingFrequency/(2*SamplingFrequency + w0);  
b1 = b0;  
  
*Output = b0*(*Input) - b1*(*PastInput) - a1*(*PastOutput);  
*PastOutput = *Output;  
*PastInput = *Input;
```

## 2. 이선 전류 파형 시뮬레이터 개발

### □ 개 요

앞에서 살펴본 바와 같이 전차선과 팬터그래프의 이선 시 팬터그래프의 전류는 0 이된다. 이선이 시작될 때 아크가 발생하며 아크가 유지되는 동안에는 아크 양단에 수십 볼트의 전압 강하가 생기고 부하전류와 유사한 크기의 아크 전류가 흐른다. 팬터그래프가 충분히 이격되어 아크가 소호되면 팬터그래프 전류도 0이 되고 전류식 이선 검출 방법은 이 시점부터 이선으로 검출하게 된다.

1차년도에는 정형파에서 이선 발생 구간의 전류를 강제적으로 0으로 만드는 단순한 방법으로 시뮬레이션 파형을 생성하였다. 아크나 부하의 과도 특성은 시간이 짧아 이선을 모의 및 검출 성능에는 큰 영향이 없으므로 고려하지 않았다. 구현을 단순하게 하기 위하여 사용자가 소이선(10ms이하), 중이선(10ms~100ms), 대이선(100ms이상)의 초당 발생 빈도를 입력하면 각 이선 종류별로 시뮬레이션 주기를 결정하고 시뮬레이션 주기가 되면 이선 시간을 랜덤하게 발생시켜 결과를 큐잉한 후 정형파와 합성하여 출력한다.

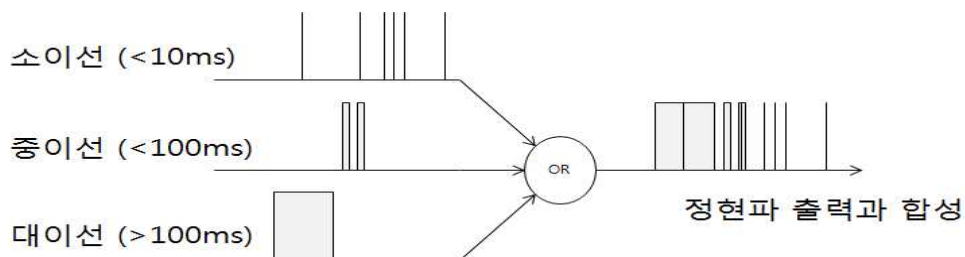


그림 61 이선 신호 생성

시뮬레이션 기능은 이선 전류 분석 소프트웨어에도 내장을 시켜 아날로그 입출력 루프를 거치지 않고 바로 디지털루프를 통해 검증은 하는 것도 가능하도록 하였다.

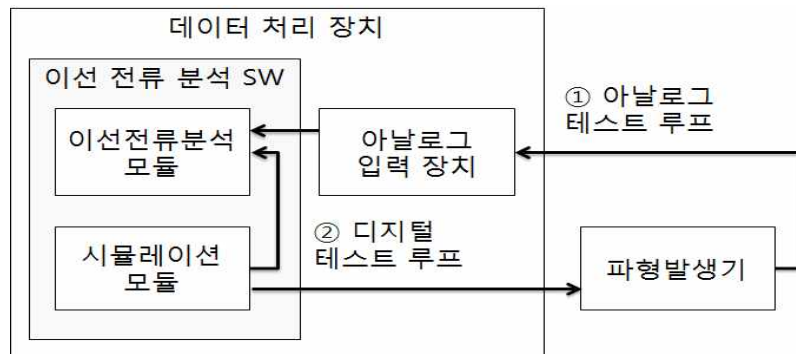


그림 62 시뮬레이션 루프

## □ 시스템 구성

이선 전류 파형 분석 알고리즘 검증이 용이하도록 입력한 이선 관련 파라미터에 따라 이선 전류 시뮬레이션 파형을 생성하는 소프트웨어를 개발하고 생성된 시뮬레이션 파형 데이터를 파형 발생기 장비로 전송하여 출력하는 시스템을 개발 하였다. 아래 그림은 시스템 사진과 구성도를 나타낸다. 시뮬레이션 소프트웨어는 전류식 이선 검출 기용 데이터 처리 장치에서 구동하였다.



그림 63 이선 전류 파형 시뮬레이터 구성 및 사진

아래 <표 19>에 파형 발생기 사양을 제시하였으며 데이터 수집장치에서 합성한 이선 전류 파형 신호를 전압파형으로 변환시켜 출력하는 역할을 한다.

| 사양                             |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| 제조사                            | Agilent              |
| 모델명                            | 33250A               |
| Frequency range(sine & square) | 1uHz to 80 MHz       |
| Arb resolution & sample rate   | 12bit, 200 MS/s      |
| Interface                      | GPIO, RS-232         |
|                                | LAN (E5810A 악세사리 사용) |

표 19 파형 발생기 사양

## □ 시뮬레이션 S/W

시뮬레이션 소프트웨어는 주요 기능은 아래와 같다.

- 소이선, 중이선 및 대이선 발생횟수 입력
- 이선 전류 파형 랜덤 발생
- 고주파 노이즈 신호 추가 기능
- 생성 파형에 대한 이선율 자동 계산

<그림64>는 시뮬레이터 소프트웨어의 메인 화면을 나타낸다. 설정값으로 소이선 및 대이선 발생 빈도와 노이즈 신호 추가 레벨을 입력하면 각각의 파형을 합성하여 출력한다. 생성된 파형의 이선율도 자동으로 계산하여 출력하며 이 값을 이선 전류 분석 장치가 검출한 이선율과 비교하여 이선 전류 분석 알고리즘의 성능을 검증한다.

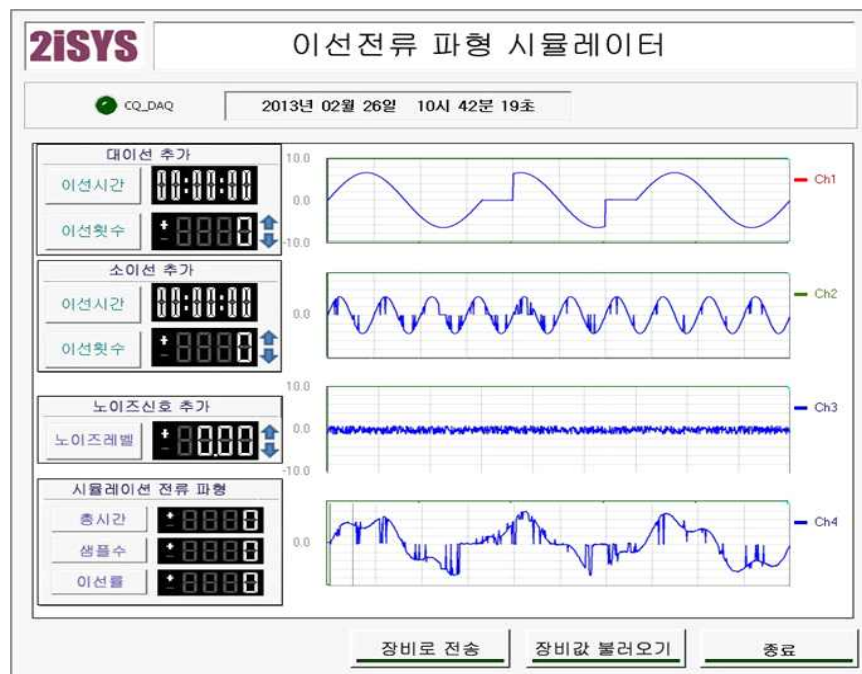


그림 64 이선 전류 파형 시뮬레이터 메인 화면

파형 그래프는 위에서부터 순서대로 대이선 추가 파형, 소이선 추가 파형, 노이즈 파형 및 최종 합성 파형을 표시한다.

생성된 파형은 장비 전송버튼을 눌러 파형 발생기로 다운로드 할 수 있으며 이후에는 소프트웨어와 연계없이 파형 발생기만으로 반복해서 시뮬레이션 파형을 발생하게 된다.

### 3. 전류식 이선 검출기 시작품(프로토타입) 개발

#### □ 개 요

이선 전류 알고리즘 검증을 위해 PC기반으로 전류식 이선 검출기 시작품을 제작하였다. 전류 센서, 아크 모니터링 카메라, 아크센서와 연결에 필요한 인터페이스를 구비하였다. 시제품 플랫폼으로도 사용될 수 있도록 진동 및 온습도 내환경성이 뛰어난 임베디드 PC로 구현하였다.

아래는 전류식 이선 검출기를 포함한 전체 이선 검출 장치의 구성도로 1차년도에는 전류식 이선 검출기 플랫폼으로 2차년도에 광학식 및 전류식 겸용 이선 분석 장치 플랫폼으로 사용된다.

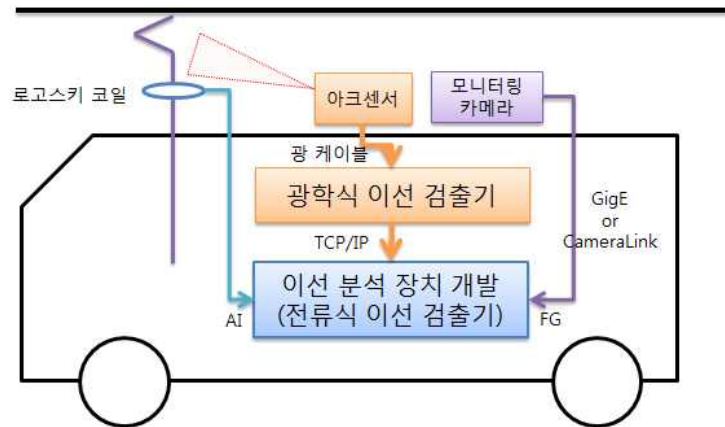


그림 65 이선 분석 장치 구성도

아래는 시작품의 사진과 주요 특징을 나타낸다.

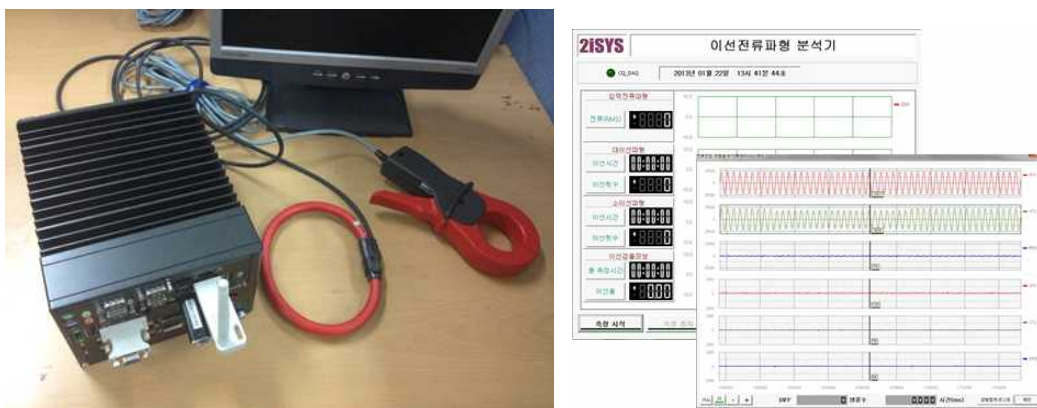


그림 66 이선 전류 분석 장치 시작품 사진 및 분석 S/W화면

○ 하드웨어 구성

- 알고리즘 검증을 위해 임베디드 PC기반으로 구현  
(Intel Core i7, 2GHz, 4G메모리, 1TB HDD)
- 로고스키 타입 전류 센서: 3kA
- 클램프 타입 전류 센서: 500A
- 모니터링 영상 취득 그래버 내장
- 아날로그 입력 보드 내장
- 광학식 이선 검출기와는 TCP/IP로 통신

○ 분석 소프트웨어 주요 기능

- 이선편류 취득: 측정시작/중지
- 실시간 파형 표시: 입력파형, 소이선편형, 대이선 파형, 이선편검출 정보
- 좌측에 이선편시간, 이선편율 표시
- 상세 파형 분석: 확대/축소, 커서이동
- 시스템 설정: CT, 그래프, 필터 설정

□ 시스템 구성

전류식 이선 검출기는 1M샘플링 까지 가능한 아날로그 인터페이스를 통해 이선 전류 파형을 캡처하고 이선 전류 파형 분석 소프트웨어에서 파형을 분석하여 소이선, 중이선, 대이선을 구분하고 이선편율을 계산하여 출력한다. 아크 모니터링 영상을 고속으로 취득할 수 있도록 고성능 프레임 그래버를 내장하고 비전용 카메라도 Camera Link를 사용하는 고속 고해상도(2048x2048, 180fps) 제품을 사용하여 아크 발생 시점의 전후 영상을 정밀하게 취득할 수 있도록 하였다. 최종적으로는 광학식 이선 검출기와 연결되어 겸용 이선 검출기로 사용되어야 하므로 ARC-DAQ 호스트 프로토콜을 구현 탑재 하였다.

① 전류측정장치 (로고스키 코일 & 적분기)

| 사 양                         |        | 외 형                                                                                 |
|-----------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Peak current                | 3 kA   |  |
| Sensitivity                 | 2 mV/A |                                                                                     |
| Peak Coil Voltage Isolation | 10 kV  |                                                                                     |
| Coil Circumference          | 300 mm |                                                                                     |

표 20 전류측정 장치 사양

② 아크 모니터링 카메라

| 사 양               |                     | 외 형                                                                                 |
|-------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 제조사               | Basler              |  |
| 모델명               | acA2040-180km(Mono) |                                                                                     |
| Resolution        | 2048 x 2048         |                                                                                     |
| Pixel Size        | 5.5um x 5.5um       |                                                                                     |
| Camera Link Clock | 32.5/48/82MHz       |                                                                                     |
| Pixel Depths      | 10, 12bit           |                                                                                     |
| Power             | DC 12V / 3W         |                                                                                     |

표 21 아크 모니터링 카메라 사양

③ 아날로그 입력장치

| 사 양                  |                                            | 외 형                                                                                   |
|----------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Analog Input Channel | 8 channel                                  |  |
| Resolution           | 16 bit                                     |                                                                                       |
| Sampling             | 1 MS/s/ch                                  |                                                                                       |
| Input Range          | $\pm 10V$ , $\pm 5V$ , $\pm 2V$ , $\pm 1V$ |                                                                                       |

표 22 아날로그 입력 장치 사양

④ 영상 입력 장치

| 사 양              |                                          | 외 형                                                                                |
|------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Interface        | PCI Express x4                           |  |
| Bandwidth        | 760MB/s at                               |                                                                                    |
| Camera Interface | 2 x Camera Link                          |                                                                                    |
| Configuration    | Base, Medium, Full                       |                                                                                    |
| Pixel Clock      | 85MHz                                    |                                                                                    |
| Camera Type      | Mono, Color / Area, Line                 |                                                                                    |
| Resolution       | Area Scan : 32k * 64k<br>Line Scan : 64k |                                                                                    |

표 23 프레임 그래버 사양

⑤ 이선전류 파형 분석장치 (이선 전류 파형 시뮬레이터 겸)

| 사 양                   |                                     | 외 형                                                                                  |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| CPU                   | Intel core i7-620LE<br>2.0GHz       |  |
| RAM                   | 4GB DDR3                            |                                                                                      |
| HDD                   | 1TB                                 |                                                                                      |
| Operation Temperature | -10° C ~ 60° C<br>fanless Operation |                                                                                      |
| Vibration             | 5G, 5-500Hz                         |                                                                                      |

표 24 이선 전류 파형 분석 장치 사양

□ 이선 전류 분석 소프트웨어

이선 전류 분석 알고리즘을 탑재한 이선 전류 분석 소프트웨어를 개발하였다. 알고리즘 검증이 용이하도록 파형 분석 위주의 기능을 갖추고 있다.

(1) 메인 화면

아래는 이선 전류 파형 분석 소프트웨어 메인 화면과 각 파트의 기능을 설명한다.



그림 67 이선 전류 파형 분석 S/W 메인 화면

① DAQ통신 상태

아날로그 입력 장치 및 ARC-DAQ와의 통신 상태를 표시한다. 정상으로 파란색으로 비정상이면 빨간색으로 표시된다.

② 입력 전류 파형

입력 전류의 RMS값을 표시한다. 순시 파형은 우측 ⑥ 실시간 파형 그래프에 표시된다.

③ 대이선 파형

대이선(중이선 포함) 누적 이선 시간 및 발생 회수를 표시한다.

④ 소이선 파형

소이선 누적 이선 시간 및 발생 회수를 표시한다.

⑤ 이선검출정보

총 측정시간 과 실시간 이선헤수 정보를 표시한다.

⑥ 실시간 파형 그래프

전류 입력, 대이선 파형, 소이선 파형, 이선 검출 정보 등 실시간 파형을 4채널까지 표시한다.

⑦ 측정 시작/종료

측정 시작을 누르면 DAQ로부터 전류 입력 받아 이선 전류 분석을 시작한다. 측정

데이터는 별도로 저장되며 ⑧ CQ파형 분석 기능으로 상세히 분석할 수 있다.

⑧ CQ파형 분석

CQ파형 분석기 (이선 전류 파형 상세 분석 화면)을 호출한다.

⑨ 시스템 설정

DAQ, 필터, 통신 파라미터 등을 설정한다.

⑩ 종료

프로그램을 종료한다.

(2) 이선 전류 파형 분석 화면

아래는 이선 전류 상세 분석 화면(CQ파형분석기)과 각 파트의 기능을 설명한다. 파형 캡처 리스트에서 측정 파일을 검색하여 화면에 로딩한 후 파형의 확대 및 축소, 커서를 이용한 측정 값 및 샘플 간격 측정 등의 기능을 이용하여 파형의 처리 과정을 상세히 분석할 수 있다.

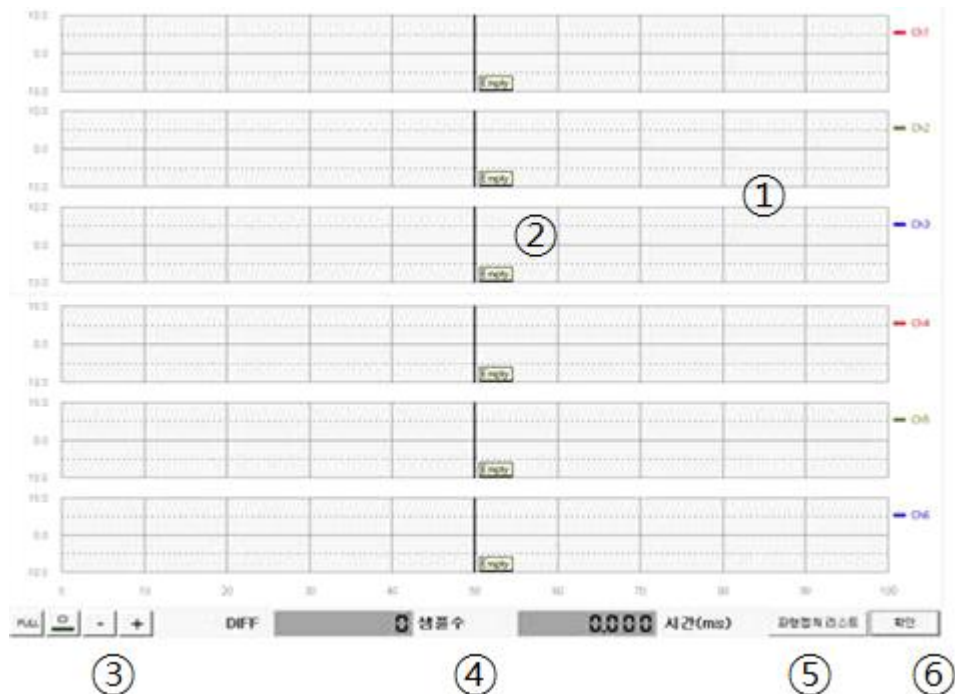


그림 68 이선 전류 파형 분석 화면

① 분석 파형 그래프

분석 파형을 6개까지 그래프로 표시한다. 전류입력, 소이선 검출 파형, 대이선

검출 파형, 종합 이선 출력 파형 등 이선 전류 검출 알고리즘 처리 단계별 파형을 선택하여 표시할 수 있다.

② 커서

2개의 커서를 제공하며 현재 커서 위치의 파형 값을 표시한다. 커서간 시간차를 ④에 표시한다.

③ 전체/영역선택/확대/축소

그래프 확대/축소 기능을 제공한다. 왼쪽부터 전체 표시, 그래프에서 영역을 선택하여 확대, 시간축 축소, 시간축 확대 기능을 제공한다.

④ 시간 차

커서간 시간 차를 샘플수 와 시간으로 표시한다.

⑤ 파형 캡처 리스트

날짜별로 측정 데이터 파일을 검색하고 선택한 데이터를 분석 화면에 표시한다.

⑥ 확인

이선 전류 파형 분석 화면을 닫고 메인화면으로 리턴한다.

#### 4. 이선 전류 분석 알고리즘 기본 성능 검증

<그림69> 와 <그림70> 은 시뮬레이터화면과 이선 전류 분석 소프트웨어에서 분석할 결과를 보인 것이다.

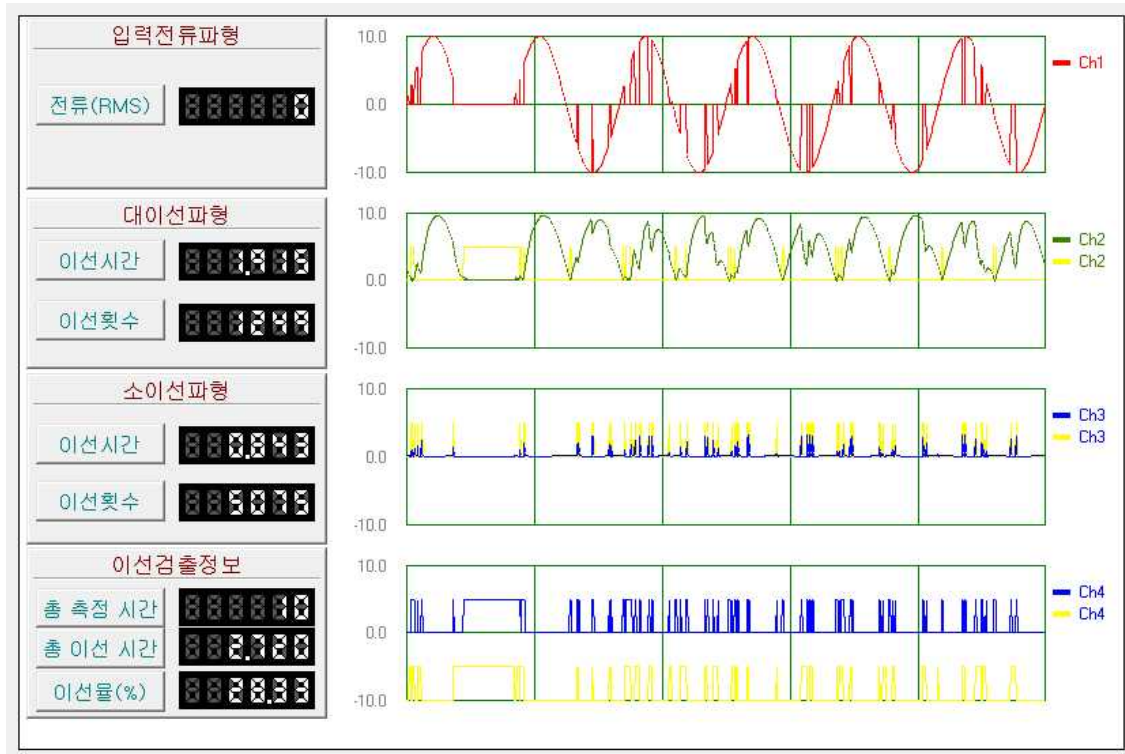


그림 69 시뮬레이션 파형 분석 화면

그림 70 시뮬레이터 화면

이선율을 30%정도로 정상적인 수치보다는 높게 시뮬레이션 파형을 발생시키고 10초간 측정파형을 분석하였다. HPF, LPF의 Cut-off 주파수는 각각 1.2kHz와 120Hz를 사용하였으며 전류영점 판단 기준은 0.5로 하였으며 전류입력 최대값은 10이다. 시뮬레이션 파형 분석이 용이하도록 소이선 구간은 0.1ms ~ 1ms, 중이선 구간은 1ms ~ 10ms, 대이선은 구간은 10ms ~ 100ms로 1/10로 짧게 잡았다.

아래 <표> 는 위 조건으로 시뮬레이터로 생성한 값과 이선 전류 분석 소프트웨어서 검출한 값을 비교한 것이다.

| 항목             |     | 시뮬레이터 | 분석결과  | 비고                                          |
|----------------|-----|-------|-------|---------------------------------------------|
| 총 이선           | 시간  | 3.369 | 2.720 | 20%정도 오차 발생                                 |
|                | 이선율 | 35.09 | 28.33 |                                             |
| 대이선<br>(중이선포함) | 시간  | 1.945 | 1.915 | 대이선 결과 값은 거의 일치<br>제로크로싱이 포함되어 횡수가<br>많게 나옴 |
|                | 횡수  | 309   | 1249  |                                             |
| 소이선            | 시간  | 1.424 | 0.843 | 50%가까이 오차 발생<br>제로크로싱이 포함되어 횡수가<br>많게 나옴    |
|                | 횡수  | 2874  | 5075  |                                             |

표 25 이선률 분석

대이선(중이선포함) 검출 결과는 1m~100ms사이의 이선을 검출한 결과로 시뮬레이터 값과 분석한 값이 거의 일치하였다. 제로크로싱이 효과적으로 제거되지 않아 대이선 및 소이선 모두 이선 횡수가 더 높게 나왔으나 이선 누적 시간에는 크게 영향을 미치지 않았다.

아래 <그림71>은 파형 분석 그래프 중에서 대이선 검출 그래프와 최종 이선 검출 그래프를 보인 것으로 시뮬레이터가 발생한 이선 신호와 분석 소프트웨어가 검출한 이선 신호가 거의 일치함을 볼 수 있다.

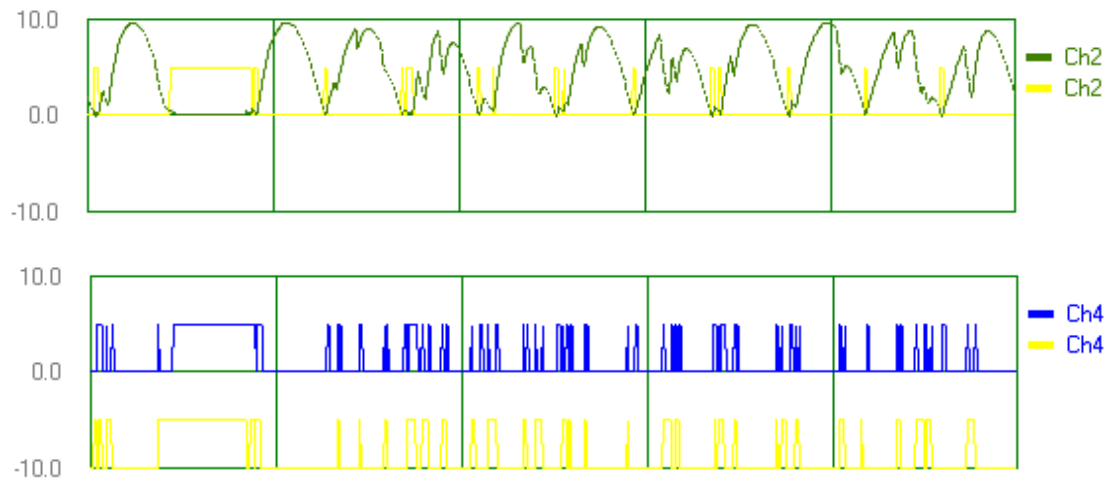


그림 71 대이선 검출 신호(위 그래프) 및 최종 이선 검출 신호 비교(아래 그래프)  
아래그래프에서 위쪽차트가 분석결과 아래쪽차트가 시뮬레이션 신호임

대이선 검출 파형에서 주기적으로 제로크로싱 신호가 나타남을 볼 수 있으며 최종 이선 검출 신호에서도 시뮬레이터 이선 신호에는 없으나 분석 소프트웨어 검출 결과에는 이선 신호로 출력되고 있음을 볼 수 있다. 그래프 앞부분에서 반주기적도 이선이 발생한 구간에서 시뮬레이션 신호와 분석결과가 이선 시작부분에서 약간 차이가 나는데 이는 저주파 필터의 성능과 영점전류기준 값(0.5)의 영향으로 볼 수 있다. 저주파 필터의 차수를 높여 저주파대역에서의 평탄도를 높이고 영점전류기준 값도 더 작게하면 오차가 줄 것으로 예상된다.

시뮬레이션 파형과 분석 프로그램 검출 신호를 비교해 결과 본 알고리즘이 충분히 이선 검출에 활용될 수 있음을 확인했으며 1차년도 기본 성능 검증의 목표는 달성하였다 사려된다. 2차년도에는 제로크로싱의 효과적인 제거, 저주파 대역 필터의 성능 개선, 소이선 검출 정밀도등을 높일 수 있도록 알고리즘을 개선할 계획이다.

### 제3절 전차선-팬터그래프간 이선에 따른 스펙트럼 분석

#### 1. 이선 모의 아크측정장치

본 연구에서는 이선시의 아크 특성을 정확하게 검측하기 위해 그림 3과 같이 모의 이선시 아크 스펙트럼 분석장치를 구성하였다. 입력전원 220[V]는 전차선 역할을 하는 회전체와 팬터그래프를 통해 저항부하로 연결된다. 이선시에 최대 30[A]까지 흐르게 되며, 팬터그래프에 설치되는 집전판 재질과 회전체에 전차선 재질 종류에 따라 상이하게 흐른다.

집전 시스템의 전차선과 팬터그래프 집전판이 포함된 이선 발생장치는 이선발생 신호에 따라 전차선에 진동을 발생하여 전차선과 팬터그래프 집전판의 집전부를 이선시켜 아크를 발생시킨다. 발생한 아크 방전은 UV 센서모듈이 포함된 검출기를 통해 분광기(Spectrometer)에서 스펙트럼을 분석하였다. 측정 환경의 밝기에 영향을 받지 않고 이선 측정의 정확도를 향상시키기 위해 어두운 실내에서 실험하였다.

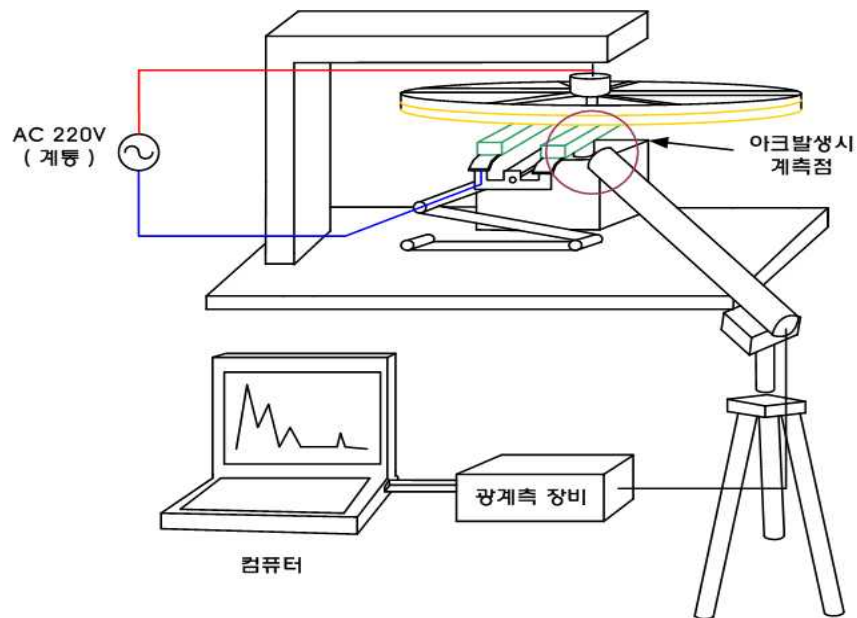


그림 72 이선 아크 검측장치 구성

| 전차선                                                                             | 집전판                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- 가공전차선</li> <li>- T bar 강체가선</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- KTX-1</li> <li>- 전기기관차</li> <li>- VVVF 전동차</li> <li>- 누리로</li> </ul> |

표 26 사용된 시험편

이선 아크 검측의 신뢰성 확보를 위해 표 1에서 보듯이 전차선은 현재 국내 철도분야에서 가장 많이 가선되어 있는 고속선 가공 전차선과 전동차 지하구간에 적용되고 있는 T bar 강체 전차선을 사용하였다. 그리고 팬터그래프 집전판은 현재 운행되고 있는 고속철도차량(KTX-1), 8200호대 전기기관차, 누리로 집전판, 누리로 집전판, VVVF 전동차의 집전판을 실험 재료로 이용하여 재질에 따른 아크 방전을 분석하였다. 그림 73은 아크 검측장치 집전 시스템 시험편을 보여준다.



그림 73 이선 아크 검측장치 집전 시스템 시험편

이선 모의시험은 고속선에 사용되고 있는 가공 전차선을 기준으로 KTX-1, 8200호대 전기기관차, 누리로, 전동차의 팬터그래프 집전판 시편을 순서대로 바꿔가면서 이선시의 아크 스펙트럼을 분석하였다, 또한 전동차가 운행하는 지하구간 T bar 강체 전차선도 동일한 조건으로 집전판 시편을 바꿔가면서 재질에 따른 스펙트럼의 파장범위에 대해서 분

석하였다. 그림 74는 이선시의 강한 빛을 내면서 아크가 발생하는 현상을 보여준다.



그림 74 이선 아크 검측장치 모의시험

모의시험에 사용된 광계측 장비는 USL2048 Avaspec - type으로 파장측정범위 (Wavelength Range)는 200~1100nm이다. 분광기(Spectrometer)는 빛을 분산시켜서 얻게 되는 스펙트럼을 측정하는 장치로 모의시험에서는 자외선의 파장에 따라 금속 면으로부터의 반사율이 다른 특성을 이용하여 금속 내의 전자의 변화량을 추정한다. 분광기의 특성을 이용 이선 아크 검출기를 통해 분광기에 전달된 신호는 크기 및 파장에 따라 분광기를 통해 노트북에 디스플레이 된다.

그림 75는 이선시 아크가 발생할 때 컴퓨터에 디스플레이 된 파형의 일례로 x축은 파장(Wavelength)[nm], y축은 방사조도(Absolute Irradiance)[ $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ ]로 나타난다.

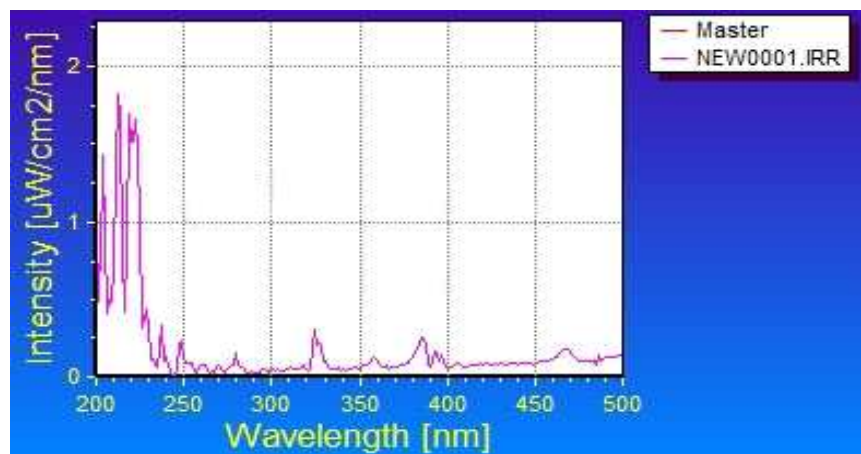


그림 75 이선 아크 검측 시험 결과 파형

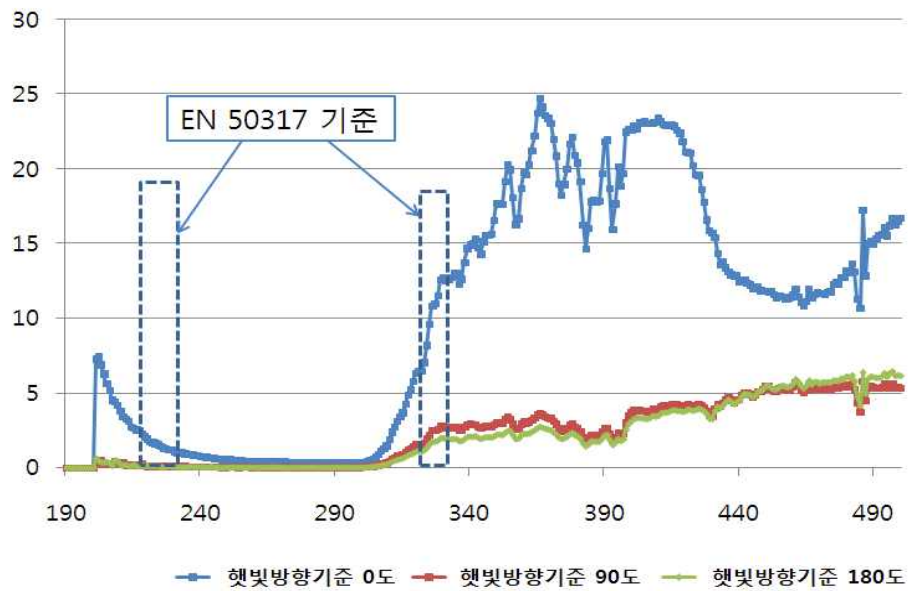


그림 76 햇빛에 대한 방사조도 측정

그림 76은 이선 아크 검측장비를 이용하여 햇빛에 노출된 실외(대기온도  $25^{\circ}$ )에서 측정한 파장을 보여준다. 햇빛방향을 기준으로 정면( $0^{\circ}$ ),  $90^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$ 로 수광부(Acceptor)의 위치를 변경하면서 파장대역[nm]별 방사조도[uW/cm<sup>2</sup>/nm]의 세기를 측정하였다. 햇빛방향에서 수광부의 위치를 틀게 되면 방사조도의 세기가 급격히 떨어짐을 확인할 수 있었고, 햇빛과 정면에 수광부가 위치한 경우 200[nm]에서 250[nm]까지 지수함수 형태로 방사조도가 떨어지고 이후 305[nm]인 지점을 지나게 되면서 방사조도가 증가하는 양상을 보였다. EN 50317 기준에 따르면, 파장 범위인 220[nm]~225[nm] 또는 323[nm]~329[nm]에서 아크 검측장비가 적용되어야 한다.

따라서 그림 76을 기준으로 이선 아크 검측장비를 개발하고자 할 때는 파장범위를 벗어난 대역에서는 필터 적용을 고려해야 할 것이다.

## 2. 도시철도 재질별 파장대역 분석 및 평가

### 가. 강체가선과 전동차 팬터그래프

도시철도차량이 운행하는 지하구간이나 터널 내에 사용되는 강체가선의 재질인 T bar 동(Cu)을 사용하여 국내에서 운행되고 있는 전기철도 차량이 운행 시 발생할 수 있는 이선에 따른 아크를 분석하였다.

#### □ 강체가선 - VVVF 전동차 팬터그래프

도시철도차량이 운행하는 지하구간이나 터널 내에 사용되는 강체가선의 재질인 T bar 동(Cu)을 사용하여 국내 도시철도구간에 운행되고 있는 VVVF 전동차 차량 운행 시 발생할 수 있는 이선에 따른 아크를 분석하였다. 그림 77은 강체가선과 VVVF 전동차 팬터그래프의 이선 모의시험시 아크발생에 따른 재질별 파장대역에 대한 방사조도의 세기를 보여준다. 그림 72와 같이 광계측기를 통해 스펙트럼을 분석하면 아크 검출 파장대역이 200~230(nm), 323~330(nm), 352(nm)~360(nm), 375~390(nm)에서 방사조도의 세기가 타 대역에 비해 크다는 것을 알 수 있다. 또한 파장대역이 커질수록 방사조도의 세기가 작아짐을 알 수 있다. 이는 경동 전차선 및 철제합금, 구리합금, 탄소계열의 집전판에서의 아크 빛은 200~240(nm), 320~340(nm)의 각 파장대역에서 강한 스펙트럼을 가지고 있기 때문이다.

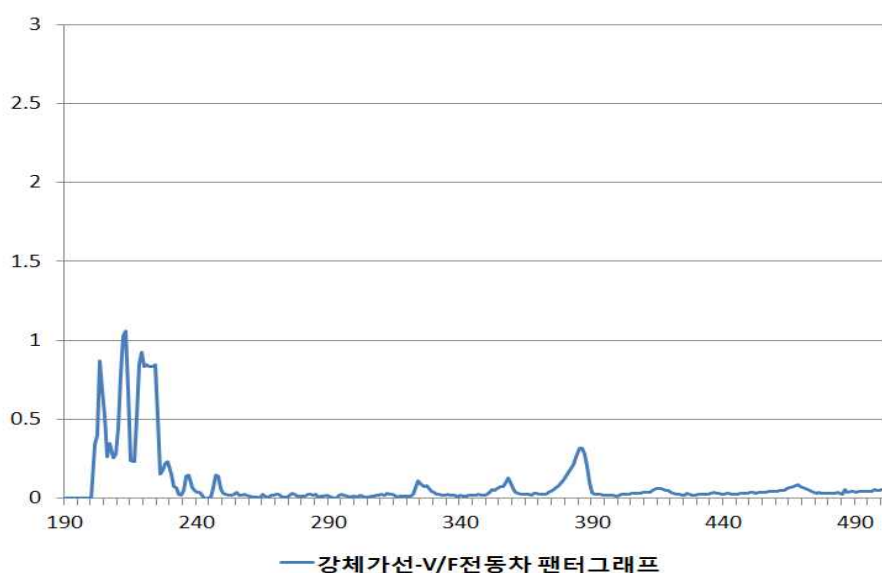


그림 77 강체가선(T bar) - VVVF 전동차 팬터그래프 실험 파형



그림 78 강체가선(T bar) - VVVF 전동차 팬터그래프 실험

#### □ 강체가선 - 누리로 팬터그래프

그림 72와 같이 광계측기를 통해 스펙트럼을 분석하면 아크 검출 파장대역이 200~230(nm), 323~330(nm), 350(nm)~360(nm), 373~390(nm)에서 방사조도의 세기가 타 대역에 비해 방사조도의 세기가 크다.

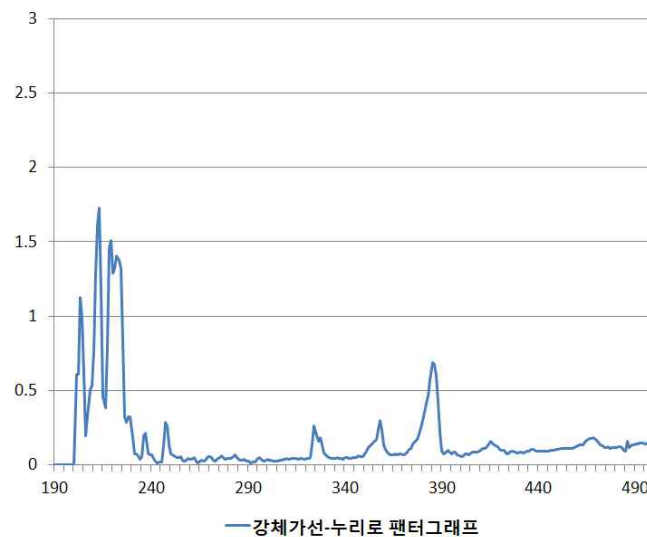


그림 79 강체가선(T bar) - 누리로 팬터그래프 실험 파형



그림 80 강체가선(T bar) - 누리로 전동차 팬터그래프 실험

## 나. 가공전차선과 전동차 팬터그래프

### □ 가공전차선 - VWF 전동차 팬터그래프

경부선 및 호남선 고속전철 등 가공전차선에 적용되는 재질은 동(Cu)으로 이선시 아크 모의시험은 그림 82에서 보듯이 전차선 재질은 원형 동(Cu)을 사용하였고 팬터그래프 집전판(Contact strip)을 바꿔가면서 동일 조건에서 수행하였다. 그림 80는 이선 모의시험 시 아크 발생에 따른 재질별 파장대역에 대한 방사조도의 세기를 보여준다. 그림 72와 같이 구성된 광계측기를 통해 스펙트럼을 분석하면 아크 검출 파장대역이 220~230(nm), 323~330(nm)에서 방사조도의 세기가 타 대역에 비해 크다는 것을 알 수 있다.

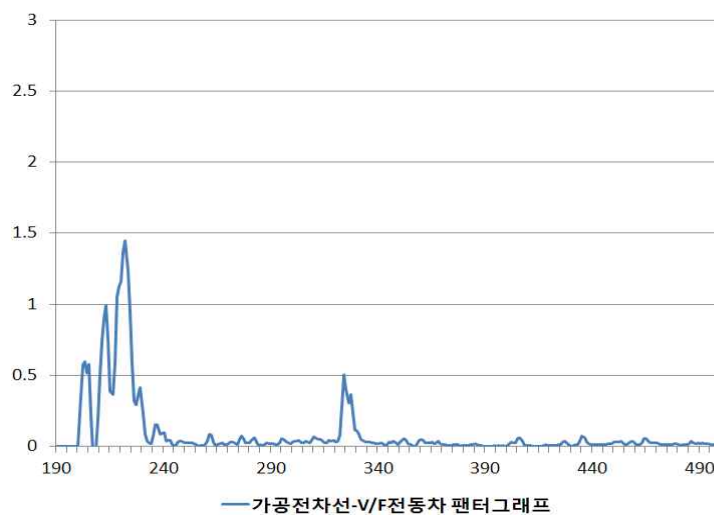


그림 81 가공전차선 - VVVF 전동차 팬터그래프 실험 파형

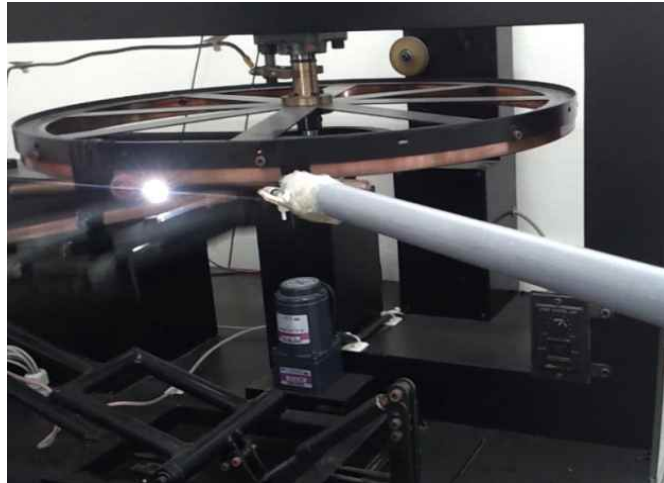


그림 82 가공전차선 - VVVF 전동차 팬터그래프 실험

#### □ 가공전차선 - 누리로 팬터그래프

그림 84는 누리로 전동차가 가공전차선 구간을 운행한다고 가정했을 때 이선 현상에 대한 모의시험을 하는 모습을 보여준다. 그림 72와 같이 구성된 시스템에서 광계측기를 통해 샘플링된 데이터를 근거로 스펙트럼을 분석하면 아크 검출 파장대역이 200~230(nm), 323~328(nm)에서 방사조도의 세기가 타 대역에 비해 크다는 것을 알 수 있다.

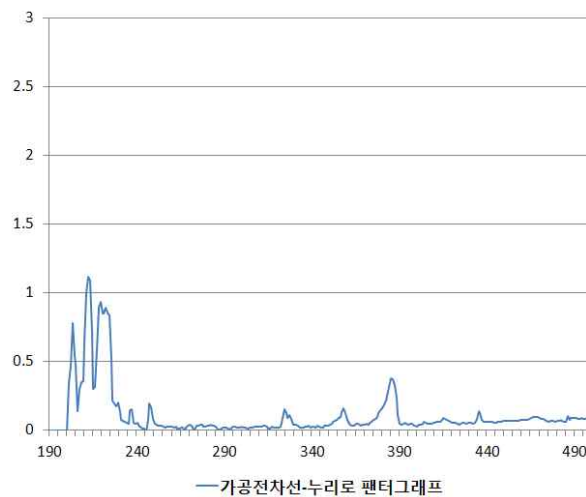


그림 83 가공전차선 - 누리로 팬터그래프 실험 파형



그림 84 가공전차선 - 누리로 팬터그래프 실험

### 3. 고속철도 및 일반철도 재질별 파장대역 분석 및 평가

#### 가. 가공전차선과 고속철도차량 팬터그래프

그림 86은 가공전차선 구간을 고속철도차량(KTX1)이 운행한다고 가정했을 때, 주행 중 이선현상에 대한 모의실험을 하는 사진을 보여준다. 그림 72와 같이 구성된 시스템에서 광계측기를 통해 샘플링 데이터를 수집하여 스펙트럼을 분석하면 아크 검출 파장대역이 200~230(nm), 323~328(nm), 350~360(nm), 375~390(nm)에서 방사조도의 세기가 타 대역에 비해 크다는 것을 알 수 있다.

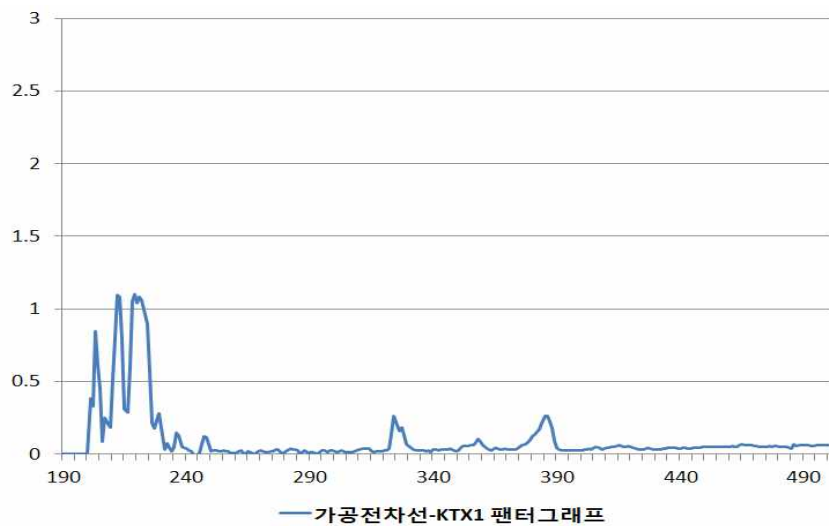


그림 85 가공전차선 - KTX1 팬터그래프 실험 파형



그림 86 가공전차선 - 고속철도차량(KTX1) 팬터그래프 실험

## 나. 가공전차선과 일반철도차량 팬터그래프

그림 88은 가공전차선 구간을 8200호대 전기기관차가 운행한다고 가정했을 때, 주행 중에 이선이 발생하는 현상을 모의하는 사진을 보여준다. 그림 72와 같이 구성된 시스템에서 광계측기를 통해 샘플링된 데이터를 수집하여 스펙트럼을 분석하면 아크 검출 파장대역이 200~230(nm), 320~330(nm), 370~398(nm)에서 방사조도의 세기가 타 대역에 비해 크다는 것을 알 수 있다.

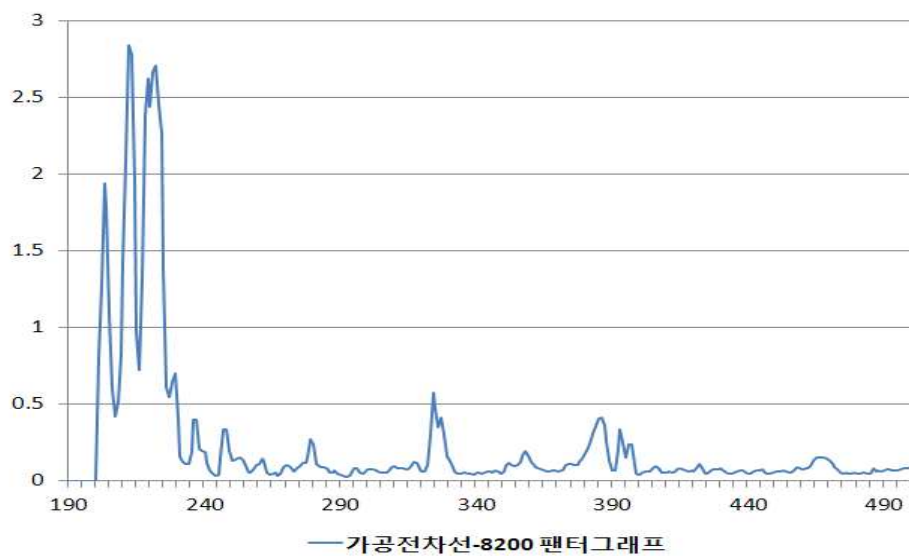


그림 87 가공전차선 - 전기기관차(8200호대) 팬터그래프 실험 파형



그림 88 가공전차선 - 전기기관차(8200호대) 팬터그래프 실험사진

## 4. 각도 및 거리에 따른 파장대역 분석 및 평가

### 가. 각도에 따른 스펙트럼 분석

본 절에서는 이선 검측장치가 설치될 경우 설치위치에 따라 파장대역이 어떻게 변화되는지에 대해 비교 검토해 보았다. 즉 주행 중 열차 주행 방향에서 검측장치 위치를 어떻게 설치하는 것이 타당한지에 대한 방안 제시로 국제규격(EN 50317)에 제시되었지만, 실제 측정데이터가 어떻게 되는지에 대해 고찰할 필요가 있다.

그림 72와 같이 구성된 시스템에서 광계측기의 위치변화에 따른 수평방향으로 각도 변화를 주면서 실험하였다. 그림 26은 기준점  $0^\circ$ 를 중심으로 좌우  $\pm 15^\circ$  변화에 따른 실험 결과이다.

각도변화에 변동 없이 아크 검출 파장대역은 200~235[nm], 323~328[nm], 356~360[nm], 382~387[nm]로 UV대역에서 검출되었다. 또한 아크와 검출기의 각도와 관계없이 파장대역에서 유사 값의 방사조도가 나타났다. 거리변화에 따른 방사조도와 각도변화에 따른 방사조도를 비교하면 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있는데 이는 이선 발생 시점의 변화에 따라 방사조도가 측정된 것으로 판단된다.

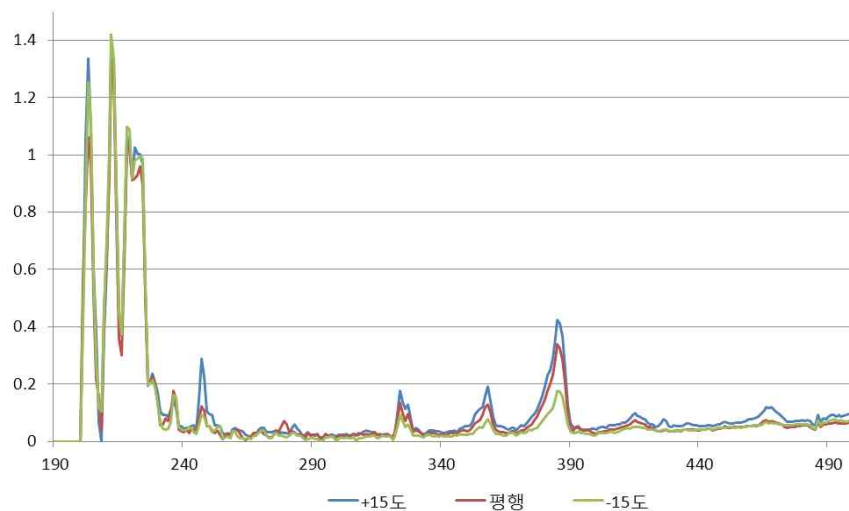


그림 89 이선 아크 검측 시험 결과 파형(각도변화)

| 수평각[°] | 파장[nm]  | 방사조도[uW/cm <sup>2</sup> ] |
|--------|---------|---------------------------|
| + 15   | 200~235 | 1.9                       |
|        | 323~328 | 0.17                      |
|        | 356~360 | 0.2                       |
|        | 382~387 | 0.41                      |
| 0      | 200~235 | 1.38                      |
|        | 323~328 | 0.18                      |
|        | 356~360 | 0.16                      |
|        | 382~387 | 0.38                      |
| -15    | 200~235 | 1.41                      |
|        | 323~328 | 0.19                      |
|        | 356~360 | 0.15                      |
|        | 382~387 | 0.19                      |

표 27 이선 아크 검측 시험 결과값 (각도변화)

## 나. 거리에 따른 스펙트럼 분석

본 절에서는 이선 검측장치가 설치될 경우 설치거리에 따라 파장대역이 어떻게 변화되는지에 대해 비교 검토해 보았다. 즉 주행 중 열차 주행 방향에서 검측장치를 통해 효과적으로 데이터를 취득하기 위해서는 어느 정도 거리가 요구되는지, 조도의 세기와 거리와의 관계는 어떻게 되는지에 대해 측정데이터가 어떻게 되는지에 대해 고찰할 필요가 있다.

그림 72와 같이 구성된 시스템에서 광계측기의 중심축을 기준으로 거리의 변화를 주어가면서 실험하였다.

그림 90은 이선이 발생하는 지점을 기준점으로 거리 4[cm]로 하여 실험한 결과이다. 결과값은 이격거리 변화에 관계없이 아크 검출 파장대역은 200~235[nm], 323~328[nm], 356~360[nm], 382~387[nm]로 UV대역에서 검출되었다. 그림 91은 이선이 발생하는 지점을 기준으로 거리 8[cm]로 하여 실험한 결과이다. 그림 90과 마찬가지로 이격거리 변화에 관계없이 동일한 파장대역이 검출되었다.

그림 90과 그림 91을 비교하면, 방사조도는 200~235[nm] 파장대역부터 382~387[nm] 대역까지 4[cm]거리의 방사조도가 8[cm]거리의 방사조도에 비해 약 3.8배 측정되어 이선 지점을 중심으로 거리가 가까울수록 방사조도의 세기가 커짐을 확인할 수 있었다.

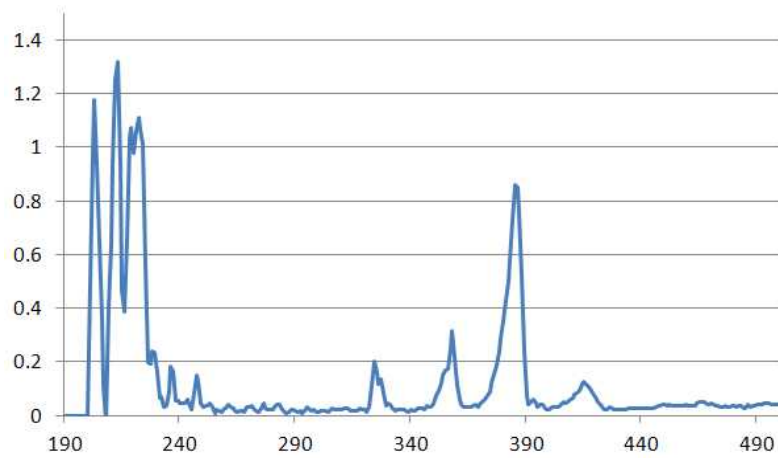


그림 90 이선 아크 검측 시험 결과 파형(4[cm] 거리)

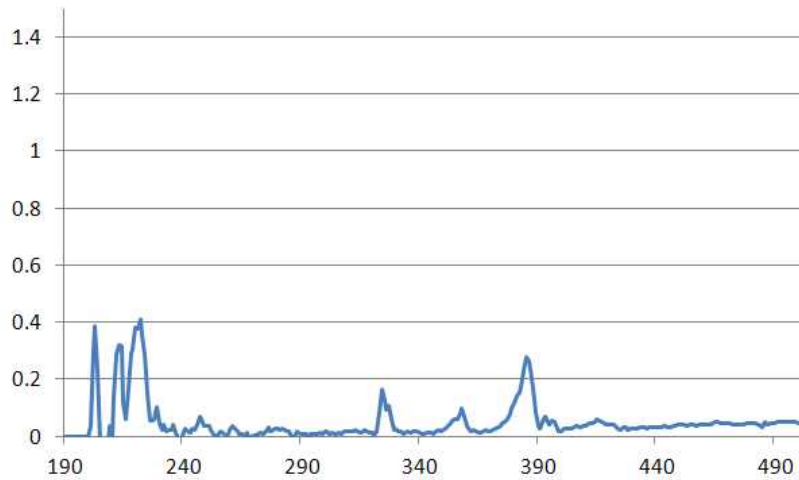


그림 91 이선 아크 검측 시험 결과 파형(8[cm] 거리)

| 이격거리[cm] | 파장[nm]  | 방사조도[uW/cm <sup>2</sup> ] |
|----------|---------|---------------------------|
| 4        | 200~235 | 1.3                       |
|          | 323~328 | 0.8                       |
|          | 356~360 | 0.3                       |
|          | 382~387 | 0.88                      |
| 8        | 200~235 | 0.32                      |
|          | 323~328 | 0.2                       |
|          | 356~360 | 0.08                      |
|          | 382~387 | 0.24                      |

표 28 이선 아크 검측 시험 결과값 (거리변화)

## 5. 결 론

본 연구는 고속전철의 고속화 등 기존 디젤차량에서 전기차량으로 철도차량에서 필요로 하는 에너지원이 화석연료에서 전기에너지로 전이되면서 국내 철도구간이 전철화가 진행되고 있어 이선시 방사되는 아크 빛의 파장대역을 분석하기 위해 다양한 재질을 대상으로 실험하였다.

전동차를 비롯한 고속전철의 속도 성능향상은 팬터그래프 시스템이 고속에서도 안정된 집전 능력을 갖추어야 한다. 기존 연구에 따르면, 고속전철의 운행 속도가 증가함에 따라 팬터그래프와 전차선사이에 진동도 증가하게 된다. 그 결과로 팬터그래프와 가선 사이의 접촉력 변화가 커지고 이로 인한 이선과 그에 따른 아크가 발생하고 가선과 팬터그래프 집전파의 손상을 초래한다.

연구를 위해 전차선 재질로는 강체가선으로 T bar를 사용하였고, 가공전차선으로는 호남선 고속선에 사용되는 재질을 사용하였다. 차량으로는 고속철도차량(KTX1)을 비롯하여 VVVF 전동차, 누리로, 8200호대 전기기관차를 대상으로 하였으며, 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 강체가선(T bar)과 4개의 차량모델의 집전판 샘플을 사용하여 모의 이선 시험시 아크에 의한 파장대역이 아래 그림과 같이 동일함을 확인할 수 있었다. 즉, EN 50317에서 제시하고 있는 한 구리(Cu) 재질에 의해 방사되는 파장 범위인 220 nm ~225 nm 또는 323 nm~329nm에 존재함으로 확인할 수 있었다.

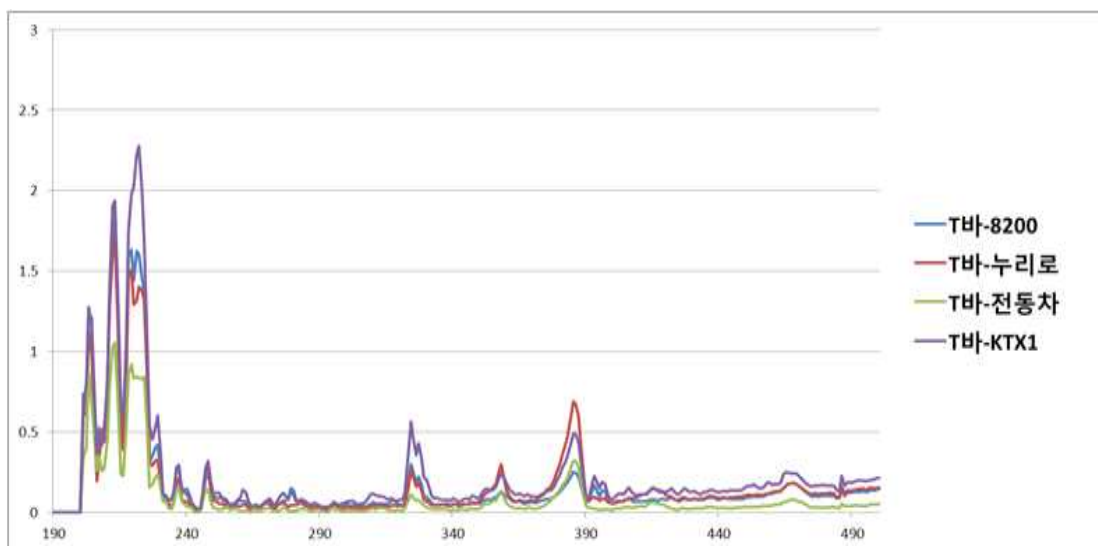


그림 92 아크에 의한 파장 - 강체가선

- 가공전차선(호남 고속전차선로)과 4개의 차량모델의 집전판 샘플을 사용하여 모의 이선 시험시 아크에 의한 파장대역이 아래 그림과 같이 동일함을 확인할 수 있었다. 즉, 상기에 언급한 바와 같이 EN 50317에서 제시하고 있는 한 구리(Cu) 재질에 의해 방사되는 파장 범위인 220 nm~225 nm 또는 323 nm~329nm에 존재함으로 확인할 수 있었다.

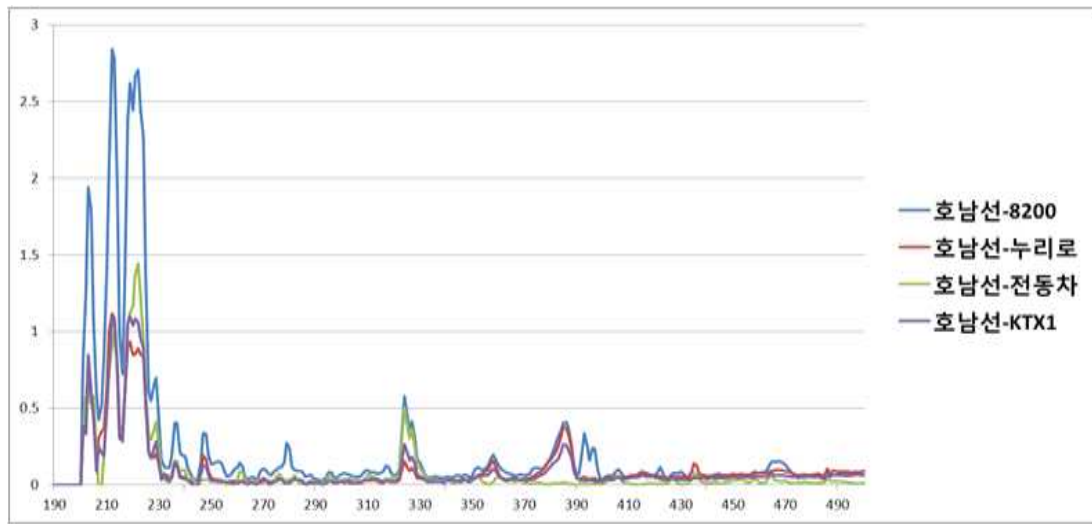


그림 93 아크에 의한 파장 - 가공전차선

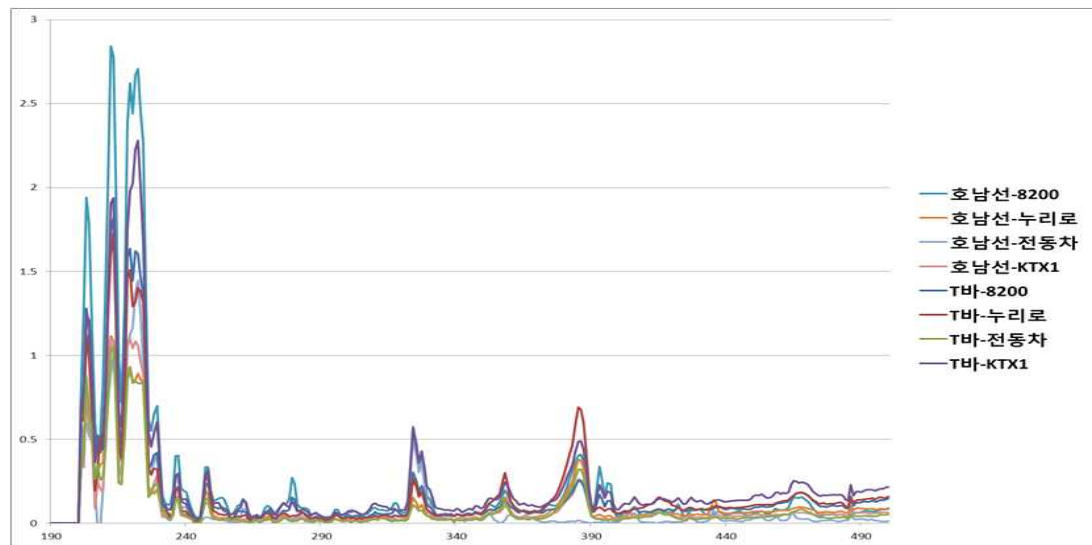


그림 94 아크에 의한 파장 - 강체강선 및 가공전차선

## 제 4 절 광학식 및 전류식 겸용 이선 측정 장치 개발

### 1. 국내외 관련분야의 환경변화

최근 전 세계적인 철도산업의 흐름은 고속철도의 발전에 초점이 맞추어져 있다. 국내에서도 고속철도 분야에서는 재정적으로 부가가치를 내고 있으나 기존의 철도 산업에서는 그렇지 못하다. 가까운 중국뿐만 아니라, 최근 언론에 알려진 남미에서의 고속철도 사업 수주 소식은 이 분야가 신성장동력 산업임을 입증하고 있다. 이러한 고속철도 사업을 위해서는 고밀도 운전 신호기술, 자기 진단 및 고장 예방기술, 무인화기술 등의 개발에 주력하여야 한다. 국내에서도 최근 우리나라 고속철도 사업에 적용된 해외 첨단 기술을 국산화하는 데 많은 노력을 기울이고 있다.

고속철도 기술에서 차량의 주행속도는 더욱 증가하고 있으며, 국내에서는 시속 400km(HEMU-400X)로 주행하는 새로운 고속철도 기술을 개발 중에 있다. 이러한 고속철도 기술에서, 차량에 전력을 공급하는 전력선(전차선)과 차량(팬타그래프) 사이의 원활한 접촉(전력공급)은 매우 중요한 부분이나, 관련된 국내 기반기술의 부족으로 어려움을 겪고 있다. 운전 중에 발생한 전력선 단선은, 전력선과 팬타그래프 사이에서 발생한 아크에 의한 것이었다. 이러한 아크 발생은 전력선과 팬타그래프 사이의 동적 관계, 팬타그래프의 품질 이상 및 노후, 전력선의 가설 이상 및 노후 등 다양한 원인이 있을 수 있으나, 이에 대한 원인을 밝히고 해법을 찾는 데 첫 번째 단추는 아크의 정확한 측정기술이라 할 수 있다. 고속·고정밀 아크 측정기술은 고속철도 차량의 주행속도가 증가할수록, 차량과 관련 기술의 개발에 매우 중요한 기술로서 주목받고 있다.

아크의 측정기술과 관련해서는, 국제표준(BS EN 50317:2002)이 정립된 지 얼마 되지 않았으며, 국내에서는 관련기술의 개발이 상업화로 이어지지 않고 있으며 또한 표준화 방안과 철도안전기준 등이 확립되지 않았다. 또한 해외에서도 추가적인 기술개발이 2000년대 들어와서 활발하게 진행되고 있으며, 완벽하게 기술개발이 완료된 분야라기보다는 개발이 진행 중인 기술 분야로 사료된다.

한국철도기술연구원에서는 국제표준에 부합하는 아크 측정기술의 개발과 검증을 위하여, 아크측정기술의 표준화 연구를 진행하여 많은 성과를 거두고 있다. 특히 “팬타그래프-전차선간 아크 검측 장치의 신뢰성 분석”에 대한 연구를 통해 EN50317의 요구사항 및 시험 절차 등을 정리하였다.

아래는 이선 아크 검측 센서 요구사항 및 이선 검측 순서를 나타낸다.

| 항목          | EN 50317<br>요구사항 | 평가기준            |
|-------------|------------------|-----------------|
| 측정 파장       | 220 nm ~ 225 nm  | 323 nm ~ 329 nm |
| 허용 오차       | 10%              | 팬터그래프 동작범위<br>내 |
| 반응속도        | 100 $\mu$ s      | 최소반응속도          |
| 태양광<br>반응여부 | 330 nm           | 가시광선 영역<br>반응여부 |

그림 95 팬터그래프 전차선간 이선아크 검측센서 요구사항

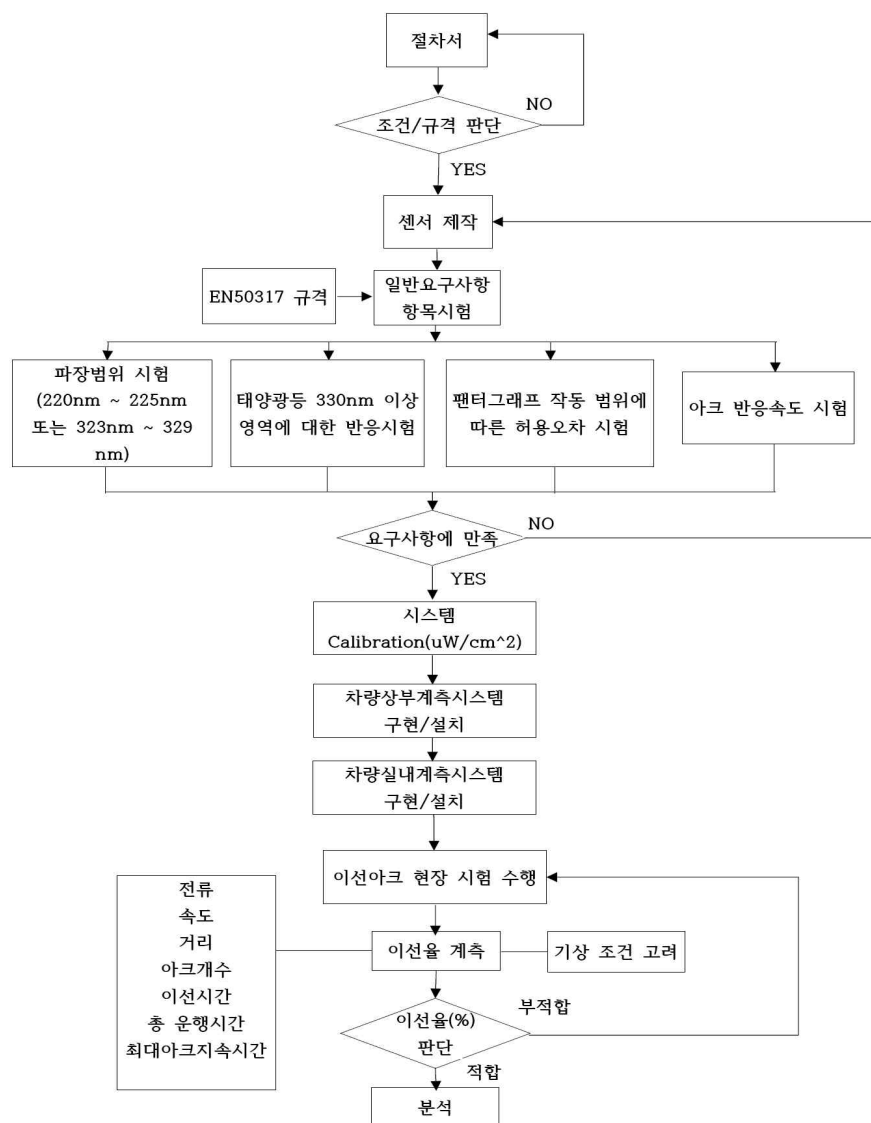


그림 96 이선아크 검측 순서도

현재 국내에서 개발된 이선아크 검측 시스템의 센서와 프로그램을 국제규격에 적합한지를 판단하는 중요한 기술자료로 본 과제에서 제작할 광학식 이선 검출기의 검증에도 많은 도움이 되리라 사려된다.

그동안 실시간 집전 성능은 주로 접촉력을 측정하여 평가하였으나 측정용 팬터그래프가 별도로 필요하고 습동면 마모로 주기적으로 교체해 주어야하며 켈리브레이션이 용이 하지 않은 점 등 운영상 불편함 점이 많았다. 이에 비해 아크 검출에 의한 이선을 평가는 비접촉식으로 설치가 단순하고 간편하여 앞으로 다양한 집전성능 평가에 활용될 것으로 기대된다.

국내에서는 아직 전류식 이선 검출에 대한 연구나 개발 사례가 전무한 상태이며 본 과제를 통해 처음으로 관련 핵심 기술 및 제품을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

아래는 이선 측정 방식별 장단점을 비교한 표이다. 각 방식마다 측정 대상 과 장단점이 다르며 서로 상호보완적인 관계이므로 여러 방식으로 동시에 측정하여 집전 품질을 종합적으로 평가할 필요가 있다.

| 방식          | 장점                                                                                                | 단점                                                                                                                          |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NQ<br>(접촉력) | <ul style="list-style-type: none"> <li>•판토그래프-전차선의 동특성 측정</li> <li>•기계적인 이선 현상을 정확히 측정</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•측정전용 팬터그래프 사용 - 보정이 어렵고 주기적으로 교체해야 함</li> <li>•아크 발생여부, 전기적 이선 여부는 측정 안됨</li> </ul> |
| NQ<br>(아크)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•비접촉식으로 설치가 간편함</li> <li>•국내 표준화 진행 중</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>•대이선은 측정이 안됨</li> </ul>                                                              |
| CQ<br>(전류식) | <ul style="list-style-type: none"> <li>•구조가 간편</li> <li>•전기적인 이선 구간을 정확히 측정</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>•부하 회로의 영향을 받을 수 있음</li> <li>•고압부 설치 (팬터그래프, 인통선, 주변압기 등)</li> </ul>                 |

표 29 접촉력, 아크, 전류식 비교

아래 그림은 이선 발생시 아크와 전류 파형을 예시한 것으로 아크 발생 구간과 이선 전류 영점 구간이 상이함을 알 수 있다. 그림에는 표시가 되지 않았으나 아크가 발생하는 구간에는 고주파 전류가 발생하며 이선전류파형 분석 알고리즘에서 소이선으로 검출하는 영역이다.

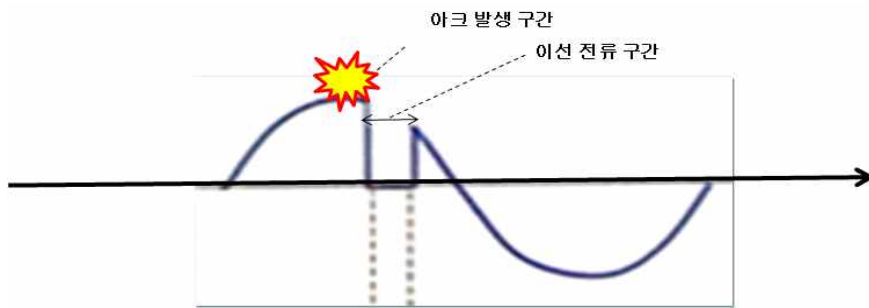


그림 97 이선 아크 발생 시 팬터그래프-전차선 간 전류 파형 예

전기적인 이선 측정 방법으로는 전류식과 전압식이 있으며 전류식은 국제규격 (CQ)에도 포함된 방식으로 팬터그래프의 전류를 측정하거나 설치 환경이 여의치 않을 시에는 주변압기의 전류와 인통선 전류를 측정한 후 그 차로부터 팬터그래프의 전류를 측정하고 전압식의 경우는 팬터그래프의 전압을 커패시터로 분압한 고압프로브를 이용하여 측정할 수 있다.

KTX는 인통선과 주변압기의 커패시턴스가 매우 커서 아크 발생이나 MCB개폐시 전형적인 용량성 부하 스위칭 파형을 나타낸다. 아래 그림은 일본에서 사용 중인 C-R식이선 측정 방식을 보인 것으로 이중 팬터그래프에서 집전에 사용하지 않는 팬터그래프에 커패시터를 연결하여 커패시터 전압과 전류를 측정하는 방식으로 이선 시 고주파 펄스 전류가 발생하는 반면 전압은 거의 변동이 없음을 알 수 있다. 국내는 단일 팬터그래프 구조로 C-R식을 직접 적용할 수는 없으며 고압 프로브로 팬터그래프의 전압을 직접 측정하더라도 앞에서 언급한 바와 같이 이선 시에도 전압 변화가 거의 없는 용량성 부하 특성으로 인해 팬터그래프 전압으로 이선을 검출하기는 어렵다.

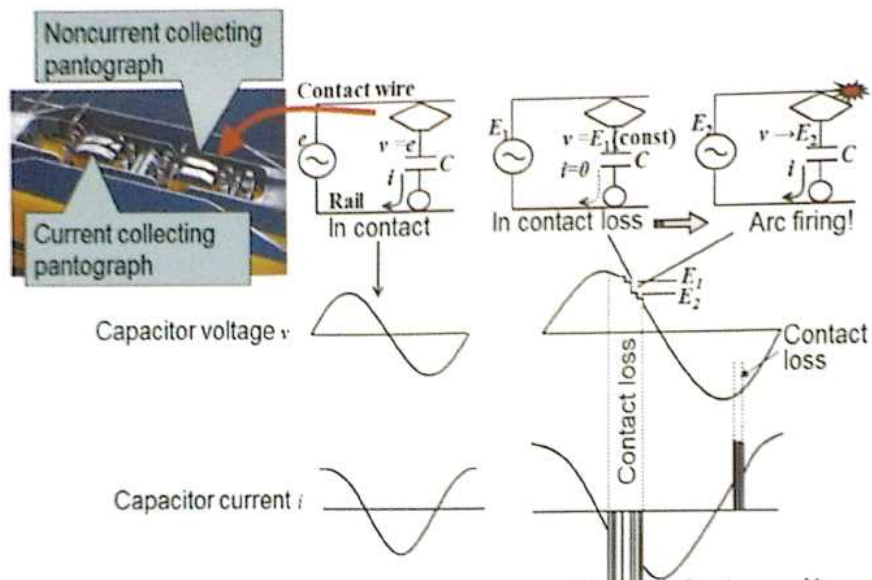


그림 98 C-R식 이선 검출 방법 (출처:RTRI)

## 2. 모듈형 광학식 이선 검출기 제작

광학식 이선 검출기는 실차 탑재가 용이하도록 1차년도에 개발한 광학식 이선 검출기 시제품에서 필요한 컴포넌트의 수를 줄이고 일체형으로 모듈화하여 개발하였다.



그림 99 2차년도 개발품 개선 사항

아래 그림은 모듈형 광학식 이선 검출기의 구조를 보인 것이다.

센서 하우징

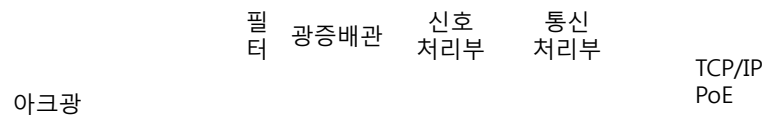


그림 100 모듈형 광학식 이선 검출기 구조

필터부, 광증배관, 신호 및 통신 처리 보드를 일체화하고 TCP/IP로 센서 데이터를 전송하고 센서 전원도 PoE로 받도록 제작하여 네트워크 카메라처럼 차탑 설치가 용이하도록 제작하였다.



그림 101 광학식 이선 검출기 개발품 사진

외산 센서와의 가장 큰 성능 차이는 UV를 가시광으로 변환한 후 광케이블로 전달하는 부분에서 효율을 높이기 위해서 특수한 구조를 사용하는 것에 기인하며 본 과제에서는 2차년도 아크센서 개발품의 구조를 단순화 하고 광 변환 및 전달 단계를 줄임으로써 외산 센서보다 구조가 더 단순하고 설치가 용이하면서도 동등의 성능을 내는 아크 센서를 개발하였다.

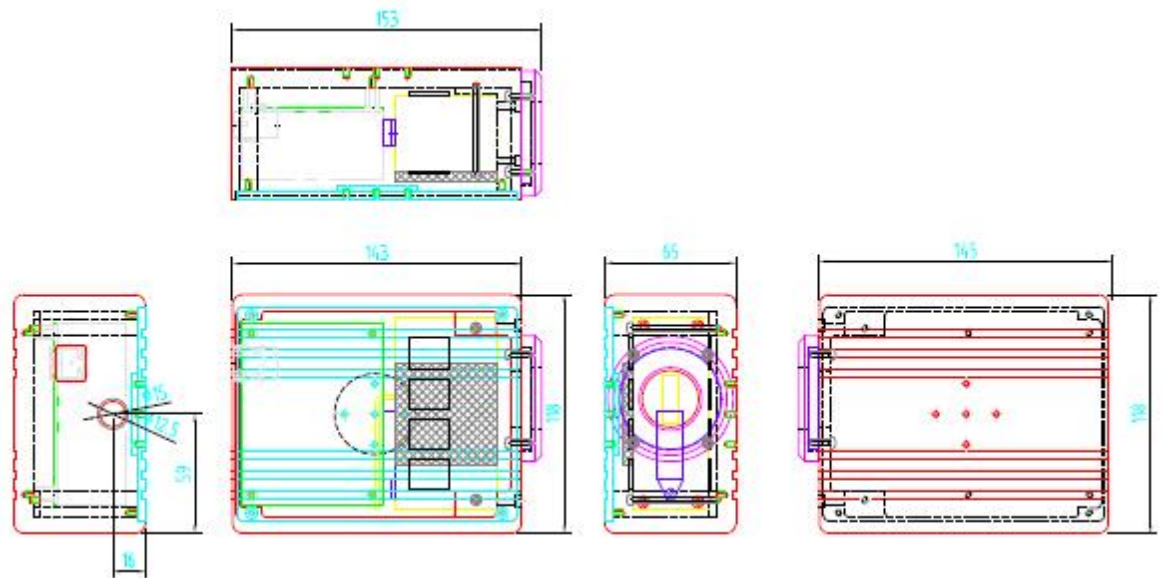


그림 102 광학식 이선 검출기 기구 도면

|   | 성능 항목                             | 목표사양                         | 최종 사양                           |
|---|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 검출파장(nm)                          | 220~225nm                    | 210~230nm<br>(필터미적용)            |
| 2 | 차단파장(nm)<br>(태양광영향)               | 2% 미만                        | 2% 미만                           |
| 3 | 화각(View Angle)                    | $\geq 10^\circ$              | $\geq 25^\circ$                 |
| 4 | 아크 반응속도                           | 100 $\mu$ s 미만               | 10 $\mu$ s미만                    |
| 5 | 최저아크감도( $\mu$ W/cm <sup>2</sup> ) | 1 $\mu$ W/cm <sup>2</sup> 이하 | 0.02 $\mu$ W/cm <sup>2</sup> 미만 |
| 6 | EN50317 만족 여부                     | 만족                           | 만족                              |

표 30 아크 검출시스템의 개발결과물의 성능 요약

국제 규격(NQ)은 전차선 재질별(철계열 합금, 구리계열 합금, 순수카본 등) 스펙트럼의 공통 부분인 220nm~225nm를 검출 파장대역으로 규정을 했으나 국내 전차선 재질에 대한 스펙트럼 조사가 이뤄진 바가 없으므로 별도로 국내 전차선 재질별 스펙트럼 분석도 수행하여 검출 파장대의 적합여부를 검증하였으며 그 결과를 앞 절에서 상세히 기술하였다.

국내에서 사용하는 전차선 및 판토티그래프의 재질에 관계없이 220~225nm대역의 파장을 검출하는 것이 전차선 아크를 가장 효과적으로 검출하는 방법이며 330nm대역은 태양광과 인접하여 사용이 어려움을 알 수 있었다. 스펙트럼 분석결과를 토대로 아래와 같이 UV영역(330nm미만)에서만 반응하는 스펙트럼 특성을 갖는 PMT를 선정하여 밴드패스필터 없이도 태양광의 영향을 최소화하고 220~225nm를 검출할 수 있는 광학식 이선 검출기를 구현하였다.

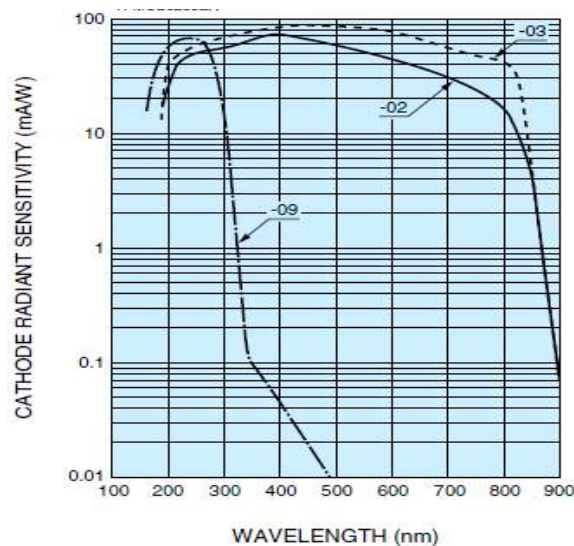


그림 103 PMT 응답 특성

1차년도 시제품은 광학부가 차탑에 설치되고 광케이블을 통해 차상에 설치된 DAQ로 아크검출 신호가 전달되는 구조 였으나 광케이블로 신호가 전달되는 단계에서 신호 손실이 커서 검출 성능에 한계가 있고 광케이블을 현차에 설치하는 것도 실제 환경에서는 여의치 않아 활용성에 제약이 있었으나 2차년도 개발품은 DAQ를 소형화하여 광학센서와 함께 일체형으로 개발하였다.

주요 특징으로는 32비트 고속 ARM프로세서 기반으로 16비트 1MSPS이 가능한 고속 ADC 2채널과 12W급 PoE모듈을 탑재하였다.

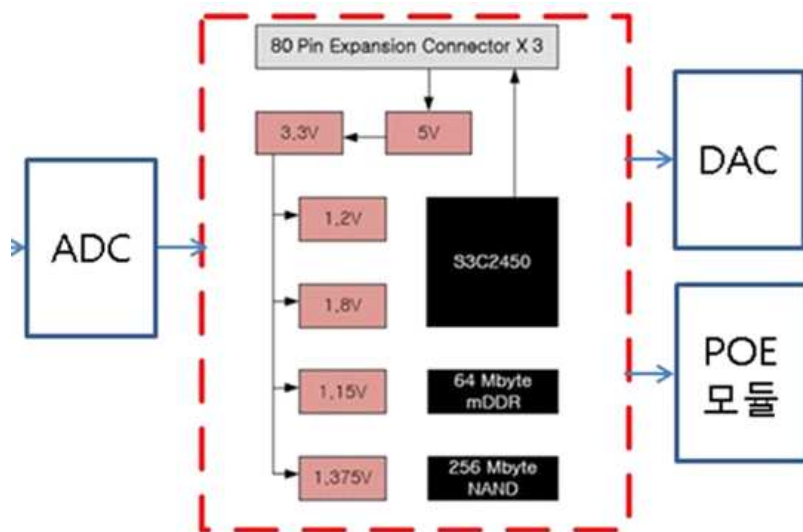


그림 104 모듈형 DAQ 블록도

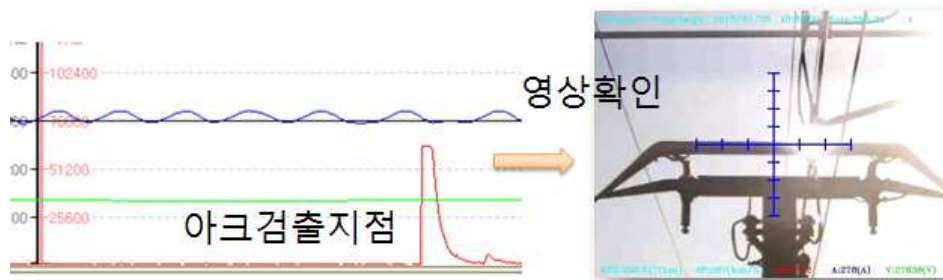


그림 105 아크 발생 지점 영상 분석 개요

실험실 시험과 현차시험을 통해서 태양광의 영향은 2%이내 임을 확인하였으며 현차시험 영상 확인을 통해서 터널 내 인공조명 등의 영향이 없음을 확인하였다.

### 3. 외산센서 대비 성능 검증

아크 센서 성능 검증을 위해서는 검출파장, 검출 감도, 펄스속도를 조정할 수 있는 광원이 필수이나 단일 장비로는 사양이 맞는 것이 없어 UV대역의 광원, BPF, ND필터, 초퍼 등으로 파장, 강도, 펄스폭을 모두 조정할 수 있는 테스트베드를 구성해야 한다.

1차년도 에는 상용 초퍼를 사용하였으나 100us미만의 고속펄스를 만드는데 한계가 있었으며 2차년도에는 최종 성능 지표를 모두 평가할 수 있도록 기 구축한 테스트베드의 미비점을 보완하였다. 장대별 반응 특성 및 최소 감도를 정밀하게 측정하기 위해 모노크로 미터와 스펙트럼 분석기를 사용하였다.

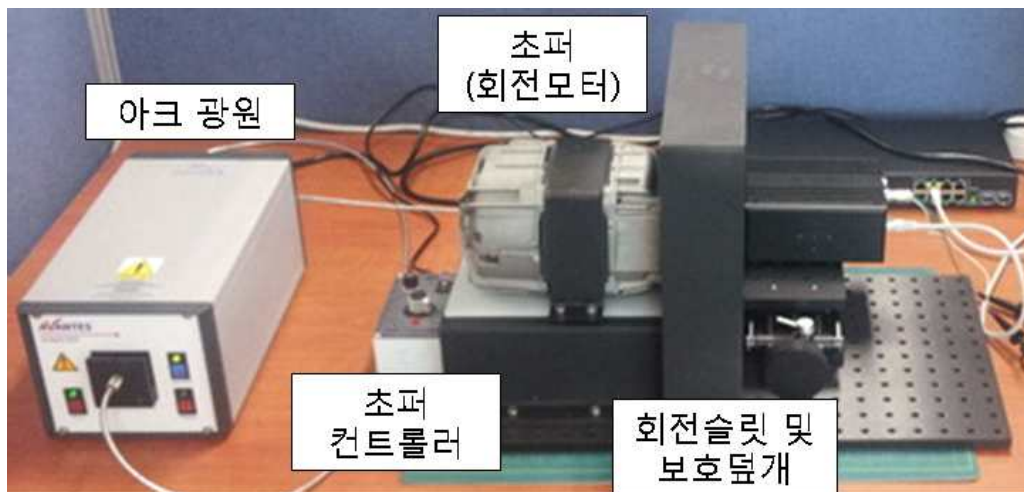


그림 106 테스트베드 구성

테스트 베드는 아크광원, 초퍼, 초퍼 컨트롤러, 회전슬릿 및 보호덮개로 구성되며 주요 구성품의 사양은 아래와 같다

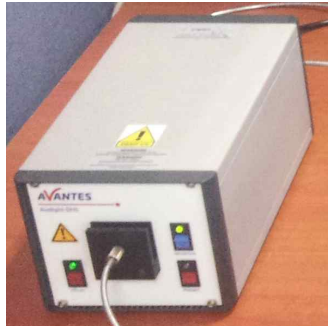
| 사양               |           | 외형                                                                                   |
|------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Wavelength Range | 190~400nm |  |
| Lamp Power       | 78W/0.75A |                                                                                      |
| Optical Power    | 206uW     |                                                                                      |

표 31 아크 광원 사양

| 사양  |           | 외형                                                                                 |
|-----|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 회전수 | 0~1500rpm |  |
| 전압  | AC220V    |                                                                                    |
| 용량  | 400W      |                                                                                    |

표 32 초퍼용 고속 모터 사양

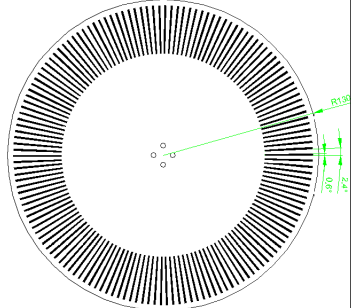
| 사양    |       | 외형                                                                                  |
|-------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 지름    | 130nm |  |
| 슬릿수   | 150ea |                                                                                     |
| 슬릿 각도 | 0.6°  |                                                                                     |

표 33 초퍼용 차계 제작 슬릿 사양

| 사양   |                                                 | 외형                                                                                   |
|------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 파장범위 | 200-1000nm                                      |  |
| 해상도  | 0.05-20nm                                       |                                                                                      |
| 감도   | 310,000<br>counts/μW per ms<br>integration time |                                                                                      |

표 34 스펙트럼 분석기 사양

국내에 관련 국제 규격에 준한 공인 시험을 수행할 수 있는 기관은 아직 없으므로 테스트베드 성능을 개선하고 외산 센서와 비교하는 방식으로 기본 성능을 검증하였다. 아래는 NQ개발품과 외산 Y사 센서 비교 실험 사진이다.



그림 107 외산센서 비교 시험 사진

아래 표는 성능 비교 결과를 요약한 것으로 외산 센서 대비 반응 속도 및 감도가 매우 우수하며 구성이 일체형으로 크기가 작고 PoE를 지원하여 설치가 용이하므로 실용적으로도 많은 장점이 있음을 알 수 있다.

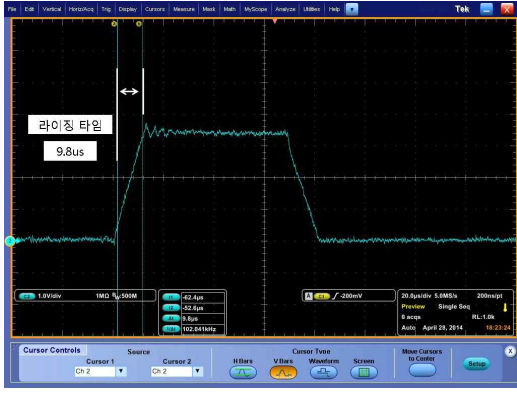
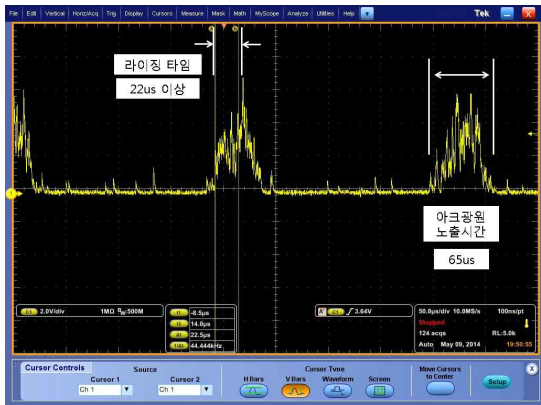
|                | NQ 센서 (투아이시스)                                                                     | 아크 센서 (일본)                                                                         |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 아크<br>검출<br>화면 |  |  |
| 반응<br>속도       | 9.8us 이하                                                                          | 22us 이상                                                                            |
| 출력<br>파형       | 깔끔함                                                                               | 노이즈성 잡음 많이 실려있음                                                                    |
| 감도             | 0.018 [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] 검출 @2m                                        | 0.155 [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] 검출 @0.8m                                       |
| 구성             | 단순 (일체형)                                                                          | 복잡 (분리형)                                                                           |
| 크기             | 소형 (65*118*145 전체크기)                                                              | 대형 (240*250*280 본체크기)                                                              |
| 전원             | 12 VDC, PoE                                                                       | 110 VAC                                                                            |

표 35 외산 센서 성능 비교 결과 표

#### 4. 전류 파형 및 이선 분석 장치 개발

종합 이선 분석 장치는 전류파형 알고리즘을 탑재하고 광학식 센서 및 전류식 센서 신호 입력을 동시에 받아 이선을 검출하고 실시간으로 아래식에 따라 이선율을 계산한다.

|     |                                                  |                                                               |
|-----|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 광학식 | $NQ = \frac{\sum t_{arc}}{t_{total}} \times 100$ | $t_{arc}$ - 5ms이상 아크 시간<br>$t_{total}$ - 정격 전류 30%이상인 시간      |
| 전류식 | $CQ = \frac{\sum t_{cl}}{t_{total}} \times 100$  | $t_{cl}$ - 전류 파형으로 측정한 이선 시간<br>$t_{total}$ - 정격 전류 30%이상인 시간 |

고속 데이터 취득 및 처리가 가능하도록 설계하고 1차년도에 개발한 이선 전류 파형 분석 알고리즘을 탑재하였다.

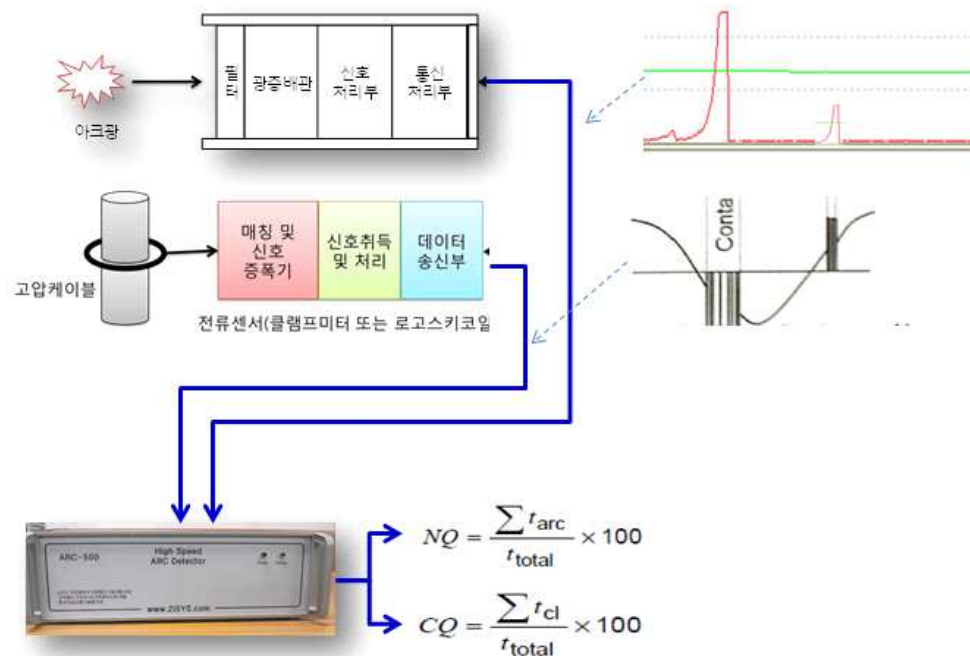


그림 108 아크신호 및 이선전류파형 종합 분석 개요도

아래는 NQ 및 CQ 겸용 이선 검출기의 개요도로 아크 신호와 이선 전류 파형을 동시에 취득하여 분석하므로 두 신호를 개별적으로 분석하여 NQ이선율과 CQ이선율을 계산하거나 두 신호를 결합하여 아크 발생 구간(CQ소이선 신호 발생 구간과 일부

중첩)을 CQ이선 분석에서 제외하는 등 다양한 분석이 가능하도록 개발하였다.

19 “표준 랙에 장치를 구성하였으며 장치 사진 및 주요 구성품 사양은 아래와 같다.



그림 109 종합이선 분석 장치 사진

| 구분        | 사양                  |
|-----------|---------------------|
| CPU       | ARM32bit, Cortex M3 |
| ADC       | 4ch 500kS/s         |
| OS        | Linux               |
| interface | Lan                 |

표 36 고속 데이터 수집 장치 사양

| 구분  | 사양                 |
|-----|--------------------|
| CPU | Intel Xeon E3-1200 |
| RAM | 4GB                |
| HDD | 500GB              |
| OS  | Windows7           |

표 37 종합 이선 분석 서버 사양

| 구분   | 사양            |
|------|---------------|
| 출력용량 | 980W / 1500VA |
| 전압   | 230V          |
| 파형   | Sine Wave     |
| 백업시간 | 26.5분 @반부하    |

표 38 UPS사양

## 5. 고속 고압 전류 파형 측정 및 전송 장치 개발품 제작

고압부(인통선 또는 변압기 입력 부싱)에서 전류를 고조파 성분까지 측정해야 하므로 이에 적합한 고속 고압 전류 파형 측정 및 전송 장치를 개발하였다.

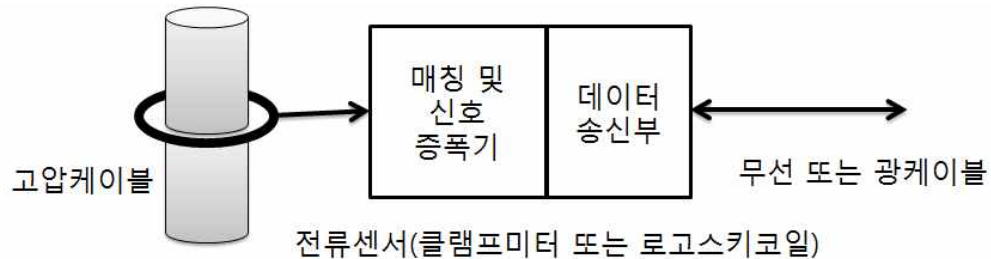


그림 110 고압 전류 측정 및 전송장치 구성

전류 센서는 클램프나 코일 타입으로 인통선이나 변압기 부싱에 설치가 용이하고 대역폭이 수십kHz이상 되는 것을 사용한다. 데이터 전송 장치는 설계 위치에 따라 고압 절연이 되어야 하므로 광전송이나 무선 전송이 가능하도록 설계 및 제작하였다.

아래 그림은 전류식 이선 검출기 개발품 사진이다. 기본적으로 LAN포트를 통해 PoE로 전원을 공급받고 TCP/IP로 데이터를 전송하며 필요에 따라 Wifi 및 광전력전송 모듈을 장착할 수 있다.



그림 111 전류식 이선 검출기 개발품 사진 (Wifi모듈 및 안테나 장착)

아래 표는 전류식 이선 검출 장치 및 주요구성품의 사양을 정리한 것이다.

| 구분     | 사양            |
|--------|---------------|
| 전류측정범위 | 0~500A        |
| 전압측정범위 | 0~380V        |
| 해상도    | 16Bit 2ch     |
| 인터페이스  | TCP/IP        |
| 전원     | 12VDC, POE    |
| 크기     | 44*160*110 mm |
| 무게     | 0.9kg 내외      |

표 39 전류식 이선 검출 장치 주요 사양

| 구분      | 사양                            |
|---------|-------------------------------|
| 프로세서    | ARM926EJ-S (400MHz)           |
| 플래시 메모리 | 8MB data flash, 32/64mb SDRAM |
| 인터페이스   | 19bit address/ 16bit data bus |
| 이더넷 규격  | 10/100 Base-T                 |
| 전원      | 3.3V                          |
| 크기      | 45.2 * 28 * 8.8               |

표 40 전류식 이선 검출 장치 MCU사양

| 구분  |          | 사양                            |
|-----|----------|-------------------------------|
| 송신측 | 파장       | 750~850nm, 900~1000nm         |
|     | 입력 전압    | 5V                            |
|     | 광케이블 사이즈 | 62.5 또는 100um                 |
| 수신측 | 출력 전류    | up to 45mA                    |
|     | 출력 전력    | Up to 500mW                   |
|     | 출력 전압    | Up to 12V                     |
|     | 비고       | Complete electrical isolation |

표 41 광전력 전송 모듈 사양

## 제5절 실차 시험 및 광학식과 전류식 비교 검증

### 1. 고속차량에서의 실차 성능 검증

#### 가. HEMU 시설치



그림 112 아크센서 HEMU 차량 설치 사진

개발한 제품의 성능 검증을 위해 HEMU 차량 차탑에 광학식 이선장치(NQ센서)와 모니터링 카메라, 조명을 설치하여 시험운행을 하였으나, NQ 센서 설치 위치의 제약 등 차량 사정으로 인해 만족할 만한 결과를 얻지 못했다.

#### 나. KTX36호 시설치

고속차량에서의 성능을 검증하기 위해 현재 영업운행을 하고 있는 KTX 차량(KTX36호)에 전차선 이선 측정장치를 설치하여 시험운행 하였다.

KTX 차량 차탑에 광학식 이선 측정 장치(NQ 센서)와 모니터링 카메라, 조명을 설치하여 광학식 이선 발생시의 영상을 취득할 수 있도록 했다. 전류식 이선 측정장치(CQ 센서)의 경우 정확한 측정을 위해 KTX차량의 팬터그래프 전류, 인통선 전류, 주변압기 전류를 측정해야 하나 상용 운행차량이기 때문에 직접 설치하는 불가하였고, 차량 동력실 내부에 있는 2차 PT와 CT부에 전류식 이선 측정 장치(CQ 센서)를 설치하여 이선 발생시 전류와 전압의 순시값 변화를 측정하고, 운행구간의 이선율을 분석했다.

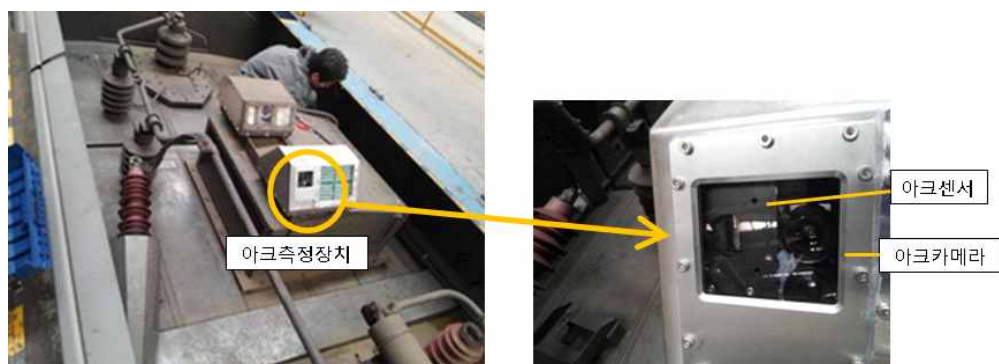


그림 113 아크센서 KTX36호 설치사진

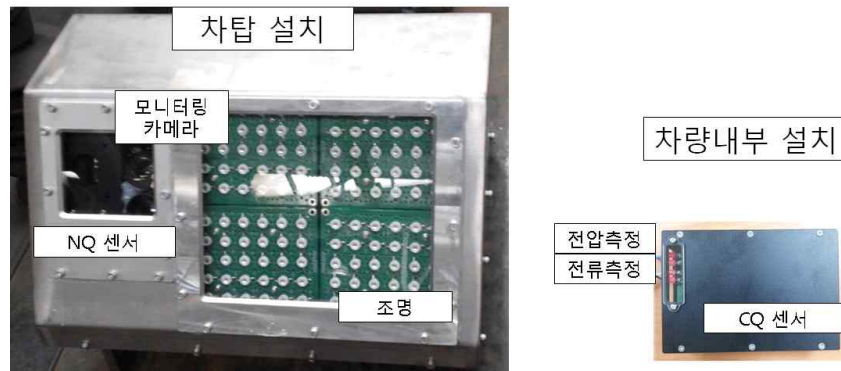


그림 114 ktx36호에 시설한 전자선 이선 측정 장치 사진

CQ설치 위치가 주변압기 부하 전류를 측정하는 위치로 팬터그래프 순시 전류를 측정하는 데에는 위치상으로 한계가 있었다.

아래 그림은 팬터그래프 전류, 인통선 전류 및 주변압기 전류를 측정하는 측정점을 예시한 것으로 정확한 CQ전류를 취득하기 위해서는 팬터그래프에서 직접 전류를 취득하거나 주변압기 전류와 인통선 전류를 같이 취득하여 그 차를 구해야 한다.

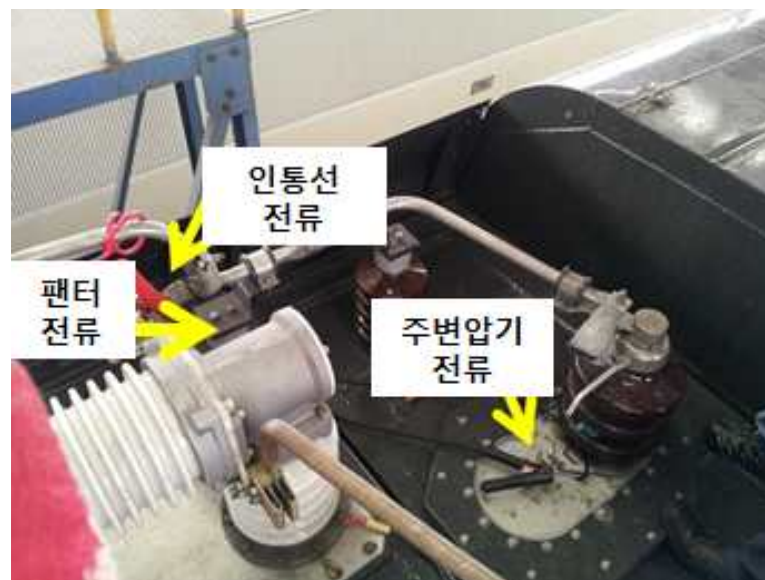


그림 115 팬터전류, 인통선 전류, 주변압기 전류 측정점 예

## 나. NQ 이선을 분석

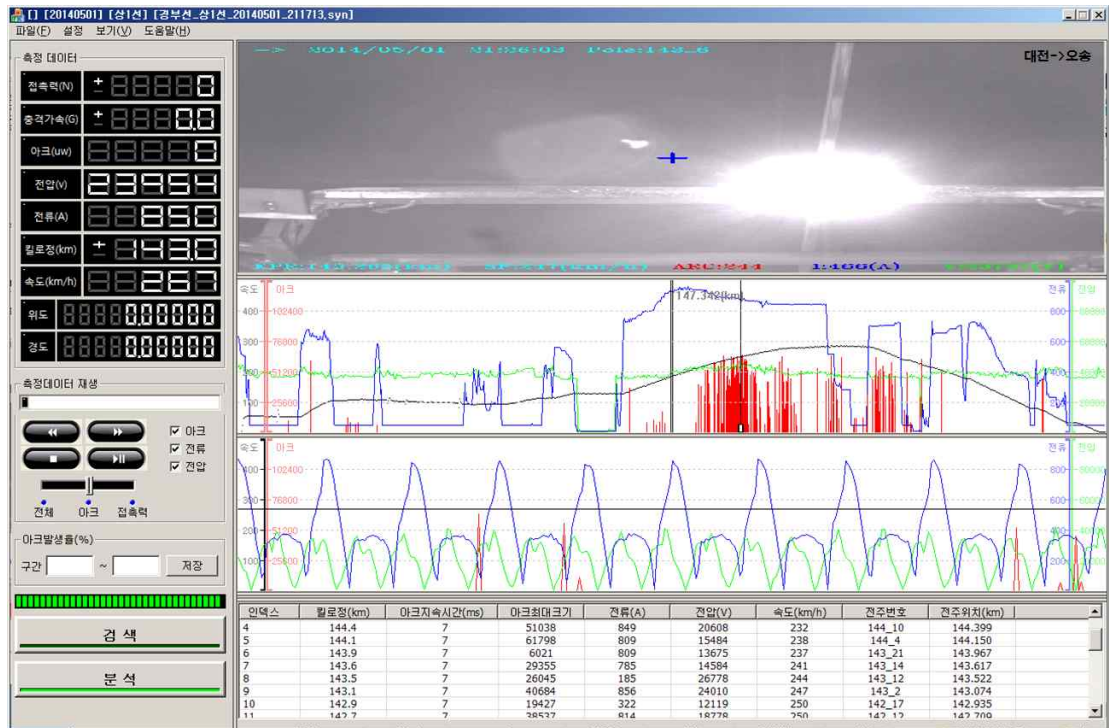


그림 116 이선을 분석 화면(대전-오송 간)

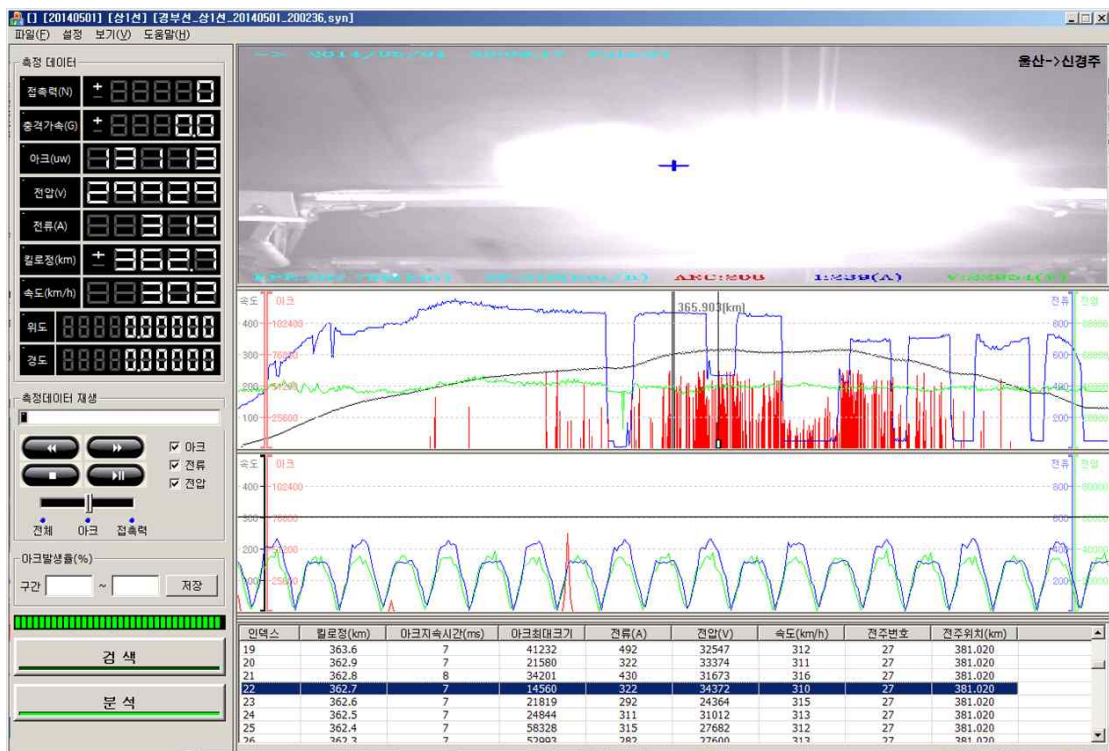


그림 117 이선을 분석 화면(울산-신경주 간)

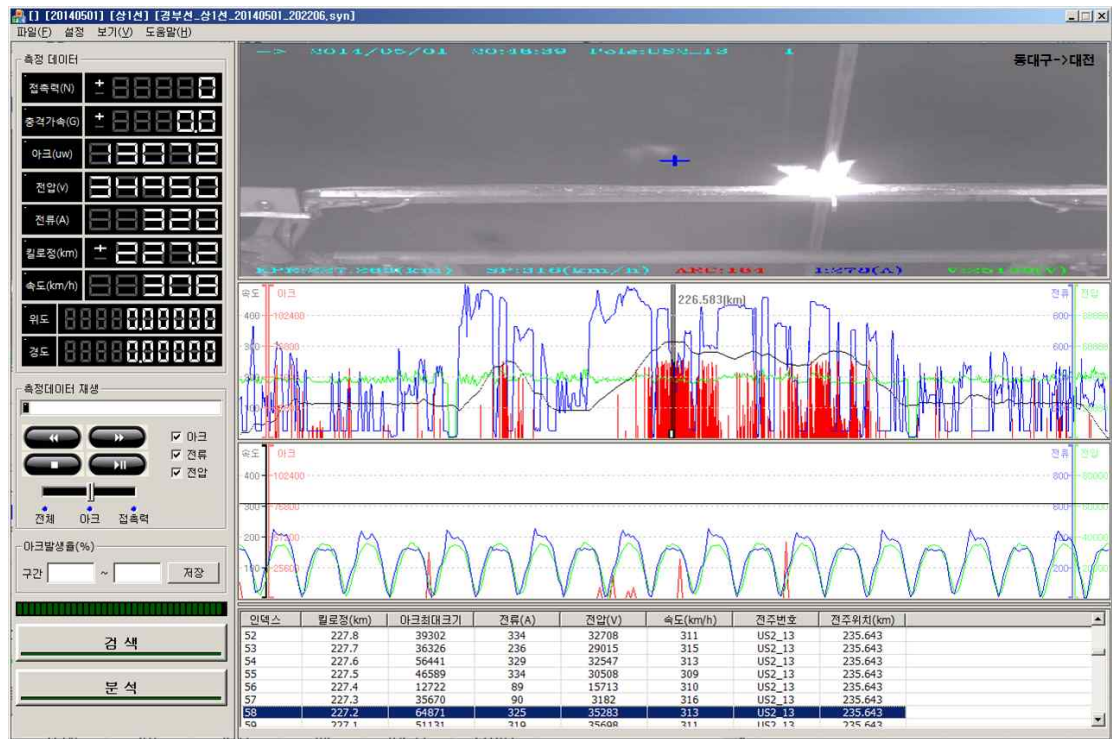


그림 118 이선율 분석 화면(동대구-대전 간)

상용 운행차량에 설치하여 시험한 결과 광학식 이선 측정장치는 태양의 영향을 거의 받지 않고 (태양광 영향 2% 미만) 아크 광원을 측정하였다.

KTX36호의 이선율 검측 데이터를 분석한 결과는 아래와 같다.

부산에서 동대구사이 58km 구간의 분석결과 평균 269km/h 속도로 운행하였고 이선율은 0.019%로 나타났다. 마찬가지로 동대구에서 대전구간, 대전에서 오송구간을 분석한 결과 평균속도 249km/h, 253km/h로 나타나고 이선율은 각각 0.028%, 0.005%로 나타났다.

| 시작역 | 종료역 | 시작킬로정(km) | 종료킬로정(km) | 평균속도(km/h) | 이선율   | 평균전류(A) | 평균전압(V) |
|-----|-----|-----------|-----------|------------|-------|---------|---------|
| 부산  | 동대구 | 400.1     | 342.1     | 269        | 0.019 | 307     | 21173   |
| 동대구 | 대전  | 293.1     | 159.8     | 249        | 0.028 | 262     | 21441   |
| 대전  | 오송  | 159.8     | 124.6     | 253        | 0.005 | 309     | 21373   |

표 42 KTX36호 시운전 NQ이선율 분석 결과

아래는 이선율 평가 기준으로 운행 속도가 300km/h일 때에는 AC4로 분류되며 지속 시간이 5ms이상인 아크의 이선율이 0.2%이하여야 하며 KTX36호 시험 결과

는 이를 만족함을 알 수 있다.

| 항목          | AC1       | AC2             | AC3             | AC4       |
|-------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------|
| 속도(v)       | $v < 160$ | $160 < v < 220$ | $220 < v < 250$ | $v < 250$ |
| 최고속도이선율(NQ) | 0.1       | 0.1             | 0.1             | 0.2       |
| 아크지속시간(ms)  | 5>        | 5>              | 5>              | 5>        |

표 43 속도별 이선율 평가 기준 표(EN50317)

## 다. CQ 전류 파형 분석

이선 및 아크가 발생하지 않는 구간의 정상적인 전압 전류 파형은 아래와 같았다.

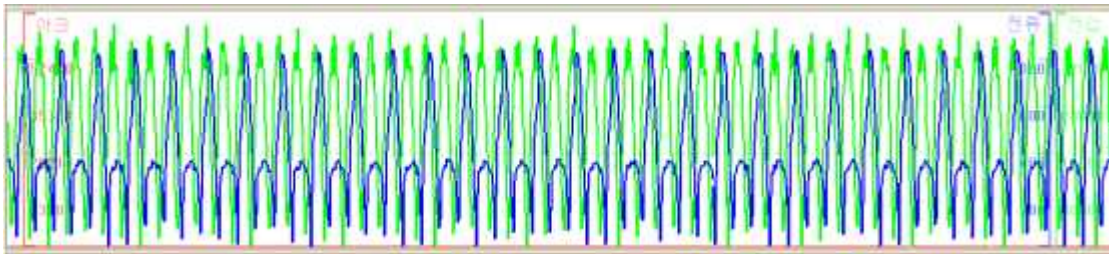


그림 119. KTX 속도 증속시(250km/h→270km/h) 전류 파형  
(전압-초록색, 전류-파랑색)

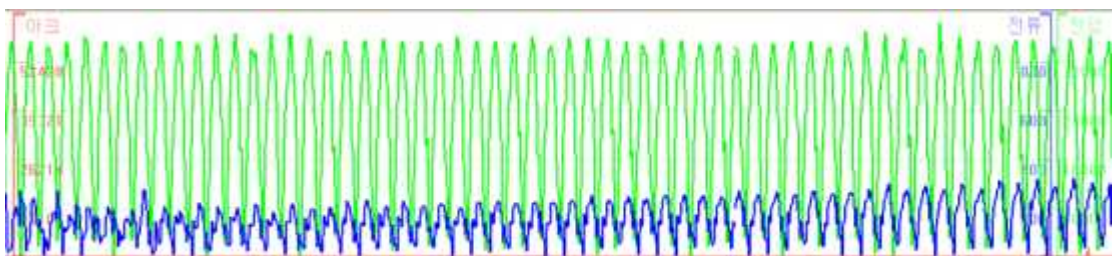


그림 120. KTX 속도 감속시(300km/h→280km/h) 전류 파형  
(전압-초록색, 전류-파랑색)

증속할 때, 즉 역행할 때 전류 파형이 불균형하게 나왔으며 이는 모터 구동회로의 특성에 기인한 것으로 보인다.

아크 발생 시의 전압 및 전류의 파형은 아래와 같았다  
CQ센서의 설치 위치가 주변압기 부하 전류를 측정하는 지점으로 주변압기의 인덕턴스의 영향으로 아크 발생 시 전류의 변화는 크게 감지되지 않았다.

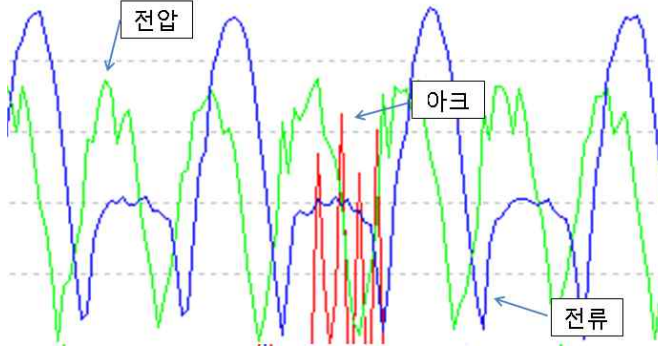
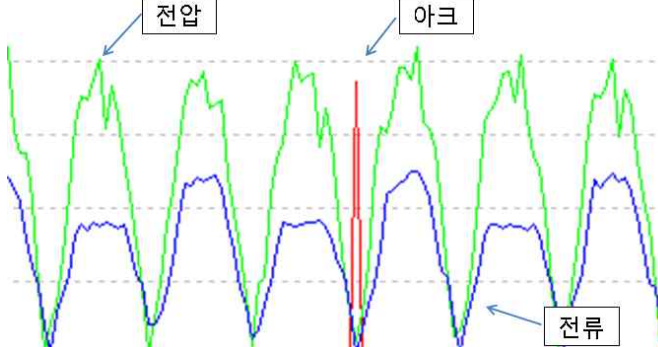
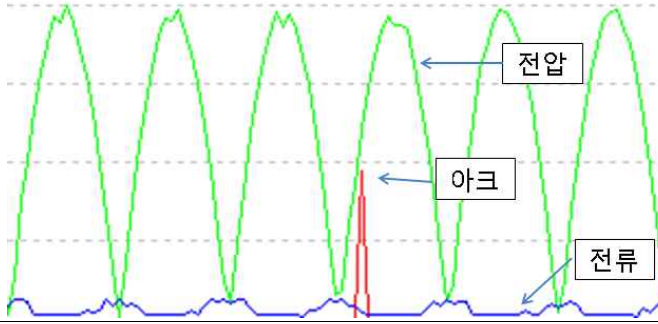
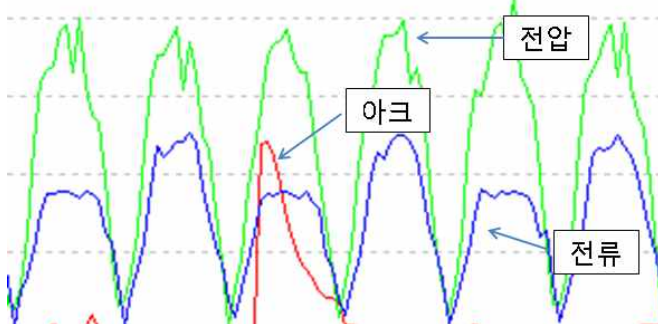
| No | 아크 발생시 전압 전류 파형                                                                      | 비고                                             |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1  |    | 전류 피크일 때 광학식<br>이선 발생                          |
| 2  |    | 전류와 전압이 제로크로싱<br>하는 지점에서<br>광학식 이선 발생          |
| 3  |  | 전압파형은 나타나지만<br>전류가 거의 흐르지 않는<br>지점에서 광학식 이선 발생 |
| 4  |  | 반주기전체에 걸쳐 아크가<br>발생한 5ms이상 지속된 이선<br>파형        |

표 44 아크 발생시 전압 전류 파형

## 라. CQ이선율 분석

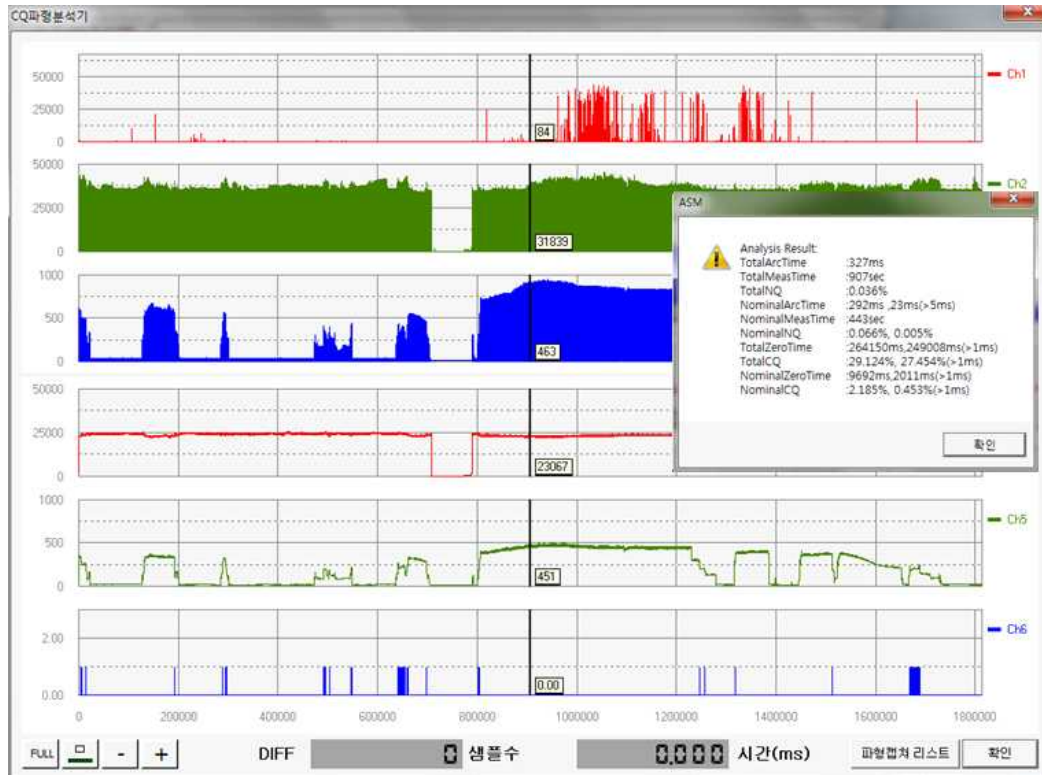


그림 122 CQ이선율 분석화면 (대전-오송간)

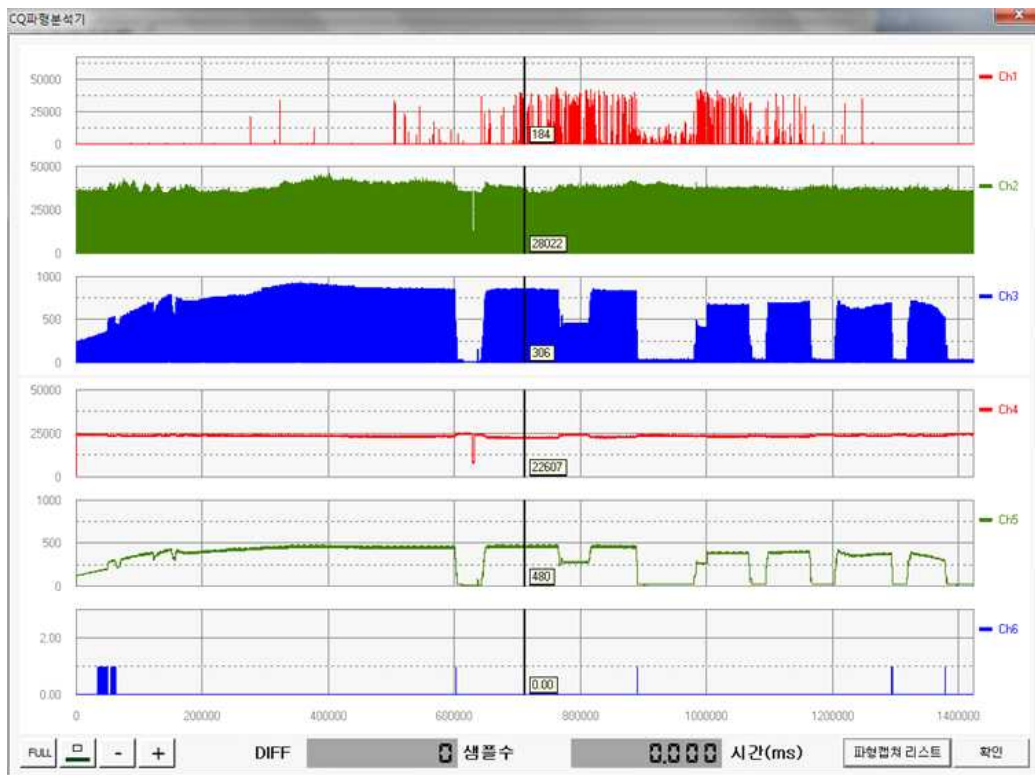


그림 123 CQ이선율 분석 화면(울산-신경주 간)

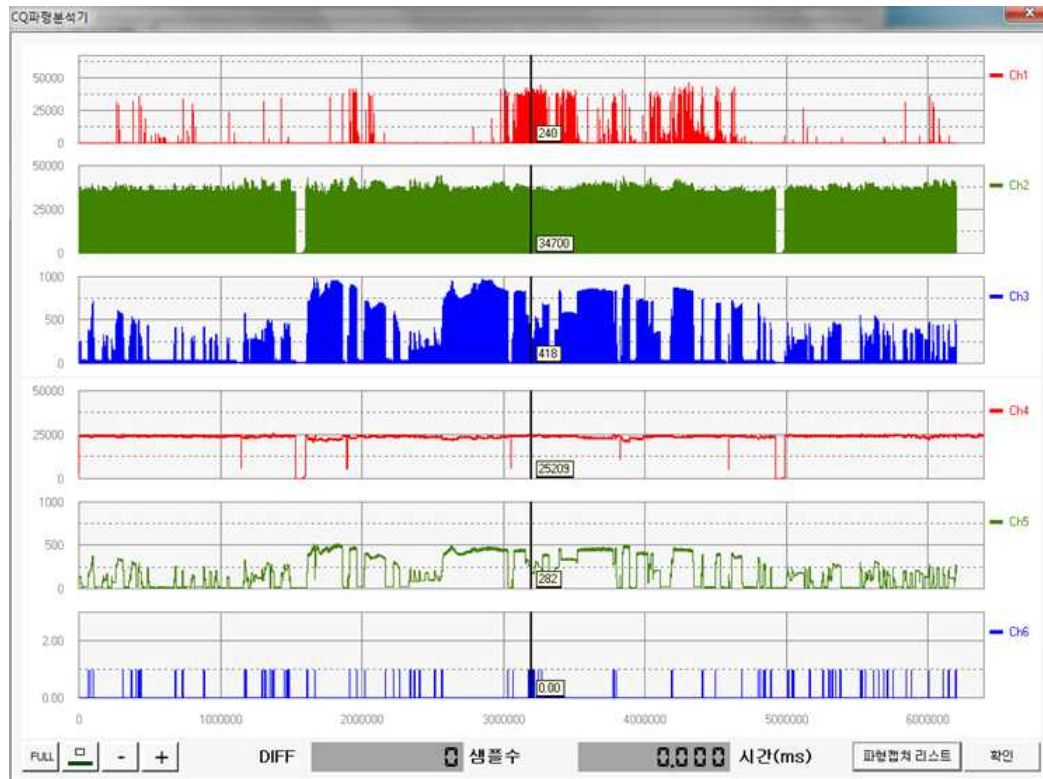


그림 124 CQ이선율 분석화면 (동대구-대전간)

그림 121~123은 CQ이선율을 분석한 화면이다. 각각의 그래프는 맨 위부터 아크센서값, 전압순시값, 전류순시값, 전압RMS값, 전류RMS값, CQ이선검출신호를 나타낸다. CQ 이선 검출 신호는 정격전류 180A이상, 지속시간 1ms이상인 것만 검출한 결과이다.

각 구간의 CQ 이선율을 분석한 결과는 아래 표와 같다.

| 시작역                                                                                                                                                                | 종료역 | 검측 | CQ1  | CQ2  | CQ3  | CQ4  | NQ이선율<br>(5ms 이상) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|------|------|------|------|-------------------|
| 울산                                                                                                                                                                 | 신경주 | 1차 | 13.2 | 11.6 | 1.89 | 0.18 | 0.019             |
|                                                                                                                                                                    |     | 2차 | 11.9 | 9.9  | 1.95 | 0.15 | 0.018             |
|                                                                                                                                                                    |     | 3차 | 14.4 | 12.6 | 2.37 | 0.37 | 0.000             |
| 동대구                                                                                                                                                                | 대전  | 1차 | 29.7 | 27.7 | 2.47 | 0.25 | 0.086             |
|                                                                                                                                                                    |     | 2차 | 23.5 | 21.7 | 2.36 | 0.09 | 0.028             |
|                                                                                                                                                                    |     | 3차 | 20.8 | 19.1 | 2.95 | 0.27 | 0.000             |
| 대전                                                                                                                                                                 | 오송  | 1차 | 29.1 | 27.4 | 2.18 | 0.45 | 0.005             |
|                                                                                                                                                                    |     | 2차 | 19.3 | 17.3 | 2.00 | 0.18 | 0.013             |
|                                                                                                                                                                    |     | 3차 | 20.6 | 18.8 | 2.60 | 0.61 | 0.000             |
| ※ CQ1 - 이선 전류 검출 시간/총 검측 시간<br>CQ2 - 1ms이상 지속된 이선 전류 검출 시간/총 검측 시간<br>CQ3 - 이선 전류 검출 시간/총 검측 시간 (전류 30%이상 구간)<br>CQ4 - 1ms이상 지속된 이선 전류 검출 시간/총 검측 시간 (전류 30%이상 구간) |     |    |      |      |      |      |                   |

표 45 KTX36호 시운전 CQ이선율 분석 결과

모두 가압이 된 구간에 대해서만 계산한 것이며 CQ3,4는 Nominal Current의 30%이상인 구간에 대해서만 따로 계산해 본 것이다. CQ는 Zero Crossing을 제외한 영전류 시간의 총합을 계산하므로 1ms이상의 중이선이상만 검출한 CQ2 값이 국제 규격에 의한 평가에 가장 적합한 값으로 사려된다.

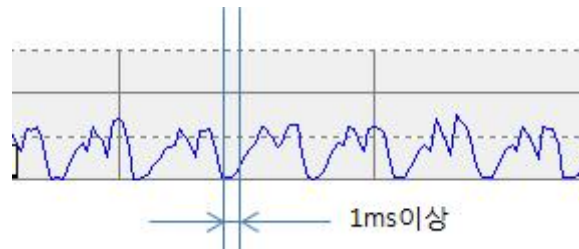


그림 125 이선 검출 구간 파형 샘플

KTX36호 시험의 경우 역행, 타행, 제동 등 운전 상황에 따라 다양한 전류패턴을 보였다. 그림 123은 1ms이상 이선된 것으로 검출한 구간의 파형 샘플로 실제 이선이 발생한 것이 아니라 정상적인 부하 전류 패턴으로 보인다.

국제 규격에는 CQ 이선율을 측정하는 방법에 대해서는 구체적으로 제시하지는 않고 있으며 집전품질 기준만 30%를 제시하고 있다. 기본적으로 일본의 경우처럼 metal contact strip을 사용하는 판토티그래프인 경우에 적용하며 carbon contact strip인 경우는 CQ 평가 결과가 과도하게 나올 수 있으므로 그 기준을 운영자와 협의하도록 권고하고 있다.

## 2. 모의 아크 발생 장치 시험

광학식 이선 측정방식과 전류식 이선 측정방식을 비교하기 위해 실내 모의 이선 아크 발생장치를 구성하였다. 입력 전원 220[V]는 전차선 역할(아크발생부)을 하는 회전체와 팬터그래프를 통해 저항 부하로 연결된다. 집전 시스템의 전차선과 팬터그래프 집전판의 집전부를 이선시켜 아크를 발생시킨다.

아크 발생부에서 70cm 이격된 거리에 NQ센서 (광학식 이선 측정장치)를 설치하고, 모니터링 카메라를 함께 설치해 아크가 발생하는 여상을 같이 취득하였다. 이선시 전압과 전류의 파형 변화를 측정하기 위해 CQ 센서 (전류식 이선 측정장치)를 설치 하였다. CQ 센서의 채널 1 (전압 측정)에 부하 양단을 걸어주고, 아크 발생부와 연결된 전원선에 채널 2(전류 측정)를 설치하였다.

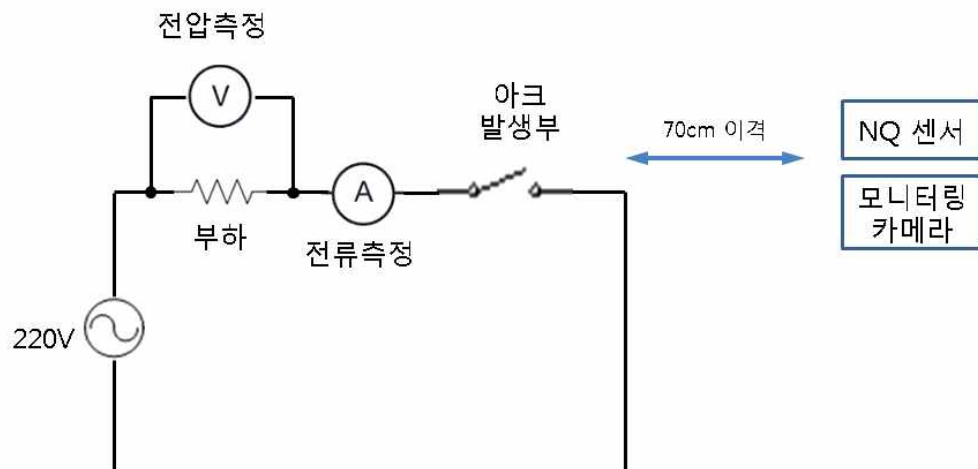


그림 126 모의 아크 발생 시험 구성도

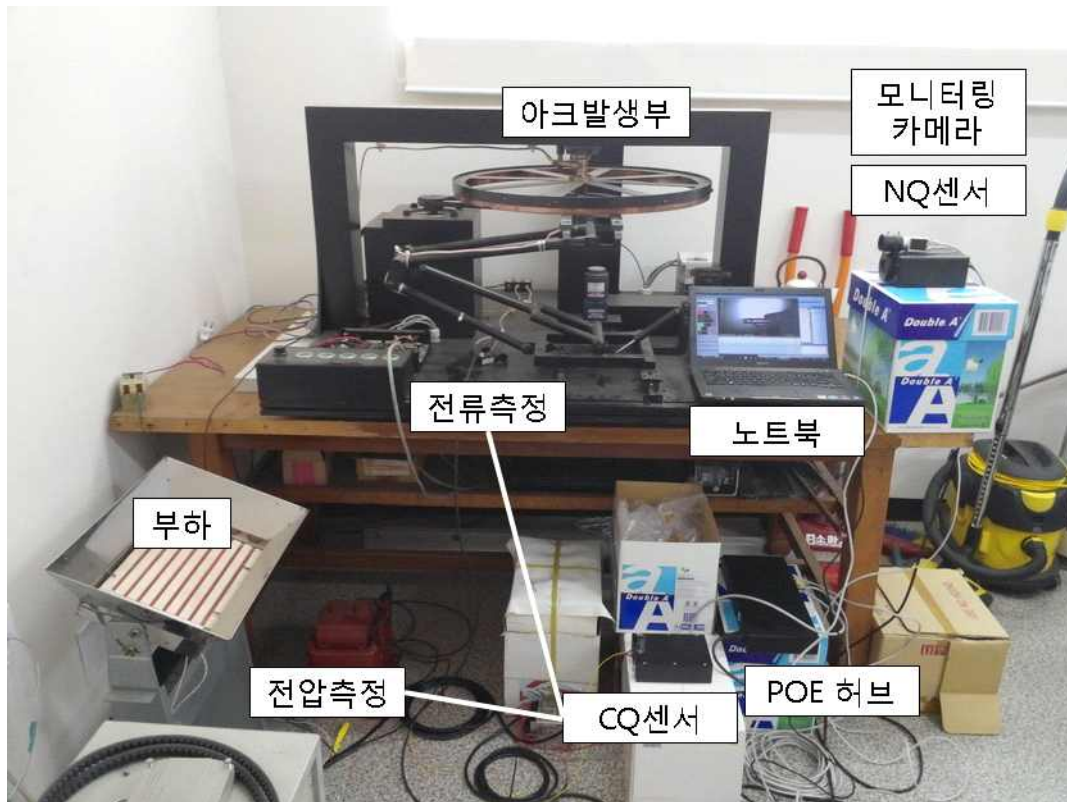


그림 127 모의 아크 발생 시험 사진



그림 128 S/W 측정 화면

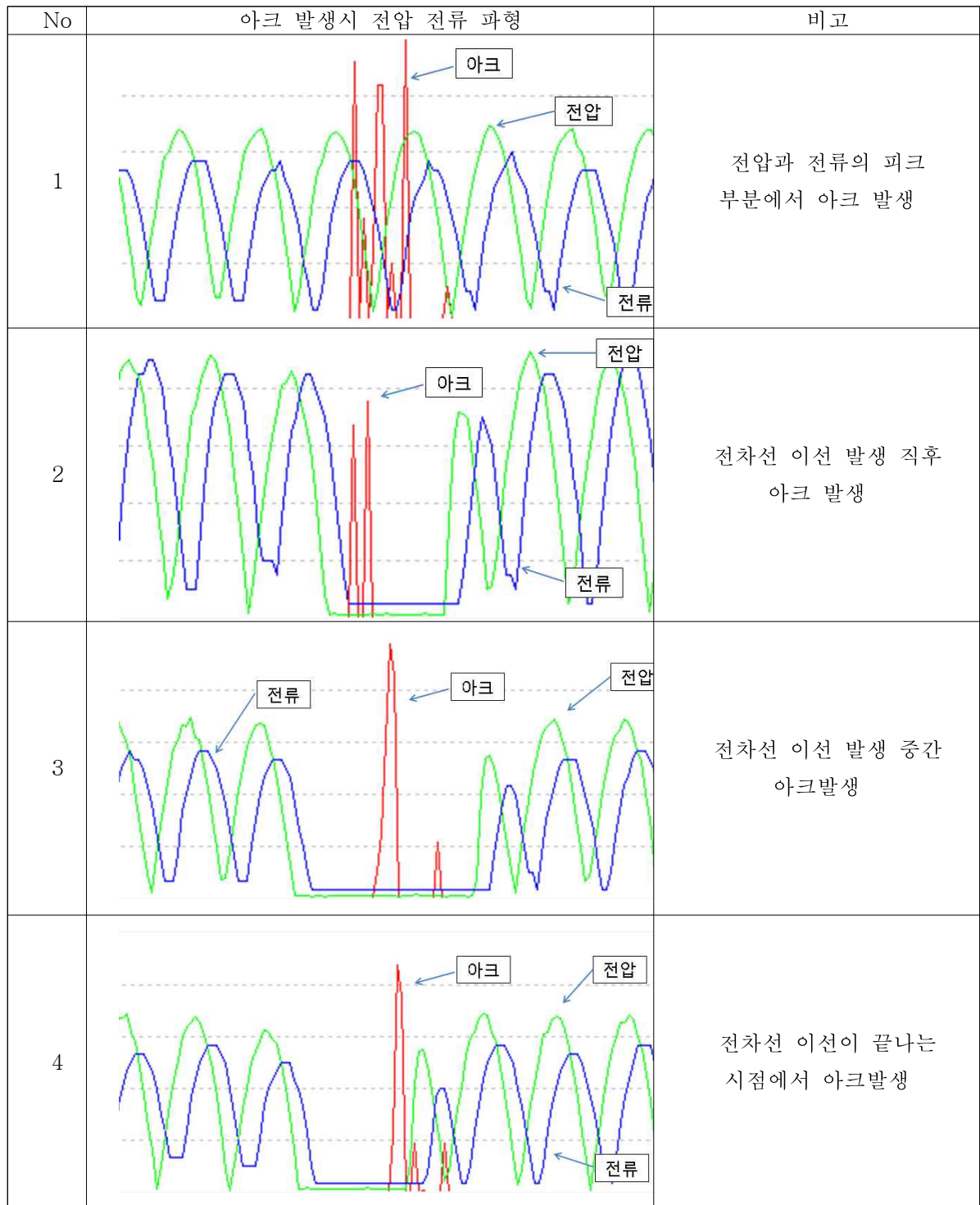


표 46 아크 발생시 전압전류 파형

시험결과 광학식 이선(NQ) 발생시점과 전류식 이선(CQ) 발생 시점이 정확히 일치하지 않음을 알 수 있다. 광학식 이선이 발생하는 시점은 전류 또는 전압의 피크지점일 경우도 있고, 이선이 발생한 중간지점일 수도 있다. 팬터그래프와 전차선간 이선을 검출하고자 할 때에는 광학식 이선과 전류식 이선을 동시에 측정하여 상호 보완하여야 한다.

그림 128은 모의 아크 발생장치에서 검측한 데이터로 이선율을 분석한 화면이다.



그림 129 이선율 분석화면(모의 아크 발생 장치)

아래는 모의 시험 데이터에 대해 NQ와 CQ의 상관 관계를 알아보기 위해 이선율을 분석한 결과이다.

| 번호                                                                                                                                                                                                                                                                                  | NQ1  | NQ2  | NQ3  | CQ1   | CQ2  | CQ3   | CQ4  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|-------|------|-------|------|
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1.80 | 2.06 | 0.12 | 8.03  | 4.21 | 10.43 | 5.47 |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4.76 | 4.41 | 0.70 | 10.64 | 6.94 | 13.31 | 8.67 |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2.64 | 2.59 | 0.40 | 8.35  | 3.89 | 9.37  | 4.37 |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.71 | 0.71 | 0.24 | 8.98  | 3.92 | 8.98  | 3.92 |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.93 | 0.94 | 0.27 | 10.66 | 5.91 | 10.86 | 6.02 |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.75 | 0.73 | 0.12 | 7.84  | 4.08 | 10.49 | 5.46 |
| ※ NQ1 - 아크 검출 시간/총 검측 시간<br>NQ2 - 아크 검출 시간/총 검측 시간 (전류 30%이상 구간)<br>NQ3 - 5ms 이상 아크 검출 시간/총 검측 시간 (전류 30%이상 구간)<br>CQ1 - 이선 전류 검출 시간/총 검측 시간<br>CQ2 - 1ms이상 지속된 이선 전류 검출 시간/총 검측 시간<br>CQ3 - 이선 전류 검출 시간/총 검측 시간 (전류 30%이상 구간)<br>CQ4 - 1ms이상 지속된 이선 전류 검출 시간/총 검측 시간 (전류 30%이상 구간) |      |      |      |       |      |       |      |

표 47 모의 아크 발생 장치 이선율 분석 결과

### 3. NQ와 CQ방식의 상관 관계 도출

아래는 해외 사례로 접촉력과 CQ의 상관관계를 도출할 사례이다.

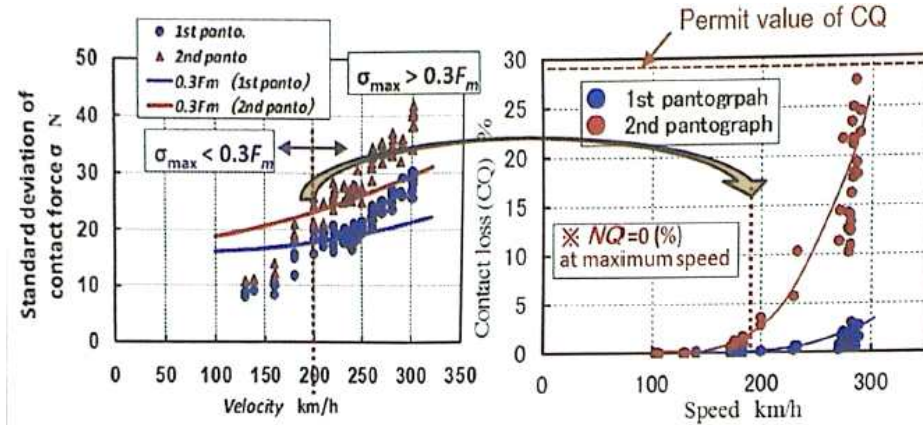


그림 130 NQ(접촉력)와 CQ상관관계 도출 사례(출처:RTRI)

본 과제에서는 광학식 이선 측정 방식(NQ)와 전류식 이선 측정 방식(CQ)을 실차 시험 및 모의 시험에서 서로 비교하여 상관 관계를 살펴보았으나 특별한 상관관계를 발견하지는 못하였다. 이는 전류 측정점이 주변압기 단이어서 판토 전류를 정확히 측정하는데 한계가 있는 것으로 사려가 되어 모의 아크 발생 장치에서도 시험을 수행 하였으며 아래 그래프와 같이 어느 정도 경향성은 보이나 뚜렷한 상관관계는 보이지 않았다.

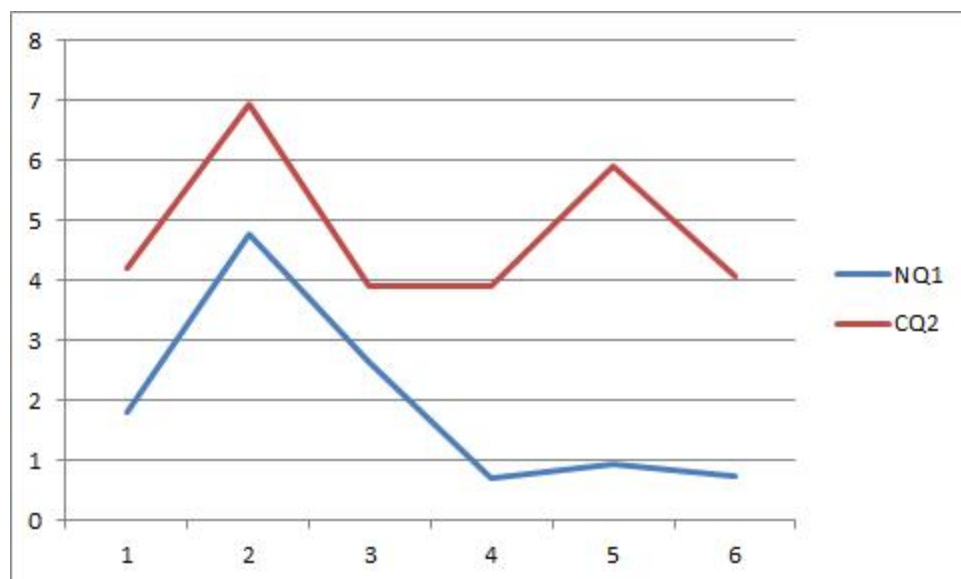


그림 131 모의 아크 발생 시험 NQ, CQ 이선율 비교

향후 좀 더 많은 조건하에서 시험 데이터를 축적하여야 정확한 상관도를 유추할 수 있을 것으로 사려 된다. 순시 전압, 전류, 아크검출 파형 분석을 통하여 아크검출 위치와 전류 영점 위치가 일치하지 않음을 볼 수 있었다. 이는 NQ만으로 이선을 검출하는 데에는 한계가 있으며 CQ가 상호 보완적인 수단으로 활용될 가능성이 있음을 보여준다.

## 참고 문헌

- [1] "The European Standard, Railway Applications. Current Collection Systems. Requirements for and Validation of Measurements of the Dynamic Interaction between Pantograph and Overhead Contact Line", BS EN 50317:2002, Nov., 2002.
- [2] "The European Standard, Railway Application-Fixed Installations-Electric Traction Overhead Contact Lines", EN 50119:2001, 2001.
- [3] T. Hayasaka, M. Shimizu, K. Nezu, "Development of Contact-Loss System Using Ultraviolet Ray Detection", QR of RTRI, vol.50, no.3, Aug., 2009.
- [4] F. Nakama, M. Ichikawa, H. Nagasawa, "Measurement of Contact Loss by Detecting Spark", QR of RTRI, no.1251, Sep., 1983.
- [5] N. Sawanobori, " New Fluorescent Glasses", Materials Integration, vol. 17, no.3, 2004.
- [6] O. Bruno, A. Landi, M. Papi, L. Sani, "Phototube Sensor for Monitoring the Quality of Current Collection on the Overhead Electrified Railways", Proc. Instn. Mech. Engrs., vol. 215, Part F, pp.231-241, 2001.
- [7] "Photosensor Modules, Metal Package PMT, Hamamatsu Product Catalog", Hamamatsu Photonics, May 2010.
- [8] "Flame Sensor UV Tron, Hamamatsu Product Catalog", Hamamatsu Photonics, May 2007.
- [9] "Overhead Line Measuring Systems", Mermec Group Product Catalog, 2008.
- [10] Youngsoo Han, "A Simulation of Arc Generation at AC-DC Neutral Section of Electric Railway", The International Conference on Electrical Engineering, 2009
- [11] "고속철도 차상 전기검측시스템 자동화 진단기술 개발", 한국건설교통기술평가원, 미래철도기술개발사업 기획연구 보고서, 2008
- [12] 박영, 조용현, 이기원, 김형준, 김인철, "고속카메라를 이용한 전차선 압상량 검측 시스템 개발", 전기전자재료학회논문지, 제22권, 10호, pp. 864-869, 2009.
- [13] 나해경, 박영, 조용현, 이기원, 박현준, 오수영, 송준태, "실시간 계측시스템을 이용한 전차선로 특성 측정", 전기전자재료학회논문지, vol.20 no.3, p.281, 2007.
- [14] 오석용, 박영, 조용현, 이기원, 송준태, "전차선로 전기적 특성 평가 시스템 구현", 전기전자재료학회논문지, Vol.24, No.6, pp.497-503, 2011.
- [15] 박영, 권삼영, 김재문, "팬터그래프-전차선간 아크 검측 장치의 신뢰성 분석", 전기학회논문지 61권 8호, 2012년 8월

- [16] "전차선 이선현상 검출장치", 대한민국 특허(등록) 제10-1067840호, 2011.
- [17] “주행 중인 전동차를 이용한 전기철도 검사장치”, 대한민국 특허(출원) 제10-2011-0048444호, 2011.
- [18] “전동차용 팬터그래프의 파손 감지시스템”, 대한민국 특허(등록) 제10-0995912호, 2010.
- [19] “탐지영역이 다른 2개의 독립 광학센서를 갖는 전차선 이선 아크 계측시스템”, 대한민국 실용신안(등록) 제20-0444401호, 2009.
- [20] “전동차 전차선의 아크 감시 장치”, 대한민국 특허(등록) 제10-0716672호, 2007.

## 제4장 목표 달성도 및 관련 분야의 기여도

### 제1절 연구 목표의 달성도

#### 1. 연구개발 수행 진도율

< 1차년도 >

| 구 분<br>개발내용                   | 연 구 개 발 기 간 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 진도(<br>%) |
|-------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
|                               | 1           | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |           |
| 외산센서 벤치<br>마킹 및 개발성능<br>지표 도출 | .....       | ..... |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 100       |
| 아크 감지용 고<br>속 광학센서 제작         | .....       | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |       |       |       |       | 100       |
| 고속 데이터수<br>집장치 개발             | .....       | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |       |       |       |       | 100       |
| 기본성능검증시<br>스템 제작 및 성<br>능검증   |             |       |       |       |       |       |       |       | ..... | ..... | ..... | ..... | 100       |
| 이선 전류 파형<br>분석 알고리즘 개<br>발    |             |       |       |       |       |       |       |       | ..... | ..... | ..... | ..... | 100       |
| 전류파형 시물<br>레이션 환경 구축          |             |       |       |       |       |       |       |       | ..... | ..... | ..... | ..... | 100       |
| 총 진도율                         |             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 100       |

..... 당초계획  
..... 실적

< 2차년도 >

| 구 분<br>개발내용                      | 연 구 개 발 기 간 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 진도(<br>%) |
|----------------------------------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-----------|
|                                  | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |           |
| 모뎀형 광학식<br>이선 검출기제작              |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 100       |
| 전차선-팬더그<br>래프 아크 스펙트<br>럼 분석     |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 100       |
| 고속 고압 전류<br>파형 측정 및 전<br>송 장치 개발 |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 100       |
| 전류 파형 및<br>이선 분석 장치<br>개발        |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 100       |
| 국내 형식승인<br>을 통한 외산센서<br>대비 성능 검증 |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 100       |
| 고속차량에서의<br>실차 성능 검증              |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 100       |
| NQ와 CQ방식<br>의 상관 관계도출            |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 100       |
| 총 진도율                            |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 100       |

..... 당초계획  
 \_\_\_\_\_ 실적

## 2. 연구개발 목표의 달성도

### <1차년도>

| 목 표                | 달성도<br>(%) | 내 용                   |
|--------------------|------------|-----------------------|
| 광학식 이선 검출기 시제품 개발  | 100        | 시제품 개발 완료             |
| 아크 센서 테스트베드 개발     | 100        | 테스트베드 개발 완료           |
| 전류식 이선 검출기 시제품 개발  | 100        | 시제품 개발 완료             |
| 이선 전류파형 분석 알고리즘 개발 | 100        | 알고리즘 개발 및 기본 기능 검증 완료 |
| 이선 전류 파형 시뮬레이터 개발  | 100        | 시뮬레이터 개발 완료           |

### <2차년도>

| 목 표                         | 달성도<br>(%) | 내 용                                                                                            |
|-----------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 모듈형 광학식 이선 검출기 개발품          | 100        | 최종 목표 성능을 모두 만족하는 개발품 제작을 완료함. 일체형으로 작고 설치가 용이하여 실용성 및 활용도가 매우 높음.                             |
| 국내 전차선 아크 스펙트럼 분석           | 100        | 국내에서 사용중인 전차선-팬더그래프 재질별 스펙트럼 분석을 완료하고 220~225nm대역이 전차선 아크를 검출하는 데 적절한 영역임을 확인하고 이를 아크센서 설계에 반영 |
| 전류식 이선 검출기 개발품              | 100        | 무선 전송 및 광전력공급을 지원하여 고압환경에도 설치가 용이한 개발품 제작 완료.                                                  |
| 종합 이선 분석 장치                 | 100        | 광학식 및 전류식 이선 분석이 모두 가능한 개발품 제작을 완료함                                                            |
| 공인시험 및 외산센서 대비 시험을 통한 성능 검증 | 100        | 반응속도 및 감도, 파장 특성을 더 정밀하게 측정할 수 있도록 테스트베드를 보완하고 개발품 성능 시험 및 외산제품 비교 시험을 완료함                     |
| 고속 차량 현차 시험                 | 100        | HEMU-430X 및 KTX36호 현차 시험을 완료함                                                                  |
| NQ 및 CQ상관 관계 도출             | 100        | 시뮬레이션 및 현차 시험을 통해 NQ와 CQ의 상관도를 살펴보고 CQ가 NQ와 상보적인 수단으로 활용될 수 있음을 확인함                            |

### 3. 정량적 성과지표 달성도

<1차년도>

| 연차별<br>성과목표       | 성과지표  | 측정방법     | 목표치 | 달성치 | 가중<br>치 |
|-------------------|-------|----------|-----|-----|---------|
| 시제품 개발<br>및 성능 검증 | 지식재산권 | 특허 출원 건수 | 2건  | 2건  | 60%     |
|                   | 지식재산권 | S/W등록 건수 | 1건  | 1건  | 40%     |
|                   | 총 계   |          |     |     | 100%    |

<2차년도>

| 연차별<br>성과목표       | 성과지표  | 측정방법         | 목표치 | 달성치 | 가중<br>치 |
|-------------------|-------|--------------|-----|-----|---------|
| 개발품 개발<br>및 성능 검증 | 지식재산권 | 특허 출원 건수     | 1건  | 1건  | 50%     |
|                   | 지식재산권 | S/W등록 건수     | 1건  | 1건  | 30%     |
|                   | 논문    | 학술지 논문 게재 건수 | 1건  | 3건  | 20%     |
| 총 계               |       |              |     |     | 100%    |

총계 특허출원: 3건  
 S/W 등록: 2건  
 논 문: 3건

## 제2절 연구수행에 따른 문제점 및 개선사항

| 문제점                                                                                                                                   | 개선사항                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1차년도에 광학식과 전류식 2가지 방식의 시제품 제작 및 검증환경 개발을 동시에 진행하면서 시제품 개발 및 기본 기능 검증은 모두 완료하였으나 충분한 성능검증을 못함                                          | 2차년도에 기 구축한 아크 테스트베드를 보완하여 개발품 성능을 검증 하였고 실차 시험을 통해 동적 성능을 충분히 검증하였음                                                                                                               |
| 아크테스트베드 모듈레이션 성능이 초퍼 사양인 20kHz에 쉽게 도달할 것으로 예상했으나 1차년도 결과는 100us정도에 그침                                                                 | 고속모터를 이용한 초퍼를 자체 제작하여 펄스 상승속도를 10us 수준까지 개선하였음                                                                                                                                     |
| 광원, 필터, 광도계의 스펙트럼 특성이 서로 모두 상이하어 정확히 220~225nm대역의 검출 감도를 $1\mu W/cm^2$ 미만으로 측정하는 것이 용이하지 않음                                           | 밴드패스 필터와 광도계를 사용하는 구성에서 모노크로 미터와 스펙트럼 분석기를 사용하여 구성으로 변경하여 파장대 별로 감도 정밀하게 측정하였으며 광원의 스펙트럼 특성을 고려하여 센서 감도를 보정함                                                                       |
| 차탑의 설치 공간이 협소하고 배선 관로 확보도 여의치 않아 광케이블을 꺾이는 부분 없이 설치하는 것이 시험용 차량인 경우에는 크게 문제가 없으나 차체 가공이 제한적인 상용차의 경우는 설치 제약이 많음                       | 2차년도에는 DAQ보드를 수광부와 일체화하여 차탑에 설치하고 네트워크 방식으로 통신 및 전원을 공급할 수 있도록 아크 검출기를 모듈화함                                                                                                        |
| CQ센서의 설치 제약으로 팬터그래프의 순시전류를 정확한 지점에서 측정하지 못함. 무선전송, 광전력전송 방법등 절연문제를 해결할 방안은 마련하였으나 무선전송은 배터리 수명 문제로 광전력전송 방법은 광케이블 절연 문제로 실적용에 어려움이 있음 | 무선전송은 배터리 수명에 한계가 있으므로 상용선에 상시 운용할 수 있는 솔루션은 아니며 광전력전송방식은 절연을 확보하면 상시 전원을 공급할 수 있는 방법으로 시그널컬럼(전용신호용매자)에 삽입하는 방식 등 향후 추가 연구가 필요함<br>팬터그래프에 직접 CT를 달아 필요한 전원을 공급받는 방식도 향후 추가 연구가 필요함 |

## 제5장 연구개발 결과 및 활용 계획

### 제1절 연구 개발 성과

#### (1) 논문게재 성과

| 게재연<br>도 | 논문명                                                 | 저자      |          |             | 학술지명                                                                      | Vol.<br>(No.)                             | 국내<br>외 구분 | SCI<br>구분 |
|----------|-----------------------------------------------------|---------|----------|-------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------|-----------|
|          |                                                     | 주저<br>자 | 교신저<br>자 | 공동저<br>자    |                                                                           |                                           |            |           |
| 2013     | 광 계 측 기 를<br>이용한 전차선-<br>팬터그래프 재질<br>별 이선아크 스펙트럼 분석 | 정노건     | 김재문      | 장진영,<br>박종국 | The Transactions<br>of the Korean<br>Institute of<br>Electrical Engineers | Vol.<br>62,<br>No.12,p<br>p.1803-<br>1808 | 국내         |           |

#### (2) 학술대회 발표 성과

| 발표일             | 발표명                          | 저자                                  | 학술대회명                 | 국내외<br>구분 |
|-----------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------|
| 2013. 10.<br>24 | 광계측기를 이용한 이선아크의<br>스펙트럼분석    | 김재문, 정노건,<br>장진영, 박종국, 박철<br>민, 김영수 | 대한전기학회 2013<br>추계학술대회 | 국내        |
| 2013. 10.<br>24 | 전차선-팬터그래프간 이선아크 측정<br>시스템 특성 | 김재문, 정노건,<br>장진영, 박종국, 나연<br>일, 이기식 | 대한전기학회 2013<br>추계학술대회 | 국내        |

#### (3) 특허 성과

| 출원된 특허의 경우 |                                                             |                   |      |                 |
|------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|------|-----------------|
| 출원연도       | 특허명                                                         | 출원인               | 출원국  | 출원번호            |
| 2013       | 소이선, 중이선, 대이선 구분 및 위치검출이<br>가능한 이선 전류 측정시스템 및 위치검출 측정<br>방법 | 박종국<br>김정연<br>오민수 | 대한민국 | 10-2013-001219  |
| 2013       | 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치 및 그<br>방법                             | 박종국, 김<br>정연, 오민수 | 대한민국 | 10-2013-0025615 |
| 2014       | 아크 발생 검출 시스템                                                | 박종국, 김<br>현근, 오민수 | 대한민국 | 10-2014-0036451 |

#### (4) S/W등록 성과

| 등록연<br>도 | 항목       | S/W 명칭         | 등록일       | 저작권자     | 등록번호          |
|----------|----------|----------------|-----------|----------|---------------|
| 2013     | 프로그<br>램 | 전류식 이선 분석 프로그램 | 2013.2.25 | 투아이시스(주) | C-2013-003968 |
| 2014     | 프로그<br>램 | 종합이선검출 소프트웨어   | 2014.3.31 | 투아이시스(주) | C-2014-007303 |

## 제2절 연구결과의 활용방안 및 기대효과

### 1. 활용방안

○ (성과물활용) 광학식 및 전류식 이선 검출 기술과 이를 검증할 수 있는 테스트베드 및 시뮬레이터는 타 유사 제품 및 기술 개발에도 폭 넓게 활용할 수 있을 것이다.

○ (검측장비사업화) 본 과제를 통해 제품 개발이 완료되면 바로 사업화를 할 계획이며 아래와 같은 전차선로 검측 분야에 적용할 계획이다.

- 고속철도 집전 품질 검증용 이선 검출 시스템
- 고속철도/도시철도 유지보수 용 이선 검출 시스템
- 철도 전차선 분야 종합 검측 솔루션 구축

차량에 설치하는 방식뿐만 아니라 지상에 설치하는 방식의 진단 시스템도 수요가 있을 것으로 기대된다.



○ (응용분야확대) 아크와 전류 파형을 함께 진단하는 기술은 각 방식의 단점을 서로 보완하여 좀 더 종합적인 진단을 할 수 있는 기술이라 할 수 있으며 철도 전력 외에 기타 전력 설비 진단 분야로도 확대 적용할 계획이다.

○ (타 시스템 연계) 광학식 이선 검출기와 전류식 이선 검출기 모두 네트워크로 쉽게 연결할 수 있도록 제작되어 있으며 단순하면서도 타 시스템과 통합 및 확

장이 용이하도록 프로토콜을 설계하였다. 전차선로 검측 분야 장비간의 연계뿐만 아니라 타 분야의 장비와도 용이하게 연계되어 그 활용 범위를 넓힐 것으로 기대된다.

## 2. 기대효과

### 가. 기술적 측면

- 아크와 전류 파형을 함께 진단하는 기술은 각 방식의 단점을 서로 보완하여 좀 더 종합적인 진단을 할 수 있는 기술이라 할 수 있으며 철도전력 외에 기타 전력 설비 진단 분야로도 확대 적용이 가능할 것이다.
- 국내에서는 아직 전류식 이선 검출에 대한 연구나 개발 사례가 전무한 상태이며 본 과제를 통해 처음으로 관련 핵심 기술 및 제품을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

## 나. 경제·산업적 측면

- 국내 시장 규모는 2010년 외산 장비기준으로 1,000억 정도로 추산하면 향후 철도전 철화 및 유지보수 자동화 수요로 지속적으로 성장하여 2015년에는 1,500억원에 이를 것으로 전망 (해외시장의 5%추정)된다.

| 구 분    | 현재의 시장규모<br>(2010년) | 예상 시장규모 (2015년) |
|--------|---------------------|-----------------|
| 세계시장규모 | 30,000억             | 40,000억         |
| 한국시장규모 | 1,500억              | 2,000억          |

\* 국내 총시장 : (철도공사+철도시설공단) 12개지사 + 지하철 8  
= 20개지사 \* 15억 \* 4종 =1,200억( 외산장비기준 )

\* 외산장비가격 : 15억/1종 검사장치당

\* 2008년 서울메트로 검측차량도입( 차량+검측장비 ) = 100억

표 1. 검측 장비 시장 규모

- 유럽 M사의 아크측정시스템은 국내 공급가격이 100만유로 정도로 매우 고가이다. 단지 시스템의 일부분인 아크검출기만 15만유로 정도의 가격에 공급되고 있다.
- 향후 국내 고속철도 및 도시철도 차량에 필요한 아크측정장치는 약 100대 정도로

써, 해외에서 도입할 경우 시스템 가격으로는 약 1억유로(1,500억원)이고 아크검출기만 약 1,500만유로(230억원) 정도의 비용이 소요된다. 국산화에 성공할 경우에는 막대한 수입대체 효과가 발생할 것으로 기대된다. 또한 정부 및 산업계가 추진하고 있는 고속철도 산업의 해외 진출을 위한 핵심기술 개발에 기여할 것으로 기대된다.

- 해외 시장은 2015년 3조원 규모에 이를 것으로 추정되며 향후 국산 고속철도 해외 수출과 맞물려 검측장비의 동반 수출이 예상되며 관련 매출도 비약적으로 증대할 것으로 예상된다.

[별첨1]

## 자체평가 의견서

### 1. 과제현황

|                              |                      |     |              |              |                          |         |  |
|------------------------------|----------------------|-----|--------------|--------------|--------------------------|---------|--|
|                              |                      |     |              | 과 제 코 드      | 12PRTD-C061753-01-000000 |         |  |
| 사 업 명                        | 미래철도기술개발사업           |     |              |              |                          |         |  |
| 과 제 명                        | 고속철도 전차선 아크 측정시스템 개발 |     |              |              |                          |         |  |
| 연 구 기 관                      | 투아이시스(주)             |     |              | 연 구 책 임 자    |                          | 박종국     |  |
| 연 구 기 간<br><br>연 구 비<br>(천원) | 연 차                  | 기 간 | 정 부<br>출 연 금 | 기 업<br>부 담 금 | 정 부 외<br>출 연 금           | 계       |  |
|                              | 1차연도                 |     | 225,000      | 75,000       |                          | 300,000 |  |
|                              | 2차연도                 |     | 225,000      | 75,000       |                          | 300,000 |  |
|                              | 계                    |     | 450,000      | 150,000      |                          | 600,000 |  |
| 참 여 기 업                      |                      |     |              |              |                          |         |  |
| 상 대 국                        |                      |     | 상대국 연구기관     |              |                          |         |  |

2. 작성일 : 2013.2.28

### 3. 연구책임자

|          |      |     |
|----------|------|-----|
| 소속       | 직위   | 성명  |
| 투아이시스(주) | 대표이사 | 박종국 |

### 4. 연구책임자 확인

본인은 평가대상 과제의 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 이 자료가 전문가 및 전문기관 평가시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다

|    |  |
|----|--|
| 확약 |  |
|----|--|

## I. 연구개발실적

### 1. 연구개발결과의 우수성 및 창의성

최근에 관련 국제 규격에 CQ가 추가 되었으며 국내는 NQ와 CQ를 비교 검증하는 것은 처음 시도하는 것으로 독창성이 있으며 국제 규격 흐름에도 부합

### 2. 연구개발결과의 파급효과

즉시 외산 센서 대체가 가능하며 더 나아가 수출도 기대됨  
수요자 워크샵 결과 급전 품질 측정외 유지보수 용도로도 수요가 있으며 전력 설비 진단 등 타 분야 활용 가능성도 높음

### 3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

개발 완료시 즉시 사업화 가능  
신기술 및 신제품 인증 활용  
지적재산권 확보로 회사 무형의 가치 상승 및 마케팅 효과

### 4. 연구개발 수행노력의 성실도

연구내용에 CQ가 추가되었음에도 불구하고 늘어난 연구 목표를 모두 달성하기 위해 최선의 노력을 다 하였으며 최종 목표 수준을 모두 달성함

### 5. 공개발표된 연구개발성과(논문·지적재산권·발표회 개최 등)

특허 출원: 3건  
SW등록 : 2건  
논문게제 : 3건

## II. 연구목표 달성도

| 번호 | 세 부 연 구 목 표 | 달 성 내 용                          | 달성도 (%) |
|----|-------------|----------------------------------|---------|
| 1  | 광학식이선검출기    | 즉시 상용화가 가능한 개발품 및 관련 기술 개발 완료    | 100     |
| 2  | 전류식이선검출기    | 즉시 사용화가 가능한 개발품 및 관련 기술 개발 완료    | 100     |
| 3  | 종합이선분석장치    | NQ와 CQ를 함께 분석할 수 있는 분석 기술 개발 완료  | 100     |
| 4  | 테스트베드구축     | 개발 성능 검증을 위한 테스트베드 및 시뮬레이터 구축 완료 | 100     |
| 5  | 현차시험        | HEMU-430X 및 KTX36호 현차 탑재 시험완료    | 100     |

### III. 종합의견

#### 1. 연구개발결과에 대한 종합의견

최종적으로 광학식 이선 검출기, 전류식 이선 검출기 개발품 및 관련 기술 개발을 완료하였으며 이를 검증할 수 있는 테스트베드 및 시뮬레이터도 개발을 완료하였음. 즉시 사업화를 할 수 있는 수준으로 당해연도부터 관련 매출이 발생할 것으로 기대되며 개발된 기술은 타 유사제품으로도 적극적으로 활용할 것이며 개발 제품은 전력분야 등 타 분야로도 확대 적용이 가능할 것임.

#### 2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

광학식은 최종 성능 목표를 만족하는 동시에 외산센서보다 월등한 성능을 달성했으며 전류식은 개발 내용이 추가된 것으로 개념 검증을 위한 시제품 개발에 중점을 두었음

#### 3. 연구개발결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

### IV. 보안성 검토

#### 1. 연구책임자의 의견

일반과제가 적정

#### 2. 연구기관 자체의 검토결과

[ 별첨2-1 ] 성과점검기준표

|                      | 세세부과제<br>(공동과제)명<br>(연구목표, 분야) | 성과목표                        | 성과지표     | 성과검증 기준                         |                            |                   |          |                                      |                                                      |                                           | 가중치 | 달성평<br>점<br>(총점1<br>~5) |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|----------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----|-------------------------|
|                      |                                |                             |          | 목표수준                            |                            | 측정방법              | 검증<br>방법 |                                      |                                                      |                                           |     |                         |
|                      |                                |                             |          | 목표<br>치                         | 달성<br>치                    |                   |          |                                      |                                                      |                                           |     |                         |
| 성과<br>질적<br>목표<br>점검 | 1                              | 고속철도 전<br>력선 아크측정<br>시스템 개발 | 1차<br>년도 | 고속철도용 전차선<br>이선 측정 장치<br>시제품 개발 | ①                          | 광학식이선측정장치         | 1        | 1                                    | 시제품/표준광원<br>국제 규격에 준한 자체시험<br>(Page.47-54, 145-149)  | 시험절<br>차서 및<br>성적서에<br>의한<br>단위시험/<br>시제품 | 4   |                         |
|                      |                                |                             |          |                                 | ②                          | 이선전류 파형분석알<br>고리즘 | 1        | 1                                    | 시제품/시뮬레이터<br>국제 규격에 준한 자체시험<br>(Page.76-78, 151-152) |                                           | 4   |                         |
|                      |                                |                             |          |                                 | ③                          | 종합이선데이터취득<br>장치   | 1        | 1                                    | 시제품/자체시험<br>(Page.69-75, 154)                        |                                           | 4   |                         |
|                      |                                |                             |          |                                 | ④                          | 표준광원테스트베드         | 1        | 1                                    | 계측기(광도계)<br>(Page.47-52, 150)                        |                                           | 4   |                         |
|                      |                                |                             |          |                                 | ⑤                          | 이선전류 파형시물레<br>이터  | 1        | 1                                    | 계측기(오실로스코프)<br>(Page.67-68, 153)                     |                                           | 4   |                         |
|                      |                                |                             |          |                                 | 종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×가중치) |                   |          |                                      |                                                      |                                           |     |                         |
| 양적<br>지표<br>점검       | 사업연계지표                         |                             |          |                                 | 목표                         | 목표<br>건수          | 달성<br>건수 | 증빙                                   | 인정<br>건수                                             | 달성을<br>(%)                                | 가중치 | 달성평<br>점                |
|                      |                                |                             |          |                                 | 지식재산권                      | 1                 | 1        | 특허출원<br>(Page. 169-195)              |                                                      |                                           | 50  |                         |
|                      |                                |                             |          |                                 | 지식재산권                      | 1                 | 1        | S/W등록<br>(Page. 249)                 |                                                      |                                           | 40  |                         |
|                      |                                |                             |          |                                 | 지식재산권                      | 1                 | 1        | 실용신안<br>특허출원으로 대체<br>(Page. 196-217) |                                                      |                                           | 10  |                         |
|                      | 종합점수 = ∑ (성과별달성을×가중치)          |                             |          |                                 |                            |                   |          |                                      |                                                      |                                           |     |                         |

|                            | 세세부과제<br>(공동과제)명<br>(연구목표, 분야) | 성과목표                        | 성과지표     | 성과검증 기준                      |         |                 |          |                        |                                                                  | 가중치                 | 달성평<br>점<br>(총점1<br>~5) |          |
|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------|------------------------------|---------|-----------------|----------|------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|----------|
|                            |                                |                             |          | 목표수준                         |         | 측정방법            | 검증<br>방법 |                        |                                                                  |                     |                         |          |
|                            |                                |                             |          | 목표치                          | 달성<br>치 |                 |          |                        |                                                                  |                     |                         |          |
| 성과<br>질적<br>목표<br>점검       | 1                              | 고속철도 전<br>력선 아크측정<br>시스템 개발 | 2차<br>년도 | 고속철도용 전차선<br>이선 측정 장치<br>개발품 | ①       | 광학식이선측정장<br>치   | 1        | 1                      | 개발품/공인시험<br>(Page.100-103, 155,<br>157-161, 162-164,<br>165-168) | 공인시<br>험성적서/<br>개발품 | 8                       |          |
|                            |                                |                             |          |                              | ②       | 전류식이선측정장<br>치   | 1        | 1                      | 개발품/공인시험<br>(Page.111-112,<br>154, 156)                          |                     | 8                       |          |
|                            |                                |                             |          |                              | ③       | 종합이선데이터취<br>득장치 | 1        | 1                      | 개발품<br>(Page.108-110                                             | 단 위 시<br>험/개발품      | 4                       |          |
|                            |                                |                             |          |                              |         |                 |          |                        |                                                                  |                     |                         |          |
|                            |                                |                             |          |                              |         |                 |          |                        |                                                                  |                     |                         |          |
|                            |                                |                             |          |                              |         |                 |          |                        |                                                                  |                     |                         |          |
|                            |                                |                             |          |                              |         |                 |          |                        |                                                                  |                     |                         |          |
|                            |                                |                             |          |                              |         |                 |          |                        |                                                                  |                     |                         |          |
| 종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×가중치) |                                |                             |          |                              |         |                 |          |                        |                                                                  |                     |                         |          |
| 양적<br>지표<br>점검             | 사업연계지표                         |                             |          |                              | 목표      | 목표<br>건수        | 달성<br>건수 | 증빙                     | 인정<br>건수                                                         | 달성을<br>(%)          | 가중치                     | 달성평<br>점 |
|                            |                                |                             |          |                              | 지식재산권   | 1               | 1        | 특허출원<br>(Page.218-247) |                                                                  |                     | 50                      |          |
|                            |                                |                             |          |                              | 지식재산권   | 1               | 1        | S/W등록<br>(Page.249)    |                                                                  |                     | 30                      |          |
|                            |                                |                             |          |                              | 논문      | 1               | 3        | 논문<br>(Page.250-259)   |                                                                  |                     | 20                      |          |
|                            |                                |                             |          |                              |         |                 |          |                        |                                                                  |                     |                         |          |
| 종합점수 = ∑ (성과별달성을×가중치)      |                                |                             |          |                              |         |                 |          |                        |                                                                  |                     |                         |          |

[별첨2-2]평가위원 의견사항 보완대비표

| 구분        | 보완요청내용                                                                                                | 보완답변<br>(계획서 페이지)                                                                                                                                 | 조치<br>(보고서 페이지)                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 종합<br>의견서 | - 연구결과의 신뢰성 확보를 위해<br>실차 시험계획을 구체화 하고(유관<br>기관 협조), 객관적 성과검증 방법<br>을 마련할 필요성 있음(외부 전문<br>기관의 장비 등 활용) | - ktx36호에 탑재하여 실차 시험을 할 계획이<br>며 운영기관과 협의가 된 상태임. 기존에<br>설치된 아크박스에 개발한 센서를 같이<br>탑재할 수 있도록 설계. 시험기간을 충분<br>히 확보하도록 일정 반영.(Page.77,80)             | - HEMU-430X 및 KTX36호에서 현차 시험을 실시함<br>- HEMU-430X현차 시험은 NQ센서 설치 위치의 제약 등 차<br>량사정으로 만족할 만한 결과를 얻지 못함<br>(Page. 113)<br>- KTX36호는 상용운전 차량으로 NQ시험 결과는 만족스러운<br>결과를 얻었으나 CQ센서는 설치 위치에 제약이 있어 제<br>한적인 시험 결과를 얻었음<br>(Page.113-121)                         |
|           | - 국내 트롤리선의 재질에 따른 아<br>크 파장을 확인하여 광학식 이선<br>검출기 아크 파장 측정 범위의 적<br>정성을 검토할 필요성 있음                      | - 국내에 관련 규격 공인 시험을 할 수 있는<br>기관이 없는 상황이므로 테스트베드를 개<br>선한 후 외산 센서와 비교 검증하는 것이<br>기본 평가 방법이나 외부기관 검증도 함<br>께 추진하여 자체테스트베드 시험결과와<br>도 비교(Page.75,88) | - 아크 테스트베드의 반응속도 및 감도 시험 성능을 보완하<br>여 국제규격에 부합한 기본 성능 평가를 완료함.<br>(Page.104-107, 157-161)<br>- 관련 규격(EN50317)은 전차선 아크 센서 성능 측정 방법<br>에 특화된 것으로 관련 규격을 공증해 줄만한 국내외 마<br>땅한 기관이 없어 자체시험 결과로 대체.<br>- 외산(일본M사)센서와 성능 비교를 통해 우수성 확인<br>(Page.107, 165-168) |
|           | - 기존 해외장비 대비 차별성 제시<br>할 필요성 있음                                                                       | - 아크센서개발품은 광학 부품 수와 광 변환<br>단계를 줄여 검출효율을 높임으로써 외산<br>센서 대비 동등 성능을 가지면서도 설치<br>및 시스템 통합이 용이하도록 차별<br>화.(Page.74)                                   | - 수광부, 데이터처리부, 통신부 등을 일체화한 아크센서를<br>개발. 비교 성능 시험에서 반응 속도 및 감도가 외산보다<br>우수하며 크기도 네트워크 카메라 정도로 작고 PoE를 지<br>원하여 설치도 용이한 아크센서를 개발함.<br>(Page.100-103, 155, 157-161, 165-168)                                                                              |

[별첨3-1] 광학식 이선 검출기 시제품 개요, 제작 사양 및 시험 절차서

1. 시제품 개요

1) 시제품사진:



2) 주요사양:

|        |                          |
|--------|--------------------------|
| 검출파장   | 220~225nm                |
| 아크반응속도 | 10us                     |
| 최저아크강도 | $< 1 \mu W/cm^2$         |
| 아크측정범위 | $1 \sim 1000 \mu W/cm^2$ |
| 아크검출각도 | $\geq 5.0^\circ$         |
| 차단파장   | 300nm이상, 99%제거           |

3) 주요개발내용:

- 센서헤드(수광부) 설계/제작
- 광케이블 제작
- DAQ/MCU보드 제작

4) 성능검증(1차년도):

- 아크반응속도:  $< 100\mu s$  (EN규격 만족)

(※ 이선검출은 아크 지속시간이 가장 중요)

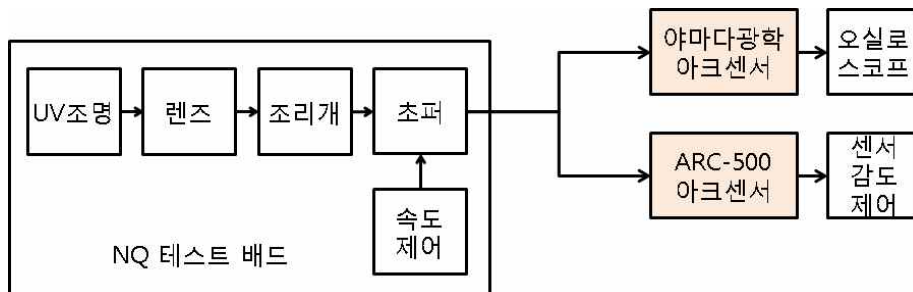
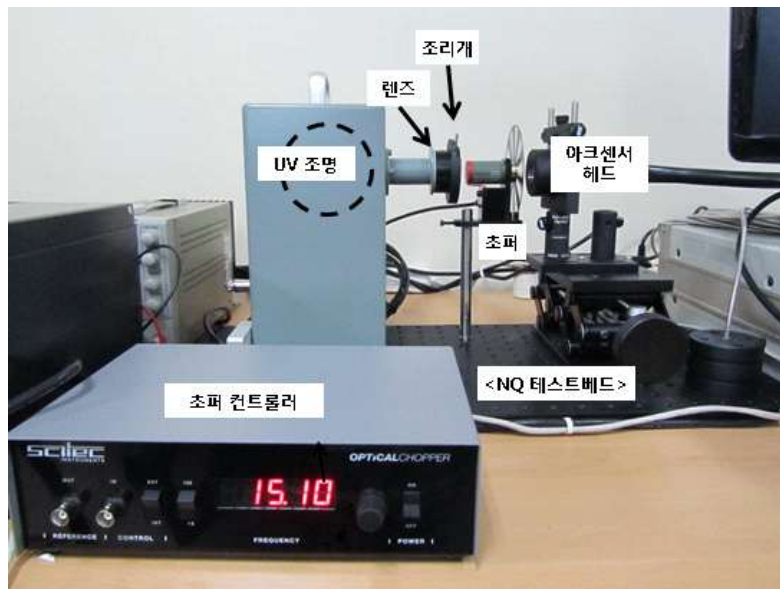
- 아크검출각도 :  $\geq 5.0^\circ$

## 2. 아크센서 기본 성능(응답성, 검출각도) 시험

### (1) 시험 절차

#### < 테스트베드 셋업 >

##### 가. NQ 테스트 베드 구성



- 아크센서 헤드와 UV 조명 광원 사이 거리 : 145mm
- 주요 구성 장비

| NO | 품목                         | 규격                         | 내용                                                            |
|----|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1  | UV 조명<br>(제어기포함)           | 30W                        | 전차선과 판토사이 이선 발생시 생성되는<br>아크 광원과 동일한 파장의 광원                    |
| 2  | 렌즈                         | 볼록렌즈                       | 아크 광원(UV파장) 집광                                                |
| 2  | 조리개                        | MaxØ37,<br>MinØ1.5         | 아크 광원의 면적 및 양 조절                                              |
| 3  | 초퍼<br>(제어기포함)              | 슬릿 구멍<br>10개<br>Max 1070Hz | 아크센서의 반응속도 측정을 위한 보조도<br>구                                    |
| 4  | 아크센서<br>(센서헤드 및<br>제어기 포함) | -                          | 아크 광원 측정 및 출력<br>=> Y사 제품 : 전압출력<br>=> ARC-500 : 이더넷출력 (ADC값) |
| 6  | 오실로스코프                     | -                          | 아크 센서의 출력 파형 측정                                               |

나. 아크광원, 렌즈, 조리개, 초퍼는 일직선 상에 고정됨

다. 조리개는 완전 개방상태로 고정 (조리개는 아크 광량 조절시 사용함)

#### <아크센서 응답성 시험>

라. NQ 테스트 배드에 Y사 아크 센서 헤드를 위치시키고 출력 파형 캡취 (아크 감도 8로 고정, 초퍼 주파수 100, 500, 1070Hz일 때 캡취)

-> 오실로스코프 사용

마. 초퍼가 최대 주파수로 회전시 (1070Hz) 오실로 스코프 파형을 분석하여 아크센서 반응속도 테스트 (반응속도 = Rising Time)

바. NQ 테스트 배드에 ARC-500 아크 센서 헤드를 위치시키고 프로그램을 통해 출력 파형 캡취 (PC와 이더넷으로 연결, 초퍼 주파수 100, 500, 1070Hz일 때 캡취)

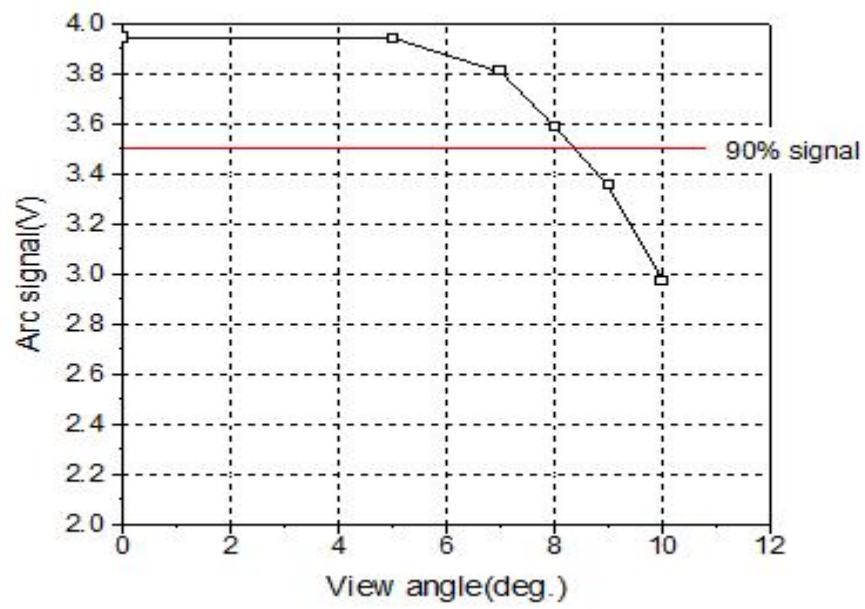
사. Y사 아크센서와 ARC-500 아크센서 출력 데이터 비교. 출력 방식이 다르기 때문에 아크 크기 비교는 제외하고 출력 파형만 비교함

#### <아크검출각도 시험>

아. 아크센서의 설치 각도를 0~10도까지 변경해 가면서 센서 출력의 상대적인 크기를 비교

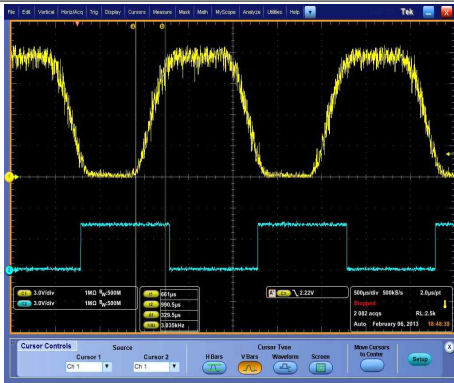
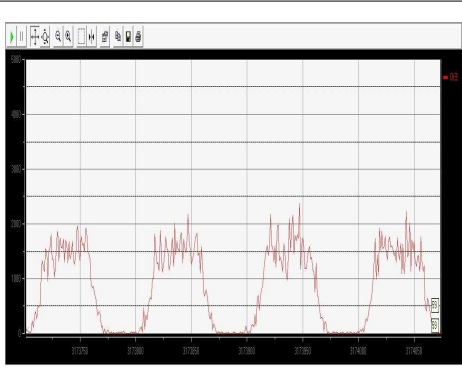
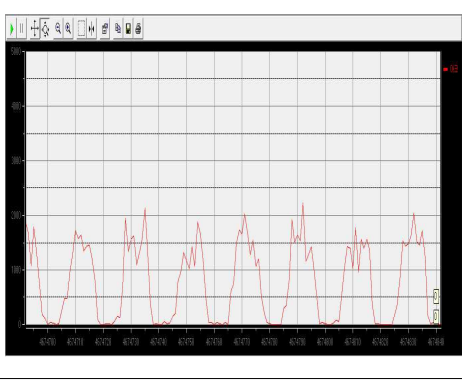
#### (2) 아크 센서 검출 각도 시험 결과

아래 그림에는 화각(View angle) 시험 결과를 제시하였다. 1차년도 개발목표인 5° 이상을 만족하였다.

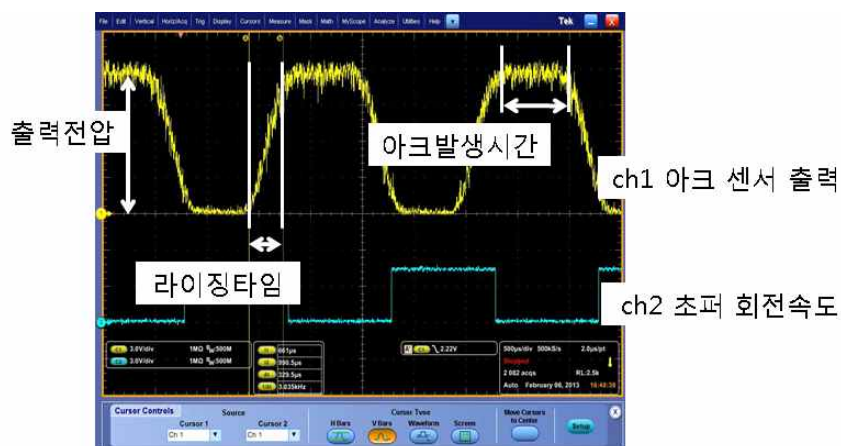


| View angle<br>[deg.] | Arc signal<br>[V] | 최대값 대비<br>signal [%] |
|----------------------|-------------------|----------------------|
| 0                    | 3.93              | 100.0                |
| 1                    | 3.93              | 100.0                |
| 2                    | 3.93              | 100.0                |
| 3                    | 3.93              | 100.0                |
| 4                    | 3.93              | 100.0                |
| 5                    | 3.93              | 100.0                |
| 6                    | 3.90              | 99.2                 |
| 7                    | 3.81              | 96.9                 |
| 8                    | 3.60              | 91.6                 |
| 9                    | 3.38              | 85.8                 |
| 10                   | 3.00              | 75.8                 |

### (3) 아크 센서 응답성 실험 결과

| 비교 센서                                         | Y사 아크센서                                                                            | ARC-500                                                                             |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 초퍼속도<br>=500Hz<br>(Rising<br>Time<br>=180us)  |   |   |
| 초퍼속도<br>=1070Hz<br>(Rising<br>Time =<br>93us) |  |  |
| 출력레벨                                          | 전압 12Vpp                                                                           | ADC값 2000 pp                                                                        |

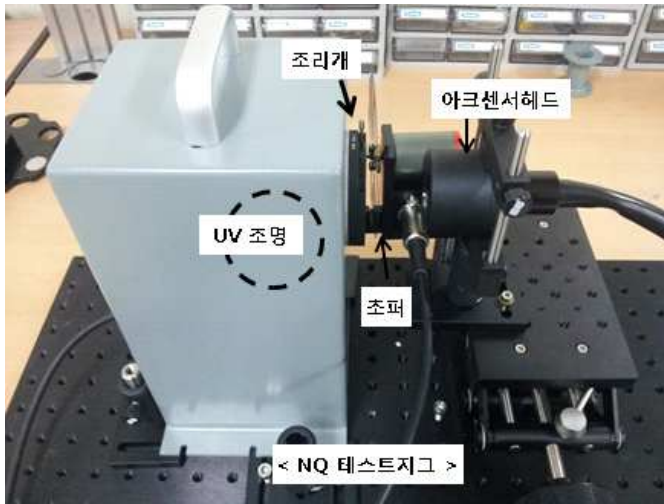
### - 캡처 파형 해석



- 조리개 최소, 초퍼 회전속도 최대, 아크센서 감도 최대로 할 경우, 라이징 타임은 93us 로 측정됨 (100us 이하)

## [별첨3-2] 아크테스트베드

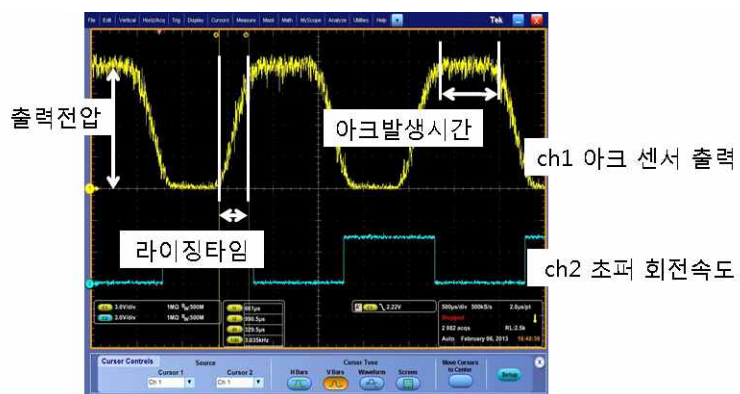
### 1) 테스트베드 사진



### 2) 제작사양

|      |                            |
|------|----------------------------|
| UV광원 | 30W, Deuterium Lamp        |
| UV파장 | 160 ~ 230nm                |
| 초퍼속도 | 5kHz ~ 10kHz               |
| 조리개  | Ø 1.5 ~ Ø 37               |
| 필터휠  | 1", 6EA<br>(ND, BPF 필터장착용) |

### 3) 성능검증



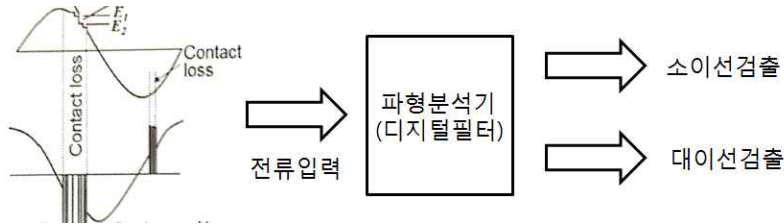
- rising time : 93us

(※ 100us 미만의 아크 광 펄스 생성 확인)

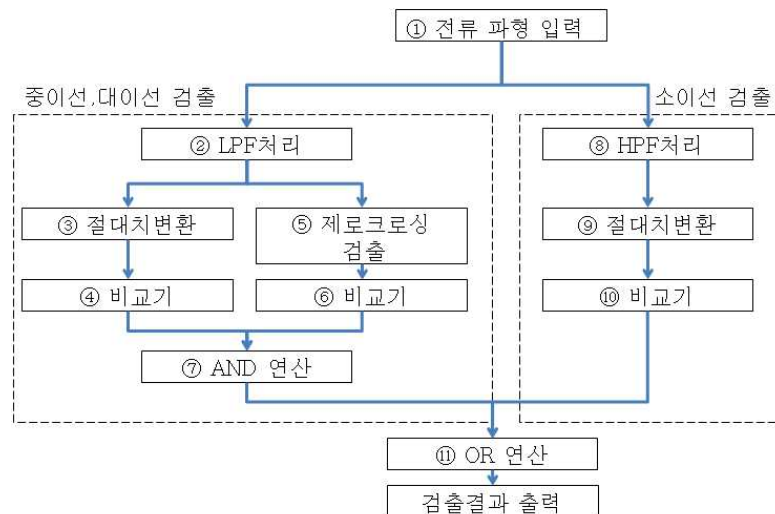
### [별첨3-3] 이선 전류 파형 분석 알고리즘

#### 1) 기능개요

- 입력된 전류 파형 병렬처리
- LPF 및 일련의 처리과정을 거쳐 중이선 및 대이선 검출
- HPF 및 일련의 처리과정을 거쳐 소이선 검출
- 소이선, 중이선 및 대이선 검출 결과를 합하여 검출 결과 출력



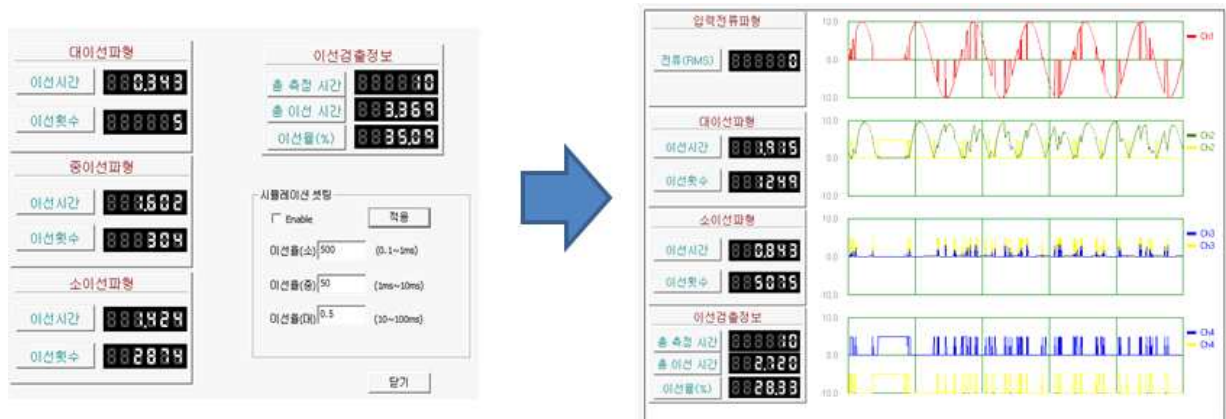
#### 2) 알고리즘 흐름도



- ① 이선 전류를 ADC로 취득
- ② 저주파 성분 추출
- ③, ④ 절대치로 변환 후 전류 영점 구간 검출
- ⑤, ⑥ 제로 크로싱 검출
- ⑦ 이선 전류에서 제로크로싱 성분 제거
- ⑧ 고주파 성분 추출
- ⑨, ⑩ 절대치로 변환 후 전류 영점 구간 검출
- ⑪ 최종 이선 신호 (소이선 + 대이선)

### 3) 시뮬레이션 파형 시험 결과

자체 제작한 CQ파형 시뮬레이터로 전류 파형을 생성하고 알고리즘이 탑재된 이선 전류 분석 소프트웨어 결과한 이선 누적 시간, 이선 횟수, 이선율 등을 비교하였다.

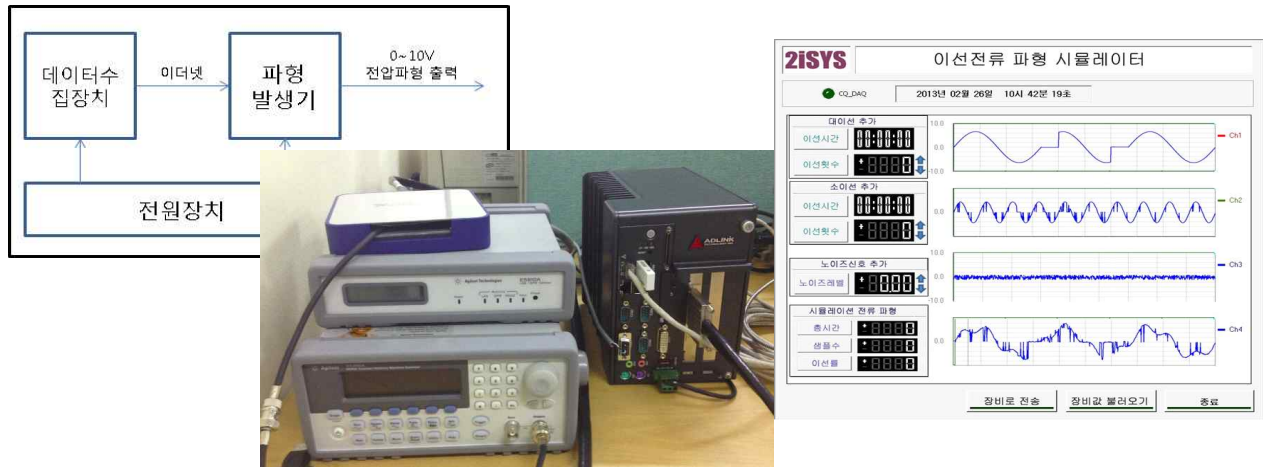


- 이선율 30%되도록 파형을 생성.
- 10초간 분석한 결과를 비교
- LPF, HPF의 Cut-off 주파수는 각각 120Hz, 1200Hz
- 영점 기준 레벨을 0.5 (입력전압 피크치는 10)

| 항목              |     | 시뮬레이터 | 분석결과  | 비고                                       |
|-----------------|-----|-------|-------|------------------------------------------|
| 총 이선            | 시간  | 3.369 | 2.720 | 20%정도 오차 발생                              |
|                 | 이선율 | 35.09 | 28.33 |                                          |
| 대이선<br>(중이선폭포함) | 시간  | 1.945 | 1.915 | 대이선 결과 값은 거의 일치<br>제로크로싱이 포함되어 횟수가 많이 나옴 |
|                 | 횟수  | 309   | 1249  |                                          |
| 소이선             | 시간  | 1.424 | 0.843 | 50%가까이 오차 발생<br>제로크로싱이 포함되어 횟수가 많이 나옴    |
|                 | 횟수  | 2874  | 5075  |                                          |

## [별첨3-4] 이선 전류 파형 시뮬레이터

### 1) 시스템 구성

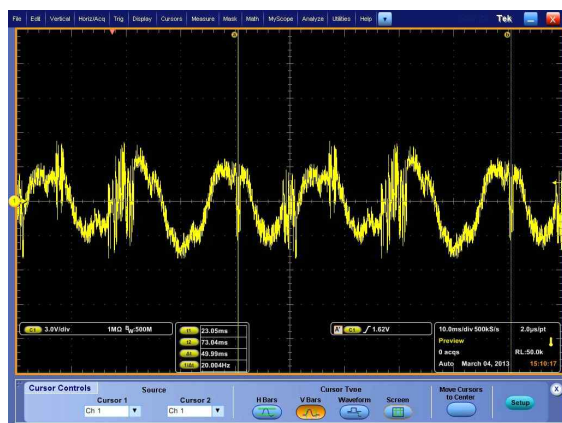


- 데이터 수집장치에서 합성한 이선 전류 파형 신호를 파형발생기에서 전압파형으로 변환시켜 출력

### 2) 제작 사양

|       |                                                                                                                                                                                                      |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 파형발생기 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Frequency range: 1uHz to 80 MHz</li> <li>- Resolution: 12bit</li> <li>- Sample rate 200 MS/s</li> </ul>                                                     |
| 주요기능  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최대 1초, 10,000sample 파형 발생</li> <li>- 소이선, 중이선 및 대이선 발생횟수 입력</li> <li>- 이선 전류 파형 랜덤 발생</li> <li>- 고주파 노이즈 신호 추가 기능</li> <li>- 생성 파형에 대한 이선률 자동 계산</li> </ul> |

### 3) 시뮬레이터 출력파형 사진



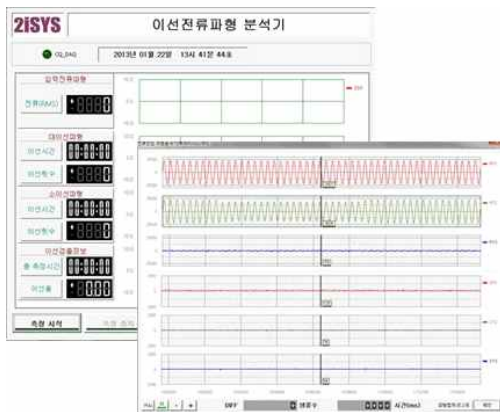
## [별첨3-5] 전류식 이선 검출기 프로토타입

### 1) 시작품 사진



- 알고리즘 검증을 위해 임베디드 PC기반으로 구현  
(Intel Core i7, 2GHz, 4G메모리, 1TB HDD)
- 로고스키 타입 전류 센서: 3kA
- 클램프 타입 전류 센서: 500A
- 모니터링 영상 취득 그래버 내장
- 아날로그 입력 보드 내장
- 광학식 이선 검출기와는 TCP/IP로 통신

### 2) 분석 소프트웨어



#### 주요기능:

- 이선전류 취득: 측정시작/중지
- 실시간 파형 표시: 입력파형, 소이선파형, 대이선 파형, 이선검출 정보
- 좌측에 이선시간, 이선율 표시
- 상세 파형 분석: 확대/축소, 커서이동
- 시스템 설정: CT, 그래프, 필터 설정

[별첨3-6] NQ 센서 개발품 사양

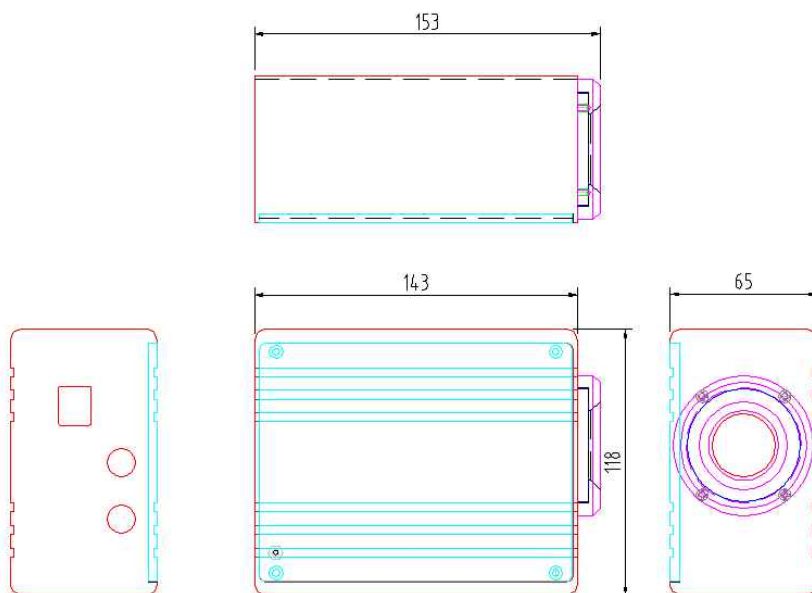
1) 개발품 사진



2) 주요사양

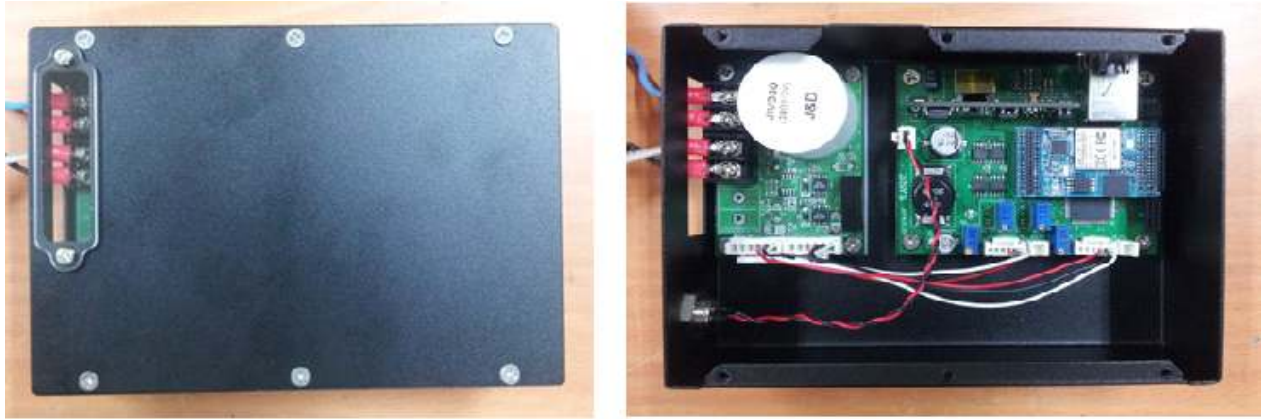
| 구분    | 사양                                      |
|-------|-----------------------------------------|
| 반응파장  | 220~225 nm                              |
| 반응속도  | 10us 이내                                 |
| 최소감도  | 0.018 [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] @2m |
| 화각    | $\pm 25^\circ$                          |
| 인터페이스 | TCP/IP, Analog Output 1ch               |
| 전원    | 12VDC, POE                              |
| 크기    | 65*118*145                              |
| 무게    | 1.6kg 내외                                |

3) 도면



[별첨3-7] CQ 센서 개발품 사양

1) 시작품 사진



2) 제작사양

| 구분     | 사양            |
|--------|---------------|
| 전류측정범위 | 0~500A        |
| 전압측정범위 | 0~380V        |
| 해상도    | 16Bit 2ch     |
| 인터페이스  | TCP/IP        |
| 전원     | 12VDC, POE    |
| 크기     | 44*160*110 mm |
| 무게     | 0.9kg 내외      |

3) 도면

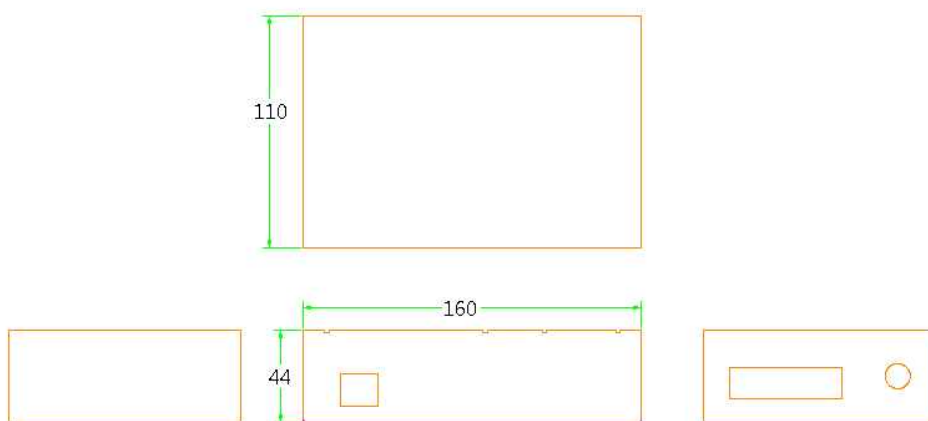


그림 1 CQ 센서 도면

## [별첨3-8] NQ 센서 개발품 반응속도, 감도, 화각 테스트

### 1. 개요

테스트 목적 : NQ 센서 테스트

(NQ 센서 반응속도, 감도, 화각 테스트)

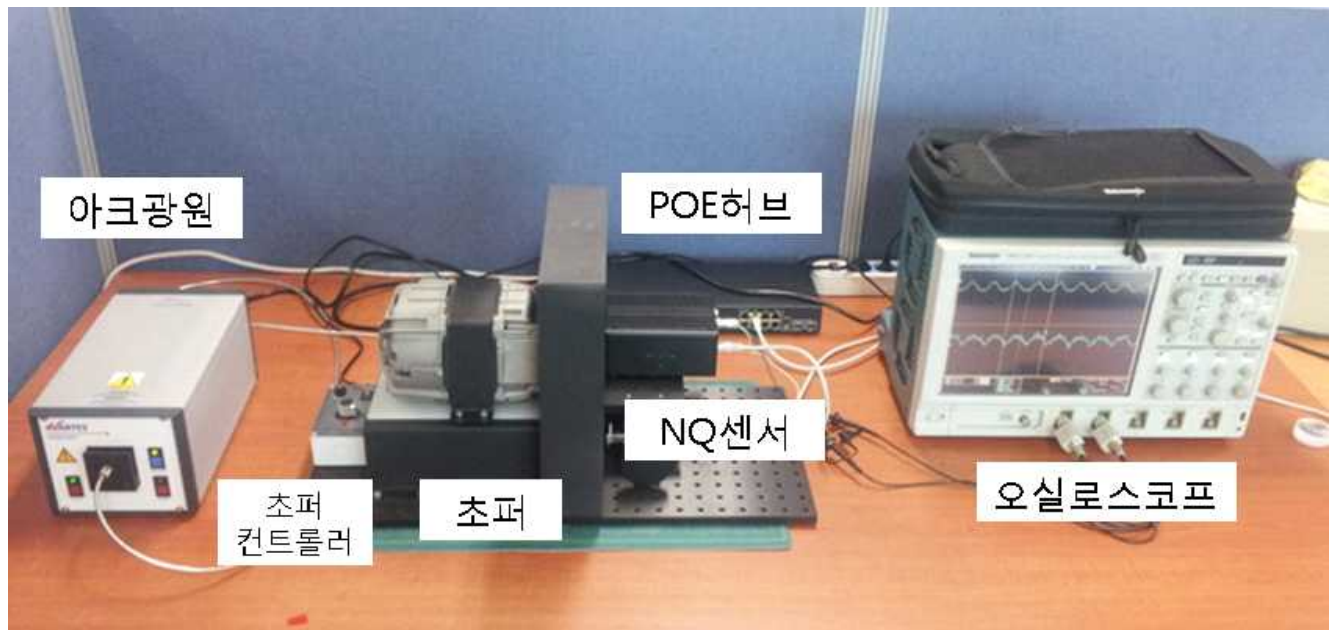
테스트 장소 : 사무실

시 험 시 료 : NQ 센서 (투아이시스 제품품)

듀토리움 램프 광원 (Avalight-DHS) , 초퍼 (자체제작)

스펙트로메타 (Avaspec-ULS2048)

### 2. 구성



\* 아크 광원과 NQ센서간 거리 20mm

### 3. 테스트 방법

가) 오실로스코프, 듀토리움 램프, 초퍼(최대속도로 세팅), NQ 센서를 세팅

나) NQ 센서 전원은 POE 허브를 통해서 공급

다) NQ 센서의 컨트롤 전압을 0.5V, 배율 5배, 광원과 센서 사이 거리 20mm로 조정

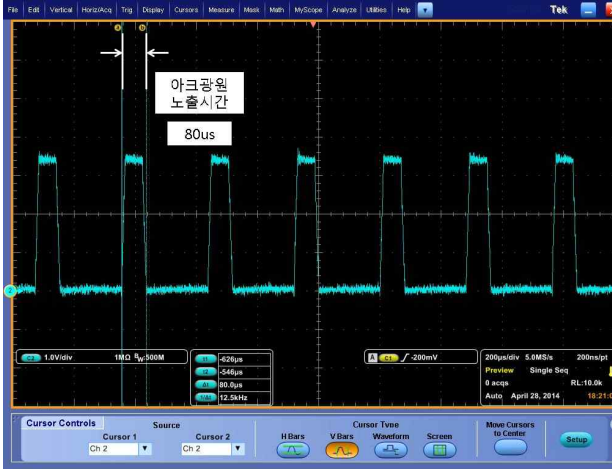
라) 아크 광원 및 초퍼를 가동시킨 후 센서 출력 파형 측정

마) 아크 광원(고정)과 NQ 센서(이동)간 거리를 변화시키며 (45~250cm거리 5cm 단위로 이동) NQ 센서 출력값을 멀티미터기로 측정

바) 아크 광원(고정)과 NQ 센서(각도 변환)간 각도를 변화시키며(-45~45도, 5도 단위로 이동) NQ센서 출력값을 멀티미터기로 측정

#### 4. 시험 결과 및 특이사항

##### 1) NQ 센서 반응 속도 시험

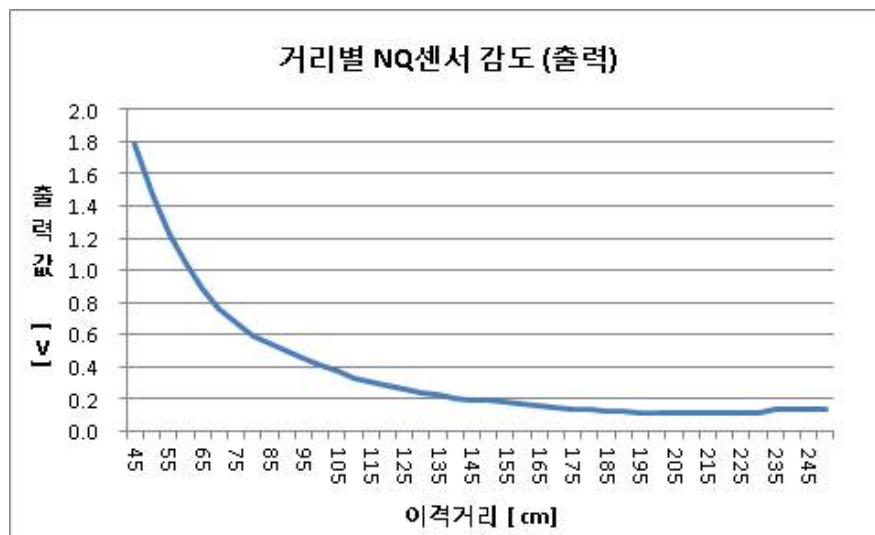
| 테스트 화면                                                                             | 비고                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 아크 광원 1주기 시간 : 80us</li> <li>▶ 라이징 타임 : 9.8us</li> <li>▶ 10us 이내의 아크광 검출 가능</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 초퍼를 통과한 아크 광원</li> </ul>                                                               |

- ▶ 아크 라이징타임 10us 이내로 측정됨
- ▶ 아크 반응속도 : 10us 이내

## 2) NQ 센서 감도 시험

| 광원거리<br>[cm] | 출력 [V] | 광원세기<br>환산값<br>[uW/cm <sup>2</sup> ] | 광원거리<br>[cm] | 출력 [V] | 광원세기<br>환산값<br>[uW/cm <sup>2</sup> ] | 광원거리<br>[cm] | 출력 [V] | 광원세기<br>환산값<br>[uW/cm <sup>2</sup> ] |
|--------------|--------|--------------------------------------|--------------|--------|--------------------------------------|--------------|--------|--------------------------------------|
| 45           | 1.7875 | 0.283                                | 115          | 0.3035 | 0.048                                | 185          | 0.1268 | 0.020                                |
| 50           | 1.4711 | 0.233                                | 120          | 0.2787 | 0.044                                | 190          | 0.1212 | 0.019                                |
| 55           | 1.2312 | 0.195                                | 125          | 0.2575 | 0.041                                | 195          | 0.1168 | 0.018                                |
| 60           | 1.0449 | 0.165                                | 130          | 0.2377 | 0.038                                | 200          | 0.1127 | 0.018                                |
| 65           | 0.8876 | 0.141                                | 135          | 0.2228 | 0.035                                | 205          | 0.1103 | 0.017                                |
| 70           | 0.7673 | 0.121                                | 140          | 0.2064 | 0.033                                | 210          | 0.1083 | 0.017                                |
| 75           | 0.6687 | 0.106                                | 145          | 0.1935 | 0.031                                | 215          | 0.1111 | 0.018                                |
| 80           | 0.5930 | 0.094                                | 150          | 0.1894 | 0.030                                | 220          | 0.1110 | 0.018                                |
| 85           | 0.5427 | 0.086                                | 155          | 0.1781 | 0.028                                | 225          | 0.1103 | 0.017                                |
| 90           | 0.4993 | 0.079                                | 160          | 0.1687 | 0.027                                | 230          | 0.1162 | 0.018                                |
| 95           | 0.4505 | 0.071                                | 165          | 0.1593 | 0.025                                | 235          | 0.1333 | 0.021                                |
| 100          | 0.4061 | 0.064                                | 170          | 0.1495 | 0.024                                | 240          | 0.1334 | 0.021                                |
| 105          | 0.3719 | 0.059                                | 175          | 0.1409 | 0.022                                | 245          | 0.1387 | 0.022                                |
| 110          | 0.3312 | 0.052                                | 180          | 0.1331 | 0.021                                | 250          | 0.1368 | 0.022                                |

\* 광원세기 환산값 : 광원과의 거리 45cm 지점에서 측정한 광원세기를 기준으로 나머지 지점의 광원세기 환산

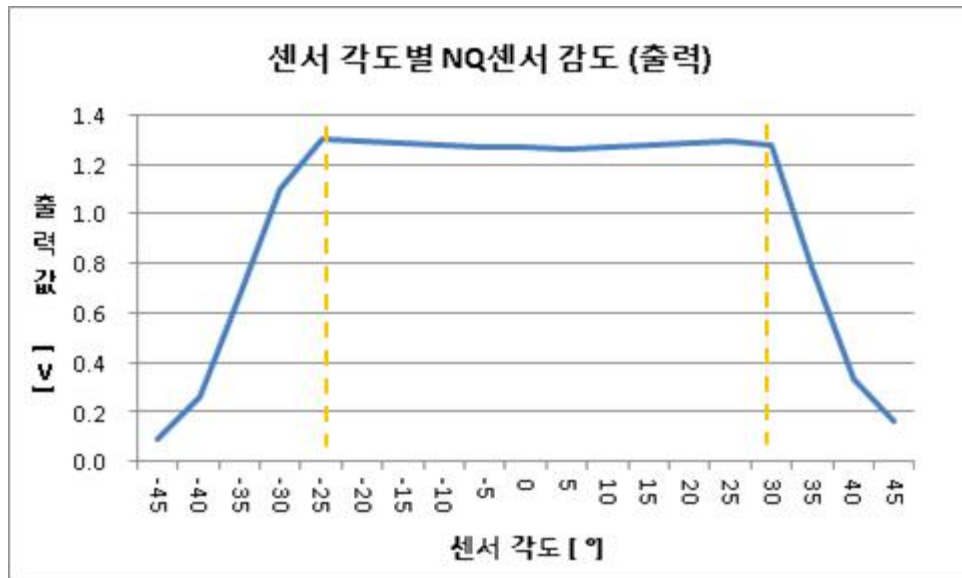




- ▶ 45cm 지점 : 최대값 (1.79V 출력)  
광원세기 0.28 [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]
- ▶ 45cm~250cm 구간 : 광원의 강도는 거리<sup>2</sup>에 반비례함
- ▶ NQ 센서 감도 : 0.018 [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] 아크광원 검출가능 @2m

### 3) NQ센서 화각 시험

| 센서각도<br>[°] | 출력 [V] | 센서각도<br>[°] | 출력 [V] |
|-------------|--------|-------------|--------|
| 0           | 1.2695 | 0           | 1.2695 |
| 5           | 1.2642 | -5          | 1.2720 |
| 10          | 1.2699 | -10         | 1.2767 |
| 15          | 1.2784 | -15         | 1.2833 |
| 20          | 1.2864 | -20         | 1.2932 |
| 25          | 1.2960 | -25         | 1.3038 |
| 30          | 1.2747 | -30         | 1.0966 |
| 35          | 0.7886 | -35         | 0.6731 |
| 40          | 0.3364 | -40         | 0.2630 |
| 45          | 0.1598 | -45         | 0.0928 |



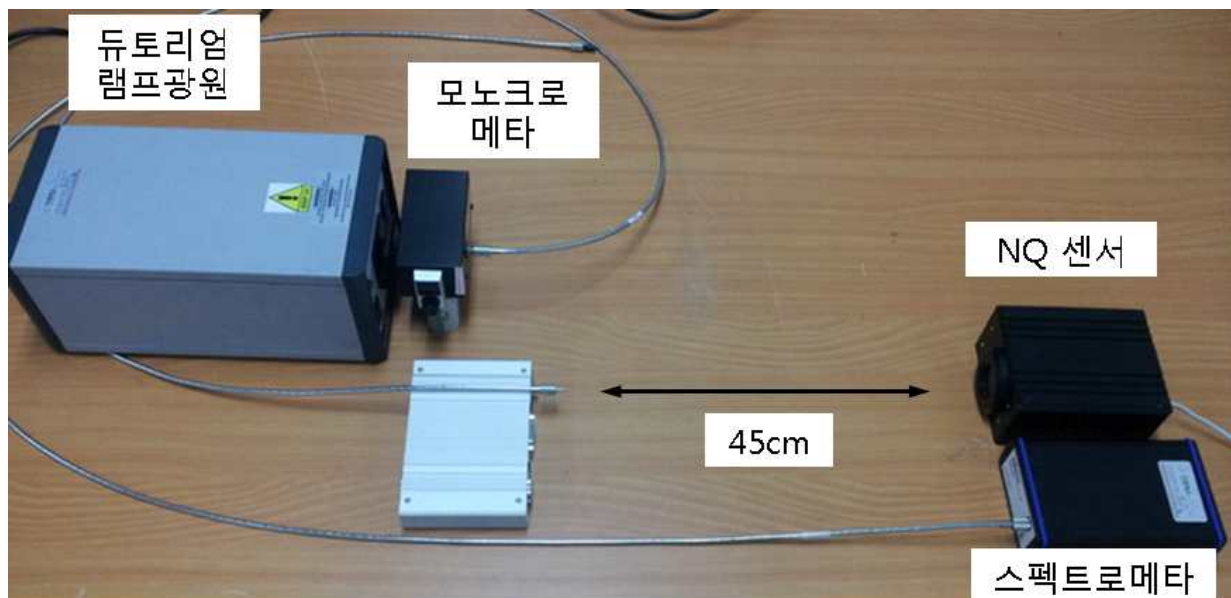
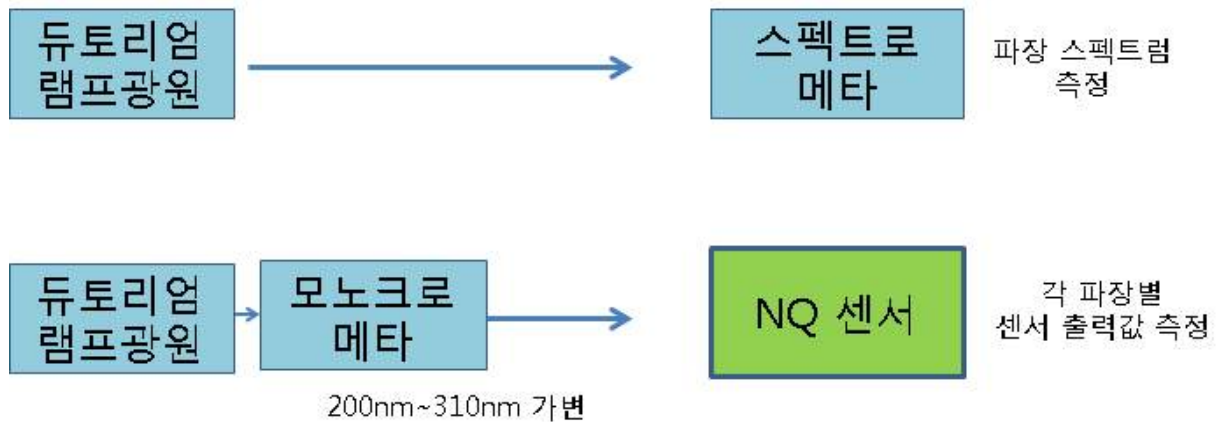
- ▶ 광원과 NQ 센서간 거리 : 45cm
- ▶  $-25^{\circ} \sim 25^{\circ}$  (센서방향과 광원방향사이 각도) 구간에서 균등한 출력값이 나옴
- ▶  $|25^{\circ}|$  보다 큰 구간에서는 센서 감도가 급격히 떨어짐
- ▶ NQ 센서 화각 :  $\pm 25^{\circ}$

[별첨3-9] NQ 센서 개발품 반응 파장 테스트

1. 개요

테스트 목적 : NQ 센서 테스트  
(NQ 센서 반응 파장 테스트)  
테스트 장소 : 사무실  
시 험 시 료 : NQ 센서 (투아이시스 제품품)  
듀토리엄 램프 광원 (Avalight-DHS)  
스펙트로메타 (Avaspec-ULS2048)  
모노크로메타 (DMC1-02)

2. 구성



### 3. 테스트 방법

- 가) 듀토리엄 램프광원을 ON 시킨 후, 스펙트로 메타로 광원의 파장 특성 측정  
(광원의 세기가 파장별로 일정하지 않으므로, 센서 측정값 가중치 적용에 필요함)
- 나) 듀토리엄 램프광원을 모노크로메타에 통과시킴
- 다) 모노크로메타와 NQ 센서간 거리를 45cm로 세팅
- 라) 모노크로메타 파장을 200nm~240nm 범위에서 1nm 단위로 변화시키며 NQ센서 출력값을 측정
- 마) NQ센서 출력값에 2.1항에서 측정한 광원의 파장 특성 곡선의 가중치를 계산하여 센서의 측정값을 보정

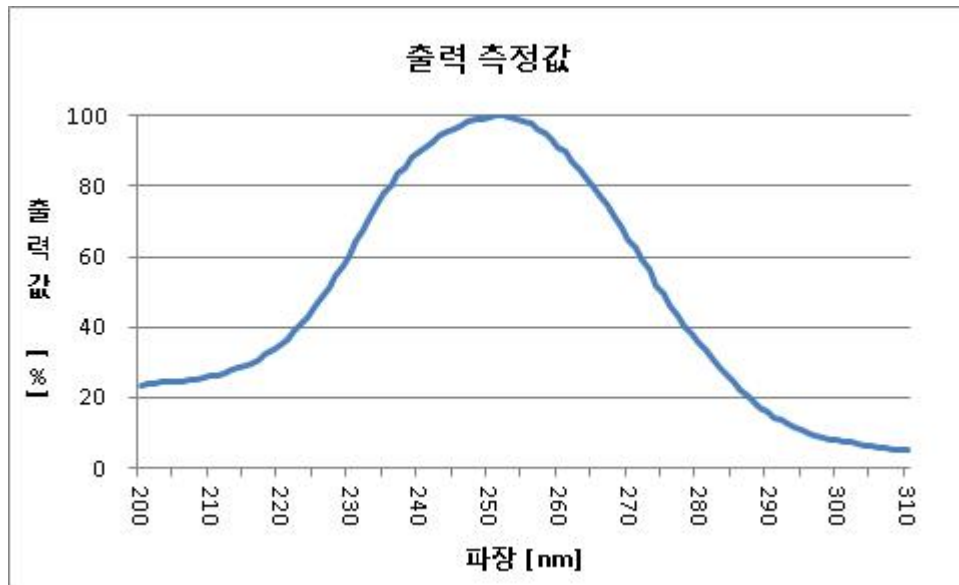
### 4. 시험 결과 및 특이사항

#### 1) 램프광원 파장 특성

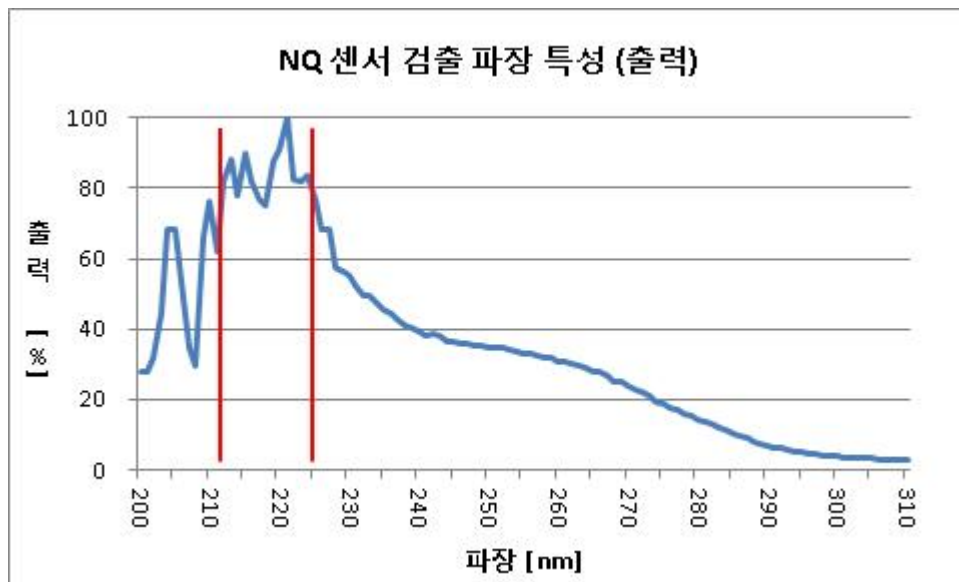


- ▶ 듀토리엄 램프 광원의 파장별 세기 측정값
- ▶ 200~230nm파장의 광원은 상대적으로 크기가 작음
- ▶ 240~300nm파장의 광원은 상대적으로 크기가 큼
- ▶ NQ센서 측정값 보정 필요함

## 2) NQ 센서 출력 측정값



## 3) NQ센서 검출 파장 특성 (광원 특성 적용)



- ▶ 램프 광원의 파장별 세기 가중치 적용
- ▶ 가중치 적용 방법 : NQ센서 파장별 감도 =  $\frac{\text{센서출력값}}{\text{광원세기}}$
- ▶ 221nm에서 피크값 나타남
- ▶ 센서 측정 파장 : 212nm~225nm

## [별첨3-10] NQ 센서 개발품 vs. 외산 센서 반응속도, 감도 비교테스트

### 1. 개요

테스트 목적 : NQ 센서 개발품의 성능을 외산 센서와 비교 검증  
(아크 센서 반응속도, 감도)

테스트 장소 : 사무실

시 험 시 료 : 아크 센서 (일본 Y사 제품)  
듀토리엄 램프 광원 (Avalight-DHS) , 초퍼 (자체제작)

### 2. 구성



\* 광원(듀토리엄 램프)과 아크센서간 거리 20mm

### 3. 아크 센서



<아크센서 본체>



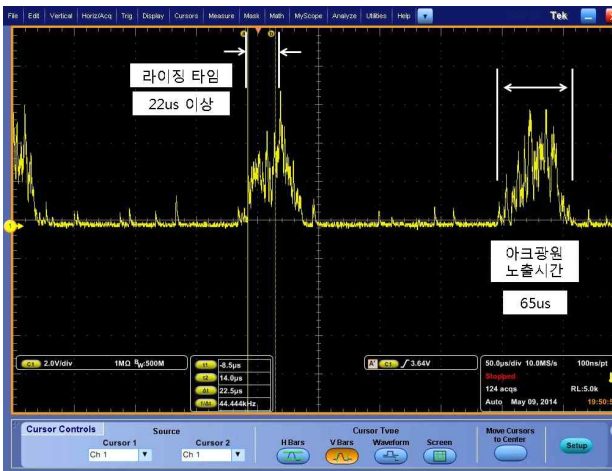
<헤드부>

#### 4. 테스트 방법

- 사) 오실로스코프, 듀토리움 램프, 초퍼(최대속도로 세팅), 아크 센서를 세팅
- 아) 아크 센서 전원은 110V 트랜스를 통해 공급
- 자) 광원과 센서 사이 거리 20mm로 조정
- 차) 아크 광원 및 초퍼를 가동시킨 후 센서 출력 파형 측정
- 카) 아크 광원(고정)과 아크 센서(이동)간 거리를 변화시키며 (45~100cm거리 5cm 단위로 이동) Y사 아크 센서 출력값을 멀티미터기로 측정

#### 5. 시험 결과 및 특이사항

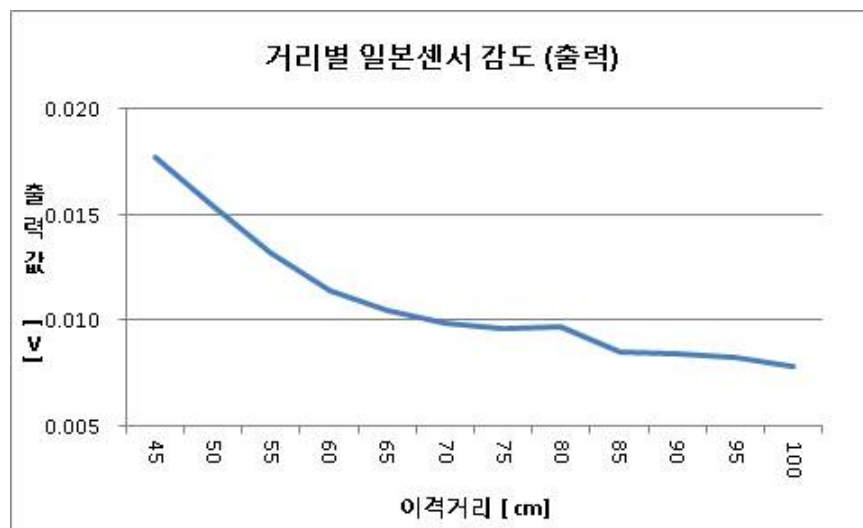
##### 1) NQ 센서 반응 속도 시험

| 테스트 화면                                                                             | 비고                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 아크 광원 1주기 시간 : 65us</li> <li>▶ 라이징 타임 : 22us 이상</li> </ul> |

- ▶ 아크 라이징타임 22us 이상으로 측정됨
- ▶ 아크 반응속도 : 22us 이상

## 2) NQ 센서 감도 시험

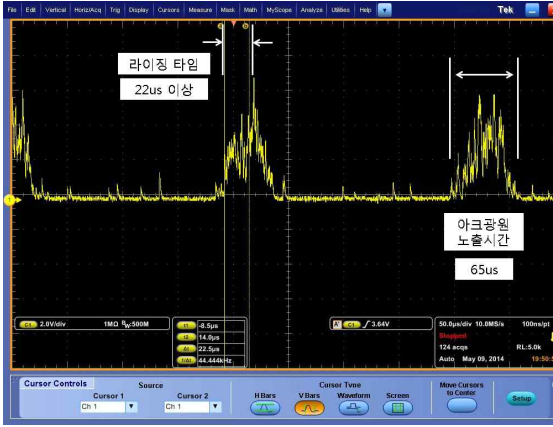
| 광원거리<br>[cm] | 출력 [V] | 광원세기<br>환산값<br>[uW/cm <sup>2</sup> ] |
|--------------|--------|--------------------------------------|
| 45           | 0.0177 | 0.283                                |
| 50           | 0.0154 | 0.246                                |
| 55           | 0.0132 | 0.211                                |
| 60           | 0.0114 | 0.182                                |
| 65           | 0.0105 | 0.168                                |
| 70           | 0.0099 | 0.158                                |
| 75           | 0.0096 | 0.153                                |
| 80           | 0.0097 | 0.155                                |
| 85           | 0.0085 | 0.136                                |
| 90           | 0.0084 | 0.134                                |
| 95           | 0.0082 | 0.131                                |
| 100          | 0.0078 | 0.125                                |



★ 광원세기 환산값 : 광원과의 거리 45cm 지점에서 측정한 광원세기를 기준으로 나머지 지점의 광원세기 환산

- ▶ 45cm 지점 광원세기 : 0.28 [uW/cm<sup>2</sup>] (기존 시험 데이터 참조)
- ▶ 45cm~80cm 구간 : 광원의 강도는 거리<sup>2</sup>에 반비례함
- ▶ 80cm 이상 구간 : 측정 안됨 (노이즈성 출력)
- ▶ 일본 센서 감도 : 0.155 [uW/cm<sup>2</sup>] 아크광원 검출가능 @0.8m

### 3) 반응속도 비교 결과

|                | NQ 센서 (투아이스시스)                                                                    | Y사 아크 센서 (일본)                                                                      |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 아크<br>검출<br>화면 |  |  |
| 반응<br>속도       | 9.8us 이하                                                                          | 22us 이상                                                                            |
| 출력<br>파형       | 깔끔함                                                                               | 노이즈성 잡음 많이 실려있음                                                                    |
| 감도             | 0.018 [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] 검출 @2m                                        | 0.155 [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] 검출 @0.8m                                       |
| 구성             | 단순 (일체형)                                                                          | 복잡 (분리형)                                                                           |
| 크기             | 소형 (65*118*145 전체크기)                                                              | 대형 (240*250*280 본체크기)                                                              |
| 전원             | 12 VDC                                                                            | 110 VAC                                                                            |

관 인 생 략  
출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2013.02.04  
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출 원 번 호 10-2013-0012129 (접수번호 1-1-2013-0100567-29)  
출 원 인 명 칭 투아이시스(주)(1-2004-024698-0)  
대 리 인 성 명 특허법인 조율(9-2011-100021-3)  
발 명 자 성 명 박종국 김정연 오민수  
발 명 의 명 칭 소이선, 종이선, 대이선 구분 및 위치검출이 가능한 이선 전류 측정시스템 및 그 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
※ 특허출원 10-2010-00000000, 상표등록출원 40-2010-00000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

**【서지사항】**

|                   |                                                    |
|-------------------|----------------------------------------------------|
| <b>【서류명】</b>      | 특허출원서                                              |
| <b>【출원구분】</b>     | 특허출원                                               |
| <b>【출원인】</b>      |                                                    |
| <b>【명칭】</b>       | 투아이시스(주)                                           |
| <b>【출원인코드】</b>    | 1-2004-024698-0                                    |
| <b>【대리인】</b>      |                                                    |
| <b>【명칭】</b>       | 특허법인 조율                                            |
| <b>【대리인코드】</b>    | 9-2011-100021-3                                    |
| <b>【지정된변리사】</b>   | 석기철                                                |
| <b>【포괄위임등록번호】</b> | 2011-058219-6                                      |
| <b>【발명의 국문명칭】</b> | 소이선, 종이선, 대이선 구분 및 위치검출이 가능한 이선<br>전류 측정시스템 및 그 방법 |
| <b>【발명의 영문명칭】</b> | contact loss current measurement system and method |
| <b>【발명자】</b>      |                                                    |
| <b>【성명】</b>       | 박종국                                                |
| <b>【성명의 영문표기】</b> | PARK, Jong Gook                                    |
| <b>【주민등록번호】</b>   | *****-*****                                        |
| <b>【우편번호】</b>     | 431-828                                            |
| <b>【주소】</b>       | 경기도 안양시 동안구 평촌동 14-3 초원아파트 307동 1204<br>호          |
| <b>【국적】</b>       | KR                                                 |
| <b>【발명자】</b>      |                                                    |

【성명】 김정은

【성명의 영문표기】 Kim Jung Youn

【주민등록번호】 \*\*\*\*\*-\*\*\*\*\*

【우편번호】 426-825

【주소】 경기도 안산시 상록구 사2동 1482-4

【국적】 KR

【발명자】

【성명】 오민수

【성명의 영문표기】 Oh MinSoo

【주민등록번호】 \*\*\*\*\*-\*\*\*\*\*

【우편번호】 442-872

【주소】 경기도 수원시 팔달구 화서2동 꽃외버들마을진흥아파트  
141-149

【국적】 KR

【심사청구】 청구

【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 특허법인 조을 (서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】 0 면 38,000 원

【가산출원료】 21 면 0 원

【우선권주장료】 0 건 0 원

|           |            |             |
|-----------|------------|-------------|
| 【심사청구료】   | 3    항     | 250,000   원 |
| 【합계】      |            | 288,000   원 |
| 【감면사유】    | 소기업(70%감면) |             |
| 【감면후 수수료】 |            | 86,400   원  |

## 【명세서】

### 【발명의 명칭】

소이선, 중이선, 대이선 구분 및 위치검출이 가능한 이선 전류 측정시스템 및 그 방법{contact loss current measurement system and method}

### 【기술분야】

【0001】 본 발명은 소이선, 중이선, 대이선 구분 및 위치검출이 가능한 이선 전류 측정시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 차량의 전류를 측정하기 위한 전류 측정장치와 측정된 전류를 입력받아 A/D 컨버팅하는 아날로그 입력장치, A/D 컨버팅 된 값을 받아 이선의 종류와 시간을 분석하는 이선전류 파형 분석장치, 차량의 정확한 위치를 제공하기 위한 위치정보 수집장치, 분석한 이선정보와 위치정보를 표시하기 위한 디스플레이 장치로 구성되어 이선 현상을 측정하고 분석할 수 있으므로, 판토품레프 및 전차선의 유지 보수작업을 할 수 있도록 한 소이선, 중이선, 대이선 구분 및 위치검출이 가능한 이선 전류 측정시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

### 【발명의 배경이 되는 기술】

【0002】 전차선은 고속으로 운행하는 차량에 전기를 안정적으로 공급하기 위한 시설물이다.

【0003】 판토티그래프는 전기차량의 지붕에 설치된 집전장치로서, 차량이 진행하는 동안 전차선과 접촉하여 전기를 공급받기 위한 장치이다.

【0004】 전기철도에서 전기차량의 속도가 높아짐에 따라 판토티그래프의 압상력이 증가한 상태에서 주행함으로서 진동에 의한 파동이 발생하고 이러한 파동에 의하여 전차선과 판토티그래프 사이에 이선이 발생하게 된다.

【0005】 이선이란 전차선과 판토티그래프가 전차선으로부터 분리되는 것을 말한다.

【0006】 전기차량의 운행중 이선이 발생하게 되면 전차선의 미소부분 용손, 전차선 마모의 촉진, 차량 전기 계통에 문제 등의 현상이 발생하게 된다.

【0007】 이선은 소이선, 종이선, 대이선으로 구분할수 있는데, 소이선은 1회 이선시간이 1/100초 이하의 현상으로 슬립판, 판토티그래프 암, 전차선 등의 탄성진동에 의해 발생하고 있다.

【0008】 그리고 종이선은 1회 이선시간이 1/100~1/10초의 현상으로 가선의 불연속 접점(경점 및 변곡점)에서 판토티그래프 암이 도약할 때 발생한다.

【0009】 그리고 대이선은 1회 이선시간이 1/10초 이상의 현상으로서 가선의 지지점에서 판토티그래프 암의 동요로 발생한다.

【0010】 이선이 발생하게 되면 전차선과 판토티그래프 사이에 아크가 발생하게 되고, 이로 인해 전차선의 미소부분 용손, 전차선 마모의 촉진, 차량 전기 계통에 문제 등이 발생하게 된다.

【0011】종래기술의 경우 아크 발생을 통해 이선의 발생여부를 판별하기 때문에, 아크가 발생하지 않을 경우 이선의 발생 여부를 측정할 수 없고 이선의 지속 시간을 알 수 없는 문제점이 있었다.

【0012】또한 이선을 측정하더라도 정확한 이선 발생 위치를 알 수 없어서, 유지보수가 어렵고 소이선의 경우 별다른 유지보수가 필요하지 않음에도 불구하고 소이선, 중이선 및 대이선을 구분할 방법이 없어 아크가 발생한 모든 개소를 다시 수동으로 점검해야 하는 문제점도 발생하고 있다.

#### 【발명의 내용】

#### 【해결하고자 하는 과제】

【0013】본 발명은 상기와 같은 종래의 문제점을 해소하고자 발명된 것으로 다음과 같은 목적을 갖는다.

【0014】본 발명은 차량의 전류를 측정하기 위한 전류 측정장치와 측정된 전류를 입력받아 A/D 컨버팅하는 아날로그 입력장치, A/D 컨버팅 된 값을 받아 이선의 종류와 시간을 분석하는 이선전류 파형 분석장치, 차량의 정확한 위치를 제공하기 위한 위치정보 수집장치, 분석한 이선정보와 위치정보를 표시하기 위한 디스플레이 장치로 구성되어 이선 현상을 측정하고 분석할 수 있으므로, 판토품 그래프 및 전차선의 유지 보수작업을 할 수 있도록 한 소이선, 중이선, 대이선 구분 및 위치검출이 가능한 이선 전류 측정시스템 및 그 방법을 제공함에 그 목적이 있다.

【0015】 그리고 본 발명은 고속 측정이 가능한 전류측정센서를 이용하여 전기차량에 흐르는 전류의 측정 및 분석을 통해 판토타그래프의 이선 현상을 측정하고 분석할 수 있도록 하여 빠른 판토타그래프 및 전차선의 유지 보수작업을 할 수 있도록 한 소이선,중이선, 대이선 구분 및 위치검출이 가능한 이선 전류 측정시스템 및 그 방법을 제공함에 그 목적이 있다.

【0016】 그리고 본 발명은 이선의 지속시간 및 정확한 발생 위치 측정이 가능하고 소이선, 중이선 및 대이선을 구분할 수 있도록 하여 이에 따른 전차선 유지 보수를 용이하도록 한 소이선,중이선, 대이선 구분 및 위치검출이 가능한 이선 전류 측정시스템 및 그 방법을 제공함에 그 목적이 있다.

#### 【과제의 해결 수단】

【0017】 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은 다음과 같은 구성을 가진 실시 예에 의하여 구현된다.

【0018】 본 발명 소이선,중이선, 대이선 구분 및 위치검출이 가능한 이선 전류 측정시스템은

【0019】 차량의 전류를 측정하기 위한 전류측정장치(100)와;

【0020】 측정된 전류를 입력받아 A/D 컨버팅하는 아날로그 입력장치(300)와;

【0021】 A/D 컨버팅 된 값을 받아 이선의 종류와 시간을 분석하는 이선전류 파형 분석장치(500)와; 차량의 정확한 위치를 제공하기 위한 위치정보 수집장치

(700)와;

【0022】 이선전류 파형 분석장치(500)에서 분석한 이선 정보와 위치정보를 출력하는 디스플레이장치(900)를 포함하는 것을 특징으로 한다.

【0023】 그리고 본 발명 소이선, 중이선, 대이선 구분 및 위치검출이 가능한 이선 전류 측정시스템은

【0024】 차량의 전류를 측정하기 위한 전류측정장치(100)와;

【0025】 측정된 전류를 입력받아 A/D 컨버팅하는 아날로그 입력장치(300)와;

【0026】 A/D 컨버팅 된 값을 받아 이선의 종류와 시간을 분석하는 이선전류 파형 분석장치(500)와; 차량의 정확한 위치를 제공하기 위한 위치정보 수집장치(700)와;

【0027】 이선전류 파형 분석장치(500)에서 분석한 이선 정보와 위치정보를 출력하는 디스플레이장치(900)로 이루어져

【0028】 이선전류 측정장치에서 전류측정장치(100)는 전기 차량에 흐르는 전류를 고속으로 샘플링해서 RMS값이 아닌 순시전류값을 측정한 후,

【0029】 이를 아날로그 입력장치(300)를 통해 이선전류 파형 분석장치(500)에서 받아 저역통과필터(LPF) 처리 및 일련의 과정을 통해 중이선 및 대이선을 검출하고, 고역통과필터(HPF) 처리의 과정을 통해 소이선을 검출한 후,

【0030】 위치정보 수집장치(700)에서 차량의 엔코더를 통해 이선이 발생한 위치를 측정하고, GPS 정보를 이용한 시설물 데이터베이스 구축을 통해 위치를 보정하여, 이선 발생 위치를 검측하고,

【0031】 디스플레이장치(900)를 통하여 이선전류 파형 분석장치(500)에서 분석한 이선 정보와 위치정보를 출력하는 것을 특징으로 한다.

【0032】 그리고 소이선,중이선, 대이선 구분 및 위치검출 측정 방법은

【0033】 전류파형입력 단계(S100);

【0034】 LPF 처리 단계(S200);

【0035】 제로크로싱 검출 단계(S300);

【0036】 절대치 변환 단계(S400);

【0037】 검출결과 출력 단계(S700)로 이루어진 중이선,대이선 위치검출단계  
와

【0038】 전류파형입력 단계(S100);

【0039】 HPF 처리 단계(S500);

【0040】 절대치 변환 단계(S400);

【0041】 검출결과 출력 단계(S700)로 이루어진 소이선 위치검출단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

## 【발명의 효과】

【0042】 본 발명은 앞서 본 구성에 의하여 다음과 같은 효과를 갖는다.

【0043】 본 발명은 차량의 전류를 측정하기 위한 전류 측정장치와 측정된 전류를 입력받아 A/D 컨버팅하는 아날로그 입력장치, A/D 컨버팅 된 값을 받아 이선의 종류와 시간을 분석하는 이선전류 파형 분석장치, 차량의 정확한 위치를 제공하기 위한 위치정보 수집장치, 분석한 이선정보와 위치정보를 표시하기 위한 디스플레이 장치로 구성되어 이선 현상을 측정하고 분석할 수 있으므로, 판토티그래프 및 전차선의 유지 보수작업을 할 수 있는 효과를 갖는다.

【0044】 그리고 본 발명은 고속 측정이 가능한 전류측정센서를 이용하여 전기차량에 흐르는 전류의 측정 및 분석을 통해 판토티그래프의 이선 현상을 측정하고 분석할 수 있도록 하여 빠른 판토티그래프 및 전차선의 유지 보수작업을 할 수 있는 효과를 갖는다.

【0045】 또한 본 발명은 이선의 지속시간 및 정확한 발생 위치 측정이 가능하고 소이선, 중이선 및 대이선을 구분할 수 있도록 하여 이에 따른 전차선 유지보수를 용이하게 할 수 있는 효과를 갖는다.

【0046】 그리고 본 발명은 소이선, 중이선 및 대이선의 구분이 가능하고 이선이 발생한 정확한 위치를 측정할 수 있어, 전차선로 유지보수시에 문제가 발생한 구간을 쉽게 찾을 수 있어, 유지보수에 드는 시간과 비용을 절감할 수 있는 효과를 갖는다.

### 【도면의 간단한 설명】

【0047】 도 1은 본 발명에 따른 구성블록도,  
도 2는 이선 전류 분석을 위한 순서도,  
도 3은 이선 전류측정 개념도,  
도 4는 이선 발생 위치검측 개념도,  
도 5는 이선 발생 시간 측정 개념도,  
도 6은 이선 전류 검출 개념도,  
도 7은 중이선 및 대이선 검출 과정을 나타낸 블록도.  
도 8은 소이선 검출 과정을 나타낸 블록도.

### 【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

【0048】 출원인은 이하에서 첨부도면을 참조하여 앞서 본 실시 예들의 구성을 상세하게 설명한다.

【0049】 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 공지 기능 및 구성에 대한 상세한 기술은 생략한다.

【0050】 본 발명은 차량의 전류를 측정하기 위한 전류측정장치(100)와; 측정된 전류를 입력받아 A/D 컨버팅하는 아날로그 입력장치(300)와; A/D 컨버팅된 값을 받아 이선의 종류와 시간을 분석하는 이선전류 파형 분석장치(500)와; 차량의 정확한 위치를 제공하기 위한 위치정보 수집장치(700)와; 분석한 이선정보와 위치

정보를 표시하기 위한 디스플레이장치(900)로 구성된다.

【0051】 상기 이션전류 측정장치에서 전류측정장치(100)는 전기 차량에 흐르는 전류를 고속으로 샘플링해서 순시전류값을 측정한다.

【0052】 이를 아날로그 입력장치(300)를 통해 이션전류 파형 분석장치(500)에서 받아 저역통과필터(LPF) 처리 및 일련의 과정을 통해 중이선 및 대이선을 검출하고, 고역통과필터(HPF) 처리 및 일련의 과정을 통해 소이선을 검출한다

【0053】 상기 위치정보 수집장치(700)에서는 차량의 엔코더를 통해 이션이 발생한 위치를 측정하고, GPS 정보를 이용한 시설물 데이터베이스 구축을 통해 위치를 보정하여, 더욱 정확한 이션 발생 위치를 검출하게 된다.

【0054】 디스플레이장치(900)는 이션전류 파형 분석장치(500)에서 분석한 이션 정보와 위치정보를 출력한다.

【0055】 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 작용상태를 살펴보면 다음과 같다.

【0056】 각 단계의 설명

【0057】 전류파형입력 단계(S100): 전기차량에 흐르는 전류의 파형(순시값)을 입력받는다.

【0058】 LPF 처리단계(S200): 입력된 전류 파형에 섞여있는 고주파 노이즈 성분 및 소이선 파형을 제거한다.

【0059】 제로크로싱 검출 단계(S300): 이선이 아니며 전류값이 0이 되는 지점을 검출하여 이선에서 제외시킨다.

【0060】 절대치 변환단계(S400): 전류 파형을 절대값으로 변환 후 이선이 발생해서 전류값이 0이 되는 지점을 검출한다.

【0061】 HPF 처리단계(S500): 입력된 전류 파형에 섞여있는 중이선 및 대이선 파형을 제거한다.

【0062】 검출결과 출력단계(S600): 소이선 검출결과 및 중이선, 대이선 검출결과를 출력한다

【0063】 중이선 및 대이선 위치검출은

【0064】 전류파형입력단계(S100): 전기차량에 흐르는 전류의 파형(순시값)을 입력받는다.

【0065】 LPF 처리단계(S200): 입력된 전류 파형에 섞여있는 고주파 노이즈 성분을 제거한다.

【0066】 제로크로싱 검출단계(S300): 이선이 아니며 전류값이 0이 되는 지점을 검출하여 이선에서 제외시킨다.

【0067】 절대치 변환단계(S400): 전류 파형을 절대값으로 변환 후 이선이 발생해서 전류값이 0이 되는 지점을 검출한다.

【0068】 검출결과 출력단계(S600): 소이선 검출결과 및 중이선, 대이선 검출결과를 출력한다.

【0069】 소이선 위치검출은

【0070】 전류파형입력단계(S100): 전기차량에 흐르는 전류의 파형(순시값)을 입력받는다.

【0071】 HPF 처리단계(S500): 입력된 전류 파형에 섞여있는 중이선 및 대이선 파형을 제거한다.

【0072】 절대치 변환단계(S400): 전류 파형을 절대값으로 변환 후 이선이 발생해서 전류값이 0이 되는 지점을 검출한다.

【0073】 검출결과 출력단계(S600): 소이선 검출결과 및 중이선, 대이선 검출결과를 출력한다.

【0074】 이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시 예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경할 수 있다는 것이 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

【부호의 설명】

【0075】 100 : 전류측정장치

300 : 아날로그 입력장치

500 : 이선전류 파형 분석장치

700 : 위치정보 수집장치

900 : 디스플레이장치

## 【특허청구범위】

### 【청구항 1】

차량의 전류를 측정하기 위한 전류측정장치(100)와;

측정된 전류를 입력받아 A/D 컨버팅하는 아날로그 입력장치(300)와;

A/D 컨버팅 된 값을 받아 이선의 종류와 시간을 분석하는 이선전류 파형 분석장치(500)와; 차량의 정확한 위치를 제공하기 위한 위치정보 수집장치(700)와;

이선전류 파형 분석장치(500)에서 분석한 이선 정보와 위치정보를 출력하는 디스플레이장치(900)를 포함하는 것을 특징으로 하는 소이선, 중이선, 대이선 구분 및 위치검출이 가능한 이선 전류 측정시스템 .

### 【청구항 2】

차량의 전류를 측정하기 위한 전류측정장치(100)와;

측정된 전류를 입력받아 A/D 컨버팅하는 아날로그 입력장치(300)와;

A/D 컨버팅 된 값을 받아 이선의 종류와 시간을 분석하는 이선전류 파형 분석장치(500)와; 차량의 정확한 위치를 제공하기 위한 위치정보 수집장치(700)와;

이선전류 파형 분석장치(500)에서 분석한 이선 정보와 위치정보를 출력하는 디스플레이장치(900)로 이루어져

이선전류 측정장치에서 전류측정장치(100)는 전기 차량에 흐르는 전류를 고속으로 샘플링해서 RMS값이 아닌 순시전류값을 측정한 후,

이를 아날로그 입력장치(300)를 통해 이선전류 파형 분석장치(500)에서 받아  
저역통과필터(LPF) 처리 및 일련의 과정을 통해 중이선 및 대이선을 검출하고, 고  
역통과필터(HPF) 처리의 과정을 통해 소이선을 검출한 후,

위치정보 수집장치(700)에서 차량의 엔코더를 통해 이선이 발생한 위치를 측  
정하고, GPS 정보를 이용한 시설물 데이터베이스 구축을 통해 위치를 보정하여, 이  
선 발생 위치를 검측하고,

디스플레이장치(900)를 통하여 이선전류 파형 분석장치(500)에서 분석한 이  
선 정보와 위치정보를 출력하는 것을 특징으로 하는 소이선, 중이선, 대이선 구분  
및 위치검출이 가능한 이선 전류 측정시스템 .

### 【청구항 3】

전류파형입력 단계(S100);

LPF 처리 단계(S200);

제로크로싱 검출 단계(S300);

절대치 변환 단계(S400);

검출결과 출력 단계(S700)로 이루어진 중이선, 대이선 위치검출단계와

전류파형입력 단계(S100);

HPF 처리 단계(S500);

절대치 변환 단계(S400);

검출결과 출력 단계(S700)로 이루어진 소이선 위치검출단계를 포함하는 것을  
특징으로 하는 소이선,중이선, 대이선 구분 및 위치검출 측정방법.

## 【요약서】

### 【요약】

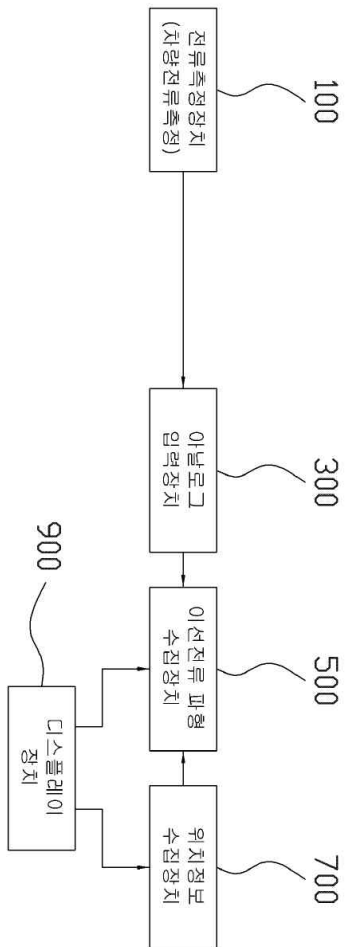
본 발명은 소이선, 중이선, 대이선 구분 및 위치검출이 가능한 이선 전류 측정시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 차량의 전류를 측정하기 위한 전류 측정장치와 측정된 전류를 입력받아 A/D 컨버팅하는 아날로그 입력장치, A/D 컨버팅 된 값을 받아 이선의 종류와 시간을 분석하는 이선전류 파형 분석장치, 차량의 정확한 위치를 제공하기 위한 위치정보 수집장치, 분석한 이선정보와 위치정보를 표시하기 위한 디스플레이 장치로 구성되어 이선 현상을 측정하고 분석할 수 있으므로, 판토티그래프 및 전차선의 유지 보수작업을 할 수 있도록 한 소이선, 중이선, 대이선 구분 및 위치검출이 가능한 이선 전류 측정시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

### 【대표도】

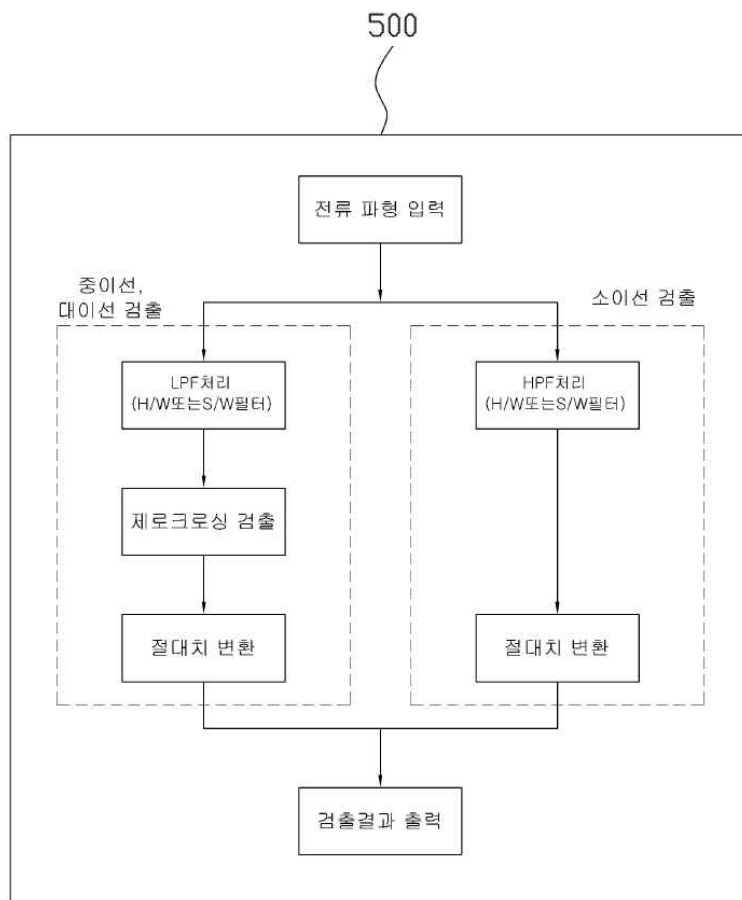
도 1

【도면】

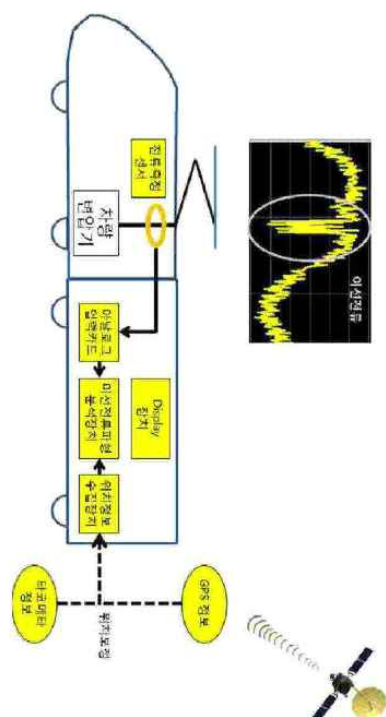
【도 1】

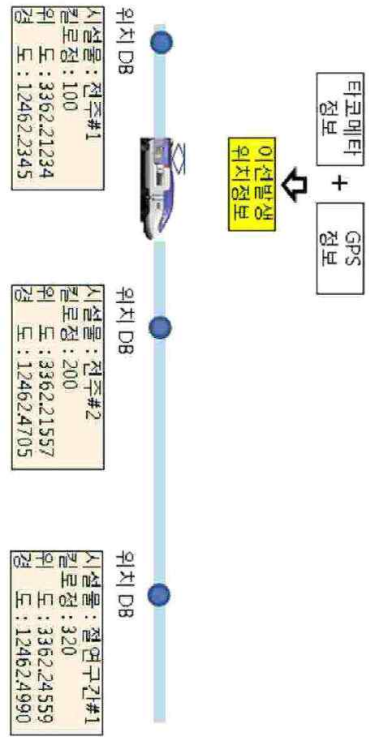


【도 2】



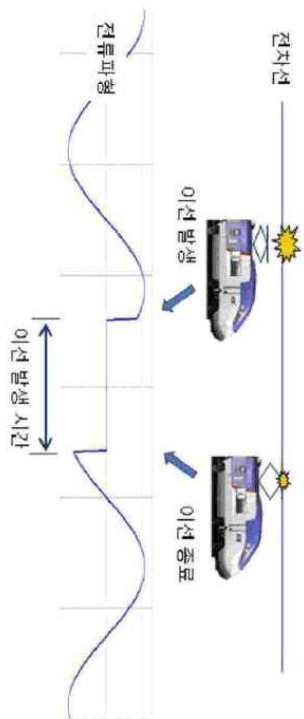
【도 3】



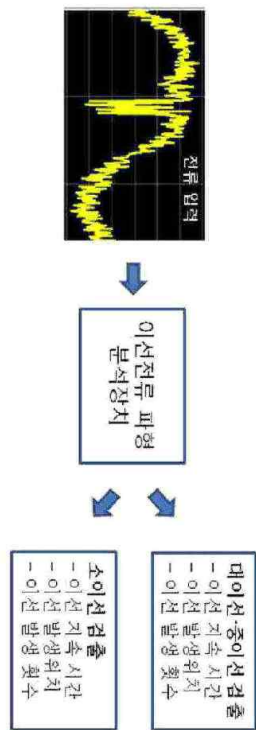


【표 4】

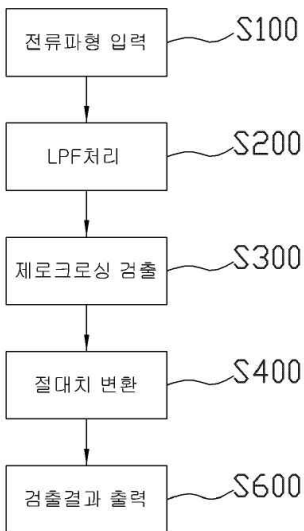
【도 5】



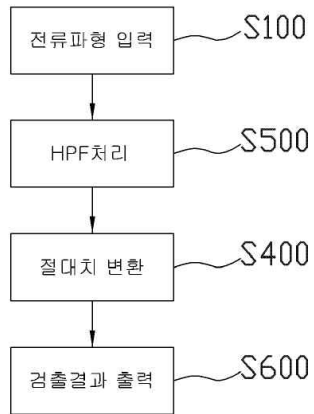
【도 6】



【도 7】



【도 8】



[별첨4-2] 특허출원증빙2

## 관 인 생 학 출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2013.03.11  
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출 원 번 호 10-2013-0025615 (접수번호 1-1-2013-0209019-91)  
출 원 인 명 칭 두아이시스(주)(1-2004-024698-0)  
대 리 인 성 명 특허법인 조글(9-2011-100021-3)  
발 명 자 성 명 박종국 김정연 오인수  
발 명 의 명 칭 이중 권속 경로를 갖는 아크 축정 장치 및 그 방법

## 특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원과 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 통보된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0000(거관번호) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경 (경정), 경정신청서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
※ 특허포([patent.go.kr](http://patent.go.kr)) 접속 → 원문서비스다운로드 → 특허인사청구서 발자 제로 서비스
4. 특허(실용신안등록)출원은 영세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 통복결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 영세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허-실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허안내-PCT/마드리드  
※ 우선권 인정기간 : 특허-실용신안은 12개월, 상표-디자인은 6개월 이내  
※ 미국특허상표청의 선출권을 기초로 우선나중에 우선권주장출원 시, 선출원이 미국특허청이 아닌, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적고충허가서(PTO/550a/99)]를 제출하거나 우선나중에 우선권 주장서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
※ 특허출원 10-2013-00000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 통보된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

## 【서지사항】

|            |                                                                 |
|------------|-----------------------------------------------------------------|
| 【서류명】      | 특허출원서                                                           |
| 【출원구분】     | 특허출원                                                            |
| 【출원인】      |                                                                 |
| 【명칭】       | 투아이시스(주)                                                        |
| 【출원인코드】    | 1-2004-024698-0                                                 |
| 【대리인】      |                                                                 |
| 【명칭】       | 특허법인 조율                                                         |
| 【대리인코드】    | 9-2011-100021-3                                                 |
| 【지정된변리사】   | 석기철                                                             |
| 【포괄위임등록번호】 | 2011-058219-6                                                   |
| 【발명의 국문명칭】 | 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치 및 그 방법                                    |
| 【발명의 영문명칭】 | Arc measurement device with dual detection path and that method |
| 【발명자】      |                                                                 |
| 【성명】       | 박종국                                                             |
| 【성명의 영문표기】 | PARK, Jong Gook                                                 |
| 【주민등록번호】   | 580829-1XXXXXX                                                  |
| 【우편번호】     | 431-828                                                         |
| 【주소】       | 경기도 안양시 동안구 평촌동 14-3 초원아파트 307동 1204호                           |
| 【국적】       | KR                                                              |
| 【발명자】      |                                                                 |

2013-03-11

【성명】 김정은

【성명의 영문표기】 Kim Jung Youn

【주민등록번호】 741005-1XXXXXX

【우편번호】 426-825

【주소】 경기도 안산시 상록구 사2동 1482-4

【국적】 KR

【발명자】

【성명】 오민수

【성명의 영문표기】 Oh MinSoo

【주민등록번호】 800703-1XXXXXX

【우편번호】 442-872

【주소】 경기도 수원시 팔달구 화서2동 꽃외버들마을진흥아파트  
141-149

【국적】 KR

【심사청구】 청구

【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 특허법인 조율 (서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】 0 면 38,000 원

【가산출원료】 18 면 0 원

【우선권주장료】 0 건 0 원

21-2

2013-03-11

|           |            |              |
|-----------|------------|--------------|
| 【심사청구료】   | 4    항     | 290,000    원 |
| 【합계】      |            | 328,000    원 |
| 【감면사유】    | 소기업(70%감면) |              |
| 【감면후 수수료】 |            | 98,400    원  |

**【명세서】**

**【발명의 명칭】**

이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치 및 그 방법{Arc measurement device with dual detection path and that method}

**【기술분야】**

【0001】 본 발명은 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치 및 그 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 전기철도의 판토품레프와 전차선 사이의 이션시 발생하는 아크의 광도를 검출한 후 태양광을 제거하여 이션이 발생하였는가를 정확하게 판독하기 위한 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

**【발명의 배경이 되는 기술】**

【0002】 전기철도는 판토품레프와 전차선이 연결되어 전원을 인가받아 운행하게 된다.

【0003】 운행 중 판토품레프와 전차선 사이에 이션이 발생하는 경우가 있는데 이때 판토품레프와 전차선 사이에 아크가 발생하고 이를 감지하여 이션 발생 유무를 판독한다.

【0004】 종래에는 도시된 도면 도 1에서와 같이 아크(1)가 광학부(4)의 입사창(2)으로 들어온 후, 220-225nm의 자외선을 투과시키는 밴드패스 필터(2)를 거쳐서, 투과된 자외선이 자외선 형광창(3)에서 가시광선으로 변환된다.

【0005】 변환된 가시광선은 광섬유케이블(5)을 통해서 전달되고, 집광렌즈(6)를 거쳐서 광증배관(7)에 입사된다.

【0006】 광증배관에서는 광자(Photon)에 의한 전류변환이 발생한다.

【0007】 이 전류 신호는 신호선(9)을 통해서 고속 마이크로컨트롤러(10)에 입력된다.

【0008】 고속마이크로컨트롤러(10)는 광증배관의 안정되게 제어하며 동시에 안정된 신호를 검출하고 A/D변환기를 통해서 디지털 값으로 변환한 다음, 디지털통신선(11)을 통해서 측정값을 컴퓨터(12)에 전송한다.

【0009】 그러나 상기 구조에서는 자외선 밴드패스필터(2)에서 매우 미세하게 누출되는 태양광을 제거할 수 있는 어떠한 구조도 포함되어 있지 않다.

【0010】 이에 따라 이선이 발생하지 않은 경우에도 태양광에 의해 이선이 발생한 것으로 오인 판독하는 문제점이 발생하고 있다.

#### 【발명의 내용】

#### 【해결하고자 하는 과제】

【0011】 본 발명은 상기와 같은 종래의 문제점을 해소하고자 발명된 것으로 다음과 같은 목적을 갖는다.

【0012】 본 발명은 전기철도의 판토타이프와 전차선 사이의 이선시 발생하는 아크의 광도를 검출한 후 태양광을 제거하여 이선이 발생하였는가를 정확하게 판독

하기 위한 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치 및 그 방법을 제공함에 그 목적이 있다.

**【과제의 해결 수단】**

【0013】 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은 다음과 같은 구성을 가진 실시 예에 의하여 구현된다.

【0014】 본 발명 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치는

【0015】 태양광의 영향을 완벽하게 제거하여 정확한 이선 발생 유무를 판독하기 위한 것, 이선 발생시 태양광 및 아크를 흡수 및 분할하는 광원흡수 및 분할부(100)와;

【0016】 광원흡수 및 분할부(100)에서 분할된 광을 전류로 변환하는 전류변환부(300)로 전달하는 광섬유 케이블(200)과;

【0017】 광섬유 케이블(200)을 통하여 전달된 광을 집광하는 집광렌즈(310)와, 광을 전류로 변환하는 광증배관(320)으로 이루어진 전류 변환부(300)와;

【0018】 전류 변환부(300)에서 변환된 전류를 고속마이크로 컨트롤러(500)로 전달하는 신호선(400)과;

【0019】 신호선(400)을 통하여 전달된 전류를 인가받으며, 광증배관을 안정되게 제어하며 동시에 안정된 신호를 검출하고 A/D변환기를 통해서 디지털 값으로 변환하는 고속마이크로 컨트롤러(500)와;

【0020】고속마이크로 컨트롤러(500)에서 디지털 값으로 변환된 측정값을 컴퓨터(700)에 전송하는 디지털 통신선(600)과;

【0021】디지털 통신선(600)에서 측정값을 통하여 이선 발생 유무를 판독하는 컴퓨터(700)를 포함하는 것을 특징으로 한다.

【0022】그리고 본 발명 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치의

【0023】광원흡수 및 분할부(100)는 이선 발생시 태양광 및 아크가 입사되는 입사창(110)과;

【0024】입사창(110)을 통하여 입사된 입사광을 분할하는 반사경(120)과;

【0025】반사경(120)에서 분할 된 분할 광을 인가받은 후 다시 반사하여 두 가지 광경로로 반사하는 평면의 자외선 반사경(130)과;

【0026】자외선 반사경(130)에서 반사된 반사광 중 첫 번째 경로를 통하여 반사된 광을 인가받는 자외선 밴드패스필터(140)와, 자외선 형광창(150)과;

【0027】자외선 반사경(130)에서 반사된 반사광 중 두 번째 경로를 통하여 반사된 광을 인가받는 특수 2중 필터(160)와 자외선 형광창(170)을 포함하는 것을 특징으로 한다.

【0028】그리고 본 발명 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치의

【0029】특수 2중 필터(160)는 220-225nm를 투과시키는 자외선 밴드패스필터(161)와;

【0030】310nm 이상을 투과시키는 태양광 투과필터(162)로 이루어진 것을 특징으로 한다.

【0031】그리고 본 발명 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정방법은

【0032】외부에서 아크나 태양광이 입사창(110)을 통해서 광원흡수 및 분할부(100)로 입사되면, 반사경(120)에 의해서 두 가지 광경로(Optical path)로 광량을 분할하는 단계(S100);

【0033】분할된 광은 평면의 자외선 반사경(130)에서 반사되어 두 가지 광경로를 통해서 전류 변환부(300)로 전달되되,

【0034】첫 번째 경로는 자외선 밴드패스필터(140)와 자외선 형광창(150)을 통해서 전달되고, 두 번째 경로는 특수 2중 필터(160)와 자외선 형광창(170)를 통해서 전달하는 단계(S200);

【0035】전류 변환부(300)에서 광을 전류로 변환하는 단계(S300);

【0036】고속마이크로 컨트롤러(500)가 A/D변환기를 통해서 전류를 디지털 값으로 변환하는 단계(S400);

【0037】컴퓨터(700)가 측정값을 통하여 이션 발생 유무를 관측하는 단계(S500)를 포함하는 것을 특징으로 한다.

**【발명의 효과】**

【0038】 본 발명은 앞서 본 구성에 의하여 다음과 같은 효과를 갖는다.

【0039】 본 발명 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치 및 그 방법은 전기 철도의 판토타이프와 전차선 사이의 이션시 발생하는 아크의 광도를 검출한 후 태양광을 제거하여 이션이 발생하였는가를 정확하게 판독할 수 있는 효과를 갖는다.

【0040】 그리고 이션 발생 유무를 정확히 판독함으로써 오인판독에 의해 전기 철도의 운행중단을 방지하여 원활한 운행을 할 수 있도록 하는 효과를 갖는다.

**【도면의 간단한 설명】**

【0041】 도 1은 종래의 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치를 나타낸 도면,

도 2는 본 발명에 따른 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치를 나타낸 도면.

도 3은 본 발명에 따른 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정과정을 나타낸 도면.

**【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】**

【0042】 출원인은 이하에서 첨부도면을 참조하여 앞서 본 실시 예들의 구성을 상세하게 설명한다.

【0043】 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 공지 기능 및 구성에 대한 상세한 기술은 생략한다.

【0044】 본 발명은 태양광의 영향을 완벽하게 제거하여 정확한 이선 발생 유무를 판독하기 위한 것, 이선 발생시 태양광 및 아크가 입사되는 입사창(110)과, 입사창(110)을 통하여 입사된 입사광을 분할하는 반사경(120)과, 반사경(120)에서 분할된 분할 광을 인가받은 후 다시 반사하여 두 가지 광경로로 반사하는 평면의 자외선 반사경(130)과, 자외선 반사경(130)에서 반사된 반사광 중 첫 번째 경로를 통하여 반사된 광을 인가받는 자외선 밴드패스필터(140)와, 자외선 형광창(150)과, 자외선 반사경(130)에서 반사된 반사광 중 두 번째 경로를 통하여 반사된 광을 인가받는 특수 2중 필터(160)와 자외선 형광창(170)으로 이루어진 광원흡수 및 분할부(100)와;

【0045】 광원흡수 및 분할부(100)에서 분할된 광을 전류로 변환하는 전류변환부(300)로 전달하는 광섬유 케이블(200)과;

【0046】 광섬유 케이블(200)을 통하여 전달된 광을 집광하는 집광렌즈(310)와, 광을 전류로 변환하는 광증배관(320)으로 이루어진 전류 변환부(300)와;

【0047】 전류 변환부(300)에서 변환된 전류를 고속마이크로 컨트롤러(500)로 전달하는 신호선(400)과;

【0048】 신호선(400)을 통하여 전달된 전류를 인가받으며, 광증배관을 안정되게 제어하며 동시에 안정된 신호를 검출하고 A/D변환기를 통해서 디지털 값으로

변환하는 고속마이크로 컨트롤러(500)와;

【0049】 고속마이크로 컨트롤러(500)에서 디지털 값으로 변환된 측정값을 컴퓨터(700)에 전송하는 디지털 통신선(600)과;

【0050】 디지털 통신선(600)에서 측정값을 통하여 이선 발생 유무를 관측하는 컴퓨터(700)로 구성된 것이다.

【0051】 이때 특수 2중 필터(160)는 220-225nm를 투과시키는 자외선 밴드패스필터(161)와 310nm 이상을 투과시키는 태양광 투과필터(162)가 하나로 합쳐진 필터이다.

【0052】 전차선 이선 발생 관측과정을 살펴보면 다음과 같다.

【0053】 외부에서 아크나 태양광이 입사창(110)을 통해서 광원흡수 및 분할부(100)로 입사되면, 반사경(120)에 의해서 두 가지 광경로(Optical path)로 광량이 분할된다.

【0054】 분할된 광은 평면의 자외선 반사경(130)에서 반사되어 두 가지 광경로를 통해서 전류 변환부(300)로 전달된다.

【0055】 첫 번째 경로는 자외선 밴드패스필터(140)와 자외선 형광창(150)을 통해서 전달되고, 두 번째 경로는 특수 2중 필터(160)와 자외선 형광창(170)를 통해서 전달된다.

【0056】 첫 번째 경로에서 자외선 밴드패스필터(140)를 투과한 광에는, 아크로부터 발생한 220-225nm의 자외선 광량(La)과 220-225nm 범위를 벗어나는 300nm

이상의 미세한 태양광의 일부(Ls)가 함께 포함되어 있다.

【0057】 자외선 밴드패스필터(140)가 완벽하게 220-225nm 범위의 파장만을 투과시키지 못하기 때문이다.

【0058】 따라서 자외선 형광창(150)에서는, 아크로부터의 자외선 광량(La)과 태양광으로부터의 미세한 자외선 광량(Ls)에 의한 형광(Lf1)이 함께 발생한다.

【0059】 즉, 이 경로를 통해서는 태양으로부터 오는 UV-C 영역의 자외선(Ls)을 완벽하게 제거하지 못한다.

【0060】 두 번째 경로에서 특수 2중 필터(160)에서는, 특수 2중 필터를 구성하는 자외선 밴드패스필터(161)를 통과할 때는 아크로부터의 자외선 광량(La)과 태양광으로부터의 미세 자외선 광량(Ls)이 함께 투과된다.

【0061】 다음에 특수 2중 필터를 구성하는 태양광 투과필터(162)를 통과하면 아크로부터의 자외선 광량(La)이 제거되고 태양광으로부터의 미세 자외선 광량(Ls)이 투과된다.

【0062】 투과된 자외선 광량(Ls)는 자외선 형광창(21)에 도달하면 가시광선(Lf2)으로 변환된다.

【0063】 결과적으로, 첫 번째 경로에서 발생한 형광량(Lf1)은 아크와 태양광의 총합에 의한 형광량이고, 두 번째 경로에서 발생한 형광량(Lf2)는 태양광에 의한 형광량이다. 따라서 순수하게 아크로부터의 자외선에 의한 형광량(Lf)은, 첫 번째 경로의 형광량(Lf1)으로부터 두 번째 경로의 형광량(Lf2)을 뺀 광량(Lf=Lf1-

Lf2)이다.

【0064】 이후 전류 변환부(300)에서 광을 전류로 변환한다.

【0065】 이후 고속마이크로 컨트롤러(500)가 A/D변환기를 통해서 전류를 디지털 값으로 변환한다.

【0066】 이후 컴퓨터(700)가 측정값을 통하여 이선 발생 유무를 판독한다.

【0067】 이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시 예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경할 수 있다는 것이 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

#### 【부호의 설명】

|                         |               |
|-------------------------|---------------|
| 【0068】 100 : 광원흡수 및 분할부 | 200 : 광섬유 케이블 |
| 300 : 전류 변환부            | 400 : 신호선     |
| 500 : 고속마이크로 컨트롤러       | 600 : 디지털 통신선 |
| 700 : 컴퓨터               |               |

## 【특허청구범위】

## 【청구항 1】

태양광의 영향을 완벽하게 제거하여 정확한 이선 발생 유무를 판독하기 위한 것, 이선 발생시 태양광 및 아크를 흡수 및 분할하는 광원흡수 및 분할부(100)와;

광원흡수 및 분할부(100)에서 분할된 광을 전류로 변환하는 전류변환부(300)로 전달하는 광섬유 케이블(200)과;

광섬유 케이블(200)을 통하여 전달된 광을 집광하는 집광렌즈(310)와, 광을 전류로 변환하는 광증배관(320)으로 이루어진 전류 변환부(300)와;

전류 변환부(300)에서 변환된 전류를 고속마이크로 컨트롤러(500)로 전달하는 신호선(400)과;

신호선(400)을 통하여 전달된 전류를 인가받으며, 광증배관을 안정되게 제어하며 동시에 안정된 신호를 검출하고 A/D변환기를 통해서 디지털 값으로 변환하는 고속마이크로 컨트롤러(500)와;

고속마이크로 컨트롤러(500)에서 디지털 값으로 변환된 측정값을 컴퓨터(700)에 전송하는 디지털 통신선(600)과;

디지털 통신선(600)에서 측정값을 통하여 이선 발생 유무를 판독하는 컴퓨터(700)를 포함하는 것을 특징으로 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치.

## 【청구항 2】

제1항에 있어서,

광원흡수 및 분할부(100)는 이선 발생시 태양광 및 아크가 입사되는 입사창(110)과;

입사창(110)을 통하여 입사된 입사광을 분할하는 반사경(120)과;

반사경(120)에서 분할된 분할광을 인가받은 후 다시 반사하여 두 가지 광경로로 반사하는 평면의 자외선 반사경(130)과;

자외선 반사경(130)에서 반사된 반사광 중 첫 번째 경로를 통하여 반사된 광을 인가받는 자외선 밴드패스필터(140)와, 자외선 형광창(150)과;

자외선 반사경(130)에서 반사된 반사광 중 두 번째 경로를 통하여 반사된 광을 인가받는 특수 2중 필터(160)와 자외선 형광창(170)을 포함하는 것을 특징으로 하는 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치.

## 【청구항 3】

제2항에 있어서,

특수 2중 필터(160)는 220-225nm를 투과시키는 자외선 밴드패스필터(161)와;

310nm 이상을 투과시키는 태양광 투과필터(162)로 이루어진 것을 특징으로 하는 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치.

**【청구항 4】**

외부에서 아크나 태양광이 입사창(110)을 통해서 광원흡수 및 분할부(100)로 입사되면, 반사경(120)에 의해서 두 가지 광경로(Optical path)로 광량을 분할하는 단계(S100);

분할된 광은 평면의 자외선 반사경(130)에서 반사되어 두 가지 광경로를 통해서 전류 변환부(300)로 전달되며,

첫 번째 경로는 자외선 밴드패스필터(140)와 자외선 형광창(150)을 통해서 전달되고, 두 번째 경로는 특수 2중 필터(160)와 자외선 형광창(170)를 통해서 전달하는 단계(S200);

전류 변환부(300)에서 광을 전류로 변환하는 단계(S300);

고속마이크로 컨트롤러(500)가 A/D변환기를 통해서 전류를 디지털 값으로 변환하는 단계(S400);

컴퓨터(700)가 측정값을 통하여 이선 발생 유무를 관독하는 단계(S500)를 포함하는 것을 특징으로 하는 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치 및 그 방법.

# 【요약서】

## 【요약】

본 발명은 전기철도의 판토타이프와 전차선 사이의 이선시 발생하는 아크의 광도를 검출한 후 태양광을 제거하여 이선이 발생하였는가를 정확하게 판독하기 위한 이중 검출 경로를 갖는 아크 측정 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

상기에 따른 본 발명 태양광의 영향을 완벽하게 제거하여 정확한 이선 발생 유무를 판독하기 위한 것, 이선 발생시 태양광 및 아크를 흡수 및 분할하는 광원흡수 및 분할부(100)와;

광원흡수 및 분할부(100)에서 분할된 광을 전류로 변환하는 전류변환부(300)로 전달하는 광섬유 케이블(200)과;

광섬유 케이블(200)을 통하여 전달된 광을 집광하는 집광렌즈(310)와, 광을 전류로 변환하는 광증배관(320)으로 이루어진 전류 변환부(300)와;

전류 변환부(300)에서 변환된 전류를 고속마이크로 컨트롤러(500)로 전달하는 신호선(400)과;

신호선(400)을 통하여 전달된 전류를 인가받으며, 광증배관을 안정되게 제어하며 동시에 안정된 신호를 검출하고 A/D변환기를 통해서 디지털 값으로 변환하는 고속마이크로 컨트롤러(500)와;

고속마이크로 컨트롤러(500)에서 디지털 값으로 변환된 측정값을 컴퓨터(700)에 전송하는 디지털 통신선(600)과;

2013-03-11

디지털 통신선(600)에서 측정값을 통하여 이선 발생 유무를 판독하는 컴퓨터  
(700)를 포함하는 것을 특징으로 한다.

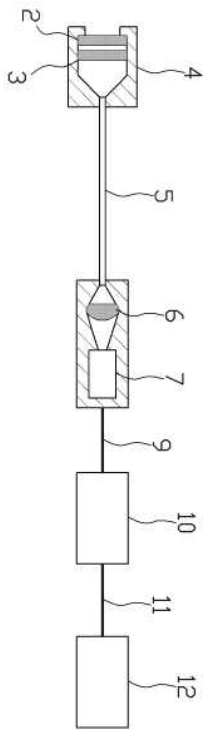
【대표도】

도 2

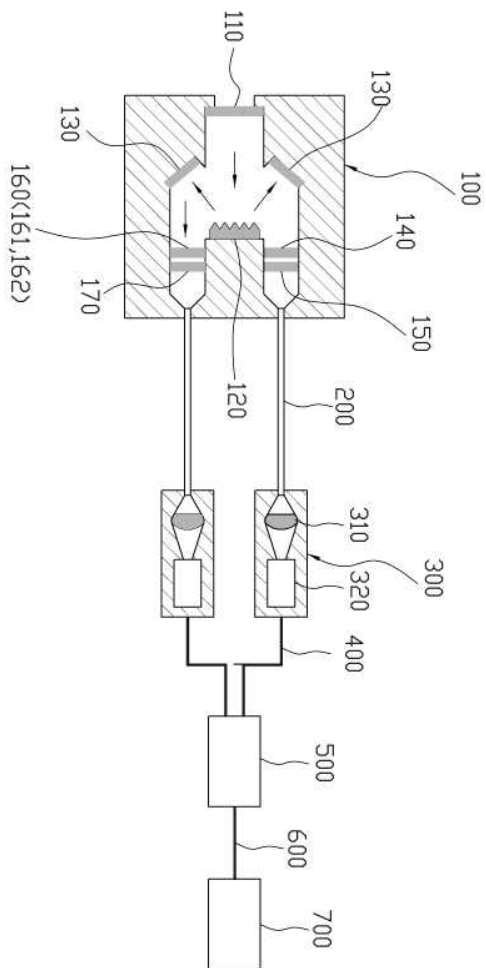
21-18

【도면】

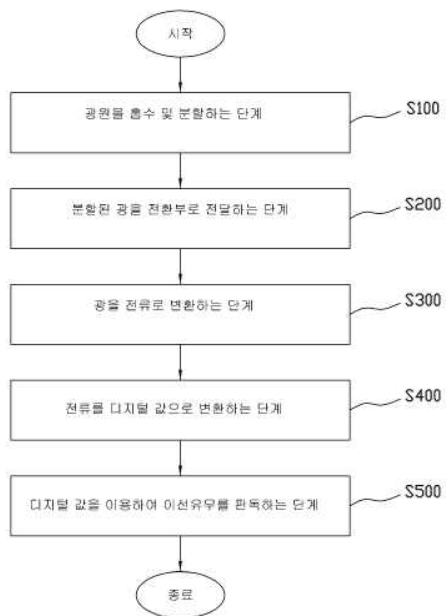
【도 1】



【F 2】



【도 3】



관 인 생 략  
출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2014.03.28  
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출 원 번 호 10-2014-0036451 (접수번호 1-1-2014-0298988-14)  
출 원 인 명 칭 투아이스시스(주)(1-2004-024698-0)  
대 리 인 성 명 특허법인 조율(9-2011-100021-3)  
발 명 자 성 명 박종국 김형근 오민수  
발 명 의 명 칭 아크발생 검출시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드>  
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

## 【서지사항】

|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| 【서류명】      | 특허출원서                                 |
| 【출원구분】     | 특허출원                                  |
| 【출원인】      |                                       |
| 【명칭】       | 투아이스스(주)                              |
| 【출원인코드】    | 1-2004-024698-0                       |
| 【대리인】      |                                       |
| 【명칭】       | 특허법인 조율                               |
| 【대리인코드】    | 9-2011-100021-3                       |
| 【지정된변리사】   | 석기철                                   |
| 【포괄위임등록번호】 | 2011-058219-6                         |
| 【발명의 국문명칭】 | 아크발생 검출시스템                            |
| 【발명의 영문명칭】 | System for detecting a Arc Strike     |
| 【발명자】      |                                       |
| 【성명】       | 박종국                                   |
| 【성명의 영문표기】 | PARK, Jong Gook                       |
| 【주민등록번호】   | *****-*****                           |
| 【우편번호】     | 431-828                               |
| 【주소】       | 경기도 안양시 동안구 평촌동 14-3 초원아파트 307동 1204호 |
| 【국적】       | KR                                    |
| 【발명자】      |                                       |

2014-03-28

【성명】 김형근  
【성명의 영문표기】 Kim Hyung Geun  
【주민등록번호】 \*\*\*\*\*-\*\*\*\*\*  
【우편번호】 435-040  
【주소】 경기도 군포시 산본동 1156-15 한라아파트 414동 1703호  
【국적】 KR  
【발명자】  
【성명】 오민수  
【성명의 영문표기】 Oh MinSoo  
【주민등록번호】 \*\*\*\*\*-\*\*\*\*\*  
【우편번호】 442-872  
【주소】 경기도 수원시 팔달구 화서2동 꽃외버들마을진흥아파트  
141-149  
【국적】 KR  
【심사청구】 청구  
【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 특허법인 조율 (서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】 0 면 46,000 원  
【가산출원료】 24 면 0 원  
【우선권주장료】 0 건 0 원

29-2

2014-03-28

|           |               |             |
|-----------|---------------|-------------|
| 【심사청구료】   | 7    항        | 451,000   원 |
| 【합계】      |               | 497,000   원 |
| 【감면사유】    | 소기업(70%감면)[1] |             |
| 【감면후 수수료】 | 149,100   원   |             |

## 【명세서】

### 【발명의 명칭】

아크발생 검출시스템{System for detecting a Arc Strike}

### 【기술분야】

【0001】 본 발명은 전자계측 기술에 관한 것으로, 열차 주행 시 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)의 발생여부를 명확히 파악하고 전차선, 팬터그래프(Pantograph) 및 철도 시설물의 파손상태를 분석하여 사후처리를 실시하는 아크발생 검출시스템에 관한 것이다.

### 【발명의 배경이 되는 기술】

【0002】 종래의 집전 시스템은 집전 측정에 주목적이 있어 종합적인 분석과 사고지점에 대한 위치 파악에 있어 많은 어려움이 있었다.

【0003】 종래의 집전 시스템은 크게 전기를 공급하는 전차선(Contact wire)과 전력을 공급받는 장치인 팬터그래프(Pantograph)로 구성되어 있다. 고속전철이 고속화됨에 따라 안정된 집전 능력을 확보하는 것이 중요하다. 고속전철의 속도 성능 향상은 팬터그래프 시스템이 고속에서도 안정된 집전 능력을 갖추어야 한다. 그런데, 고속전철의 운행 속도가 증가함에 따라 팬터그래프와 가선사이의 진동이 증가하여 팬터그래프와 가선 사이의 접촉력 변화가 커진다. 따라서 아크가 발생하여, 가선과 팬터그래프 집전판이 손상되는 문제가 있다.

【0004】 이러한 문제는 고속전철의 고속화를 어렵게 하고, 이선(異線)에 의해 아크가 발생하여 차량내의 전력변환장치 등 전장품에 악영향을 주는 문제점이 있다. 즉, 고속전철 운행시 전차선과 팬터그래프 사이가 이선되는 경우 동력 전달이 중단될 뿐 아니라, 아크를 발생한다. 아크의 높은 전류와 매우 큰 전압은 전기철도 차량 주회로, 제어회로 및 철도 시설물에 손상을 줄 수 있다.

【0005】 철도차량의 위치를 산출하는 기존 방식은 철도차량의 차륜이 일 회전될 때 발생하는 펄스수와 차륜의 원주길이를 근거로 하여 철도차량의 주행거리를 산출하고, 이렇게 산출된 철도차량의 주행거리를 이용하여 차량의 위치를 검출하고 있다.

【0006】 그런데, 기존의 방식은 장비의 손상, 레일 홈 및 미끄러짐에 의한 오차가 발생될 수 있는 단점이 있다.

【0007】 또한, 차량의 위치데이터를 바탕으로 이선 발생시 전류와 전압을 취득하여 위치데이터를 취득할 경우 고속 주행중인 열차의 위치, 속도 및 전력상태만을 판단할뿐 이선 시 발생하는 아크방전에 의한 전차선과 고정 시설물 및 고속 열차의 팬터그래프의 상호 관계를 파악할 수 없는 단점이 있다.

#### 【선행기술문헌】

#### 【특허문헌】

【0008】 (특허문헌 0001) 한국특허 등록번호 제10-1197334호

(특허문헌 0002) 한국실용신안 등록번호 제20-0444401호

(특허문헌 0003) 한국특허 등록번호 제10-0741483호

(특허문헌 0004) 4) 한국특허 등록번호 제10-1292897호

### 【발명의 내용】

#### 【해결하고자 하는 과제】

【0009】 발명이 해결하고자 하는 과제는, 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 열차 주행 시의 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)의 발생 여부를 명확히 파악하고 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물의 파손상태를 분석해 그에 따른 사후처리를 실시할 수 있는 아크발생 검출시스템을 제공하는 데에 있다.

【0010】 또한, 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)이 발생된 파손지점을 위성항법장치를 통해 찾아내고, 파손지점에서 촬영 및 취득한 영상 및 음향을 활용해 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물에 대한 파손상태를 좀 더 명확히 확인하고 그에 따른 사후조치에 적절히 대응할 수 있게 하는 아크발생 검출시스템을 제공하는 데에 있다.

#### 【과제의 해결 수단】

【0011】 본 발명의 실시예에 따른 아크발생 검출시스템은 열차 주행 시의 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)을 검출하는 광학식 이선 검출부, 전류식 이선 검출부, 영상 촬영부 및 음향 검출부를 구비한 통합분석장치; 및 상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 상기 영상 촬영부 및 상기 음향 검출부 중

복수개가 이선을 검출하거나, 상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 상기 영상 촬영부 및 상기 음향 검출부 중 어느 하나가 이선을 검출하고 상기 영상 촬영부가 이선을 확인한 경우 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물 중 어느 하나가 손상된 파손지점의 위치를 파악하는 위성항법장치를 포함한다.

【0012】 여기서, 상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 상기 영상 촬영부 및 상기 음향 검출부의 이선검출을 기연결된 유무선 통신망을 통해 전달받아 상기 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물에 대한 파손상태를 확인 및 점검하고, 상기 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물 중 파손지점과 일치하는 적어도 하나에 대한 맞춤식 수리방법 또는 맞춤식 교체방법을 수립하여 수리명령 또는 교체명령을 원격지시하는 관제서버를 포함한다.

【0013】 그리고 상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 상기 영상 촬영부 및 상기 음향 검출부의 이선검출을 수집하고 상기 통합분석장치에 전원을 공급해 주는 POE(Power over Ethernet)스위칭부를 더 포함한다.

【0014】 그리고 상기 통합분석장치는, 상기 광학식 이선 검출부는 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)에 의해 파장이 일정한 범위 내에 있는 아크가 일정 시간동안 발생하는 경우 이선검출로 규정하고, 상기 전류식 이선 검출부는 상기 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)에 의해 특정 주파수를 가지는 전압이 일정한 시간 동안 발생한 경우 이선검출로 규정하고, 상기 영상 촬영부는 상기 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)에 의해 촬영된 영상을 AD(Analog to Digital) 변환하여 영상 데이터를 생성시키고, 상기 음향 검출부는 상기 아크방전, 전기적인 접촉

및 이선(異線)에 의해 취득된 음향이 실험에 의해 미리 획득된 상기 아크방전에 의한 음색일 경우 이선검출로 규정한다.

【0015】 이때, 상기 영상 촬영부는, 상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 및 상기 음향 검출부 중 복수개가 이선을 검출한 경우에 한해 스위칭 온시키고, 상기 스위치 온시 상기 위성항법장치로부터 추출된 상기 파손지점을 순간 포착해 고속 촬영하고 상기 고속 촬영에 의해 생성된 상기 영상 데이터를 상기 관제서버에 전송한다.

【0016】 그리고 상기 영상 촬영부는, 상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 및 상기 음향 검출부 중 어느 하나가 이선을 검출한 경우 스위칭 오프한다.

【0017】 그리고 상기 위성항법장치는, 상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 상기 영상 촬영부 및 상기 음향 검출부 중 복수개가 이선을 검출한 경우 상기 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)이 발생된 상기 파손지점을 찾아 상기 영상 촬영부 또는 관제서버에 전달해 준다.

#### 【발명의 효과】

【0018】 본 발명의 의하면, 열차 주행 시의 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)의 발생여부를 명확히 파악하고 전차선, 펜터그래프 및 철도 시설물의 파손상태를 분석해 그에 따른 사후처리를 실시할 수 있게 된다.

【0019】 또한, 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)이 발생된 파손지점을 위성항법장치를 통해 찾아내고, 파손지점에서 촬영 및 취득한 영상 및 음향을 활용해 전차선, 펜터그래프 및 철도 시설물에 대한 파손상태를 좀 더 명확히 확인하고 그에 따른 사후조치에 적절히 대응할 수 있게 한다.

#### 【도면의 간단한 설명】

【0020】 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 아크발생 검출시스템을 도시한 도면이다.

도 2(a)는 본 발명의 실시예에 따른 아크발생 검출시스템의 통합분석장치 및 POE Gigabit스위칭부를 도시한 도면이다.

도 2(b)는 본 발명의 실시예에 따른 열차 주행시 발생된 아크방전을 순간 촬영한 도면이다.

도 2(c)는 본 발명의 실시예에 따른 위성항법장치에 의해 조회된 파손지점을 시각적으로 도식화한 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 통합분석장치 내 실장된 광학식 이선 검출부를 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 통합분석장치 내 실장된 전류식 이선 검출부를 도시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 통합분석장치 내 실장된 영상 촬영부를 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 아크발생 검출시스템의 구동방법을 나타낸 순서도이다.

**【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】**

【0021】 이하, 본 발명의 실시예에 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

【0022】 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 아크발생 검출시스템을 도시한 도면이다.

【0023】 도 1을 참조하면, 아크발생 검출시스템(100)은 열차 주행시 아크방전(500), 전기적인 접촉 및 이선(異線)의 발생여부를 파악하고 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물의 파손상태를 분석하여 사후처리를 실시한다. 그리고 PT(Potential Transformer), CT(Current Transformer)에서 출력되는 전압 및 전류를 측정하고 전기적인 접촉 및 이선(異線)(열차 주행시 아크 방전으로 인해 전기적인 이선이 발생하는 현상)에 의해 획득한 데이터들을 비교 분석한다. 그리고 아크방전(500), 전기적인 접촉 및 이선(異線)이 발생된 파손지점을 위성항법장치(200)를 이용해 찾아내고, 파손지점(600)에서 취득한 영상 및 음향을 활용하여 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물에 대한 파손상태를 좀 더 명확히 확인하고, 사후조치를 적절히 할 수 있도록 하는 시스템으로서 통합분석장치(100), 위성항법장치(200) 및 관제서버(300)를 포함한다.

【0024】아크방전(500)은 도 2(b)에서 도시되는 바와 같이, 가선과 팬터그래프 사이의 인덕턴스를 유지하려는 현상에 의해 발생한다. 그리고 아크방전(500)은 주로 고주파 신호이고, 이러한 고주파 신호는 PT(Potential Transformer) 및 CT(Current Transformer)의 신호를 통하여 검출 및 분석된다.

【0025】이하, 본 발명의 실시예에 따른 더욱 상세한 설명을 하기로 한다.

【0026】통합분석장치(100)는 광학식 이선 검출부(110), 전류식 이선 검출부(120), 영상 촬영부(130) 및 음향 검출부(140)를 통해 열차 주행 시 발생하는 아크방전(500), 전기적인 접촉 및 이선(異線)을 검출하고 아크방전(500), 전기적인 접촉 및 이선(異線)에 관한 영상을 촬영하여 취득한다.

【0027】통합분석장치(100)는 도 2(a)에서 도시되는 바와 같이, 내부에 광학식 이선 검출부(110), 전류식 이선 검출부(120), 영상 촬영부(130) 및 음향 검출부(140)를 포함한다.

【0028】즉, 광학식 이선 검출부(110)는 아크방전(500), 전기적인 접촉 및 이선(異線)에 의해 발생하는 파장치가 일정한 범위 내에 있는 아크가 일정한 시간 동안 검출되면 이선이 발생한 것으로 규정한다.

【0029】구체적으로, 광학식 이선 검출부(110)는 파장치가 220nm ~ 225nm 또는 323nm ~ 329nm인 아크가 검출되는 경우 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물 중 어느 하나에서 아크방전(500), 전기적인 접촉 및 이선(異線)이 발생한 것으로 판단하여 이선검출을 영상 촬영부(130)에 즉시 통보해 준다.

【0030】 광학식 이선 검출부(110)는 도 3에서 도시되는 바와 같이, UV필터(111), 광증배관(112), 아크해석부(113), 외부인터페이스(114), 배터리(115), 유무선통신용 송수신부(116) 및 저장부(117)를 포함한다.

【0031】 UV필터(111)는 아크파장 중 가장 감도가 높은 220nm~225nm 또는 323nm~329nm의 광원을 통과시키는 역할을 하며, 광증배관(112)은 광진효과를 이용하여 UV필터(111)를 통과한 파장을 가지는 광을 전기적인 펄스로 변환하는 역할을 한다.

【0032】 아크해석부(113)는 광증배관(112)에서 출력된 전기적인 신호를 디지털로 변환하여 분석한다. 외부인터페이스(114)는 외부장치와의 연결을 위해 TCP/IP 통신을 지원하고, POE Gigabit 스위칭부(400)로부터 48V의 전원을 받아 수광부와 고속 DAQ의 전원을 공급한다. 배터리(115)는 POE Gigabit스위칭부(400)로부터 48V의 전원을 받아 수광부와 고속 DAQ의 백업용으로 전원을 공급하는 역할을 한다. 유무선통신용 송수신부(116, 일예 : WIFI, ZIGBEE, 3G/4G 망을 주로 사용함)는 광증배관(112)에서 출력된 전기적인 신호를 디지털로 변환하여 분석한 데이터를 관제서버(300)로 전송한다. 저장부(117)는 광증배관(112)에서 출력된 전기적인 신호를 디지털로 변환하여 분석한 각종 데이터를 관제서버(300)로 전송하기 전 백업용으로 저장한다.

【0033】 전류식 이선 검출부(120)는 광학식 이선 검출부(110)로 검출이 어려운 소이선 중이선 및 대이선을 검출할 수 있다.

【0034】 전류식 이선 검출부(120)는 특정 주파수를 가지는 전압이 일정한 시

간 동안 발생한 경우(예컨대, 고주파 전압이 10ms 동안 발생하거나 저주파 전압이 100ms 이상동안 발생한 경우, 10ms~100ms동안 발생한 경우), 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물 중 어느 하나에서 아크방전(500), 전기적인 접촉 및 이선(異線)이 일어난 것으로 판단하여 이선검출을 영상 촬영부(130)에 즉시 통보해 준다.

【0035】 전류식 이선 검출부(120)는 도 4를 통해 알 수 있는 바와 같이, 로고스키코일(121), 적분기(122), 파형해석부(123), 외부인터페이스(124), 배터리(125), 유무선통신용 송수신부(126) 및 저장부(127)를 포함한다.

【0036】 즉, 로고스키코일(121)은 코일 속을 통과하는 케이블에 흐르는 전류(전기 차량에 흐르는 전류)의 미분 값에 비례하는 전압 값을 출력한다. 적분기(122)는 로고스키코일(121)에서 출력되는 전압 값을 적분하여 케이블에 흐르는 전류에 비례하는 전압 값을 출력한다.

【0037】 파형 해석부(123)는 적분기(122)를 통과한 전압 데이터(아날로그 파형)를 입력받아 디지털 값으로 변환하여 분석한다. 외부인터페이스(124)는 외부장치와 연결을 위해 TCP/IP통신을 지원하고, POE Gigabit스위칭부(400)로부터 48V의 전원을 받아 전류검출부와 고속DAQ의 전원을 공급한다.

【0038】 배터리(125)는 POE Gigabit스위칭부(400)로부터 48V의 전원을 받아 수광부와 고속 DAQ의 백업용으로 전원을 공급한다. 유무선통신용 송수신부(126, 일 예 : WIFI, ZIGBEE, 3G/4G 망을 주로 사용함)는 적분기(122)를 통과한 전압 데이터(아날로그 파형)를 입력받아 디지털 값으로 변환하여 분석하고 각종 데이터를 관계 서버(300)로 전송한다.

【0039】 저장부(127)는 적분기(122)에서 출력된 전압 데이터(아날로그 파형)를 입력받아 디지털 값으로 변환하고 분석하고 분석된 데이터를 관제서버(300)로 전송하기 전 백업용으로 저장한다.

【0040】 영상 촬영부(130)는 도 2(c)에서 도시되는 바와 같이, 아크방전(500), 전기적인 접촉 및 이선(異線)이 촬영된 영상을 AD(Analog to Digital) 변환하여 데이터를 생성시킨다. 영상 촬영부(130)는 이선이 촬영된 영상을 이미지 처리하여 이선을 확인한다.

【0041】 영상 촬영부(130)는 광학식 이선 검출부(110), 전류식 이선 검출부(120) 및 음향 검출부(140) 중 복수개로부터 이선검출을 통보받았을 경우 스위칭 온시키고, 스위치 온시 위성항법장치(200)로부터 추출된 파손지점(600)을 순간 포착하여 고속 촬영하고 고속 촬영에 의해 생성된 영상 데이터를 관제서버(300)에 전송한다. 영상 촬영부(130)는 광학식 이선 검출부(110), 전류식 이선 검출부(120) 및 음향 검출부(140) 중 어느 하나로부터 이선검출을 통보받았을 경우 스위칭 오프상태를 유지한다. 따라서 영상 촬영부(130)는 촬영이 필요한 순간에만 촬영을 수행함으로써 촬영에 의해 생성된 영상 데이터를 최소화할 수 있다.

【0042】 영상 촬영부(130)는 도 5에서 도시되는 같이, 광학렌즈(131), 모니터링 카메라(132), 조명(133) 및 전원장치(134)를 포함한다.

【0043】 광학렌즈(131)는 모니터링 카메라로 들어오는 빛의 양을 조절해주고 이미지 센서로 모아준다. 모니터링 카메라(132)는 아크 발생영역의 이미지 데이터

를 획득하여 관제서버(300)로 전송한다.

【0044】\*조명(133)은 모니터링 카메라(132)가 아크 발생영역의 이미지를 획득할 수 있도록 충분한 양의 빛을 공급한다. 전원장치(134)는 조명(133)에 전원을 공급한다.

【0045】음향 검출부(140)는 아크방전(500), 전기적인 접촉 및 이선(異線)으로 인해 취득된 음향이 실험에 의해 미리 획득된 아크방전(500)에 의한 음색일 경우에 한해, 아크방전(500)에 의해 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물 중 어느 하나에서 이선이 발생함을 영상 촬영부(130)에 즉시 통보해 준다. 여기서, 아크방전(500)에 의한 음색은 아크방전(500)이 일어나는 경우의 소리를 녹음하여 분석하는 것을 반복하여 얻어질 수 있다.

【0046】위성항법장치(200)는 아크방전(500), 전기적인 접촉 및 이선(異線)으로 인해 획득한 영상데이터 및 음향을 참조삼아 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물 중 어느 하나가 손상된 파손지점(600)을 적어도 하나 이상 포착한다.

【0047】위성항법장치(200)는 광학식 이선 검출부(110), 전류식 이선 검출부(120) 및 음향 검출부(140) 중 복수개로부터 이선검출을 통보받을 경우에 한해, 아크방전(500), 전기적인 접촉 및 이선(異線)이 발생된 파손지점(600)을 찾아 영상 촬영부(130) 또는 관제서버(300)에 전달해 준다. 따라서 위성항법장치(200)는 파손지점(600)을 정확하게 찾을 수 있게 된다.

【0048】관계서버(300)는 광학식 이선 검출부(110), 전류식 이선 검출부(120) 및 음향 검출부(140) 중 복수개가 검출한 이선검출을 기연결된 유무선 통신망을 통해 전달받아 전차선, 팬티그래프 및 철도 시설물에 대한 파손상태를 확인 및 점검한 후, 전차선, 팬티그래프 및 철도 시설물 중 파손지점과 일치하는 적어도 하나에 대한 맞춤식 수리방법(案) 또는 맞춤식 교체방법(案)을 수립해 수리명령 혹은 교체명령으로 원격 지시한다.

【0049】추가구성으로, POE(Power over Ethernet) 스위칭부(400)는 이선검출을 수집하고 통합분석장치(100)에 전원을 공급해 준다.

【0050】아크발생 검출시스템(1000)은 통합분석장치(100)(광학이선 검출부(110), 전류식 이선 검출부(120), 영상 촬영부(130) 및 음향 검출부(140))를 일체화, 단순화 및 소형화시켜 유무선 네트워크 및 광전력 전송 및 전원을 공급할 수 있는 POE Gigabit스위칭부(400)를 채택한다.

【0051】도 6은 본 발명의 실시예에 따른 아크발생 검출시스템의 구동방법을 나타낸 순서도이다.

【0052】도 6을 참조하면, 아크발생 검출시스템의 구동방법은 열차 주행 시의 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)에 관한 발생여부를 파악하고 전차선, 팬티그래프, 철도 시설물의 파손상태를 분석해 그에 따른 사후처리를 명확히 실시하는 구동방법이다.

【0053】 우선, 통합분석장치(100)는 광학식 이선 검출부(110), 전류식 이선 검출부(120), 영상 촬영부(130) 및 음향 검출부(140)를 통해 열차 주행 시의 아크 방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)에 의한 이선을 검출한다(S100).

【0054】 광학식 이선 검출부(110), 전류식 이선 검출부(120), 영상촬영부(130) 및 음향 검출부(140) 중 복수개가 이선을 검출 한 경우 통합분석장치(100)는 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)이 발생됨으로 규정한 후(S110), 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)에 대한 영상을 촬영하여 취득한다(S120).

【0055】 구체적으로, 통합분석장치(100)에 포함된 광학식 이선 검출부(110)는 아크방전(500), 전기적인 접촉 및 이선(異線)으로 인해 파장치가 일정한 범위 내에 있는 아크가 일정한 시간동안 발생하면 이선을 검출한 것으로 규정한다.

【0056】 전류식 이선 검출부(120)는 특정 주파수를 가지는 전압이 일정한 시간 동안 발생한 경우(예컨대, 고주파 전압이 10ms 동안 발생하거나 저주파 전압이 100ms 이상동안 발생한 경우, 10ms~100ms동안 발생한 경우) 이선을 검출한 것으로 규정한다.

【0057】 영상 촬영부(130)는 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)으로 인해 촬영된 영상을 AD(Analog to Digital) 변환해 영상 데이터를 생성시킨다.

【0058】 음향 검출부(140)는 아크방전(500), 전기적인 접촉 및 이선(異線)으로 인해 취득된 음향이 아크방전(500)에 의한 음색일 경우 이선을 검출한 것으로 규정한다.

【0059】 그리고 위성항법장치(200)는 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)에 의해 획득된 이선검출을 참조삼아 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물 중 어느 하나가 손상된 파손지점을 적어도 하나 이상 포착한다(S130).

【0060】 관제서버(300)는 광학식 이선 검출부(110), 전류식 이선 검출부(120), 영상 촬영부(130) 및 음향 검출부(140) 중 복수개의 이선검출을 기연결된 유무선 통신망을 통해 전달받아 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물에 대한 파손상태를 확인 및 점검한다(S140, S150).

【0061】 관제서버(300)는 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물 중 파손지점과 일치하는 적어도 하나에 대한 맞춤식 수리방법 또는 맞춤식 교체방법을 수립해 수리명령 또는 교체명령으로 원격 지시한다(S160, S170).

【0062】 본 발명의 실시예에 따른 아크발생 검출시스템의 구동방법에 대한 추가적인 동작은 이하 기재된 바와 같이 실시용이하다.

【0063】 아크발생 검출시스템(1000) 내 더 포함된 POE(Power over Ethernet) 스위칭부는 이선검출을 수집하고 통합분석장치(100)에 전원을 공급해 준다.

【0064】 통합분석장치(100)에 포함된 영상 촬영부(130)는 광학식 이선 검출부(110), 전류식 이선 검출부(120) 및 음향 검출부(140) 중 복수개로부터 이선검출을 통보받을 경우에 한해 스위칭 온시키고, 스위치 온 시 위성항법장치(200)로부터 차출된 파손지점을 순간 포착해 고속 촬영하고 고속 촬영에 의해 생성된 영상 데이터를 관제서버에 전송한다.

【0065】반면, 영상 촬영부(130)가 광학식 이선 검출부(110), 전류식 이선 검출부(120) 및 음향 검출부(140) 중 어느 하나로부터 이선검출을 통보받을 경우 스위칭 오프한다.

【0066】위성항법장치(200)는 광학식 이선 검출부(110), 전류식 이선 검출부(120), 영상 촬영부(130) 및 음향 검출부(140) 중 복수개로부터 이선검출을 통보받을 경우에 한해, 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)이 발생된 파손지점을 찾아 영상 촬영부 또는 관제서버에 전달해 준다.

【0067】상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

#### 【부호의 설명】

|                    |                                    |
|--------------------|------------------------------------|
| 【0068】 100: 통합분석장치 | 110: 광학식 이선 검출부                    |
| 120: 전류식 이선 검출부    | 130: 영상 촬영부                        |
| 140: 음향 검출부        | 200: 위성항법장치                        |
| 300: 관제서버          | 400: POE(Power over Ethernet) 스위칭부 |
| 1000 : 아크발생 검출시스템  |                                    |

### 【특허청구범위】

#### 【청구항 1】

열차 주행 시의 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)을 검출하는 광학식 이선 검출부, 전류식 이선 검출부, 영상 촬영부 및 음향 검출부를 구비한 통합분석 장치; 및

상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 상기 영상 촬영부 및 상기 음향 검출부 중 복수개가 이선을 검출하거나, 어느 하나가 이선을 검출하고 상기 영상 촬영부가 이선을 확인한 경우 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물 중 어느 하나가 손상된 파손지점의 위치를 파악하는 위성항법장치를 포함하는 아크발생 검출시스템.

#### 【청구항 2】

제1항에 있어서,

상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 상기 영상 촬영부 및 상기 음향 검출부의 이선검출을 기연결된 유무선 통신망을 통해 전달받아 상기 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물에 대한 파손상태를 확인 및 점검하고,

상기 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물 중 파손지점과 일치하는 적어도 하나에 대한 맞춤식 수리방법 또는 맞춤식 교체방법을 수립하여 수리명령 또는 교체명령을 원격지시하는 관제서버를 포함하는 아크발생 검출시스템.

**【청구항 3】**

제1항에 있어서,

상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 상기 영상 촬영부 및  
상기 음향 검출부의 이선검출을 수집하고 상기 통합분석장치에 전원을 공급해 주는  
POE(Power over Ethernet)스위칭부를 포함하는 아크발생 검출시스템.

**【청구항 4】**

제1항에 있어서,

상기 통합분석장치는,

상기 광학식 이선 검출부는 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)에 의해  
파장이 일정한 범위 내에 있는 아크가 일정 시간동안 발생하는 경우 이선검출로 규  
정하고,

상기 전류식 이선 검출부는 상기 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)에  
의해 특정 주파수를 가지는 전압이 일정한 시간 동안 발생한 경우 이선검출로 규정  
하고,

상기 영상 촬영부는 상기 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)에 의해 촬  
영된 영상을 AD(Analog to Digital) 변환하여 영상 데이터를 생성시키고,

상기 음향 검출부는 상기 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)에 의해 취  
득된 음향이 실험에 의해 미리 획득된 상기 아크방전에 의한 음색일 경우 이선검출  
로 규정하는 아크발생 검출시스템.

**【청구항 5】**

제4항에 있어서,

상기 영상 촬영부는,

상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 및 상기 음향 검출부 중 복수개가 이선을 검출한 경우에 한해 스위칭 온시키고, 상기 스위치 온시 상기 위성항법장치로부터 추출된 상기 파손지점을 순간 포착해 고속 촬영하고 상기 고속 촬영에 의해 생성된 상기 영상 데이터를 상기 관제서버에 전송하는 아크발생 검출 시스템.

**【청구항 6】**

제4항에 있어서,

상기 영상 촬영부는,

상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 및 상기 음향 검출부 중 어느 하나가 이선을 검출한 경우 스위칭 오프하는 아크발생 검출시스템.

**【청구항 7】**

제 1 항에 있어서,

상기 위성항법장치는,

상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 상기 영상 촬영부 및 상기 음향 검출부 중 복수개가 이선을 검출한 경우 상기 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)이 발생된 상기 파손지점을 찾아 상기 영상 촬영부 또는 관제서버에

2014-03-28

전달하는 아크발생 검출시스템.

29-23

### 【요약서】

#### 【요약】

본 발명은 전자계측 기술을 개시한다. 즉, 본 발명의 실시예에 따른 열차 주행 시의 아크방전, 전기적인 접촉 및 이선(異線)을 검출하는 광학식 이선 검출부, 전류식 이선 검출부, 영상 촬영부 및 음향 검출부를 구비한 통합분석장치; 및 상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 상기 영상 촬영부 및 상기 음향 검출부 중 복수개가 이선을 검출하거나, 상기 광학식 이선 검출부, 상기 전류식 이선 검출부, 상기 영상 촬영부 및 상기 음향 검출부 중 어느 하나가 이선을 검출하고 상기 영상 촬영부가 이선을 확인한 경우 전차선, 팬터그래프 및 철도 시설물 중 어느 하나가 손상된 파손지점의 위치를 파악하는 위성항법장치를 포함한다.

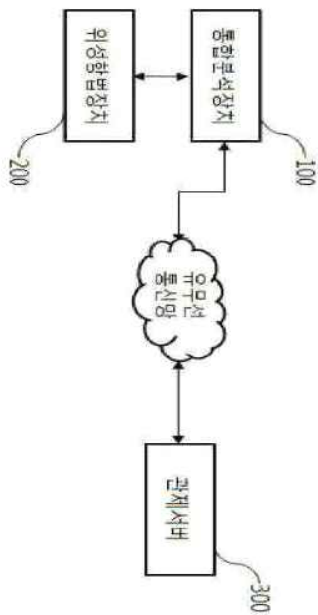
#### 【대표도】

도 1

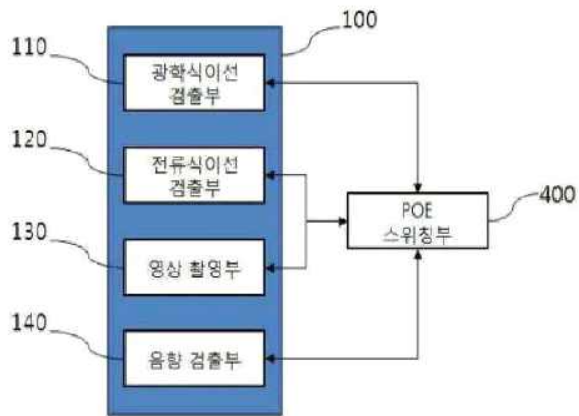
【도면】

【도 1】

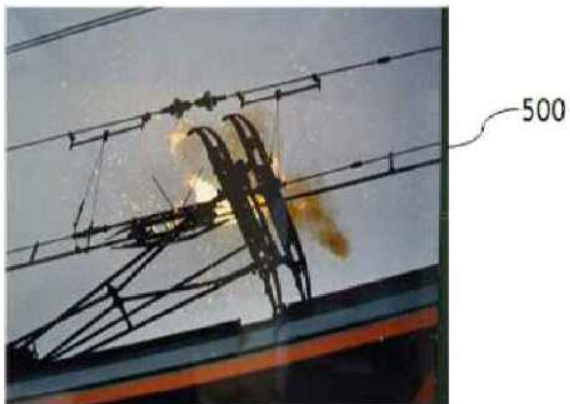
1000



【도 2a】

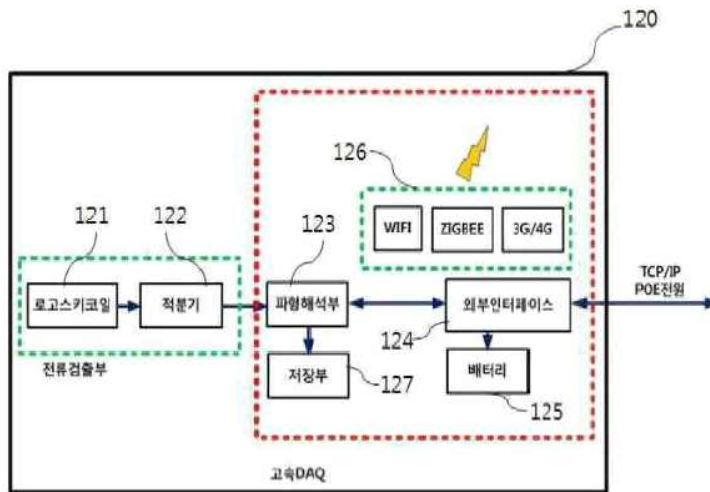


【도 2b】

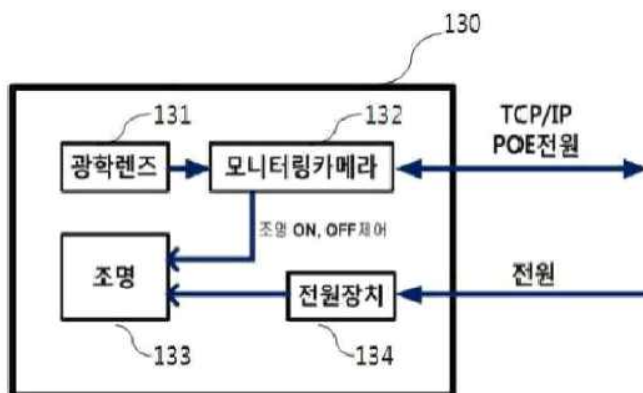




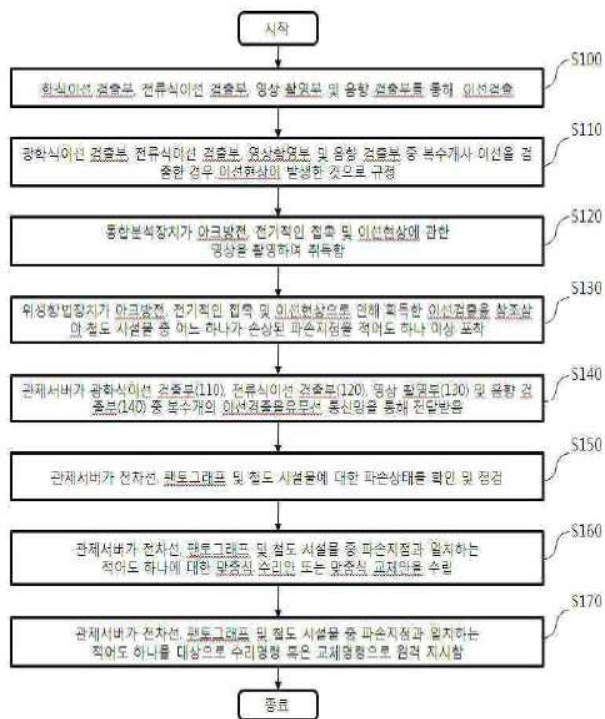
【도 4】



【도 5】



【도 6】



제 C-2013-003968 호

## 프 로 그 램 등 록 증

1. 프로그램의 제호 전류식 이선 분석프로그램  
(명칭)
2. 저작자 성명 투아이스시스(주)  
(법인명) 경기 군포시 금정동
3. 생년월일 134111-0105606  
(법인등록번호)
4. 창작연월일 2013년02월20일
5. 공표연월일 -
6. 등록사항 저작자 : 투아이스시스(주), 창작 : 2013.02.20
7. 등록연월일 2013년02월25일

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.



2013년 02월 25일  
한국저작권위원회



제 C-2014-007303 호

## 프 로 그 램 등 록 증

1. 프로그램의 제호 중합이선검출 소프트웨어  
(명칭)
2. 저작자 성명 투아이시스 주식회사  
(법인명) 경기도 군포시 고산로148번길
3. 생년월일 134111-0105606  
(법인등록번호)

4. 창작연월일 2014년02월20일
5. 공표연월일 -
6. 등록사항 저작자 : 투아이시스 주식회사 , 창작 : 2014.02.20

7. 등록연월일 2014년03월31일

한국저작권위원회  
KOREA COPYRIGHT COMMISSION

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.



2014년 04월 01일

한국저작권위원회



## 광계측기를 이용한 전차선-팬터그래프 재질별 이선아크 스펙트럼 분석

### Analysis of Contact Loss Arc Spectrum between Contact Wire and Pantograph Material using a Spectrometer

장진영\* · 정노건\*\* · 박종국\*\*\* · 구경완§ · 김재문†

(Chin-Young Chang · No-Geon Jung · Jong-Gook Park · Kyung-Wan Koo · Jae-Moon Kim)

**Abstract** - To maintain contact between catenary and pantograph copper is important in order to transmit power smoothly on Current collection system. But, Arc discharge with strong light is generated because of contact loss. Therefore, Arc discharge detection is important measurement factor judging performance of current collection system. In this paper, It is described to results of arc discharge applying UV detection technology using arc generator. And Arc discharge was detected using the most commonly used processing catenary and rigid catenary and pantograph copper of electric rolling stock for securing arc detection instrument reliability. Results of contact loss detection instrument in this paper will be used for maintenance of current collection quality and system.

**Key Words** : Contact wire, Pantograph, Contact loss, Arc discharge detection, Ultraviolet rays

#### 1. 서 론

세계 철도 선진국 중심으로 고속전철 철도차량의 주행속도는 더욱 증가하고 있으며, 국내에서도 최근 시제차량 시속 430km HEMU (High speed Electric Multiple Unit) 고속전철을 비롯하여 주행속도를 향상시키는 차량시스템 개발이 진행 중에 있다. 이와 같이 전기를 동력원으로 하는 고속전철에서 집전 시스템의 성능은 철도차량의 주행 및 안전에 많은 영향을 미친다. 주행 중인 전기 철도차량은 전기를 공급하는 전차선 (Contact wire)과 전력을 공급받는 장치인 팬터그래프 (Pantograph) 사이의 인터페이스부가 매우 중요하다. 주행 중에 전차선과 팬터그래프 사이에 지속적인 접촉을 유지하는 것이 중요하지만 철도차량의 속도 증가 및 노선 구배 등의 원인으로 인해 순간적으로 불안정한 접촉상태 또는 개방되는 현상이 간헐적으로 발생하게 되는데, 이를 이선(Contact loss)이라 한다. 이선상태에서 전차선과 팬터그래

프사이에 전류가 흐르면서 강한 빛을 동반한 아크 방전이 발생된다[1-3]. 아크 발생은 전차선과 팬터그래프 사이의 동적 관계, 팬터그래프의 품질 이상 및 노후, 전차선의 마모, 온도상승, 피로파단 등 다양한 형태의 성능저하가 나타날 수 있다.

최근 국내에서 고속선 철도차량 운행 등으로 인해 이선에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[4][5]. 아크방전 검출 (Arc discharge detection)은 집전 시스템의 성능을 판단하는 주요 측정 인자로 이선 시 발생하는 아크의 정확한 측정 기술이 그 무엇보다 매우 중요하다. 플라스틱 광섬유를 사용한 이선 측정 시스템이 처음 개발되었으나, 아크 방전 측정 시 가시광선 대역의 파장이 측정 데이터의 정확도에 영향을 미치므로 야간이나 터널 구간에서 수행되지만, 빛의 영향을 받는 구역에서 측정이 어려운 측면이 있었다. 유럽에서는 이선에 대한 객관적 규정을 위해 EN 50317 기준을 마련하여 운영하고 있으며, 일본에서도 이선아크와 관련된 측정 장비 개발 등의 연구가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 이선 시 정확한 측정이 이루어질 수 있는 장비 개발의 선행연구로 국내 전철화 구간에서 운행되고 있는 철도차량의 팬터그래프 집전판 제질과 전차선 사이의 이선 시 아크방전에 따른 스펙트럼을 고찰하였다. 이를 통해 EN 50317 기준이 국내 실정에 맞는지 여부와 일본 등에서 이루어진 이선 아크시 방전에 따른 스펙트럼 분석이 타당한가에 대한 비교 검토를 하였다. 개발하고자 하는 이선 아크 검출장치의 신뢰성 확보를 위해 국내에서 사용되고 전동차, 전기기관차 및 고속철도차량의 집전판과 전차선 (가공, 강재) 재질별 다양한 경우에 대해 이선 아크시 방전에 대한 스펙트럼 분석을 하였으며, 분석 결과는 향후 개발되는 이선 아크 검출장치 개발에 활용될 것이다.

\* School of Electronics & Electric Engineering, Chung-Ang University, Korea.

\*\* Dept. of Transportation System Engineering, Korea National University of Transportation, Korea

\*\*\* R&D Center, 2ISYS, Korea

§ Dept. of Defence Science & Technology, Hoseo University, Korea

† Corresponding Author : Dept. of Transportation System Engineering, Graduate School of Transportation, Korea National University of Transportation, Korea  
E-mail : goldmoon@ut.ac.kr

Received : October 22, 2013; Accepted : November 21, 2013

## 2. 본 문

## 2.1 이선 아크 검출 및 국제규격

이선 아크 검출장치는 전차선과 팬터그래프간 이선 중에 발생하는 아크를 검출하여 이를 전기적 신호로 바꾸어 물리적 양을 측정하는 것이다. 이선 아크는 일반적으로 강한 빛을 내면서 전차선과 팬터그래프 집진판 사이에 공극 (Air gap)을 통해 전류가 흐를 때 아크가 발생하게 된다. 순간적으로 공극이 발생하는 시간에 따라 소이선, 중이선, 대이선으로 나눌 수 있으며, 소이선 이하의 시간동안 공극 (Air Gap)이 발생하는 경우는 이선에 해당되지 않는다.

상기에 언급한 이선 아크를 검출하기 위해 다양한 장치들이 개발되지만, 전차선의 소재인 구리 (Cu) 재질에서 발생하는 아크 파장은 220 ~ 225 [nm] 또는 323 ~ 329 [nm]로 자외선 영역이므로 정확한 분석이 어려운 실정이다. 다음은 이선 아크 검출 방법 일례를 기술하였다.

## 2.1.1 이선 아크 검출장치 일례

전차선과 팬터그래프 사이에서 아크가 발생하게 되면, 그림 1과 같이 아크 검출장치는 수광부, 검출기, 기록장치가 필수적으로 수반된다. 수광부 (Acceptor)는 열차 지붕 위에 설치되어 전차선과 팬터그래프 사이에 이선이 발생하게 될 때 아크에 따른 방사되는 빛을 받아들인다. 검출부 (Detector) 및 기록장치 (Recorder)는 열차내부에 설치되어 수광부를 통해 입력되는 빛에서 아크가 발생할 때 생성되는 빛만을 필터링하여 기록장치에 저장하게 된다.

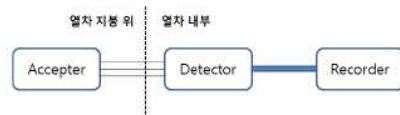


그림 1 아크 검출장치 구성의 일례

Fig. 1 A case of schematic of the contact-loss arc detection system

기존 검출장치에서 수광부 (Acceptor)는 플라스틱 광섬유 (Plastic Optical Fiber, 이하 POF), 석영 광섬유 (Silica Optical Fiber, 이하 SOF), 자외선 센서 모듈 이용, 간섭 필터 및 형광유리 이용하는 방법 등이 제시되었다[1].

플라스틱 광섬유를 이용하는 방법은 광섬유로 플라스틱을 사용하고 검출기는 Photomultiplier를 사용하는데, 수광부에서 자외선 및 가시광선을 흡수하기 때문에 감지된 파장은 가시광선 영역이 포함되어 있어 측정환경에 의한 제약이 존재한다. 실리카 광섬유를 이용한 경우는 간섭 필터를 사용하여 자외선의 파장을 감지한다. 하지만 실리카 광섬유를 이용하는 방법은 검출기로 포토다이오드를 사용하며, 323 ~ 329[nm] 파장대역을 검출한다. 그러나 장치가 고가이며 좁게 유지해야 하기 때문에 열차 지붕 위에 검출기를 설치해야 하는 불편함으로 인해 최근에 거의 사용되지 않는다.

한편 자외선 센서 모듈 이용하는 방법은 자외선 (UV) 파장을 검출하는 Photocell을 검출기에 부착하여 아크를 검출한다. 검출장치 가격은 저가이며, 검출 파장범위는 UV (20

0~279[nm]), 방사조도는 60[uw/cm²]가 된다. 마지막으로 자외선(UV)를 가시광선으로 변환하는 아크 검출방법은 수광부에서 간섭 필터를 사용하여 아크 빛으로부터 가시광선을 제거하고 통과된 자외선은 형광유리를 통해 가시광선으로 변환한다. 이후 상기에서 언급한 POF 방법인 플라스틱 광섬유를 통해 광전자 증배관을 통해 변환되며, 검출기는 Photomultiplier를 사용한다. 검출장치 가격은 보통이지만, 검출 파장범위는 UV(206~226[nm]), 방사조도는 5[uw/cm²]가 된다.

## 2.1.2 이선 아크 국제규격

전기 철도차량에 대한 증가로 이선에 대해 EN 50317(2002)에서 규정하고 있다. 아크율 (NQ)은 식 (1)과 같이 정의하고 있다[6].

$$NQ = \frac{\sum t_{arc}}{t_{total}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

여기서,  $t_{arc}$ 는 1[ms] 이상 아크 지속기간,  $t_{total}$ 은 공칭전류의 30%보다 큰 전류 측정시간

아크를 측정할 때 일반적인 샘플링 시간은 10[kHz]이며 저주파 필터(Low Pass Filter)를 사용하며 접촉력은 최소한 교류 구간용 팬터그래프는 0~500[N], 직류구간용 팬터그래프는 0~700[N] 측정범위를 갖는다.

한편 아크 측정에 따른 일반적인 사항을 살펴보면, 아크 검출기는 구리 (Cu) 재질에 의해 방사되는 빛 파장에 민감해야 한다. 구리 (Cu)와 구리 (Cu) 합금 전차선 파장 범위인 220 [nm]~225 [nm] 또는 323 [nm]~329[nm]에 적용되어야 한다. 두 개의 파장대역은 실질적인 구리 (Cu) 방사율을 갖고 있어 검출시스템은 330 [nm]이상 되는 가시광선 파장대역에서는 둔감해야 한다. 상기와 같은 조건을 만족하는 아크 검출기를 이용하기 위해서는 아래와 같은 조건을 가져야 한다.

- (1) 높은 감광도를 얻기 위해 팬터그래프와 매우 근접한다.
- (2) 철도차량의 세로축에 최대한 가깝게 한다.
- (3) 차량의 진행방향에 따라 팬터그래프 후면에 위치한다.
- (4) 집진장치의 팬터그래프의 집진판을 향하게 한다.
- (5) 팬터그래프 동작범위의 영역에서 허용오차가 10% 이내로 한다.
- (6) 시작과 끝이 100[us]미만인 아크를 감지해야한다.
- (7) 최소 아크 측정에 따라 임계점을 측정해야한다.

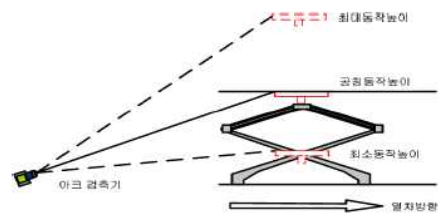


그림 2 아크 검출장치 위치

Fig. 2 Position of the contact-loss arc detection system

아크가 발생하는 위치와 측정 장비의 거리에 따라 임계점은 달라진다. 그림 2는 이선시 아크 검출을 위한 검측장치 설치 위치를 보여준다.

## 2.2 방사조도

방사조도란 방사원에서 떨어진 곳에 있어서의 복합 방사의 방사량의 하나이며, 그 점을 포함한 면적 요소를  $\Delta A$ , 이 면적에 입사하는 방사속을  $\Delta \Phi_e$  할 때, 방사 조도  $\Delta E_e$  (또는 E)는 식 (2)와 같다.

$$E_e = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi_e}{\Delta A} = \frac{d\Phi_e}{dA} [W/m^2] \quad (2)$$

즉 단위 면적당의 방사속을 뜻하며, 면적에 반비례함을 뜻한다. 면적은 거리의 제곱과 같은 단위를 가지므로 방사 조도는 거리의 제곱에 반비례하게 된다.

## 3. 이선 아크 시험

### 3.1 이선 아크 검측장치 구성

본 논문에서는 이선시의 아크 특성을 정확하게 검출하기 위해 그림 3과 같이 모의 이선시 아크 스펙트럼 분석장치를 구성하였다. 입력전원 220[V]는 전차선 역할을 하는 회전체와 팬터그래프를 통해 저항부하로 연결된다. 이선시에 최대 30[A]까지 흐르게 되며, 팬터그래프에 설치되는 집전판 재질과 회전체에 전차선 재질 종류에 따라 상이하게 흐른다.

집전 시스템의 전차선과 팬터그래프 집전판이 포함된 이선 발생장치는 이선발생 신호에 따라 전차선에 진동을 발생하여 전차선과 팬터그래프 집전판의 집전부를 이선시켜 아크를 발생시킨다. 발생된 아크 방진은 UV 센서모듈이 포함된 검출기를 통해 분광기 (Spectrometer)에서 스펙트럼을 분석하였다. 분광기의 파장대역은 200~1100[nm], 해상도는 0.05~20[nm]이다. 측정 환경의 밝기에 영향을 받지 않고 이선 측정의 정확도를 향상시키기 위해 어두운 실내에서 실험하였다.

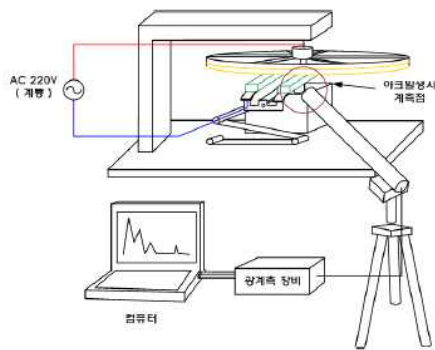


그림 3 이선 아크 검측장치 구성  
Fig. 3 Schematic of the contact-loss arc detection system

광계측기를 이용한 전차선-팬터그래프 재질별 이선아크 스펙트럼 분석

표 1 사용된 시험편

Table 1 Used test materials

| 전차선          | 집전판        |
|--------------|------------|
| - 가공전차선      | - KTX-1    |
| - T bar 강체가선 | - 전기기관차    |
|              | - VVVF 전동차 |
|              | - 누리로      |

이선 아크 검측의 신뢰성 확보를 위해 표 1에서 보듯이 전차선은 현재 국내 철도분야에서 가장 많이 가선되어 있는 고속선 가공 전차선과 전동차 지하구간에 적용되고 있는 T bar 강체 전차선을 사용하였다. 그리고 팬터그래프 집전판은 현재 운행되고 있는 고속철도차량 (KTX-1), 8200호대 전기기관차, 누리로 집전판, VVVF 전동차의 집전판을 실험 재료로 이용하여 재질에 따른 아크 방진을 분석하였다.

집전판의 특성을 살펴보면 고속철도차량, 전기기관차, 누리로의 집전판은 메탈 소결합금으로 이루어져 있는 철 (Fe) 계의 합금으로 강도가 강하고, VVVF 전동차의 집전판은 빈빈한 기동 및 정지를 반복하므로 강도가 약한 카본 소결합금으로 이루어져 있는 탄소 (C)계의 합금이다. 그림 4는 아크 검측장치 집전 시스템 시험편을 보여준다.



그림 4 이선 아크 검측장치 집전 시스템 시험편  
Fig. 4 Test pieces of the contact-loss arc detection system

### 3.2 모의시험

이선 모의시험은 고속선에 사용되고 있는 가공 전차선을 기준으로 KTX-1, 8200호대 전기기관차, 누리로, 전동차의 팬터그래프 집전판 시험편을 순서대로 바꿔가면서 이선시의 아크 스펙트럼을 분석하였다. 또한 전동차가 운행하는 지하 구간 T bar 강체 전차선도 동일한 조건으로 집전판 시험편을 바꿔가면서 재질에 따른 스펙트럼의 파장범위에 대해서 분석하였다.

그림 5는 이선시의 강한 빛을 내면서 아크가 발생하는 현상을 보여준다.



그림 5 이선 아크 검측장치 모의시험  
Fig. 5 Test of the contact-loss arc detection system

모의시험에 사용된 광계측 장비는 USL2048 Avaspec - type으로 파장측정범위 (Wavelength Range)는 200~1100[nm]이다. 분광기 (Spectrometer)는 빛을 분산시켜서 얻게 되는 스펙트럼을 측정하는 장치로 모의시험에서는 자외선의 파장에 따라 금속 면으로부터의 반사율이 다른 특성을 이용하여 금속 내의 전자의 변화량을 추정한다. 분광기의 특성을 이용 이선 아크 검출기를 통해 분광기에 전달된 신호는 크기 및 파장에 따라 분광기를 통해 노트북에 디스플레이 된다. 그림 6은 이선시 아크가 발생할 때 컴퓨터에 디스플레이 된 파형의 일례로 x축은 파장 (Wavelength)[nm], y축은 방사조도 (Absolute Irradiance)[uW/cm<sup>2</sup>/nm]로 나타난다.

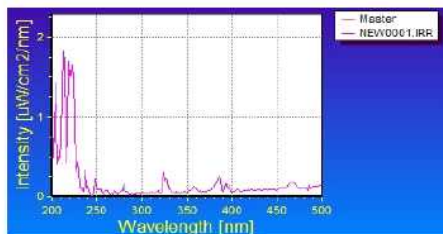


그림 6 이선 아크 검측 시험 결과 파형  
Fig. 6 Result wave of the contact-loss arc detection

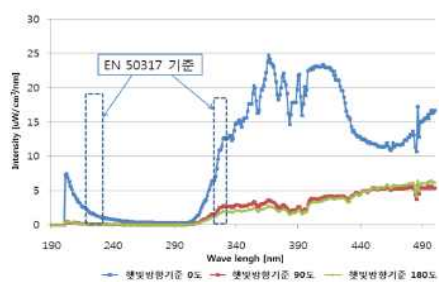


그림 7 햇빛에 대한 방사조도 측정  
Fig. 7 Measurement of irradiance on sunlight

그림 7은 이선 아크 검측장비를 이용하여 햇빛에 노출된 실외 (대기온도 26°)에서 측정된 파장을 보여준다. 햇빛방향을 기준으로 정면 (0°), 90°, 180°로 수광부(Acceptor)의 위치를 변경하면서 파장대역[nm]별 방사조도[uW/cm<sup>2</sup>/nm]의 세기를 측정하였다. 햇빛방향에서 수광부의 위치를 틀게 되면 방사조도의 세기가 급격히 떨어짐을 확인할 수 있었고, 햇빛과 정면에 수광부가 위치한 경우 200[nm]에서 250[nm]까지 지수함수 형태로 방사조도가 떨어지고 이후 305[nm]인 지점을 지나게 되면서 방사조도가 증가하는 양상을 보였다. EN 50317 기준에 따르면, 파장 범위인 220[nm]~225[nm] 또는 323[nm]~329[nm]에서 아크 검측장비가 적용되어야 한다.

따라서 그림 7을 기준으로 이선 아크 검측장비를 개발하고자 할 때는 파장범위를 벗어난 대역에서는 필터 적용을 고려해야 할 것이다.

### 3.2.1 가공 전차선-팬터그래프 시험

경부선 및 호남선 고속전철 등 가공전차선에 적용되는 재료는 구리 (Cu)으로 이선시 아크 모의시험은 그림 4에서 보듯이 전차선 재료는 원형 구리 (Cu)를 사용하였고 팬터그래프 집전판 (Contact strip)을 바꿔가면서 동일 조건에서 수행하였다. 그림 8은 이선 모의시험시 아크 발생에 따른 재료별 파장대역에 대한 방사조도의 세기를 보여준다. 광계측기를 통해 스펙트럼을 분석하면 아크 검출 파장대역이 220~240 [nm], 323~329 [nm], 340~390 [nm]에서 방사조도의 세기가 타 대역에 비해 크다는 것을 알 수 있다. 또한 파장대역이 커질수록 방사조도의 세기가 작아짐을 알 수 있다. 이는 경동 전차선 및 철제합금, 구리합금, 탄소계열의 집전판에서의 아크 빛은 200~240[nm], 320~340[nm]의 각 파장대역에서 강한 스펙트럼을 가지고 있기 때문이다. 또한 방사조도의 세기 측면에서 살펴보면 차량별로 차이가 있는 것을 볼 수 있는데 가공전차선과 집전판 사이에 흐르는 전류가 이선이 발생 전 얼마나 흐르고 있었느냐에 따라 상이하라는 것을 의미한다. 즉 이선 모의시험을 하는 조건은 실험 조건상 최대 30[A]이내이므로 전류가 많이 흐를수록 방사조도의 세기도 커진다.

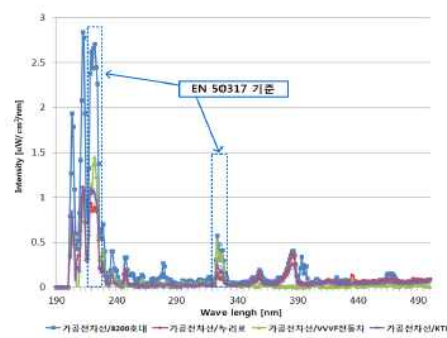


그림 8 이선시 재료별 방사조도 측정(가공 전차선)  
Fig. 8 Measurement of irradiance on materials(contact strip) during contact-loss arc in catenary

### 3.2.2 강제 전차선 시험

도시철도차량이 운행하는 지하구간이나 터널 내에 사용되는 강제가선의 제질인 T bar 구리 (Cu)을 사용하여 국내에서 운행되고 있는 전기철도 차량이 운행 시 발생할 수 있는 이선에 따른 아크를 분석하였다. 그림 9는 강제가선을 기준으로 이선 모의시험시 아크발생에 따른 제질별 파장대역에 대한 방사조도의 세기를 보여준다.

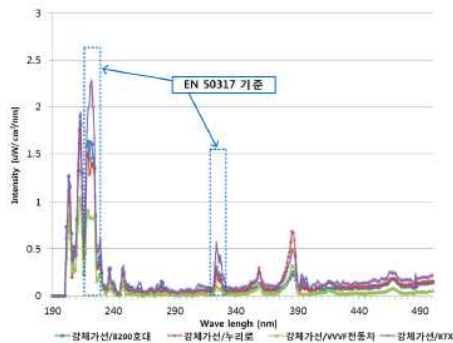


그림 9 이선시 제질별 방사조도 측정(가공 전차선)  
Fig. 9 Measurement of irradiance on materials(contact strip) during contact-loss arc in rigid bar catenary

그림 9의 이선시 제질별 방사조도를 분석해보면, 그림 8과 유사한 특성을 보인다. 다만 370[nm]~390[nm] 파장대역이 320[nm]~340[nm]보다 커지는 차이점을 볼 수 있다. 그리고 전반적으로 이선시 아크에 따른 파장대역은 그림 8과 거의 동일대역이지만, 방사조도의 세기는 작다. 이는 가공전차선을 사용한 것에 비해 강제가선인 경우 전류가 적게 흐르는 것에 기인한다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 팬더그래프-전차선간 이선에 따른 검측장치를 개발하는데 있어 선행연구로 각 차량별 팬더그래프 집전판 제질에 따른 가공전차선과 강제가선사이의 이선시 파장대역별 방사조도의 세기를 측정하여 분석하였다.

측정결과 EN 50317 기준에서 제시한 파장 범위인 220[nm]~225[nm] 또는 323[nm]~329[nm]에서 타 파장대역보다 방사조도의 세기가 커짐을 확인할 수 있었다.

햇빛에 노출된 상태의 방사조도와 이선시 방사조도를 비교해보면 햇빛에 노출된 상태에서의 방사조도가 크다는 것을 알 수 있으나, 실제 운행 중인 철도차량인 경우 수 백 [A]의 전류가 흐르게 됨으로 방사조도의 세기가 매우 크다. 다만 EN 기준에서 제시된 파장대역에서 검측장치를 개발하고자 할 때 EN 규격 기준을 만족할 수 있는 필터 설계도 고려되어야 할 것으로 보인다.

평계측기를 이용한 전차선-팬더그래프 제질별 이선아크 스펙트럼 분석

### 감사의 글

본 연구는 2013년도 미래철도기술개발사업의 연구 일환으로 국토교통부의 연구비지원에 받아 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

### References

- [1] Hayasaka T., Shimizu, M., Nezu K., "Development of Contact-Loss Measuring System Using Ultraviolet Ray Detection," QR of RTRI, Vol. 50, No. 3, pp. 131-136, 2009.
- [2] Nezu, K., Hayasaka, T., Shimizu, M., Ikeda, K., Suzuki, K., Tanamoto, F., "A Study on Contact Loss Arc Measurement by Ultraviolet Rays Detection," Proc. IEEJ on Transportation and Electric Railway, TER-08-13/LD-08-13, pp.1-6, 2008.
- [3] Shimizu, M., "Development of a Optical Fiber Type measuring Instrument of Arc Light," 1996 Annual Meeting Record IEE Japan, No.5-1263, pp.395-396, March, 1996.
- [4] Young Park, Seung-Kwon Shin, Kiwon Lee, Jaemoon Kim et al, "Analysis of Current Collection Performance using Real-time Measurement of Current for Overhead Contact Line on the Track-side", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 62, No. 4, pp. 573~576, 2013
- [5] Young Park, Jae-Moon Kim et al, "Reliability Analysis of Arcing Measurement System Between Pantograph and Contact Wire", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 61, No. 8, pp. 1216~1220, 2012
- [6] EN50317, "Railway applications, Current collection systems, Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line," 2002.

### 저 자 소 개



#### 장 진 영 (張 珍 榮)

2006년 철도대 철도차량전기와 졸업.  
2010년 중앙대 전자전기공학부 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자전기공학부 박사수료  
Tel : 031-462-8730



**정 노 건 (鄭 盧 建)**

2012년 한국철도대 철도차량전기과 졸업.  
2013년~현재 한국교통대 교통대학원 교  
통시스템공학과 석사과정



**박 중 국 (朴 鍾 國)**

1985년 인하대 대학원 전기과 졸업(석  
사). 1987년~1999년 LS산전 연구소 선  
임연구원. 1999년~2003년 PNC TECH  
연구소장. 2002년~현재 루아이스(주)  
대표이사



**구 경 완 (丘 庚 完)**

1983년 충남대학교 전자공학과졸업. 1992  
년 동대학원 전자공학과졸업박사. 1987년  
현대전자 반도체연구소선임연구원 1994  
년~2005년 영동대학교전자·정보공학부  
부교수. 2005년~현재 호서대학교 국방과  
학기술학과 교수



**김 재 문 (金 才 文)**

1994년 성균관대 전기공학과 졸업. 2000  
년 2월 동 대학원 졸업(공학). 2000년~  
2004년 현대모비스(주) 기술연구소 선임  
연구원. 2006년 ~현재 국토교통부 철도  
기술 전문위원, 2004년 3월~현재 한국교  
통대학교 교통대학원 교통시스템공학과/  
철도전기전자공학과 부교수  
Tel : 070-8855-1664  
E-mail : goldmoon@ut.ac.kr

광계측기를 이용한 이선아크의 스펙트럼 분석

김재문\*, 정노건\*, 장진영\*\*, 박종국\*\*\*, 박철민\*, 김광수\*  
한국교통대\*, 중앙대\*\*, 투아이스\*\*\*

Spectrum Analysis of Contact Loss Arc using a Photometer System

Jae-Moon Kim\*, No-Geon Jung\*\*, Chin-Young Chang\*\*, Jong-Gook Park\*, Yang-Su Kim\*  
Korea National University of Transportation\*, Chung-Ang University\*\*, 2ISYS\*\*\*

**Abstract** - 철도차량의 속도가 증가함에 따라 전차선과 팬티그래프간 불안정한 접촉으로 인해 이선이 발생되면서 강한 빛을 동반한 아크 방전이 발생된다. 본 논문은 가광전차선과 강제 전차선을 이용하여 국내에서 운행되고 있는 전동차의 팬티그래프를 비롯하여 전기기관차, 누리호, 고속철도차량 등에 사용되는 집전장치와 이선과점에서 발생하는 아크의 파장대역을 측정하여 분석하여 보았다. 기존 국외에서 제시된 파장대역과 비교하면 일부영역에서 상이한 결과를 보였다. 그러나 국제규격이 제시한 파장대역에 존재함을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

전기를 동력원으로 주행하는 철도차량인 경우 원활한 역행(Powering) 및 제동(Braking)을 위해서는, 전차선과 팬티그래프 집전관 사이의 연속적인 접촉을 유지하는 것이 중요하다. 그러나 철도차량의 속도가 증가함에 따라 전차선과 팬티그래프간 불안정한 접촉으로 인해 이선이 발생되면서 강한 빛을 동반한 아크 방전이 발생된다. 따라서 아크방전 검출(Arc discharge detection)은 집전 시스템의 성능을 판단하는 중요한 측정 요소이다. 하지만 아크 방전 측정을 하는 경우 가시광선 대역의 파장이 측정 데이터의 정확도에 영향을 미치므로, 야간이나 터널 구간에서 수행되지만, 역 구내 및 개찰지 등 빛에 노출된 구역에서 측정하기는 어렵다.[1][2]

본 논문은 국제 표준(IEC63486)을 만족하는 정확한 이선 검출(NQ)과 전류식 이선 검출(ICQ)을 겸하는 최대 400km/h의 차량 속도에서도 측정 가능한 고속철도용 전차선 아크 측정 장치 개발의 일환으로 국내 전차선 구간에서 사용되고 있는 전차선에 각종 전기 철도차량의 팬티그래프 종류별 제동에 따른 아크과장을 분석하는데 있다. 실험을 통해 얻어진 데이터의 분석을 통해 향후 이선시 아크 측정장치 개발에 활용될 것이다.

2. 본 론

2.1 이선아크

최근 전기 동력원으로 주행하는 철도차량이 증가함에 따라 제도를 따라 주행하는 철도차량과 전기 동력 공급하는 전차선간의 인터페이스가 그 이너피보다 중요한 이슈가 되고 있다. 이선(Contact Loss)은 주행 중인 차량으로 전력을 공급하는 전차선과 철도차량 상부에 설치된 팬티그래프간 접촉 불량으로 인한 순간적인 개방상태에 이르는 것을 의미한다. 그림 1은 주행 중인 차량이 순간적으로 이선현상에 대한 개략도를 보여준다. 이선은 개방시간에 따라 크게 소이전, 중이전, 대이전으로 구분되며, 매우 짧은 시간동안 개방되는 경우는 이선에 해당되지 않는다. 일반적으로 강한 빛을 내면서 전차선과 팬티그래프 집전관 사이에 공극(Air gap)을 통해 전류가 흐를 때 아크가 발생하게 된다.



〈그림 1〉 이선에 따른 아크발생

2.1.1 이선에 따른 국제규격

전기 철도차량에 대한 증가로 이선에 대해 EN 50317(2002)에서 규정하고 있다. 아크율(NQ)은 아래와 같이 정의하고 있다.[3]

$$NQ = \frac{\sum t_{arc}}{t_{total}} \times 100 \quad (1)$$

여기서,  $t_{arc}$ 는 1[ms] 이상 아크 지속시간,  $t_{total}$ 은 광전류의 30%보다 큰 전류 측정시간

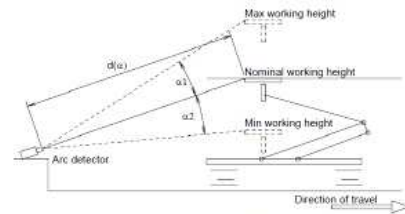
아크를 측정할 때 샘플링 시간은 200[Hz]보다 커야 한다. 그리고 검출력은 20[Hz] 차단주파수를 갖는 저주파 필터(Low Pass Filter)를 사용하며 최소한 교류 구간용 팬티그래프는 0~500[N], 직류구간용 팬티그래프는 0~700[N] 측정범위를 갖는다.

한편 아크 측정에 따른 일반적인 사항을 살펴보면, 아크 검출기는 구리(Cu) 제철에 의해 방사되는 빛과장에 민감해야 한다. 동(Cu)과 동(Cu) 합금 전차선 파장 범위인 230 nm~235 nm 또는 323 nm~329 nm에 적용되어야 한다. 두 개의 파장대역은 실질적인 동(Cu) 방사율을 갖고 있다. 따라서 측정시스템은 330 nm이상되는 가시광선 파장대역에서 는 민감해야 한다.

아크 검출기를 사용하기 위해서는 아래와 같은 조건을 가져야 한다.

- (1) 매우 높은 감광도를 얻기 위해 팬티그래프와 매우 근접한다.
- (2) 철도차량의 세로축에 최대한 가깝게 한다.
- (3) 차량의 진행방향에 따라 팬티그래프 후면에 위치한다.
- (4) 집전장치의 팬티그래프의 집전관을 향하게 한다.
- (5) 팬티그래프 동작범위의 영역에서 허용오차가 10% 이내로 한다.
- (6) 시작과 끝이 100ms미만인 아크를 감지해야 한다.
- (7) 최소 아크 측정에 따라 일계점을 측정해야 한다.
- (8) 아크가 발생하는 위치와 측정 장치의 거리에 따라 일계점은 달라진다.

그림 2는 아크 검출장치의 위치를 보여준다.



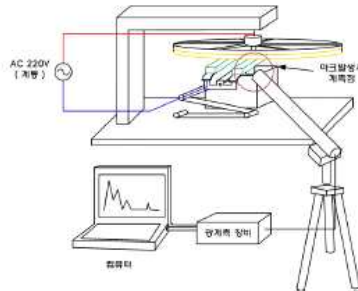
〈그림 2〉 아크 검출장치 위치

아크 측정시스템의 감지기는 에너지 밀도와 스펙트럼의 범위를 교정해야 한다. 광감도 특성곡선은 감지기의 전압을 [V]와 에너지 밀도[uW/cm²]와의 관계를 나타낸다. 측정된 최소이크의 에너지 밀도를 정해야 한다. 예를 들어 5m거리에서의 값은 교류전원 25kV에서 160 uW/cm² ± 10%, 직류 전차선 1.5kV에서 12.5 uW/cm² ± 10%가 될 수 있다.

2.2 이선 아크 검출장치 구성

본 논문에서는 아크를 정확하게 검출하기 위해 분광기를 사용하여 빛과 아크 빛의 파장스펙트럼 분석을 사용하여 을 측정하였다. 집전 시스템에서 전차선과 팬티그래프 집전관에 사용되는 재료는 구리 이면, 알루미늄, 탄소와 철로 이루어져있다. 위 재료를 단일 물질로 사용하는 경우 이선 시 발생하는 아크의 스펙트럼 분석을 통해, 방출 스펙트럼 분석 자료와 비교하여 이선 발생 여부를 확인할 수 있지만, 집전시스템은 여러 물질을 조합하여 사용하므로 아크에 따른 스펙트럼 분석 데이터가 존재하지 않는다.

그림 3은 아크 스펙트럼 분석 장치의 개략적인 개요를 보여준다. 집전 시스템의 전차선과 펜티그래프 집전부가 포함된 이선 발생장치는 이선 발생 신호에 따라 전차선에 진동을 발생하여 전차선과 펜티그래프 집전부의 집전부를 이선시켜 아크를 발생시킨다. 발생된 아크 방전은 UV 센서모듈이 포함된 검출기를 통해 분광기에서 스펙트럼을 분석한다. UV 센서모듈의 파장대역 설정범위는 EN 50817 기준에 따라 자외선 영역의 파장대역인 220~235 nm, 323~329 nm 로 조정하여 측정 환경의 밝기에 영향을 받지 않고, 이선 측정의 정확도를 향상시키도록 실험하였다.

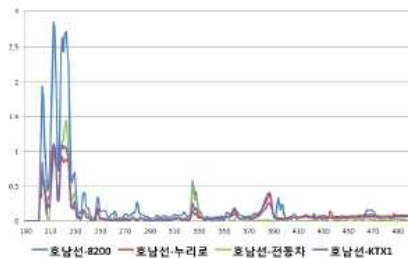


〈그림 3〉 아크 검출장치 시스템 구성도

또한 아크 검출의 신뢰성 확보를 위해 현재 가장 많이 개선되어 있는 가공 전차선, 강제 전차선과 현재 운행되고 있는 전기철도 차량의 펜티그래프 집전부를 실험 재료로 이용하여 제철에 따른 아크 방전을 분석하였다.

#### 2.2.1 가공 전차선 시험

호남선에 사용되는 가공전차선을 사용하여 현재 운행되고 있는 전기철도 차량이 운행 시 발생할 수 있는 이선에 따른 아크를 분석하였다. 그림 9는 이선에 따른 아크 검출 시험 결과 파형을 나타낸다. 결과 파형을 분석하면 아크 검출 파장대역이 220~240 nm, 323~329 nm, 340~390 nm 로 나타나는데 이는 강제 전차선 및 철제합금, 구리합금, 탄소의 집전부에서의 아크 빛은 200~240 nm, 320~340 nm의 각 파장에서 강력한 스펙트럼을 가지고 있기 때문이다. 또한 방사조도를 살펴보면 차량별로 차이가 있는 것을 볼 수 있는데 이는 이선 발생 시 아크 빛의 양이 차량별로 동일한 조건으로 수행되지 않기 때문이다. 그러므로 각 차량별 방사조도의 상대적인 크기보다는 제철에 따른 아크 파장 대역의 분석이 모의시험의 중요한 결과라고 할 수 있다.

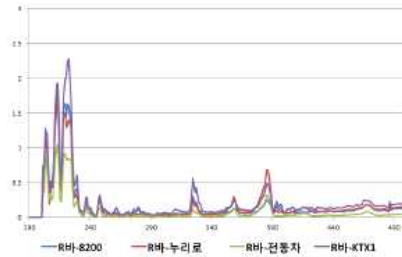


〈그림 4〉 가공 전차선-집전판 아크특성

#### 2.2.2 강제 전차선 시험

터널 내에 사용되는 강제전차선을 적용하여 현재 운행되고 있는 전기철도 차량이 운행 시 발생할 수 있는 이선에 따른 아크를 분석하였다. 그림 5는 이선에 따른 아크 스펙트럼 파형결과를 보여준다. 결과를 분석하면 그림 4의 가공 전차선과 마찬가지로 아크 검출 파장대역이 220~

240 nm, 323~329 nm, 340~390 nm 로 나타나는데 이는 강제 전차선 및 철제합금, 구리합금, 탄소의 집전부에서의 아크 빛은 200~240 nm, 320~340 nm의 각 파장에서 강력한 스펙트럼을 가지고 있기 때문이다.



〈그림 5〉 강제 전차선-집전판 아크특성

### 3. 결 론

본 논문은 가공전차선과 강제 전차선을 이용하여 국내에서 운행되고 있는 전동차의 펜티그래프를 비롯하여 전기기관차, 누리로, 고속철도차량 등에 사용되는 집전부와 이선과정에서 발생하는 아크의 파장대역을 측정하여 분석하여 보았다. 기존 국외에서 제시된 파장대역과 비교하면 일부영역에서 상이한 결과를 보였다. 그러나 국제규격이 제시된 파장대역에 존재함을 확인할 수 있었다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 박영, 김재문 외 3인, "선로면 전차선과 조가선의 전류를 이용한 집전성능 분석 기술", 대한전기학회 논문지, 62권, pp.573~pp.576, 2013
- [2] 박영, 김재문 외 1인, "펜티그래프-전차선간 아크 검출 장치의 신뢰성 분석", 대한전기학회 논문지, 61권, pp.1216~1220, 2012
- [3] BS EN 50817:2002, "The European Standard, Railway applications - Current collection systems - Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line", 2010.

### 전차선-펜터그래프간 이선아크 측정 시스템 특성

김재문\*, 정노건\*, 장진영\*\*, 박종국\*\*\*, 나연일\*\*\*\*, 이기식\*\*\*\*\*  
한국교통대\*, 중앙대\*\*, 투아이스(주)\*\*\*, 배산엔지니어링\*\*\*\*, 단국대\*\*\*\*\*

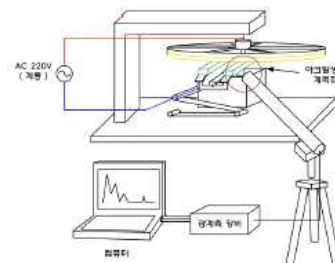
### The Characteristic of Contact-Loss Arc Measurement System Between Catenary & Pantograph

Jae-Moon Kim\*, No-Geon Jung\*, Chin-Young Chang\*\*, Jong-Gook Park\*\*\*, Yeon-Il Na\*\*\*\*, Ki-Sik Lee\*\*\*\*\*  
KNUT\*, Chung-Ang Univ.\*\*., 2ISYS\*\*\*, Baesan-Eng.\*\*\*\*, Dankook Univ.\*\*\*\*\*

**Abstract** - 전기철도차량 운행에서 집전 시스템은 전력공급에 매우 중요한 부분이다. 다양한 원인으로 인하여 이선에 따른 아크가 발생한다. 따라서 아크 발생 검출은 집전 시스템의 성능을 판단하는 중요한 측정 요소이다. 이에 현재 이선 시 발생하는 아크의 정확한 측정 기법을 연구하여 측정의 정확성을 향상시키는 많은 연구가 진행 중이다.

본 논문에서는 이선아크 측정 측정시스템 특성과 이선 아크 측정시스템의 신뢰성 확보를 위해 아크 검출 위치 변화에 따른 파장대역을 분석하여 입증하였다.

여 측정 환경의 밝기에 영향을 받지 않고, 이선 측정의 정확도를 향상시키도록 구성하였다.



〈그림 2〉 이선 아크 측정장치 구성

#### 2.2 이선 아크 검출 모의시험

모의시험은 연동선으로 구성된 모의 가공전차선과 카본으로 구성된 펜터그래프 집전장치로 이선을 발생시켜 아크 스펙트럼을 분석하였다. 이때 발생하는 아크 방사량을 검출기에서 전기신호로 변환하게 된다. 검출기는 아크 방사점에서 떨어진 곳에 있어서의 복사 방사의 방사량 방사조도를 검출하며, 방사조도  $\Delta E_e$  (또는 E)는 식(1)과 같이 그 점을 포함한 면적 요소를  $\Delta A$  반비례, 이 면적에 입사하는 방사속을  $\Delta \Phi_e$ 의 비례로 표현할 수 있다.

$$E_e = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi_e}{\Delta A} = \frac{d\Phi_e}{dA} [W/m^2] \quad (1)$$

식(1)을 보면 면적은 거리의 제곱과 같은 단위이므로 방사조도는 거리의 제곱에 반비례하게 된다.

이선 아크 검출시험은 표 1과 같이 4회로 구성하였다. 이선 아크 발생 지점으로부터 가장 다른 거리에서 아크 스펙트럼을 분석하였으며(1, 2), 같은 위치에서 아크와 검출기의 각도변화에 따른 아크 스펙트럼을 분석하였다(3, 4). 표 1은 이선 아크 검출 시험 구성표이며, 그림 3은 이선 아크 검출 모의시험을 나타내었다.

〈표 1〉 이선 아크 검출 시험 구성

|   | 아크-검출기 거리[m] | 아크-검출기 각도[°] |
|---|--------------|--------------|
| 1 | 4            | 0            |
| 2 | 8            | 0            |
| 3 | 4            | +15          |
| 4 | 4            | -15          |

아크는 검출기를 통해 발생한 UV신호를 전기신호로 변환하여 분광기로 보낸다. 분광기는 빛을 분산시켜서 일제 되는 스펙트럼을 측정하는 장치로 검출기 내의 전자의 변화량을 측정한다. 분광기에 전달된 신호는 크기 및 파장에 따라 노트북에 디스플레이 된다. 그림 4는 노트북에 디스플레이 된 파형으로 x축은 파장(Wavelength)[nm], y축은 방사조도(Absolute Irradiance)[uW/cm/nm]로 나타난다.

#### 1. 서 론

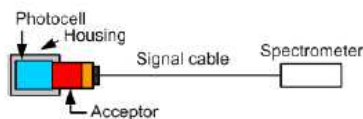
집전 시스템은 전기철도 차량을 전력공급하는 전차선과 전력을 공급받는 장치인 펜터그래프로 전력공급에 매우 중요한 부분이다. 전차선과 펜터그래프 사이의 동적 관계, 펜터그래프의 움직임 이상 및 노후, 전차선의 가설 이상 및 노후 등 다양한 원인으로 전기철도차량 운행 중 이선에 따른 아크가 발생한다. 따라서 아크 발생 검출은 집전 시스템의 성능을 판단하는 중요한 측정 요소이다. 이에 현재 이선 시 발생하는 아크의 정확한 측정 기법을 연구하여 측정의 정확성을 향상시키는 많은 연구가 진행 중이다.

본 논문에서는 이선 발생장치를 통해 발생한 아크 방전을 저위선 감지센서 모듈을 적용하여 분석된 파장대역에 관하여 기술하였다. 또한 이선 아크 측정시스템의 신뢰성 확보를 위해 아크 검출 위치 변화에 따른 파장대역을 분석하여 입증하였다. 본 논문에서 나타낸 이선 아크 검출장치의 분석 결과는 집전시스템과 집전 시스템의 유지보수에도 활용될 것이다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 이선발생장치 및 이선아크 검출장치 구성

본 논문에서는 아크를 정확하게 검출하기 위해, 분광기를 사용하여 빛과 아크 빛의 파장스펙트럼 분석하였다. 분광기는 빛을 분산시켜서 일제 되는 스펙트럼을 측정하는 장치로 자외선의 파장에 따라 검출면으로부터의 반사율이 다른 특성을 이용하여 검출기 내의 전자의 변화량을 측정한다. 집전 시스템에서 전차선은 연동선으로 구성되어 있고, 펜터그래프 집전부는 실용안은 카본 메탈 라이즈, 크로스암은 철계 소결합금으로 구성되어있다. 집전 시스템을 단일 물질로 사용하는 경우에는 이선 시 발생하는 아크의 스펙트럼 분석을 통해 이선 발생 여부를 확인할 수 있지만, 강도, 유지보수를 위해 여러 물질을 조합하여 사용하므로 아크에 따른 스펙트럼 분석을 통해 이선을 판별하기에는 쉽지 않다. 그리므로 재료에 따른 파장대역 분석을 하는 기술이 필요하다.

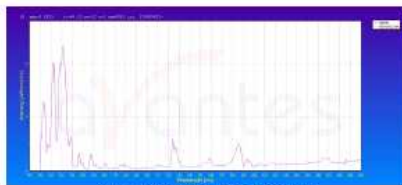


〈그림 1〉 UV 센서모듈 구성도(검출기)

그림 1, 2는 아크 스펙트럼 분석 장치의 개략적인 개요를 보여준다. 집전 시스템의 전차선과 펜터그래프 집전부가 포함된 이선 발생장치는 이선발생 신호에 따라 전차선에 전동을 발생하여 전차선과 펜터그래프 집전부의 집전부를 이선시켜 아크를 발생시킨다. 전차선의 소재인 구리류에서 발생하는 아크의 파장은 자외선 영역이므로 발생한 아크 방전은 UV 센서모듈이 포함된 검출기를 통해 분광기에서 스펙트럼을 분석하도록 구성하였다. UV 센서모듈의 파장대역 설정범위는 EN 50317 기준에 따라 자외선 영역의 파장대역인 220~225 nm, 323~329 nm 로 조정하



〈그림 3〉 이선 아크 검출장치 모의시험



〈그림 4〉 이선 아크 검출 시험 결과

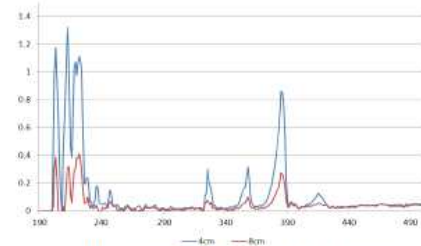
#### 2.2.1 거리변화에 따른 이선 아크 검출 시험

표 2, 그림 5는 거리변화에 따른 이선 아크 검출 시험 결과값을 나타낸다.

〈표 2〉 이선 아크 검출 시험 결과값

| 이격거리 [cm] | 파장 [nm] | 방사조도 [uW/cm²] |
|-----------|---------|---------------|
| 4         | 200~235 | 1.3           |
|           | 323~328 | 0.8           |
|           | 356~360 | 0.3           |
|           | 382~387 | 0.88          |
| 8         | 200~235 | 0.32          |
|           | 323~328 | 0.2           |
|           | 356~360 | 0.08          |
|           | 382~387 | 0.24          |

결과값은 이격거리 변화에 변동 없이 아크 검출 파장대역은 200~235[nm], 323~328[nm], 356~360[nm], 382~387[nm]로 UV대역에서 검출되었다. 또한 거리에 관계없이 같이 파장대역에서 방사조도가 나타났다. 방사조도는 200~235[nm] 파장대역부터 382~387[nm] 대역까지 4[cm]거리의 방사조도가 8[cm]거리의 방사조도에 비해 약 3.8배 측정되는 것으로 아크검출 시스템의 신뢰성을 입증할 수 있었다.



〈그림 5〉 이선 아크 검출 시험 결과 파형(거리변화)

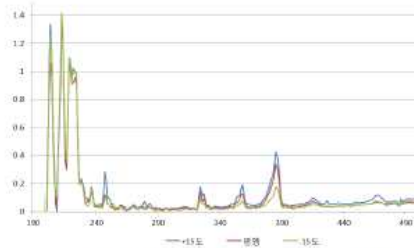
#### 2.2.2 각도변화에 따른 이선 아크 검출 시험

이선 아크 검출 시험은 아크 검출지점에서 4[cm] 떨어진 지점에서 UV센서모듈이 포함된 검출기로 측정하였으며, 아크를 향하는 검출기의 각도를 ±15°로 변화시켜 측정하였다. 표 3, 그림 6은 거리변화에 따른 이선 아크 검출 시험 결과값을 나타낸다.

〈표 3〉 이선 아크 검출 시험 결과값

| 수평각 [°] | 파장 [nm] | 방사조도 [uW/cm²] |
|---------|---------|---------------|
| +15     | 200~235 | 1.9           |
|         | 323~328 | 0.17          |
|         | 356~360 | 0.2           |
|         | 382~387 | 0.41          |
| 0       | 200~235 | 1.38          |
|         | 323~328 | 0.18          |
|         | 356~360 | 0.16          |
|         | 382~387 | 0.38          |
| -15     | 200~235 | 1.41          |
|         | 323~328 | 0.19          |
|         | 356~360 | 0.15          |
|         | 382~387 | 0.19          |

결과값은 각도변화에 변동 없이 아크 검출 파장대역은 200~235[nm], 323~328[nm], 356~360[nm], 382~387[nm]로 UV대역에서 검출되었다. 또한 아크의 검출기의 각도와 관계없이 파장대역에서 유사 값의 방사조도가 나타났다. 거리변화에 따른 방사조도와 각도변화에 따른 방사조도를 비교하면 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있는데 이는 이선 발생 시험의 변화에 따라 방사조도가 측정된 것으로 판단된다.



〈그림 6〉 이선 아크 검출 시험 결과 파형(각도변화)

### 3. 결 론

본 논문에서는 전차선-팬티그래프간 이선 아크검출 시스템 특성에 관하여 기술하였다. 특히 이선 아크검출 시스템의 검출기 위치에 따른 특성을 분석하였으며, 모의시험결과를 나타내었다. 팬티그래프-전차선간 이선아크 검출시스템의 신뢰성 확보를 위해 아크 측정 파장대역을 분석하였으며, 시험결과 모두 EN규격사항 등에 적합한 것으로 판단되었다. 분석결과 아크발생점과 검출기의 이격거리는 아크 검출 파장에는 영향을 미치지 않지만 방사조도에 제곱에 반비례함을 확인하였다. 또한 아크 발생결과 검출기의 각도는 아크 측정 파장대역 및 방사조도에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 본 연구의 결과는 현재 국내에서 연구 개발되는 이선아크 검출 시스템의 센서가 국제규격에 적합함을 판단하는 기술자료로, 향후 단순하고 간편하며 이선아크 개소를 실시간으로 판단할 수 있는 이선 아크검출 시스템의 개발 등에 활용될 것으로 기대된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Hayasaka T., Shimizu, M., Nezu K., "Development of Contact Loss Measuring System Using Ultraviolet Ray Detection," QR of RTRI, Vol. 50, No. 3, pp. 131-136, 2009.
- [2] Nakama, F., Ichikawa, M., Nagasawa, H., "Measurement of Contact Loss by Detecting Spark," Railway Technical Research Report, No.1251, September, 1983.
- [3] 김재문 외 2, "팬티그래프-전차선간 아크 검출 장치의 신뢰성 분석", KIEE, Vol. 61, No. 8, pp. 1216-1220, 2012.
- [4] 광용어사전, "광용어 사전 편찬회", 2011.

[별첨 7] 공인인증 시험

- ▶ 진동시험 : KS R 9144 [2종]-철도 차량 부품의 진동 시험방법
- ▶ 온도시험 : KS R 9191 [6종]-철도 신호 보안 부품의 고온 및 저온 시험방법  
KS R 9192 [5종]-철도 신호 보안 부품의 온도 사이클 시험방법

|                                                                                   |                                                                                                                          |                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|  | <b>주식회사 케이 이 에스</b><br>경기도 안양시 동안구 시민대로 365번길 40, C-3701<br>Tel: +82-31-425-6200 / Fax: +82-31-424-0450<br>www.kes.co.kr | 발급번호 :<br>KES-SA-14T0255<br>페이지 : 1 / 6 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|

## 시 험 성 적 서

1. 신 청 인

- 기 관 명 : 투아이스(주)
- 주 소 : 경기도 군포시 당정동 군포IT밸리 A동 1501호, 1508호
- 의뢰일자 : 2014년 07월 11일

2. 제 조 자 : 투아이스(주)

3. 시험성적서 용도 : 품질관리용

4. 시험대상품목 또는 물질, 시료명 : 광학식 아크 검출기, Arc-N200

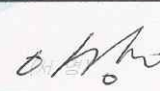
5. 시험기간 : 2014년 07월 11일 ~ 2014년 07월 15일

6. 시험방법 : 신청자 제시규격

7. 시험환경 : (23.0 ± 5.0) ℃, (50 ± 25) % R.H.

8. 시험결과 : 시험결과 참조

이 성적서 위의 내용은 시험의뢰인에 의해 제공된 시료에 한하며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

|        |                                                                                                       |                                                                                                                |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 확<br>인 | 시험자<br>성명 : 오 현 석  | 승인자 (기술책임자)<br>성명 : 이 강 선  |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

2014년 07월 16일



### 주식회사 케이 이 에스

안양시험장 : 경기도 안양시 동안구 시민대로 365번길 40, C-3701  
 TEL : 031)425-6200 FAX : 031)424-0450  
 여주시험장 : 경기도 여주시 가여로 473-29 (하거동)  
 TEL : 031)883-5092 FAX : 031)883-5169

본 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.  
 본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 항목에 한합니다.

|                      |     |    |
|----------------------|-----|----|
| KES-P-5101-13 Rev. 1 | KES | A4 |
|----------------------|-----|----|



주식회사 케이 이 에스  
경기도 안양시 동안구 시민대로 385번길 40, C-3701  
Tel: +82-31-425-6200 / Fax: +82-31-424-0450  
www.kes.co.kr

발급번호 :  
KES-SA-14T0255  
페이지 : 2 / 6

#### ■ 시험 설비 리스트

| No | 관리번호      | 장비명                          | 제작회사                             | 형식      | Serial #         | 교정일자       | 차기교정       | 교정주기 | 비고 |
|----|-----------|------------------------------|----------------------------------|---------|------------------|------------|------------|------|----|
| 1  | KES-S-088 | Vibration<br>Exciter         | IMV Corp.                        | VE-1031 | 450337           | 2014.05.14 | 2015.05.14 | 1년   | -  |
| 2  | KES-S-105 | Temp. &<br>Humid.<br>Chamber | ALL<br>THREE<br>Eng Co.,<br>Ltd. | ATH-50M | 20040412<br>-03A | 2013.09.16 | 2014.09.16 | 1년   | -  |

#### ■ KOLAS 철도관련 인정현황

| 번호 | 규격번호                          | 규격명                         | 해당 항목                             |
|----|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1  | KRS SG 0015-12R               | 전자연동장치                      | 4.6절, 4.7.2 ~ 4.7.7절,<br>4.8절     |
| 2  | KRS SG 0014-08R : 2006        | 신호용전원공급장치                   | 4.2절                              |
| 3  | KRCS C027 03 (확인 2011)        | 신호부동용정류기                    | 시험 항목 전체                          |
| 4  | KRS SG 0038-09R               | 무절연가청주파수(AF)<br>케도회로        | 3.5.3절, 4.5.2 ~ 4.5.7절            |
| 5  | KS R 9193 : 1996<br>(2006 확인) | 철도신호보안부품의<br>절연저항 및 내전압시험방법 | 시험 항목 전체                          |
| 6  | KS R 9191 : 1996<br>(2006 확인) | 철도신호보안부품의<br>고온 및 저온 시험방법   | 시험 항목 전체                          |
| 7  | KS R 9192 : 1996<br>(2006 확인) | 철도신호보안부품의<br>온도사이클 시험방법     | 시험 항목 전체                          |
| 8  | KS R 9213 : 2007              | 철도신호보안부품의<br>고온 및 저온 시험방법   | <제외> L8종 과 L9종                    |
| 9  | KRCS C229 02 : 2009           | 전자연동장치                      | 3.5.3항, 4.6절(4.6.3 제외),<br>4.8절   |
| 10 | KRS SG 0036-09R : 2006        | 케도회로기능감시장치                  | 3.5.3항, 4.2.1항 2)3),<br>4.2.2항 4) |
| 11 | KRS SG 0054-08R : 2006        | 단선 자동폐색제어장치                 | 4.2절 4.2.1항 4.2.항 1)3)4)          |
| 12 | KRS SG 0055-08R : 2006        | 복선 자동폐색제어장치                 | 4.2절 4.2.1항 4.2.항 1)3)4)          |

본 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.  
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.



◇ 시험대상품목 : 광학식 아크 검출기

모델명/제조번호 : Arc-N200 / 20140303

1. 진동시험

• 시험 규격

KS R 9144 : 1992 - 철도 차량 부품의 진동 시험 방법

• 시험의 종류

| 시험의 종류 | 적용 부품                           |
|--------|---------------------------------|
| 1 등    | 여객차의 차체에 부착하는 부품                |
| 2 등    | 여객차 또는 기관차의 차체에 부착하는 부품         |
| 3 등    | 기관차, 화차 또는 2축차의 차체에 부착하는 부품     |
| 4 등    | 화차 혹은 2축차의 차체 또는 대차프레임에 부착하는 부품 |
| 5 등    | 대차 프레임 또는 스프링 아래 부분에 부착하는 부품    |
| 6 등    | 스프링 아래 부분에 부착하는 부품              |

• 공진 시험

| 종 류 | 진동수 범위 (Hz) | 진동의 크기                                   |
|-----|-------------|------------------------------------------|
| 1 등 | 1 ~ 5       | 온진폭 : 5 mm                               |
|     | 5 ~ 30      | 가속도 온진폭 : 4.90 m/s <sup>2</sup> (0.5 G)  |
| 2 등 | 1 ~ 5       | 온진폭 : 10 mm                              |
|     | 5 ~ 30      | 가속도 온진폭 : 9.81 m/s <sup>2</sup> (1.0 G)  |
| 3 등 | 3 ~ 7       | 온진폭 : 10 mm                              |
|     | 7 ~ 40      | 가속도 온진폭 : 19.6 m/s <sup>2</sup> (2.0 G)  |
| 4 등 | 5 ~ 11      | 온진폭 : 10 mm                              |
|     | 11 ~ 50     | 가속도 온진폭 : 49.0 m/s <sup>2</sup> (5.0 G)  |
| 5 등 | 7 ~ 16      | 온진폭 : 10 mm                              |
|     | 16 ~ 60     | 가속도 온진폭 : 98.1 m/s <sup>2</sup> (10.0 G) |
| 6 등 | 10 ~ 25     | 온진폭 : 10 mm                              |
|     | 25 ~ 70     | 가속도 온진폭 : 245 m/s <sup>2</sup> (25.0 G)  |

• 공진시험 결과

| 시험항목 | 시험 기준                                                       | 시험 결과 | 비 고 |
|------|-------------------------------------------------------------|-------|-----|
| 공진시험 | 1 Hz ~ 5 Hz , 10 mm<br>5 Hz ~ 30 Hz , 9.81 m/s <sup>2</sup> | 공진 없음 | -   |

• 진동 내구 시험 (공진이 없는 경우)

| 종 류 | 진동수   | B 등    |                       |      |         |
|-----|-------|--------|-----------------------|------|---------|
|     |       | 온진폭    | 가속온진폭                 | 시험시간 |         |
|     |       |        |                       | 전 후  | 좌 우 상 하 |
| 2 등 | 10 Hz | 3.5 mm | 13.7 m/s <sup>2</sup> | 2 h  | 2 h 4 h |

• 시험결과

| 시험항목 | 시험 기준                                                              | 시험 결과 | 비 고 |
|------|--------------------------------------------------------------------|-------|-----|
| 진동시험 | 가속온진폭 13.7 m/s <sup>2</sup> ,<br>상하 좌우 전후 방향 시험 후<br>제품성능에 이상 없을 것 | 이상 없음 | -   |

본 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.  
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.



◇ 시험대상품목 : 광학식 아크 검출기

모델명/제조번호 : Arc-N200 / 20140303

2. 고온 및 저온 시험

• 시험 규격

KS R 9191 : 1996 - 철도 신호 보안 부품의 고온 및 저온 시험방법

• 시험의 종류 및 기호

| 시 험 종 류 | 기 호 | 시험의 주목적                    |
|---------|-----|----------------------------|
| 고온 시험   | TH  | 높은 주위 온도에서 부품의 적성을 조사하는 시험 |
| 저온 시험   | TL  | 낮은 주위 온도에서 부품의 적성을 조사하는 시험 |

• 시험 조건의 구분

| 구 분 | 적용보기 |                                   |
|-----|------|-----------------------------------|
| 1종  | 목내   | 높은 신뢰도의 공기조화장치를 갖추고 있는 욕내에 설치한 경우 |
| 2종  |      | 공기 조화 장치를 갖추고 있는 욕내에 설치한 경우       |
| 3종  |      | 일반 기기실내에 설치한 경우                   |
| 4종  | 욕외   | 일반                                |
| 5종  |      | 한랭지                               |
| 6종  |      | 극한지의 레일 주변에 설치한 경우                |

• 시험 할 때의 주위온도

| 시험조건의 구분 | 시험할 때의 주위온도 |             |
|----------|-------------|-------------|
|          | 고온시험 (TH)   | 저온시험 (TL)   |
| 1종       | 35 ℃ ± 2 ℃  | 5 ℃ ± 3 ℃   |
| 2종       | 45 ℃ ± 2 ℃  | 0 ℃ ± 3 ℃   |
| 3종       |             | -10 ℃ ± 3 ℃ |
| 4종       | 60 ℃ ± 2 ℃  | -10 ℃ ± 3 ℃ |
| 5종       |             | -20 ℃ ± 3 ℃ |
| 6종       |             | -30 ℃ ± 3 ℃ |

• 시험결과 :

| 시험항목      | 시 험 기 준                         | 시 험 결 과 | 비 고 |
|-----------|---------------------------------|---------|-----|
| 고온 및 저온시험 | -30 ℃, 60 ℃에서 시험품의 성능에 이상이 없을 것 | 이상 없음   | -   |

본 시험성적서는 (주)케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.  
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

◇ 시험대상품목 : 광학식 아크 검출기

모델명/제조번호 : Arc-N200 / 20140303

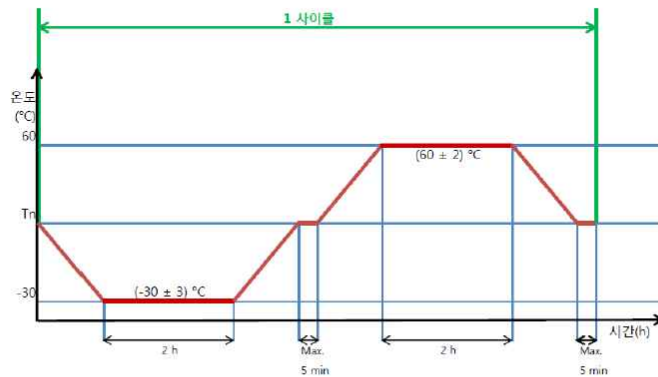
3. 온도 사이클 시험

• 시험 규격

KS R 9192 : 1996 - 철도 신호 보안 부품의 온도 사이클 시험 방법

• 시험 조건의 종류

| 시험 종류 | 온 도 ℃ |     |    |     | 부품의 질량 Kg    | 방치시간 h |
|-------|-------|-----|----|-----|--------------|--------|
|       | 최 저   | 허용차 | 최고 | 허용차 |              |        |
| 1 종   | -10   | ± 3 | 60 | ± 2 | 1.5 이하       | 1      |
| 2 종   |       |     |    |     | 1.5 초과 15 이하 | 2      |
| 3 종   |       |     |    |     | 15를 초과하는 것   | 3      |
| 4 종   | -30   | ± 3 |    |     | 1.5 이하       | 1      |
| 5 종   |       |     |    |     | 1.5 초과 15 이하 | 2      |
| 6 종   |       |     |    |     | 15를 초과하는 것   | 3      |



[ 그림1. 온도 사이클 그래프 ]

• 시험결과

| 시험항목  | 시험기준                               | 시험결과  | 비고 |
|-------|------------------------------------|-------|----|
| 온도사이클 | -30 °C ~ 60 °C에서 시험품의 성능에 이상이 없을 것 | 이상 없음 | -  |

본 시험성적서는 ㈜케이이에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.  
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

◇ 시험대상품목 : 광학식 아크 검출기

모델명/제조번호 : Arc-N200 / 20140303



[ 그림2. 진동시험 사진 ]



[ 그림3. 진동시험 후 동작확인 사진 ]



[ 그림4. 온도시험 사진 ]



[ 그림5. 온도시험 후 동작확인 사진 ]

끝.

본 시험성적서는 (주)케이이에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.  
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

[별첨 8] KTX 현차 시험 데이터

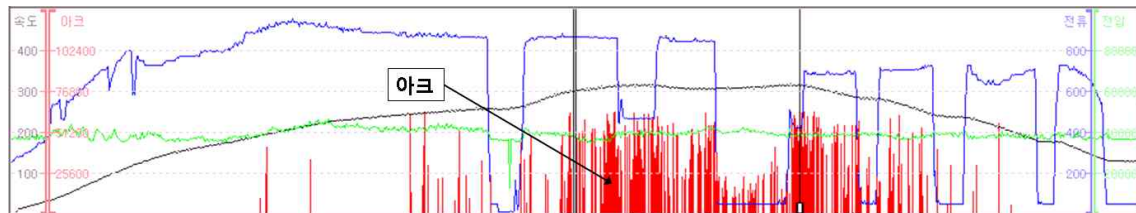
1. 시험 조건

- 1) 시험 일시 : 2014년 5월 1일 19:30 ~ 22:00
- 2) 시험 차량 : KTX 36 영업 차량
- 3) 시험 구간 : 경부고속선 상행 (부산->서울 방향)
- 4) 기상 상황 : 맑음

2. 시험 결과 데이터

1) 부산 - 동대구 구간 (일부)

- ▶ 400.1 km ~ 342.1km 구간
- ▶ 평균속도 269km/h



| 순서 | 검측위치<br>[km] | 아크지속<br>시간[ms] | 아크<br>최대크기 | 전류<br>[A] | 전압<br>[V] | 속도<br>[km/h] |
|----|--------------|----------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 1  | 373.5        | 8              | 62086      | 513       | 34498     | 243          |
| 2  | 373.4        | 7              | 14049      | 333       | 5689      | 244          |
| 3  | 372.9        | 7              | 18123      | 272       | 22705     | 246          |
| 4  | 366.6        | 7              | 49945      | 328       | 34784     | 296          |
| 5  | 366.5        | 7              | 20627      | 642       | 3390      | 293          |
| 6  | 366.2        | 7              | 61596      | 351       | 32797     | 295          |
| 7  | 366.1        | 7              | 29055      | 91        | 26689     | 299          |
| 8  | 365.7        | 7              | 50972      | 346       | 28354     | 302          |
| 9  | 365.4        | 7              | 59581      | 308       | 28270     | 300          |
| 10 | 365.1        | 7              | 22201      | 337       | 5856      | 307          |
| 11 | 364.9        | 7              | 10443      | 344       | 31839     | 305          |
| 12 | 364.8        | 7              | 42436      | 373       | 23204     | 302          |
| 13 | 364.5        | 7              | 24849      | 344       | 32547     | 311          |
| 14 | 364.2        | 7              | 37287      | 115       | 27354     | 310          |
| 15 | 363.9        | 7              | 10663      | 367       | 22288     | 309          |
| 16 | 363.8        | 7              | 40894      | 359       | 34866     | 314          |
| 17 | 363.7        | 7              | 64592      | 373       | 15130     | 315          |
| 18 | 363.6        | 7              | 41232      | 492       | 32547     | 312          |

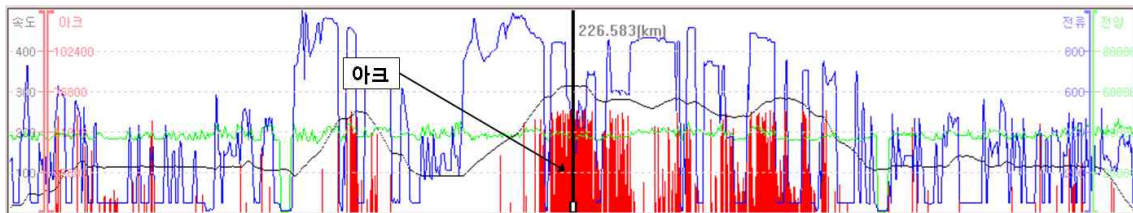
| 순서 | 검측위치<br>[km] | 아크지속<br>시간[ms] | 아크<br>최대크기 | 전류<br>[A] | 전압<br>[V] | 속도<br>[km/h] |
|----|--------------|----------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 19 | 362.9        | 7              | 21580      | 322       | 33374     | 311          |
| 20 | 362.8        | 8              | 34201      | 430       | 31673     | 316          |
| 21 | 362.7        | 8              | 63381      | 323       | 31757     | 310          |
| 22 | 362.6        | 7              | 23574      | 299       | 25841     | 315          |
| 23 | 362.5        | 7              | 17767      | 438       | 34206     | 313          |
| 24 | 362.4        | 7              | 44628      | 75        | 5961      | 312          |
| 25 | 362.3        | 8              | 41072      | 314       | 31340     | 313          |
| 26 | 362.2        | 7              | 28660      | 297       | 24697     | 315          |
| 27 | 362.1        | 7              | 51906      | 300       | 23703     | 312          |
| 28 | 361.8        | 7              | 50560      | 283       | 28354     | 310          |
| 29 | 361.4        | 7              | 20921      | 368       | 16540     | 312          |
| 30 | 360.9        | 7              | 22806      | 343       | 34372     | 311          |
| 31 | 360.4        | 7              | 32150      | 343       | 33207     | 310          |
| 32 | 360          | 7              | 21512      | 498       | 6854      | 308          |
| 33 | 359.9        | 8              | 18078      | 280       | 31839     | 304          |
| 34 | 359.8        | 7              | 7646       | 712       | 33878     | 306          |
| 35 | 359.6        | 7              | 13892      | 688       | 30508     | 306          |
| 36 | 359.3        | 7              | 38378      | 496       | 37858     | 303          |
| 37 | 359.2        | 8              | 11516      | 735       | 14049     | 307          |
| 38 | 358.9        | 7              | 26478      | 510       | 34538     | 303          |
| 39 | 358.8        | 7              | 10652      | 694       | 40849     | 305          |
| 40 | 358.7        | 7              | 38244      | 111       | 24489     | 306          |
| 41 | 358.6        | 7              | 46441      | 163       | 31340     | 304          |
| 42 | 358.5        | 7              | 57696      | 121       | 25030     | 303          |
| 43 | 358.4        | 7              | 18626      | 178       | 31923     | 308          |
| 44 | 358.2        | 7              | 23853      | 41        | 29182     | 308          |
| 45 | 358          | 7              | 21232      | 42        | 21602     | 308          |
| 46 | 357.9        | 7              | 9579       | 44        | 8234      | 307          |
| 47 | 356.9        | 7              | 9014       | 45        | 18284     | 308          |
| 48 | 356.4        | 7              | 13395      | 40        | 9668      | 310          |
| 49 | 356.2        | 8              | 11408      | 40        | 5680      | 311          |
| 50 | 355.1        | 7              | 30240      | 9         | 29847     | 312          |
| 51 | 354.4        | 7              | 12918      | 204       | 32631     | 311          |
| 52 | 353.9        | 7              | 17206      | 223       | 17705     | 315          |
| 53 | 353.8        | 7              | 34085      | 323       | 31673     | 310          |
| 54 | 353.7        | 7              | 63289      | 232       | 18818     | 316          |
| 55 | 353.6        | 7              | 64486      | 217       | 7791      | 312          |
| 56 | 353.4        | 7              | 23306      | 326       | 27272     | 309          |

| 순서 | 검측위치<br>[km] | 아크지속<br>시간[ms] | 아크<br>최대크기 | 전류<br>[A] | 전압<br>[V] | 속도<br>[km/h] |
|----|--------------|----------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 57 | 353.2        | 7              | 6845       | 672       | 34538     | 313          |
| 58 | 353.1        | 7              | 61824      | 320       | 26195     | 306          |
| 59 | 353          | 7              | 46286      | 234       | 6814      | 309          |
| 60 | 352.8        | 7              | 26785      | 343       | 29929     | 307          |
| 61 | 352          | 7              | 54966      | 325       | 18860     | 296          |
| 62 | 351.9        | 7              | 31252      | 321       | 23870     | 298          |
| 63 | 351.8        | 9              | 56809      | 349       | 31340     | 294          |
| 64 | 351.3        | 7              | 30618      | 315       | 20442     | 287          |
| 65 | 350.9        | 7              | 30641      | 104       | 12224     | 281          |
| 66 | 350.8        | 7              | 53352      | 82        | 16702     | 286          |
| 67 | 349.8        | 7              | 10844      | 346       | 28603     | 281          |
| 68 | 349.7        | 7              | 20457      | 259       | 9335      | 280          |
| 69 | 349.3        | 7              | 17838      | 289       | 10137     | 275          |
| 70 | 348.8        | 7              | 62492      | 334       | 27933     | 267          |
| 71 | 347.8        | 7              | 54752      | 349       | 27600     | 254          |
| 72 | 347.5        | 7              | 24870      | 317       | 25363     | 246          |
| 73 | 344.7        | 7              | 57168      | 162       | 11266     | 210          |

## 2) 동대구 - 대전 구간

▶ 293.1 km ~ 159.8km 구간

▶ 평균속도 249km/h



| 순서 | 검측위치<br>[km] | 아크지속<br>시간[ms] | 아크<br>최대크기 | 전류<br>[A] | 전압<br>[V] | 속도<br>[km/h] |
|----|--------------|----------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 1  | 285.3        | 7              | 16366      | 212       | 26611     | 59           |
| 2  | 285.2        | 7              | 53402      | 336       | 33711     | 71           |
| 3  | 283.8        | 7              | 11416      | 446       | 34538     | 115          |
| 4  | 283.7        | 7              | 53767      | 312       | 32380     | 115          |
| 5  | 282.8        | 7              | 7036       | 167       | 32214     | 115          |

| 순서 | 검측위치<br>[km] | 아크지속<br>시간[ms] | 아크<br>최대크기 | 전류<br>[A] | 전압<br>[V] | 속도<br>[km/h] |
|----|--------------|----------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 6  | 282.7        | 8              | 25953      | 152       | 35283     | 114          |
| 7  | 281.3        | 7              | 10557      | 27        | 21540     | 111          |
| 8  | 277.2        | 7              | 14416      | 131       | 29098     | 112          |
| 9  | 277.1        | 7              | 30159      | 210       | 32375     | 114          |
| 10 | 277          | 7              | 12578      | 188       | 25988     | 112          |
| 11 | 259.7        | 7              | 26554      | 171       | 32380     | 227          |
| 12 | 257.3        | 7              | 22224      | 870       | 28188     | 240          |
| 13 | 257.2        | 7              | 29064      | 502       | 32338     | 239          |
| 14 | 257.1        | 7              | 59076      | 218       | 27434     | 240          |
| 15 | 257          | 7              | 21663      | 369       | 29681     | 239          |
| 16 | 256.9        | 7              | 13338      | 189       | 25196     | 245          |
| 17 | 256.8        | 7              | 26355      | 844       | 33711     | 245          |
| 18 | 256.7        | 7              | 50251      | 604       | 35372     | 245          |
| 19 | 256.6        | 7              | 18012      | 329       | 8108      | 249          |
| 20 | 255.9        | 7              | 8546       | 24        | 16951     | 249          |
| 21 | 252.8        | 7              | 23671      | 337       | 35038     | 219          |
| 22 | 252.6        | 7              | 11893      | 310       | 14497     | 213          |
| 23 | 252.4        | 7              | 49985      | 551       | 33540     | 206          |
| 24 | 235.4        | 7              | 20912      | 260       | 18778     | 252          |
| 25 | 233.4        | 7              | 17471      | 350       | 31340     | 285          |
| 26 | 231.9        | 7              | 53290      | 6         | 34332     | 288          |
| 27 | 231.7        | 7              | 39487      | 634       | 27022     | 283          |
| 28 | 231.5        | 7              | 63967      | 583       | 35949     | 292          |
| 29 | 230.6        | 7              | 23659      | 504       | 34039     | 299          |
| 30 | 230.5        | 7              | 7345       | 629       | 5659      | 297          |
| 31 | 230.4        | 9              | 25088      | 777       | 22039     | 303          |
| 32 | 230.2        | 7              | 20014      | 214       | 31345     | 305          |
| 33 | 230.1        | 7              | 22339      | 814       | 27682     | 307          |
| 34 | 230          | 7              | 36540      | 360       | 27188     | 304          |
| 35 | 229.9        | 7              | 17202      | 807       | 27350     | 308          |
| 36 | 229.8        | 7              | 19467      | 806       | 26529     | 310          |
| 37 | 229.7        | 7              | 41522      | 809       | 27933     | 306          |
| 38 | 229.6        | 8              | 43273      | 545       | 34372     | 310          |
| 39 | 229.5        | 7              | 43913      | 607       | 34824     | 307          |
| 40 | 229.4        | 7              | 19270      | 809       | 27682     | 313          |
| 41 | 229.3        | 7              | 55321      | 462       | 31506     | 311          |
| 42 | 229.2        | 7              | 32696      | 671       | 33291     | 311          |
| 43 | 229.1        | 7              | 56340      | 651       | 32875     | 310          |

| 순서 | 검측위치<br>[km] | 아크지속<br>시간[ms] | 아크<br>최대크기 | 전류<br>[A] | 전압<br>[V] | 속도<br>[km/h] |
|----|--------------|----------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 44 | 229          | 7              | 20875      | 812       | 31012     | 312          |
| 45 | 228.9        | 7              | 65066      | 122       | 27600     | 308          |
| 46 | 228.7        | 7              | 25672      | 357       | 16540     | 312          |
| 47 | 228.6        | 7              | 35085      | 566       | 35616     | 310          |
| 48 | 228.5        | 7              | 40479      | 143       | 26279     | 314          |
| 49 | 228.4        | 7              | 20100      | 627       | 28188     | 312          |
| 50 | 228.3        | 7              | 55331      | 376       | 33545     | 315          |
| 51 | 228.2        | 7              | 24483      | 335       | 35865     | 310          |
| 52 | 227.8        | 7              | 39302      | 334       | 32708     | 311          |
| 53 | 227.7        | 7              | 36326      | 236       | 29015     | 315          |
| 54 | 227.6        | 7              | 56441      | 329       | 32547     | 313          |
| 55 | 227.5        | 7              | 46589      | 334       | 30508     | 309          |
| 56 | 227.4        | 7              | 12722      | 69        | 9295      | 310          |
| 57 | 227.3        | 7              | 35670      | 90        | 3182      | 316          |
| 58 | 227.2        | 7              | 64871      | 325       | 35283     | 313          |
| 59 | 227.1        | 7              | 51131      | 319       | 35698     | 311          |
| 60 | 227          | 7              | 55093      | 391       | 36031     | 316          |
| 61 | 226.9        | 7              | 56573      | 242       | 22954     | 310          |
| 62 | 226.8        | 7              | 33172      | 255       | 21332     | 316          |
| 63 | 226.7        | 7              | 26349      | 290       | 28104     | 311          |
| 64 | 226.6        | 7              | 16052      | 318       | 35038     | 315          |
| 65 | 226.5        | 7              | 41609      | 411       | 35616     | 310          |
| 66 | 226.4        | 7              | 8529       | 317       | 37530     | 316          |
| 67 | 226.3        | 7              | 45829      | 317       | 35532     | 312          |
| 68 | 226.2        | 7              | 14316      | 272       | 24615     | 309          |
| 69 | 226.1        | 7              | 18116      | 254       | 24615     | 316          |
| 70 | 226          | 7              | 43800      | 418       | 35372     | 314          |
| 71 | 225.9        | 8              | 35672      | 408       | 35698     | 310          |
| 72 | 225.8        | 7              | 45607      | 322       | 35865     | 312          |
| 73 | 225.7        | 7              | 16771      | 322       | 34206     | 312          |
| 74 | 225.6        | 7              | 39260      | 72        | 14085     | 311          |
| 75 | 225.5        | 7              | 21586      | 270       | 22787     | 312          |
| 76 | 225.4        | 7              | 44055      | 323       | 35865     | 312          |
| 77 | 225.3        | 7              | 9801       | 275       | 21372     | 312          |
| 78 | 225.2        | 7              | 45575      | 256       | 34538     | 310          |
| 79 | 225.1        | 7              | 29024      | 21        | 20109     | 312          |
| 80 | 225          | 7              | 7859       | 199       | 27849     | 312          |
| 81 | 224.9        | 7              | 27049      | 52        | 22039     | 312          |

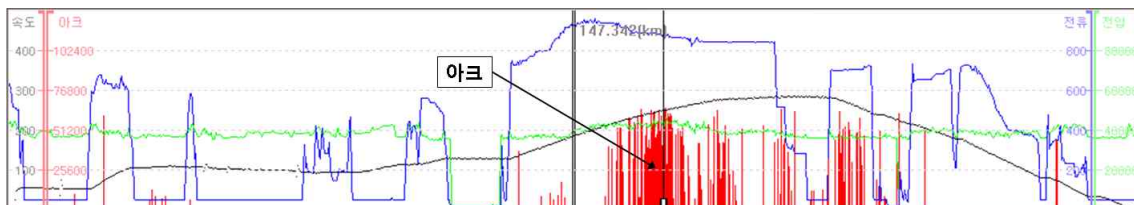
| 순서  | 검측위치<br>[km] | 아크지속<br>시간[ms] | 아크<br>최대크기 | 전류<br>[A] | 전압<br>[V] | 속도<br>[km/h] |
|-----|--------------|----------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 82  | 224.8        | 7              | 8061       | 258       | 30845     | 311          |
| 83  | 224.7        | 7              | 37599      | 32        | 21107     | 314          |
| 84  | 224.6        | 7              | 44504      | 257       | 30299     | 313          |
| 85  | 224.5        | 7              | 18748      | 263       | 29472     | 313          |
| 86  | 224.4        | 7              | 40912      | 296       | 3140      | 310          |
| 87  | 224.3        | 8              | 29681      | 391       | 21191     | 313          |
| 88  | 224.2        | 7              | 59309      | 329       | 28854     | 312          |
| 89  | 224.1        | 9              | 42163      | 320       | 28849     | 312          |
| 90  | 224          | 7              | 60282      | 226       | 4035      | 309          |
| 91  | 223.9        | 8              | 42048      | 510       | 33379     | 313          |
| 92  | 223.8        | 7              | 34953      | 425       | 33458     | 311          |
| 93  | 223.7        | 8              | 40910      | 167       | 6615      | 311          |
| 94  | 223.6        | 7              | 37665      | 159       | 22372     | 312          |
| 95  | 223.5        | 7              | 14355      | 176       | 6148      | 312          |
| 96  | 223.4        | 7              | 50052      | 320       | 33207     | 312          |
| 97  | 223.3        | 7              | 38175      | 157       | 20941     | 307          |
| 98  | 223.2        | 7              | 64893      | 278       | 23870     | 314          |
| 99  | 223.1        | 7              | 49083      | 81        | 6615      | 308          |
| 100 | 223          | 8              | 62524      | 325       | 35532     | 309          |
| 101 | 222.9        | 7              | 64922      | 308       | 33706     | 308          |
| 102 | 222.8        | 7              | 64853      | 307       | 35949     | 306          |
| 103 | 222.7        | 7              | 65448      | 354       | 31012     | 301          |
| 104 | 222.6        | 7              | 13060      | 92        | 6148      | 305          |
| 105 | 222.5        | 8              | 60286      | 211       | 25280     | 302          |
| 106 | 222.4        | 7              | 58937      | 314       | 35698     | 300          |
| 107 | 222.3        | 7              | 25468      | 343       | 33379     | 300          |
| 108 | 222.2        | 7              | 21907      | 199       | 6615      | 297          |
| 109 | 222.1        | 8              | 40051      | 477       | 26815     | 296          |
| 110 | 222          | 8              | 56521      | 549       | 30009     | 294          |
| 111 | 221.9        | 7              | 51069      | 339       | 33706     | 293          |
| 112 | 221.8        | 7              | 51262      | 539       | 28603     | 291          |
| 113 | 221.7        | 7              | 6887       | 345       | 33545     | 287          |
| 114 | 221.4        | 7              | 14564      | 256       | 9668      | 284          |
| 115 | 220.6        | 8              | 25219      | 9         | 35199     | 278          |
| 116 | 219.4        | 7              | 50196      | 278       | 2636      | 274          |
| 117 | 219.2        | 7              | 52431      | 310       | 24364     | 274          |
| 118 | 218.9        | 8              | 55162      | 232       | 32875     | 274          |
| 119 | 218.3        | 7              | 17578      | 625       | 31963     | 274          |

| 순서  | 검측위치<br>[km] | 아크지속<br>시간[ms] | 아크<br>최대크기 | 전류<br>[A] | 전압<br>[V] | 속도<br>[km/h] |
|-----|--------------|----------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 120 | 218.2        | 7              | 27339      | 365       | 25280     | 276          |
| 121 | 217.8        | 7              | 39555      | 426       | 33957     | 278          |
| 122 | 217.7        | 7              | 33467      | 579       | 28931     | 279          |
| 123 | 216.8        | 7              | 26194      | 338       | 29348     | 281          |
| 124 | 216.4        | 7              | 12280      | 231       | 7770      | 282          |
| 125 | 216.1        | 8              | 21180      | 336       | 25695     | 280          |
| 126 | 215.6        | 7              | 12509      | 298       | 4218      | 280          |
| 127 | 215.5        | 7              | 37435      | 579       | 28682     | 277          |
| 128 | 215.4        | 7              | 57243      | 337       | 28849     | 282          |
| 129 | 215.3        | 7              | 63417      | 278       | 4862      | 279          |
| 130 | 215.1        | 7              | 41309      | 545       | 29681     | 280          |
| 131 | 214.7        | 7              | 18349      | 545       | 28666     | 280          |
| 132 | 214.4        | 7              | 29278      | 338       | 29929     | 282          |
| 133 | 214.2        | 7              | 61659      | 417       | 33207     | 276          |
| 134 | 213.6        | 7              | 47771      | 111       | 7676      | 277          |
| 135 | 213.3        | 7              | 15047      | 361       | 13914     | 274          |
| 136 | 210.8        | 7              | 19612      | 362       | 23870     | 264          |
| 137 | 207          | 7              | 24565      | 813       | 30508     | 266          |
| 138 | 204.3        | 7              | 21267      | 235       | 22455     | 284          |
| 139 | 203.9        | 7              | 31311      | 240       | 17784     | 282          |
| 140 | 201.7        | 7              | 22825      | 456       | 31298     | 269          |
| 141 | 196.6        | 7              | 59297      | 724       | 32542     | 247          |
| 142 | 193.7        | 7              | 63223      | 171       | 23371     | 239          |
| 143 | 193          | 8              | 15655      | 160       | 16327     | 239          |
| 144 | 192.6        | 7              | 20463      | 291       | 31959     | 236          |
| 145 | 191.7        | 7              | 11601      | 9         | 32957     | 236          |
| 146 | 190.2        | 7              | 12486      | 9         | 35698     | 237          |
| 147 | 189.3        | 7              | 30207      | 479       | 33711     | 239          |
| 148 | 189.2        | 7              | 11089      | 677       | 34950     | 244          |
| 149 | 188.1        | 7              | 34691      | 367       | 10179     | 252          |
| 150 | 188          | 7              | 61366      | 319       | 16951     | 255          |
| 151 | 187.9        | 7              | 26240      | 453       | 32624     | 257          |
| 152 | 187.8        | 7              | 22854      | 790       | 17872     | 257          |
| 153 | 187.3        | 7              | 8594       | 339       | 4171      | 263          |
| 154 | 186.6        | 7              | 57817      | 607       | 30679     | 273          |
| 155 | 186.1        | 7              | 18981      | 651       | 33711     | 269          |
| 156 | 185.7        | 7              | 7610       | 531       | 33505     | 275          |
| 157 | 185.5        | 7              | 17239      | 833       | 30590     | 273          |

| 순서  | 검측위치<br>[km] | 아크지속<br>시간[ms] | 아크<br>최대크기 | 전류<br>[A] | 전압<br>[V] | 속도<br>[km/h] |
|-----|--------------|----------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 158 | 185.3        | 7              | 17743      | 300       | 16775     | 275          |
| 159 | 185.2        | 7              | 22507      | 151       | 25114     | 275          |
| 160 | 185.1        | 7              | 9866       | 212       | 28437     | 276          |
| 161 | 185          | 7              | 25521      | 814       | 25946     | 272          |
| 162 | 184.8        | 7              | 26609      | 621       | 35038     | 276          |
| 163 | 184.5        | 7              | 17775      | 373       | 22288     | 278          |
| 164 | 184.1        | 7              | 16575      | 14        | 32631     | 282          |
| 165 | 184          | 7              | 15413      | 10        | 35199     | 284          |
| 166 | 183.2        | 8              | 13604      | 8         | 35283     | 284          |
| 167 | 183.1        | 7              | 9723       | 9         | 35038     | 284          |
| 168 | 183          | 10             | 12424      | 10        | 34700     | 283          |
| 169 | 181.8        | 7              | 61961      | 521       | 35283     | 278          |
| 170 | 181.6        | 7              | 30735      | 347       | 29140     | 282          |
| 171 | 181.4        | 7              | 16690      | 9         | 33545     | 283          |
| 172 | 180.3        | 7              | 6979       | 8         | 34705     | 279          |
| 173 | 178.1        | 7              | 21260      | 338       | 25196     | 269          |
| 174 | 177.4        | 7              | 44094      | 351       | 17539     | 260          |
| 175 | 176.7        | 7              | 7244       | 9         | 35038     | 253          |
| 176 | 176.5        | 7              | 10096      | 9         | 35199     | 247          |
| 177 | 175.8        | 7              | 7145       | 8         | 35033     | 241          |
| 178 | 173.7        | 7              | 53703      | 339       | 34039     | 228          |
| 179 | 173.6        | 7              | 61560      | 330       | 33207     | 223          |
| 180 | 164.6        | 7              | 54140      | 267       | 34538     | 114          |

### 3) 대전 - 오송 구간

- ▶ 159.8 km ~ 124.6km 구간
- ▶ 평균속도 253km/h



| 순서 | 검측위치<br>[km] | 아크지속<br>시간[ms] | 아크<br>최대크기 | 전류<br>[A] | 전압<br>[V] | 속도<br>[km/h] |
|----|--------------|----------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 1  | 159.1        | 7              | 17979      | 401       | 14985     | 71           |
| 2  | 149.3        | 7              | 27662      | 557       | 17159     | 136          |
| 3  | 144.6        | 7              | 56286      | 865       | 18263     | 231          |
| 4  | 144.4        | 7              | 51038      | 849       | 20608     | 232          |
| 5  | 144.1        | 7              | 61798      | 809       | 15484     | 238          |
| 6  | 143.6        | 7              | 29355      | 785       | 14584     | 241          |
| 7  | 143.5        | 7              | 26045      | 185       | 26778     | 244          |
| 8  | 143.1        | 7              | 40684      | 856       | 24010     | 247          |
| 9  | 142.9        | 7              | 19427      | 322       | 12119     | 250          |
| 10 | 142.7        | 7              | 38537      | 814       | 18778     | 250          |
| 11 | 142.3        | 7              | 26832      | 833       | 24198     | 257          |
| 12 | 139.8        | 7              | 64146      | 645       | 5991      | 276          |
| 13 | 139.7        | 7              | 40043      | 630       | 4810      | 278          |
| 14 | 139.1        | 7              | 22954      | 334       | 6741      | 279          |
| 15 | 138.4        | 7              | 24098      | 339       | 3234      | 280          |
| 16 | 138.3        | 7              | 46379      | 201       | 27600     | 277          |
| 17 | 136.3        | 9              | 43571      | 809       | 27766     | 283          |
| 18 | 136.1        | 8              | 45846      | 307       | 15464     | 282          |
| 19 | 135.9        | 7              | 65270      | 504       | 32708     | 283          |
| 20 | 135.3        | 7              | 12444      | 169       | 12056     | 283          |
| 21 | 132.2        | 7              | 18466      | 341       | 30674     | 275          |
| 22 | 131.9        | 7              | 53787      | 305       | 19692     | 269          |
| 23 | 131.1        | 7              | 59304      | 327       | 13591     | 255          |
| 24 | 129.7        | 7              | 7665       | 13        | 28022     | 235          |
| 25 | 123.8        | 7              | 34708      | 307       | 24031     | 71           |