보안 과제( ), 일반 과제(✔) / 공개(✔), 비공개( )

국토교통기술촉진연구사업

제 2 차 연도 최종보고서

R&D / 18CTAP-C129828-02

안전·신뢰성 기반 고장 예지 건전성 관리기술(PHM)을 활용한 국도상 TCS 유지관리 기반 기술 연구

최종보고서

2019. 03. 25.

주관연구기관 / 아주대학교 산학협력단

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

Technology Advancement Research Program (TARP)

R&D Report

18CTAP-C129828-02

안전·신뢰성 기반 고장 예지 건전성 관리기술(PHM)을 활용한 국도상 TCS 유지관리 기반 기술 연구

최종보고서

2018

국토교통과학기술진흥원

국 토 교 통 부

2. 제출문

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'안전·신뢰성 기반 고장 예지 건전성 관리기술(PHM)을 활용한 국도상 TCS 유지관리 기반 기술 연구' (연구개발 기간 : 2017.04.01. ~ 2018.12.31.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019. 03. 25.

주관연구기관명 : 아주대학교 산학협력단 대표 오 성 근 (인)

주관연구기관책임자: 아주대학교 산학협력단 교수 장 중 순 (인)

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>18CTAP-C129828-02</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2018.01.01.
- 2018.12.31</td><td>단계구분</td><td>(2단계)/
(총 2단계)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통기술촉진사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">국토교통기술촉진사업(창의도전연구 기초원천)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">안전·신뢰성 기반 고장 예지 건전성 관리기술을 활용한 국도상 TCS 유지관리 기반 기술 연구</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">장중순</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총: 15명
내부: 15명
외부: 명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td>정부: 220,000
천원
계: 220,000
천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총: 24명
내부: 24명
외부: 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 370,000
천원
계: 370,000
천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">아주대학교 산학협력단</td><td colspan="2">참여기업명</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="4">국도상 TCS(Traffic Signal Control System)의 공공시설물 시설물 안전·유지관리기술 기반기술을 고장예지 및 건정성 관리기술(PHM: Prognostics & Health Management)을 활용한 국도상 TCS유지관리 기반기술연구
- RAMS 기반 TCS 운영 유지관리 기반기술 보고서
- TCS PHM Prototype 시스템
- IoT를 이용한 국토관리청 관할 TCS의 현장 신뢰성 모니터링 기반기술 보고서
- TCS Knowledge Matrix 기반기술 보고서
- RAMS 기반 TCS 유지관리기술 Guideline</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

4. 국문 요약문

연구의 목적 및 내용	국도상 TCS(Traffic Signal Control System)의 공공시설물 시설물 안전·유지관리기술 기반 기술을 고장예지 및 건정성 관리기술(PHM: Prognostics & Health Management)을 활용한 국도상 TCS 유지관리 기반 기술 연구 - RAMS(Reliability, Availability, Maintainability and Safety) 기반 TCS 운영기반 연구 - Big Data 기반의 TCS 고장예지 및 건전성 관리기술(PHM: Prognostics & Health Management) 기반 기술 - IoT 전용 광역 통신망(Lora LTE-M 등)을 통한 국토관리청 TCS 현장 안전·유지관리 기반 기술 - TCS Knowledge Matrix 기반 기술 DB 연구				
연구개발성과	- RAMS 기반 TCS 운영 유지관리 기반 기술 보고서 - TCS PHM Prototype 시스템 - IoT를 이용한 국토관리청 관할 TCS의 현장 신뢰성 모니터링 기반기술 보고서 - TCS Knowledge Matrix 기반 기술 보고서 - RAMS 기반 TCS 유지관리기술 Guideline				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	- 공공시설물 안전·유지관리기술 기반 기술을 고장예지 및 건정성 관리기술(PHM)을 활용한 국도상 공공시설물 TCS 유지관리 기반 기술 연구 - Big Data 기반의 Error-Code 적용 국도 TCS 유지관리 DB 공공시설물 안전·유지관리 기반 기술 확보				
핵심어 (5개 이내)	국도상TCS	고장예지 및 건전성 관리 기반 기술	내구연한	보전성, 가동성, 안전·신뢰성 기반기술	공공시설물 유지관리기반 기술

5. 영문 요약문

〈SUMMARY〉

<table>
<tr><td>Purpose & Contents</td><td colspan="5">The purpose of this research is the maintenance and management technology development for TCSs (Traffic Signal Control Systems) on the national highway which are closely related to the public safety. By applying the Prognostics & Health Management(PHM) techniques to TCSs, it is possible to predict the reliability of TCSs in real time.
- Study on TCS operation based on RAMS(Reliability, Availability, Maintainability and Safety)
- TCS failure prediction and health management (PHM: Prognostics & Health Management) technology by using Big Data
- TCS on-site safety and maintenance based on the IoT (Internet of Things) dedicated wide area network (Lora LTE-M, etc.)
- DB Research of TCS Knowledge Matrix based technology</td></tr>
<tr><td>Results</td><td colspan="5">- TCS Operation Maintenance Technical Report based on RAMS
- System of TCS PHM Prototype
- Technology report based on site reliability monitoring of TCS under the control of IoT
- Technical Report of TCS Knowledge Matrix
- TCS Maintenance Technology Guideline based on RAMS</td></tr>
<tr><td>Expected Contribution</td><td colspan="5">- Maintenance and management technology for TCSs (Traffic Signal Control Systems) on the national highway.
- TCS on-site safety and maintenance technology based on the IoT
- Error-Code of TCS based on Big Data</td></tr>
<tr><td>Keywords</td><td>Traffic Signal Control System (TCS) (i.e. TSC)</td><td>Prognostics & Health Management (PHM)</td><td>Mean Time Between Failure (MTBF)</td><td>Reliability, Availability, Maintainability, Safety (RAMS)</td><td>Failure Reporting, Analysis Corrective Action System (FRACAS)</td></tr>
</table>

6. 영문 목차

<Table of Contents>

1. The Concept of R&D for TARP[1] ----------1

2. Domestic and Oversea technical development status on Current ----------4

3. The Results of Research Contents and R&D Perfomance execution ----------18

4. R&D Target Achievement Level and to Related Contribution ----------291

5. Business Planing of R&D Results ----------295

6. Overseas Science Engineering and Technology Information Collected During the course of R&D ---303

7. Security Level of R&D Results ----------306

8. Registered Status of Concern current R&D Facilities in the NTIS[2] ---307

9. Safety Accompanying R&D execution of Results and other ----------308

10. Result R&D Achievements of R&D ----------312

11. Remarks or/and etc ----------314

12. References ----------315

1) Technology Avnancement Research Program 국토교통기술촉진연구사업(창의도전연구, 기초원천분야); 국토교통기술혁신연구
2) National Science and Technology Integrated Information System

7. 본문 목차

〈목 차〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

2. 국내외 기술 개발 현황 ····· 4

3. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 18

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 291

5. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 295

6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 303

7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 306

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황 ····· 307

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ··· 308

10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 312

11. 기타 사항 ····· 314

12. 참고 문헌 ····· 315

7. 본문 제목차례:

<제목 차례>

1. 제본 표지(앞면) ····· i

2. 제출문 ····· ii

3. 보고서 요약서 ····· iii

4. 국문 요약문 ····· iv

5. 영문 요약문 ····· v

6. 영문 목차 ····· vi

7. 본문 목차 ····· vii

- **<제목차례>** (본문 제목차례) ····· viii
- **<표목차>** ····· x v
- **<그림목차>** ····· x ix

8. 본문 ····· 1

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· 1

1. 연구개발 목적 ····· 1

가. 국도상 TSC의 내구연한 향상 ····· 1

나. 국도상 TSC의 유지관리체계 개선 ····· 1

다. 국내 국도상 TSC 표준규격 개선 ····· 1

2. 연구개발의 필요성 ····· 2

가. 지방부 도로의 교통혼잡 해결 ····· 2
나. 교차로 교통안전문제 해결 ····· 2
다. 국도상 TSC의 안정적인 시스템 요구 ····· 2
라. 국도상 TSC의 안정적인 시스템 요구 ····· 2
마. 해외규격에 비하여 60% 수준의 규격 ····· 3

3. 연구범위 ····· 3

제 2 장 국내·외 기술 개발 현황 ····· 4

1. 국내 현황 ····· 4

가. 안전·신뢰성 관련 연구 동향 ····· 4
나. 유지기술 향상을 위한 유지관리보수체계 관련 연구 동향 ····· 5
다. RAMS 관련 연구동향 ····· 6

2. 국외 현황 ····· 6

가. 신뢰성 관련 국외 연구 동향 ····· 6
나. 유지보수체계 관련 연구동향 ····· 7
다. 지방부 도로의 교통혼잡 해결 ····· 8
라. 교차로 교통안전문제 해결 ····· 9
마. 국도상 TSC의 안정적인 시스템 요구 ····· 9
바. 국도상 TSC의 안정적인 시스템 요구 ····· 9
사. 해외규격에 비하여 60% 수준의 규격 ····· 9
아. 차세대 무선통신 신호제어시스템 개발 ····· 10
자. 단거리 전용 무선 통신 기반의 WISDOM 동적 딜레마 경고 시스템 ····· 11
차. 통합제어기 ····· 11
파. 디지털제어기 ····· 12

제 3 장 연구 수행 내용 및 성과 ····· 18

1. 안전성 · 신뢰성 선행연구 및 사례조사 ····· 18

가. TCS 안전성·신뢰성 기존 연구 조사 **(2차년도 주요 연구 실적)** ····· 18

(1) TCS 안전성·신뢰성 기존 연구 결과 ····· 18

(2) EMC관련 안전성 · 신뢰성 기존 연구 조사 ····· 23

(3) 모순 검지 관련 안전성·신뢰성 기존 연구 및 국내 실태 조사 ····· 25

(4) 유지보수체계 관련 기존 연구 및 국내 실태 조사 ····· 26

(5) TCS 표준규격 기존 연구 조사 ····· 26

(6) RAMS 선행 기존 연구 조사 ····· 29

나. TCS 안전성·신뢰성 기존 연구 조사 ····· 38

(1) PHM의 정의와 필요성 ····· 38

(2) PHM의 구조 ····· 42

(3) 모니터링 방법과 대상 ····· 44

(4) 고장예측 ····· 46

(5) PHM 기술적용으로 인한 예상 기대 효과 ····· 48

2. 신뢰성 평가의 예측 범위 설정 ····· 58

가. 실제 사용 환경조건 예측 범위 설정 ····· 58

나. EMC평가 관련 예측 범위(전압 전위, 전류 등) 설정 ····· 59

(1) EMC (ElectroMagnetic Compatibility) ····· 59

(2) IEC-61000-4-2 (정전기 방전 내성 시험) ····· 60

(3) 정전기 방전 시험 발생기 ····· 61

다. 모순 검지 평가 범위 설정 ····· 63

3. 데이터 조사 및 분석 ····· 66

가. TCS 교통신호제어기의 구성고찰설계도 및 BOM 수집 및 분석 ····· 66

나. EMC 관련 부품(낙뢰피해보호기, 서지보호기) 설계도 분석 ····· 79

다. 관리주체 및 업체의 장비/장치 별 유지보수 처리 데이터 조사 ····· 83

라. TSC 모순검지방식 분석 ····· 83

(3) 시스템 장치의 모순검지 규격 및 알고리즘 분석 ····· 85
(가) 시스템 장치의 모순검지 규격 ····· 85
(나) 시스템 장치의 알고리즘 분석 ····· 86
마. 해외 TCS 교통신호제어기 표준규격 조사 ····· 87
(1) 교통신호제어기의 표준 규격 관련 해외 사례 ····· 87
(2) 교통신호제어기 국가별 환경시험 규격 비교 ····· 91
(3) 국가별 환경시험 표준 규격 비교 ····· 91
(4) 교통신호제어기(TCS) 환경시험 표준 규격의 실행내용별 고찰 ····· 93
(5) 교통신호제어기(TCS)의 국내 환경시험 규격 ····· 95
(6) 교통신호제어기(TCS) 환경시험 분석 결과 ····· 99

4. 분석/평가 예측 방법 ····· 101
가. FMEA/FMECA ····· 101
(1) 개요 ····· 101
(2) FMEA 유형 ····· 101
(3) FMEA관련 규격 ····· 102
나. 교통신호제어기 전기전자 부품 FMEA, FMECA 분석 절차 ····· 104
다. EMC 공인시험기관 평가방법 조사 ····· 133
(가) 시험레벨 ····· 135
(나) 시험 장비 ····· 136
(마) 시험 장치 ····· 141
라. 안전기반 신뢰성 유지기술 사례조사 **(2차년도 주요 연구 실적)** ····· 145
(1) RCM(Reliability Centered Maintenance) ····· 145
(2) RCM 프로세스를 수행하기 위한 최소 기준 ····· 146
(3) RCM프로젝트의 과정 ····· 147

5. 경찰청의 교통신호제어기 유지보수관리 ····· 150

6. TCS 신뢰성 평가 (2차년도 주요 연구 실적) ····· 155

가. TCS 의 신뢰도 예측 방법 ····· 155
나. TCS 의 구조분석 ····· 159
다. TCS의 신뢰성 평가 **(2차년도 주요 연구 실적)** ····· 159
라. TCS MCU 보드의 신뢰성 평가 **(2차년도 주요 연구 실적)** ····· 164
마. TCS 의 필드고장률 ····· 167

7. PHM 기반의 TCS 관리 (2차년도 주요 연구 실적) ····· 168
가. PHM 접근방법 ····· 168
나. TCS의 PHM ····· 169
다. TCS 전해캐패시터의 PHM **(2차년도 주요 연구 실적)** ····· 171
(1) TCS의 전해캐패시터 ····· 171
(2) 전해캐패시터의 고장 ····· 174
(가) 캐패시턴스(Capacitance) 감소 ····· 175
(나) ESR 증가 ····· 176
(다) 누설 전류 증가 ····· 177
(3) Swelling 이미지 기반 전해 캐패시터의 건전성 진단 ····· 178
(4) 커패시터의 열 발생 감지 고장 모드 이용 ····· 186
라. Arrestor의 PHM **(2차년도 주요 연구 실적)** ····· 189
(1) TSC 와 낙뢰 ····· 189
(2) TSC 입력단 연결용 서지 소자 PHM 열화 특성 시험 ····· 195
마. Thyristors-Triacs(LSU) PHM **(2차년도 주요 연구 실적)** ····· 227
(1) TSC 부하스위치 기능 ····· 227
(가) 점멸기(FLASHERS) 부하스위치 TRIACs 부품특성 ····· 227
(나) 신호등제어 부하스위치 SSR(LSU, 출력 부하스위치용) TRIACs 부품 ····· 229
(다) LSU(SSR) 출력 전기적 특성 ····· 231
(2) 검토 및 예비시험 ····· 232
(3) 누설전류 측정시험 ····· 233
(4) TRIACs 서지내력 특성 ····· 233
(5) 공인기관 테스트 결과 ····· 234

바. TCS PHM의 통합 방안 ····· 235
사. 기존 기술과의 차별성 및 개발 시스템의 정량적인 경제성 분석 ····· 236

8. TSC 의 FRACAS **(2차년도 주요 연구 실적)** ····· 238
가. 현황 ····· 238
(1) FRACAS 구축 방향 ····· 242
(2) 개발 FRACAS ····· 243
(3) 운용 FRACAS ····· 248
나. TSC FRACAS 보완방향 ····· 248
다. Knowledge Matrix 기반 TSC 관리 ····· 249

9. 포터블 TCS 현장 신뢰성 평가 장치(H/W 및 S/W) 기능 요구사항 ····· 251
가. 포터블 TCS 현장 신뢰성 평가 장치의 기능 및 요구사항 ····· 251
(1) Eagle사의 NEMA TS-2 Tester for TS-2 controllers ····· 251
(2) TCS의 오류코드 ····· 251
(3) 국가별 TCS 안전 규격 비교 ····· 256
나. IoT기반의 TCS 포터블 신뢰성 평가장치 **(2차년도 주요 연구 실적)** ····· 258
다. 실시간 감시를 통한 교통신호제어기의 열화 감지 프로그램 **(2차년도 주요 연구 실적)** ···· 267
라. TCS Monitor ····· 269
마. 교통신호제어기 고장 이력 관리 프로그램 **(2차년도 주요 연구 실적)** ····· 270

10. 1차년도 연구 실적 ····· 272
가. 논문 실적 ····· 272
나. 특허 실적 ····· 273

11. 2차년도 연구 실적 ····· 274
가. 신뢰성예측표준 규격 기반 교통신호제어기 신뢰성예측 ····· 274
나. System trajectory 기반 교통신호제어기 유지보수 방법 ····· 276

다. 시뮬레이션 기반 교차로 감응 신호 시스템 실시간 감시 방법 ····· 277
라. 딥러닝 (Deep Learning) 기반 교통신호제어기 수명예측방안 솔루션 ····· 278
마. Knowledge Matrix 기반 교통신호제어기 기술 DB 연구 ····· 283
(1) 교통신호제어기 기술동향 조사 ····· 283
(2) 특허 기술동향 ····· 284

제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 291

1. 목표 달성도 ····· 291

2. 관련 분야 기여도 ····· 292

제 5 장 연구개발성과의 활용 계획 ····· 295

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 303

제 7 장 연구개발성과의 보안등급 ····· 306

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구 시설 · 장비 현황 ····· 307

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 308

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 312

제 11 장 기타 사항 ····· 314

제 12 장 참고 문헌 ····· 315

<표 차례>

표 1 공공인프라 시설물 등 전기·전자장치 안전·신뢰성 국내 동향 ····· 5
표 2 신뢰성 향상 기술 관련 국외 기술 동향 ····· 7
표 3 AMS 관련 연구 동향 ····· 8
표 4 TSC교통신호제어기의 초기고장 발생 데이터 분석 내용 ····· 18
표 5 교통신호등과 교통신호제어기 내구연한 ····· 19
표 6 교통신호제어기의 고장정보 데이터 ····· 21
표 7 국가별 교통신호제어기 모순검지 특성 분석 ····· 25
표 8 국가별 TCS 표준규격 ····· 27
표 9 교통신호제어기의 국가별 환경시험 규격 비교 ····· 27
표 10 TSC 함체 평가 ····· 29
표 11 개발단계별 신뢰도 분석 범위 ····· 31
표 12 정비업무 용어 구분 ····· 31
표 13 CBM 설비 진단 기술 ····· 40
표 14 전자부품의 고장전조증상 ····· 45
표 15 고장전조증상의 모니터링 ····· 45
표 16 사용환경 부하 모니터링 ····· 46
표 17 FRACAS 고장보고 양식 사례 ····· 53
표 18 고장보고서 양식 사례 ····· 53
표 19 교통신호제어기의 환경시험 국가별 표준 규격 비교 ····· 58
표 20 MIL 표준규격 온습도 범위 ····· 59
표 21 IEC 61000-4의 세부 항목 ····· 60
표 22 시험 레벨 ····· 61
표 23 정전기방전 시험 발생기의 특성과 성능 ····· 62
표 24 정전기 방전 시험을 위한 시험기기 ····· 63
표 25 교통신호제어기의 제어방식별 규격 적용 범위 ····· 68
표 26 교통신호제어기 MCU1 내 CPU 보드 ····· 69
표 27 교통신호제어기 MCU2 내 CPU 보드 ····· 73

표 28 교통신호제어기 MCU 내 모뎀 보드 ····· 74
표 29 교통신호제어기 MCU 내 운영자입력장치(MMI) 보드 ····· 75
표 30 교통신호제어기 MCU 내 VME 백플랜 보드 ····· 76
표 31 교통신호제어기 MCU 내 직류전원공급장치 ····· 77
표 32 국내 공급 기업별 주제어부 구성품에 설계 개발에 적용한 구성품 비교 요약 ····· 78
표 33 교통신호제어기용 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor) 연결 사용 규격 ····· 79
표 34 TCS 교통신호제어기 구성기능 별 낙뢰 보호 장치의 규격 내용 요약(Ver. 04 기준) ·· 81
표 35 교통신호제어기용 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor) 부품 규격(04Ver./ 10Ver. 동일함) ····· 82
표 36 국가별 교통신호제어기 고장상황 클래스별 교통신호 운영 분석 평가 ····· 84
표 37 국내 교통신호제어기의 제품규결 별 형식의 변경 히스토리 ····· 88
표 38 교통신호제어기의 환경시험 국가별 표준 규격 비교 ····· 92
표 39 교통신호제어기의 국가 별 환경시험 규격 비교 ····· 93
표 40 교통신호제어기 MCU 환경시험 스트레스 세부 조건 ····· 96
표 41 교통신호제어기 MCU 환경시험 스트레스 세부 조건 ····· 98
표 42 기존의 FMEA, FMECA 관련 규격 ····· 102
표 43 P-302-720 규격에 의한 치명도 평가방법, NASA, 미국 ····· 114
표 44 치명도 평가 기준 ····· 115
표 45 ECSS-Q-ST-30-20C 규격에서 치명도 점수 ····· 116
표 46 고장평점법(CS)의 평가 인자 ····· 116
표 47 고장평점법(CS) 산출방법 및 고장등급 ····· 117
표 48 치명도평점법(CE) 산출방법 및 고장등급 ····· 117
표 49 고장평점법(CS)과 치명도평점법(CE)에 의한 고장 등급과 대책 ····· 117
표 50 고장영향의 중요도(S)와 고장의 발생도(O) 그리고 고장의 검출도(D) ····· 119
표 51 기존 규격에서 제안한 치명도 평가인자 ····· 121
표 52 고장영향의 중요도에 대한 평가 기준 ····· 122
표 53 고장영향의 중요도에 대한 평가 기준 ····· 122
표 54 치명도 등급 ····· 123
표 55 치명도 등급 결정 기준 ····· 124
표 56 치명도 등급에 따른 설계 개선 방향 ····· 125
표 57 신뢰성 예측 절차 ····· 126

표 58 전자기 장해 전달 경로 ····· 134
표 59 일반적인 시험레벨 ····· 135
표 60 디지털 무선 전화의 RF 방출 시험 레벨 범위 ····· 136
표 61 등기구동장치 전면판 표시등 기능 ····· 154
표 62 CPU의 Failure rate와 MTBF ····· 160
표 63 MCU MB1의 Failure rate와 MTBF ····· 160
표 64 MCU MB2의 Failure rate와 MTBF ····· 161
표 65 SCU MB V1의 Failure rate와 MTBF ····· 161
표 66 MMI의 Failure rate와 MTBF ····· 162
표 67 FLASH_V1의 Failure rate와 MTBF ····· 162
표 68 SCU의 Failure rate와 MTBF ····· 163
표 69 GLSU 4C의 Failure rate와 MTBF ····· 163
표 70 고장률 종합 표 ····· 163
표 71 TSC 고장률 ····· 164
표 72 TSC1 고장률예측 ····· 165
표 73 TSC2 고장률 예측 ····· 166
표 74 TCS내 고장 발생부분과 특성분석 ····· 170
표 75 TSC용 직류전원공급장치 내 대용량 전해캐패시터 (04Ver./ 10Ver. 동일함) ····· 172
표 76 열화된 커패시터의 용량과 Swelling된 높이 ····· 182
표 77 TCS 교통신호제어기 구성기능 별 낙뢰 보호 장치의 규격 내용 요약 ····· 189
표 78 TSC 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor) 부품 규격(04Ver./ 10Ver. 동일함) ····· 191
표 79 TSC 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor) 연결 사용 규격 ····· 192
표 80 실험결과 ····· 203
표 81 피뢰기 SPD 관련 규격 내용 및 동향 ····· 210
표 82 서지 크기별 서지투여인가 횟수 ····· 221
표 83 점멸 고장 발생 ····· 238
표 84 전원이상 발생 ····· 238
표 85 교통신호제어기 고장 발생 ····· 239
표 86 개발 고장보고서와 DB ····· 244
표 87 개발 고장분석 보고서와 DB ····· 245

표 88 개발 시정조치 보고서 DB 항목 ····· 246
표 89 개발 FRB 보고서 DB ····· 246
표 90 운용 FRACAS 고장 보고서 양식 ····· 247
표 91 운용 FRACAS 고장분석 보고서 양식 ····· 248
표 92 Knowledge Matrix ····· 249
표 93 TR2500A내 Fault code - BS EN 12675 ····· 252
표 94 국가별 안전 기반 규격 Error Code 비교 ····· 256
표 95 IoT 기반 TCS 포터블 신뢰성 평가장치 프로토콜 목록 ····· 260
표 96 IoT Device CPU 및 모뎀 사양 ····· 263
표 97 교통신호제어기의 기술 분류 항목 표 ····· 282
표 98 유효데이터 요약 ····· 283
표 99 본 연구개발성과의 활용계획 내용 요약 <표> ····· 295

<그림 차례>

그림 1 현 교통신호제어기와의 디지털제어기 비교 ····· 14
그림 2 교통신호제어기 사용수명 - 서울 동대문구권역/강동구권역 ····· 20
그림 3 교통신호제어기 사용 수명 분석 ····· 20
그림 4 교통신호제어기의 고장정보 데이터 ····· 21
그림 5 교통신호제어기 내구연한 이전 녹 발생 상태 ····· 22
그림 6 교통신호제어기의 국가별 환경시험 규격 도표 ····· 28
그림 7 신뢰도 할당 절차 ····· 30
그림 8 정비도 분석 절차 ····· 32
그림 9 신뢰성 예측 관련 DoD 표준 규격 및 방법 툴 변천 History SUMMARY ····· 35
그림 10 설계 및 정비기술의 발전 ····· 41
그림 11 CALCE 의 PHM 프레임웍 ····· 42
그림 12 Sandia 연구소의 PHM 프레임 아키텍처 ····· 43
그림 13 CALCE 의 PHM 구조 ····· 44
그림 14 건전성 평가 ····· 47
그림 15 SEMATECH FARACAS 절차 ····· 49
그림 16 RIAC 의 FRACAS 절차 ····· 50
그림 17 FRACAS 시스템과 FRB ····· 55
그림 18 정전기 방전 발생기의 간단한 회로도 ····· 62
그림 19 TSC 교통신호제어기 시스템 기능 구성도 ····· 67
그림 20 교통신호제어기(TCS)의 변경 히스토리 특성 분석 ····· 70
그림 21 해외 TSC 제품 구성 내용 ····· 71
그림 22 표준교통신호제어기 시스템 구성 및 기능 개요 ····· 72
그림 23 국도상 교통신호제어기와 해안지역 교통신호제어기의 부식 ····· 95
그림 24 환경 온·습도반복시험 구성도 ····· 96
그림 25 교통신호제어기TSC 환경시험 진행순서 Profile ····· 98
그림 26 환경사이클 결합형방법의 환경신뢰성시험 프로파일 ····· 100

그림 27 규격에 의한 FMEA 전개방법 ····· 104
그림 28 ECA 실시절차 ····· 105
그림 29 부품 또는 원자재 수준에서의 고장모드와 고장메커니즘 예측 절차 ····· 106
그림 30 부품 또는 원자재 수준에서의 FMECA 실시절차 ····· 107
그림 31 아이템 분석 단계 실시 절차 ····· 108
그림 32 FMEA 작성 양식, MIL-STD-1629A, DOD, 미국. ····· 111
그림 33 치명도 평가 작성 양식, MIL-STD-1629A, DOD, 미국. ····· 112
그림 34 DMEA 작성 양식, MIL-STD-1629A, DOD, 미국. ····· 113
그림 35 FMEA 작성 양식, P-302-720, NASA, 미국. ····· 113
그림 36 P-302-720 규격에 의한 치명도 평가에 의한 FMEA 실시사례, NASA미국 ····· 115
그림 37 제안된 치명도 평가절차 ····· 120
그림 38 부품 수준에서의 고장률 데이터 혼합 절차 ····· 127
그림 39 00궤도장비에 탑재된 동체조립체의 신뢰성 모델링 일부 ····· 128
그림 40 MIL-HDBK-217F 적용시의 산출 신뢰도 값과 필드 데이터 비교 ····· 128
그림 41 00궤도장비의 스위치 설계정보 ····· 132
그림 42 전자기 장해의 전달 경로 ····· 133
그림 43 신호발생기의 출력에서 발생하는 시험레벨과 파형의 정의 ····· 135
그림 44 적절한 시험 설비의 예 ····· 138
그림 45 필드의 눈금조정 ····· 138
그림 46 필드의 눈금조정, 균일 영역의 치수 ····· 140
그림 47 탁상용 장비의 시험장치 예 ····· 142
그림 48 바닥 설치용 장비에 대한 시험장치 예 ····· 143
그림 49 Components of RCM ····· 147
그림 50 Main Process of RCM ····· 148
그림 51 RCM step 6. Logic Tree ····· 149
그림 52 등기구동장치 기판 및 전면판 규격 ····· 153
그림 53 교통신호제어기(TCS) 시스템 구성도 ····· 159
그림 54 TCS의 필드고장 분포 ····· 167
그림 55 온·습도 환경시험 PROFILE - 국내규격, NEMA TS-1 규격 동일함 ····· 172
그림 56 전해 커패시터의 구조 ····· 174

그림 57 ESR의 변화와 커패시터의 수명과의 관계 곡선 ····· 176
그림 58 시간에 따른 ESR값의 변화와 전해 캐패시터의 용량 변화. ····· 176
그림 59 온도 변화에 따른 전해 캐패시터의 ESR과 용량 변화 ····· 177
그림 60 전해캐패시터 경년변화별 누설전류 ····· 178
그림 61 이진화 작업 전후의 캐패시터 이미지 ····· 179
그림 62 카메라 각도 계산 ····· 180
그림 63 Swelling 정도 계산 ····· 180
그림 64 6단계로 열화 시킨 커패시터 ····· 181
그림 65 Swelling된 커패시터 ····· 182
그림 66 커패시터의 용량과 높이 그래프 ····· 183
그림 67 커패시턴스-높이 회귀 ····· 184
그림 68 ExpDec1 모델의 상수에 대한 설명 ····· 184
그림 69 커패시턴스-높이 관계 그래프 ····· 185
그림 70 시료(커패시터) ····· 186
그림 71 커패시터에 인가한 Ripple Current ····· 186
그림 72 열화 중인 커패시터 ····· 187
그림 73 동작전압을 인가한 커패시터의 온도(열화상 카메라) ····· 187
그림 74 고성능 열화카메라로 관찰한 열화 시킨 커패시터 ····· 187
그림 75 교통신호제어기의 뢰임펄스시뮬레이션 시험 ····· 193
그림 76 뢰임펄스서지뮬레이션 전압 서지 1.2×50μSec, 5000V 테스트 조건 ····· 194
그림 77 뢰임펄스서지 시뮬레이션 전류 서지 시험조건 8×20μSec, 3KA를 부가하여 시험 ·· 195
그림 78 교통안전공사 규정 ····· 199
그림 79 SURGE 연결 ····· 200
그림 80 시험 전체 환경 ····· 200
그림 81 낙뢰 제어기 ····· 201
그림 82 스코프 ····· 201
그림 83 스코프 그래프 설명 (한 칸 당 200V) ····· 202
그림 84 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트 ····· 205
그림 85 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트 및 모니터링 ····· 206
그림 86 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트-SPD로거기능 ····· 207

그림 87 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트-전용장치 ····· 208
그림 88 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트-정/부 극성별 서지인가 테스트 ····· 209
그림 89 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트-서지내력 ····· 211
그림 90 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트- 대체안 제품 검토 ····· 212
그림 91 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트- 보완설계후, 테스트 검증 ····· 213
그림 92 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트-테스트 전용장비 제원 ···· 215
그림 93 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트-분리기전기안전기준 적합성 테스트 ···· 215
그림 94 SPD 로거기능, EPCOS 특성 그래프 특성 분석 데이터 열화특성-SPD Varistors의 열화/교체시점 ·· 217
그림 95 서지크기와 서지투여인가 횟수 ····· 221
그림 96 포아송과정과 지수분포의 관계 ····· 224
그림 97 SPD와 PC 연결 ····· 225
그림 98 SPD 연결시 데이터 전송 프로그램 ····· 225
그림 99 SDP 데이터 전송 프로그램 (데이터 전송 예시) ····· 226
그림 100 SDP 데이터 전송 프로그램 (데이터 그래프) ····· 226
그림 101 점멸기(FLASHERS) 기판 및 전면판 규격 ····· 227
그림 102 Voltage Current Characteristic of Triacs (Bidirectional Device) ····· 228
그림 103 등기구동장치(LSU by TRIACs) 기판 및 전면판 규격 ····· 229
그림 104 Normalied Rth(j-c) evolution during power cycling tests – TRIACs of TSC LSU ····· 230
그림 105 공인시험성적서–LSU(SSR) TRIACs 서지전류 전기안전성 특성 시험결과 ····· 234
그림 106 PHM 통합 구축 방향 ····· 235
그림 107 유지보수 관리데이터 정보공개 레터 – 아주대학교 총장 명의 발송 ····· 237
그림 108 6단계의 시험평가 프로세스 ····· 242
그림 109 고장보고(FR) 단계로써의 시험평가 제3단계(시험 단계) ····· 243
그림 110 포터블 TSC 현장테스터장치 NEMA TS-2 Tester for TS-2 controllers ····· 250
그림 111 HW(하드웨어) 모순검지 처리 절차 ····· 253
그림 112 SW(소프트웨어) 모순검지 처리 절차 ····· 254
그림 113 모순검지 시 해제 처리 절차 ····· 255
그림 114 모순검지(Conflict Monitoring) 초기화 절차 ····· 255
그림 115 교통신호제어기 ····· 257

그림 116 IoT TCS 시스템 구성도 ····· 259
그림 117 IoT통신장치 인터페이스 구성 ····· 259
그림 118 IoT 통신모듈 인터페이스 상세 ····· 264
그림 119 IoT 기능보드 회로도 ····· 265
그림 120 포터블 통신모듈 구성도 ····· 266
그림 121 PC와 IoT 통신 단말기 ····· 266
그림 122 교통신호제어기와 IoT 통신 중인 PC ····· 267
그림 123 교통신호제어기 열화 감지 프로그램 구성도 ····· 267
그림 124 TCS Connecter ····· 268
그림 125 TCS Monitor ····· 268
그림 126 교차로 운영 시그널 맵 ····· 269
그림 127 교차로 운영 현시일일자료 ····· 269
그림 128 고장이력관리 프로그램 - 조회 ····· 270
그림 129 고장이력관리 프로그램 - 입력 ····· 270
그림 130 복합구성품의 신뢰성 모델링 방법 ····· 271
그림 131 RAMS TOOLs ····· 271
그림 132 복합 구성품에 대하여 NHPP 모델을 이용한 신뢰성 성장관리 ····· 272
그림 133 복합구성품 모델링과 생산 시스템 스케쥴링의 컨셉 ····· 272
그림 134 신뢰성 예측을 통한 TSC 기능 PCB Board 잔여수명(RUL) 평가 절차 ····· 273
그림 135 Life consumption 기반 잔여수명 예측기법 ····· 274
그림 136 교통신호제어기의 통신주기 비교 ····· 275
그림 137 Monitoring system architecture of a traffic signal controller ····· 276
그림 138 DEVS atomic model - State diagram ····· 277
그림 139 DEVS atomic model - Formal description ····· 277
그림 140 머신러닝의 구성 분야 ····· 278
그림 141 교통신호제어기 운용 환경별 수명예측을 위한 딥러닝 모델 개념도 ····· 278
그림 142 TSC 수명예측을 위한 딥러닝 모델 ····· 279
그림 143 정기보수 기간 그래프 ····· 281
그림 144 딥러닝 프로그램 ····· 281
그림 145 전체 특허 동향 그래프 ····· 284

그림 146 논문 연구 동향 ····· 286
그림 147 해결과제에 대한 해결수단 ····· 287
그림 148 교통신호제어기의 특허 매트릭스 ····· 288

8. 본문

제 1 장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

가. 국도상 TSC의 내구연한 향상

- 현장에서 운영하고자하는 교차로에 최초로 신제품을 설치하여 운영을 시작한 시점에서 수명을 다하여 교체가 되는 시기까지의 사용 기간을 늘리고 또한 MTBF를 증가시켜 국도상 TSC의 신뢰성을 높임.
- 부품 단위로 현재 설계상에서 실제 사용 환경 조건(온도, 습도 등)에 견디는 것에 적절한지 분석 후 부품 개선을 통해 국도상 TSC의 신뢰성을 높이는 것을 목표로 함.

나. 국도상 TSC의 유지관리체계 개선

- 고장 및 수리 이력을 수집하여 데이터베이스화하는 S/W를 기반으로 포터블 TSC 현장 신뢰성 평가 장치를 이용하여 현장에서 사용 중인 국도상 TSC의 신뢰성을 평가.
- 오류 및 고장을 코드 화하여 유지관리하는 SOC 유지관리기술을 기반으로 국도상 TSC의 유지관리체계를 개선하여 MTBF를 증가시킬 수 있도록 관리.
- 발생한 고장을 보고하고 고장을 분석하고 필요한 수리 작업 및 사후조치 등을 데이터베이스화하며 데이터베이스상의 국도상 TSC의 고장의 유발 원인 및 고장 수리 방법을 이용하여 향후에 다루어질 업무들과 연계시키는 FRACAS를 구축.

다. 국내 국도상 TSC 표준규격 개선

- 현재 국내의 국도상 TSC 표준규격은 유럽·미국·일본 등의 선진국에서 사용하고 있는 표준 규격에 비하여 신뢰성 수준의 60%밖에 되지 않으며 이는 국내의 국도상 TSC의 내구연한이 해외에 비해 짧은 기간을 가지는 원인임.
- 국내에서 사용하고 있는 표준 규격은 존재하고 있으나 이 마저도 제품의 개발 설계 단계에서 신뢰성 설계는 적용하지 않고 있으며 신뢰성 예측을 통한 내구연한 산출 적용을 하

지 않고 공인기관에서 샘플수량 일부만을 시험을 하여 통과하면 공급 납품 수량 전체 물량이 적합으로 판정하는 규정 및 제도를 시행하고 있기에 문제점이 많은 실태.

2. 연구개발의 필요성

가. 지방부 도로의 교통혼잡 해결

- TSC의 안전·신뢰성 향상은 교통소통 증진과 안전성 향상을 가능하게 할 것임. 교통혼잡은 대표적인 도시문제로 거론되어 왔으며 최근 지방부 도로의 교통 혼잡도는 심각한 수준임. 이러한 문제를 해결하기 위해 TSC의 고급화 필요.

나. 교차로 교통안전문제 해결

- 교차로의 사고건수는 계속 증가하여 총 사고건수에 대한 비율이 증가하고 있으며 이는 교차로의 교통안전문제가 심각하다는 것을 보여주고 있음. 차량이 고속 으로 질주하는 지방부 교차로에서의 TSC의 고장 및 오작동은 특히 심각한 교통안전문제로 대두되고 있으며 이러한 문제를 해결하기 위해 TSC의 안전・신뢰성 향상에 대한 연구가 필요.[3)]

다. 국도상 TSC의 안정적인 시스템 요구

- 국도상 TSC는 컴퓨팅 기술 및 정보통신기술을 근간으로 하고 있을 뿐만 아니라 시스템 내부는 전기·전자부품 수준에서 구성되는 전자구성품 단위 부품 모듈 및 다양한 개별 전기·전자부품의 단위조립으로 구성되어진 전자장치로서 개발 설계단계에서 요구되는 신뢰성 수준으로 안정적인 시스템의 작동이 될 수 있도록 해야하는 등의 내구연한에 대한 연구가 필요.

라. 국도상 TSC의 안정적인 시스템 요구

- 국내 공공 교통부문 시설물 중, TSC의 주제어부는 개발 설계 단계에서의 신뢰성 높은 수준으로 교통관제센터와의 온라인 실시간통신으로 원격제어의 운영모드에서 시스템 운영

3) 전체 교통사고 사망자 4,185명 중 보행 사망자 1,675명 (40%)로 이 중 고령 보행 사망자는 906명 (54%); 국내 대표적 해당 지역이 서울 청량리 종합시장, 부산 부전 상가시장 외 1곳에서 고령 보행자 사망자가 323건 발행하였음. - 동아일보 2018.09.12.자.A14면.; 특히 국내의 경우에는 고령 사회로 진입하는 단계에 있어서, 도심과 농촌을 함께 경유하는 지역이 적지 않은 국내의 경우 국도상에서 보행 사망자, 논경을 위한 이동 수단 이용 시 발생 사고 등이 있어서, 이는 교통 사고 발생이 사회안전기반을 국도 TSC의 안전신뢰성 기반으로 보다 더 구체화 연구가 필요함

과 현장에서의 교통상황 정보데이터를 차량검지기로 수집된 교통정보데이터를 TSC에서 센터로 온라인 데이터전송 및 현장에서의 교통신호 알고리즘을 실행하는 기능을 하는 부분이어서 개발 단계에서부터 신뢰성 기반의 설계 적용을 필요로 하며, 유지보수정비 단계에서 신뢰성 기반의 시설관리가 필요.

마. 해외규격에 비하여 60% 수준의 규격

- 현재 국내에서 사용하는 규격 및 표준은 신뢰성 측면에서 미국, 유럽, 일본 등의 선진국 규격에 대비하여 60%이내의 수준의 규격 및 표준을 사용하고 있는 현실이며 신뢰성이 부족한 규격으로 인하여 해외의 TSC에 대비하여 국내의 국도상 TSC는 내구연한과 MTBF(Mean Time Between Failure)가 짧음. 국도상 TSC의 규격 및 표준의 개정은 국도상 TSC의 신뢰성을 높이기 위해 반드시 필요한 연구.

3. 연구범위

- 안전성 · 신뢰성 선행연구 및 사례조사
- 신뢰성 평가의 예측 범위 설정
- 데이터 조사 및 분석
- 분석/평가 예측 방법 조사
- 포터블 TCS 현장 신뢰성 평가 장치 (H/W 및 S/W) 기능 요구사항 결정

제 2 장 국내·외 기술 개발 현황

1. 국내 현황

가. 안전·신뢰성 관련 연구 동향

- 전기·전자장치와 관련하여 생산 제조 공정의 품질 신뢰성 향상을 위한 연구 진행을 RAMS 및 안전무결성(SIL)을 요구하는 보다 구체적이고 체계적이며 검증가능한 방향으로 변화하여 인프라 공공시설 유지기술의 책임성을 강화하는 방안으로 가추어 가는 추세에 있음
- 1990년대 말부터 2000년대 초에 철도교통시스템의 고속철도시스템의 도입 등을 계기로 철도교통시스템의 안전·신뢰성 기반에 관련한 학술논문이 점증적 증가를 이루어 오며 2000년대 중·후반부터 고속철도차량시스템의 차상장치, 지상장치, 토목 건설부분, 차량전동장치 분야 등 신뢰성 관련하여 학술논문이 증가하고 있음
- 안전무결성(SIL4 Level)수준을 갖추어야 입찰 참여조건으로 부여할 뿐 아니라 사후 유지기술 향상 방안으로 RAMS, 안전무결성(SIL4), 및 기능안전성 보장을 위한 안전기반 신뢰성 사전·사후 확보 차원의 기술력으로 보장할 수 있도록 하는 사회 안전 측면과 더불어 확고한 안전·신뢰성 향상 기술을 증대하여 가는 사회적 요구 충족 조건을 시스템적으로 확산일로에 있음
- 철도교통시스템 부분의 학위논문 관련하여 경전철 무인화 운영을 중심으로 안전기반 신뢰성을 핵심키워드의 내용으로 학술활동, 수요 발주기관 별 안전·신뢰성 확보를 위한 구체적이고 첨단기술성을 활용하는 사회적 분위가 확산하여 가능 추세에 있음

- 미국, 유럽 등 선진국의 경우 국제규격 IEC, EN 등은 1995년 드레스텐 기술협약과 TBT 국제 기술협약에 따른 기능안전·신뢰성 및 안전무결성(SIL4) 표준규격의 진일보한 제개정을 2000년초부터 한층 더 가속을 가지고 가는 것은 물론이고 이를 실제 설계 개발, 생산품질 보장, 현장 설치 운영을 포함하는 일련의 유지기술 측면에서 표준규격에 준거하여 이를 이행하는 준거 확보를 이루는 데 포괄적이고 첨단 기술적이며, 기능안전과 사회안전을 견지할 수 있도록 하는 해결가능한 검토, 검증 및 입증 솔루션을 제시하는 구체적 내

용으로 보다 더 강화하여 확산중에 있음

표 1 공공인프라 시설물 등 전기·전자장치 안전・신뢰성 국내 동향

제목	저자	내용
철도 RAMS의 적용에 관한 고찰	김종기 외 2인 (2002)	- RAMS 표준규격 IEC 62278에 관한 CENELEC(유럽전자기술표준화위원회) EN 50126 표준이 IEC 표준으로 됨에 따른 변화와 향후 준비 방안 등 표준규격 동향과 향후 활용 전개 전망 추이를 구체적으로 논한 내용임
무인운전 도시철도 시스템의 신뢰성 정보관리체계 연구	한석윤 (2006)	- 무인운전 고무차륜 AGT 시스템 신뢰성 정보관리시스템 제시 - 고무차륜 AGT시스템 신뢰성 시험평가
신뢰도 향상을 위한 부품배치 최적화 연구	김주년 (2007)	- 전기·전자부품의 열이 신뢰성 및 수명에 미치는 영향 평가분석 연구 - PCB기판내 전기·전자부품의 부품 배치의 최적화를 통한 신뢰성 향상을 위한 절차와 방법 연구
신뢰성 보증시스템에 관한 연구	김동철 (2007)	- 신뢰성 보증시스템 IEC 60300 인증 절차 및 필요성 관련의 연구 - 신뢰성 보증시스템과 기존의 대표 사례 ISO9000 인증시스템과 비교 분석 평가를 통한 신뢰성 보증시스템 인증을 위한 방법 연구
차상신호시스템 (ERTMS/ETCS Level1.) 적용에 따른 품질보증 및 안전성 평가 활동 연구	심규돈 (2011)	- 안전・신뢰성 시험 및 수명주기를 품질보증체계 EN 50126권고의 설계단계에서 수행된 시스템의 위험원인 도출의 저감대책(Mitigation Measure) 연구[4]

나. 유지기술 향상을 위한 유지관리보수체계 관련 연구 동향

- 도시철도시스템이 대중교통수단으로서 안전・신뢰성 기반의 수송능력을 확보하기 위해 모든 서브 시스템들이 항상 정상적으로 작동하는 것이 중요.
- 도시철도의 체계적인 유지보수를 위하여 표준화해야 할 주요한 항목과 표준화 방안에 대하여 제시하며 IT 기반 정보화시스템을 차량분야와 시설물 분야로 나

4) EN50126은 철도시스템 RAMS이며, IEC 62278 표준 규격임; Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS); (to refer EN 50126), First edituon, 2002-09

누어 구현방안을 제시하는 연구.

다. RAMS 관련 연구동향

- 철도시스템의 경우 국제규격에서 요구되는 신뢰성, 안전성 등을 포함하여 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, and Safety) 관련의 연구 논문이 무인 경량전철시스템이 국내에 보급되기 시작하는 시점과 연계되어 있는 등 사회적으로 요청받고 있는 시스템에 해당하며, 따라서 신뢰성 및 안정성의 핵심적 요소를 과학기술을 이용하여 분석 평가하는 프로세스 및 방법 관련의 연구 등이 2010년을 전·후로 해서 다소 활발하게 이어지고 있음.

2. 국외 현황

가. 신뢰성 관련 국외 연구 동향

- 유럽 표준 규격 제정을 비롯하여 미국 국방부의 표준 규격 등을 중심으로 1960년대 초부터 활발한 발전하였으며 1990년 초·중반을 계기로 전반적인 산업분야에 상당한 영향력을 가지고 국제 표준 규격 내용을 국내 규격으로 도입 적용하는 단계에 이르고 있다.[5)]
- 페일세이프, 풀푸르프, 기능안전요구조건에 상시 모니터링 및 고장예측·방지(HW 및 SW, 프로세스 전반 및 Lifetime 예측 기간 내) 기술을 기반으로 한 높은 신뢰성과 안전성을 제공하는 철도신호제어(Railway Signal Control Systems by Computerizing) 시그널링 시스템 연구는 고속철도 도입에 따른 안전신뢰성 기반으로 보다 더 강화하여 일상화 실시간화 수준 레벨에 이르고 있다.

5) TBT 협정에 따른 IEC 규격들은 KS 표준 규격 내용으로 표준 규격 번호와 내용을 사용하고 있음을 알 수 있음. 예, KS C IEC 61643-11: SPD(Surge Protective Device) Standard of IEC

표 2 신뢰성 향상 기술 관련 국외 기술 동향

제목	저자	내용
Reliability and safety analysis of fault tolerant and fail safe node for use in a railway signaling system	Vinod Chandra (1997)	- 교통 신호 시스템의 네트워크에 사용하는 트랜스퓨터 기반의 페일세이프 및 고장 방지노드를 위한 마르코프 신뢰도 모델을 제안
Reliability evaluations of railway power supplies by fault-tree analysis	S.K. Chen (2007)	- 정량적평가를 통하여 개별적 성분의 신뢰성을 전체적인 시스템 신뢰도로 통합시키며 최소 컷 셋방법과 감도분석에 의해 핵심 구성 요소 확인 - FTA를 이용한 교통 전원 시스템의 신뢰성 평가 제공 및 전반적인 신뢰성에 대한 유지 보수 작업의 영향을 연구
Reliability analysis of maintenance operations for railway tracks	N. Rhayma (2013)	- 철도의 동작을 분석하는 새로운 방법 제시 - 신뢰성 분석을 기반으로 교통 망 최고 유지 방법을 관리자에게 제공하기 위한 새로운 방법을 제시 - 교통망의 문제에 적합한 다른 유지 보수 방법의 신뢰도 분석 제안
도로교통정보시스템에 있어서 RAMS 적용 검토	Naoshi Noguchi 외 1인 (2010)	- 도로교통정보시스템에 RAMS 필요성을 논한 학술논문 - 프로세스산업, 원자력분야, 자동차분야, 산업기계, 철도시스템, 의료, 상요자동차 분야 등 RAMS 표준 규격이 도입하여 안전·신뢰성 기반으로 활용 동향을 논한 구체적 사례 내용임6)

나. 유지보수체계 관련 연구동향

- 교통시장에서 상승되고 있는 경쟁은 작업의 안전성을 유지하면서 유지보수 비용 절감을 목표로하는 정비성 향상 요구이며 이와 관련하여 연구가 진행.
- 효율적이고 효과적 유지보수 작업을 달성하기 위한 신뢰성 중심 보전 (RCM)를 대규모 철도 인프라에 응용하는 문제에 대한 연구 진행.
- 초음파 결함 탐지 응용 및 철도의 지능형 상태 모니터링과 결함 진단을 기반으로 한 검사와 유지보수 절차를 가지는 철도의 위험도 알림 최적화 연구.

6) IEC 61508로부터 파생한 각 분야의 기능안전표준 규격임

○ RAMS 관련 연구 동향

- 철도시스템의 경우 RAMS를 중심으로 활발한 신뢰성 향상을 위한 시스템을 추구하며 공공입찰시스템에 필수참여조건으로 RAMS 평가보고서를 첨부하여 제출하는 필수조건 등을 중심으로 하는 제도적 운영을 도입하여 시행을 사회적 안전기반 요구조건으로 부합할 수 있도록 고착화, 표준 규격화로 강화를 이루는 수준 단계에 있다.
- 환경시험 표준 규격을 제·개정하여 운영하고 적용하는 것을 신뢰성 보증 체계를 다하는 것으로 판단하며 2010년을 전·후해서는 RAMS 도입을 필요로 한다는 학술논문이 등장하며 활발한 학술 활동을 하고 있는 것으로 보인다.

표 3 AMS 관련 연구 동향

제목	저자	내용
A study on adaptation of RAMS, Reliability Availability Maintainability Safety, for Road Traffic Infrastructure	Noguchi Naoshi (2010)	- RAMS 도로교통 공공시설물에 도입적합성 관련의 연구 - 도로교통정보 인프라에 RAMS 적용검토를 도입 필요함
RAMS analysis of railway track infrastructure	Gonçalo Medeiros Pais Simões (2008)	- 부품들에 초점을 맞추어 유지 보수 관리에 RAMS 기술의 응용 가능성 고려 - 데이터 셋이 짧은 경우에 고장 및 관련 비용을 예측하기 위하여 RAMS 평가를 부품에 적용 할 수 있는 방법 연구
RAMS management of railway tracks	Narve Lyngby (2008)	- 교통분야에 사용되는 유지 / 갱신 최적화를위한 최신 모델 - 성능 저하로 인한 안전과 운영 지출에 끼치는 영향 및 속도 제한, 시정 유지 보수 작업에 미치는 영향 분석
RAMS and LCC in Rail Track Maintenance	Ambika Prasad Patra (2007)	- 교통분야의 RAMS 및 Life Cycle Cost 분석에 기초하여 관리 계획을 위한 방법 개발 - 교통 유지 보수 정의를 위한 RAMS 및 Life Cycle Cost 수준 집계 - 교통 유지 보수 계획에서 Life Cycle Cost 분석을 지원하는 방법 연구

다. 지방부 도로의 교통혼잡 해결

- TSC의 안전·신뢰성 향상은 교통소통 증진과 안전성 향상을 가능하게 할 것임. 교통혼잡

은 대표적인 도시문제로 거론되어 왔으며 최근 지방부 도로의 교통 혼잡도는 심각한 수준임. 이러한 문제를 해결하기 위해 TSC의 고급화 필요

라. 교차로 교통안전문제 해결

- 교차로의 사고건수는 계속 증가하여 총 사고건수에 대한 비율이 증가하고 있으며 이는 교차로의 교통안전문제가 심각하다는 것을 보여주고 있음. 차량이 고속으로 질주하는 지방부 교차로에서의 TSC의 고장 및 오작동은 특히 심각한 교통안전문제로 대두되고 있으며 이러한 문제를 해결하기 위해 TSC의 안전·신뢰성 향상에 대한 연구가 필요

마. 국도상 TSC의 안정적인 시스템 요구

- 국도상 TSC는 컴퓨팅 기술 및 정보통신기술을 근간으로 하고 있을 뿐만 아니라 시스템 내부는 전기·전자부품 수준에서 구성되는 전자구성품 단위 부품 모듈 및 다양한 개별 전기·전자부품의 단위조립으로 구성되어진 전자장치로서 개발 설계단계에서 요구되는 신뢰성 수준으로 안정적인 시스템의 작동이 될 수 있도록 해야하는 등의 내구연한에 대한 연구가 필요

바. 국도상 TSC의 안정적인 시스템 요구

- 국내 공공 교통부문 시설물 중, TSC의 주제어부(MCU, Main Control module Unit)는 개발 설계 단계에서의 신뢰성 높은 수준으로 교통관제센터와의 온라인 실시간통신으로 원격제어의 운영모드에서 시스템 운영과 현장에서의 교통상황 정보데이터를 차량검지기로 수집된 교통정보데이터를 TSC에서 센터로 온라인 데이터전송 및 현장에서의 교통신호 알고리즘을 실행하는 기능을 하는 부분이어서 개발 단계에서부터 신뢰성 기반의 설계 적용을 필요로 하며, 유지보수정비 단계에서 신뢰성 기반의 시설관리가 필요

사. 해외규격에 비하여 60% 수준의 규격

- 현재 국내에서 사용하는 규격 및 표준은 신뢰성 측면에서 미국, 유럽, 일본 등의 선진국 규격에 대비하여 60%에 미치는 수준의 규격 및 표준을 사용하고 있는 현실이며 신뢰성이 부족한 규격으로 인하여 해외의 TSC에 대비하여 국내의 국도상 TSC는 내구연한과 MTBF(Mean Time Between Failure)가 짧음. 국도상 TSC의 규격 및 표준의 개정은 국도상 TSC의 신뢰성을 높이기 위해 반드시 필요한 연구[7)]

아. 차세대 무선통신 신호제어시스템 개발

(1) 연구 내용

- 신호교차로에 접근하는 차량과의 실시간 무선통신 방식을 이용한 개별 차량 감응식 시스템으로 차세대 무선통신제어기 및 신호제어전략을 개발하고 현장시험 및 평가를 통해 실용화를 위한 시작품 제작이 연구의 목적임

(2) 연구 결과

- 신호교차로에 접근하는 차량과의 실시간 무선 통신방식을 이용한 개별 차량 감응식 차세대 신호제어시스템 즉, 차세대 무선통신제어기 및 신호제어전략을 개발하고 현장시험 및 평가를 통해 실용화를 위한 시작품 제작
- 무선통신 신호제어시스템 요구사항 및 개발전략 개념을 수립하고, 신호제어시스템 H/W, S/W 및 인터페이스를 분석하고 검지기체계와의 무선통신 모듈을 개발 및 제시.
- 무선통신 신호제어시스템의 아키텍쳐 구축과 무선통신 신호 운영 제어 전략 및 데이터베이스 구성 및 실시간 수집데이터를 기반으로 한 신호 제어 알고리즘과 시스템 시험평가를 위한 모의실험 프로그램 개발
- 무선통신 신호제어시스템 체계종합 및 시작품 제작과 시험평가를 위한 평가 사이트 구축 및 현장실험, 평가분석 실시
- WISDOM 무선통신 신호제어시스템의 체계종합을 통한 시작품 제작과 이를 기반으로 개별차량감응제어를 위한 신호제어 전략 및 알고리즘에 대한 평가 사이트 구축과 현장실험 실시
- 기존 신호제어시스템과의 비교 평가를 위해 HILLS개발과 TOD체계 및 COSMOS(표준화제어기)체계와의 비교 평가 실시

(3) 연구 결과 활용계획

- 현재의 신호제어시스템을 대체하고 교차로 지체, 사고, 유지보수에 따른 비용을 획기적으로 감소할 수 있는 실시간 교통제어 및 운영과 버스 및 긴급차량의 개별차량속성정보를 차별화한 특별차량 우선신호 제어 및 운영에 활용

---

7) 유럽 표준 규격의 경우 내구연한을 최소 15년으로 정하고 있음(TR2500A:2005, EN12675(HD638):2001, EN BS7987:2001). vs. 국내의 경우 최대 10년으로 규정(경찰청 교통시설물 실무편람, 2009년)

- 개별차량 검지기반 센서 네트워크 제어 및 운영과 실시간 교통정보 수집 및 제공, 충돌사고 방지 등의 교통사고 감소로 지능화도로 및 차량시스템의 기반기술로 활용이 가능

자. 단거리 전용 무선 통신 기반의 WISDOM 동적 딜레마 경고 시스템

(1) 연구 내용

- 국토교통부 국가교통기술개발 프로젝트로 개발된 신호제어기, 차량, 개별 차량 정보 수집시스템간의 실시간 정보를 바탕으로 교차로에서의 큐잉과 지연을 최적화하는 동적인 신호 전략을 제시하는 시스템인 WISDOM을 기반으로 교차로 안전지원 시스템을 개발하고 현장 평가를 통한 신뢰성 및 적합성의 평가

(2) 연구 결과

- 시스템의 신뢰성 및 실용성 평가를 위한 서비스에 대한 기능적 아키텍쳐 구성제안 및 동적인 신호 시간을 바탕으로 접근 차량에게 딜레마 서비스를 처리하기 위한 딜레마 상태 결정 알고리즘 제안. 알고리즘은 WISDOM을 통해 최적화된 교통 신호 잔여 시간을 단거리 전용 무선 통신을 통하여 개별 차량에게 전송해 주고 개별 차량 단말기는 최대 도달거리를 현재 위치에서 교차로까지의 거리와 비교하며 차량이 딜레마 영역에 있다고 추정하고 “경고”, “안전 주행”을 표시

차. 통합제어기

(1) 연구 내용

- 한국지능형교통체계협회(구. ITS-Korea)에서 교통체계효율화사업으로 개발한 교통신호제어기 포함하여 공공 시설물 활용할 통합제어기 연구 개발
- 수출용 목적을 포함하여 연구 개발(보고 대상 부처: 국토교통부장관) 8)
- 총 연구기간 2011.12.06. ~ 2015.05.25. (총연구비 8,142.7백만원)

8) 국내의 경우 도심부 교통시설물은 경찰청이 유지보수체계를 시행함. 이에 연구 개발 제목을 ‘통합제어기’로 정한 것임을 미루어 알 수 있음

(2) 연구 결과

- 연구개발 최종보고서 내용이 성공으로 통과함
- 현장 시험장소는 제주도 일부 지역에서 설치하여 실험보고 하고 있음(보고서 내용 중)[9)]

(3) 연구 결과 활용계획

- 국내 국토교통부 관할 지역에 공급 설치 운영 및 TSC 해외 수출로 국익 창출을 계획하는 수준에 있음

파. 디지털제어기

(1) 연구 내용

- 주관연구기관에서, 연구개발 최종보고서 내용이 성공으로 통과함[10)]
- 현장 시험장소는 강원도 한적한 지역 외 2곳에 설치하여 실험 결과 보고를 하고 있음 (도로교통공단에서 조달청Site를 이용한 공공입찰 설치용역 위탁업체 선정 방식)

(2) 연구 결과

- 주관연구기관에서, 설정한 내용 규격에 부합한 것으로 보고하고 있음
- AC입력전원 이용에서 DC 전원을 이용하는 디지털제어기가 기존 것보다 더 우수하고 개선된 기술이라고 보고서 공개를 하고 있음[11)]
- 국내 표준규격으로 디지털제어기를 선정하여 추후 시행을 알리고 있음(2년 후)[12)]

(3) 디지털교통신호제어기 관련 검토**13)**

---

9) 통합제어기 연구 개발 기간에 도로교통공단(경찰청 산하기관)에서 디지털제어기로 전국 표준규격으로 제정하기 위한 연구가 진행되어, 2017년 현장 시험 보고서 제출함. (2년후 실시를 준비하고 있는 상황임)

10) 디지털제어기는 국토교통부 KAIA 사업과제에 포함하지 않음

11) 디지털제어기 결과보고서 관련하여 현장에서 중장기 설치 운영에 따른 추가적인 문제점 등과 관련하여서는 보다 더 체계적인 현장 데이터 내용 및 관련 표준규격안 내용 등을 중심으로 구체적인 검증 필요함

12) 디지털제어기 연구 개발 사업 진행하는 중, 기존의 표준교통신호제어기 표준규격서(Specification of TSC by NPA(경찰청 본청 in R.O. Korea)의 내용이 개정 규격으로 공고 되고 있었음(공지하고 있는 파일명: NPA-TSC-STANDARD-2018-04-30(2010R16), 파일명 기재에서 2018년04월30일자로 규격 개정 변경 고지를 한 것을 알 수 있음; 이 변경 Revision 규격서 내용 중, '모순처리절차(H/W) 및 모순해제절차'(개정규격서 2.2.2.2.5 시그널 처리 절차, 개정된 규격서 해당 pp. 77-78)가 수정보정 내용의 가장 중요한 부분으로 판단하는데, 이 부분 역시 유럽, 미국 등 표준규격서의 요구 조건의 모순검지 및 모순검지 처리절차의 개념과는 현격한 차이가 있는 것으로 판단함. 즉 개정 규격이 변경된 것이라면, 안전신뢰성 기반 및 사회적 안전을 보장하여야 하는 면에서는, 기존 설치운영중인 전체 TSC에 대하여 리콜처리가 이루어져야 하며, 추후 신설부터는 이 규격에서 정하는 바로 실시하는 것은 당연시 실무 처리 수순일 것임.(국내 전체 설치운영중인 TSC 물량은 약 5만대 전·후의 수량임); 디지털제어기 설계 개발 연구 내용 및 표준규격서(안)의 '모순검지 기준 설정 및 모순검지 처리 절차' 내용과 관련하여, 유럽, 미국 등의 모순검지 관련 정의하고 있는 내용과 많은 차이가 있음; 이 부분은 기능안전 Functional Safety 요구 조건을 강화하여 가는 국제 표준 규격 내용에 견주어 부합하지 않는 내용이며, 사회안전기반 측면에서도 보다 더 깊이있고 포괄적인 검토·검증이 시급히 필요함

○ 연구용역개발기간: 2014~2017.10

○ 연구기관: 도로교통안전공단, 경찰청 업무지시 의거라고 알려져 있다.[14][15]

○ 최근 동향: 디지털교통신호제어기(Digital-TSC) 현장 적합성 시험을 위하여 시범설치 2개소를 선정하여 현장실험 후 철거 단계에 있다.[16][17]

○ 발주시점: 2017년 9월(설치위치 관련 웹주소 별도)[18]

○ Digital-TSC 시범설치 후 적정성 검토 시점: 2017년 10월말[19][20]

○ 시범설치 후 호환성이 있다는 평으로 검토를 진행 중인 것으로 도로교통공단에서는 업무보고서 작성하였다.[21][22][23]

▣ 디지털교통신호제어기(Digital-TSC)의 구성 등 일련의 내용

○ 입찰공고 '디지털교통신호제어기 교차로 시범설치 용역' 내용에서 보여주고 있다.[24][25]

○ 기존 TSC와 'Digital-TSC' 간에 큰 차이가 있음을 공고 내용에서 비교 소개한 내용은 그림과 같다.

---

13) 디지털교통신호제어기(안) (이하 Digital-TSC, Digital (traffic) Signal Controller)라고 표현한 것은, TSC로서의 자격 조건에 부합하는 것들을 아직은 없기에(표준 규격 안 내용, 실적 등 미준비상태 및 해당 사실 부재함) 이렇게 기재한 것이다.

14) 공개된 공문서 미확인 상태...!!- (Why..What..:) 경찰청의 경우 약 3년전에 4색등 교통신호제어기에서 교차로 운영의 효율성, 안정성 등을 내세워 내부적으로 연구 개발하여 성능시험 및 현장 적합성 시범사업을 서울시에서 완료하였다고 한 "3색등" 신호제어기(이 부분은 표준규격서까지 대부분 준비하여 릴리즈 한 상태였던 것으로 알려짐...)를 서울시 주변 일부 교차로 등에 설치하여 시범적으로 운영 중 교차로 내 사고발생을 가중시키는 등 미검증 "3색등 적용 논란 등" 언론 집중 포화를 받아 이 사업에 주도하였던... 경찰간부 상당인원이 연루되어 감사대상에 올라 모두 옷 벗어야 하는 등 트라우마가 심각한 수준으로 잔재되어 있는 상태이다.

15) 연구개발 참여업체는 국내 TSC 생산공급 업체인 서돌전자통신, 모루시스템, 코스텍시스템, 세인, 한국전기, 외 현행 TSC 생산공급 중인 관련 업체이다. 다만 조달청 MARS(제3자 단가계약)등록업체 약 70여개 중 일부 TSC 공급업체에서 Digital-TSC 관련 사업에 참여한 상태이다.

16) Digital-TSC 시범설치(전기공사)한 곳은 국내에서 가장 한산한 곳으로 정하여 경기 군포시 및 강원 원주시에 설치함- (군포:)군포시 당정동181-51 LS연구소 앞 사거리/ (원주:) 원주시 배움로 삼거리 — 담당자: 도로교통공단 첨단공학연구처 김민성 T. 033-749-5419

17) 단기 설치 시범운영 후, 철거 단계의 이유는 해당 표준 규격이 없으며, 이로 인한 사고 유발에 따른 Risk를 두지 않으려는 의도로 보이며, 이를 해결하기 위하여는 보다 더 충분하고 검증가능한 현장 시험 설치운영 등의 철저한 현장 운영 적합성 검증 절차 수행이 추가적으로 필요하다.

18) 도로교통공단 디지털 교통신호제어기 교차로 시범설치; http://www.alio.go.kr/informationBidView.do?seq=2297194 —;원문 URL for 도로교통공단 디지털 교통신호제어기 교차로 시범설치

19) 도로교통공단 디지털 교통신호제어기 교차로 시범설치-공고 사이트

20) 20170900677-00_1504245770107_과업지시서(디지털교통신호제어기)_170901; 20170900677-00_1504245770109_시설공사 외주용역 산출내역(최종); 디지털교통신호제어기(Digital-TSC) 관련 소개 내용: (제목:)디지털교통신호제어기 시제 개발 연구[3단계]-최종심의 시 내용 자료.

21) 도로교통공단, 당초에는 '도로교통안전공단'의 기관명을 쓰다가 몇 년전부터 기관명을 개명하여 사용중임 (하지만, 영문명에는 안전이라는 단어가 들어가 있음..!)- 경찰청 산하 기관에서 속한다.

22) 공청회 등의 일련의 절차는 진행을 준비하고 있는 것으로 알려져 있는 상태이다.

23) 도로교통안전공단 최종심의 내용 동일 자료이다.2016.11.24.자.

24) 도로교통공단 디지털 교통신호제어기 교차로 시범설치 '조달청 사이트 이용한 입찰공고' 관련 정보 홈페이지는 주소: http://www.alio.go.kr/informationBidView.do?seq=2297194

25) 20170900677-00_1504245770088_입찰공고문(디지털교통신호제어기 교차로 시범설치 용역)

○ 내부통신은 CAN통신으로 적용하고 있다.[26]

○ 기타 'Digital-TSC' 관련 내용은 그림과 같다.

▣ 디지털교통신호제어기(Digital-TSC) 관련 기타 진행 사항

○ 2017년 밴쿠버에서 월드컨그레스에 참여하여 'Digital-TSC' 소개하였다.[27]

○ 'Digital-TSC' 관련, 국제특허 출원 중에 있다.

○ 'Digital-TSC' 적용, 해외사례는 없다.[28]

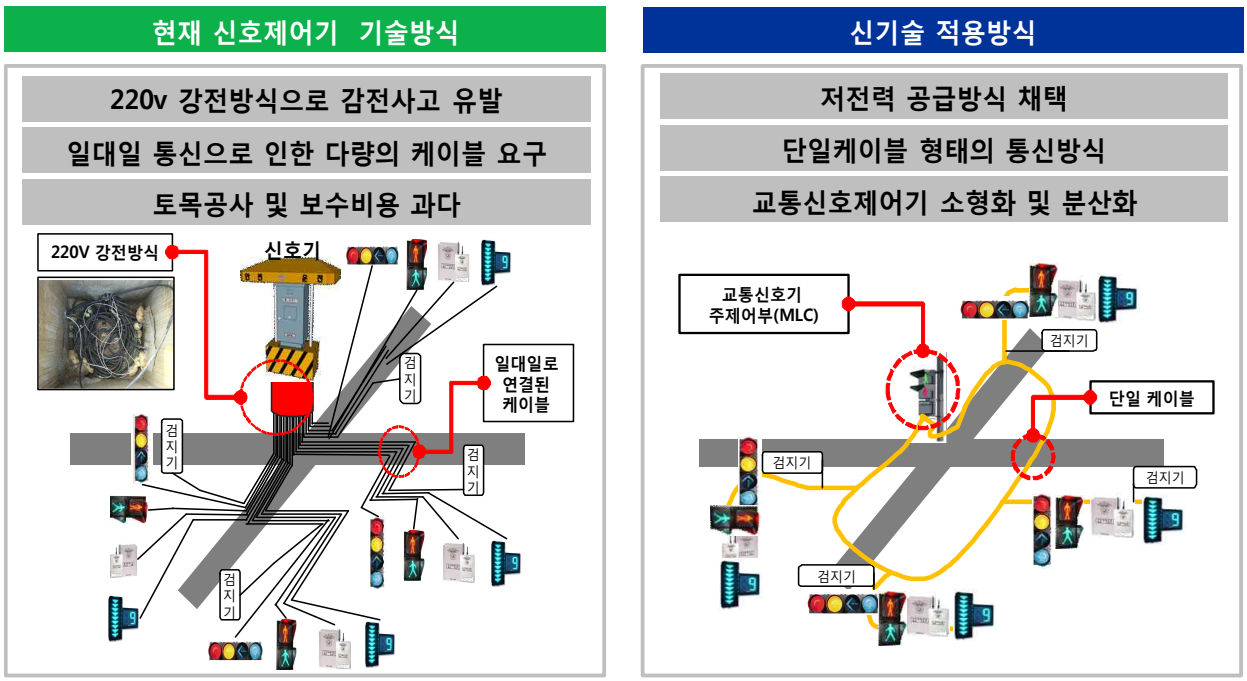


그림 2 현 교통신호제어기와의 디지털제어기 비교

▣ 디지털교통신호제어기개발 요약

○ 부하스위치(기존 SSR, LSU)는 SLC단위품으로 구현 한다.; (4거리 표준교차로의 경우 SLC 4보드 적용함- 13회로/SLC-Board.)

26) CAN, Controller Area Networks
27) http://itsworldcongress2017.org/
28) 단 유럽 일부 지역에서 시범 검토를 한 것이 국제전시회에서 알려진 바를 본 사람이 있다는 설이 있으나, 해당 내용은 사실 근거가 없다.

○ 기존의 주제어부에 해당하는 MLC단위품으로 구현한다.; CAN 통신 포함.[29)]

○ 신호등(LED)은 디밍제어 기능을 갖도록 하였다.[30)]

○ 모순검지(C/M) 기능 구현한 결과는 잘 알려져 있지 않은 상태이다.[31)]

○ AC 220전원공급을 입전하여 DC 48V~DC 52V 레벨에서 적용하도록 설계 구상한 'Digital-TSC'는 기존 노후화 상당 부식으로 알려진 기존 전선 케이블선로의 전압강하를 극복하는 것이 문제가 아니라, 이로 인한 선로간 단락(Short) 에 따른 오작동으로 이어지는 일련의 비규칙적(Irregular) 리스크 대응책 관련 구체책 솔루션을 위한 해결 문제를 가지고 있어서 이 부분의 공학기술적인 검증이 필요하다.

○ 국내 설치되어 있는 약 20만개에 달하는 LED신호등의 경우 신호등(Signal Head라 한다.) 내부에 AC/DC 컨버터 기능을 위한 소형 장치(SMPS)가 부착 결합되어 있어서, 디지털교통신호제어기(Digital-TSC) 적용 시에는 LED신호등의 전수 교체 내지는 LED신호등 내부의 구성품을 전수 대포 교체를 해야 하는 등의 해결을 필요로 하나, 이 부분의 해결책을 도외시 한 체 'Digital-TSC'를 설계 고안한 것으로 이 부분의 공학기술적인 철정한 검증이 필요하다.

○ 낙뢰 서지를 포함하여 현장 운영 조건에서의 EMC 적합성에 있어서도 취약점로 보이며, 이 부분과 서지인입에 따른 부하의 이상으로 인한 열발화 발생 및 화재로 이어지지 않도록 하는 분리기 부착 조건 등의 공학기술적인 검증이 필요하다.[32)33)]

○ 분산 설치 방식으로 고장 시 대응이 신속할 것으로 'Digital-TSC'에서는 소개하고 있으나, 고장발생의 여지가 있는 구성품을 여기저기 분산하여 부착하여 운영 시 안전 신뢰성 기반 측면에서 유지보수성에는 치명적인 리스크를 유발시킬 수 있다.

---

29) MLC 개발담당한 기업은 경영상 이슈 등으로 해당 기술 분야에서 일탈한 상태이다.

30) PWM방식으로 1Khz 적용하여 임의의 100분지 60~70% 등으로 설정하여 Dimming 가능하다고 한다.

31) 표준 규격이 아직 덜 되었다고 알려지고 있으나, CAN 통신 중에서 최고우위(priority)를 적용하는 것으로 정의하고 있는 것으로 알려짐. 여전히 이 부분은 유럽 표준 규격 BS EN12675:2001 (TSCs for Functional Safety Requirements), BS 7897:2001 (HD 638 S1), TR2500A, 미국 표준 규격 NEMA TS-2 (MMU, Malfunction Management Unit for TSC), 연계된 NCTIP 표준 규격 등에서 기준으로 TSC로서 안전·신뢰성 운영 조건에 매우 미흡하여 이 부분은 부적격상태로 생각하여 구체적인 엄격 수준의 검증 프로세스를 가져야 한다.

32) 현장에서 낙뢰는 약 6~8Km 인근으로부터 가깝게는 수십m~수Km까지 주변의 유도뢰 인입으로 인한 구성되어 있는 구성단위부품(Parts, Components, Units 등)을 파괴하는 리스크를 가지고 있다. 하지만 'Digital-TSC'에서는 절연성을 강조하는 듯 2Kv에서 견뎌야 하는 조건을 두고 있는데... 이는 출력단에서 유도뢰를 포함한 EMC 영향에서 벗어날 수 있는 전기적 안전 신뢰성 조건 부합과는 무관한 내용에 해당함. — 관련 규격은 유럽 표준 규격 BS EN 50293 (Electromagnetic Compatibility Road Traffic Systems Product Standard), KSC IEC 61643-11, IEEE 587, ANSI C 62.41 등이 있음.

33) KSC IEC 61643-11 및 KSC IEC 61643-12 표준규격 내용에 따른 SPD 안전기준을 준수가 가능하다.

▣ 디지털교통신호제어기(Digital-TSC) 관련 검토

○ 국제특허 신청하는 것은 자유의 영역이며, 유럽 표준 규격, 미국 표준 규격 등 교통신호제어기 안전 신뢰성 향상과는 별개의 사안이다.

○ 국내 교통신호등(LED등)은 에너지 절감을 위한 대안책으로 정하여 이미 도심부 및 국도지방도를 포함하여 전량에 대하여 전수 개량 교체를 한 상태이나 (약 20만개의 Signal-Head에 육박함), 'Digital-TSC'를 적용할 시 해당 LED신호등과의 적합성은 맞지를 않아 또다시 해당'Digital-TSC'교차로에 대하여는 전수 교체 내지는 일부 부품을 교환하여야 하기 때문에 중복 투자 인프라 투자가 불가피하고, 안전 신뢰성 측면에서도 다시 추가적인 검토를 필요하다.

○ TSC 단위 구성품을 이리저리 분산하여 교차로에 부착하여 고장 발생 위치를 이동 확산시키는 기술과 방법은 다른 나라에서 그 유례를 찾아보기 어려운 실정이다.

○ 현재 'Digital-TSC' 표준 규격 (안) 내용이 공개 릴리즈 하지 않은 상태이다.[34]

○ 일부 변수로 보여 지는 부분은 서울시의 경우 긍정・적극성을 가지고 'Digital-TSC' 진행단계를 지켜보고 있다.[35]

▣ 디지털교통신호제어기(Digital-TSC)에 대한 결론

○ 국내에서 적용하는 것으로 설정한 것이라면 국제특허 신청까지 하면서 외화 낭비를 할 가치가 있는 것인지 묻지 않을 수 없음.

○ 해외시장에서 'Digital-TSC' 제품으로 교환가치를 가지기 위하여는 상당한 추가적인 검증 절차 내지는 관련의 기술적 입증・검증 데이터를 절대적으로 필요로 함. 만약에 이를 무시

34) 'Digital-TSC' 표준 규격 (안) 공개 내지는 공청회 과정에서 중점적으로 해당내용 민원 소지를 가지고 있는데, 이 부분을 과연 경찰청 어느 누가 이를 수용하여 실행으로 옮길 수 있는 것인지의 또다른 딜레마・트라우마을 심각하게 잔재하고 있어서, 실험수준에서 벗어날 가능성이 있어서, 이 부분의 추가적인 현장 검증이 필요하다.

35) 서울시의 경우에도 'Digital-TSC'의 예상되는 리스크 내용을 보다 더 검토할 시에는 적극성이 계속할 것인지는 알 수 없는 것으로 알려지고 있다.

하고 해외 시장 진입 시에는 국내법과는 다르게 소비자안전보장 미필을 이유로 상상할 수 없는 리스크를 가져올 소지를 가지고있다고 생각한다.

○ 특히 미국, 유럽, 일본 등에서 사용하는 공칭 공급전압은 대부분 우리가 알고 있는 100V기준으로 설정되어 있어서, 이와 관련된 누전 내지는 누설에 따른 신호등의 조도 등을 과학기술적 준거에 따라 모순검지 기준을 설정하여 놓고 있어서, 이 들 선진국 및 관련 국가들이 기존의 교통신호등(LED등 포함)을 교체하는 인프라 비용의 가중을 감수하면서까지 'Digital-TSC' 제품으로 적용하도록 마케팅 성공을 기대하는 것은 매우 힘든 여정으로 예상된다.[36]

○ 'Digital-TSC'이 기술적 가칠을 넘어 안전·신뢰성을 확보하고 현장 적합성, 현장 호환성, 인프라 대안성 등으로 이르기까지는 상당한 기간을 필요한 것으로 예상한다.[37]

---

36) 미국의 Typical AC는 120Volt이며, 일본은 100VAC(일부지역 220VAC), 유럽은 220VAC 사용 중에 있으나... TSC에서 적용하는 것은 대부분 90VAC ~ 130VAC (Line Regulation 기준)에 상당함...! 즉 다운트랜스를 적용하여 고전압(!)220V에서 존재하는 누설전류, 누설전압을 1차적으로 막고, 그것도 모자라...모순검지를 물리레벨에서 전위차(Voltage Potential Level)별 적신호, 녹(청)신호 시의 조건에서 두고 있음. 유럽의 경우에는 황(Y)신호 상태도 모순검지(C/M)조건으로 적용한다.

37) 해당 'Digital-TSC' 개발에 초두시점부터 2017년 10월말 최근에 이르기까지 실무 개발연구에 핵심 연구진으로 참여한 연구원 중, 구술에 의하면 'Digital-TSC' 제품으로 소비자·이해관계자 등 사회에 인정을 받을 수 있으려면 약 10년은 더 걸리지 않을지 예상하고 있으며, 그 때도 될지 어떨지는 알 수 없는 것이라고 말하고 있는 것으로 알려지고 있다.

제 3 장 연구 수행 내용 및 성과

1. 안전성 · 신뢰성 선행연구 및 사례조사

(2차년도 주요 연구 실적)

가. TCS 안전성·신뢰성 기존 연구 조사

(1) TCS 안전성·신뢰성 기존 연구 결과

(가) 초기고장 발생 특성분석

1990년 말에서 2000년대 초에 이르는 시점에서 전국에 설치운영 중인 교통신호제어기 중에서 “첨단전자형”에 속하는 교통신호제어기 기종을 대상으로 초기고장 발생을 분석하였다. 교통신호제어기의 초기고장은 외부요인(30.5%)보다 내부요인(69.5%)에 의해서 발생할 확률이 훨씬 높으므로, 교통신호제어기의 안정성과 신뢰성을 높이기 위해서는 초기고장을 줄일 수 있는 프로세스가 필요하다. 교통신호제어기를 공급, 납품, 설치 운용 시에 초기고장률(DFR)모드에서 우발고장률(CFR)의 고장률를 현저하게 낮출 수 있도록 개선이 이루어져야 하고, 특히, 개발단계, 생산공정단계, 유지보수, 정비 시에 각각의 신뢰성 기반의 목표달성을 정하고 지속적인 수행이 필요하다. 개발단계, 양산단계에서 초기고장 발생 정보 데이터를 구체적으로 분석하여 지속적인 개선이 필요하다.

표 4 TSC교통신호제어기의 초기고장 발생 데이터 분석 내용

분석 / 구분	초기고장 발생 특성 분석						
	1차 분석			2차 분석	3차 분석	4차 분석
내부 요인 (69.5%)	1	OCU불량 (현,MCU 불량)	29.0%	소프트웨어 이상	응용프로그램 이상	신호현시시간 이상
				부품 불량	IC 불량	DATA 처리 이상
				접촉 불량	콘넥터 접촉 불량	세척 미비
	2	SCU 불량	26.5%	소프트웨어 이상	제어프로그램 이상	OCU 와 통신두절
				부품 불량	DATA처리/통신 IC불량	Maker별 신뢰성 미흡
				조립 불량	납땜 불량	Cold Soldering
	3	SSU 불량	7.9%	출력 이상	신호 출력부 불량	외부 요인으로 부품 파손
				입력부 불량	콘넥터 접촉 불량	세척 미비
		전원장치 불량	6.1%	출력전원 이상	고온 특성 미흡	출력 정류 소자 파손
				입력단 이상	입력 FUSE 파손	전원투입 시 돌입전류 과다

외부 요인 (30.5%)	4	신호등 불량 및 선로불량	22.9%	신호등기 선로불량	선로단선/SHORT	맨홀, 철주에 선로접속부 단선
						토목공사 시 선로단선 /SHORT
		기타 불량	7.6%	수동조작부 오류	현장조작 시 오류	수동스위치조작미흡
				입력전원 이상	정전	인입 전원회로차단기 OFF

(나) 마모고장 발생 특성분석

① 교통신호제어기의 내구연한 기준

국내경찰청의 “교통신호기 설치.관리메뉴얼” 및 “교통안전시설실무편람” 관련의 규정 내용에는 교통신호등과 교통신호제어기의 내구연한은 표의 내용과 같이 규정을 하고 있다.

표 5 교통신호등과 교통신호제어기 내구연한

구분	교통신호등			TSC교통신호제어기		차량검지장치
	외함	렌즈	반사경	전자장비	함체	
내구연한	10년	5년	10년	10년	10년	6년

② 마모고장 발생 특성분석

㉮ 교통신호제어기 사용수명 분석

서울시 동대문구권역에 교통신호제어기를 설치운영 중인 총 83대에 대해서 마모고장(IFR)으로 노후교체를 한 교통신호제어기의 실제 사용수명 및 서울시 강동구권역에 교통신호제어기를 설치운영 중인 총 83대에 대해서 마모고장(IFR)으로 노후교체를 한 교통신호제어기의 실제 사용수명은 다음 그림의 내용과 같다.

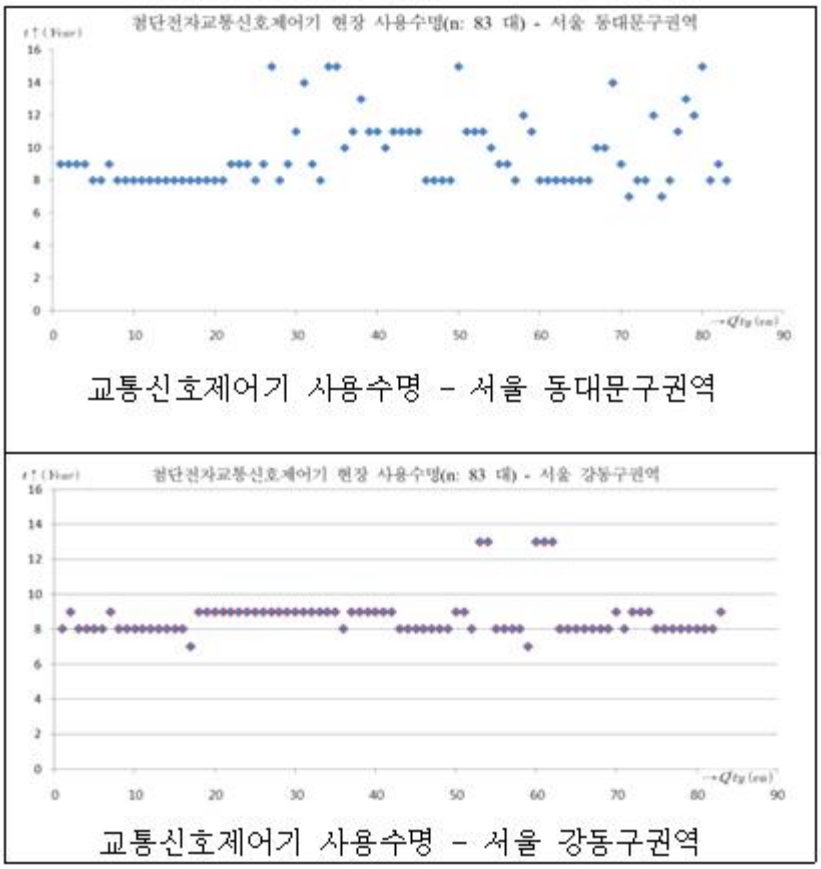


그림 2 교통신호제어기 사용수명 - 서울 동대문구권역/강동구권역

교통신호제어기의 실질 내구연한은 “교통신호기 설치·관리메뉴얼” 및 “교통안전시설실무편람” 관련의 규정 내용과 같이 10년 이상을 견뎌야 하지만 그림의 내용에서 보여주듯이 약 80%에 해당하는 수량이 내구연한에 약 16%가 부족한 평균 약 8.4년임을 분석하였다.

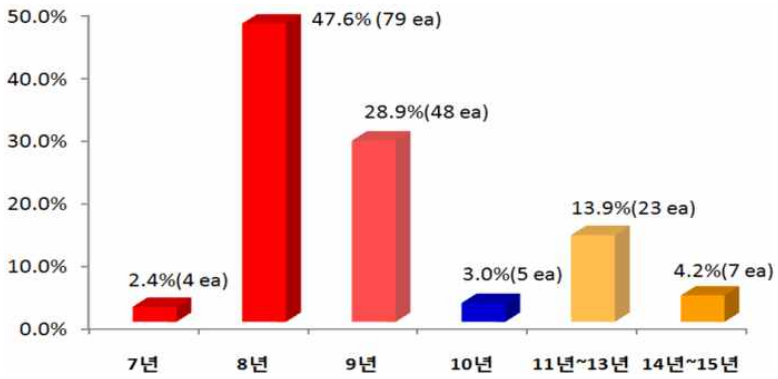


그림 3 교통신호제어기 사용 수명 분석

㈏ 교통신호제어기 마모고장 원인 분석

서울시 동대문구권역과 강동구권역에 교통신호제어기를 설치운영 중인 총 166대에 대해서 마모고장(IFR)으로 노후교체를 하기 전에 발생하는 고장 정보데이터는 다음 <표 1-3>과 같다. 그리고 서울시 동대문구권역과 강동구권역에서 노후화로 인한 고장이 자주 발생한다. 교통신호제어기의 실질 내구연한은 “교통신호기 설치·관리메뉴얼” 및 “교통안전시설실무편람” 관련의 규정 내용과 같이 10년이지만, 우리나라의 교통신호제어기는 약 8년이며, 이 시기에 근접하면 노후화로 인해서 고장이 많이 발생함을 알 수 있다. 교통신호제어기의 실질 내구연한에 비해 그림의 내용과 같이 우리나라의 교통신호제어기의 수명이 짧고, 빈번하게 고장이 발생하여 안정성이 낮고 위험하다.

표 6 교통신호제어기의 고장정보 데이터

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	합계	비중
제어기 노후							36	49	1	86	51.8%
제어기노후, 고장 잦음							2	4	1	6	3.6%
잦은 통신이동과 점멸로 신고가 잦음							8	18	2	28	16.9%
노후제어기로서 신고가 잦고 통신 자주 죽음	4	2	4	3	12	6	2	3		36	21.7%
LSU보정 불가로 모순검지 않됨							1			1	0.6%
잦은 통신이상과 모순검지 불가								3		3	1.8%
제어기 노후, 모순검지불능			4	1						5	3.0%
제어기 노후, 부식								1		1	0.6%
(구분 합계)	4	2	8	4	12	6	48	78	4	166	100.0%

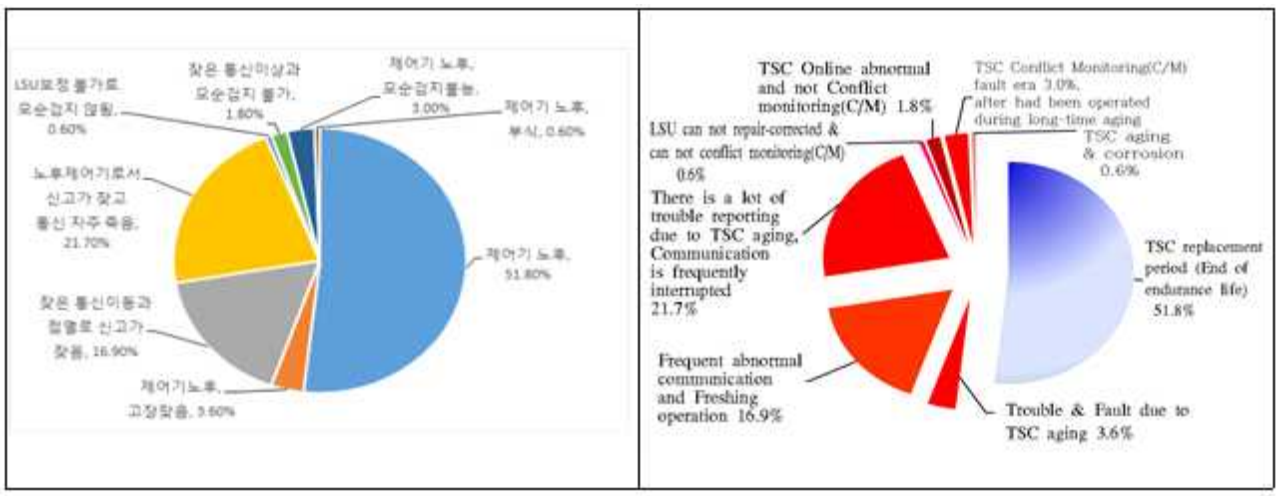


그림 4 교통신호제어기의 고장정보 데이터

제어기 노후로 인한 고장을 분석하면 다음과 같은 3가지 마모고장이 대표적이다.

- 교통신호제어기의 I/O보드에서 C-MOS계열의 IC칩은 외부환경(온도, 진동, 습도, 서지 등)에 열화가 심하게 되면서 고장이 발생
- DC전원공급장치의 캐패시터는 대용량으로 구성되는 데 이 부분은 온도에 크게 열화가 되면서 고장이 발생
- 교통신호제어기의 입력단에 있는 낙뢰보호기(Arrestor)는 번개가 많은 지역에서 급속도로 열화가 이루어져 고장이 발생

㉰ 교통신호제어기의 함체내구성 분석

교통신호제어기 함체의 내구연한은 10년이지만 그림과 같이 내구연한 이내에 매우 심하게 녹이 발생한다. 심한 녹으로 인해서 인근의 토질오염, 제2차 환경오염의 문제를 일으킨다. 심한 녹에 의한 이물질 등이 교통신호제어기 내부의 주요 기능보드 등에 영향을 미치는 문제가 발생한다.



그림 5 교통신호제어기 내구연한 이전 녹 발생 상태

(2) EMC관련 안전성 · 신뢰성 기존 연구 조사

(가) EMC 분석

① EMC 정의

EMC는 ElectroMagnetic Compatibility의 약자로 전자파 적합성 또는 전자파 양립성이라는 뜻으로 전지전자 기기 또는 시스템이 주변 기기에 전자기장해를 일으키지 않으며 전자기 환경에서 고유의 기능을 수행할 수 있는 내성을 갖는 특성이다. EMC는 EMI, EMS, Pulsed EMI를 모두 합친 것이라고 할 수 있고 EMI는 Electromagnetic Interference의 약자로 전지전자 기기 또는 시스템이 주변 기기에 영향을 주어 정상적인 동작을 하지 못하는 전자기 장해를 유발하는 특성이다. EMS는 ElectroMagnetic Susceptibility의 약자로 기기가 외부로부터 전자파 간섭을 받을 때 영향받는 정도를 나타낸 것이다. Pulsed EMI는 대표적으로 ESD(Electrostatic Discharge), Surge, EFT(Electrical Fast Transient)/Burst, Voltage Dip 4가지로 나누어진다.

- ESD: 정전기 방전이라는 뜻으로 전자제품에 정전기가 발생하였을 때 과전류가 내부 PCB 등으로 흘러 들어가 오작동을 일으키는 것을 말하며, 제품의 각 부분에 대해 정전기를 인위적으로 발생시켜 제품이 이상이 있는지 없는지를 확인
- Surge: 낙뢰는 뜻으로 전기회로에서의 수초 간 과도한 전력, 전압, 전류를 흘러 보내 이상이 없는 것을 테스트
- EFT/Burst: 전기적 빠른 과도라는 뜻으로 전자제품에 전원 공급 및 제어 포트 등에 결합되어 진 빠른 과도현상을 테스트하는 시험임. 즉, 스위칭 접점에 대한 내성을 테스트
- Voltage Dip(또는 Power Interruption): 전압 감소라는 뜻으로 전자제품의 한 지점에서 전압이 갑자기 감소했다가 몇 사이클에서 몇 초간의 짧은 시간 후에 전압이 회복되는 현상을 테스트

② EMC 발생원

EMC 발생원으로는 자연적 발생원, 인공적 발생원, 전력기기 발생원으로 나누어진다.

- 자연적 발생원 : 자연적 낙뢰, 대기 중 이온, 태양의 흑점 활동에 의한 태양풍, 우주 복사 등
- 인공적 발생원 : 아크용접, RF 히터, 마이크로파오븐(전자레인지), 산업, 과학 의료용 장비 및 시설, 전력 송배전 전송선, 형광등이나 가로등 같은 조명등, 모터류, 무선방송, 통신용 송신기, 레이더 등

- 전력기기 발생원 : 전력 송배전 전송선, GIS, 차단기 등의 전력 스위칭, 컨버터, 아크방전기, 가정용 전기·전자 기기, 전동 공구 등

③ EMC 관련 규격[38)]

EMC와 관련된 규격은 IEC 61000-4에 수록되어 있으며 각 세부 항목은 다음과 같다.

- IEC 61000-4-2는 정전기 내성으로서 인체나 공구 및 기기에 대전된 전하가 방출할 때 스마트미터의 부품 파손 및 데이터 손상, 오차의 영향, 오동작에 관한 시험
- IEC 61000-4-3은 고주파전자계 방사내성으로서 휴대폰 및 방송, 무선 기지국 송신 안테나 또는 GIS 등에 의한 스위칭시 방사된 고주파전자계로 인한 스마트미터의 오동작 및 오차에 관한 시험
- IEC 61000-4-4는 급과도서지(Burst) 내성으로서 GIS나 전력 스위치에 의해 발생되며 빠르고 반복적인 고주파 서지로 통상적으로 부품파손은 발생하지 않으나 리셋이 필요한 시스템에 정지나 오차에 관한 시험
- IEC 61000-4-5는 조합서지(Surge) 내성으로서 에너지가 큰 낙뢰나 GIS로 인한 것으로 EMC 규격 중 에너지의 양이 가장 크며 스마트미터의 부품과 회로의 파손, 화재를 유발하는 시험
- IEC 61000-4-6은 고주파전도 내성으로서 고주파전자계 방사와 유사하지만 낮은 주파수대역의 전자계가 전선 등의 도체를 따라 스마트미터로 유입되면서 발생하는 오차에 관한 시험
- IEC 61000-4-12는 감쇄진동파 내성으로서 전력공급 스위칭 동작이나 유도성의 부하를 차단할 때 발생하는 서지가 스마트미터의 부품이나 MCU의 오동작, 메모리에 저장된 데이터가 삭제를 보는 시험
- CISPR 22는 전자파발생으로서 전자파의 발생량을 제한하는 것으로 스마트미터에서 발생하는 전자파가 다른 기기에 영향을 끼칠 수 있기 때문에 미국 FCC나 IEC의 CISPR, 국내에서도 전파법규제에 따라 규제 대상이며, 현재 상용화되고 있는 PLC에서 통신의 신뢰성에도 밀접한 관계

(나) 교통신호제어기 EMC 안전성·신뢰성 분석

유럽 규격은 교통신호제어기에 EMC시험을 적용하여 교통신호제어기의 신뢰성 기준의 내구연한을 최소 15년으로 규정하며 손쉽게 유지보수, 정비를 할 수 있는 것을 전제로 한다. 미국

38) KS C IEC 61643-11,12

켈리포니아주의 CALTRANS의 교통신호제어기 규격에는 "SET"제품의 신뢰성 시험에 적용하는 모든 모듈은 최소 100시간의 번인(Burn-In))를 실시하고 있으며, 모든 제어부 및 완선제품 교통신호제어기는 최소 24시간의 정상적인 작동을 실시한 후 제품출하납품을 한다.

(3) 모순 검지 관련 안전성·신뢰성 기존 연구 및 국내 실태 조사

(가) 국제 모순 검지 관련 안전성·신뢰성 현황

유럽 규격의 경우 실질 현장 운영시의 교통신호운영의 안전(Safety)관련 표준 규격을 EN12675으로 정하며, 유럽나라 각각의 교통신호운영 체계를 단일방식으로 수용할 수 있도록 유럽 표준 규격을 제정한다.

- 교통신호알고리즘 중에서 모순검지방식을 하드웨어, 소프트웨어를 모두 적용하고 있으며, 신호의 출력이 있어야 하는 부분에 없을 경우를 모니터링으로 적용하고, 신호가 없을 부분에 신호가 나오는 부분 역시 신호모순으로 검지
- 황색신호간의 모순검지를 의무화하고, 녹색신호와 타 신호와의 모든 연관성을 두어서, 표의 내용과 같이 신호모순을 검지한다.
- 현장에서의 전원의 누전, 또는 외부 누설로 인한 이상 전원의 인입시를 고려하여 물리레벨인 전압전위를 체크 (미국 NEMA TS-2는 오작동방지모듈을 의무화 적용)

유럽규격은 BS7987, 미국규격1은 NEMA TS-1, 미국규격2는 NEMA TS-2, 미국규격3은 CALTRNAS-170, 일본규격은 일본경시청 규격이고, 대한민국규격은 경찰청 표준 규격이다.

표 7 국가별 교통신호제어기 모순검지 특성 분석

Fault Detection Status	국가별 안전규격 비교					
	유럽	한국	미국			일본
			1	2	3	
Green-Green Conflict	O	O	O	O	O	O
Green-Yellow Conflict	O					
Yellow-Yellow Conflict	O					
Green-Red/Yellow Conflict	O	O	O	O	O	O
Green-Green/Yellow Conflict	O					
Absence of any Conflicting Red signal	O	O	O	O	O	O
Absence for Conflicting Red on Specified Signal Heads	O	O	O	O	O	O
Absence of the Last Conflicting Red Signal	O	O	O	O	O	O
Absent Red	O	O	O	O	O	O
National Signal Regulations(Infringement)	O					
Absence of a Red signal on a specified signal group	O	O	O	O	O	O

Absence of the last Red signal	O	O	O	O	O	O
Absence of a Number of Red signals	O	O	O	O	O	O
Absence of Specified Red signals	O	O	O	O	O	O
Absent Signal Groups, Yellow or Green Signals	O					
Compliance checking	O					
Stroed Values of Timings	O	O	O	O	O	O
Time Base Frequency	O	O	O	O	O	O
Minimum Values of Time Settings	O	O	O	O	O	O
Maximum Settings of Time Settings	O	O	O	O	O	O
Duration of Timings	O					
National Signal Sequences(Infringement)	O					
Specified Signal group Green to signal group green movements	O					
Specified Signal Start Up Sequence Signal Group movements	O					
Faults of External Inputs	O					

(나) 국내 모순 검지 관련 안전성·신뢰성 실태

신호모순검지방식에서 유럽표준 규격과 미국 표준규격에서는 안전(Safety)와 모순검지 신뢰성을 가지고 있으며, 물리레벨인 전압전위를 체크한다. 그리고 국내의 모순검지방식은 물리레벨의 적용부분이 명료하지 않아서 이 부분에 대해서 개선이 필요하다.

(4) 유지보수체계 관련 기존 연구 및 국내 실태 조사

(가) 유지보수체계 관련 기존 연구 및 국내 실태 조사 결과

유럽 표준 규격은 교통신호제어기의 유지보수, 정비 관련해서는 고장 발생 특성 시 기록 장치를 기본적으로 두어 고장 내용을 기록으로 보관하도록 의무화한다. 하지만 국내 교통신호제어기의 유지보수 현황은 국내 교통신호제어기 표준규격의 유지보수 매뉴얼의 내용과 같이 고장이 발생하여 접수가 이루어지면 현장에 출동하여 고장을 수리하는 것에 초점이 맞추어져 있으며, 이러한 고장내용을 기록 및 보관하는 부분은 제대로 이루어지지 않고 있다. 즉, 국내 교통신호제어기의 운영 시에 유지보수, 정비 관련의 기록데이터는 관리상태로 이루어지지 않고 있다. 그래서 국내 교통신호제어기의 안정성과 신뢰성을 높이기위해서는 교통신호제어기의 유지보수, 정비 관련해서 기록 장치를 두어 고장내용을 기록으로 보관하는 것이 반드시 필요하다.

(5) TCS 표준규격 기존 연구 조사

(가) 국가별 TCS 표준규격 분석

미국은 NEMA TS-1, NEMA TS-2, ATC 2070의 규격이 있고, 유럽은 HD 638, TR2500A의 규격이 있고, 일본은 일본 경시청 규격 등이 표와 같이 있으며 국내는 경찰청 표준 규격이 있

다.

표 8 국가별 TCS 표준규격

국가 Country	규격 Specifications
국내	경찰청 표준 규격
미국	NEMA TS-1
	NEMA TS-2
	ATC 2070
	CALTRANS-170
유럽	BS7987 (HD 638)
	TR2500A
일본	일본 경시청 규격

(나) TCS 표준규격별 환경시험 항목 비교분석

유럽의 교통신호제어기의 환경시험 표준규격의 내용을 중심으로 국가별 실행여부를 표 내용으로 검토 분석하였다. 유럽규격은 BS7987, 미국규격1은 NEMA TS-1, 미국규격2는 NEMA TS-2, 미국규격3은 CALTRNAS-170, 일본규격은 일본경시청 규격이고, 국내규격은 경찰청 표준이다. 미국의 CALTRANS 규격의 경우 유럽의 교통신호제어기의 규격 기준을 83%(35개 시험항목 중 29개), NEMA TS-1, TS-2는 80%(35개 시험항목 중 28개)이다. 일본의 규격은 유럽의 교통신호제어기의 규격 기준을 74%(35개 시험항목 중 25개)이다. 국내의 규격은 유럽의 교통신호제어기의 규격 기준을 57%(35개 시험항목 중 20개)이며, 다른 국가에 비해 환경시험 항목이 폭넓게 적용하지 않고 대부분 기능시험항목의 위주이다

표 9 교통신호제어기의 국가별 환경시험 규격 비교

구분	Specification	교통신호제어기 시험 규격					
		유럽	한국	미국			일본
				1	2	3	
Electrical Supply and Limits	Operating Voltage Range	O	O	O	O	O	O
	Low Voltage Switch off response Voltage	O	O	O	O	O	O
	Low Voltage Auxiliary state switch response Voltage	O	O	O	O	O	O
	Overvoltage	O	O	O	O	O	O
	Voltage Dip	O	O	O	O	O	
	Mains Frequency	O		O	O	O	O
Safety	Criteria - Leakage Current Road Traffic Signal Systems	O		O	O	O	O
	Criteria - Leakage Current Maintenance Equipment Supply	O		O	O	O	O
	Earthing	O	O	O	O	O	O
	Accepting methods of Earthing	O	O	O	O	O	O
	Enclosure	O	O	O	O	O	O

	Terminations	O	O	O	O	O	O
	Controller Enclosure Doors	O	O	O	O	O	O
	Controller signal outputs	O	O	O	O	O	O
	Requirements of Signalling Intensity for Safety	O	O	O	O	O	O
	Requirements for Signal state (i)	O	O	O	O	O	O
	Requirements for Signal state (ii)	O	O	O	O	O	O
	Location of Monitoring Elements for Signals	O	O	O	O	O	O
	Location of Monitoring Elements for Detection of unwanted Displays	O	O	O	O	O	O
Test of impedance	Fault Loop Impedance Test	O					
	Insulation of Live Parts to Earth	O					
	RCD(Residual Current Detector/Earth Leakage Breaker) For the complete System	O		O	O	O	O
	RCD(Residual Current Detector/Earth Leakage Breaker) For the Maintenance Socket	O		O	O	O	O
Maintenance	Maintenance Testing Procedures	O		O	O	O	O
Environmental	Dry Heat, Cold, Damp Heat, Temperature cycling Test	O	O	O	O	O	O
	Storage Temperature			O	O		
	Solar Radiation	O					
	Random Vibration, Shock Test	O	O	O	O	O	O
	Salt Spay Test for Cabinets	O			O	O	O
EMC Test	Surge Suppressor with Relation Testing	O	O	O	O	O	O
	Radio Interference Suppressor	O					
Burn-In	A Minimum 100-Hour Burn-in of All Modules					O	
Others	Ventilation Fan by Auto-Thermostat	O				O	
	Ventilation Filter	O				O	
	Impact for Equipment Enclose	O					
	Water Penetration	O	O	O	O	O	O
	Impact for Signal Heads	O					

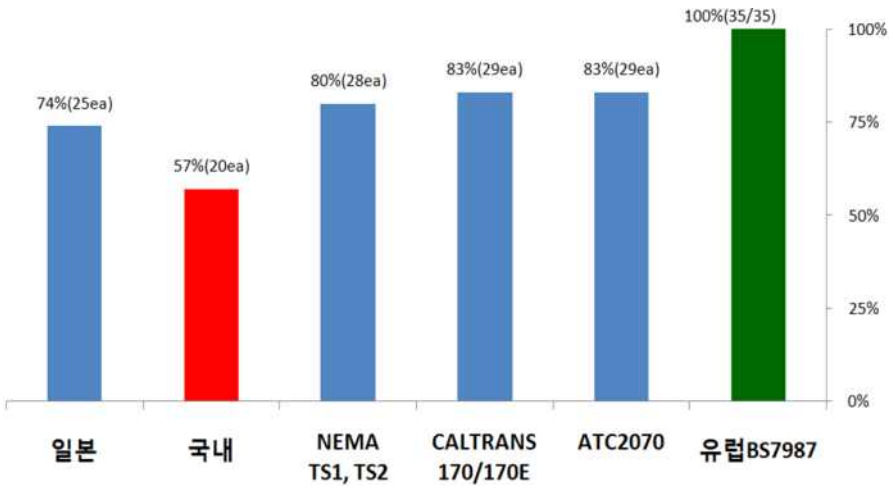


그림 6 교통신호제어기의 국가별 환경시험 규격 도표

(다) 함체 시험평가 규격 분석

① 함체(Cabinets) 규격

㉮ 미국

교통신호제어기 내부의 온도상승을 일정수준으로 유지하려는 목적에서 함체의 환기팬 작동을 온도변화에 따른 자동 작동하는 기능이 있으며 환기필터 규격을 두고 있다. 열충격, 염수분무시험 관련 내용은 환경시험 스트레스 조건에 포함하고 있으나, 모래먼지시험과 복합부식가스시험 등은 실시를 하지 않는 한계점이 있다. 함체에 녹 발생을 방지하기 위해서 알루미늄 재질의 경우에는 알로이 코팅을 한다.

㉯ 국내

교통신호제어기 내부의 온도상승을 일정수준으로 유지하려는 목적에서 함체의 환기팬 작동을 온도변화에 따른 자동 작동하는 기능이 있으며 환기필터 규격을 두고 있다. 열충격, 염수분무시험 관련 내용은 환경시험 스트레스 조건에 포함하고 있으나, 모래먼지시험과 복합부식가스시험 등은 표의 내용과 같이 실시를 하지 않는 한계점이 있다. 함체에 녹 발생을 방지하기 위해서 알루미늄 재질의 경우에는 알로이 코팅을 한다.

표 10 TSC 함체 평가

	함체(Cabinets) 평가	
	미국	국내
함체내부 온도관리	O	O
열충격 시험	O	O
염수분무시험	O	O
모래먼지시험	X	X
복합부식가스시험	X	X
함체 녹방지 시험	O	O

(6) RAMS 선행 기존 연구 조사

(가) RAMS 분석

① RAMS 정의

RAMS은 신뢰도(Reliability), 정비도(Maintainability), 가용도(Availability) 및 안전도(Safety)의 총칭으로 요소별 예측 및 분석활동을 통하여 「설계지원/평가, 설계/대안도출 등을 지원하는 업무」로써 고장빈도(신뢰도 : MTBF, MRBF, MKBF 등), 정비업무량(정비도 : MTTR,

MR), 준비상태(가용도: Ai, Aa, Ao), 위험도(Risk)를 나타내는 척도로 사용된다. 이러한 RAMS 업무의 역할은 개발 초기부터 체계 고장률 및 정비도 등을 관리함으로써 체계 신뢰성을 증대하도록 하여, 수명주기비용을 절감하도록 하는 것이다.

② RAMS 관련 내용

㉮ 신뢰도 분석

- 신뢰도 정의

신뢰도는 특정 체계/장비가 「일정 시간동안 주어진 운용 조건하에서 요구된 기능을 만족하게 수행할 수 있는 정도(확률)」을 말한다.

- 신뢰도 할당

신뢰도 할당 목적은 장비체계의 신뢰도를 하위 수준까지 논리적으로 배분하는 것으로, 하위 수준의 신뢰도 값은 해당 결합체의 신뢰도 목표 값이 되어 설계목표로 부분품 선택 시 활용된다. 신뢰도 목표값 <수정> 할당 업무를 통해서 목표 지향적 설계가 가능해지므로 신뢰도 할당은 개발초기에 실시되어야 하며, 목표값 <수정> 할당의 지연은 최적 부품 선택이 제한되고, 이로 인한 고장발생 증가, 운영유지비용 상승을 초래하는 데 이와 관련 내용은 그림과 같다.

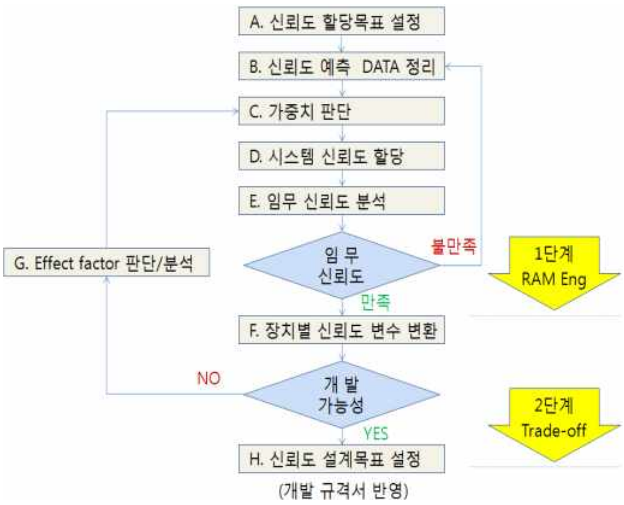


그림 7 신뢰도 할당 절차

- 신뢰성 예측

신규 장비체계에 대한 요구 목표값 <수정>을 충족시키기 위하여 신뢰도 값을 계산하는 과정으로 표의 내용과 같이 개발 단계별 대상을 세분화하여 수행하여야 한다.

표 11 개발단계별 신뢰도 분석 범위

구분	탐색개발	체계개발		
		체계기능검토	기본설계검토	상세설계검토
예 측 범 위	신뢰도 값 할 당	구성품 단위 신뢰도값 달성	결합체 단위 신뢰도값 달성	부분품 단위 달성 및 체계 종합

신뢰성 예측값은 할당값을 충족해야 하며 이때, 할당값을 충족하지 못할 경우 더 좋은 품질의 부품 선택 및 설계개선이 필요하다. 예측신뢰도의 계산은 규격별 차이가 있으나, 체계개발 초기단계에서는 개략적인 신뢰도 목표값을 산출하기 위해 부품수량분석(PCM) 방법을 사용하고 체계설계 완성단계에서는 부품부하분석(PSM) 방법을 사용하여 정확한 신뢰도 목표 값으로 산출한다.

㈏ 정비도 분석

- 정비도 정의

정비도란 「어떤 체계가 고장 발생시 규정된 정비요원이 가용한 절차 및 자원을 이용하여 주어진 조건하에서 주어진 시간 내에 체계를 정비하여 그 성능을 규정된 상태로 원상복구 할 수 있는 확률」로 정의할 수 있으며, 할당은 체계로부터 조립체 수준까지 정비목표를 배분하는 것으로 이 값은 정비인력 판단근거자료로 활용한다.

표 12 정비업무 용어 구분

구분	내용
정 비	장비를 주어진 제작상태로 회복 및 유지하기 위해 취하는 모든 활동으로서, 예방 정비와 고장정비로 구분
고장정비	운용 중 발생한 고장을 교정하기 위하여 취해지는 정비 행위로 비계획 정비
예방정비	체계 및 장비의 조정, 윤활, 계획점검과 같이 고장을 사전에 예방하기 위하여 취하는 정비로서 계획 정비

- 정비도 분석절차

신뢰도 분석을 통해 산출된 고장률은 정비업무별 정비빈도를 산출해 주고, 정비업무 분석을

통한 정비시간이 산출되면 정비도는 정비계단별 소요시간이 계산되는 것이다. 정비도는 가용도를 산출하기 위한 필수요소이며, MIL-HDBK-472를 준용하여 정비시간을 판단하고, 이를 종합하여 장비체계의 정비도를 산출하고 있다. 정비도는 평균수리시간(MTTR), 정비활동간 평균예방정비시간(Mpt), 평균실 정비시간($\overline{M}$), 정비율(MR) 등의 척도로 산출하며, 수행절차는 그림의 내용과 같다.

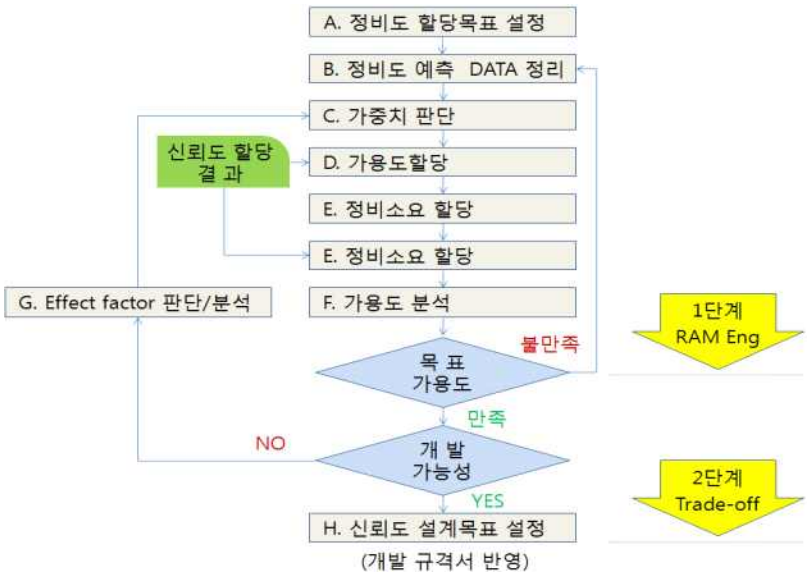


그림 8 정비도 분석 절차

- 평균예방정비시간(Mpt)

평균예방정비시간은'체계 및 장비에 대한 예방정비의 평균소요시간'을 의미하고, 계산 수식은 아래 식과 같다.

$$M_{pt} = \frac{\sum(f_{pti})(M_{pti})}{f_{pti}} = \frac{\text{총 예방정비시간}}{\text{예방정비활동 빈도수}}$$

· $fpti$: 예비정비활동빈도수 · $Mpti$: i번째 정비의소요시간

- 평균수리시간(MTTR)

'특정 장비 및 체계가 고장 발생 시 수리 및 복구하기 위해 소요되는 일련의 시간들의 평균값'을 의미하고, 계산 수식은 아래 식과 같다.

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^{N} TF_i \times ET_i}{\sum_{i=1}^{N} TF_i} = \frac{\text{총 고장정비시간}}{\text{총 고장정비횟수}}$$

· i : 장비 고장정비 행위수 · N : 장비 고장장비 수의 총합

· TF_i : 고장장비 업무의 빈도수 · ET_i : i번째 고장의 정비시간

- 평균실정비시간($\overline{M}$)

평균실정비시간은 예방 및 고장 정비를 하는데 소요되는 평균시간이며, 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$\overline{M} = \frac{(\lambda)(\overline{M_{ct}}) + (f_{pt})(\overline{M_{pt}})}{\lambda + f_{pt}} = \frac{\text{총 정비시간}}{\text{총 정비횟수}}$$

$\overline{M_{CT}}$: 평균수리시간

※ λ는 고장률, fpt는 예방정비율을 의미함.

- 정비율(MR)

'단위 시간당 소요되는 정비인시'로써 아래 식으로 표현된다.

$$MR = \frac{\text{누적정비(예방 + 고장) 인시}}{\text{누적 운용시간}}$$

㉰ 가용도 분석

- 가용도 정의

가용도는「신뢰도」와「정비에 의하여 고장이 정상상태로 회복되는 부분」으로 이루어지며 시간 t에서 해당 장비가 정상상태에 있을 확률이다. 「정비 가능한 시스템이 어떤 사용조건에서 규정시간에 정상적인 기능을 유지 (정상상태)하고 있는 확률」을 말하고 고유가용도, 성취가용도, 운용가용도 등으로 분류할 수 있다.

- 가용도 분류

'장비체계가 이상적인 지원환경(규정된 공구, 수리부속, 숙련된 정비요원, 지원장비 등이 준비되어 있는 상태)에서 예방정비 없이 규정된 조건하에서 가동될 확률'을 고유가용도(Ai : Inherent Availability)라고 한다.

$$A_i = \frac{\text{총가동시간}}{\text{총가동시간}+\text{총 수리정비시간}} = \frac{TuT}{TuT+TCM}$$

성취가용도(Aa : Achieved Availability)는 고유가용도에 예방정비시간을 추가로 고려한 것으로, 체계 자체의 직접적인 요인으로 인한 체계의 가동 정지시간을 포함한 개념이다.

$$Aa = \frac{\text{총 가동시간}}{\text{총 가동시간}+\text{총 수리정비시간}+\text{총 예방정비시간}}$$
$$= \frac{TUT}{TUT+TCM+TPM}$$

운용가용도(Ao : Operational Availability)는 '장비체계가 실제 운용환경에서 사용될 때 임의의 시점에서 만족스럽게 작동될 확률'을 의미함. 현실적인 상태에서 규정된 조건으로 장비체계가 가동될 확률이다.

$$Ao = \frac{\text{총 가동시간}}{\text{총 가동시간}+\text{총 수리정비시간}+\text{총 예방정비시간}+\text{행정지연시간}}$$
$$= \frac{TuT}{TuT+TCM+TPM+TALDT}$$

㉮ 안전도 분석

- 안전도 정의

안전도는 제품, 부품이 규정된 조건하에서 고장이 발생하지 않을 확률(위험도)이다.

- 안전도 분류

위험도(Risk)는 특정한 위험원에 관해서 피해가 발생하는 빈도와 그 피해가 크기를 나타내는 지표임. 다음과 같이 정량적으로 표기가 가능하다.

$$\text{위험도}(Risk) = (\text{발생확률}) \times (\text{사고의 결과})$$

③ RAMS 관련 규격 분석

신뢰성 예측 규격 히스토리는 그림과 같다.

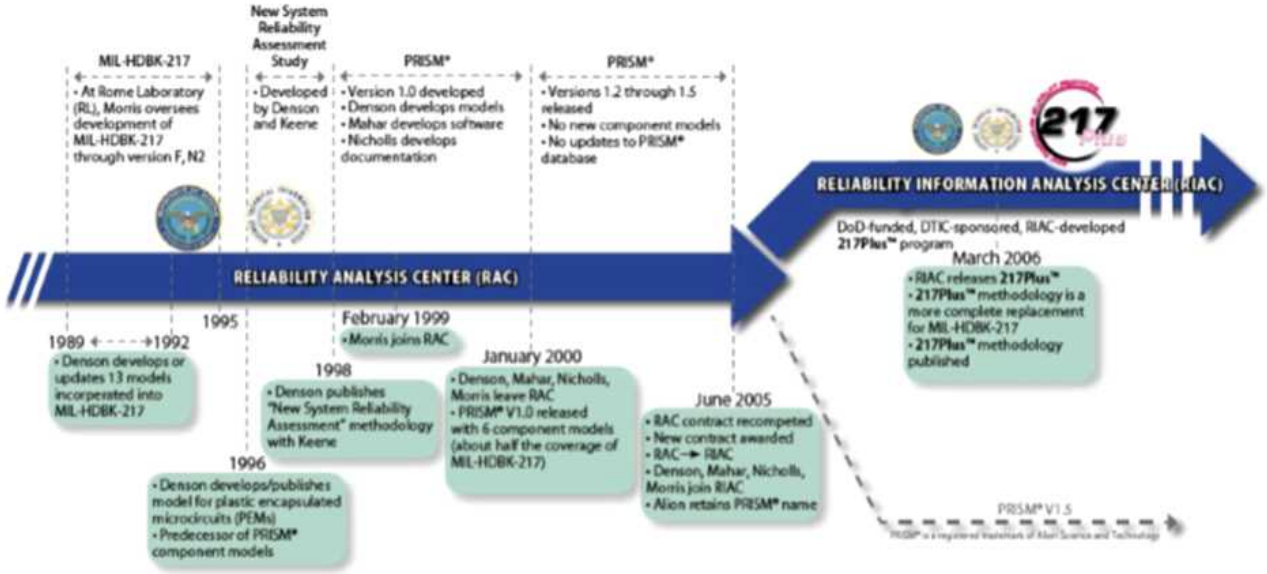


그림 9 신뢰성 예측 관련 DoD 표준 규격 및 방법 툴 변천 History SUMMARY

㉮ MIL-HDBK-217

MIL-HDBK-217은 1962년 미 국방부에서 최초 제정되었고, 이후 수 차례에 걸쳐 개정되어 1995년에 F버전 Notice 2까지 발간되었다. 현재 활용중인 F버전 Notice 2는 90년대 중반 이후에 개발된 전자부품에 대한 고장률 정보를 포함하고 있지 않다는 단점이 있지만, 대부분의 전기/전자부품의 고장률 예측 모델을 제시하고 있으므로 방산분야뿐만 아니라 민수분야에서도 가장 널리 사용되고 있다. MIL-HDBK-217에서는 신뢰도를 예측 방식이 다음과 같이 두 가지로 나뉜다.

- 부품수량분석법(PCM, Part Count Method)

부품 종류 별 할당된 기본 고장률에 부품 수량을 곱하여 고장률을 산출하며 체계를 구성하는 부품 정보가 부족한 설계 초기 단계에서 적용하는 개략적인 방법

- 부품부하분석법(PSA, Part Stress Analysis)

각 부품에 가해지는 전기적/열적 부하와 사용 환경에 의한 부하(스트레스)를 분석하고 부품의 품질수준, 최대 정격치 등 부품 별 특성을 고려하여 고장률을 예측하는 방법

㈏ NSWC

기계부품의 신뢰도를 예측하기 위해 미 해군의 NSWC(Naval Surface Warfare Center)에서 발간한 NSWC를 활용하고 있다. NSWC는 2011년에 발간된 버전이 최신 버전으로 기계부품에 작용하는 물리·화학적인 요소들에 의한 작용 값들을 측정 또는 산출 공식을 이용하여 그 요소 값들을 찾아내고 이 값들을 NSWC에서 정의한 각 부품의 고장률 산출 공식에 적용하여 부품의 고장률을 예측한다.

㈐ NPRD/EPRD

NPRD와 EPRD는 미 신뢰성분석센터(RIAC)에서 20여년간 미군 장비 운용실적을 바탕으로 수집한 고장률 데이터이다. NPRD-2011이 최신 버전이며, Non Electronic Reliability Databook의 약자로 베어링, 브레이크, 기어 등과 같은 기계 부품들의 고장률을 다루고 있고, 앞에서 소개한 규격들과 달리 수학적 계산식에 의한 예측 값이 아니라 다양한 장비의 실제 운용과 고장 발생 자료를 근거로 고장률을 정리해 놓은 데이터이다. EPRD-2014가 최신 버전이며, Electronic Reliability Databook의 약자로 다양한 전기/전자부품에 대한 고장률 데이터를 NPRD와 유사한 방법으로 제공하고 있다. NPRD와 EPRD는 부품유형별 Category 및 Sub Category에 따라 고장률 데이터를 선택하여 활용하는 방식으로 분석대상에 부과되는 스트레스 값을 반영하지는 못한다.

㈑ RIAC-HDBK-217Plus™

217Plus™는 1999년 RIAC에서 발표한 PRISM®의 다음 세대 모델로, 근본적으로 PRISM®의 방법론을 공유하면서 한정된 부품유형 등 PRISM®이 갖고 있던 내재적 한계를 보완하여 2006년 RIAC에서 발표되었다. PRISM®과 마찬가지로 과거 MIL-HDBK-217모델이 갖고 있는 개별 부품 중심의 분석모델의 한계를 극복하기 위한 체계 차원에서의 여러 가지 분석 기법들을 채택하고 있고, 개별 부품 차원에서는 90년대 중반부터 최근까지 빠른 속도로 발전하고 있는 전자부품들의 신뢰도 성장 인수를 반영하여 고장률 계산식에 적용하고 있다.

㈒ Telcordia SR-332(구 Bellcore)

Telcordia(구 Bellcore)는 미국의 Bell社가 통신 네트워크 장비 및 R&D를 공동으로 추진하기 위해 설립한 연구 컨소시엄으로 1997년 SAIC社가 Bellcore를 인수하면서 Telcordia로 명칭이

변경되었다. 전기/전자부품의 신뢰성 예측규격인 SR-332 Issue 1은 2001년도에, Issue 2는 2004년도에 발행되었으며, 현재 최신 버전은 2011년도에 발행된 Issue 3이다. SR-332는 통신장비용이지만 군사용 장비에 주로 사용되는 MIL-HDBK-217을 기초로 제정되어 사용상의 어려움을 없애고, 실험실 차원의 시험 결과나 야전 제원을 적용하도록 구성되어 있어 통신 장비뿐 아니라 군수용 장비를 제외한 일반적인 민수용 전자제품의 신뢰성 예측에 많이 활용되고 있다.

㉮ IEC62380(구 RDF2000)

IEC62380(구 RDF2000)은 MIL-HDBK-217에서 지원하는 대부분의 부품 종류를 지원하고 있으며, 전원의 on/off 사이클과 온도 사이클, 매우 복잡한 정보를 요구하는 IC(Intergrated Circuits)에 대해 우수한 예측 기술을 제공한다. 신뢰성 예측을 위한 팩터로 대기온도(Ambient Temperature), PCB 대기온도, Technology, 타입, Transistors 수, 생산년도 등의 정보가 필요하다. 미국 RIAC에서 개발한 PRISM®과 유사한 접근방식이며, Thermal Cycling과 Dormant System Modeling 분석이 가능하다.

㉯ PRISM®

PRISM®은 지난 2000년에 DoD RIAC(Reliability Analysis Center)에서 개발되었다. PRISM®은 RIAC가 개발한 다양한 고장 데이터 베이스 즉, NPRD, EPRD 등과 직접 호환하여 사용하며, 시스템 개발 공정의 등급에 접근하기 위한 정교한 예측방식을 제공한다. PRISM®은 Software 신뢰도 분석을 포함하며, 온도, 습도, 진동 등의 영향 팩터가 존재하며, 현재 부품의 적용범위에서 약간의 제한이 있지만 앞으로의 활용이 매우 큰 잠재력을 가지고 있다.

② 정비도(유지보수도) 관련 규격

㉮ MIL-STD-470

1983년도에 발간된 MIL-STD-470A(Maintainability Program for Systems and Equipment)는 정비도(유지보수도) 검증을 위한 업무 지침이 수록되었다. 본 규격은 시스템/장비 개발에 적용하기 위한 획득(Acquisition) 및 수정(Modification)에 대한 내용을 포함하고 있으며, 소프트웨어 정비도 관련 내용은 포함하고 있지 않다. 1989년도에는 MIL-STD-470B가 개정되었다.

㉯ MIL-STD-471

1973년에 발간된 MIL-STD-471A(Maintainability Verification/Demonstration/ Evaluation)에는 정비도 검증을 수행하는 방법에 대한 세부지침이 수록되어 있다. 정비도 검증의 목적은 장

비가 정비될 수 있도록 정비될 수 있는 능력이 있는가를 실제로 보여주는 것으로 설명하고 있다.

㉰ MIL-STD-472

1966년도에 발간된 MIL-HDBK-472(Maintainability Prediction)는 프로젝트 관리자 및 설계 엔지니어가 유지보수 예측 절차를 숙지하기 위해 작성되었다. 본 규격은 정비도 예측 절차를 Procedure I~V의 5가지로 구분하여 제시하였고, 부대, 야전, 창 정비 단계에서의 항공전자전, 지상 및 함상 전자장비의 정비도 요소를 예측하기 위해 사용되었다.

㉱ DOD-HDBK-791

1988년도에 발간된 DOD-HDBK-791(Maintainability Design Techniques)은 효율적인 가용도 설정을 위해 필요한 두 가지 요소인 신뢰도와 정비도 검증을 위한 업무 지침이 수록되어 있다. 정비도 관련 활동은 시스템의 작전준비태세(Operational Readiness) 점검을 위해 활용되기도 한다.

나. PHM 기존 연구 조사

(1) PHM의 정의와 필요성

PHM (Prognostics and Health Monitoring or Management)은 설비나 장비, 시스템의 사용 조건에서 센서 등을 이용하여 설비 운용 상태에 대한 데이터를 획득한 후 이상상태를 진단하고, 언제 고장이 발생할 수 있는지를 미리 예지하여 고장 발생전에 사전 정비 등의 조치를 취함으로써 설비의 건전성을 확보하고자 하는 기술이다. PHM은 현재 상태를 관찰, 진단하고 나아가 미래 상태를 예측하고 선제적으로 조치해 줌으로써 더 장기간 안전하게 유지할 수 있도록 하기 위해 시행한다.

PHM은 1980년대 영국 민간 항공국에서 헬기 사고율이 항공기보다 30배나 높음을 파악하고 이를 줄이기 위한 목적으로 연구가 시작되었다. 90년대 들어 헬기의 건강상태를 관찰하는 HUMS(Health & Usage Monitoring System)를 개발하였고 실제 헬기에 장착하여 운용한 결과 사고율을 절반 이하로 감소시킬 수 있었던 것이 본격적인 연구의 계기가 되었다. 2000년대에는 미국 국방고등연구국(DARPA)이 Structural Integrity Prognosis System(SIPS) 및 CBM+(Conditioned Based Maintenance Plus) 프로그램을, 차세대 통합 전투기(JSF) 개발 컨소

시엄이 PHM 프로그램을 각각 수립하여 지금까지 기술개발을 지속하고 있고, 2003년부터 국방성(DoD)의 물류확보정책 5000.2에 PHM 시스템을 국방장비에 의무화하도록 명시하였다.

PHM은 4차 산업혁명과 더불어 필수적인 기술로 등장하고 있다. 최근 들어 대부분의 설비나 장비, 시스템이 자동화 되고 있는바, 이들 설비 중 하나만 고장이 발생하더라도 그 피해는 상상할 수 없을 정도로 막대하다. 최근 발생한 KT 기지국의 화재로 인한 사회적 피해가 그 대표적 사례이다. 더구나 4차 산업혁명 시대에서는 모든 장비가 네트웍화 되고 있어 한 장비의 고장으로 전체 공장이 정지하는 사태가 발생할 수도 있어, 고장예방은 더욱 긴요하게 되었다.

설비나 장비, 시스템의 고장예방을 위해서는 우선 설비의 설계나 제작단계에서부터 신뢰성을 적극적으로 고려하여야 한다. 즉 설비의 RAMS 기반 개발과 제작이 선행되어야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 지난 수십년간 생애기간동안 고장을 예방하는 신뢰성설계(Design for Reliability)에 연구가 수행되었으며, 특히 신뢰성 기반 최적설계(Reliability Based Design Optimization, RBDO) 기술이 활발히 개발되었다.

다음으로는 설비나 장비, 시스템의 사용시 고장을 적극적으로 예방할 수 있도록 사용환경조건을 관리하고, 적절한 정비 또는 유지보수가 이루어져야 한다. 설비에 대한 정비는 초기에는 고장이 발생하면 수리하는 사후정비 (Breakdown Maintenance)에 의존하였다. 그러나 사후정비는 고신뢰성이 요구되거나 고장으로 인한 비용이나 피해가 막대한 경우에는 적용이 불가능하기 때문에 고장이 발생하기 전에 정비를 실시하는 예방정비 (Preventive Maintenance)를 실시하게 되었다. 예방정비는 처음에는 일정시간이 경과하면 무조건 정비를 실시하는 정기정비를 실시하였지만, 후에는 설비나 장비의 사용시간을 기준으로 정비를 실시하는 경시정비를 실시하게 되었다. 그러나 이들 정비방식은 실제 결함 수준이나 고장발생 가능성은 고려하지 않고 무조건 정비를 실시하므로 불필요한 비용을 초래하기도 한다. 이를 해결하기 위하여 개발된 방식이 바로 예지정비 (Condition Based Maintenance: CBM) 이다.

CBM은 설비의 상태를 기준으로 정비를 결정하여야 하므로, 여러 가지 센서나 측정 장치를 이용하여야 한다. 이러한 센서들로부터 얻어진 설비상태에 대한 정보를 바탕으로 현재 설비를 진단 (diagnostic)하여 정비 여부를 결정하고자 하는 것이 CBM 이다. 다음 표는 CBM에서 활용될 수 있는 진단기술을 예시한 것이다.[39]

39) 김영식 (2012). 설비상태 예지보전 (CBM) 의 추진방법, 인터넷 자료.

표 13 CBM 설비 진단 기술

진단기술	내용
온도법	온도를 측정함으로써 설비진단을 실시하는 방법으로 온도의 변화를 판독하여 설비의 이상을 파악하는 방법
유분석법	설비에 사용되고 있는 작동유, 윤활유, 절연유 등을 분석함으로써 마모상태나 열화상태를 파악하여 설비의 진단을 실시하는 방법
누설검지법	초음파, 할로겐 가스 등을 사용하여 설비의 결함상태파악 및 누설량을 측정하여 Sealing부의 결함상태를 파악하는 방법
균열검지법	*자분탐상검사 : 금속재료를 자화시킨후 자분을 뿌려 결함부위에서의 집결상태로 파악하는 방법 *형광액침투검사 : 광명단을 금속표면에 도포후 Crack 부위의 결함상태를 진단하는 방법
진동법	설비 각부위 진등을 측정함으로써 설비진단을 실시하는 방법으로 변위량, 가속도를 검출하여 설비의 결함을 파악하는 방법
음향법	회전부 등의 운동 상태를 파악하기 위하여 음의 크기를 진동수와 진폭을 이용하여 Microphone 등으로 측정하여 결함부위와 크기를 측정하는 진단방법
부식진단법	배관 내의 금속표면의 부식 및 열화상태를 파악하는 진단방법
압력법	압력을 측정함으로써 설비진단을 실시하는 방법으로 압력손실, 토출압 등을 변수로 해서 설비의 이상을 판단하는 방법
치수측정법	설비 각 부위 칫수를 측정함으로써 설비진단을 실시하는 방법으로 치수변환에 따라 설비이상을 판단하는 방법
전기저항법	전기기기의 전기저항치를 측정하여 기기의 이상을 판단하는 방법
절연측정법	전기기기 또는 선로의 절연저항치를 측정하여 기기의 이상을 판단하는 방법방법
전도도측정법	용수가 공급되는 설비의 Scale 생성방지를 위하여 전기전도도에 의한 수질측정방법
pH측정법	용수가 공급되는 설비의 부식발생방지를 위하여 pH(산성도)에 의한 수질측정방법
회전속도측정법	회전체의 속도를 측정하여 기기의 이상여부를 판단하는 방법

CBM은 대형화되고 자동화되고 있는 최근의 설비에는 반드시 필요한 정비로 인식되고 있으며, 일본의 정비방식 TPM에서는 CBM이 궁극의 정비방식으로 받아들여졌다. 특히 일본 도요타사에서는 이른바 '인변의 自働化' (autonomation)을 실행하여 많은 효과를 거두었는데, 이는 설비의 작동상태를 모니터링하여 고장발생시 오퍼레이터나 엔지니어에게 알릴 수 있는 장치를 설비에 적용하는 것으로서 CBM의 한 형태임을 알 수 있다.

최주호는 정비방식의 변화를 다음 그림과 같이 나타내었다.[40]

40) 최주호 (2013). "고장예지 및 건전성 관리기술의 소개," 기계저널 53(7), 24-34.

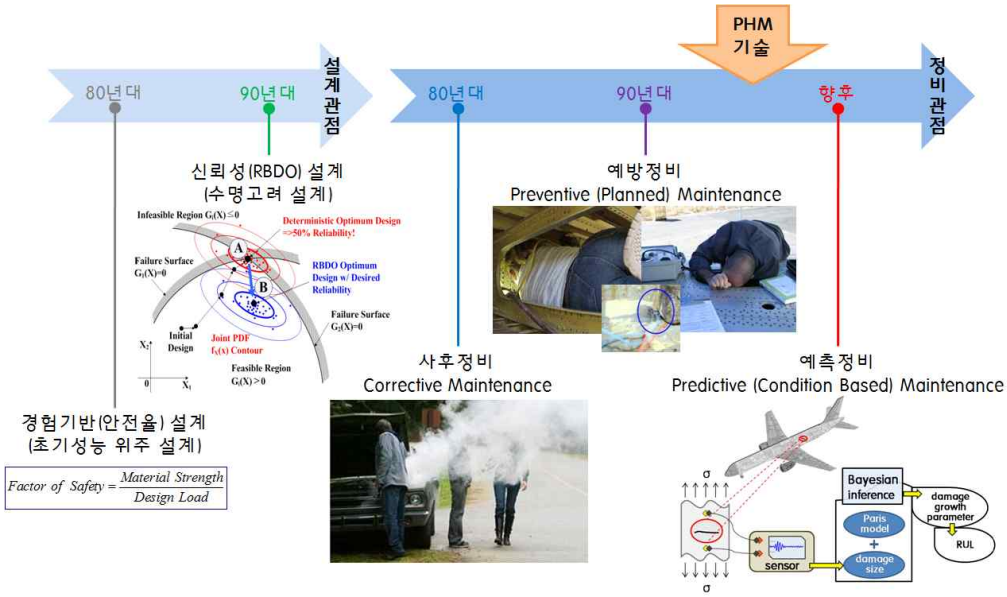


그림 10 설계 및 정비기술의 발전

CBM이 설비의 상태를 기반으로 정비방식을 결정한다는 면에서 정기정비나 경시정비보다 여러 가지 우월성이 있지만, CBM 은 단지 설비의 고장여부를 판단하는 진단만을 실시한다는 면에서는 한계가 있다. CBM은 on-line 으로 실시간 모니터링을 할 수도 있고, 또는 일정시간마다 점검 (inspection)을 실시하여 정비여부를 결정할 수 있다. 그러나 점검 시각 당시에 잘 작동하던 설비도 다음 점검 시간 이전에 고장이 발생할 수도 있다. 따라서 현재는 잘 작동하지만 언제쯤 고장이 발생할 것인가를 예측할 수 있다면, 고장이 발생하기 이전에 미리 조처를 취할 수 있게 되어 설비의 고장을 적극적으로 예방할 수 있게 된다. 이를 해결하기 위한 기술이 바로 PHM 이다. PHM은 고장예지 및 건전성 관리로 번역할 수 있는데, “운용중인 시스템의 상태를 관찰, 결함이나 이상 징후를 판단해 향후 성능이나 고장 및 사용 불능에 이르는시점을 예측하는 기법”이라고 할 수 있다. PHM은 효과적인 상태관찰・진단・예지・유지기법을 이용, 장비의 유지보수나 제조과정에 드는 시간과 비용을 절약하고, 잠재적인 고장 등의 문제를 최소화하는 것이 목표이다.[41]

PHM 기법은 자동차, 항공우주, 중장비 등의 산업에서 활발하게 활용되고 있으며, 고신뢰성과 안전성이 요구되는 다양한 응용 영역에서 개발되어 왔다. 특히 최근 4차 산업혁명시대가 도래하면서 설비나 장비, 시스템에서에서 IT의 비중이 갈수록 높아지고, 초고속·초정밀·무인화·원격제어 의 트렌드에 따라 PHM은 고부가가치화 및 경쟁력 제고를 위한 중요한 전략으로 인

41) 김연수, 정영배 (2016). “잔존수명 예측을 위한 건전성 관리 프레임웍에 관한 연구,” *대한설비관리학회지*, 21(4), 73-83.

식되고 있다.

(2) PHM의 구조

PHM은 운용 중인 시스템이나 장치에 대해

① 건전성(결함이나 성능저하)을 지속관찰(Health Monitoring)하고

② 이상 징후를 진단(Diagnosis)하며

③ 언제 고장수준 또는 사용불능에 도달할 지 미리 예측(Prognosis)하여

④ 필요한 경우에만 정비조치를 하는 건전성관리(Health Management) 기술이다

이와 같은 PHM을 미국 메릴랜드 대학의 CALCE 연구소 Pecht은 다음 그림과 같이 프레임웍을 제시하였다.[42]

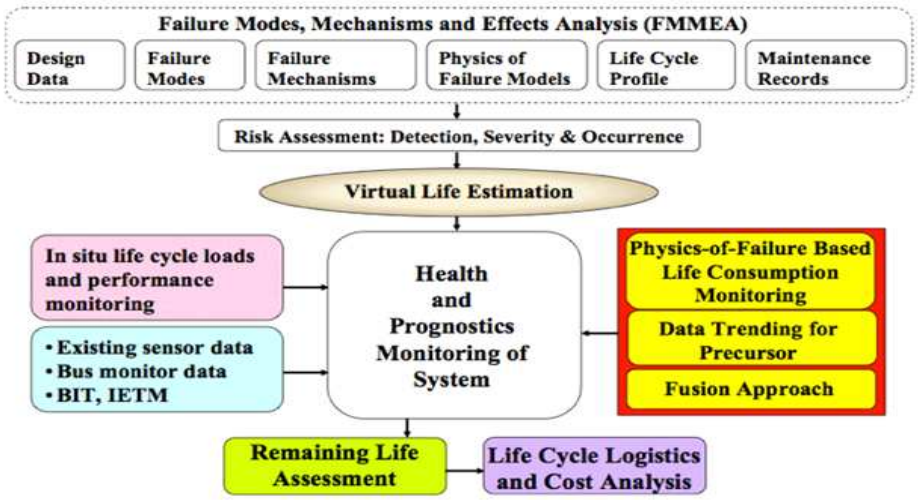


그림 11 CALCE 의 PHM 프레임웍

CALCE 의 PHM 프레임웍은 PHM의 구축 방법을 제시하고 있다. PHM을 수행하기 위해서는 우선 설비에 인가되는 반복 부하나 성능지표를 모니터링하여야 한다. 이를 위해서는 센서데이터나 데이터버스 모니터링데이터, BIT (Built-in Test) 데이터, IETM (Interactive Eletronic Technical Manual)[43] 의 데이터를 실시간으로 모니터링 하여야 한다. 이렇게 수집된 데이터들은 FMMEA (failure mode, mechanism and effect analysis)를 활용하여 수행된 리스크 평가의 결과로 도출된 가상수명예측 (Virtual Life Estimation) 식을 활용하여 잔여수명 예측을 실시하

42) M.G. Pecht (2008). *Prognostics and Health Management of Electronics*, Wiley.
43) 전투기 등의 고장진단이나 처리 등에 관련된 기술매뉴얼.

게 된다. 이의 효과를 알아보기 위한 생애비용 분석도 실시할 수 있다. 이 과정에서는 고장물리 (Physics of Failure: PoF)를 이용한 수명소진 모니터링, 고장전조증상에 대한 데이터 경향 분석, 이들의 퓨전 접근 등의 방법이 활용된다.

한편 미국 Sandia 연구소에서는 다음 그림과 같이 PHM 아키텍처를 제시하고 있다.[44]

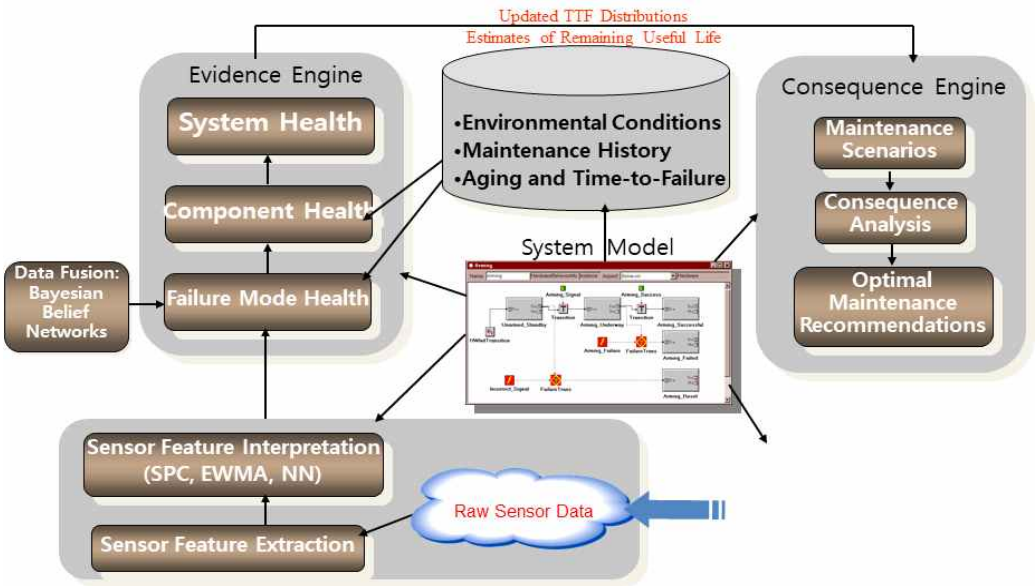


그림 12 Sandia 연구소의 PHM 프레임 아키텍처

Sandia 연구소의 PHM 아키텍처에서는 우선 설비에 장착된 센서들의 데이터를 분석하여 특징을 찾아내고, 이를 SPC (Statistical Process Control), EWMA (Exponentialy Weighted Moving Average), 뉴럴네트웍(Neural Network) 등 다양한 방법으로 처리한다. 이와 같은 분석에는 시스템 성능 모델 등이 활용되며, 필요한 경우 베이지안 방법을 사용할 수도 있다. 이 분석 결과를 이용하여 고장모드, 부품, 시스템의 건전성을 평가하여 최적 정비방식을 결정한다. 이를 위해서는 사용환경조건이나 정비이력, 에이징이나 고장발생시간에 대한 모델을 활용하여야 한다.

한편 Gu 와 Pecht 는 CALCE 의 PHM 프레임웍에 기반하여 Sandia 연구소의 PHM 아키텍처를 보다 구체화하였다.[45]

44) 인터넷 자료.
45) J. Gu & M. Pecht (2008), “Prognostics and Health Management using PoF,” Reliability Maintainability and Safety.

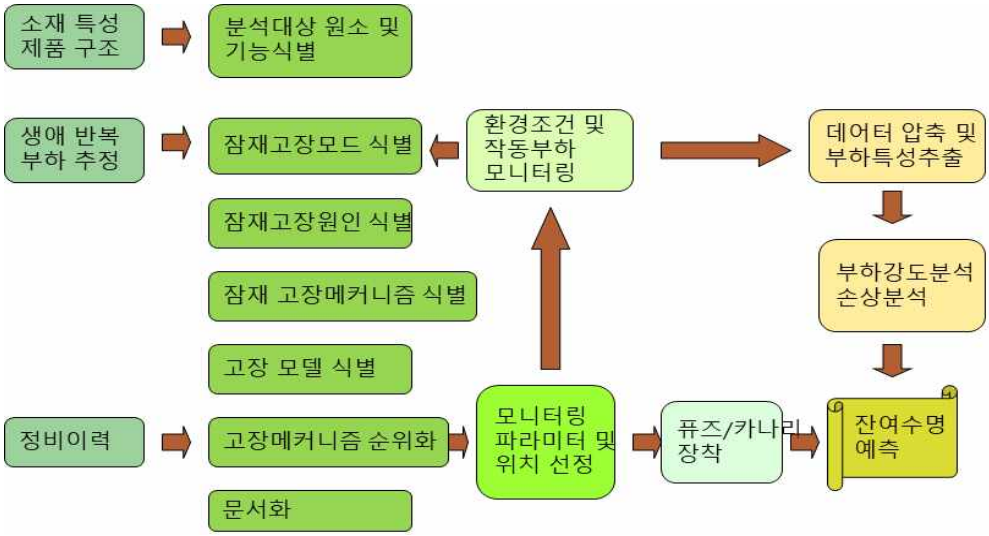


그림 13 CALCE 의 PHM 구조

위의 그림에서 보면 CALCE 는 Sandia 연구소보다 PHM 적용에 필요한 기술을 구체적으로 적시하고 있음을 알 수 있다.

(3) 모니터링 방법과 대상

PHM에서는 설비나 장비에서 작동의 건전성을 확인하기 위하여 어떤 파라미터 또는 성능지표를 모니터링할 것인가부터 결정되어야 한다. 이러한 파라미터 결정은 발생 가능한 고장메커니즘과 고장모드를 분석하여 식별되어져야 하므로, 고장모드 영향분석은 필수적이라 할 수 있다. 이러한 파라미터의 모니터링을 하는 방법으로는

① BIT (Built-in Test)

② 카나리나 퓨즈 활용

③ 고장전조증상

④ 사용환경부하

등이 방법들이 제안되어 왔다. 우선 BIT 는 설비 내에 성능이나 건전성을 모니터링할 수 있는 장치를 미리 설치하여 설비의 건전성을 직접 측정하는 방법이다. 한편 카나리는 과거 광산에서 발생할 수 있는 안전사고의 예방을 위하여 갱도에 카나리 (새)를 놓아 두면 가스 발생시 카나리가 먼저 약해지거나 사망하게 되어 광부들의 안전사고에 대비할 수 있었던 방법을 응용한 것으로, 설비에 고장이 발생하기 전에 다른 약한 장치를 설비에 설치함으로써 고장에 대비하는 방법이다.

고장전조증상을 모니터링 하는 것은 고장은 항상 예단할 수 있는 전조가 있다는 사실을 활용

하는 방법이다. 예를 들어 전자부품에서는 고장 발생 전에 열이 나거나 누설전류가 증대될 수 있는데, 고장전조증상은 바로 이러한 파라미터를 측정하고자 하는 것이다. 다음 표는 전자부품에서 활용될 수 있는 고장전조증상을 나타낸 것이다.[46]

표 14 전자부품의 고장전조증상

전자부품	고장전조증상
스위칭 전원공급장치	직류 출력 (전압/전류), 리플전류, 임무 사이클 펄스폭, 효율, 피이드백 (전압/전류), 누설전류, RF 잡음
케이블/커넥터	임피던스 변화, 물리적 손상, 고에너지 유전체 파괴
CMOS IC	공급측 누설전류, 공급전류변동, 동작신호, 전류노이즈, 로직수준변동
전압제어발진기	출력 주파수, 파워손실, 효율, 페이스 왜곡, 노이즈
FET	게이트 누설전류/저항, 드레인-소스 누설전류/저항
세라믹 칩 캐패시터	누설전류/저항, 소실인자, RF 노이즈
다이오드	역 누설전류, 순방향 전압손실, 열저항, 파워소실, RF 노이즈
전해 캐패시터	누설전류/저항, 소실인자, RF 노이즈
RF 파워 앰프	VSWR (전압정재파비), 파워소실, 누설전류

한편 이러한 고장전조증상은 다음과 같은 여러 항목으로 측정할 수도 있다.

표 15 고장전조증상의 모니터링

측정항목	측정값
열적	온도 (범위, 사이클, 변화기울기, 램프율), 열 플럭스, 열소실
전기	전압, 전류, 저항, 인덕턴스, 캐패시턴스, 유전상수, 충전, 극성, 전장, 주파수, 파워, 노이즈 수준, 임피던스
기계적	길이, 면적, 부피, 가속도, 질량 플로우, 힘, 토크, 스트레스, 스트레인, 밀도, 스티프네스, 강도, 방향, 압력, 음향 파워/강도, 음향스펙트럼
습도	상대습도, 절대습도
생물	pH, 생물분자농도, 미세기관
화학적	화학품 종류, 농도, 농도변화기울기, 분자중량
광학	강도, 페이스, 파장, 극성, 반사율, 투과율, 굴절율, 거리, 진동, 진폭, 주파수
자성	자장, 플럭스 밀도, 자성모멘트, 투자율, 방향, 거리, 위치, 흐름

다음으로 사용환경부하의 모니터링은 고장전조 증상을 나타내는 파라미터의 직간접적 측정이 어려운 경우 사용되는 방법으로 설비의 사용환경조건을 모니터링 대상으로 하는 방법이다.

46) M.G. Pecht (2008). *Prognostics and Health Management of Electronics*, Wiley.

이 방법은 설비나 시스템의 실사용 조건 (환경적 스트레스, 동작 조건 및 프로파일)이 설비나 시스템의 물리적 열화 및 수명 단축에 영향을 미치게 되며, 그 열화 정도는 여러 가지 부하 파라미터(사용률, 빈도수, 심각도)에 따라 다르게 나타난다는 사실을 응용하는 방법이다. 이 방법은 실시간으로 측정된 부하 프로파일(Load Profile)을 설비나 시스템의 열화 평가 및 수명 추정을 위한 손상모델과 결합하여 사용하게 된다. 즉 설비의 사용환경조건이 설비의 열화나 고장에 어떻게 영향을 미치는가가 사전에 실험 등을 통하여 확인된 고장모델이 있을 때 활용가능한 방식이다.

다음 표는 모니터링 대상인 부하종류와 파라미터를 예시한 것이다.

표 16 사용환경 부하 모니터링

부하종류	부하 파라미터
열적 부하	정상상태 온도, 온도범위, 온도사이클, 온도변화 기울기, 램프율
기계적 부하	압력크기, 압력기울기, 진동, 쇼크부하, 음향수준
화학적 부하	활성/비활성 환경, 습도수준, 오염, 오존, 공해
물리적 부하	방사, 전자장 간섭, 크기
전기적 부하	전류, 전압, 파워, 저항

사용환경부하 모니터링은 실제로 많은 활용을 보이고 있는데, 그 이유는 고장전조증상에 대한 실시간 직간접적 측정이 불가능하거나 어려운 경우가 많기 때문이다.

(4) 고장예측

센서로부터 측정되어 고장전조증상에 대한 데이터나 사용환경조건에 대한 데이터는 적절한 방법으로 분석되어 고장이나 건전성에 대한 진단은 물론 향후 고장 발생 시간까지의 잔여수명을 예측하여야 한다. 이를 위하여는 대상 부품이나 모듈의 열화 또는 손상모델이 필요한데, 이는 앞에서도 살펴본 바와 같이 FMMEA 나 과거 이력, 가속시험 등으로부터 확보되어져야 한다. 이러한 모델들이 확보되면 센서 데이터를 다음 그림과 같이 데이터 축약이나 파라미터 추출 등의 분석을 실시하여 건전성 분석과 예측이 가능하게 된다.

센서로부터 얻어진 데이터를 분석하여 고장을 예측하는 방법은 경험기반방법, 데이터기반방

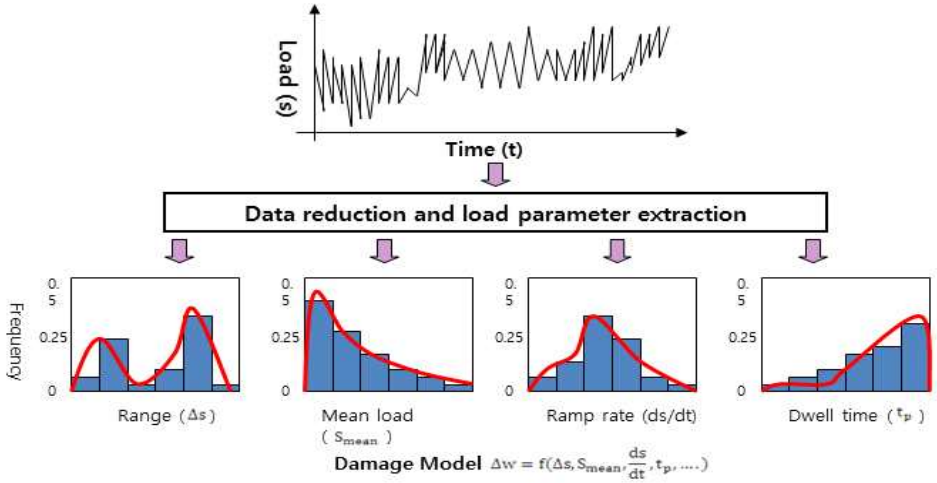


그림 14 건전성 평가

법, 물리모델기반방법 등으로 크게 세 가지 방법이 있다. 먼저 경험기반방법은 측정된 데이터의 통계적 분석 결과와 전문가의 경험, 과거 이력 등을 결합하여 의사결정을 하는 방법이다. 이 방법의 장점은 간단하고 적용범위가 넓다는 것이지만, 고장 데이터가 매우 많아야 하며 동일 사용조건과 고장에 대해서만 사용가능하다는 단점이 있다. 다음으로 데이터기반방법은 오프라인에서 Machine Learning 기법 (Neural Network, Gaussian Process Model, Relevance Vector Machine등)을 이용하여 부하 대비 손상의 관계를 훈련시킨 후 온라인 모니터링에 적용하여 미래고장을 외삽으로 예측하는 방법이다. 이 방법은 데이터를 이용하기 때문에 고장물리모델 없어도 사용가능하여 적용범위 비교적 넓다는 장점이 있으며, 고장물리모델을 도출하는 기본이 될 수 있다. 그러나 훈련 위해 많은 데이터 필요하며, 사용조건 다르면 다시 훈련하여야 한다는 단점이 있다. 또한 근접 예측은 가능하나 먼 미래예측은 신뢰할 수 없다는 단점이 있다. 다음으로 물리모델기반방법은 고장물리기반 열화모델(PoF based degradation model)을 활용하는 방법으로 온라인으로 건전성 데이터 를활용하여 열화모델을 실시간으로 업데이트하고 미래를 예측하는 방법이다. 이 방법의 장점은 가장 정확한 방법이며, 적은 고장 데이터로 가능하다는 것이다. 또한 물리적 모델에 기반하므로 먼 미래의 고장예측도 가능하고, 열화모델의 변수만 알아내면 여러 조건에도 활용가능하다는 장점이 있다. 단점으로는 확립된 고장 물리모델이 많지 않아 적용분야 제한적이라는 점이다.

이와 같은 고장예측방법은 연구자에 따라서는 경험기반방법과 데이터기반방법을 합하여 데이터주도방법 (Data-driven approach)으로 고려하여, 고장예측방법을 데이터주도방법, 물리모

델기반방법, 두 방법을 결합한 하이브리드 모형으로 분류하는 경우도 있다.

(5) PHM 기술적용으로 인한 예상 기대 효과

PHM 기술을 적용함으로써 기대되는 효과는 다음과 같다.

- 시스템 유지비용 절감: PHM을 통해 CBM, 즉 필요할 때에만 정비를 하므로 정비시간, 수리비가 줄어들고 가동률은 높아진다. 자동차 오일교환이 하나의 예가 된다. 현재는 3-5k 마다 정기적으로 교환을 하도록 되어 있지만 PHM 기술이 적용되면 오일 점도를 지속 모니터링하면서 필요할 때에만 교환하면 된다.
- 안전성 제고: PHM을 통해 CBM 정비를 할 경우 PM방식 보다 오히려 안전성은 더 향상된다.
- 운용능력 예측: 현재의 건전성 상태를 토대로 향후 조건에서 고장없이 운용 가능한지 사전에 시뮬레이션할 수 있다. 예를 들어 전투기 여러 대에 여러 크기의 균열이 있을 경우 이들 중 어느 것이 특정 하중의 전투 작전을 수행할 수 있는지, 어느 것에서 작전 도중 fail이 발생하고 성공할 지를 판단할 수 있다. 또한 배터리의 경우 현재의 SOC를 가지고 다음 교체시 까지 버티려면 운전속도를 얼마나 낮추면 좋을 지 미리 알 수 있다.
- 물류비용 절감: 물류측면에서도 언제쯤 고장날 지 예측하면 그 싯점에 대비하여 교체부품을 미리 제작 공급하므로 적시(JIT, jut-in-Time) 공급이 가능하고, 또한 필요할 때만 부품을 제작하므로 제작비용과 재고가 감소한다. 이것은 다수의 장치를 함께 운용할 때 전체를 대상으로 운용계획을 수립할 수 있으므로 더 큰 효과를 기대할 수 있다.
- 설계능력 향상: 기존의 설계는 아무리 수명보장 설계라 해도 운용 중의 불확실성까지 고려한 설계가 안되어 실질적 보장에는 한계가 있었다. 그러나 PHM을 통해 실제 있었던 시스템의 사용이력(결함 및 성능저하 데이터)을 피드백 받으므로 새로운 설계에서 안전성을 보장하는데 도움 된다.
- 노후화 장비의 수명연장: 설계수명이 지나서도 그대로 사용되고 있는 노후화 장비가 많은 세계적인 추세에서, PHM을 통해 적절한 관리가 이루어진다면, 설계시의 기대수명이상으로 안전하게 사용할 수 있다.

다. FRACAS(Failure Reporting, Analysis, and Corrective Action System)

(1) FRACAS 의 정의

FRACAS는 고장보고·분석·시정조치시스템으로 번역된다. FRACAS는 설비의 사용자는 공급자[47]가 공동으로 하드웨어나 소프트웨어의 고장 데이터를 수집하고, 기록, 분석하는 폐쇄형 루프시스템이다. 설비의 사용자는 미리 정해진 형태의 고장에 대한 데이터를 수집하여 공급자에게 전달한다, 그러면 공급자는 고장검토위원회 (Failure Review Board : FRB)에서 해당 고장을 분석하게 된다. 분석된 결과는 발생된 고장에 대한 적절한 시정조치를 식별하고 실행하게 되며, 향후 재발방지를 위하여 철저한 검증이 되어야 한다. SEMATECH에서는 FRACAS의 절차를 다음 그림과 같이 간단하게 나타내었다.[48]

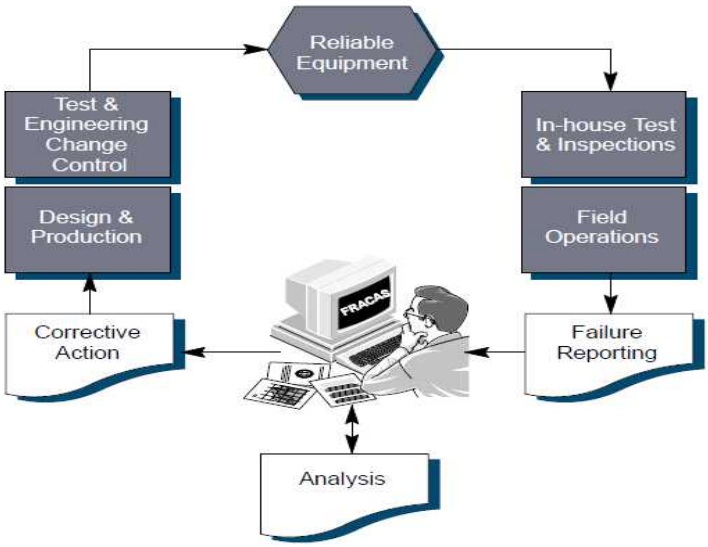


그림 15 SEMATECH FARACAS 절차

한편 미국 RIAC (reliability information analysis center) 에서는 이러한 절차를 구체화하여 다음 그림과 같이 FRACAS 프로세스를 정의하고 있다.

47) 반드시 설비메이커는 아닐 수 있다. 설비에 대한 책임있는 부서일 수도 있다.
48) SEMATECH, Failure Reporting, Analysis, and Corrective System, 인터넷 자료.

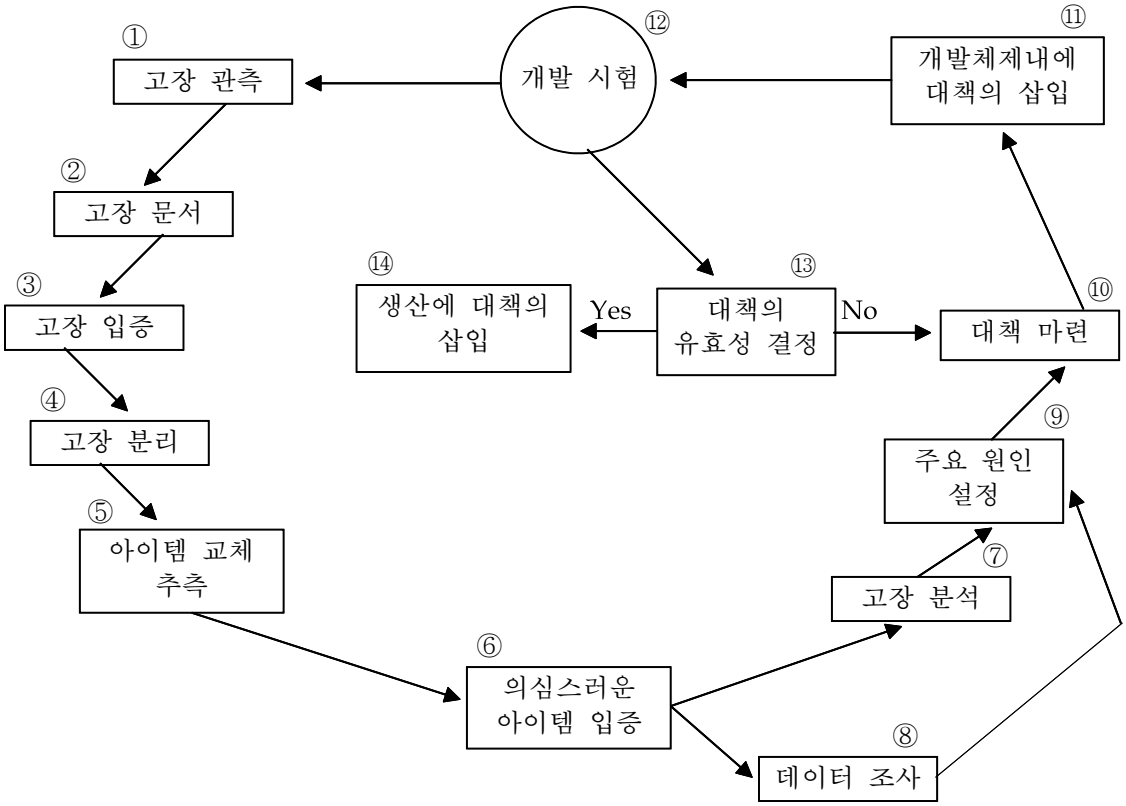


그림 16 RIAC 의 FRACAS 절차

① 고장의 관측

② 고장시간에 존재했던 모든 중요한 조건들을 포함한 고장의 완벽한 문서화

③ 고장입증 즉, 초기고장 관측의 타당성을 입증

④ 고장분리, 제품내부의 가장 낮은 교체가능한 레벨의 결함 아이템의 부위확보

⑤ 의심스러운 결함 아이템의 교체

⑥ 의심스러운 아이템의 결함을 입증

⑦ 결함 아이템의 고장분석

⑧ 다른 비슷한 고장 발생, 결함 아이템혹은 비슷한 관련 아이템의 사전 이력 등을 조사

⑨ 고장의 중요원인 설정

⑩ 필요한 대책을 설정 특히, 적용할 수 있는 재설계을 설계팀을 중심으로 한다.

⑪ 개발체제내에 제안된 대책을 적용

⑫ 개발시험의 계속

⑬ 제안된 대책의 유효성을 설정

⑭ 생산체제내부에 효과적인 대책을 적용

사실 설비의 고장은 어떤 지역에 설치되었지, 어떻게 운용되었는지 등 여러 요인에 따라 다르게 발생할 수 있으므로, 설비 사용자는 관련 정보를 정확하게 수집하여야 한다. 또한 정확한 분석을 통하여 효과적인 시정조치가 이루어질 수 있도록 하여야 한다.

FRACAS는 다른 신뢰성 활동과는 달리 설비의 생애 전체에 걸쳐 신뢰성이 향상될 수 있도록 하는 중요한 활동이다. RIAC reliability blueprint에 따르면 미국 여러 기업에서 가장 중요한 신뢰성활동과 가장 많이 실시하는 신뢰성활동으로 FRACAS를 들고 있다. 개선을 위하여는 반드시 데이터가 필요하다는 명제를 고려하면 FRACAS 는 모든 신뢰성활동에 선행되어져야 하는 활동이다.

FRACAS의 목표는

① 설계나 공정 결함을 대책을 마련하기 위해 제품운용시간과 고장특성과 같은 상세한 데이터를 제공한다.

② 설계실수, 부품 문제, 작업자의 실수들과 제조와 관리상의 공정실수들을 적절한 시기에 확인하고 대책마련에 필요한 정보들을 제공한다.

③ 하드웨어와 소프트웨어, 공정의 고장모드와 메커니즘 조처 기간 중 고장과 대책 정보를 계속 누적한다.

④ 제품의 현재의 신뢰성을 정량적으로 측정한다.

⑤ FRACAS 데이터는 수리적 신뢰성 모델을 설정하는데 사용되어지지만 목적은 제품의 문제들을 확인하는 것이다.

⑥ 신뢰성보증의 기초가 된다.

등을 들 수 있다.

다음은 효과적인 FRACAS 적용을 위한 몇 가지 요소를 정의한 것이다.

① 고장발생에 대한 정확한 서술과 고장부품의 파악을 위해 보고서 작성 자체에 대한 훈련이 필요하다.

② 내용을 알고 있는 설계 및 시스템 엔지니어의 도움으로 고장분석의 우선순위와 결정이 이루어져야 한다.

③ 모든 고장분석 현황이 알려져 있어야 한다. 고장분석을 신속히 추진하고 시정조치를 가능한

빨리 실행하는 것이 가장 중요하다.

④ 모든 고장의 근본원인을 이해해야 한다. 근본원인을 모르고서는 논리적인 시정조치가 마련될 수 없다.

⑤ 시스템 구성요소들의 MTBF와 고장추이를 파악하기 위해 시정조치의 타당성과 수정 및 재발방지를 위한 공식적 조치의 완료 정보를 제공해야 한다.

(2) 고장보고

설비에서 발생하는 모든 고장과 같은 사건은 점검이나 시험을 통해서 정해진 절차대로 수집되고 보고되어야 한다. 이렇게 수집된 데이터는 검증을 거친 후 전용 소프트웨어 등을 거쳐 간단한 형태로 제출되어야 한다. 특히 고장 확인에 대한 1차적인 임무는 오퍼레이터나 점검을 담당하는 정비엔지니어에게 있으므로, 이들이 정확하게 데이터를 수집할 수 있도록 하는 절차가 마련되어야 할 것이다. 이를 위해서는

① 고장발생시점에서 데이터를 수집하여야 한다.

② 가급적 설비의 사용이력을 수집하여야 한다.

③ 데이터의 중복수집은 가급적 지양하여야 한다.

④ 사용자나 공급자에게 표준화된 양식으로 데이터를 보고하도록 한다.

⑤ 사용자와 공급자는 가급적 자주 고장에 대한 데이터를 교환하여야 한다.

⑥ 설비 사용이력에 대한 모든 데이터는 연계분석이 이루어져야 한다.

⑦ 효율성 있는 소프트웨어를 사용하는 것이 바람직하다.

의 가이드라인을 준수하는 것이 필요하다.

다음 표들은 고장보고를 위한 양식을 예시한 것들이다.[49]

49) SEMATECH, Failure Reporting, Analysis, and Corrective System, 인터넷 자료.

표 17 FRACAS 고장보고 양식 사례

항목	내용
설비번호	설비관리번호
고장일시	
고장지속시간 (downtime)	o 시간 o 분
고장부품/모듈	고장부위나 기능을 Top-Down 으로 기술
고장코드	신뢰성 또는 고장모드코드를 활용하여 문제 식별
생애주기	설비생애주기 중 어는 기간에서 고장이 발생하였는가?
정비방법	계획정비인가 비계획정비인가?
부품번호	
담당자 이름	
서비스맨 이름	
고장보고서 번호	
고장증상	
수리방법	요구되는 수리방법을 기술

표 18 고장보고서 양식 사례

고장 보고서 형식	
모델 번호 :	발생 일자 : 발생 시간 :
고장의 설명 : 고장관측자 성명 :	
수리 설명 : 제품 수리자 성명 :	
고장분석의 설명 : 부품 분석자 성명 :	
대책 : 보고서 작성자 성명 :	보고서 일자 :

(3) 고장분석

고장분석은 고장의 근본원인을 분석하는 절차이다. 모든 고장은 확인되어야 하며, 고장원인과 모든 관련요소들을 파악할 수 있도록 분석 되어야 한다. 분석방법은 고장 주변 환경만을 간

략히 조사할 수도 있고 모든 고장부품을 실험실에서 세밀하게 분석할 수도 있다. 전체 14단계 중 단계 3에서부터 단계 9까지의 과정이 고장분석에 해당한다.

고장분석 단계는 FRACAS 성공에 핵심적인 역할을 한다. 고장분석의 초기 단계에서는 보고된 고장이 실제로 고장인지를 검증해야 하며, 검증되지 않은 경우 그 이유를 문서화해야 한다. 고장 검증이 완료되면 분석 계획을 세워서 분석 수행을 위해 취해야 하는 일련의 단계들을 기술한다. 추가적인 노력의 낭비를 피하기 위해 과거의 기록을 검토하고 동시에 수행되는 고장분석 조사들을 함께 통합하는 것이 근본원인 규명에 도움이 된다.

고장 분석 시 모든 관련부서에 고장분석절차의 목적과 구조를 분명하게 전달하는 것이 중요하다. 이 부서들은 협조를 확약하기 위해서 그 절차를 검토하고 승인해야 한다. 분석 과정동안 그리고, 분석이 끝난 후에 문제해결 책임부서, 관련 FRB위원과 신뢰성 담당자는 데이터베이스가 현재 적용 가능한 정보와 함께 관리되고 있음을 확인해야 한다. 그 분석 절차는 다음과 같다.

① 필드 서비스 보고서를 상세히 검토
② 데이터베이스에서 관련고장, 유사고장에 대한 과거자료 확보
③ 필요 시 RCA (root cause analysis)를 위해 고장부품 확보
④ 실행항목들에 대한 담당자 배정
⑤ RCA 실시
⑥ 시정조치 개발
⑦ PAR(고장분석보고서)와 부품처리보고서를 작성

(4) 시정조치

고장원인이 결정되면 시정조치계획을 개발하고 문서화한 다음 고장제거나 감소를 위해 계획을 실행한다. 단계 10에서부터 단계 14까지 해당하며 문제가 미해결 될 시에는 다시 되돌아가 문제 해결을 위한 장기적이고 영구적인 해결을 위한 새로운 시정조치를 찾아야 한다. 실행계획은 사용자측 대표의 승인을 얻어야 하며, 절절한 변경관리절차가 뒤따라야 한다. 품질보증부서에서는 재설계 된 모든 제품에 대한 수입검사절차를 수립하고 시행해야 한다. 남아있는 고장에 대한 관리누락가능성을 최소화하기 위해 모든 보고, 분석 및 시정조치의 지연날짜를 확인해야 한다.

FRACAS의 성공을 위해서는 시정조치를 검증하는 일이 필수적으로 필요하다. 검증은 시정

조치가 의도한 대로 구현되었으며, 새로운 고장 모드를 발생시키지 않고 효과적으로 근본고장원인을 제거할 수 있다는 확신을 제공한다. 근본고장원인을 효과적으로 제거할 수 있다는 사실은 시정조치를 적용하기 이전과 이후의 데이터를 비교함으로써 알 수 있다.

가장 바람직한 결과는 근본고장원인의 완전한 제거이다. 시정조치의 검증이 불만족스러운 경우에는 고장사건의 보고 및 문서화부터 FRACAS 프로세스를 다시 반복하여 시정조치의 효과가 검증될 때까지 또는 문서화되고 승인된 이론적 근거가 시정조치를 취하지 않아도 된다고 기술하거나 지기할 때까지 고장 보고서를 완결해서는 안 된다.

모든 시정조치가 실행되고 확인되었을 때, 또는 시정조치 없이 종료하는데 대한 근거가 FRB에 의해 승인되어 문서로 제시될 때 고장보고도 종료된다.

(5) 고장검토위원회 (Failure Review Board: FRB)

FRB는 고장 경향을 살피고 관리를 가시화하여 FRACAS를 관리한다. 그 취지는 고장 및 정비 데이터를 적시에 체계적으로 활용함으로써 제품의 신뢰도와 보전성을 개선하는데 있다. 다음 <그림 3> 은 FRACAS 실행 절차와 FRB의 관계를 보여준다.

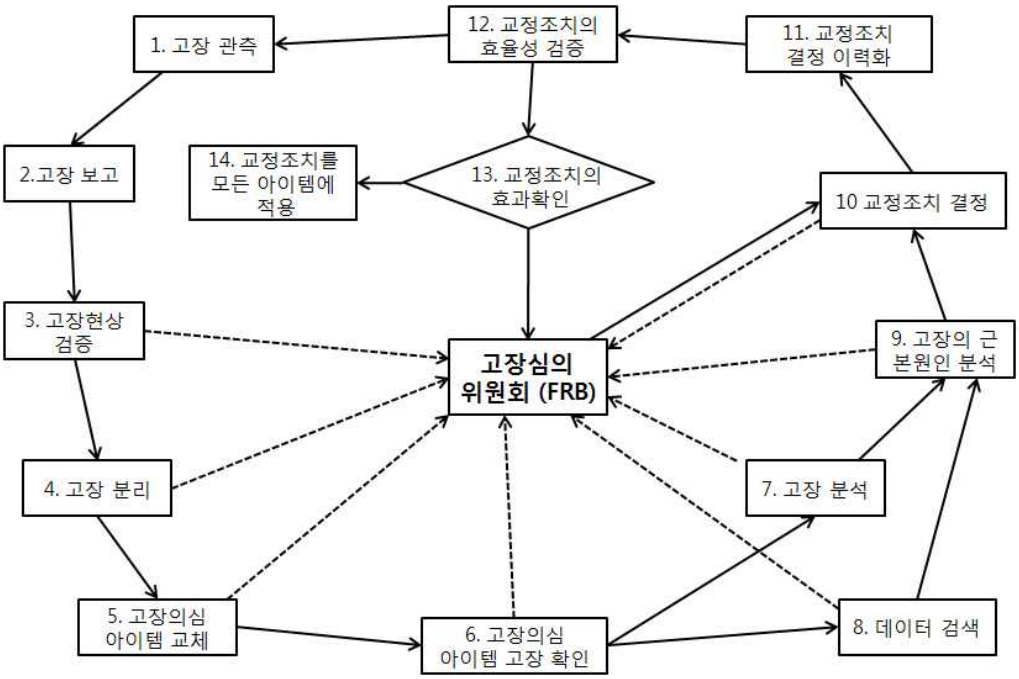


그림 17 FRACAS 시스템과 FRB

FRB는 고장원인을 상세히 파악하고 재발방지 및 수리업무의 단순화를 위한 효과적인 시정

조치의 실행을 보장할 수 있는 각 부서의 책임 있는 대표들로 구성된다. 일반적으로 FRB는 분석의 우선순위를 결정하고, 일정을 수립하며, 책임을 배정하고 실행에 필요한 충분한 예산을 지원할 수 있는 권한을 지닌 고위 관리자들로 구성된다. FRB에서는 고장경향을 검토하고, 고장분석을 추진/관리하며, 시정조치를 결정하고 실행한다. 이러한 임무를 적절히 수행하기 위해 FRB는 다른 부서들에게 조사, 분석 및 시정조치를 요구할 권한을 부여받아야 한다. 일반적으로 FRB에는 신뢰성, 품질, 필드서비스, 제조, 마케팅, 시스템 엔지니어링, 디자인 엔지니어링, 검사 등의 부서들이 참여한다. 이 중 신뢰성 관리자는 FRB를 주도해야 하며 주역할 중 하나가 효과적인 FRACAS 조직을 구성하는 것이다. 그 외에도 절차의 수립, 정기적 심의 추진, FRB 위원 지도 등의 역할이 있다.

(6) 적용상의 유의사항

FRACAS에는 기업내외의 많은 부서/그룹들이 참여하고 이들의 상호작용이 전체 프로세스를 복잡하게 만든다. 다양한 그룹들이 각각 FRACAS 시스템에 추가적인 요구를 하게 되면 프로세스는 더욱 복잡해지고 시스템의 사이클 타임이 길어져, 고장에 대한 정보는 잊어지고 프로세스가 완결되지 않을 수도 있다. 또한 FRACAS 실행을 통한 최우선 목표와 기대치에 대한 논의가 부족한 것도 문제가 될 수 있다. 서로 다른 부서/그룹들은 각기 해당하는 기능을 원하게 되어 시스템이 너무 방대해 질 수가 있으며, 때로는 시간이 지나면서 금전적 문제로 인하여 시스템의 일정기능을 MS Office로 대체하려 하기까지 한다. 결국 전체 FRACAS 시스템이 비효율적이고 해당 기관에 적용 불가능하게 된다.

마지막으로 FRACAS의 핵심인 데이터 관리에 있어서 문제가 발생할 수도 있다. FRACAS 시스템은 프로세스를 거치는 동안 데이터를 효과적으로 수집하여야 한다. 하지만 그렇다고 해서 꼭 많은 정보가 도움이 되는 것은 아니다. 너무 많은 정보는 중요한 경향을 숨기게 만들고 데이터 입력/관리/분석을 어렵게 만든다. 전체 사용자들이 쉽고 빠르게 사용할 수 있으면서 필수적인 정보들을 빠트리지 않는 데이터 관리가 필요한 것이다.

다음은 실제로 FRACAS 시스템을 도입할 때 고려하여야 할 내용들이다.

단계 1: 목표와 목표달성을 위한 성공요소를 명확하게 해야 한다. 이 정의가 모든 단계의 기초가 된다. 프로세스의 시작단계에서 모든 그룹과 이해관계자가 모여 짧은 미팅을 통해 FRACAS의 목표와 기대효과에 대해 합의해야 한다.

단계 2: 목표와 성공요소를 기초로 기대되는 결과와 성과물을 정의한다. 전형적인 성과물로는

계산 결과치, 차트, 그래프, 리포트가 있다.

단계 3: 다음으로 프로세스나 업무 흐름을 논의하고 간단하게 만들어야 한다. 도표를 이용한 도식화가 도움이 된다. 전체 프로세스에 변화가 생길 수도 있지만, 이 단계의 수립이 일의 시작점이 된다.

단계 4: 이제 프로세스에 필요한 데이터의 범위와 종류를 결정해야 한다. 시간이 많이 소모될 수도 있지만 중요한 작업이다. 데이터의 범위와 종류가 결정되면 어떻게 데이터가 사용자에게 보여 질지 어플리케이션의 화면을 결정한다.

단계 5: 소프트웨어를 이용한다. 현재와 미래의 필요에 따라 복잡함으로 분류된 여러 소프트웨어 중 적절한 것을 선택하는 것이 중요하다.

단계 6: 피드백과 수정을 통해 효율적인 데이터 접근이 가능토록 한다. 중요한 것은 목표와 성공요소를 되돌아봄으로써 추가와 수정, 제거의 범위를 명확하게 할 수 있다. 다음 단계로 넘어가기 전에 기업 내외의 모든 이해관계자로부터 승인을 얻어야 한다. 그들의 지원이 있어야 FRACAS 실행이 성공 할 수 있다.

단계 7: 분산형과 중앙집중형 FRACAS 중 적절한 것을 선택한다. 분산형은 맞춤형 FRACAS를 제공하고 필요한 데이터만 수집하는 장점이 있지만, 비용이 많이 들고 전사적으로 정보를 효율적으로 지원하지는 못한다. 중앙집중형은 모든 제품 및 공정에 대한 데이터를 한 장소에서 이용할 수 있으며 비용 상 우위가 있다. 하지만 정해진 틀에 따라야 하며 구체적이지 못한 데이터를 제공할 수도 있다.

단계 8: 훌륭한 시스템을 개발한다고 하여도 제대로 사용, 관리치 못하면 아무런 소용이 없다. FRACAS 실행을 위한 훈련을 실시하고, 능동적으로 관리하여 변화를 주어야 한다.

2. 신뢰성 평가의 예측 범위 설정

본 연구는 국도상에 있는 TCS 들의 유지관리를 위하여 안전과 신뢰성에 기반한 고장예지건전성 관리기술(PHM)을 개발하고자 하는 것이다. PHM 기술은 시스템을 구성하는 부품들의 열화특성을 활용하여 고장이 발생하기 전에 미리 유지보수를 실시하고자 하는 것이다. 따라서 PHM 기술을 개발하기 위해서는 TCS의 고장발생 가능성을 분석하여야 한다. 본 연구에서는 이를 위하여 TCS 의 실제 사용환경조건과 EMC 조건의 범위, 모순검지 평가 범위를 파악하고자 한다. 이러한 정보가 필요한 것은 이들 조건들이 고장발생의 원인이기 때문이다.

가. 실제 사용 환경조건 예측 범위 설정

실제 사용 환경 조건 예측범위 설정을 위해 교통신호제어기와 관련한 국가별 표준 규격과 우리나라의 국방규격을 다음의 표로 비교하였다.

표 19 교통신호제어기의 환경시험 국가별 표준 규격 비교

국가 Country	동작 온도·습도범위 Operating Temperature	보관 온도범위 Storage Temperature	규격 Specifications
대한민국	-34℃~ +74℃ 18% ~ 90%RH		경찰청 표준 규격, NEMA TS-1, 1983.
미국	-34℃~ +74℃ 18% ~ 90%RH	-45℃ ~ +93℃ (-50°F ~ +200°F)	NEMA TS-1, 1983.
		-45℃ ~ +85℃ (-50°F ~ +185°F)	NEMA TS-2, 1992.
		-45℃ ~ +85℃ (-50°F ~ +185°F)	NEMA TS-2, 2003. NTCIP
미국 켈리포니아	-37℃~ +74℃ 5% ~ 95%RH		CALTRANS-017 /017E, 1989.
미국	-37℃~ +74℃ (-34.6°F ~ +165.2°F) 5% ~ 95%RH	-40℃ ~ +85℃ (-40°F to 185°F)	ATC 2070 v.03.03, Oct. 2011.
유럽	-40℃~ +60℃ 18% ~ 90%RH		HD 638 S1:2001 TR2500A, 2005.
일본	-20℃~ +60℃		일본 경시청 규격

위의 표와 같이, 미국 NEMA TS 규격의 경우 일반 적인 동작 온도/습도 조건은 온도 -34℃~+74℃, 습도 5%~95%를 적용 기준으로 하고 있으나 CALTRANS의 경우에는 -37℃～+74℃/ 5%~95%를 적용하고 있다. 유럽 표준규격인 TR2500은 -40℃～+60℃ / 18%~90%를 적용하고 있다. 일본의 경우 습도 범위는 지정하지 않고 동작온도의 범위만 -20℃～+60℃로 적용하고 있다. 더 세밀한 조사를 위해 추가로, 우리나라 국방 규격으로 사용되고 있는 FIDES, 217plus, 217F, IEC62380의 온습도 범위를 조사하였다. FIDES, 217plus, 217F의 온도 범위는 -55~125이며, IEC 62380은 사용 조건마다 적용되는 온습도 범위가 달라진다. 전체 구간의 범위는 -65~85이며, 각 국방 규격별 온습도 조건은 다음 표와 같다.

표 20 MIL 표준규격 온습도 범위

규격	환경조건	동작온도	습도
217Plus	-	-55℃~125℃	0%~100%
217F			
FIDES			
IEC62380	Ground; stationary; weather protected	+5℃~45℃	40%~70%
	Ground; stationary; non weather protected	-40℃~45℃	5%~100%
	Ground; non stationary; benign	-40℃~45℃	5%~100%
	Airborne; benign	-40℃~45℃	5%~100%
	Airborne; moderate	-40℃~45℃	5%~100%
	Naval; benign	-40℃~45℃	5%~100%
	Ground; non stationary; severe	-40℃~70℃	5%~100%
	Airborne; severe	-65℃~85℃	5%~100%
	Naval; severe	-40℃~70℃	10~100
	Airborne; extremely severe	-65℃~85℃	5%~100%
	satellite; launch	-40℃~20℃	0%~50%
	Satellite; Orbit	-40℃~65℃	0

국방규격인 217PLUS^{TM}에서는 상용제품일 경우 온도의 범위는 0℃~70℃까지인데 반해 군용제품 일때는 상용보다 범위가 큰 -55℃~125℃까지이다.

나. EMC평가 관련 예측 범위(전압 전위, 전류 등) 설정

(1) EMC (ElectroMagnetic Compatibility)

전자파 적합성 또는 전자파 양립성을 의미하며 장비나 시스템이 존재하는 전자파 환경 내에서 만족스럽게 동작하며 이 환경 내의 다른 어떤 것에 허용기준 이상의 전자파 방해를 주지 않는 능력이다. 현재 우리나라에서는 낙뢰로 인한 TCS의 신뢰성을 위해서 EMC평가 관련 연구가 존재한다.[50] EMC에 관련된 규격은 IEC 61000-4이 있으며 세부 항목은 다음 표와 같다.

표 21 IEC 61000-4의 세부 항목

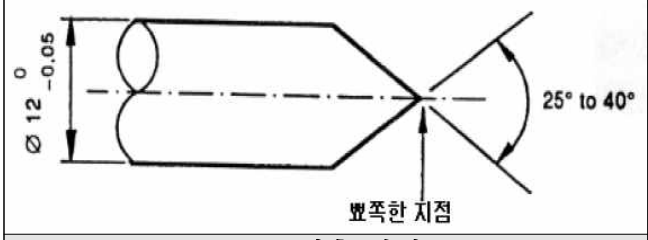
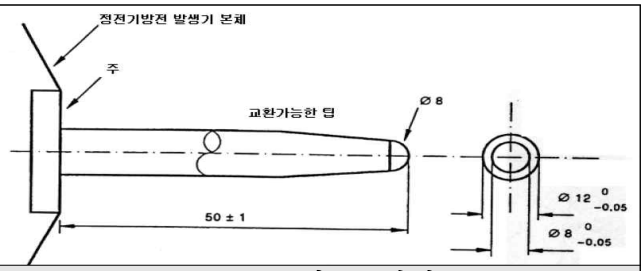
규격	내용
IEC 61000-4-2	정전기내성으로 인체나 공구 및 기기에 대전된 전하가 방출 될 때 스마트미터의 부품 파손 및 데이터 손상, 오차의 영향, 오동작에 관한 시험
IEC 61000-4-3	고주파전자계 방사내성으로 휴대폰 및 방송, 무선 기지국 송신 안테나 또는 GIS 등에 의한 스위칭시 방사된 고주파전자계로 인한 스마트미터의 오동작 및 오차에 관한 시험
IEC 61000-4-4	급과도서지(Burst) 내성으로 GIS나 전력 스위치에 의해 발생되며 빠르고 반복적인 고주파 서지로 통상적으로 부품 파손은 발생하지 않으나 리셋이 필요한 시스템에 정지나 오차에 관한 시험
IEC 61000-4-5	조합서지(Surge) 내성으로서 에너지가 큰 낙뢰나 GIS로 인한 것으로 EMC 규격 중 에너지의 양이 가장 크며 스마트미터의 부품과 회로의 파손, 화재를 유발하는 시험
IEC 61000-4-6	고주파전도 내성으로서 고주파전자계 방사와 유사하지만 낮은 주파수대역의 전자계가 전선 등의 도체를 따라 스마트미터로 유입되면서 발생하는 오차에 관한 시험
IEC 61000-4-12	감쇄진동파 내성으로 전력공급 스위칭 동작이나 유도성의 부하를 차단할 때 발생하는 서지가 스마트미터의 부품이나 MCU의 오동작, 메모리에 저장된 데이터가 삭제를 보는 시험

(2) IEC-61000-4-2 (정전기 방전 내성 시험)

전자파 적합성 평가를 위하여 IEC-61000-4-2의 '정전기 방전 내성 시험'을 참고하여 예측 범위를 설정한다. IEC-61000-4-2 규격은 기기 운용자와 주변 물체로부터 발생할 수 있는 정전기 방전으로 인해 전기, 전자 기기가 받는 영향에 대한 내성 요구사항과 시험방법에 관한 것이며 서로 다른 환경조건과 설치조건에 따른 시험레벨 범위를 정의하고 있다. 정전기 방전 실험을 위한 시험레벨은 다음 표와 같다.

50) 낙뢰방지 및 무선호출방식 고신뢰성 교통신호제어기술개발, 한국표준과학연구원, 1998년 8월

표 22 시험 레벨

<table>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">1a - 접촉 방전</td><td colspan="2">1b - 공기 중 방전</td></tr>
<tr><td>수준</td><td>시험 전압
kV</td><td>수준</td><td>시험 전압
kV</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td></tr>
<tr><td>2</td><td>4</td><td>2</td><td>4</td></tr>
<tr><td>3</td><td>6</td><td>3</td><td>8</td></tr>
<tr><td>4</td><td>8</td><td>4</td><td>15</td></tr>
<tr><td>X주1)</td><td>특별</td><td>X주1)</td><td>특별</td></tr>
<tr><td colspan="4">주1) “X”는 미정 레벨. 해당 제품규격에는 이 레벨이 규정되어 있어야 한다. 만약 위의 레벨보다 더 높게 규정되어 있으면, 특수한 시험장비가 필요할 수 있음</td></tr>
</table>

방전 시험 시 접촉 방전이 주로 선호되는 시험 방법이며 공기 중 방전은 접촉방전을 적용할 수 없는 곳에서 사용한다.

(3) 정전기 방전 시험 발생기

정전기 방전 시험 발생기는 다음의 주요 부분으로 구성 된다.

- 충전용 저항 R_c
- 에너지 충전 커패시터 C_s
- 분포소자 커패시터 C_d
- 방전 저항 R_d
- 전압 지시기
- 방전 스위치
- 방전 전극과 상호교환 팁
- 방전 회귀선
- 전력 공급기

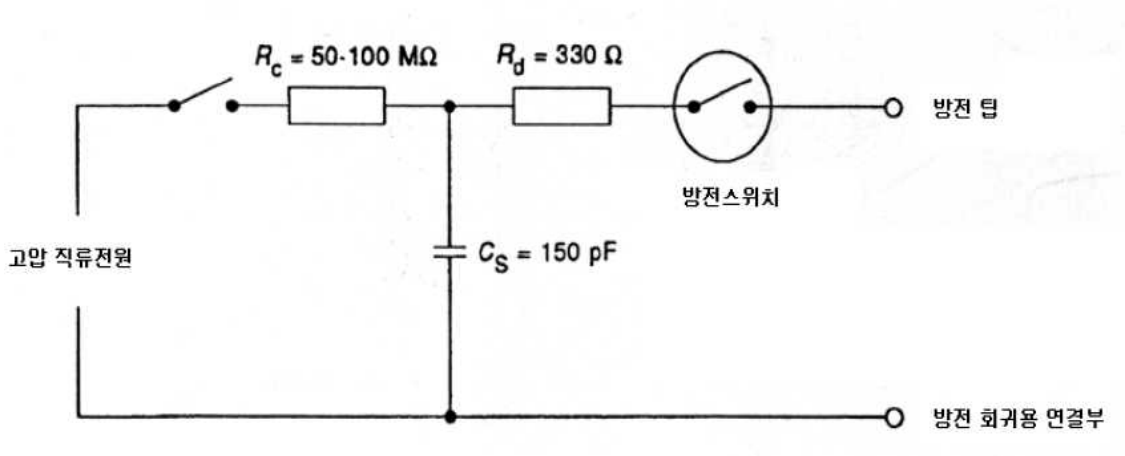


그림 18 정전기 방전 발생기의 간단한 회로도

정전기 방전과 시험 발생기의 특성과 성능은 아래의 표와 같다.

표 23 정전기방전 시험 발생기의 특성과 성능

특성	성능
에너지 충전 커패시터(Cs + Cd)	150 pF ± 10 %
방전 저항 (Rd)	330Ω ± 10 %
충전 저항 (Rc)	50 MΩ 과 100 MΩ 사이
출력 전압	접촉 방전 - 8kV 까지 공기중 방전 - 15 kV 까지
출력 전압 지시기의 허용범위	± 5 %
출력 전압의 극성	양극과 음극(스위치로 조정가능)
유지 시간	최소한 5초
방전의 동작모드	단일방전(연속방전 사이의 시간은 최소한 1초)

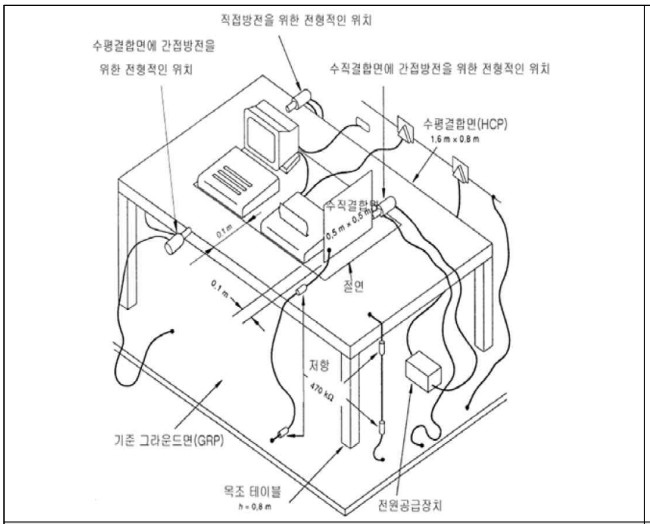
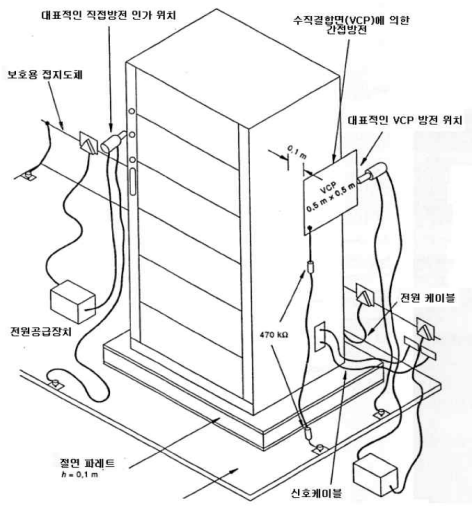
정전기 방전 시험을 위해서는 시험인증기관에서 공인하는 시험배치를 따라야하며 그 사항은 다음과 같다.

- 기준 접지면은 바닥에 설치되어야 하며 최소한 두께가 0.25 mm인 금속판(구리 또는 알루미늄) 이어야 함
- 다른 금속물질이 사용될 수 있으나 최소한 0.65 mm 두께이어야 함
- 기준면의 최소 크기는 1 m2 이나 정확한 크기는 교통신호제어기의 크기에 달려 있음

- 모든 면에 대해 적어도 0.5 m 길이가 유지되도록 교통신호제어기 또는 결합면의 크기 이상으로 설치해야 하며 보호접지에 연결되어 있어야 함

정전기 방전 시험을 위한 시험기기는 표과 같이 2가지로 분류된다.

표 24 정전기 방전 시험을 위한 시험기기

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>탁상설치형기기</td><td>바닥설치형기기</td></tr>
<tr><td>• 기준접지면에서 0.8 m 높이에 있는 목재 테이블 위에 시험배치
• 1.6 m × 0.8 m 크기의 수평결합면(HCP)을 테이블 위에 놓아야하며 케이블은 0.5 mm 두께의 절연 지지물로 결합면과 격리되어야 함</td><td>• 피시험기기와 케이블들은 약 0.1 m 두께의 절연 지지물로 기준접지면과 격리되어 있어야 함</td></tr>
<tr><td colspan="2">시험을 위한 기후적 조건</td></tr>
<tr><td colspan="2">• 주위 온도 : 15 ℃ ~ 35 ℃
• 상대 습도 : 30 % ~ 60 %
• 대기 압력 : 86 kPa (860 mbar) ~ 106 kPa (1060 mbar)</td></tr>
</table>

다. 모순 검지 평가 범위 설정

TCS 교통신호제어기의 모순검지 미국 표준 규격, 유럽 표준 규격 에서는 신호모순검지 기능외에 전압이상모순검지, 소프트웨어기능 모순검지, 프로그램운영 모순검지, 중요핵심부품 Components 동작상태 모순검지, 오작동방지기능(Malfunction Protection) 등으로 정의하여 적용하고 있다. 이는 현지 환경조건을 고려하여 다음의 몇 가지 조건에 따른 규격 내용을 반영하고 있다.[51)52)]

- 동작 온·습도범위(Operating Temperature and Humidity); -34℃~+74℃(규격 내 °F를 ℃로 환산한 수치임)
- 보관환경조건범위(Storage Temperature); -43℃~+83℃(규격 내 °F를 ℃로 환산한 수치임)
- 시간정확도조건(Timing Accuracy); 교통신호제어기 상온, 저온 환경시험조건, 고온 환경시험조건 각 조건별 10주기 연속 카운팅 측정 시 오차 한계범위 내 일 것.
- 입력전원 전원순단 조건(Power Interruption Simulation, 또는 Power Dip Simulation); 500ms 전원순단 시험조건 등 임의로 규격 내용에서 제시하는 전원순단 모의시험 조건 및 상온, 저온 환경시험조건, 고온 환경시험조건 각 조건별 정상동작 상태를 유지하여야 한다. 단, 그 밖의 전원순단 시험 조건하에서는 초기 재 스타트 조건 등 규격에 제시한 조건으로 작동함을 보장하여야 한다.
- 그 밖에 모순검지 기능 모니터링 관련 기능으로 표준 규격 내용을 정의하여 반영하고 있다.

상기의 조건은 전체 변화의 온·습도 조건 범위에서 모든 모순검지 기능을 만족하는 적합수준을 안전기반으로 보장하여야 하는 신뢰성을 보증하여야 한다.

(1) 모순 검지

교통신호제어기에서 발생하는 모순을 구체적 부위에 대한 정보와 원인에 관한 정보를 실시간으로 제공하여 유지 보수가 용이하도록 한다. 모순 검지는 가) 신호 모순 검지, 나) 적신호 감시, 다) 전압 이상 검지, 라) 전력제어 및 궤환, 마) 확장 보드가 있다.

(가) 신호 모순 감지

각 등기구동장치(LSU)의 녹색 신호의 출력 전압상태를 평가하여 내부 또는 외부적 요인으로 모순된 신호가 발생하였는지 다음의 기준에 따라 판단한다.

200ms 미만 : 정상동작
450ms 이상 : 모순인정, 점멸 동작
200ms 이상 450ms 미만 : 정상동작 또는 모순 또는 점멸

(나) 적신호 감시

---

51) NEMA TS-1, Section 2. Environmental Standard, 1983
52) NEMA TS-2, Section 2. Environmental Standard, 1992

적색 신호의 부재 지속 시간을 모니터링 하는 기능으로 각 LSU의 R(차량용 적색등) 신호 출력이 내부 또는 외부적 요인으로 인한 적색 신호 정상 유무를 검사하여 다음과 같이 동작한다.

700ms 미만 : 정상동작
1000ms 이상 : 점멸동작
700ms 이상 1000ms 미만 : 정상동작 또는 점멸

(다) 전압 이상 검지

교통신호제어기 내에서 사용되는 전원 공급 주전압 출력 상태를 감시하는 기능을 한다. 전압 이상 검지 발생 시 적색(혹은 황색) 플래싱 절체 동작 기능을 하며 전압 정상 복귀 후 제어상태 초기화를 거쳐 정상 동작한다.

(라) 전력제어 및 궤환

LSU 전력제어 및 궤환부는 신호등에 공급되는 전력을 직접 제어하며 그 제어 결과에 대한 궤환 신호를 받아 컨트롤 보드에 제공하는 기능을 한다. 전력제어부는 교류 전압 110V 및 220V에 겸용할 수 있고 방열을 고려하여 설계하며 유지 보수의 편리를 위하여 고장이 발생한 LSU를 지역 교통신호제어기의 정상 운용 중에 부분적으로 교체한다.

(마) 확장 보드

7번 및 8번 LSU Slot을 Spare 공간으로 사용하여 추가 제어장치를 실장하며 확장보드에 등기구동자치를 접속하였을 경우 정상적으로 동작한다.

3. 데이터 조사 및 분석

가. TCS 교통신호제어기의 구성고찰설계도 및 BOM 수집 및 분석

(1) 교통신호제어기(TCS)의 구성 고찰

교통신호제어기의 주제어부(Main Control Unit)는 첨단교통신호제어알고리즘의 중추적 통제 역할을 하는 곳으로서 교통관제센터의 중앙장치와 현장에 설치운영하고 있는 교통신호제어기간의 신호운영제어 기능 수행에 따른 주요정보데이터를 원격제어·온라인운영으로 교통정보를 교환한다.

해당 교통구역의 교차로 접근하는 모든 차량 관련 교통정보의 데이터수집(Data Gathering)하는 차량검지기(Loop Detector)의 정확한 검지주기의 보장 및 정확한 신호시간의 진행을 위해 실시간 타이머(WDT, Watch Dog Timer)를 내장한다.

주제어부(MCU)는 동일 함체(Cabinet)내에 완성품(Entire Assembly)으로 구성되는 신호제어구동부(SCU, Signal Control Unit)와의 동일 내부 통신, 운영자입력장치(MMI, Man Machine Interface)를 통한 데이터베이스와 각종 신호제어알고리즘 데이터입력 설정을 통한 운영제어의 변수(Parameter)를 설정한다.

각 구성요소간의 데이터 교환을 VME 주기판보드를 실장하여 표준 인터페이스가 가능하도록 하며, 옵션보드 확장용 슬롯이 있다.[53]

(2) 교통신호제어기(TCS) 구성도 및 보드 분석

① 교통신호제어기(TCS)의 구성

교통신호제어기(TSC) 시스템 모듈단위 구성은 주기능보드(CPU)외에 6종의 기능보드와 모듈서브랙(Cage-Module Sub-Rack)으로 구성하고 있다. 즉 VME-bus Backplane, MODEM, 차량검지기보드(Loop Detector), MMI(Man-Machine Interface), DC Power Supply, 기타 Optional Board로 구성된다. TCS-MCU 시스템 블록다이어그램은 그림과 같다.

53) "교통신호제어기, 표준 규격서, p.8"

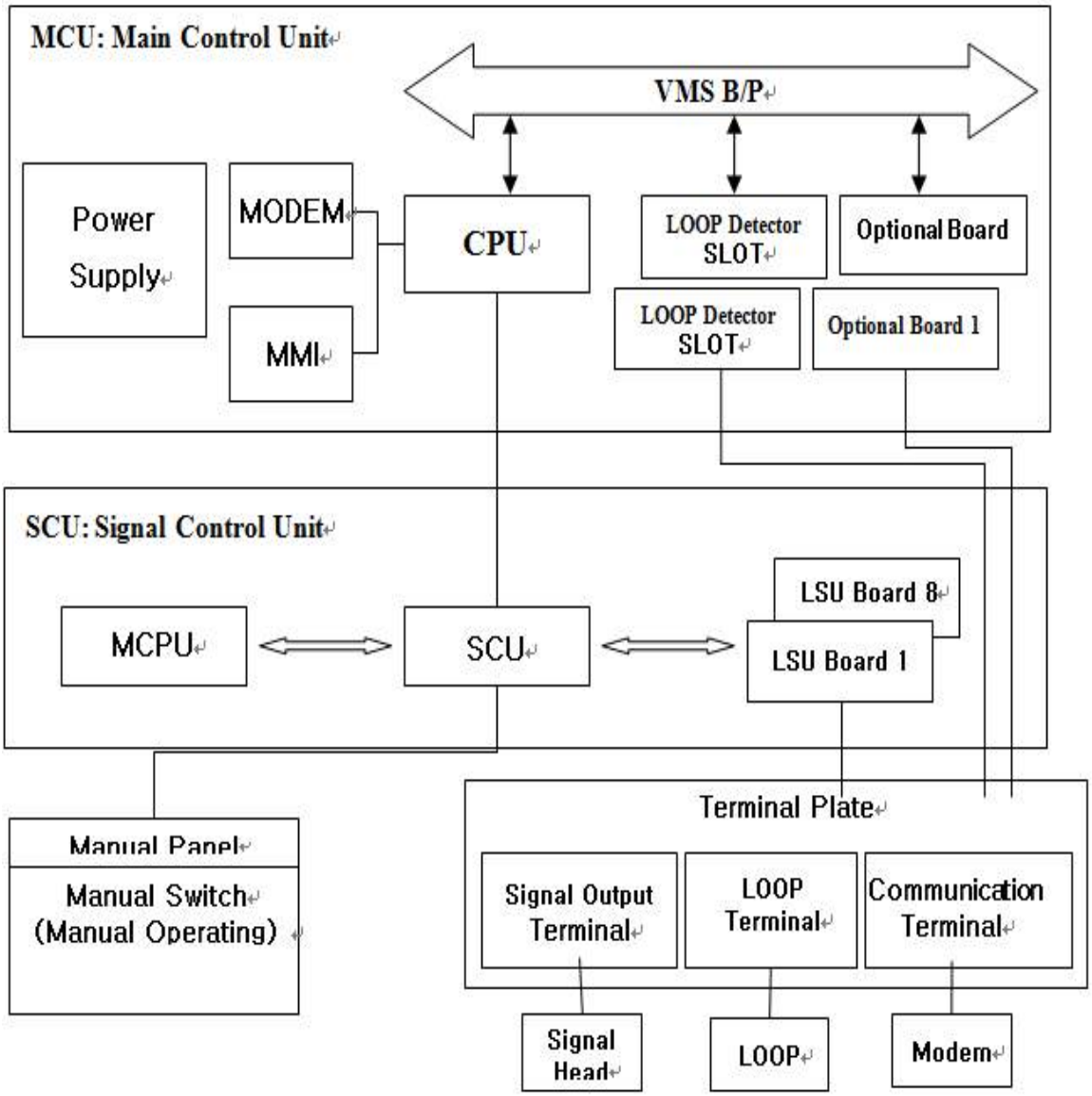


그림 19 TSC 교통신호제어기 시스템 기능 구성도

② 교통신호제어기(TCS)의 변경 히스토리 특성 분석

교통관제센터와 실시간 온라인통신을 통하여 차량검지장치로부터 교통정보데이터를 수집한 데이터를 MCU를 통하여 교통수집정보데이터를 온라인 실시간으로 교통관제센터로 보낸다. 교통관제센터로부터 교차로 운영정보를 수신하고 이를 수행하며, 시각보정기능 등 교통관제센터와 교통신호제어기(TCS) 간의 프로토콜에 따른 교통전략을 수행한다. 본 규격을 일반적으로 적용하기 위한 제어 방식과 용도별로 적용범위는 다음의 표 내용과 같다.[54]

표 25 교통신호제어기의 제어방식별 규격 적용 범위

구분 / 범위		일반교통신호기기, 국도용교통신호기기	전자교통신호기기	표준교통신호기기, 첨단교통신호기기, 실시간제어기능[55]
장치구성 범위	MCU부 해당보드	• CPU보드 • 전원장치	• CPU보드 • 전원장치 • 모뎀	• CPU보드 • 전원장치 • 모뎀 • 검지기보드/옵션보드
	SCU부 해당보드	• 컨트롤러 • 점멸기/LSU	• 컨트롤러 • 점멸기/LSU	• 컨트롤러 • 점멸기/LSU • 확장보드
기능적용범위		• 지역TOD제어 한정	• 모든 지역제어기능 • 중앙 TOD제어 한정	• 모든 지역제어기능 • 모든 중앙제어기능
적용 용도		• 지방/교외부 • 독립교차로	• 독립 또는 • 센터 연결되는 연동 • TOD 제어 교차로	• 센터온라인연결 • 실시간제어교차로

교통신호제어기(TCS)의 변경 히스토리 특성을 사진 그림으로 고찰하여 보면 그림과 같다. 교통신호제어기(TCS)의 주제어부(MCU)에 적용하는 구성 단위품의 주요 구성 및 특성은 다음과 같다. TCS-MCU1 구성 및 특성은 표와 같다.[56]

54) 경찰청 표준제어기규격(2004), NEMA Standard TS1-1983, NEMA Standard TS2-1992. 및 CALTRANS 규격-1989.
55) 시간제어(Realtime Traffic Signal Control) 기능은 교통신호제어기의 주제어부(MCU)를 포함하여 지능형교통신호체계(ITS)의 교통관제센터(ITS센터라고도 함) 운영모드에서 온라인제어 정상작동 조건으로 원격통신 시뮬레이션시험에 적용한다.
56) 국내 “E.사” MCU부의 주기능보드(CPU Board)의 규격 내용, 2004.

- TCS-MCU1

TCS-MCU1은 주요 구성 및 특성은 표와 같다.

표 26 교통신호제어기 MCU1 내 CPU 보드

CPU Board	Item	Specification
	Processor	MPC860(32bit, 50 MHz) 4second Watchdog timer
	Memory	.1Mbyte EPROM .128Kbyte RTC/NVRAM .8Mbyte SDRAM
	Voltage	+5V, ±12V
	Ethernet	10BaseT (RJ45 Connector), Optional
	Communication	RS-232C 6Port support(console included)
	Operation Temperature	-34℃ ~ +74℃
	VME bus	.P2 connector interface with Serial 6 Port, and 2ports of these are used for front plate. .A32/A24/A16, D32/D16/D8 Master interface .A32/A24, D32/D16/D8 Slave interface .VME bus system controller .Interrupt Handler
	Board Dimension (Front Plate Shape)	233.3mm × 160mm (4HP × 6U)
	Power Consumption	About 10 Watt

③ 교통신호제어기(TCS)의 주제어부(MCU)의 주요 구성 및 특성

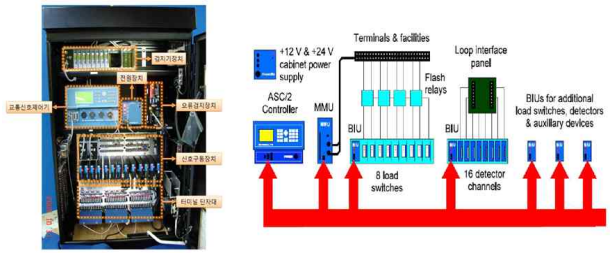


그림 20 교통신호제어기(TCS)의 변경 히스토리 특성 분석

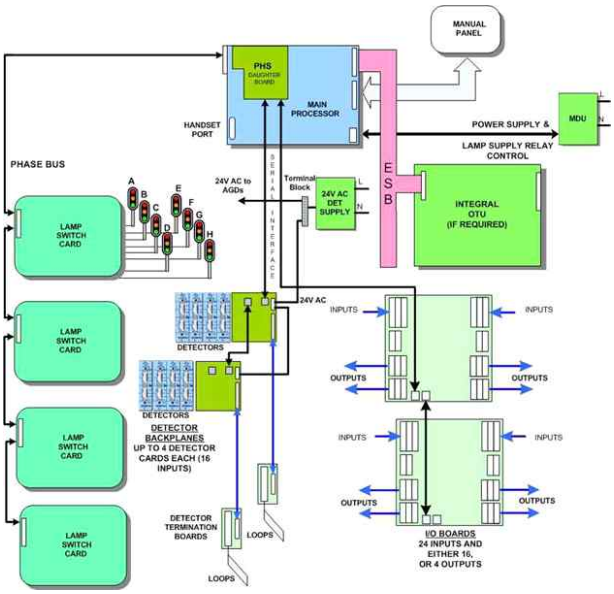
○ 해외 TSC 제품 구성 내용은 그림과 같다.



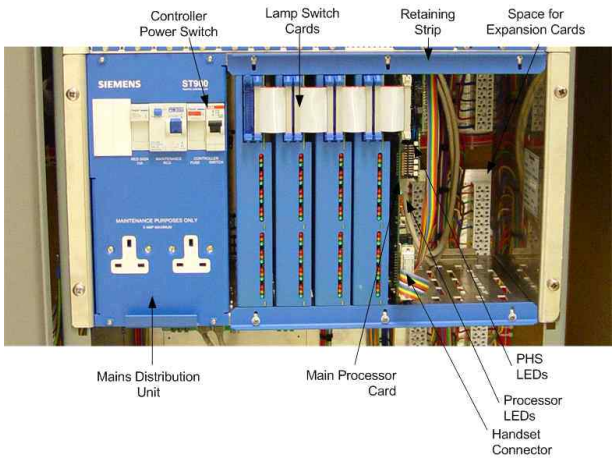
SCOOT TSC 교통신호제어기 구성도(조립)



NEMA TS-2:2003 TSC and Operating Flow Chart



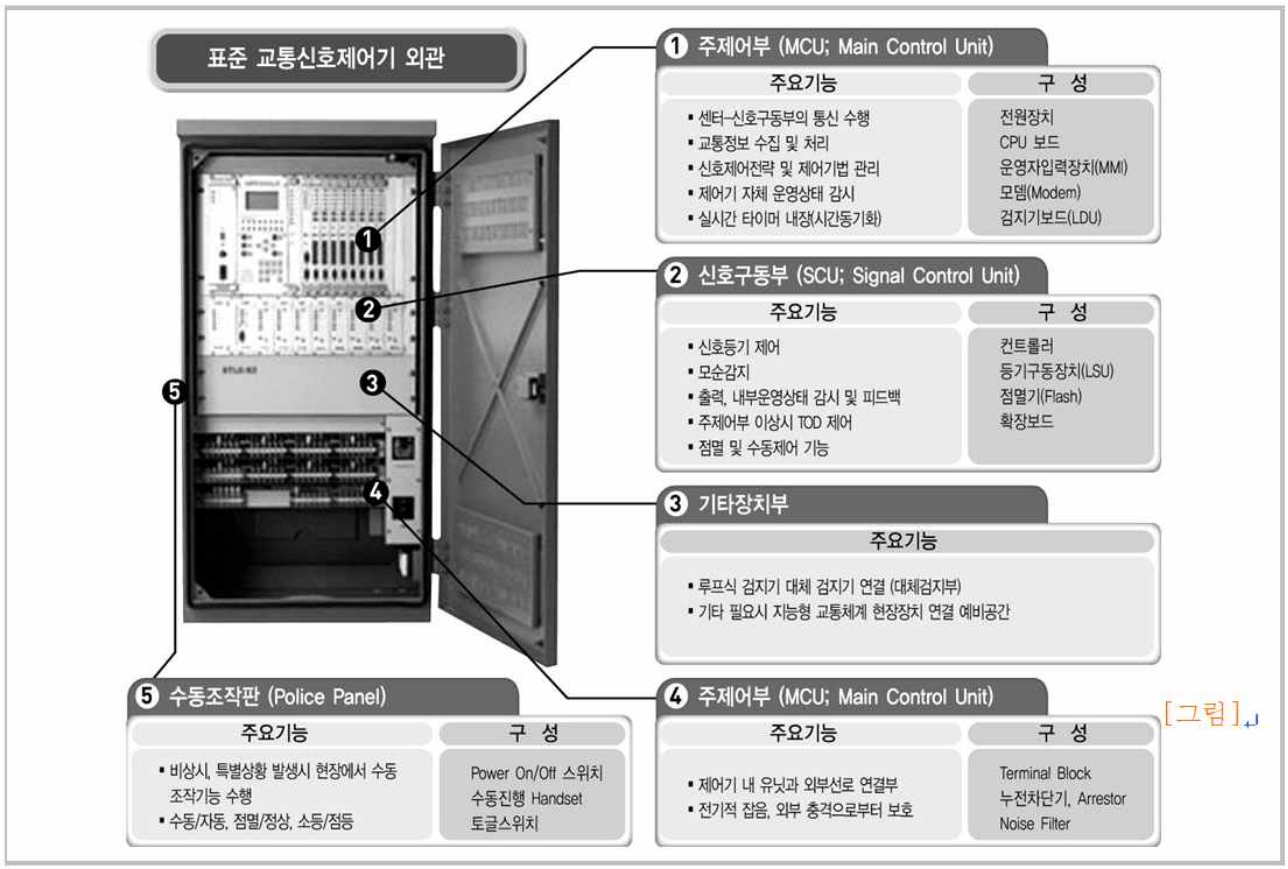
SCOOT TSC 교통신호제어기 구성도



SCOOT TSC 교통신호제어기 구성도
—부하구동스위치구성모듈

그림 21 해외 TSC 제품 구성 내용

○ 국내 TSC교통신호제어기 기능 구성 내용은 그림과 같다.



[그림]

그림 22 표준교통신호제어기 시스템 구성 및 기능 개요

- TCS-MCU2

TCS-MCU2은 주요 구성 및 특성은 표와 같다.

표 27 교통신호제어기 MCU2 내 CPU 보드

.CPU Board	.Item	.Specification
	.Processor	.Intel 80386EX-25 Core .32Bit Microprocessor, 50Mhz
	.통신 Port	.ASYNC 연계 .통신포트 : 10개 Port .통신속도 : 1200~57600 Bps 선택가능 .통신 IF : RS422 / RS232 선택가능 .통신포트 : 전면 RJ-45 / 후면 DSUB
	.VME Bus Interface	.VME Slave 지원
	.상태 LED	.전면 통신상태용 LED-20 개 지원
	.Memory	.SRAM 1MByte .EPROM 128Kbyte .Battery SRAM 32KB .VME Slave SRAM 2566KByte
	.Operation System	.RTXC
	.Board Dimension	.233.3mm × 160mm (4HP × 6U)
	.Operation Temperature	.-30℃ ~ +70℃ [57]

57) “차세대 무선통신 신호제어시스템 개발 최종보고서(2003년부터 2009년까지, R&D / 03-운영11-01)의 신뢰성 향상을 도입할 수 있는 기관이 반드시 프로젝트의 초두 단계 진입에서부터 이에 실질적이고 직접적으로 참여를 할 수 있도록 시정 조치를 해야 한다는 하나의 사례임.

- 모뎀(MODEM) 보드

주제어부 통신을 위한 모뎀 보드의 특성 분석 내용은 표와 같다.[58]

표 28 교통신호제어기 MCU 내 모뎀 보드

Modem Board	Item	Specification
	Related Standard	CCITT V.26
	Modulation Method	DPSK
	Communication Method	Asynchronous/ Synchronous
	Communication Speed	2400bps ~ 9600bps
	Transmission Output	0 ~ -15dBm
	Receiving Level	0 ~ -48dBm
	Line Impedance	600Ω ± 10%
	Terminal Connection	Terminal Interface(EIA RS232C)
	Operation Voltage	+5VDC, ±12VDC
	Operation Temperature	-34℃ ~ +74℃
	Vibration	0.5G, 5 ~ 30Hz
	Board Dimension	233.35mm × 160mm
	Power Consumption	About 1.5 Watt

58) 국내 "M.사" 모뎀(MODEM) 보드 규격내용.

- 운영자입력장치(MMI) 보드

주제어부의 운영자입력장치(MMI) 보드의 특성 분석한 내용은 표와 같다.[59]

표 29 교통신호제어기 MCU 내 운영자입력장치(MMI) 보드

MMI Board	Item		Specification
	Processor		MPC860(32bit, 50MHz)
	MEMORY		l 512Kbyte EPROM l 8Mbyte SDRAM
	Voltage		+5VDC, +12VDC
	Status LED KEY Switch LED DISPLAY LCD DISPLAY		24 Point TACT SWITCH (MEMBRAIN SHEET COVER) Width 8, Height 2 Total 16 LED 128x64 Graphic LCD
	Ethernet		10BaseT (RJ45 Connector) : Option
	Communication	Console	RS-232C, DB 9 Type Connector
		MCU	RS-232C, MCU Backplane
		SCU	RS-232C, SCU Backplane
	Circuit		WDT included
	Operation Temperature		-34℃ ~ +74℃
	Board Dimension		121mm × 240mm(22HP × 6U)
	Power Consumption		About 10 Watt

59) 국내 "E.사" 운영자입력장치(MMI) 보드 규격내용.

- VME 주기판 보드

주제어부의 VME버스 주기판 보드의 특성 분석한 내용은 표와 같다.[60]

표 30 교통신호제어기 MCU 내 VME 백플랜 보드

VME Backplane	Item		Specification
	Backplane Board		Z(Impedance) : 74 Ω
	Power Terminal		TIN-Lead Plate Type Permission Current: 10A Max.
	DIN Connector	Electrical Character	Permission Current: 1.25 A Max. Operation Voltage: AC 300V, DC 400V Max. Insulation Resistance: 100MΩ Min.(at DC 500V) Contact Resistance: 200mΩ Max.(at DC 100mA)
		Material	Body: UL84V-0 PIN: Brass
	PCB Dimension		6U × 3.2t (12 slot, Adjustable)

60) 국내 E.사 VME bus Backplane 보드 규격 내용.

- 직류전원공급장치 보드

주제어부의 직류전원공급장치(DC Power Supply) 구성품의 특성 분석한 내용은 표와 같다.[61]

표 31 교통신호제어기 MCU 내 직류전원공급장치

DC POWER SUPPLY	Item	Specification
	Input Voltage	200V AC
	Frequency	50Hz ± 10Hz
	Output Voltage	+5V(8A), +12V(3A), -12V(1A)
	Efficiency	Greater than 80% in Full load
	Change Rate	Consist below 2% of output voltage when the input voltages in maximum load output
	Load Change Rate	Consist below ±5% of Output Voltage when the Output Current changes from minimum to maximum in maximum load output
	Overload Protection	Operate Over Voltage Protection when it deviates 25% of output voltage
	Operation Temperature	-34℃ ~ +74℃
	Insulation	.Greater than 100MΩ in 500VDC .Persist 1 minutes in the state of 1500VAC and 20mA Cut-off Insulation
	Board Dimension	12HP × 6U
	Power Consumption	About 90 Watt

61) 국내 E.사 직류전원공급장치(DC Power Supply) 단위품 규격 내용.

④ BOM 수집 및 분석

국내 공급 기업별 주제어부 구성품에 설계 개발에 적용한 구성품(Parts, Components)을 비교하여 요약하면 다음 표와 같다.

표 32 국내 공급 기업별 주제어부 구성품에 설계 개발에 적용한 구성품 비교 요약

구분 (전자부품)	ETSC-MCU1	<=MCU1-MCU2>	ETSC-MCU2	구분 (전자부품), [단위 : EA]
칩 Capacitor 사용 ; Capacitor	152	75	77	*Capacitor* ; 전해Capacitor를 설계 사용
Discrete Semiconductor	23	13	10	*Discrete Semiconductor*
칩 Resistor 사용 ; Resistor	55	14	41	*Resistor* ; Watt. 저항을 설계 사용
IC, TTL, CMOS 계열 사용함 ; IC	62	33	29	*IC* ; SMD, Commercial Spec. 설계 사용
유지보수차원"PTH"; IC Socket	74	68	6	*IC Socket* ; SMD Type, 유지보수의 어려움
Connector	4	0	4	*Connector*
LED홀더 쓰지 않음 ; LED Holder		-8	8	*LED Holder*
Batt.를 사용하지 않음 ; Battery		-1	1	*Battery* ; 배터리 백업을 설계 사용
OSC.	2	0	2	*OSC.*
Miscellaneous-parts	31	24	7	*Miscellaneous-parts*
Total	403	218	185	

나. EMC 관련 부품(낙뢰피해보호기, 서지보호기) 설계도 분석

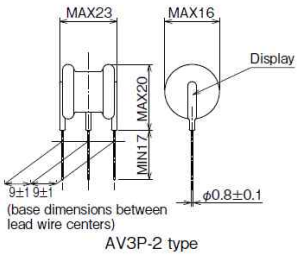
(1) 전기적특성 및 EMC 시험항목

유럽규격에서 교통신호제어기의 내구연한 기준을 15년으로 정하고 있는 기준의 내용은 그 기준근거가 유럽전기기술표준화위원회(CENELEC)의 규정에 기반을 두고 있다.[62] 유럽 규격은 교통신호제어기에 EMC(Electromagnetic Compatibility)시험을 적용한다.[63] 유럽의 경우 교통신호제어기의 신뢰성 기준의 내구연한은 최소15년으로 규정하고 있으며, 손쉽게 유지보수, 정비를 할 수 있는 것을 전제로 하고 있다. 미국 켈리포니아주의 CALTRANS의 교통신호제어기 규격에는 “SET”제품의 신뢰성 시험에 적용하는 모든 모듈(All Modules)은 최소 100시간의 번인(Burn-in)를 실시하고 있으며, 모든 제어부(All Controller) 및 완성제품 교통신호제어기는 최소 24시간의 정상적인 작동(Operation)을 실시한 후 제품출하납품을 하고 있다.[64]

(2) EMC 관련 부품(낙뢰피해보호기, 서지보호기) 제품 조사

교통신호제어기용 입력전원단에 낙뢰보호기(Arrestor, 피뢰기라고도 함)는 표와 같이 3극 Type을 단자로 확장시켜 연결 접속하여 사용하여 오고 있다.[65]

표 33 교통신호제어기용 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor) 연결 사용 규격(04Ver./ 10Ver. 동일함)

구분	구성 형태	국내 표준 규격	비고
○교통신호제어기용 입력전원단 낙뢰 보호 부품: AV3P-2 type	 AV3P-2 type ○ 특징: - 뇌서지(Lightning Impulse Surge)로부터 240V이하의 전원회선을 방호 - 소형 3극형의 전원용 보안기	○뢰임펄스 내전압 시험은 신호기 입력단에 교류 입력전원 1.2×50 μSec, 5000V 또는 8×20μSec, 3KA의 임펄스를 인가한다. ○뢰임펄스 전압을 인가한 후 신호기는 정상적으로 동작해야 한다. (관련참조규격 : IEEE 587(ANSI C62.41))	

62) HD638 S1, Road Traffic Signal Systems, CENELEC, Brussels, pp. 26~34, 2001.
63) TR2500A, 유럽규격 p.5
64) CALTRANS-170/170E, 미국 켈리포니아주 규격, p.1-8-3, p.1-8-4
65) 관련 사이트 주소: http://www.sankosha.co.jp/products/lightning/spd_power/av3p.html

 피뢰기(Arrestor): AV3P-2형	소자타입 - 기판으로 실행 좁은 공간에서 설치가능 - UL 규격 승인 (E328370) - RoHS 대응 ○ Size, AV3P-2 type: W25 × D19 × H40		

교통신호제어기는 다양한 전기·전자 부품의 조립 구성으로 개발된 제품으로서 전기적 구성품, 전자적 구성품, 통신장치적 구성 단위품, 영상물을 연결하여 장치 확장을 하는 등 전체 구성의 부품으로 완성품을 이루기 위해서는 하드웨어적인 구성요소, 프로그램 소프트웨어 및 교통신호처리 고유의 알고리즘을 탑재하여야 시스템적 표준 규격에 부합하는 완성 제품으로서 안전 기반의 신뢰성을 갖게되며, 생산품은 일정 LOT 별 규정에 맞는 지정 공인시험검사기관에서 공인인증을 필할 시에 한하여 현장에서 공공 시설물로 설치 운영을 이행하도록 하고 있다.

하지만 우리가 말하는 낙뢰에 직접노출된 경우에는 보호를 받을 수 없는 경우로 한정하더라도, 이웃하는 유도뢰서지(대부분이 이 영역에 상당함)로 인하여 전원라인 및 통신라인에 인입되어지는 유도뢰 현장 조건 별로 낙뢰보호장치의 경우 교통신호제어기에서는 표의 관련 규격 내용 요약에서 알 수 있듯이 총 8개소의 낙뢰보호를 필요로하는 구성단위로 적용을 기술하고 있으나, 정작 그 규정을 명료하게 규격 사항으로 정의하고 있는 곳은 총 조립 완성품의 입력전원단에 연결 부착되는 피뢰기(ARRESTOR) 단 1개에 미치고 있는 수준이다. 하지만 이 부분에 적용하는 구성품 규격 내용 또한 규격에서 제시하고 있는 규격 내용과는 부적격 부품을 적용하여 오고 있음을 알 수 있다.[66]

66) 낙뢰 보호기 부품 형식과 구조는 그 사용 사례에 따라서 상당히 달라지는 데, 이 부분은 http://www.sankosha.co.jp/products/lightning/railroad/및ttp://www.otowadenki.co.jp/knowledge/history/ 등 관련 낙뢰 보호기 개발 공급 Maker의 사이트에 쓰임 형태별 환경조건 별 등으로 구분하여 제시하고 있음을 알 수 있다.

표 34 TCS 교통신호제어기 구성기능 별 낙뢰 보호 장치의 규격 내용 요약(Ver. 04 기준)

(낙뢰보호) 해당 항목	해당 페이지	규격 내용 [국내 표준교통신호제어기 Ver.04]	비고
[2.1.7 모뎀 (Modem)]	p.45	3) 낙뢰보호기능 : 송·수신 선로로 유입되는 뇌서지로부터 장치를 보호하기 위하여 선로 양단간, 선로와 간에 Surge Protector를 설치하여야 함.	서지 규격 적시 내용 없음
[2.2.6 등기구동장치 (LSU : Load Switch Unit)]	p.81	7) 보호 회로 : 각 출력 회로별 낙뢰 유입 보호회로 적용(Fuse : 20A 이상)	서지 규격 적시 내용 없음
[2.3.2 영상검지기]	p.85	(2.3.2.1 개요) 영상검지기는 영상입력장치인 CCD카메라와 카메라를 보호할 수 있는 카메라 하우징, 영상을 처리하는 Controller와 낙뢰보호장치 등으로 구성됨.	서지 규격 적시 내용 없음
[2.3.2 영상검지기]	p.85	5) 통신 Line낙뢰보호, 방진, 방우, 방습	서지 규격 적시 내용 없음
[2.5 단자대함(Terminal Facility)]	p.89	2) ARRESTOR: 교통신호기의 AC전원 입력에 순간적인 고전압 신호 및 낙뢰가 들어올 경우에 BYPASS시켜주는 역할을 하여 교통신호기내의 모든 회로와 부품 및 기기들을 보호함.	서지 규격 적시 내용 없음
[2.5.3.2 터미널 블락]	p.90	8) 통신 모뎀용 Terminal Block: 교통신호기의 통신 모뎀과 지역교환기의 통신 선로를 연결하여 주며, 기본적으로 통신용 낙뢰보호 회로와 잡음제거 회로가 내장되어야 한다. 낙뢰보호회로는 (+), (-) 양단에 결선하며 최대 써지 전류용량은 8/20 μsec 표준파형 기준 40KV이상, 절연저항 3μΩ이상 이여야 함.	서지 규격 적시 내용 있으나, 내용에 흠결 있음
[2.6 함체 (Cabinet)]	p.99	22) 함체 외부 네 모서리는 낙뢰 방지를 위해 모따기를 하며 접지봉을 매설하여 함체를 직접 3종 접지를 실시함.	서지 규격 적시 내용 없음
[5.2.1.6.4 뢰임펄스 내전압 시험]	p. 212	1) 검사장비 : 임펄스 제너레이터 2) 검사방법 (1)뢰임펄스 내전압 시험은 신호기 입력단에 교류 입력전원 1.2×50μSec, 5000V 또는 8×20μSec, 3KA의 임펄스를 인가한다. (2)뢰임펄스 전압을 인가한 후 신호기는 정상적으로 동작해야 한다. (관련참조규격 : IEEE 587(ANSI C62.41))	서지 규격 적시 내용 없음
[5.2.1.6.5 비파괴 내과전압 시험]	p. 212	1) 에너지원: 15μF±10% Oil Capacitor (내부 서어지 임피던스는 1Ω 이하) 2) 진 폭: 1000V±5% (정극성, 부극성) 3) 검사방법	서지 규격 적시 내용 미흡함 -관련출처

		(1)신호기의 교류 및 기타전원을 제거한 후 위와 같은 고에너지 과전압 인가시 각 전자기기의 파손이 없어야 함 (2)비파괴 내과전압 시험은 각 극성에 3회 반복하였을때 각 기기의 파손이 없어야 함 (3)비파괴 내과전압시험은 SWCS(Surge Withstanding Capacity Simulation) 시험장비를 이용한 SWCS시험으로 대체 실시하여도 무방함 (관련참조규격 : ANSI STD587)	기준이 불분명함
[내구성 시험 항목 검사표-4.진동/충격/절연시험 검사표]	p.226	동작중 교류전원입력의 뢰 임펄스 내전압에 대한 이상유무	횟수 등 정의가 불명확함
	p.230	비파괴내과전압시험 SWCS:) 고 에너지 고전압을 교류전원 입력단에 인가시 비파괴 내과전압에 대한 이상유무	횟수 등 정의가 불명확함

국내 표준 규격의 변경되어온 히스토리 내용 중에서 각종의 외형 구조 및 기능을 중심으로 변경을 거듭하여왔으나, 교통신호제어기의 경우 교통신호제어기용 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor) 연결 사용은 제품의 변경에 따른 규격 변화를 탄력적으로 가져오지 못한 경향이 있음을 다음의 표를 통하여 파악할 수 있다.[67]

표 35 교통신호제어기용 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor) 부품 규격(04Ver./ 10Ver. 동일함)

항목	AV3P-1Type (UL인증품)	AV3P-1Type	AV3P-2Type (UL인증품)	AV3P-1Type
공칭회로전압	AC 125 V	AC 125 V	AC 240 V	AC 240 V
Impulse 보호 레벨[68]	800V	800V	1,200V	1,200V
	10/200μs、3kV			
Impulse 전류내량	8/20μs、9kA			

67) TSC교통신호제어기용 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor)는 완성품 출하 시 조건이 영구적인 부품 특성을 가지는 것은 아니기 때문에 낙뢰가 빈번한 환경 지역이거나(통계청 데이터 등을 고려할 필요성이 있음) 주변에 서지 영향이 상당하다는 환경조건 등에서 적용하는 낙뢰보호기의 교체주기는 보다 더 과학적 기준(해당 부품은 일정의 이상 전원 상태가 주어지면 방전개시를 반복을 하여야 하는 구성 부품이기에 그 반복 수명을 고려하여야 하나, 이를 반영하고 있는 지역과 개소는 없었다)을 고려하여 교체주기를 가져가야 하는 데, 이 부분은 개선을 가져가야 할 필요성이 있다.

68) 교통신호제어기용 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor)에 적용하는 뢰임펄스 내전압 시험은 신호기 입력단에 교류 입력전원 1.2×50μSec, 5000V 또는 8×20μSec, 3KA의 임펄스를 인가 임펄스 레벨(Impulse Level), 전류 내량(A Endurance Capacity Maximum by Impulse Current Serge Level)과는 그 규격 내용을 수용할 수 없는 수준임을 피뢰기 부품 제작 공급하는 Maker 규격 제시 내용을 통하여 알 수 있다.

다. 관리주체 및 업체의 장비/장치 별 유지보수 처리 데이터 조사

(1) 유지보수 관리주체, 체계

- 국내 교통신호제어기의 설치 운영 시에 유지보수, 정비 관련의 기록 데이터는 상시 관리 상태로 되고 있지 않은 것이 현실이다. 이 부분에 유럽 표준 규격은 교통신호제어기의 유지보수, 정비 관련해서는 고장 발생 특성 시 기록 장치를 기본적으로 두어 고장 내용을 기록으로 보관하도록 의무화를 하고 있다.[69)]
- 국내 교통신호제어기의 설치 운영 시에 유지보수, 정비 관련의 기록 데이터는 각 관리 주체 기관 및 공급업체 대부분이 여러 이유를 들어가며 고장 발생 특성의 정보데이터, 유지보수 처리 내용의 정보 기록 데이터를 공개하지 않았다. 또 고장 발생 특성의 정보 데이터와 유지보수, 정비 관련의 처리 기록 데이터를 상시 관리 상태로 하고 있지 않다. 이에 대한 이행 관련의 규정 등이 이행 효과로 이어지고 있지 않은 것으로 현장 중심으로 확인하였다.
- 이에 유럽규격 교통신호제어기의 유지보수, 정비 관련해서는 기본적으로 고장기록장치를 두어 반드시 고장 발생 특성을 기록으로 보관하도록 의무화 실시를 이행하고 있다.[70)]
- 유럽 규격의 경우 실질 현장 운영 시의 교통신호운영의 안전(Safety)관련 표준 규격인 EN12675:2001(HD638:S1:2001)을 정하고 있는 데 이 부분은 국내 적용의 교통신호운영 알고리즘이 미국의 신호운영과 일본의 신호운영 방식의 혼용을 응용하여 적용하고 있다.
- 유럽 표준 규격의 경우 유럽 나라 각각의 교통신호운영 체계를 단일방식으로 수용할 수 있도록 실시하기 위하여 유럽 표준 규격을 제정한 사례에 해당하며, 다음의 몇 가지 고유 특성을 가지고 있다.

라. TSC 모순검지방식 분석

(1) 모순검지

첫째 교통신호알고리즘 중에서 모순검지방식을 하드웨어, 소프트웨어를 모두 적용하고 있으며, 신호의 출력이 있어야 하는 부분에 없을 경우를 모니터링으로 적용하고, 신호가 없을 부분에 신호가 나오는 부분 역시 신호모순으로 검지한다.

둘째 이 밖에 황색신호간의 모순검지를 의무화하고, 녹색신호(Green Signal)와 타 신호와의 모든 연관성을 두어 신호모순을 검지한다.

셋째 현장에서의 전원의 누전, 또는 외부 누설로 인한 이상 전원의 인입시를 고려하여 물리

69) "TR2500A, 유럽규격 p.5"
70) "TR2500A, 유럽규격 p.5"

레벨인 전압전위(Voltage Potential)를 체크하여 신호모순으로 하여 미국 NEMA TS-2:1992 는 오작동방지모듈(Malfunction Module)을 의무화 적용하고 있다.

- 그러나 신호모순검지의 부분은 그 모순검지방식에서 유럽표준 규격과 미국표준 규격에서 정한 안전(Safety) 과 모순검지 신뢰성을 갖고 있으나, 국내의 경우는 교통신호제어기 규격 적용 시점에서 이에 따르는 규정 중 물리레벨의 적용 부분에서 다소 명료하지 않다. 이는 교통신호등(Traffic Signal Head)이 LED등으로 변경하여 적용하고 있어 전압전위의 물리레벨의 중요성이 상대적으로 더 커진 특성을 갖는다.

(2) 유럽 TSC의 모순검지

유럽 표준 규격의 교통신호운영 시의 모순검지 특성을 분석한 것은 표의 내용과 같다.

표 36 국가별 교통신호제어기 고장상황 클래스별 교통신호 운영 분석 평가

Fault Detection Status[71]	Class[72]	국가별 안전 규격 비교[73]					
		유럽	한국	미국			일본
				1	2	3	
Green-Green Conflict	AA1	○	○	○	○	○	○
Green-Yellow Conflict	AB1	○					
Yellow-Yellow Conflict	AC0	○					
Green-Red/Yellow Conflict	AD1	○	○	○	○	○	○
Green-Green/Yellow Conflict	AE0	○					
Absence of any Conflicting Red signal	AF0	○	○	○	○	○	○
Absence for Conflicting Red on Specified Signal Heads	AG0	○	○	○	○	○	○
Absence of the Last Conflicting Red Signal	AH0	○	○	○	○	○	○
Absent Red/ Absent Red	AJ0	○	○	○	○	○	○
National Signal Regulations(Infringement)	BA0	○					
Absence of a Red signal on a specified signal group	CA1	○	○	○	○	○	○
Absence of the last Red signal	CB1	○	○	○	○	○	○
Absence of a Number of Red signals	CC1	○	○	○	○	○	○
Absence of Specified Red signals	CD0	○	○	○	○	○	○
Absent Signal Groups, Yellow or Green Signals	CE0	○					
Compliance Checking	DA1	○					
Stored Values of Timings	FA1	○	○	○	○	○	○
Time Base Frequency	FB0	○	○	○	○	○	○
Minimum Values of Time Settings	FC0	○	○	○	○	○	○
Maximum Settings of Time Settings	FD0	○	○	○	○	○	○
Duration of Timings	FE0	○					
National Signal Sequences(Infringement)	GA0	○					
Specified Signal group Green to signal group Green movements	GB0	○					
Specified Signal Start Up Sequence Signal Group Movements	GC0	○					
Faults of External Inputs	HA1	○					

1:1 맞교환 방식의 비 과학기술적 유지보수를 지속하고 있으며, 물론 고장코드 구분 없이 현장에서 운영 중인 구성품 단위품으로 1:1 교체 실장으로 정상작동에만 급급한 실정이다. 고장정보데이터의 구분이 Major, Minor 없을 뿐만 아니라 기록관리가 선진국 수준에 부합하지 않는 방식으로 운영 중에 있다.[74]

(3) 시스템 장치의 모순검지 규격 및 알고리즘 분석

(가) 시스템 장치의 모순검지 규격

- TCS 교통신호제어기 시스템의 모순검지(Conflict Monitoring)규격을 미국, 유럽, 일본, 및 국내 표준 규격을 중심으로 고찰한다.

- 미국 표준 규격, 유럽 표준 규격 공히 신호시스템 현장 운영 시 모순검지(Conflict Monitoring)를 포함하여 다음의 모순검지를 교통신호제어기 시스템 내 확보하도록 하고 있다. 또한 모순검지 프로그램 보드를 별도로 구성하여 적용하도록 확정하고 있는 표준 규격이 있음을 알 수 있다.[75]

· 녹색(Green) 신호 모순검지

· 적색(Red) 신호 모순검지

- 전압이상 모순검지

- 주요구성부품(예, Microprocessor)의 오작동 실시간 모니터링 및 모순검지 -오작동방지기능(Malfunction Management Unit)을 모순검지 기능으로 별도의 MMU 구성 필수 모듈 단위 품으로 적용-이 부분을 현장에서 포터블로 교통신호제어기 정상작동여부를 확인하는 안전 신뢰성 장비가 있음. [76][77]

- 저전압 모순검지(Conflict Low Voltage Test)

- 고전압 모순검지(Conflict High Voltage Test)

- 소프트웨어 이상 모순검지

- 전원순단(VDS)에 따른 모순검지 조건[78][79]

---

71) "TR2500A, 유럽규격 p.2, p.3"

72) "EN 12675, 유럽규격 pp. 7~13"

73) "EN BS7987", refer to: "유럽규격" BS7987(HD 638)-BS EN12675:2001, "미국규격1"-NEMA Std. TS1-1983, "미국규격2"-NEMA Std. TS2-1992, "미국규격3"-CALTRANS 170/170E-1989, 일본경시청 교통신호제어기 규격-1984.

74) "TR2500A, 유럽규격 p.2, p.3"

75) 일본 경시청의 경우, 모순검지 프로그램 보드를 별도로 두어서 Green 신호 모순검지의 경우 프로그램을 다이오드로써 누설, 누전에 따른 모순을 강제적으로 방지하도록 하는 물리레벨을 채택하고 있다. OMRON사, 1984년

76) Siemens Tester-for NEMA TS-2 ---portable carring testing spec-in Eagle TCS

77) CALTRAN 017, 017E 표준 규격, 캘리포니아의 표준 규격의 경우 모순검지는 반드시 별도의 모순검지 보드로 구분하여 적용하여 설계하도록 하고 있으며, 반드시 다이오드를 사용하여 모순검지 보드 프로그램을 실시하도록 하고 있다.

- 황색(Green) 신호 변화를 모니터링하여 모순검지 조건[80]
- 특수 모순검지 조건 관련의 규격

; -국가 경계구역이 겹치는 곳에 있는 특수상황에 적용.[81]

- 국내 표준 규격의 경우[82], 미국[83], 유럽[84], 일본[85] 등에 비교하여 모순검지를 다음으로 규격 내용을 정하고 있다.[86]

· 녹색(Green) 신호 모순검지
· 적색(Red) 신호 모순검지
· 전압이상 모순검지
· 소프트웨어 이상 모순검지
· 전원순단(VDS)에 따른 모순검지 조건

(나) 시스템 장치의 알고리즘 분석

- 알고리즘은 미국 표준 규격 NEMA TS-1에서 NEMA TS-2로 신호제어 시스템의 알고리즘의 레벨업(Level-up)을 하면서 안전 신뢰성 기반의 진일보하는 오작동방지관리시스템을 채택하여 모순검지를 구축하는 데 큰 축을 수행한 결과로 나타났다. 여기에서 실시간 감응제어 기능을 확장하는 ATC시스템(Advanced Traffic Control Systems) 안전 신뢰성 기반을 겸한 알고리즘으로 기술성 확장으로 진일보하고 있다.

---

78) 전원순단(VDS)에 따른 모순검지 기준은 NEMA TS-1, NEMA TS-2에서 규정하고 있다.
79) 국내 표준 규격의 경우 전원순단(VDS)에 따른 모순검지 기준을 'NEMA TS-1, NEMA TS-2에서 규정'한 내용을 대부분 그대로 적용하고 있다. 2004버전 및 2010버전 공히 동일하게 'NEMA TS-1, NEMA TS-2' 규정 내용으로 모순검지하도록 한다.
80) 유럽 규격 TR2500A:2005, BS EN 12675, HD638 S1 공히 교통신호제어기 신호현시조건별 전 범위를 모순검지 대상으로 설정하여 적용하도록 하고 있다.
81) 유럽 통합 표준 규격을 적용하는 경우, 국가 경계구역이 겹치는 곳에 있는 특수상황에 따른 신호이상으로 검지되었을 시에는 기술적인 문제와 더불어 법률적인 조건 등 특수여건으로 처리하여 조율하고 관련 구역과 동일 지역에 파급하여 확대 적용한다. - 관련 규격 BS EN 12675:2001, Traffic Signal Controllers-Functional Safety Requirements
82) 국내규격, 모순검지 Conlict Monitoring (발췌 내용)_TCS 교통신호제어기 표준규격서(04년 Ver.)-pp. 70-71 of Total page 281, 2004. ; 국내규격, 모순검지 Conlict Monitoring (발췌 내용)_TCS 교통신호제어기 표준규격서(04년 Ver.)-p. 86 of Total page 281, 2004. ; 국내규격, 모순검지 Conlict Monitoring (발췌 내용)_TCS 교통신호제어기 표준규격서(04년 Ver.)-p. 205 of Total page 281, 2004.
83) NEMA TS-1, Section 6. 모순검지 Conlict Monitoring pp. 45~56, Total page 101, 1983. ; NEMA TS-2, 모순검지 Conlict Monitoring Std-pp. 90~95 of Total page 136, 1992.; NEMA TS-2, 모순검지 Conlict Monitoring Std-pp. 54~57 of Total page 246, 2003. ; NEMA TS-2, 모순검지 Conlict Monitoring Std-pp. 176~180 of Total page 246, 2003.
84) 유럽, TR2500A, 유럽 교통신호제어기 규격 - tr2500a, p. 7 of Total page 65, Nov.2005. ; 유럽, TR2500A, 유럽 교통신호제어기 규격 - tr2500a, p. 35 of Total page 65, Nov.2005.
85) 일본 TCS 모순검지, (일본논문-Failure safe 개선제품 관련)_sei10792-Fail-safe기능을 개선한 신형교통신호제어기(일본)-p. 32(p.3) of Total page 33(p4), 2014.
86) 국내 표준 규격, 경찰청 표준교통신호제어기, V.04 version. 2004.

- 유럽의 경우 교통신호제어기 시스템의 기능안전 요구사항을 규격으로 정하여 신호제어시스템 표준 규격으로 채택하고 있다.[87]또한 현장 환경조건에서의 EMC 조건에 안전한 정상작동을 보장하는 관련 규격으로 채택하여 고유의 신호제어 알고리즘이 정상적인 동작을 지속하도록 하고 있다.[88]
- 일본의 경우 교통정보제공시스템의 교통실시간 교통상황 혼잡 정보 수집을 안전 신뢰성 기반의 데이터 정보를 제공하기 위한 관련의 안전 신뢰성 방법을 관련 공학으로 연계하여 준비를 하고 있다.[89]
- 국내의 경우 교차로 내에서 실시간 교통정보를 통한 알고리즘으로 개발되어 운영 중에 있다.[90][91]하지만 이 부분에 있어서 센터 알고리즘을 현장에서 운영하는 교통신호제어기로 할당 하여 신호운영제어 알고리즘을 통한 교통 혼잡을 해소를 기대하고 있는 수준이다.[92] 즉 영국의 SCOOT, 호주의 SCATS, 미국의 OPAC 또는 RT-TRACS, 일본의 ATCS, 프랑스의 PRODYN, 이탈리아의 UTOPIA 시스템 등에서 센터와 현장 운영 교통신호제어기 간의 알고리즘과는 네임밸류(Name-Value)를 포함하여 알고리즘 실제 운영에 있어서 다소의 수준 차이가 있다.[93]
- 특히 국내의 경우 국도 지방도 상에서 설치 운영 중인 교통신호제어기의 경우에는 이와 같은 시스템, 알고리즘 등으로부터의 직접적인 연결을 고려하고 있지 않는 등의 한계성을 가지고 있다.

마. 해외 TCS 교통신호제어기 표준규격 조사

(1) 교통신호제어기의 표준 규격 관련 해외 사례

- 미국은 NEMA TS-1, NEMA TS-2를 중심으로 각 주별로 교통신호제어기 모델을 선택하여 관련 규격을 정하여 사용하고 있다. 예, 켈리포니아주의 경우 Type CALTRANS 170, 170E,

87) BS EN 12675:2001, Traffic Signal Controllers-Functional Safety Requirements
88) BS EN 50293:EMC, Electromagnetic Compatibility Road Traffic Signal Systems Product Standard, 2001.
89) '도로교통정보 인프라에 있어서 RAMS의 적용 검토'(영문제목:) 『A Study on adaptation of RAMS, Reliability Availability Maintainability Safety, for Road Traffic Information Infrastructure』 논문, IEE Japan, Naoshi Noguchi Mr., Tsuyoshi Funaki Professor(오사카대학대학원 교수, Osaka University), 2010
90) 국내 표준 규격, 경찰청 표준교통신호제어기, Ver. 04, 및 Ver. 10.
91) COSMOS 시스템으로 개발하여 서울시에 적용 중에 있다.
92) 영국의 교통시스템은 SCOOT
93) SCOOT(Split Cycle and Offset Optimization), SCATS(Sydney Coordinated Adaptive Traffic System), OPAC(Optimized Polices Adaptive Control)/RT-TRACS(Real-Time Traffic Adaptive Control System), ATCS(Area Traffic Control System), PRODYN('PRO-Dymamique'-PRO-Dynamics), UTOPIA(Urban TRaffic Optimization Technology), COSMOS(Cycle Offset Split mOdel for Seoul)

최신 모델 2070 규격 등이 있다. 이 중 NEMA TS-2를 기반으로 NTCIP를 표준 규격 등으로 적용하고 있으며, ATC 2070(Advanced Transportation Controller) 모델 등으로 본격적인 교차로 상에서의 감응제어(ATC, Actuated Traffic Signal Control)를 위한 표준 규격 등으로 채택하여 적용하고 있다. 유럽은 TR2500A 규격을 비롯하여 BS7987(HD638 S1:2001), BS EN12675 규격 등이 사용 중에 있다.[94] 일본 경시청은 표준 규격을 적용하고 있으며, 혼잡교차로 교통해소를 위한 표준 규격으로서 감응제어 모드를 그 주 규격 내용으로 적용하는 사례도 있다.

- TSC교통신호제어기의 국내 동향 내지는 변화의 히스토리와 관련해서는 표 11. 의 내용과 같이 대략 몇 번의 변화를 지내왔으면서도 물리적 레벨에서의 신뢰성 기반 평균수명(MTBF)산출 관련의 분석 방법의 연구가 드러나 있지 않다.

국내 TSC교통신호제어기의 제품규결 별 형식의 변경 히스토리는 표의 내용과 같다.

표 37 국내 교통신호제어기의 제품규결 별 형식의 변경 히스토리

국내의 교통신호제어기 변경 히스토리 특성 분석 [개발 설계 및 설치 운영 관련]					vs. 해외 표준 관련 특성 분석		
개발 설계 시기	외함, 구조	내부 전자구성품	하드웨어 특성분석		미국	유럽	일본
			외함, 구조 변경여부	내부 전자부품 변경여부			
1980년 초반	- 직수입 설치운영 등	- 단위품 국산화 등	- 외함 국산화 - Cabling 구성	- 변경하여 적용함 - 일부 전자부품 국산화 - 5SR 국산화 - 센터 운영	- NEMA TS1	각국 표준	경시청 규격 표준/연동/점보형 구분
1987년 이전	- 직수입 포함 시기 - 도입, 국산화 혼재 적용 시기	- 도입, 국산화 및 개발 설계 혼재 시기	변경하여 적용함	- 변경하여 적용함 - 일부 전자부품 국산화 - 전자형제어기 국산화 성공 - 센터 운영	- NEMA TS1 - CALTRANS 170/170E	각국 표준	경시청 규격 표준/연동/점보형 구분
1990~ 1993	- 현 표준형태의 함체 구조 및 Cabling - Rack 단위 Card Cage 구성 - DIN Type 콘넥터 설계 반영	- MCU, SCU 등 그룹 단위 구분 - 전자신호제어기의 기능에 맞춰 개발 (CPU 용량 등) - 16Bit, 32Bit 혼용 설계적용 감응제어 알고리즘 적용	변경하여 적용함	- 첨단 전자형 신호제어기 개발 설계하여 설치 운영	- NEMA TS2 - CALTRANS 170/170E	각국 표준	경시청 규격
1994~ 2000	- Rack, Sub-Rack Cabinet 설계 - DIN Type Card Cage 적용	- 48출력(다지형 제어기) - Loop Det수용 용량 확대	변경하여 적용함	변경하여 적용함	- NEMA TS2 - CALTRANS 170/170E	유럽통합규격 - EN12675 - HD638 S1	경시청 규격
2004~ 2005	- 경찰청 교통신호제어기 표준규격 외함 구조. - 기존의 첨단전자형과 외함 구조는 대동소이함.	- MCU부 CPU 32Bit 설계적용 - 일부 알고리즘 기능 추가	- 변경사항없음	- 변경사항없음	- NEMA TS2-2003 - CALTRANS 170/170E - NTCIP	유럽통합규격 - EN12675 - BS7987 (HD638 S1)	경시청 규격 -혼잡해소용 추가기능
2006~ 2009	- 경찰청표준 교통신호제어기 외함 구조. - 기존의 첨단전자형과 외함 구조는 대동소이함.	- MCU부 CPU 32Bit 설계적용 - 일부 알고리즘 기능 추가	- 표준형은 변동사항없음. - 미니형 추가 Cabinet Size 변경하여 적용함	- 변경사항없음	-(기존 Spec.+) - NTCIP - ATC 2070 - NEMA 2070	유럽통합규격 - EN12675 - BS7987 (HD638 S1)	경시청 규격 -혼잡해소용 추가기능
2010~ 2013	- 표준형은 변동사항없음. - 미니형, 슬림형 함체 추가	- MCU부 CPU 33Bit 설계적용 - 일부 알고리즘 기능 추가	- 표준형은 변동사항없음. - 미니형 추가 Cabinet Size 변경하여 적용함	- 변경사항없음 - 스림형의 경우, MMI는 사이즈 차이점(단 하드웨어 부품은 변동사항없음)	-(기존 Spec.+) - NTCIP - ATC 2070 - NEMA 2070	유럽통합규격 - EN12675 - BS7987 (HD638 S1)	경시청 규격 -혼잡해소용 추가기능

94) EN 12675, -Traffic signal controllers - Functional safety requirements, European Standard, CEN, pp.12~13, 2001.

- 교통신호제어기(TCS) 관련의 신뢰성 관련의 국내 연구는 대부분 논리적 측면, 알고리즘 이론 및 시뮬레이션의 구조적 해석 연구의 관점으로 진행을 하였으며, 이는 운영 현장에서의 소프트웨어 측면에서의 신뢰성 확인 절차와 방법을 프로그램으로 접근하여 유지보수성(Maintainability), 가동성(Availability) 개선 여부를 파악하여 시스템의 안정화 단계 정도를 파악하려는 것이 기존 연구의 주된 목표로 보여 지며, 시스템 장비 측면에서의 물리적 신뢰성 기반 평균수명(MTBF)산출, 안전성, 가동성, 유지보수성 등과 관련하여 고찰한 연구는 확인되지 않았다.
- 우리나라는 환경시험규격 NEMA TS-1:1983 — 환경시험 섹션2(Section 2. Environmental Standards and Test Procedures)부분의 규격내용과 일부의 내용 중에서 감응제어 알고리즘 부분을 일부 기술적으로 응용하였을 뿐 나머지 모듈단위, 유니트 단위, 인터페이스, 연결 콘넥터, 함체(Cabinets) 등은 따르지 않았다.
- 다른 나라의 경우에 1983년 이후 환경시험 항목 추가 등의 변화에도 국내의 경우는 이에 변한 것이 없이 기존 시험규격을 적용하고 있다. 다만 국내 공인시험 중 기능시험 방법은 프로토콜(기존 센터 HOST 알고리즘과 소프트웨어를 탑재한 시스템 구성을 한다.)을 정해놓고, 기존 센터의 역할을 하는 단위시스템과 교통신호제어기 개발품의 기능을 맞춰가는 기능체크와 수정을 맞출 수 있도록 기능 조정과 보정작업을 통하여 맞추는 과정이다. 이 과정은 요구기능을 맞추는 일처리이며, 신뢰성 기반의 일처리를 찾을 수 없다. 유럽, 미국 규격은 엄격하게 모순검지를 전압전위 수준에서의 물리레벨(Physical Level)을 규정하고 이는 반드시 지켜져야 하는 엄격 기준임에도 국내에는 이 부분이 없다. 전원전위는 반드시 세도록 되어 있는 것이며 이를 누전이며 누설전류(Leakage Current)라 한다. 그러나 이 전원전위가 우리 인체에 그리고 주변 장치에 영향을 주지 않는 범위를 지켜지도록 하고, 이를 안전을 위한 모순검지를 하도록 정의한 것에는 그 중요성이 있기 때문이다. 물리레벨을 거스를 어떤 명백한 명분이 이 부분에 전혀 있을 수 없다. 따라서 모순검지는 유럽, 미국의 표준 규격에서 명시한 내용을 근거하고 기준하여 따라야 하며, 이 부분은 반드시 시정되어야 한다. 불특정다수의 여행자와 교통신호제어기의 교통신호를 이용하는 시민들은 이런 상황을 알 수가 없다. 설령 안전(Safety)하지 않은 교통신호의 신호현시에도 안전을 지켜줄 것은 사실상 부재하다고 할 수 있다. 우리나라는 가장 높은 교통사고 발생 OECD국가 중에서 가장 높은 순위를 하고 있다는 것을 더 이상 강조하고 싶지는 않으나, 교통안전을 위한 어떤 것이 보다 더 과학기술적이고 안전한 것인지를 분별하여 적용할 수 있도록 하는 것이 매우 중요하고 필요한 것인지

는 거듭 강조해도 지나치지 않다. 교통신호제어기는 첨단(Advanced), 전자(Electronic)장치로 구성되는 제품이기에, 생산제조공정(Manufacturing Technology & Production Process) 관련의 생산관리, 품질관리(QC) 및 품질보증(QA)은 기본적으로 상당한 수준과 안정적 수준에 있어야 하는 데도 불구하고 이 부분에 있어서 국내의 현실은 그러하지 못할 뿐만 아니라 신뢰성 보증 체계를 구축은 없는 수준으로 확인되었다. 생산제조과정의 기능보드는 PTH(Path-Through-Holes)방식, SMT(Surface-Mounting-Technology)방식 혼용을 모두 적용하고 있는 데, 이 부분에서 유럽 TGV 지상장치, 차상장치의 경우 SMT를 설계 적용할 시 적용기준을 두고 있을 뿐만 아니라 대부분은 PTH 적용을 원칙으로 하고 있다. 이 부분은 일본의 철도시스템, 도로교통 분야 공히 동일하게 적용한다. 즉 생산제조공정에서 PCB에 조립되는 전기·전자부품(Electronic Components)은 종류만으로도 수십종에 이른다. 구성품의 수량으로는 주기능보드(CPU Board)만으로도 약 100개 수량에서 약 400개를 설계에 적용하고 있으며, 각 모듈별 전기·전자부품을 모두 합치면 수백에서 수천의 사용 개수에 이른다. 즉 이 전기·전자부품 구성품 하나하나가 모여서 교통신호제어기가 생산 제작되며 여기에 일정의 필요로 하는 소프트웨어를 부가하면, 완성된 완성조립제품(SET)으로 된다.

(2) 교통신호제어기 국가별 환경시험 규격 비교

- 교통신호제어기와 관련한 국가별 표준 규격은 미국, 유럽, 일본의 표준 규격 내용 중에서 환경시험, 교통운영의 안전 관련의 표준 규격의 내용을 중점으로 확인하여 비교하였으며, 이는 국내 적용 규격인 NEMA TS-1 과의 어떤 차이를 가지고 있는 것인지와 환경시험을 보완할 필요성 관련의 내용을 고찰한다.

(3) 국가별 환경시험 표준 규격 비교

- 교통신호제어기 국가별 환경시험 표준 규격은 미국은 NEMA TS-1:1983, NEMA TS-2:1992와 CALTRANS 170/170E:1989 가 있다. 여기서 "TS-2"는 운영시 오작동(Malfunction)방지 기능을 강화하였다. 모듈 단위의 규격 내용으로 첨단전자화형태의 교통신호제어기의 환경시험에 맞도록 한 규격이다.[95)96)]

  환경온도 조건은 -34℃~+74℃를 적용기준으로 하고 있으나 CALTRANS의 경우에는 -37℃~+74℃를 적용하고 있다.

- 유럽의 경우에는 EN 12675:2000, BS7987:2001(HD 638:S1:2001) — "EN 12675"는 교통신호 운영의 안전(Safety)의 내용과 신뢰성의 기준이 중요 내용이다.

  유럽 공공사업 관할의 공기업의 규격내용은 보다 더 철저한 내용으로 정의하고 있다.

  유럽의 환경시험온도 관련은, 표준 규격을 중심으로 적용하며 -40℃~+60℃를 적용하여, 전기·전자부품 주변의 열발산을 억제할 수 있는 신뢰성 설계 기술을 근본적으로 유도하고 있다.

- 열충격의 손상(Damage)을 입지 않도록 생산공정 단계에서 설치운영 단계에 적용할 수 있는 기준의 관련의 내용이 표준 규격의 중요내용으로 정의하고 있다. 즉 환경시험 온도적용의 Class를 두어 제품별 적용기준을 차별하여 시험하고 있다.

- 일본의 경우 경시청의 규격으로서 -20℃~+60℃를 환경시험온도 기준으로 하고 있다. 미국 NEMA TS-1, NEMA TS-2의 경우 보관온도(Storage Temperature)의 규격을 각각 규정하고 있으나, 국내의 경우 이 부분은 적용하지 않고 있어 전기·전자부품, 서브단위 모듈 부분 조립제품, 및 교통신호제어기(TCS)의 보관 저장 시 환경온도 조건 등이 신뢰성에 영향을 줄 위험이 있다.[97)98)]

---

95) NEMA TS-2 Standard, Traffic Controller Assemblies, NEMA, Washington D.C., pp. 81~95, 1992.
96) NEMA TS-2 Standard, Traffic Controller Assemblies, NEMA, Washington D.C., pp. 81~95, 1992.
97) Patrick D. T. O'Conor and Andre Kleyner, Practical Reliability Engineering, Fifth Edition, A John Wiley & Sons, LTD., U.K. p.226, p.227, 2011
98) Patrick D. T. O'Conor and Andre Kleyner, Practical Reliability Engineering, Fifth Edition, A John Wiley & Sons, LTD.,

- 미국 표준 규격은 완성품 납품 시 보관장소, 환경 온도 조건 등 저장기간 중에 전체적인 신뢰성에 치명적 불량요인의 데미지손상(Damage)을 가져올 수 있다는 규정 내용을 포함하는 것으로 규정하고 있다.

이들 환경시험 표준 규격 관련의 분석 요약은 표의 내용과 같다.

표 38 교통신호제어기의 환경시험 국가별 표준 규격 비교

국가 Country	동작 온도·습도범위 Operating Temperature	보관 온도범위 Storage Temperature	규격 Specifications
대한민국	-34℃~ +74℃ 18% ~ 90%RH		경찰청 표준 규격, NEMA TS-1, 1983.
미국	-34℃~ +74℃ 18% ~ 90%RH	-45℃ ~ +93℃ (-50°F ~ +200°F)	NEMA TS-1, 1983.
		-45℃ ~ +85℃ (-50°F ~ +185°F)	NEMA TS-2, 1992.
		-45℃ ~ +85℃ (-50°F ~ +185°F)	NEMA TS-2, 2003. NTCIP
미국 켈리포니아	-37℃~ +74℃ 5% ~ 95%RH		CALTRANS-017 /017E, 1989.
미국	-37℃~ +74℃ (-34.6°F ~ +165.2°F) 5% ~ 95%RH	-40℃ ~ +85℃ (-40°F to 185°F)	ATC 2070 v.03.03, Oct. 2011.
유럽	-40℃~ +60℃ 18% ~ 90%RH		HD 638 S1:2001 TR2500A, 2005.
일본	-20℃~ +60℃		일본 경시청 규격

U.K. p. 226, p. 227, 2011.

(4) 교통신호제어기(TCS) 환경시험 표준 규격의 실행내용별 고찰

유럽의 교통신호제어기의 환경시험 표준 규격의 내용을 중심으로 국가별 실행 여부를 검토 분석을 하였으며 이들 규격이 수용하고 있는 수준 내용이다. 미국의 CALTRANS 규격의 경우 유럽의 교통신호제어기의 규격 기준을 83%(35개 시험규격 항목 중 29개), NEMA TS-1, TS-2는 공히 80%(35개 시험 항목 중 28개), 한국의 경우는 57%(35개 시험항목 중 20개), 일본 신호제어기 규격의 경우는 74%를 실행하고 있다.

또한 국내의 경우 신호제어기의 요구 단위 기능별 시험항목은 많이 있으나(대부분 기능시험 항목) 이 부분의 내용은 대부분 기능을 맞추기 위한 변화를 수용하는 것이다. 또한 열충격(Thermal Shock), 염수분무시험(Salt Atmosphere and Spay), Sand and Dust 관련 내용이 환경시험 스트레스 조건에 포함하고 있으며, 이 부분의 내용 등이 신뢰성 개선 향상을 위한 필수 내용으로 하는 내용이 있으며, 이와 관련의 표준 규격 실행 내용 중심으로 정리 내용은 표의 내용과 같다.[99]

표 39 교통신호제어기의 국가 별 환경시험 규격 비교

구 분	Specification[100]	교통신호제어기 시험 규격[101]					
		유럽	한국	미국			일본
				1	2	3	
Electrical Supply and Limits	Operating voltage Range	○	○	○	○	○	○
	Low Voltage Switch off response Voltage (Voff)	○	○	○	○	○	○
	Low Voltage Auxiliary state switch response Voltage (Vaux)	○	○	○	○	○	○
	Overvoltage	○	○	○	○	○	○
	Voltage Dip	○	○	○	○	○	
	Mains Frequency	○		○	○	○	○
Safety[102]	Criteria - Leakage Current Road Traffic Signal Systems	○		○	○	○	○
	Criteria - Leakage Current Maintenance Equipment Supply	○		○	○	○	○
	Earthing	○	○	○	○	○	○
	Accepting methods of Earthing	○	○	○	○	○	○
	Enclosure	○	○	○	○	○	○
	Terminations	○	○	○	○	○	○
	Controller Enclosure Doors	○	○	○	○	○	○
	Controller signal Outputs	○	○	○	○	○	○

99) "MIL-HDBK-338B, op. cit. pp. 7.150~7.157, p.7.130"

	Requirements of Signalling Intensity for Safety	○	○	○	○	○	○
	Requirements for Signal states(i)	○	○	○	○	○	○
	Requirements for Signal states(ii)	○	○	○	○	○	○
	Location of Monitoring Elements for Signals Location of Monitoring Elements for Signals	○	○	○	○	○	○
	Location of Monitoring Elements for Detection of unwanted Displays	○	○	○	○	○	○
Test of Impedance	Fault Loop Impedance Test	○					
	Insulation of Live Parts to Earth	○					
	RCD(Residual Current Detector/Earth Leakage Breaker) For the complete system	○		○	○	○	○
	RCD(Residual Current Detector/Earth Leakage Breaker) For the Maintenance Socket	○		○	○	○	○
Maintenance	Maintenance Testing Procedures	○		○	○	○	○
Environmental [103]	Dry Heat, Cold, Damp Heat, Temperature cycling Test	○	○	○	○	○	○
	Storage Temperature			○	○		
	Solar Radiation	○					
	Random Vibration, Shock Test	○	○	○	○	○	○
	Salt Spay Test for Cabinets[104]	○			○	○	○
EMC Test [105][106]	Surge Suppressor with Relation Testing	○	○	○	○	○	○
	Radio Interference Suppressor	○					
Burn-In[107]	A Minimum 100-Hour Burn-in of All Modules					○	
Others	Ventilation Fan by Auto-Thermostat	○				○	
	Ventilation Filter	○				○	
	Impact for Equipment Enclose	○					
	Water Penetration	○	○	○	○	○	○
	Impact for Signal Heads	○					

100) "TR2500A, 유럽규격 p.2, p.3"
101) "유럽규격" BS7987(HD 638)-BS EN12675:2001, "미국규격1"-NEMA Std. TS1-1983, "미국규격2"- NEMA Std. TS2-1992, "미국규격3"-CALTRANS 170/170E-1989, 일본경시청 교통신호제어기 규격-1984.
102) "TR2500A, 유럽규격. pp. 7~13"
103) "TR2500A, 유럽규격. pp. 2~4"
104) "MIL-HDBK-338B, p.7.150(p.396)"
105) BS EN 50293, Electromagnetic Compatibility Road Traffic Signal Systems Product Standard., CEN, U.K., pp. 1~5, 2012.
106) MIL-STD-464A, ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENTAL EFFECTS REQUIREMENTS FOR SYSTEM, DOD in USA, pp. 1~5, 2002.
107) "CALTRANS-170/170E, 미국규격 pp.1-8-1 ~ 1-8-4"

규격 비교표의 내용과 같이, 우리나라 TCS의 환경시험 항목으로 방수시험, 진동시험, 내습성 시험, 온도 시험등을 실시하고 있지만, 염수분무시험, 가스시험, 먼지에 대한 시험을 하지 않고 있다. 때문에 이러한 환경에서 오는 폐해가 큰 것으로 알려져 있다. 이러한 시험의 부재 때문에, 그림과 같이, TCS 디스플레이내의 습기가 찬다거나, 컨트롤러 Pin사이의 거리가 짧아 Pin 사이의 부식, 쇼트가 많은 문제를 야기 하고 있다.



그림 23 국도상 교통신호제어기와 해안지역 교통신호제어기의 부식

(5) 교통신호제어기(TCS)의 국내 환경시험 규격

교통신호제어기(TCS)는 전기, 전기·전자부품으로 구성되어있으며, 관련의 신뢰성 확인 및 신호제어기가 환경조건 중에서 현장 설치 운영 시의 환경조건을 설정하여 확보하고 환경시험에 무슨 가속수명을 부가하여 고장률 변수(Parameters)를 적용하고 있는 것인가를 그동안의 국내 환경시험의 온습도시험, 진동시험, 충격시험, 절연시험 등을 검토한다.[108)109)110)]

교통신호제어기(TCS) 환경시험 구성조건 방법은 국내의 교통신호제어기 환경시험의 구성조건 방법은 환경시험조건 온습도반복시험을 NEMA TS-1규격을 기반으로 하고 있는 특징을 가지고 있으며, 이를 주 내용으로 교통신호제어기의 환경시험 방법은 그림의 내용으로 구성한

108) "NEMA TS-2, 미국규격 pp. 2-1~2-14"
109) "교통신호제어기, 표준 규격서, 국내규격 pp. 205~208"
110) "김주년, 신뢰도 향상을 위한 부품배치 최적화 연구, 충남대학교 대학원 박사학위논문, 대전, pp. 19~30, 2007."

다.[111]

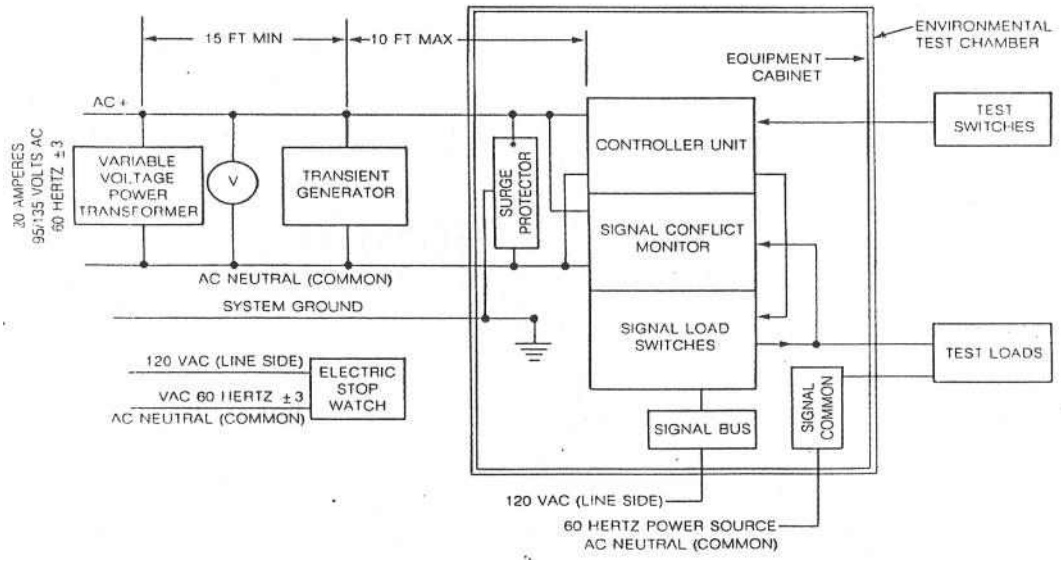


그림 24 환경 온·습도반복시험 구성도

교통신호제어기 제품이 납품하여 현장으로 이동한 후 설치 운영하는 형태의 표의 내용으로 시뮬레이션을 환경시험용 온·습도챔버(Environmental Chamber) 내에 구성하고 외부와 교통신호제어기 MCU부와 통신연결을 이용하여 온습도가 변화하며 진행할 때에 환경시험 규격에 맞는 정상작동을 계속하는 것을 확인한다.[112]

표 40 교통신호제어기 MCU 환경시험 스트레스 세부 조건

No.	스트레스 단계	스트레스 조건[113][114]					확인 사항	
		온도 ℃	습도 %RH	전압 V.AC	시간 hours	안전성 전원DIP 300ms~ 1000ms	정확도 출력시간 온라인	모순기능 검지기능
1	실온에서 정상작동	상온	상습	220VAC ±15%	1~ 2이상	○	10주기시간, 온라인Sim.	G-G모순 Red모순
2	저온 저전압 시험	-34	RH	190	11	○	10주기시간, 온라인Sim.	G-G모순 Red모순
3	저온에서 전원 OFF	-34	RH	0	5	-	10주기시간, 온라인Sim.	G-G모순 Red모순
4	저온 고전압 시험	-34	RH	250	1	○	10주기시간, 온라인Sim.	G-G모순 Red모순
5	온·습도변화	-34~	습구4.4~	220	6.4이상	○	10주기시간,	G-G모순

111) "교통신호제어기, 표준 규격서, 국내규격 pp. 202~205"
112) 통신연결 시 시리얼통신 RS-232 PORT.를 사용한다.

	시 정상작동	+74	습구42.8				온라인Sim.	Red모순
6	고온 고전압 시험	+74	18%RH 습구42.8	250	15	○	10주기시간, 온라인Sim.	G-G모순 Red모순
7	고온 저전압	+74	18%RH	190	1	○	10주기시간, 온라인Sim.	G-G모순 Red모순
8	상온에서 정상작동	상온	상습	220	1~ 2이상	○	10주기시간, 온라인Sim.	G-G모순 Red모순

추가의 모순검지시험, 전원순단시험(Voltage DIP, Voltage Interruption Test), 신호모순시험(Signal Conflict Monitoring) 의 환경스트레스 시험을 위한 온·습도 변화 조건에서 출력시간 정확도시험, 모순검지시험을 하며, 환경시험 항목과 관련한 분석은 <표 3-19> 의 내용과 같다.[115][116]

- TCS 환경시험 Profile 진행순서

NEMA TS-1:1983, NEMA TS-2:1992 환경시험의 온습도 사이클링 시험 프로그램 그래프(Profile) 그림 10. 의 내용의 요구 시험조건에는 그림과 같이 환경 챔버(Chamber)내의 교통신호제어기 MCU부로부터 외부에 있는 컴퓨터(Personal Computer)와의 통신 정상적인 동작을 확인한다.[117]

113) "NEMA TS1:1983 미국규격 pp. 14~21"
114) "교통신호제어기, 표준 규격서, op. cit. pp. 202~204"
115) 환경시험 시에 환경챔버(Chamber)내의 피시험체 MCU부와 챔버 외부에 노트PC와 연결하여 리모트(Remote)로 챔버 내에 시험자가 진입하지 않은 상태에서 온·습도시험 시에 피시험체가 정상작동의 계속여부를 실시간으로 모니터링하기 위한 모의 프로그램(Simulation Program)으로서, 별도의 시뮬레이션 시험을 위한 프로그램을 말한다.
116) "NEMA TS-2:1992/2003, 미국규격 p.9"
117) 환경온도시험의 TEST Profile 출처는 NEMA TS2-2003(1992년 제정 후 1차 버전 변경 후 규격 내용임), p.2-7, 2003년.

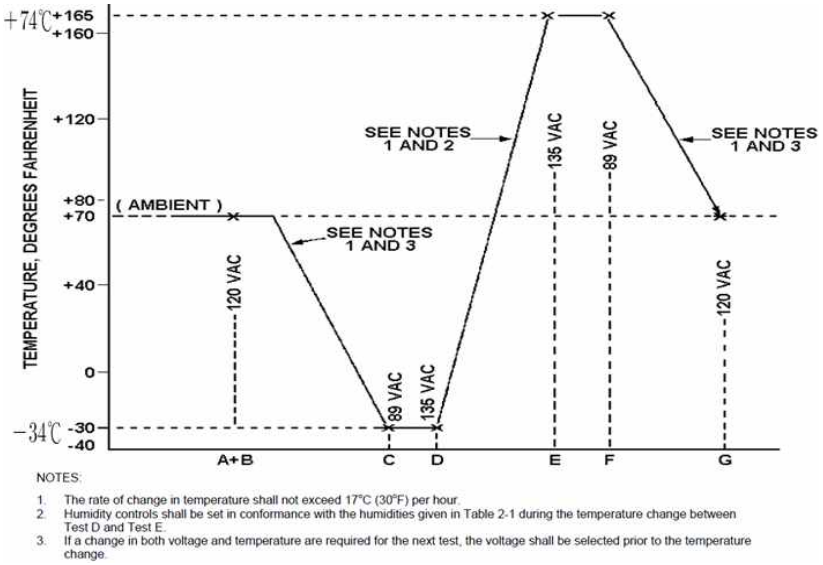


그림 25 교통신호제어기TSC 환경시험 진행순서 Profile

교통신호제어기 완제품이 현장 이동하여 설치 운영 중에 주변의 진동조건, 충격시험의 환경시험과 외부로부터 인입하는 뢰임펄스서지(Lightning Impulse Surge) 시뮬레이션 시험 등을 환경온도시험 외에 현장 환경시험 조건에 적합여부의 시험을 실시하며 그 관련의 분석은 표의 내용과 같다.[118]

표 41 교통신호제어기(TCS) MCU 환경시험 스트레스 조건

환경구분 / 조건	환경시험 항목	현장 스트레스 조건 ; 이동, 상·하차 및 설치	모니터링 ; 모순검지기능 및 통신 온라인
구조, 조립상태	진동 시험	공진점 별 각 방향 (X, Y, Z) 1시간씩 진동 시험	진동시험후 정상작동 계속할 것 전기·전자부품에 진동영향 없을 것 컨넥터 빠짐이 없을 것 조립부 풀림이 없을 것 기구부에 변형이 없을 것
구조, 조립상태	충격 시험	충격시험조건에서 3회 충격 시험	충격시험후 정상작동 계속할 것 전기·전자부품 조립정상일 것 콘넥터 빠짐이 없을 것 조립부분 풀림이 없을 것 기구부에 변형이 없을 것
절연저항	절연저항시험	절연저항 적합성	
절연내압1	교류 절연내압	교류 절연내압 적합성	
절연내압2	직류 절연내압	직류 절연내압 적합성	
서어지시험1	뢰임펄스 시험	뢰(Lightning)서지 내력	
서어지시험2	비파괴내과전압	비파괴내과전압 내력	

118) IEC-1000-4-5[— ANSI Std. 62.41C and IEC 60-1], EMC, IEC, Geneva, Switzerland, p. 24, 1995.

(6) 교통신호제어기(TCS) 환경시험 분석 결과

교통신호제어기는 NEMA TS-1:1983 환경시험 규격을 국내 표준 규격으로 적용하고 있으므로, 다른 이유를 가지지 않고 표준 규격의 기준을 수용하고 있으며, 일부의 중요 시험 중 뢰임펄스시험, 서지시험 등은 NEMA TS-1, TS-2와 무관하게 국내에서 국제 표준 규격을 수용하여 사용하고 있다.[119]

교통신호제어기의 환경시험 규격은 국내의 경우 NEMA TS-1:1983 시험 항목기준은 절대적 영향력을 가져왔으나, 그 환경시험을 공인기관으로부터 통과하여 현장에서의 실질 사용 내구연한에 해당하는 내구연한을 만족하는 사례와 관련하여 관찰한 사례는 없으며, 대체적으로 교체를 필요로 하는 고장 발생의 특성을 나타내는 시점에서 고장 발생 특성이 잦을 특성의 경우와 내구연한과 무관하게 고장 발생 특성에 따른 민원이 잦은 경우에 부득불 교체대상의 사유를 들어 교체를 실행하여 왔다.

교통신호제어기(TCS) 환경시험규격은 실질 사용 주변의 현장운영 환경조건에 적합하도록 환경조건이 결합하여 동시에 시뮬레이션을 하는 조건의 결합방식으로 적용하여 환경신뢰성시험 조건을 적용하지 않았다.[120]

현재까지 교통신호제어기(TCS) 환경시험의 방법과 진행 프로세스는 환경조건 온·습도반복시험 시에 여러 가지 연결조합형 시험으로 보이나, 이 역시 온도·습도의 변화에 규정되어 있는 표준 규격에 근거한 환경스트레스 조건에서 어느 정도의 환경적응성으로 내구력을 가지고 정상 동작을 할 수 있는지와 계속하는 지를 확인하는 시험하나 전체적으로는 단일의 환경팩터(Single-environmental, not combined)만을 부여하고 있다는 관점이 있다.

이렇듯 진동시험, 충격시험, 전기적 안정도 시험 등등 적용하는 실질 피시험체에 시험 시에는 단일형태의 시험을 실시하여 적합수준에 해당하는 개별단위의 시험이 주를 이루고 있다. 일부 뢰임펄스시험 등은 피시험체가 정상작동 중에 시험을 하는 방식을 채택하고 있어 이 부분은 연결조합 방식에 해당한다.

하지만 교통신호제어기는 현장에서 단일형의 환경시험의 규격 단위로 내구력이 아닌 사용 현장에서 존재하고 발생하는 모든 환경요인 들을 수용하는 운영형태를 가지고 있다.

---

119) 뢰임펄스 시뮬레이션 적용 사례가 대표적이며, 이를 채택하여 하절기 우천시에 낙뢰로 인한 주변으로부터 인입하는 유도뢰를 방지할 수 있도록 함으로써 고장 발생으로 이어지게 되는 것을 개선한 사례가 있다(1991년, 국내 "L.사"제안 부품과 시험규격을 관련기관에서 시험결과 인정으로 현 경찰청 표준 규격에 적용하고 있다.) —; IEC 60-1 뢰임펄스서지 시뮬레이션 시험 파형(Wave), ANSI Std.62.41C.규격, 및 IEC-1000-4-5, p.24, 1995 버전임.

120) NEMA TS-1:1983, NEMA TS-2:1992, NEMA TS-2:2003,의 Conflict Monitoring, 전원순단 시험, 시간정확도시험을 온습도시험에서 병행하여 실시하는 것은 환경시험의 결합형으로 보기 어려우나, 이는 환경스트레스 환경시험 조건에는 해당하나, 환경온·습도 환경시험 범주에 해당하기 때문이다.

따라서 이를 중심으로 종합적인 환경시험을 시뮬레이션 할 수 있는 방법으로 교통신호제어기(TCS) 신뢰성 시험을 검토하여 시험평가를 할 수 있을 시에는 실제 현장의 주변 결합화의 환경요인에 피시험체가 어떤 영향으로 변화를 가져오며, 이 결합화 환경시험 조건으로 피시험체인 교통신호제어기(TCS)를 신뢰성 평가하여 내구력을 가진 피시험체는 실질 현장운영에서 내구연한 기간 내 어떤 고장 발생 특성과 내구연한에 어떤 보장할 수 있는 지 등을 적용하는 것을 검토하여 도입을 필요가 있다. 이 경우 국내의 교통신호제어기(TCS) 신뢰성 향상에 구체적인 실행 개선책이 될 것으로 기대한다.

교통신호제어기(TCS) 환경시험조건 결합하여 실함을 실시하는 방식인 CERT(Combined Environmental Reliability Testing)이며, 이와 관련하여 환경사이클(Environmental Cycle) 결합하여 환경 신뢰성시험은 그림의 내용과 같다.

여기서의 환경시험 결합시험은 온습도시험 시에 진동시험, 충격시험을 환경시험 결합으로 실시하는 조건이다.[121]

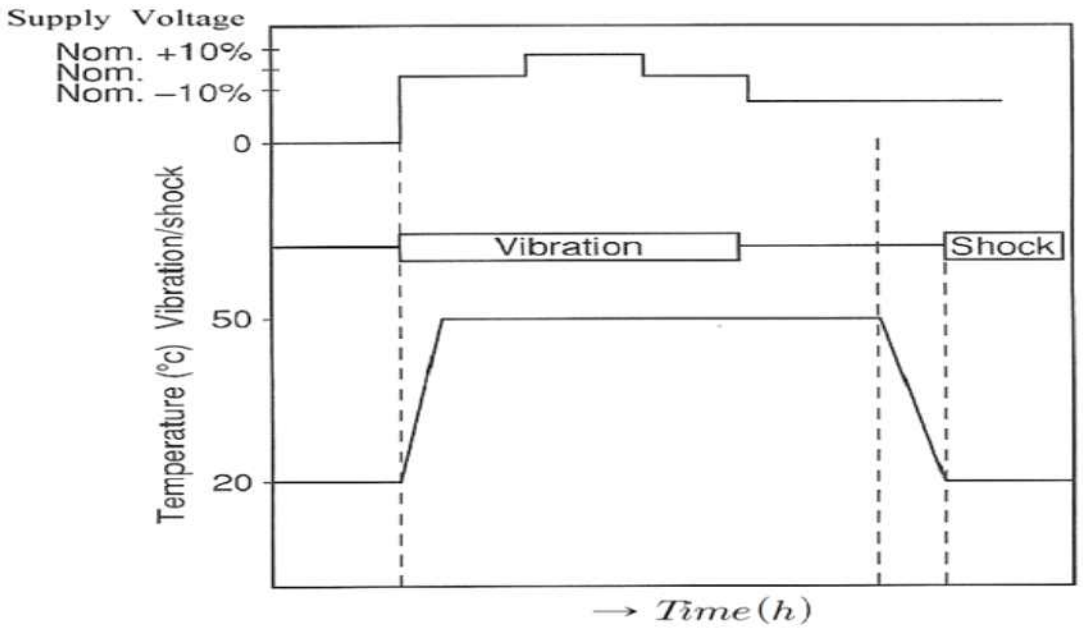


그림 26 환경사이클 결합형방법의 환경신뢰성시험 프로파일

121) "Patrick D. T. O'Conor and Andre Kleyner, op. cit. pp. 309~313"

4. 분석/평가 예측 방법

가. FMEA/FMECA

(1) 개요

FMEA는 시스템을 분석하여 고장을 일으킬 수 있는 요소를 구분하고, 고장이 발생하는 방식을 결정하고, 고장이 발생한 이유를 확인한 다음 그러한 고장이 시스템에 미치는 영향을 결정하는 과정으로 세분하여 분석한다. FMEA에는 치명도 분석을 포함하며 이를 FMEA에서 FMECA(고장 모드, 영향 및 치명도 분석)라고 한다. FMEA는 주로 게시된 표준 또는 가이드라인을 기반으로 수행하지만 자체 FMEA 가이드라인을 정하여 수행하기도 한다.[122]

FMEA는 시스템 분석에 대한 상향식 접근 방법이다. 부품, 공정단계 등 분석에 필요한 최하위 수준에서 시작하여 해당 항목과 연관된 가능한 고장 모드를 검토 확인한다. 이후 시스템 운영 방식 정보 지식을 기반으로 고장 모드의 결과적인 영향이 무엇인지 결정한다. 각 마지막으로 영향을 미치는 내용을 중심으로 심각도, 발생 확률 및 모니터링 검출 방법을 결정한다.

이 과정은 전체 시스템의 마지막 수준에서의 영향을 평가 시 까지 시스템 Tree 구조 전체 영역에서 계속한다. 이 세부 분석이 완료되면 우선순위(Priority)를 정하는 단계를 포함하여 수행한다. 이 우선순위(Priority)를 정한 내용에 따라 심각한 고장을 제거하거나 위험을 완화하는 방법 등을 결정할 수 있는 솔루션을 강구하여야 한다. FMEA의 기본 목표를 통하여 안전·신뢰성 기반의 시스템이나 공정의 모든 요소를 안전성 및 신뢰성 수준에 있는지를 평가할 수 있다.[123]

(2) FMEA 유형

FMEA 유형은 시스템 FMEA, 설계 FMEA, 공정 FMEA 로 분류된다. 시스템 FMEA 는 새로운 시스템의 개념설계단계에서 활용하는 FMEA로 분석단위가 대부분 모듈이나 어셈블리를 기준으로 한다. 설계 FMEA 는 상세설계단계에서 실시하는 방법으로 분석단위가 부품 또는 단품 수준까지를 대상으로 한다. 공정 FMEA는 제조공정설계 단계에서 실시하는 FMEA 로 공정의 제조 작업단계에서 제품에 미치는 영향을 알아보기 위한 FMEA 이다.

---

122) FMEA 표준은 MIL-STD-1629 등이 있다.

123) FMEA 및 FMECA에 대해 유용한 관련 내용 자료: D.H. Stamatis의 Failure Mode and Effect Analysis - FMEA from Theory to Execution(고장 모드 및 영향 분석 - FMEA의 이론부터 실행까지); Paul Palady의 Failure Modes & Effects Analysis(고장 모드 및 영향 분석)

FMEA는 이들 이외에도 개념 FMEA, 설비 FMEA, 에너지 FMEA, SW FMEA 등 다양한 방식이 활용되고 있다.

(3) FMEA관련 규격

FMEA는 시스템을 구성하고 있는 부품들의 고장모드가 타 부품과 시스템 및 사용자에게 미치는 영향과 고장 원인을 상향식(bottom-up)으로 조사하는 정성적 신뢰성예측 기법 또는 고장해석기법으로 제품 및 공정설계 단계에서 사용되는 도구이다. 한편 FMECA는 분석대상 아이템이 가질 수 있는 모든 고장유형을 식별하고, 식별된 고장유형에 대한 원인과 고장이 시스템 수준의 아이템에 대한 운용에 미치는 영향을 예측하며, 이를 정량화하여 그 결과를 설계에 피드백 시켜 치명적인 고장으로 인한 임무실패와 인명, 비용 손실을 극소화시키기 위한 과학적 기법이다.

이러한 FMEA와 FMECA 관련 기존의 규격은 아래 표의 내용과 같이 국제규격, 국가규격 및 단체규격으로 분류할 수 있으며, 산업분야별로는 다음과 같이 정리할 수 있다.

우주항공산업의 유럽규격 : ECSS-Q-ST-30-20C
전기전자산업의 국제규격 : IEC 60812,
항공산업의 미국 NASA규격 : P-302-720,
군수산업의 미국 국방성규격 : MIL-STD-1629A
자동차산업의 단체규격 : SAE J1739
반도체산업의 단체규격 : SEMATECH
일반상용의 영국 규격 : BS 5760-5

표 42 기존의 FMEA, FMECA 관련 규격

규격번호	규격명	수준	산업분야
ECSS-Q-ST-30-20C	Space product assurance-Failure Modes, Effects (and Criticality) Analysis (FMEA/FMECA)	유럽	우주항공
IEC 60812	Analysis techniques for system reliability-Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)	국제	전기전자
P-302-720	Flight assurance procedure-Performing a Failure Mode and Effects Analysis	국가	항공
MIL-STD-1629A	Procedures for performing a Failure Mode,	국가	군수

	Effects and Criticality Analysis		
SAE J1739	Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA),	단체	자동차
	Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA)		
	Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA)		
SEMATECH	Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry	단체	반도체
BS 5760-5	Guide to Failure Mode, Effects and Criticality Analysis(FMEA and FMECA)	국가	상용일반
SAE ARP 5580	Recommended Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) Practices for Non-Automobile Applications	단체	상용일반

- 기존의 FMEA, FMECA 관련 규격은 시스템 수준의 아이템인 항공기, 군수장비, 자동차 및 전기전자 제품 등의 시스템 수준의 아이템을 대상으로 실시되었으며, 이를 위하여 시스템 수준의 아이템을 서브시스템, 어셈블리, 및 부품 또는 단품 수준으로 전개하여 신뢰성블록다이어그램을 작성하여 그림의 내용과 같이 시스템을 구성하고 있는 부품들의 고장모드가 타 부품과 시스템 및 사용자에게 미치는 영향과 고장 원인을 상향식으로 조사하는 정성적 신뢰성예측 기법이다. 따라서 그림의 내용과 같이 기존의 FMEA 또는 FMECA는 부품 수준의 고장모드를 예측하게 되면 차상위 수준의 고장원인을 도출할 수 있고, 차상위 수준의 고장모드는 최상위 수준의 고장원인으로 예측할 수 있게 된다. 그리고 부품 수준의 고장영향은 차상위 수준의 고장모드로 예측되고, 차상위 수준의 고장영향은 최상위 수준의 고장모드로 도출할 수 있다.
- FMEA 또는 FMECA의 추진상 문제점은 부품 수준의 아이템을 개발하는 경우에는 부품 수준의 아이템을 하위수준으로 전개할 수 없으며, 그럼에도 불구하고 하위수준으로 전개를 하게 되는 경우 단품수준의 부품 또는 원자재 수준으로 전개가 가능하다. 그리고 부품 수준의 아이템을 개발하는 경우에는 단품수준의 부품 또는 원자재 수준에서 고장모드를 예측하여야 한다. 그러나 단품수준의 부품 또는 원자재를 개발기술이 미흡한 경우에는 단품수준의 부품 또는 원자재 수준에서 고장모드를 예측하는 것이 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 부품 수준의 아이템을 개발하는 경우에는 단품수준의 부품 또는 원자재 수준에서 고장모드를 예

측 절차와 방법이다.

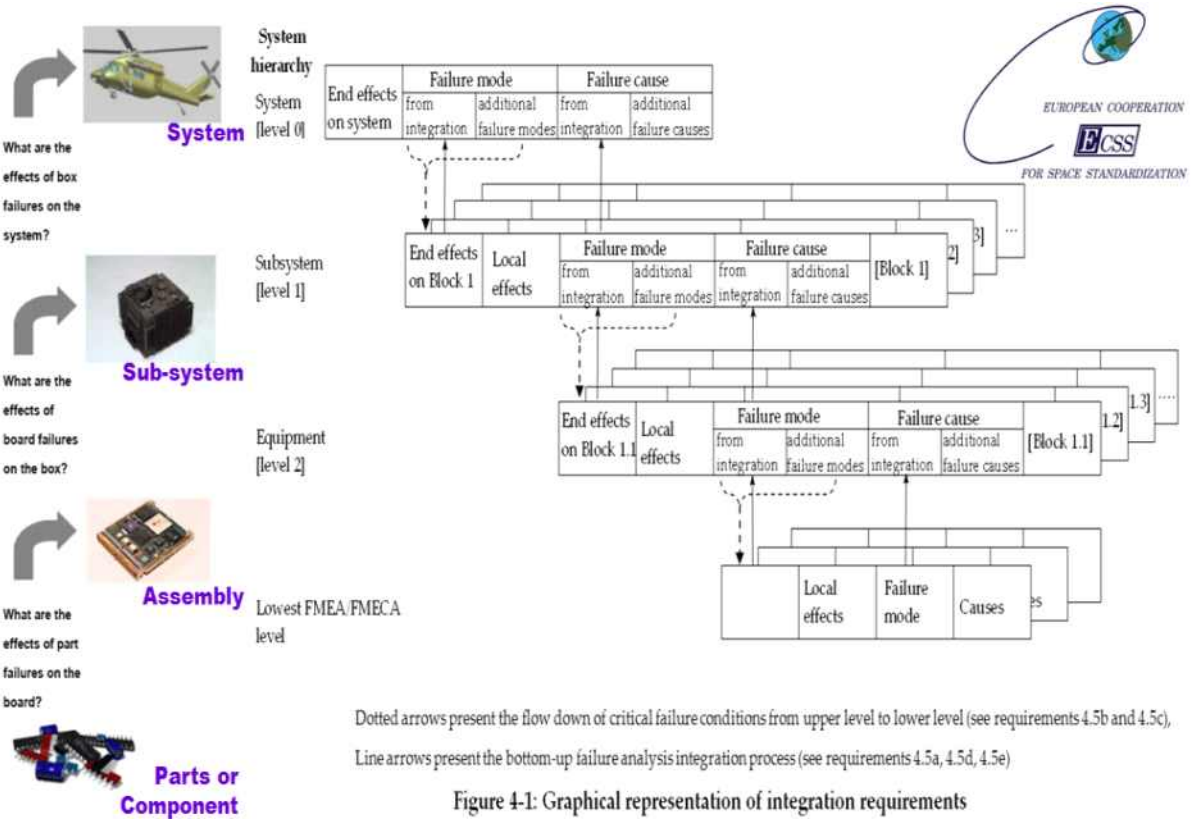
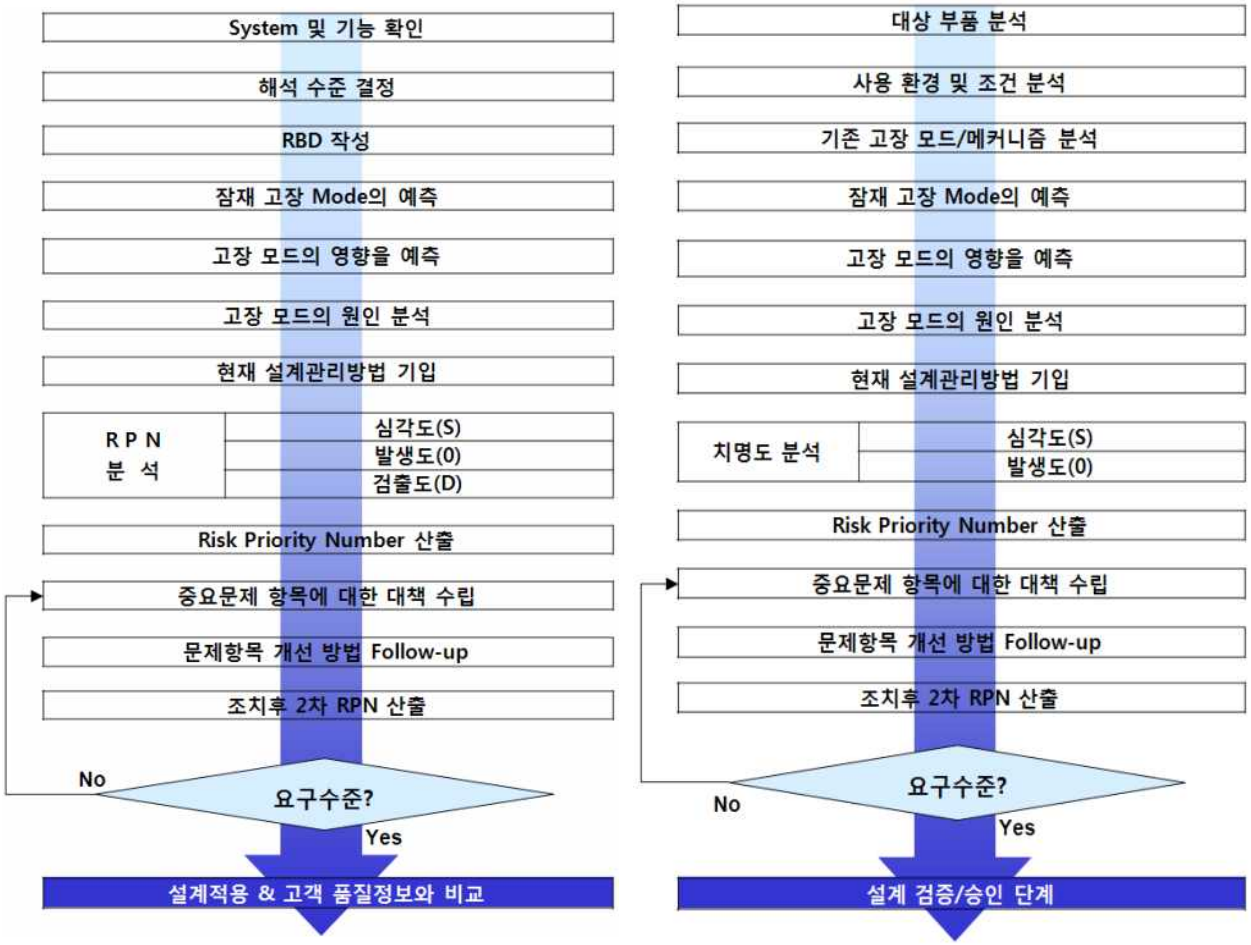


그림 27 규격에 의한 FMEA 전개방법

나. 교통신호제어기 전기전자 부품 FMEA, FMECA 분석 절차

- 기존의 FMEA 또는 FMECA는 최상위 수준의 아이템의 고장모드는 차상위 수준의 아이템의 고장영향으로부터 도출하고, 차상위 수준의 아이템의 고장모드는 최하위 수준의 아이템의 고장영향으로부터 예측되었다. 그리고 최하위 수준의 아이템의 고장영향은 최하위 수준의 아이템의 고장모드를 도출하여 예측되었다. 따라서 최하위 아이템의 고장모드를 예측하는 것이 FMEA 또는 FMECA 실시의 기반이 되지만, 최하위 수준의 아이템인 부품의 고장모드를 예측하는 것은 매우 어려운 일이다. 기존의 규격에 의한 방법에서는 그림의 내용과 같이 최하위 수준의 아이템인 부품의 고장모드를 예측하는 방법은 경험에 의존하는 브레인스토밍에 의한 도출이나 과거 고장이력 정보데이터로부터 고장모드를 도출하는 방법이다.
- 본 연구에서는 부품 수준의 아이템을 개발하는 경우에는 단품수준의 부품 또는 원자재 수준에서 고장모드를 예측할 수 있는 FMECA 실시절차를 그림의 내용 '나'와 같이 실시한다. 부

품 대상의 FMECA 실시절차는 시스템 수준의 아이템과 같이 하위 수준으로 전개할 대상이 없으므로 시스템 및 기능 확인 단계에서부터 RBD 작성단계에 해당하는 실시내용으로는 대상 부품에 대한 분석과 사용 환경 및 조건 분석 그리고 기존의 고장 모드 또는 메커니즘을 분석한다.



가. TS16949(QS9000, SAE J1739) 기반의 시스템 수준의 아이템에 대한 FMECA 실시절차

나. 부품 수준의 아이템에 대한 FMECA 실시절차

그림 28 ECA 실시절차

- 본 연구에서 최하위 수준의 아이템인 부품 또는 원자재의 고장모드를 도출하기 위한 방법으로 교통신호제어기가 운용되는 환경을 조사하고, 이러한 환경에 대한 부품의 치수, 형상 및 구조 등과 같은 설계적인 요인과 원자재요인을 고려하여 고장모드와 고장메커니즘을 도출할 수 있는 절차를 P-다이어그램을 이용하여 실시하도록 그림과 같이 한다.

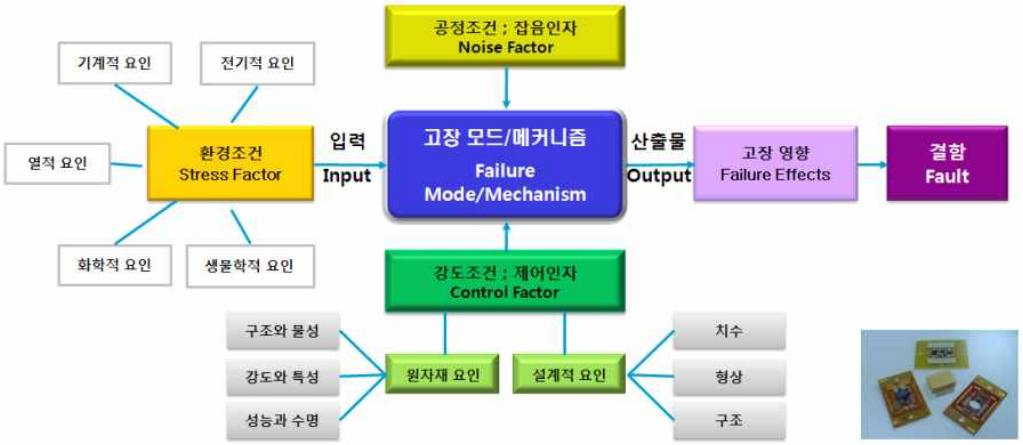


그림 29 부품 또는 원자재 수준에서의 고장모드와 고장메커니즘 예측 절차

- 따라서 본 연구과제에서는 부품 수준의 아이템을 개발하는 경우에는 단품수준의 부품 또는 원자재 수준에서 고장모드를 예측할 수 있는 FMEA, FMECA를 실시하기 위하여 대상 부품에 대한 분석과 사용 환경 및 조건 분석 그리고 기존의 고장 모드 또는 메커니즘을 우선 분석하도록 한다. 이러한 선행 과정을 기반으로 최하위 수준의 아이템인 부품 또는 원자재의 고장모드 도출하기 위한 방법으로 교통신호제어기가 사용되는 환경을 조사하고, 이러한 환경에 대한 부품의 치수, 형상 및 구조 등과 같은 설계적인 요인과 원자재요인을 고려하여 고장모드와 고장메커니즘을 도출할 수 있는 절차를 P-다이어그램을 이용하여 실시하도록 그림과 같이 한다.

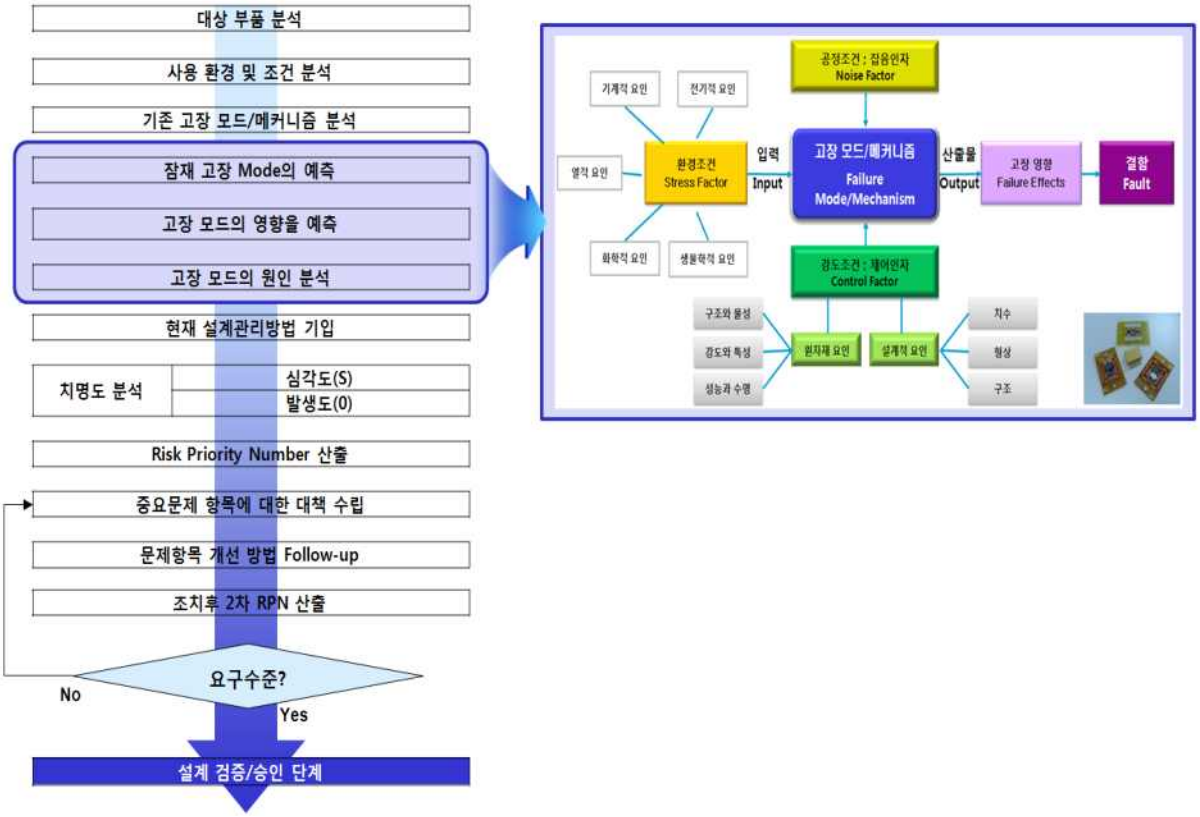


그림 30 부품 또는 원자재 수준에서의 FMECA 실시절차

① 아이템 분석 단계

㉮ 아이템 분석의 목적

아이템의 기능을 정의하여 발생 가능한 고장 및 고장 모드를 정의한다. 또한 아이템의 구조, 재질 및 제조 공법을 조사하여 기능 발휘에 적합한가를 검토하고 정의된 고장/고장모드와의 연관성을 예측하기 위하여 실시한다.

㉯ 실시 방법

다음 Flow-chart 내용은 『아이템 분석』 단계는 그림과 같다.

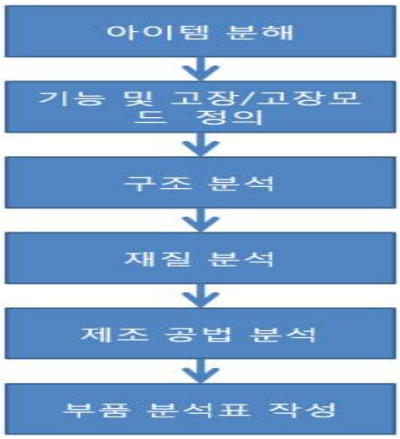


그림 31 아이템 분석 단계 실시 절차

㉰ 실시 내용

- 아이템 분해

분석대상의 아이템을 하나의 시스템으로 보고 분석이 가능한 수준으로 분해한다. 일반적인 시스템의 경우, 시스템-서브시스-어셈블리-단품으로 분해한다. 교통신호제어기 전기/전자 부품 레벨에서의 아이템 분해는 아이템 내부에 들어가는 모든 단일 부품 단위로 분해한다. 예를 들어 CPU를 구성하는데 필요한 부품들, 즉 커패시터, 다이오드, 커넥터 등의 수준으로 분해한다.

- 기능 및 고장/고장모드 정의

아이템 분해 단계에서 분해한 수준마다 요구되는 기능을 기술한다. 이 때 기능이 여러 가지일 경우 기능별로 수준을 평가한다. 기능의 수준은 주기능-부가기능-기타기능으로 나눈다. 정의된 기능에 따른 기능의 저하 또는 상실을 고장/고장모드로 정의하고, 이때 기존 아이템의 고장이력 정보데이터를 검토하여 반영한다.

- 구조 분석

아이템의 설계적 구조를 조사하여 기술하고, 전 단계에서 정의된 고장/고장모드의 발생 여부를 예측한다. 이 때 유사제품을 제조하는 관련업체와 비교 검토를 실시한다.

- 재질 분석

아이템에 적용되는 재질을 조사하여 기술한다. 구조분석 단계와 마찬가지로 재질에 따른 고장/고장모드 발생여부를 예측한다. 이 때 유사제품을 제조하는 관련업체와 비교 검토를 실시한다.

- 제조 공법 분석

아이템의 제조공법을 공학적으로 검토하여 기술한다. 제조공법 역시 제조상 발생 가능한 고장/고장모드를 예측한다. 이 때 유사제품을 제조하는 관련업체와 비교 검토를 실시한다.

② 환경 및 사용 조건 분석 단계

㉮ 환경 및 사용 조건 분석의 목적

교통신호제어기의 경우, 지역에 따라 환경의 차이가 크게 달라지기 때문에 운용 환경을 분석하여 아이템에서 발생 될 수 있는 고장/고장모드를 예측할 수 있다.

㉯ 실시 방법

환경 및 사용조건을 분석하기 위해서는 우선 대상 시스템의 임무를 확인하고, 임무달성에 필요한 환경조건과 사용조건을 조사하여야 한다. 이를 OMS/MP 라고 한다.

㉰ 실시 내용

- 환경 조건 조사

교통신호제어기 지역에 해당하는 환경 조건을 조사한다. 대표적인 요소는 온도, 온도사이클이다. 따라서 운용지역에서 나타나는 온도 변화의 범위와 온도 사이클링 횟수 정도를 파악한다.

- 사용 조건 조사

교통신호제어기에 해당하는 사용 조건을 조사한다. 예를 들어, 교통신호제어기의 경우 수리가 가능하기 때문에 각각의 아이템의 사용 조건이 다를 수 있다.

③ 고장 발생 사례 및 잠재 고장 모드 분석 단계

㉮ 고장 발생 사례 및 잠재 고장 모드 분석의 목적

교통신호제어기 전기·전자 부품의 경우, 일상생활에서 사용되는 일반 전자 부품과 다르게 실

제 사용 환경 속에서 고장이 발생한 아이템을 가지고 직접 고장 분석을 한다거나 고장이 발생한 상황을 정확하게 파악하기가 어렵다. 이는 개발이 되어 사용되는 아이템들이 내구연한 속에서 사용되고 고장 나기 때문이다. 따라서 교통신호제어기 전기·전자 부품은 사례 연구들을 통해 잠재고장 모드 및 메커니즘을 예측해야 할 경우가 발생한다. 따라서 교통신호제어기 전기·전자 부품의 정확한 FMECA 분석을 위해서 관련 사례들이나 실험에 관련한 레포트들을 조사하고 분석 하는 과정이 필요하다.

㈏ 실시 방법

다음 그림 Flow-chart 내용은 『고장 발생 사례 및 잠재 고장 모드 분석』 단계를 나타낸 것으로, 관련 고장 사례 조사-관련 신뢰성 시험 조사-고장발생 원인별 분류-잠재적 고장 모드 예측 순으로 정리한다.

㈐ 실시 내용

- 관련 고장 사례 조사

이미 수행된 교통신호제어기 전기/전자 부품의 고장에 대해 연구한 사례를 수집하여 정리한다. 즉 경찰청, 국내 논문, 해외 논문 등에서 수행한 부품/소자들의 고장 레포트를 수집한다. 수집된 정보는 잠재고장 모드 예측과 치명도 분석을 위한 정보로 활용된다.

- 관련 신뢰성 시험 조사

이미 수행된 교통신호제어기 전기/전자 부품의 신뢰성 시험에 관련한 정보를 수집하여 정리한다. 교통신호제어기 전기/전자 부품의 경우 실제 운용중 고장 난 부품을 직접 분석 할 수 있는 경우가 희박하기 때문에 다양한 신뢰성 수명, 환경시험을 통해 고장분석을 실시하는 경우가 대부분이다. 따라서 신뢰성 시험을 직접 다 수행 할 수 없는 경우, 신뢰성 시험 보고서를 수집하여 잠재고장 모드 예측과 치명도 분석을 위한 정보에 활용한다.

- 고장 발생 원인별 분류

다음 그림 Flow-chart 내용은 수집된 정보를 분석하기 위해서 각각의 사례를 고장 발생 원인별로 분류하는 사례이다. 예를 들어 사용 환경에 대한 잘못된 판단, 부품 기술적 이해 부족, 원자재 및 설계적 요인에 의한 기능 정지 또는 성능이 의도하지 않은 형태로 열화 등의 카테고리 고장 사례를 분류하여 아이템에 치명적으로 잠재고장모드 예측 및 원인 분석에 활용한다.

- 잠재적 고장 모드 예측

아이템 분석결과, 환경/사용조건 분석결과, 고장 이력 및 신뢰성 시험 결과를 바탕으로 아이템에서 발생 가능성이 있는 잠재적인 고장 도출한다. 특히 특정 환경 조건과 사용조건을 고려하고 브레인스토밍 기법을 적용하여 아이디어를 도출한다. 특히 최하위 수준의 아이템인 부품 또는 원자재의 고장모드를 도출하기 위한 방법으로 대상 아이템이 사용되는 운용환경을 조사하고, 이러한 환경에 대한 부품의 치수, 형상 및 구조 등과 같은 설계적인 요인과 원자재요인을 고려하여 고장모드와 고장메커니즘을 도출할 수 있는 절차를 P-다이어그램을 이용하여 실시하도록 한다.

④ 고장 모드 및 고장 메커니즘 정리 단계

㉮ 고장 모드 및 고장 메커니즘 정리의 목적

아이템의 예측된 잠재 고장모드와 고장모드의 원인 및 발생과정을 특정 환경조건과 사용조건을 고려하여 기술적 또는 이론적으로 기술하여 다음 절차인 FMEA 시트를 작성하기 위함이다. 환경/사용조건 분석, 사례분석, 잠재고장모드 예측 분석을 활용하여 수집된 아이템의 고장 모드 및 메커니즘을 정리한다.

㉯ 실시 방법

고장 모드 및 고장 메커니즘 정리는 아이템-기능-잠재고장모드-고장위치-고장메커니즘 순으로 정리한다.

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

SYSTEM _____ DATE _____
INDENTURE LEVEL _____ SHEET _____ _____
REFERENCE DRAWING _____ COMPILED BY _____
MISSION _____ APPROVED BY _____

IDENTIFICATION NUMBER	ITEM/FUNCTIONAL IDENTIFICATION (NOMENCLATURE)	FUNCTION	FAILURE MODES AND CAUSES	MISSION PHASE/ OPERATIONAL MODE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION METHOD	COMPENSATING PROVISIONS	SEVERITY CLASS	REMARKS
					LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER LEVEL	END EFFECTS				

그림 32 FMEA 작성 양식, MIL-STD-1629A, DOD, 미국.

㉰ 실시 내용

- 아이템 선정

분석 대상이 되는 아이템을 선정한다.

- 기능 정의

설계 요구사항을 만족시키기 위한 부품의 기능을 간결하게 기록한다. 다른 잠재적 고장모드를 갖는 여러 기능이 있으면 각 기능을 각각 따로 기입한다.

- 잠재 고장모드

발생 가능성이 있는 잠재적인 고장의 형태를 예측하여 기술한다. 이때 과거 고장이력, 사례 또는 검토 보고서 검토하여 예측하고 특정 환경조건과 사용조건을 고려해야 한다. 예측 시에는 주로 브레인스토밍 기법을 적용하여 아이디어를 도출한다.

- 고장 위치

아이템의 잠재 고장모드를 도출하면 고장모드가 발생 가능한 위치를 그림으로 표현한다.

- 고장메커니즘

예측된 잠재 고장모드의 원인 및 발생과정을 특정 환경조건과 사용조건을 고려하여 기술적 또는 이론적으로 기술한다.

⑤ FMECA 시트 작성 단계

기존의 FMEA 또는 FMECA 관련 규격에 의하면 FMEA 작성 양식과 FMECA 작성 양식은 구별되어 사용되어져 왔으며, 그림의 내용은 미국 국방성 규격인 MIL-STD-1629A에서 제시되고 있는 FMEA 작성 양식과 FMECA 작성 양식이다.

CRITICALITY ANALYSIS

SYSTEM _____ DATE _____
INDENTURE LEVEL _____ SHEET ____ OF _____
REFERENCE DRAWING _____ COMPILED BY _____
MISSION _____ APPROVED BY _____

IDENTIFICATION NUMBER	ITEM/FUNCTIONAL IDENTIFICATION (NOMENCLATURE)	FUNCTION	FAILURE MODES AND CAUSES	MISSION PHASE/ OPERATIONAL MODE	SEVERITY CLASS.	FAILURE PROBABILITY / FAILURE RATE DATA SOURCE	FAILURE EFFECT PROBABILITY (β)	FAILURE MODE RATIO (α)	FAILURE RATE (λ_p)	OPERATING TIME (t)	FAILURE MODE CRIT # $C_m=\beta\alpha\lambda_p t$	ITEM CRIT # $C_r=\Sigma(C_m)$	REMARKS

그림 33 치명도 평가 작성 양식, MIL-STD-1629A, DOD, 미국.

FAILURE MODE EFFECTS AND CRITICALITY ANALYSIS
MAINTAINABILITY INFORMATION

SYSTEM _____ DATE _____
INDENTURE LEVEL _____ SHEET _____ OF _____
REFERENCE DRAWING _____ COMPILED BY _____
MISSION _____ APPROVED BY _____

IDENTIFICATION NUMBER	ITEM/FUNCTIONAL IDENTIFICATION (NOMENCLATURE)	FUNCTION	FAILURE MODES AND CAUSES	FAILURE EFFECTS			SEVERITY CLASS.	FAILURE PREDICTABILITY	FAILURE DETECTION MEANS	BASIC MAINTENANCE ACTIONS	REMARKS
				LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER LEVEL	END EFFECTS					

그림 34 DMEA 작성 양식, MIL-STD-1629A, DOD, 미국.

아래 그림의 경우에는 미국 NASA 규격인 P-302-720에서 제시되고 있는 FMEA 작성 양식과 FMECA 작성 양식이다.

Figure 2. FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

Mission DTF - 1
System FTS
Subsystem/Instrument 3.13
Component Wrist Actuator
Mission Phase Orbit

Date 8-10-96
Prepared by Ron Smith
Approved by RHB

Failure Mode Number	Identification of Item or Function	a. Failure Mode b. Failure cause	Failure Effects a. Local or Subsystem b Next Higher Level - System c. End Effect - Mission	Severity Category	Remarks a. Failure Detection Method b. Compensating Features/Action c. Other
3.13.6	Wrist actuator, roll provides motion in roll (x) axis	a. Loss of motor control b. Part failure in motor drive circuit	a. Loss of wrist roll motion and torque b. Cannot continue FTS task and mission c. None at Orbiter mission	2R	a. Position sensor & torque sensor displayed at DAC b. Backup hardware to put arm in safe position. Good arm can put arm in safe position.

그림 35 FMEA 작성 양식, P-302-720, NASA, 미국.

⑥ 고장 모드의 치명도 분석 단계

㉮ 기존의 FMEA 또는 FMECA 관련 치명도 분석방법

기존의 규격에 의하며 FMEA 또는 FMECA 관련 정량적인 평가는 고장영향의 중요도, 고장모드의 발생빈도, 고장의 검출도와 같은 평가인자를 선정하고, 이러한 평가인자들로부터 치명도를 평가할 수 있는 산출식을 개발하여 제시하였다. 대표적인 방법론은 다음과 같다.

표 43 P-302-720 규격에 의한 치명도 평가방법, NASA, 미국

Category		Details
Catastrophic	1	Failure modes that could result in serious injury or loss of life, or damage to the launch vehicle.
	1R	Failure modes of identical or equivalent redundant hardware items that, if all failed, could result in Category 1 effects.
Critical	2	Failure modes that could result in loss of one or more mission objectives as defined by the GSFC project office.
	2R	Failure modes of identical or equivalent redundant hardware items that could result in Category 2 effects if all failed.
Significant	3	Failure modes that could cause degradation to mission objectives.
Minor	4	Failure modes that could result in insignificant or no loss to mission objectives.

치명도 평가방법을 규격별로 알아보면, 우선 미국 NASA의 규격 P-302-720에서는 <표 43>의 내용과 같이 평가인자로 고장의 중요도를 Catastrophic, Critical, Significant, Minor의 4수준의 등급으로 분류하였다. 특히 최상위 수준인 Catastrophic과 바로 하위 수준인 Critical은 리던던시 여부에 따라 각가 2수준으로 나누어 평가하여 총 6수준의 등급으로 나누어 중요도를 평가 하였다. 표는 P-302-720 규격에 의한 치명도 평가방법에 의한 FMECA 적용한 사례이다.

Mission DTF - 1
System FTS
Subsystem/Instrument 3.13
Component Wrist Actuator
Mission Phase Orbit

Date 8-10-96
Prepared by Ron Smith
Approved by RHB

Failure Mode Number	Identification of Item or Function	a. Failure Mode b. Failure cause	Failure Effects a. Local or Subsystem b Next Higher Level - System c. End Effect - Mission	Severity Category	Remarks a. Failure Detection Method b. Compensating Features/Action c. Other
3.13.6	Wrist actuator, roll provides motion in roll (x) axis	a. Loss of motor control b. Part failure in motor drive circuit	a. Loss of wrist roll motion and torque b. Cannot continue FTS task and mission c. None at Orbiter mission	2R	a. Position sensor & torque sensor displayed at DAC b. Backup hardware to put arm in safe position. Good arm can put arm in safe position.

그림 36 P-302-720 규격에 의한 치명도 평가에 의한 FMEA 실시사례, NASA미국

- ECSS-Q-ST-30-20C 규격에 의한 치명도 평가방법, 유럽.

유럽의 우주항공산업 단체규격인 ECSS-Q-ST-30-20C에서는 치명도(CN)를 평가하기 위하여 고장의 중요도(SN)와 발생확률(PN)로 평가인자로 구분하고, 각 인자의 평가기준을 표와 같이 설정하여 각각 인자의 곱으로 치명도를 평가한다.

표 44 치명도 평가 기준

고장의 중요도(SN), ECSS-Q-ST-30-20C, 유럽

Severity level	Severity category	SN
1	Catastrophic	4
2	Critical	3
3	Major	2
4	Negligible	1

고장의 발생확률(PN), ECSS-Q-ST-30-20C, 유럽

Level	Limits	PN
Probable	P > 1E-1	4
Occasional	1E-3 < P ≤ 1E-1	3
Remote	1E-5 < P ≤ 1E-3	2
Extremely remote	P ≤ 1E-5	1

$$CN = SN \times PN$$

ECSS-Q-ST-30-20C 규격에서 치명도는 고장의 중요도와 발생확률을 곱하여 표와 같이 최소 1점에서 최대 16점까지 산출할 수 있으며, 이 때 중점 관리 대상이 되는 아이템의 치명도 점수는 6점이지만 중요도가 4이상인 경우에는 예외적으로 중점 관리한다.

표 45 ECSS-Q-ST-30-20C 규격에서 치명도 점수

Severity category	SNs	Probability level			
		10^{-5}	10^{-3}	10^{-1}	1
		PNs			
		1	2	3	4
Catastrophic	4	4	8	12	16
Critical	3	3	6	9	12
Major	2	2	4	6	8
Negligible	1	1	2	3	4

- MIL-STD-1629A 규격에 의한 치명도 평가방법, DOD, 미국.

미국 국방성 규격인 MIL-STD-1629A에서는 FMEA에 대한 정량적 평가방법은 고장평점법(CS)과 치명도평점법(CE) 두가지로 구분되며, 각각 평가인자는 5개의 유형으로 다음 표의 내용과 같다.

표 46 고장평점법(C_S)의 평가 인자

C_1의 평가점		C_2의 평가점		C_3의 평가점	
기능적 고장영향의 중요도 (고장영향의 크기)	평가점	영향을 미치는 범위	평가점	고장발생의 빈도 (시간 또는 회수)	평가점
임무달성불능	10	실외 및 공장외에서의 사망사고	10	10^{-2} 이상	10
임무달성불능, 대체방법에 의해 일부만 임무달성가능	9	실외 및 공장내에서의 사망사고, 가옥 및 공장외의 피해	9	$10^{-2} \sim 3\times10^{-3}$	9
임무의 중요한 부분달성불능	8	실외 및 공장내에서의 사망사고, 가옥 및 공장내의 피해	8	$3\times10^{-3} \sim 10^{-3}$	8
임무의 중요한 부분달성불능, 보조수단을 쓰면 달성가능	7	중상, 가옥 및 공장내에 피해	7	$10^{-3} \sim 3\times10^{-4}$	7
임무의 일부달성불능	6	중경, 가옥 및 공장내에 피해	6	$3\times10^{-4} \sim 10^{-4}$	6
임무의 일부달성불능, 보조수단을 쓰면 달성가능	5	인체(人災)없음, 가옥 및 공장내에 피해	5	$10^{-4} \sim 3\times10^{-5}$	5
임무의 경미한 부분달성불능	4	인접한 설비 및 장치에 피해	4	$3\times10^{-5} \sim 10^{-5}$	4
임무의 경미한 부분달성불능, 보조수단을 쓰면 달성가능	3	접속된 장치의 일부에 피해	3	$10^{-5} \sim 10^{-6}$	3
외관기능을 저하시키는 경미한 고장	2	외벽의 긴등, 고은, 외관변색	2	$10^{-6} \sim 10^{-7}$	2
임무에 전혀 영향이 없음	1	전혀 피해없음	1	10^{-7} 이하	1

C1: 기능적 고장의 영향의 중요도
C2: 영향을 미치는 범위
C3: 고장 발생 빈도
C4: 고장 방지의 가능성
C5: 신규 설계의 정도

이 때 각각 5개 유형의 평가인자로부터 고장평점법(CS)과 치명도평점법(CE)을 산출하는 방

법과 산출점수에 따른 고장등급의 결정기준은 각 표의 내용과 같다.

표 47 고장평점법(C_S) 산출방법 및 고장등급

C_S	고장등급
7점이상~10점	Ⅰ
4점이상~7점미만	Ⅱ
2점이상~4점미만	Ⅲ
2점미만	Ⅳ

$$C_S = \sqrt[5]{C_1 C_2 C_3 C_4 C_5}$$

표 48 치명도평점법(C_E) 산출방법 및 고장등급

고장등급	치명도평점 C_E
Ⅰ	3이상
Ⅱ	1.0초과~3미만
Ⅲ	1.0
Ⅳ	1.0미만

$$C_E = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5$$

MIL-STD-1629A에서 산출된 고장평점법(CS)과 치명도평점법(CE)에 의한 고장 등급은 4수준이고, 이 수준에 따라서 설계변경 및 재검토를 표와 같이 실시한다. 이 때 고장등급인 1수준인 치명고장인 경우 설계변경을 실시하며, 고장등급이 2수준인 중대고장인 경우에는 설계 재검토를 실시할 수 있다.

표 49 고장평점법(CS)과 치명도평점법(CE)에 의한 고장 등급과 대책

고장등급	고장구분	판단기준	대책내용
Ⅰ	치명고장	임무수행불능, 인명손실	설계변경이 필요
Ⅱ	중대고장	임무의 중대부분 달성불가	설계의 재검토가 필요
Ⅲ	경미고장	임무의 일부달성불가	설계변경은 불필요
Ⅳ	미소고장	영향이 전혀 없음	설계변경은 전혀 불필요

MIL-STD-1629A에서 치명도 해석법은 FMEA를 실시한 결과 고장등급이 높은 고장모드가 시스템이나 기기의 고장에 어느 정도로 기여하는가를 정량적으로 계산하고, 고장모드가 시스템이나 기기에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 방법이다. 이때 고장모드별의 치명도지수의 산출식은 다음과 같다.

$$C_r = \sum_{i=1}^{n} (\alpha \cdot \beta \cdot \kappa_A \cdot \kappa_E \cdot \lambda_G \cdot t)_i$$

Cr :치명도지수

i :구성품의 치명적 고장모드의 번호(i = 1,2,××× ××,n)

kA :운용시의 고장률 보정계수

kE :운용시의 환경조건의 수정계수

λG :기준고장률(시간 또는 사이클당)

t :임무당 동작시간(또는 회수), 운용시간(또는 회수)

α : λG중에 당해 고장이 차지하는 비율(고장모드 차지비율)

β :당해 고장이 발생하는 경우에 치명적영향이 발생할 확률(영향확률)

( )내:기여율을 나타냄

- 치명도 평가방법; TS16949 규격에 의한, 자동차산업분야, 미국.

TS16949에서 치명도 평가법은 RPN(Risk Prioty Number, 위험우선순위)을 산출하는 것이고, RPN은 고장영향의 중요도(S)와 고장의 발생도(O) 그리고 고장의 검출도(D)를 평가인자로 하여 평가인자들의 곱으로 산출된다.

$$RPN = S \times O \times D$$

이 때 고장영향의 중요도(S)와 고장의 발생도(O) 그리고 고장의 검출도(D)의 평가기준은 다음 표의 내용과 같이 각각 1점에서 10점까지이며, RPN은 최소 1점에서 최대 1000점까지 산출된다.

표 50고장영향의 중요도(S)와 고장의 발생도(O) 그리고 고장의 검출도(D)

영향 유형	영향의 평가기준	중요도
경고없는 위험	잠재적 고장형태가 경고없이 자동차 운행에 영향을 미치거나 정부법규에 대해 불일치 사항이 포함될 때의 매우 높은 심각도.	10
경고있는 위험	잠재적 고장형태가 경고를 하면서 자동차 안전운행에 영향을 미치거나 정부법규에 대해 불일치 사항이 포함될 때의 매우 높은 심각도.	9
매우높음	자동차/부품의 작동 불능(주요 기능의 상실)	8
높 음	자동차/부품이 작동하지만, 성능이 떨어짐, 고객이 매우 불만족.	7
보 통	자동차/부품이 작동하지만, 몇가지 편의부품의 작동불능 고객 불만족.	6
낮 음	자동차/부품이 작동하지만 , 몇가지 편의부품의 성능이 떨어짐. 고객이 다소 불만족.	5
매우낮음	Fit & Finish/Squeak & Rattle 항목이 부적합함. 대부분의 고객에 의해 인지되는 결함(75% 이상).	4
경 미	Fit & Finish/Squeak & Rattle 항목이 부적합함. 고객의 50%에 의해 인지되는 결함.	3
매우경미	Fit & Finish/Squeak & Rattle 항목이 부적합함. 예민한 고객에 의해 인지되는 결함(25% 미만).	2
없 음	인지할 수 있는 영향 없음.	1

발생유형	가능 고장률	발생도
매우 높음(Very high) 고장이 거의 필연적	1/2 이상	10
	1/3	9
높음(High) 반복적인 고장	1/8	8
	1/20	7
보통(Moderate) 고장이 가끔 발생	1/80	6
	1/400	5
낮음(Very Low) 비교적 낮은 고장	1/2,000	4
	1/15,000	3
희박함(Remote) 고장이 거의 발생하지 않음	1/150,000	2
	1/1,500,000	1

검출 유형	평가 기준	검출도
거의 불가능	고장모드를 발견할 수 있는 방법이 알려져 있지 않음	10
매우 희박	현 관리방법으로 고장모드 발견 가능성 매우 희박	9
희박	현 관리방법으로 고장모드 발견 가능성 희박	8
매우 낮음	현 관리방법으로 고장모드 발견 가능성이 매우 낮음	7
낮음	현 관리방법으로 고장모드 발견 가능성이 낮음	6
보통	현 관리방법으로 고장모드 발견 가능성이 보통	5
비교적 높음	현 관리방법으로 고장모드 발견 가능성이 비교적 높음	4
높음	현 관리방법으로 고장모드 발견 가능성이 높음	3
매우 높음	현 관리방법으로 고장모드 발견 가능성이 매우 높음	2
거의 확실	현 관리방법으로 고장모드를 거의 확실하게 발견	1

㉯ 제안된 치명도 평가방법

기존의 치명도 평가방법은 치명도를 산출하기 위한 평가인자를 선정하고 그 평가기준을 제시하였다. 그리고 산출된 치명도 점수에 따라 고장의 등급을 결정하여 설계 변경 및 검토 여부를 판정하였다. 따라서 본 연구에서도 기존의 방법에 따라 다음과 같이 평가 절차를 수립하고 실시방법을 다음의 그림의 내용과 같다.



그림 37 제안된 치명도
평가절차

- 치명도 평가인자 및 평가기준

본 과제에서 치명도 평가법를 위한 지수는 일반 상용아이템에 대하여 현재 가장 널리 사용되고 있는 RPN으로 선정하며, 이를 산출하기 위한 평가인자로 고장영향의 중요도(S)와 고장모드의 발생도(O)로 선정하고, 중요도와 발생도는 각각 7점을 기준으로 한다. 그리고 중요도와 발생도를 곱한 값으로 RPN을 산출한다. 산출된 RPN은 4수준의 치명도 등급으로 분류하고 설계에 반영하도록 한다.

RPN을 평가하기 위한 인자는 다음 표의 내용과 같이 기존의 규격에서 제시하고 있는 치명도 평가인자들을 비교하고 평가하였고, 그 결과 고장영향의 중요도와 고장모드의 발생도 그리고 검출도가 주요인자로 선정되었다. 그러나 검출도의 경우 교통신호제어기 부품인 경우 사용중에 고장이 검출되어도 수리가 어려움으로 주요 인자에서 삭제하기로 한다.

표 51 기존 규격에서 제안한 치명도 평가인자

Standard	고장영향의 중요도 (S)	발생빈도 (O)	고장검출도 (D)	고장영향의 범위	고장방지 가능성	신규설계 정도	비고
P-302-720	•						
MIL-STD-1629 A	•	•		•	•	•	고장평점법 치명도평점법
ECSS-Q-ST-30 -20C	•	•					FMEA
	•	•	•				FMECA
SAE ARP 5580	•	•	•				
SAE J1739	•	•	•				
SEMATECH	•	•	•				

제안된 고장영향의 중요도는 7점 기준으로 평가하고, 우주용 부품의 고장이 시스템 수준의 우주선에 미치는 영향이나 또는 영향을 파악하기 어려운 경우에는 고장의 점유율에 따라 표의 내용과 같이 선정한다.

표 52 고장영향의 중요도에 대한 평가 기준

영향 유형	영향의 평가기준	중요도
매우 높음	교통신호제어기의 작동불능(주요기능의상실)	7
	교통신호제어기의 작동불능(주요기능의상실) 중복설계함	6
높음	교통신호제어기이 작동하지만, 교통신호제어기의 성능이 떨어짐.	5
	교통신호제어기이 작동하지만, 교통신호제어기의 성능이 떨어짐. 중복설계함	4
보통	교통신호제어기이 작동하지만, 부품의 기능정지	3
낮음	교통신호제어기이 작동하지만, 부품의 성능이 떨어짐	2
경미	인지할 수 있는 영향 없음.	1

제안된 고장모드의 발생도는 7점 기준으로 평가하고, 우주용 부품의 고장이 시스템 수준의 교통신호제어기에 미치는 영향이나 또는 영향을 파악하기 어려운 경우에는 고장모드의 점유율에 따라 표의 내용과 같이 선정한다.

표 53 고장영향의 중요도에 대한 평가 기준

영향 유형	고장모드의 점유율	발생도
매우 높음	고장모드의 점유율 40% 초과	7
	고장모드의 점유율 40% 이하 고장모드의 점유율 30% 초과	6
높음	고장모드의 점유율 30% 이하 고장모드의 점유율 20% 초과	5
	고장모드의 점유율 20% 이하 고장모드의 점유율 10% 초과	4
보통	고장모드의 점유율 10% 이하 고장모드의 점유율 5% 초과	3
낮음	고장모드의 점유율 5% 이하 고장모드의 점유율 2% 초과	2
경미	고장모드의 점유율 2% 이하	1

- 치명도 산출

본 과제에서 치명도는 RPN이고, RPN 산출식은 고장영향의 중요도(S)와 고장모드의 발생도

(O)를 곱한 값으로 산출한다.

$$RPN = S \times O$$

이 때 고장영향의 중요도와 고장모드의 발생도는 각각 7점으로 치명도 점수 RPN은 최소 1점에서 최대 49점 까지 산출된다.

- 치명도 등급 결정

치명도 등급은 치명고장, 중대고장, 중요고장 및 경미고장의 4수준의 고장으로 구분하고, 이에 따른 고장판단기준은 다음 표의 내용과 같다.

표 54 치명도 등급

치명도 등급	고장구분	판단기준
1	치명고장	교통신호제어기의 기능이 정지됨
2	중대고장	교통신호제어기의 기능이 일부만 불가능, 리던던시 설계에 의한 일부 기능의 작동 가능
3	중요고장	교통신호제어기의 기능은 정지되지 않았지만, 교통신호제어기의 성능이 떨어짐
4	경미고장	교통신호제어기 기능에 영향 없음

위의 4수준의 치명도 등급은 산출된 RPN의 점수에 따라서 결정한다. 본 연구에서 치명도 점수인 RPN은 최소 1점에서 최대 49점 까지 산출되어지고, 이러한 치명도 점수를 이용한 치명도 등급결정은 표의 내용과 같이 결정한다.

■ 1등급 : RPN이 20점 이상이거나, RPN이 20점 이상이 아니더라도 중요도 또는 발생도가 7점 이상인 경우

■ 2등급 : RPN이 15점 이상이거나, RPN이 15점 이상이 아니더라도 중요도 또는 발생도가 6점 이상인 경우

■ 3등급 : RPN이 5점 이상인 경우

4등급 : RPN이 5점 미만인 경우

표 55 치명도 등급 결정 기준

발생도 / 중요도	1	2	3	4	5	6	7
7	7	14	21	28	35	42	49
6	6	12	18	24	30	36	42
5	5	10	15	20	25	30	35
4	4	8	12	16	20	24	28
3	3	6	9	12	15	18	21
2	2	4	6	8	10	12	14
1	1	2	3	4	5	6	7

- 설계 개선방향 수립

RPN의 점수에 따라서 치명도 등급이 결정되면 현재 설계안은 치명도 등급에 따라 개선을 실시하여야 하고, 이 때 실시되어야하는 설계개선 방향은 표의 내용으로 도출한다.

1등급인 경우는 교통신호제어기의 기능이 정지되는 경우이므로 설계를 변경하거나 리던던시 설계를 실시하여야 한다.

2등급인 경우는 교통신호제어기의 기능이 일부만 불가능하거나 리던던시 설계에 의한 일부 기능의 작동 가능하므로, 기능의 완전한 수행을 위한 설계변경을 실시하여야 한다.

3등급인 경우에는 교통신호제어기의 기능은 정지되지 않았지만 우주선의 성능이 떨어지기 때문에 성능개선을 위한 설계의 재검토를 수행하여야 한다.

4등급인 경우에는 경미한 고장으로 교통신호제어기 기능에 영향 없기 때문에 별도의 설계 변경은 수행하지 않는다.

표 56 치명도 등급에 따른 설계 개선 방향

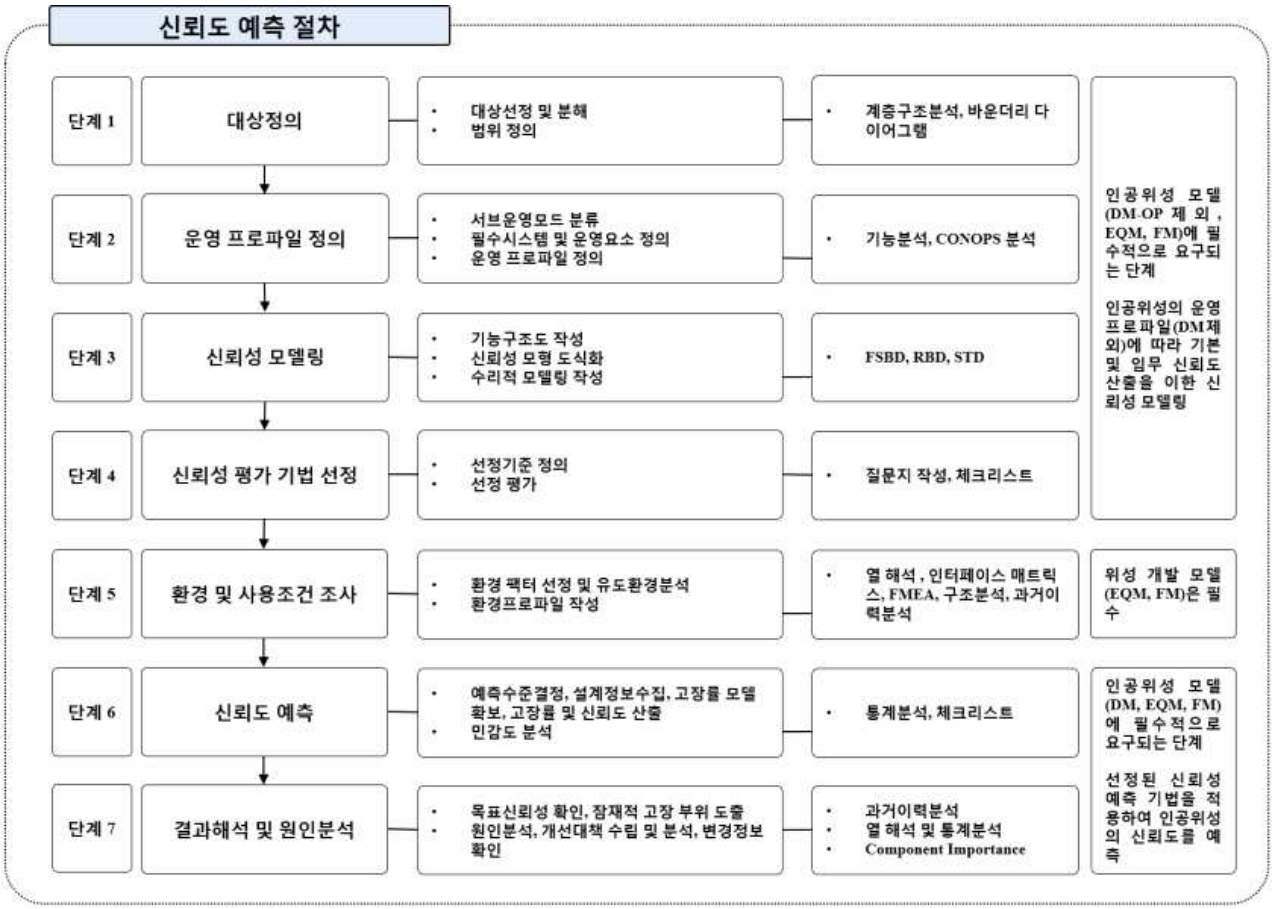
치명도 등급	고장구분	판단기준	개선대책
1	치명고장	교통신호제어기의 기능이 정지됨	설계 변경 또는 리던던시설계 필수적임
2	중대고장	교통신호제어기의 기능이 일부만 불가능, 리던던시 설계에 의한 일부 기능의 작동 가능	설계 변경
3	중요고장	교통신호제어기의 기능은 정지되지 않았지만, 교통신호제어기의 성능이 떨어짐	설계 재검토
4	경미고장	교통신호제어기 기능에 영향 없음	설계 변경 필요없음

(3) 다른 유사 분야의 RAMS 적용 절차 조사

(가) 우주

인공위성의 신뢰성 예측 절차는 총 일곱 단계로 구성되며, 개발 진행 상황과 위성모델에 따라 선택적으로 적용해야 한다. 단계1~4는 대상선정에서부터 운영 프로파일, 신뢰성 모델링, 신뢰도 평가기법 선정으로 구성되며, DM, EQM, FM은 모두 필수적으로 적용된다. 단, DM에서의 운영 프로파일은 선택적으로 적용 가능하다. 특히, 신뢰성 모델링은 기본 및 임무 신뢰도에 부합되는 기능들 간의 연관관계를 신뢰도 함수를 표 내용을 이용하여 모델링한다.

표 57 신뢰성 예측 절차



단계5는 인공위성의 환경 및 사용조건을 조사하는 것이며, EQM과 FM에 필수적으로 요구된다. 특히, 사용조건은 주요한 환경 인자와 유도환경의 영향을 고려하여 프로파일 형태로 작성해야 한다. 단, DM은 환경 조건에 관련된 해석정보를 수집할 수 없는 경우가 대부분이기 때문에, 필수가 아닌 개발 진행 상황에 따라 선택적으로 수행해야 한다.

단계6~7은 신뢰성 예측, 결과 및 원인분석으로 구성되며, 세 가지 위성 모델에 모두 적용된다. 신뢰성 예측 단계는 선정대상에 대한 고장률 모델, 부품설계정보 등을 확보하고, 환경 프로파일 정보를 활용하여 정량적인 고장률과 신뢰도 지표를 산출하는 것이 중요하다. 결과 및 원인분석 단계는 신뢰성 예측 결과를 활용하여 선정된 대상에서 발생할 수 있는 잠재적인 고장과 이에 대한 원인을 분석해야 한다. 신뢰성 예측에 대한 절차와 분석기법은 그림의 내용과 같다.

(나) 국방

현재 군에서는 MIL-HDBK-217F 규격을 제시하여 신뢰도를 예측하고 있지만 고려하는 부품의 수와 종류가 적고, 고려하는 운용환경이 온도 밖에 없는 점 등의 이유로 정확성이 낮다. 따라서 '고장률 데이터 혼합 방법'을 이용하여 무기체계의 신뢰도를 예측하여 정확성을 높인다. 해당 절차는 아래 그림의 내용과 같다.

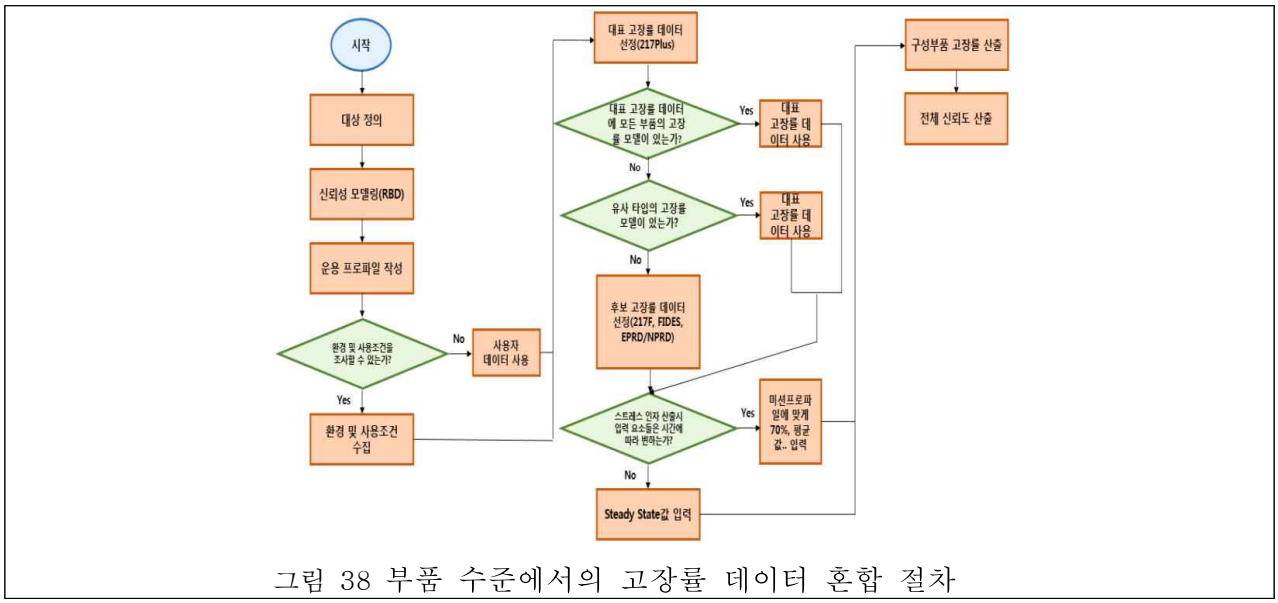


그림 38 부품 수준에서의 고장률 데이터 혼합 절차

① 대상정의

본 단계에서는 대상 무기체계의 BOM을 수집하여 구성부품을 확인한다. 구성부품의 부품번호를 데이터시트 검색엔진에 입력하여 세부 부품형식을 확인하거나 제조사에서 주어진 데이터시트를 활용할 수 있다. 세부 부품형식은 기본 고장률, 정격전류, 전기용량 등의 데이터 확인에 필요하며 이 데이터들은 고장률 예측 시 파라미터로써 입력된다.

② 신뢰성 모델링(RBD)

본 단계에서는 중요시스템 기능을 수행하는데 필요한 구성품들을 논리적으로 연결하고 체계를 개념적으로 도식화하였다. 또한 신뢰성 모델링 내 각 요소는 무기체계의 어떤 기능 수행에 필요한 일련의 세부 기능들을 논리적으로 설명할 수 있는 순서로 배열한다. 그러므로 모든 요소는 무기체계를 구성하고 있는 각 품목의 기능을 표현한다. 그림은 00궤도장비에 탑재된 동체 조립체의 신뢰성 모델링의 하나이다.

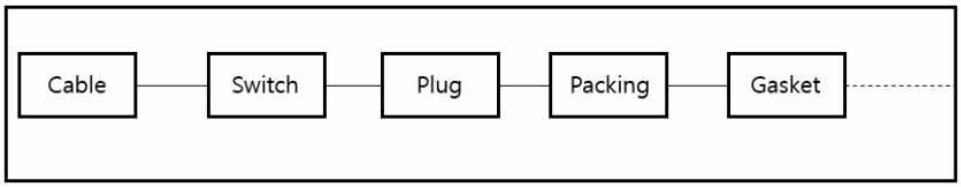


그림 39 00궤도장비에 탑재된 동체조립체의 신뢰성 모델링 일부

④ 환경 및 사용조건 조사

본 단계는 무기체계의 운용 프로파일에 입력되는 환경 및 사용조건을 조사하는 단계이며 정확한 고장률 예측을 위해 무기체계의 각 임무 당 조건변화에 대한 실시간 조사가 필요하다. 이때 환경 및 사용조건은 온도, 습도, 온도변화, 습도, 진동등이 고려된다. 신뢰성 예측은 사용조건을 어떻게 정의하느냐에 따라 정확도가 결정되기 때문에 가장 중요한 단계로 인식된다. 이때 만약 환경 및 사용조건을 조사할 수 없다면 무기체계를 운용하는 사용자의 주관적인 데이터를 사용할 수밖에 없다.

⑤ 대표 고장률 데이터 선정(RiAC-HDBK-217Plus)

본 단계는 '부품 수준에서의 고장률 데이터 혼합 방법' 적용시 기준이 되는 대표 고장률 데이터를 선정하는 단계이며 대표 규격은 RiAC-HDBK-217Plus로 선정한다. 그 이유는 먼저 MIL-HDBK-217F의 경우 서론에서 언급한바와 같이 최신 업데이트가 되지 않아 신규 전자 부품 특성이 반영이 어렵고, 고려하는 부품의 수와 종류가 적다. 또한 부품별 고장률 모델이 인자끼리의 곱으로만 이루어져 있어 인자 값의 변화에 따라 예측 고장률 값이 크게 변한다. MIL-HDBK-217F 적용시의 산출 신뢰도 값과 필드 데이터의 비교 그래프는 그림의 내용과 같다.

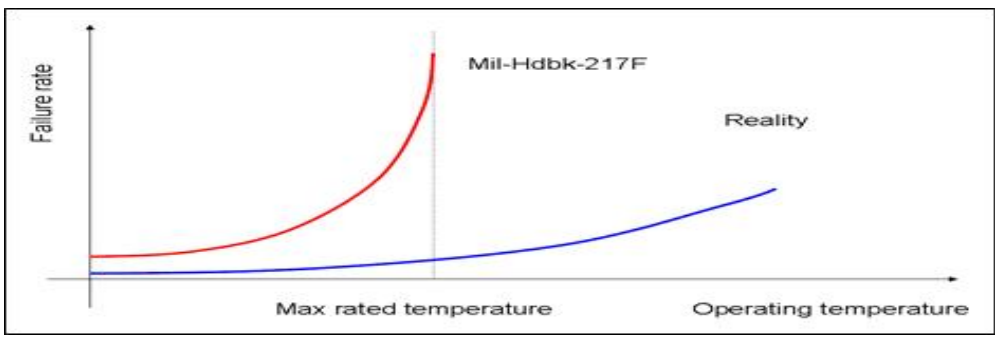


그림 40 MIL-HDBK-217F 적용시의 산출 신뢰도 값과 필드 데이터 비교

FIDES의 경우 상세한 라이프 프로파일을 기반으로 신뢰성 예측을 해야하기 때문에 현재 군

에서는 적용하기 많은 어려움이 있다. 따라서 체계단위가 아닌 후보 규격으로써 부품단위의 고장률을 예측을 하기 위해 사용하도록 한다.

이와 달리 RiAC-HDBK-217Plus는 서론에서 설명한바와 같이 MIL-HDBK-217을 공식적으로 대체하는 방법론으로 발표되었으며 작동상태, 비 작동상태를 모두 고려한다. 또한 고장율 예측시 신뢰도 성장, 유도스트레스에 대한 영향도 고려하기 때문에 대표 고장률 데이터로 선정한다.

대표 고장률 데이터는 무기체계의 신뢰성 예측시 기준이 되는 규격으로써 모든 구성 부품에 대한 고장률을 예측한다. 하지만 광학장치, 인쇄회로기판과 같이 대표 고장률 데이터가 고려하지 않는 부품이 무기체계에 구성되어 있다면 MIL-HDBK-217F, FIDES, EPRD/NPRD와 같은 후보 고장률 데이터를 적용한다.

⑥ 후보 고장률 데이터 선정

후보 고장률 데이터란 대표 고장률 데이터인 RiAC-HDBK-217Plus를 제외한 MIL-HDBK-217F, FIDES, EPRD/NPRD가 된다. 이 규격들은 대표 고장률 데이터가 고려하지 않는 부품이 무기체계에 구성되었다면 이를 예측한다. 물론 EPRD/NPRD 데이터 핸드북은 부품별 고장률 모델이 없는 관측 고장률이므로 최하위 후보 규격으로 고려되어야 한다.

⑦ 스트레스 인자 산출

본 단계에서는 무기체계의 운용 프로파일에 입력된 데이터를 통해 부품의 스트레스 인자 값을 산출하며 대표 고장률 데이터인 RiAC-HDBK-217Plus의 스트레스 인자 모델을 아래에 서술한다.

㉮ 임무 사이클

임무 사이클은 π_{DCO}, π_{DCN}로 고려되며 아래 식으로 표현된다.

$$\pi_{DCO} = \frac{DC}{DC_{1op}}$$

$$\pi_{DCN} = \frac{1-DC}{DC_{1op}}$$

이 때 DC_{1op}는 RiAC-HDBK-217Plus에서 제공하는 부품별 기본 값이며, DC는 운용 프로파일의 총 OT / CT로 계산된다.

㈏ 온도

온도는 π_{TO}, π_{TE}로 고려되며 아래 식으로 표현된다.

$$\pi_{TO} = \exp\left(\frac{-Ea_{op}}{0.00008617}\left(\frac{1}{T_{AO}+T_R+273}-\frac{1}{298}\right)\right)$$

$$\pi_{TE} = \exp\left(\frac{-Ea_{op}}{0.00008617}\left(\frac{1}{T_{AO}+T_R+273}-\frac{1}{298}\right)\right)$$

이 때 활성화 에너지는 RiAC-HDBK-217Plus에서 제공하는 부품별 기본 값이며, T_{AO}는 운용 프로파일의 주위온도, T_{AE}는 비 동작온도로써 해당지역의 평균온도이다. 또한 T_{AO}는 시간에 따라 변하므로 운용 프로파일에 맞게 최고치, 최고온도의 70%, 평균 값 등이 될 수 있다.

㈐ 온도 사이클

온도 사이클은 π_{CR}, π_{DT}로 고려되며 아래 식으로 표현된다.

$$\pi_{CR} = \frac{CR}{CR_1}$$

$$\pi_{DT} = \left(\frac{T_{AO}+T_R-T_{AE}}{44}\right)^{2.26}$$

이 때 운용 프로파일의 임무 수로부터 연간 사이클 수를 도출하고, 이를 CR에 대입하여 π_{CR}을 계산한다. 그리고 T_R은 온도 상승치로써 직접 구하기 힘들기 때문에 RiAC-HDBK-217Plus에서 제시한 부품별 기본 값을 이용한다.

㈑ 습도

습도는 π_{RHT}로 고려되며 아래 식으로 표현된다.

$$\pi_{RHT} = \exp\left(\frac{-Ea_{op}}{0.00008617}\left(\frac{1}{T_{AE}+T_R+273}-\frac{1}{298}\right)\right)\times(\frac{RH}{0.5})^3$$

이 때 상대습도와, 운용 프로파일에는 기입되지 않은 비 동작 환경 온도를 온습도 인자 모델에 대입한다.

㉮ 용량

용량은 π_C로 고려되며 아래 식으로 표현된다.

$$\pi_C = (\frac{C}{C_1})^{CE}$$

이 때 해당 부품의 정전용량(uF)를 C에 대입하며, C_1, CE와 같은 상수는 RiAC-HDBK-217Plus에서 제시한 부품별 기본 값을 적용한다.

㉯ 신뢰도 성장

신뢰도 성장은 π_G로 고려되며 아래 식으로 표현된다.

$$\pi_G = \exp(-\beta(Y-1993))$$

이 때 고장률이 추정된 제조년도를 Y에 대입하며 β(성장상수)는 RiAC-HDBK-217Plus에 제시한 부품별 기본 값을 적용한다.

⑦ 구성부품 고장률 산출

본 단계에서는 산출된 스트레스 인자를 고장률 모델에 대입하여 부품별 고장률을 산출한다. 대표 고장률 데이터를 기준으로 신뢰성을 예측하며 고려하지 않는 부품이 존재할 경우 후보

고장률 데이터를 적용한다. 다음 그림은 00궤도장비의 동체조립체에 탑재되는 스위치 부품에 대한 설계정보수집표 작성 사례이다.



SUBSYSTEM				동체조립체
수량				1
설계번호				SW1
Part Number				KHS425
Manufacturer				OTAX
Category				Switch
Sub-Category				Switch
Switch 타입				DIP
동작	base failure rate(λ_{SOB})			0.00008267
	Duty Cycle(π_{DCO})	$\frac{DC}{DC_{Dep}}$	DC (연간 부품이 작동상태에 있는 시간 비율(%), calendar hours로 계산)	0.9
			DC_{Dep} (분모)	0.54
	Temperature(π_{TO})	$\exp\left(\frac{-Ea_{Dep}}{8.617 \times 10^{-5}}\left(\frac{1}{T_{AD}+T_R+273}-\frac{1}{298}\right)\right)$	Ea_{Dep} (활성화에너지)	1
			T_{AD} (주위온도)	25.2
			T_R (주위 온도에서 케이스 온도까지의 온도 상승치, 계산 가능한 방법 혹은 가능한 것으로 적용)	
			1. 온도 상승 기본값	0
			2. 별체 온도 상승치있고 있을 경우	
비동작(운전)	base failure rate(λ_{SOB})			0.00294791
	Duty Cycle(π_{DCN})	$\frac{1-DC}{DC_{Dormop}}$	DC (연간 부품이 작동상태에 있는 시간 비율(%), calendar hours로 계산)	0.9
			DC_{Dormop} (분모)	0.46
	Temperature(π_{TE})	$\exp\left(\frac{-Ea_{Dormop}}{8.617 \times 10^{-5}}\left(\frac{1}{T_{AD}+273}-\frac{1}{298}\right)\right)$	Ea_{Dormop} (활성화에너지)	1
			T_{AD} (주위온도)	25.2
	base failure rate(λ_{TCB})			0.00351701
	Cycling rate(π_{CR})	$\frac{CR}{CR_1}$	CR (4시간 비율, 상온 시스템의 power on 횟수)	365
			CR_1 (분모)	520

온도 사이클	Delta temperature(π_{DT})	$\left(\frac{T_{AD}+T_R-T_{AR}}{DT_1}\right)^2$	T_{AD} (동작중 주위온도)	25.2
			T_R (주위 온도에서 케이스 온도까지의 온도 상승치)	0
			T_{AR} (비동작중 주위온도)	25.2
			DT_1 (분모)	27.52
습도	base failure rate(λ_{SOB})			0.00035684
산화도 성장(π_G)		$\exp(-\beta(Y-1993))$	β (성장 상수)	0
			Y (구성물의 주입된 해로 년도)	2009
base failure rate(λOB)				0.00008267
Duty Cycle(πDCO)				1.666666667
Temperature(πTO)				0.507799263
base failure rate(λEB)				0.00294791
Duty Cycle(πDCN)				0.217391304
Temperature(πTE)				0.221845348
base failure rate(λTCB)				0.00351701
Cycling rate(πCR)				0.731823377
Delta temperature(πDT)				0.04754414
base failure rate(λIND)				0.00035684
산화도 성장(πG)				1
고장률				0.0013485

그림 41 00궤도장비의 스위치 설계정보

⑧ 전체 신뢰도 산출

본 단계에서는 구성 부품 간 신뢰성 모델링에 맞게 개별 부품에서부터 최종적인 무기체계의 신뢰도를 산출한다. 이 때 직렬과 병렬 등 여러 구조가 고려되어야 하며 고장률 단위 또한 고려하고 적용한다.

다. EMC 공인시험기관 평가방법 조사

(1) 국제 전기 표준 회의(IEC : International Electrotechnical Commission) : 각국의 국제 전기 표준회의(IEC National Committees) 로 구성된 표준화 국제 기구. 전기, 전자 분야의 표준화에 관한 모든 문제에 대해 국제 협력을 증진시키는 목적을 가짐. IEC는 이 목적과 더불어 국제 표준안 출판도 겸한다.

(2) EMC 테스트

Electromagnetic Compatibility의 약어로 전자기 장해(EMI)로부터 받는 장해를 적정 수준 이하로 낮추는 것을 연구하는 전기 과학의 한 분야이다. 전자기 장해의 억제에는 두 가지 방법이 있는데 하나는 방사성 전자기 방출 자체를 억제하는 것이고 다른 하나는 전자기 장해에 대해 내성을 키우기 위해 감응성을 낮추는 것이다.

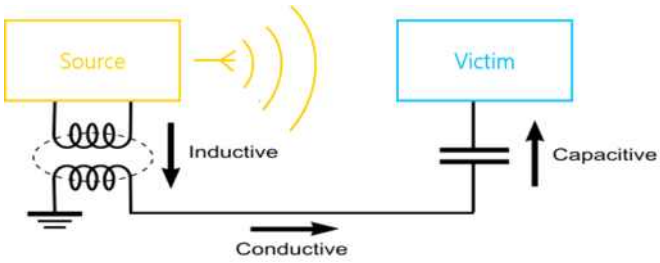


그림 42 전자기 장해의 전달 경로

전자기 장해는 자연적 또는 인위적으로 발생될 수 있으며 발생원의 종류에 따라 연속적 장해와 과도적 장해로 구분된다. 자연적인 전자기 장해 발생원으로는 낙뢰, 정전기 등이 있고 인위적인 발생원으로는 방송, 통신 등에 사용되는 방사주파수의 신호와 같은 의도적 발생원과 과도한 스위칭 등으로 인한 비의도적 발생원이 있다. 이는 그림과 같이 네 가지의 전달 경로가 있다. 아래의 표와 같은 경로를 통해 전달된 전자기 장해는 감수품의 회로에서 전자파 결합을 일으켜 성능에 영향을 주게 된다.

표 58 전자기 장해 전달 경로

Source → Victim	방사주파수의 직접 전달
Inductive	인덕터에 의한 전달
Capacitive	축전기에 의한 전달
Conductive	전기전도에 의한 전달

(3) 복사된 RF의 전자장 내성 시험(전자파 적합성(EMC)_IEC61000-4-3)

대부분의 전자 장비는 어떤 식으로든 전자파 방출의 영향을 받는다. 이러한 방출은 다음과 같은 사항에 의해 빈번히 발생된다. 운전자, 유지 보수요원 및 안전요원들이 사용하는 휴대용 전파 송수신기, 고정된 라디오 및 텔레비전, 송신기, 항공기의 전파송신기 및 여러 가지 목적의 산업용 전파 발생원 등이다. 고의적으로 발생되는 전자파 에너지 이외에 용접기, 사이리스터, 형광등 및 유도성 부하를 작동시키는 스위치와 같은 장치에 의하여 부수적으로 발생되는 방출도 있다. 대부분 이와 같은 간섭은 그 자체가 도전성 간섭으로 나타난다. 이러한 것들은 이 표준안의 다른 부에서 다루어진다. 또한 전자파 영향을 방지하는데 이용되는 방법은 보통 이러한 영향들을 줄이는 것이 될 것이다. 전자파 환경은 전자파의 세기에 의해 결정된다. 이 강도는 복잡한 장비 없이는 쉽게 측정할 수 없고, 고전적 방법으로는 쉽게 계산할 수도 없다. 그 이유는 주위 환경 구조의 영향 또는 전자파를 왜곡하거나 또는 반사시키는 장비의 근처에서의 영향 때문이다.

(가) 시험레벨

① 일반적인 목적과 관련된 시험 레벨

표 59 일반적인 시험레벨

레벨	시험 필드 강도
1	1
2	2
3	3
x	Special
X는 개방 시험 준위이며, 이는 제품 사양에 주어질 수 있음	

표는 비변조 신호의 필드 강도의 세부사항을 나타낸다. 장비의 시험을 위해서 이 신호는 1㎑ 사인파로 80% 진폭변조 함으로써 실제 상황을 시뮬레이션을 한다.

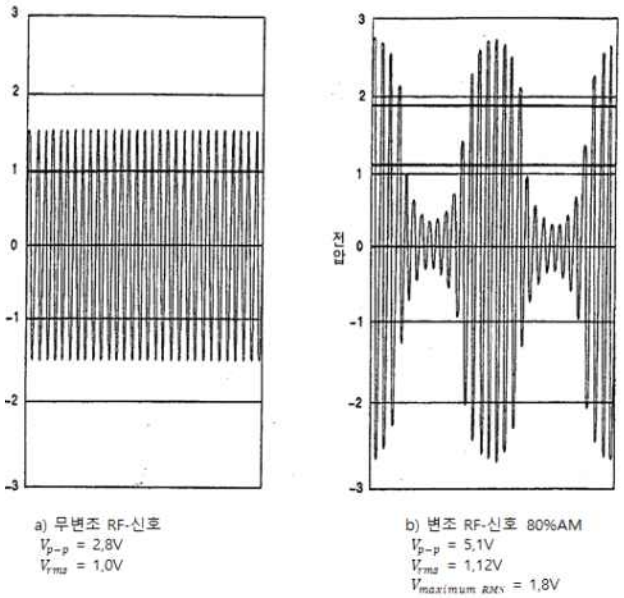


그림 43 신호발생기의 출력에서 발생하는 시험 레벨과 파형의 정의

② 디지털 무선 전화의 RF 방출로부터의 보호에 관련된 시험 레벨

800MHz~960MHz와 1.4GHz~2.0GHz 주파수 대역에서 선호되는 시험 레벨의 범위가 표와 같이 주어진다.

표 60 디지털 무선 전화의 RF 방출 시험 레벨 범위

레벨	시험 전계강도(V/m)
1	1
2	3
3	10
4	30
X	특별한 값
X는 개방 시험 레벨로서, 이 레벨은 생산 표준에 주어져도 됨	

변조되지 않은 반송 신호의 값이 표의 시험 전계 강도에 나열되어 있다. 장치의 측정을 위해서, 이 반송 신호는 실제의 위험요소를 모의 실험하기 위해 1kHz Sin파로 80% 진폭 변조된다. 제품이 특정 국가의 요구 사항만을 따르도록 되었으면, 측정 범위 1.4GHz~2.0GHz를 그 나라의 디지털 이동 전화에 할당된 주파수를 포함하도록 감소시켜야 된다. 제품 위원회는 주파수 범위의 각각에 대한 적절한 시험 레벨을 지정해야만 한고 표에서 언급된 주파수 범위에서, 두 개의 시험 레벨 중 높은 것에서만 시험을 수행해야 한다.

(나) 시험 장비

① 무반사실

피 검정 장비 (Equipment Under Test, 이하 EUT)와 관련되어 충분한 범위의 일정 필드를 유지할 수 있는 적당한 크기를 가진다. 부가적인 흡수체는 완전히 정렬되지 않은 무반사실 내에서 반사를 감소시키기 위해 사용될 수 있다.

② EMI 필터:

필터가 접속선에 부수적으로 공진 효과를 일으키지 않도록 주의해야 한다.

③ 주파수 대역:

관심 있는 주파수 영역을 커버할 수 있고 있고 1 ㎑의 사인파를 80%로 진폭 변조 할 수 있는 RF 신호 발생기. 이는 $1.5\times10^{-3} decade/s$ 또는 그보다 느리게 자동으로 할 수 있고 RF합성기의 경우에는 주파수에 따라 변하는 스텝 간격과 휴지 시간(dwell time)을 프로그램 할 수 있어야 한다. 저역 통과 필터 또는 대역 통과 필터는 모니터링을 하기 위한 신호를 수신하려는 장비에 대하여 고조파에 의한 문제가 생기지 않도록 해야 한다.

④ 전력 증폭기 :

신호 (비변조 또는 변조)를 증폭하고 필요한 필드 준위까지 작동시킬 수 있는 안테나를 준비해야 한다. 전력 증폭기에 의해 생기는 고조파 및 왜곡은 반송파 레벨보다 15dB낮거나 그 이하로 되어야 한다.

⑤ 모니터링 안테나:

총길이 0.1 m 또는 그보다 작은 다이폴을 갖고 있는 수평, 수직 편파 또는 등방성 필드 강도 모니터링 안테나 : 측정될 필드에 대하여 증폭기와 광전자의 내성에 적합해야 하고 챔버 밖의 지시계와 광화이버 접속이 가능해야 한다. 신호 링크의 적당한 필터링이 필요하다.

⑥ 전력 준위 기록 장비 :

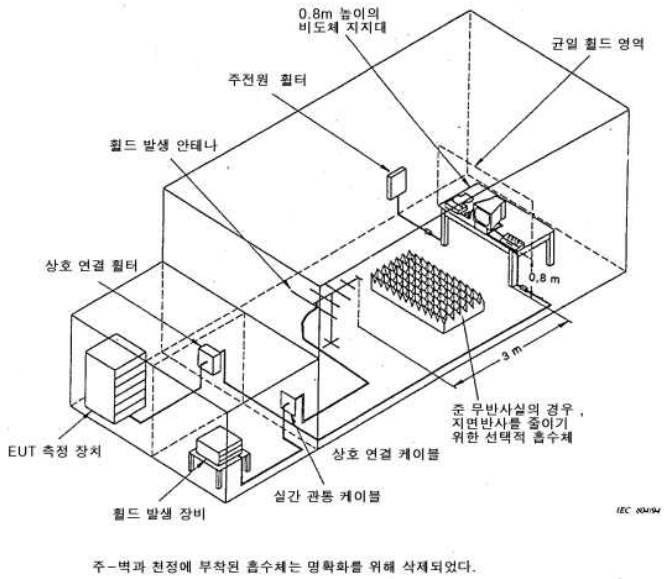
요구되는 관련의 전력 준위 측정 기록을 위한 필드 강도를 얻기 위해서 필요한 준위와 시험에 필요한 준위를 발생하도록 제어하기 위해 필요하다.

(다) 시험 설비의 설명

발생된 필드의 크기 때문에 전파 통신에 대한 간섭을 방지하기 위해서는 차폐막 안에서 시험해야 한다. 부가적으로 데이터를 수집하는데 필요한 대부분의 시험 장비는 내성 시험을 하는 동안 생기는 주변의 필드에 민감함으로 차폐막이 필요하다. 이를 뚫고 지나가는 연결선은 전도, 복사로 인한 방출을 적당히 감소시키고 EUT신호의 보전과 전력응답의 유지를 보장하도록 주의해야 한다.

바람직한 시험 시설은 필드 강도를 적절하게 제어하는 동안 EUT를 집어넣기에 충분한 흡수체의 차폐울타리로 구성된다. 차폐울타리는 필드 발생장비, 모니터링 장비 및 EUT를 시험하는

장비를 수용할 수 있어야 한다. 이는 무반사실 또는 보완된 준 무반사실을 포함한다. 그 예는 그림의 내용과 같다. 무반사실은 저주파에서 덜 효과적이다. 저주파에서, 생성된 필드의 균일성을 보장하기 위해 특히 주의를 필요로 한다.



주-벽과 천정에 부착된 흡수체는 명확화를 위해 삭제되었다.

그림 44 적절한 시험 설비의 예

(라) 필드의 눈금조정

필드의 눈금조정을 그림으로 도시한 것이며, 필드의 눈금 조정의 목적은 시험 샘플에 대한 필드가 시험 결과의 유효성을 보증하기에 충분히 균일하다는 것을 확실히 하는데 있다. 변조는 어떠한 필드 센서에서도 적절한 눈금치를 보장하기 위해 눈금 조정하는 동안에는 하지 않는다.

본 문서는 균일 영역의 개념을 사용한다. 이 균일 영역내에서 필드의 변화가 받아들일 수 있을 정도로 작은, 가상의 수직 평면이다. EUT와 그에 부속된 전선이 더 좁은 표면 안에서 모두 다 필드에 쏘이지 않으면, 이 균일 영역은 1.5m×1.5m이다. 균일 영역의 크기는 0.5m×0.5m 보다 작아서는 안 된다.(예를 들면, 4점의 격자)

- 시험 장치에서 EUT는 필드가 쏘여지는 표면이 이 균일 영역과 일치하여야 한다.
- 기준 접지 면에 가까이 균일 필드를 발생시키는 것은 불가능하므로 눈금조정이 된 영역은 기준 접지면 위로 0.8m 이하의 높이에 설정되어서는 안되며, 가능한 한 EUT는 이 높이에

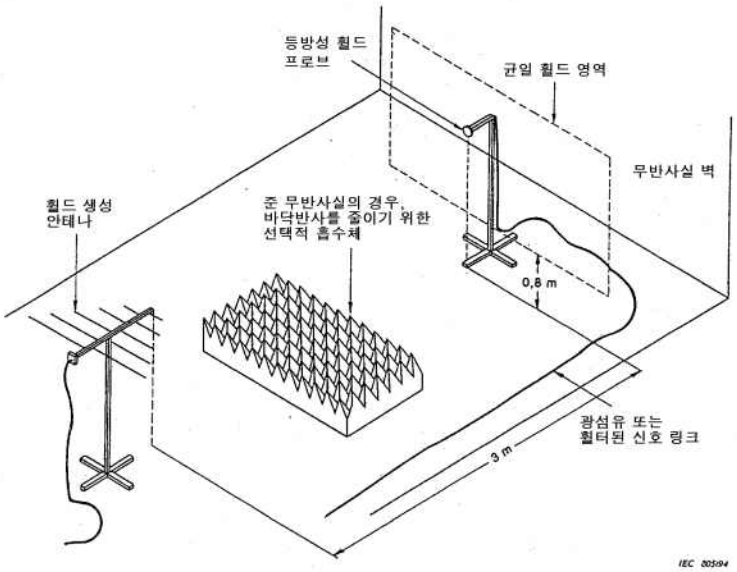


그림 45 필드의 눈금조정

놓여야 한다.

- 기준 접지면 가까이에서 시험되어야 하거나, 1.5m×1.5m이상의 크기를 갖는 EUT와 부속된 전선에 대한 시험을 엄격히 하기 위해서 0.4m 높이에서의 필드강도와 EUT의 전체 폭과 높이에 대한 필드 강도를 기록한다.

- 균일 영역은 빈 차폐공간에서 눈금조정 한다. 안테나의 장치와 위치, 부가 흡수체(사용된다면) 등은 기록되고, 그대로 유지한다.
- 이것들은 각각의 시험 일괄 작업 전에 수행되는 시험실 인증에도 쓰일 수 있다. 적어도 매년, 그리고 차폐공간에 변화가 있을 때는(흡수체의 교환, 영역의 이동, 장비 교환) 전체 영역의 눈금조정을 해야만 한다.
- 송신 안테나는 1.5m×1.5m의 눈금조정 영역이 송신된 필드의 빔 폭 내에 들어오도록 충분히 떨어진 거리에 놓여야 한다.
- 실제의 EUT의 면에 의해 점유되도록 된 영역이 1.5m×1.5m 이상이면, 일련의 시험에서 EUT에 필드가 쏘이는 것이 가능하도록 다른 복사 안테나의 위치에서의 눈금조정이 필요하다.
- 필드 센서는 필드 발생 안테나로부터 적어도 1m 떨어져야 한다.
- 안테나와 EUT 사이가 3m인 것이 좋다. 이 거리는 쌍원뿔 안테나의 중심 또는 대수 주기

안테나의 팁으로부터의 거리이다. 논쟁이 될 경우에는 3m에서의 측정을 관례로 한다.

- 정의된 영역에 걸쳐 필드의 크기가 표면의 75% 이상에서(예를 들면, 측정된 16개의 포인트 중에서 적어도 12 포인트에서의 값이 허용오차 안에 있을 때) 공칭 값의 -0dB～+6dB 내에 있으면 그 필드는 균일하다고 간주된다.
- 0.5m×0.5m의 최소 균일 영역에 대해, 격자의 네 점은 이 허용오차 내에 있어야 한다. 허용오차는 필드 강도가 공칭 값 이하로 떨어지지 않도록 -0dB～+6dB로 표기 되어왔다. 6dB의 허용오차는 실제의 측정 설비에서 가능한 최소의 오차로 간주된다.
- +6dB～+10dB 이상이고, -0dB 보다는 작지 않은 허용오차는 실제 허용오차가 시험 보고서에 언급되어 있으면 시험 주파수의 3%의 최대치로 허용된다. 논쟁이 될 경우에는 -0dB～+6dB의 허용오차를 관례로 한다. 일정한 전력에 기초한 눈금조정의 수행 절차는 그림의 내용과 같다.

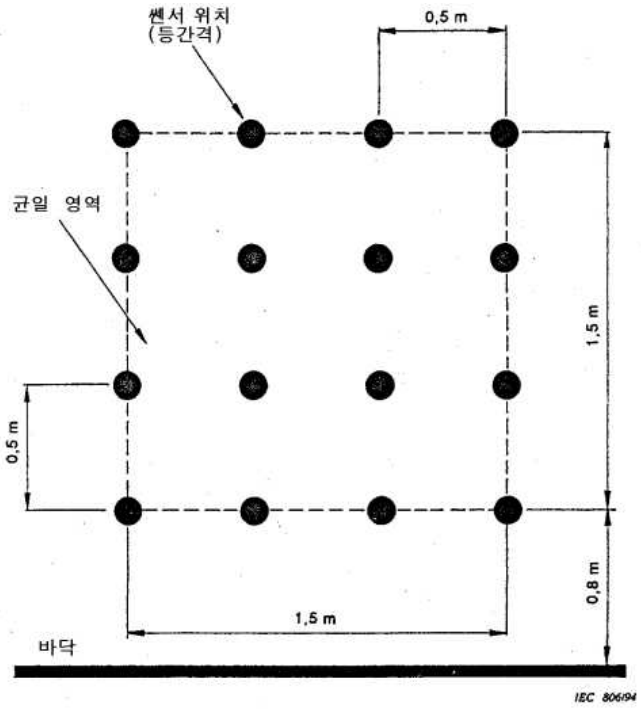


그림 46 필드의 눈금조정, 균일 영역의 치수

① 필드 센서의 위치는 격자 안의 16 포인트 중 하나에 놓는다.

② 시작 주파수의 1%의 간격으로 전 주파수 범위에 걸쳐(그리고 그 후에는 그전의 주파수) 측정된 필드 강도가 3V/m~10V/m의 범위에 있도록 필드 발생 안테나에 전력을 인가한다. 그리고 읽은 전력과 필드를 기록한다.

③ 같은 전력으로 나머지 15 포인트에서 전계를 측정하고 기록한다.

④ 16개의 모든 포인트를 고려하여, V/m로 표현된 평균치로부터 가장 큰 편차로부터 최대 25%(16포인트 중에서 4 포인트)를 삭제한다.

⑤ 나머지 포인트들은 ±3dB 안에 있어야 한다.

⑥ 나머지 포인트들 중에서 가장 전계 강도가 약한 위치를 기준으로 잡는다.(이것은 -0dB~+dB의 요구 조건의 충족을 보장한다.)

⑦ 전력과 전계 강도를 앎으로써 요구된 시험 필드 강도를 위해 필요한 전력을 계산할 수 있다. (예를 들면, 주어진 포인트에서 80W가 9V/m를 발생시키면, 3V/m를 발생시키기 위해서는 8.9 W가 필요하다.

3V/m~10V/m의 일정한 필드 강도를 발생시키기 위해 동일한 절차를 사용하고, 필드 발생 안테나에 공급되는 전력을 기록한다. 눈금 조정은 각각의 면(모든 전선연결을 포함한)들이 균일 영역에 의해 완전히 덮일 수 있는 모든 EUT에 대해서 유효하다. 눈금 조정된 필드 설정을 위해 사용된 안테나와 케이블이 시험에서 사용되어야만 한다. 따라서 동일한 안테나와 케이블을 사용하기 때문에, 케이블의 손실과 필드 발생 안테나의 안테나 인자들은 적절치 않다. 최대로 가능한 한 필드 발생 안테나와 케이블의 정확한 위치를 기록해야 한다. 작은 이동일지라도 필드에 심각한 영향을 줄 수 있기 때문에, 시험에서 같은 위치가 사용되어야 한다.

(마) 시험 장치

장비의 모든 시험은 가능한 설치된 케이스에 가깝게 배치하여 시행해야 한다. 배선은 제조업체에서 추천한 과정에 따라 시행해야 한다. 장비는 다른 언급이 없으면 모든 덮개와 접근 패널이 제자리에 놓여 있는 상태에서 있어야 한다. 장비가 패널, 선반 또는 캐비닛 위에 부착하도록 설계되어졌으면 그 배치에서 시험해야 한다. 금속 접지면은 필요하지 않다. 시험용 샘플을 지지할 방법이 필요할 때는 비금속성, 비전도성자재로 해야 한다. 그러나 장비의 하우징이나 케이스의 접지는 제조업체가 추천하는 설치요건과 같게 해야 한다. EUT가 바닥 직립형과 탁자위에 놓는 부품으로 구성되어 있으면 정확한 상대적 위치가 유지되어야 한다.

(바) 탁상용 장비의 배치

시험해야할 장비는 0.8m의 높이의 비전도성 탁자위의 시험 시설에 놓는다. 그림의 탁상용 장비의 시험장치의 예에서 보여주듯이, 장비는 적당한 설치 지침에 따라 전력선과 신호선에 접속한다.

비전도성 지지대의 사용은 갑작스런 EUT의 접지와 휠드의 왜곡을 방지할 수 있다. 후자를 보장하기 위하여 지지대는 금속구조에 절연 코팅을 한 것보다는 비전도성으로 하는 것이 좋다.

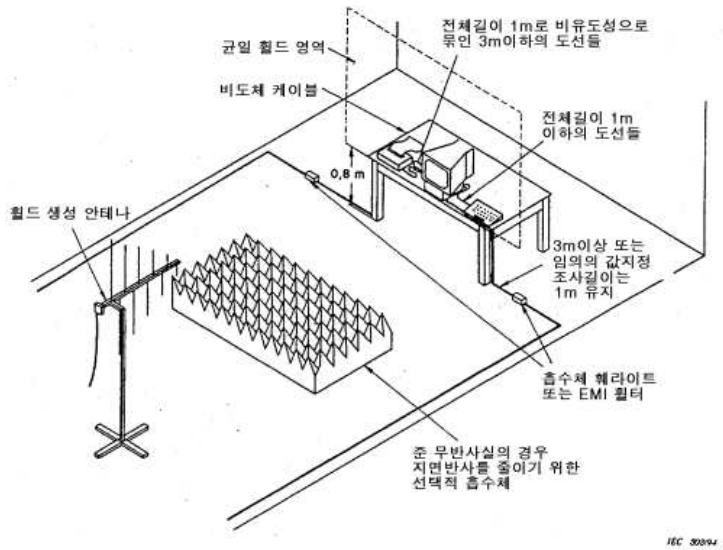


그림 47 탁상용 장비의 시험장치 예

(사) 바닥 설치형 장비의 배치

- 바닥 설치형 장비는 지지면 위로 0.1m의 비전도성 지지대에 올려야 한다. 비전도성 지지대를 사용하면 갑작스런 EUT의 접지와 필드의 왜곡을 방지하게 된다. 후자를 확실하게 하기위해 금속성 구조물에 절연체를 코팅하는 것보다는 전체를 비전도성으로 하는 것이 좋다.
- 0.8m정도 높이의 지지대 위에 놓을 수 있는 바닥직립형 장비, 즉 너무 크거나 무겁지 않고 또 이것의 엘리베이션이 안전에 영향을 주지 않거나 제품 위원회에서 특별히 지적하지 않으면 위에서 언급한 것처럼 배치한다.
- 표준시험 방법과 다른 점들을 시험 보고서에 기록해야 한다. 그림의 바닥 설치용 장비에 대한 시험장치 예에서 같이, 장비를 적절한 설치 지침에 따라 전력선과 신호선에 연결한다.

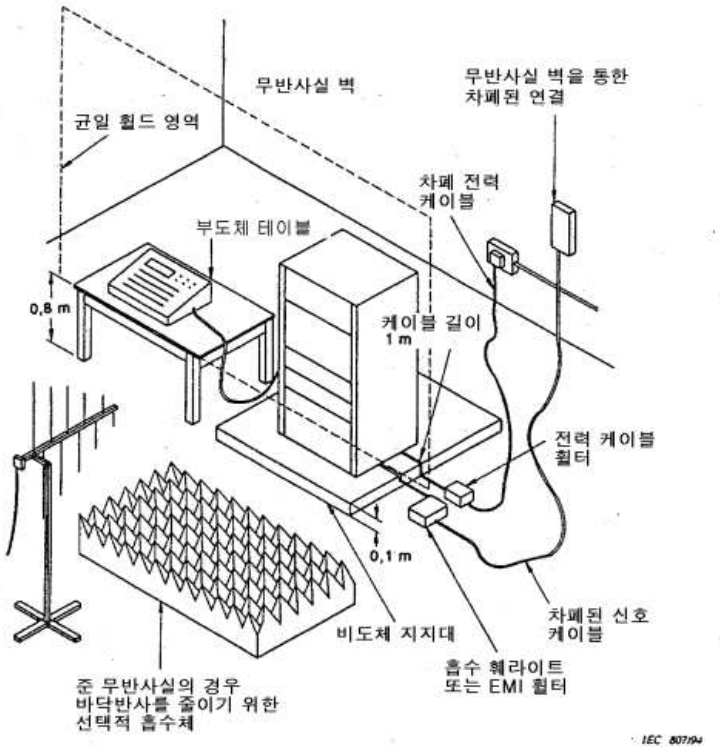


그림 48 바닥 설치용 장비에 대한 시험장치 예

(아) 배선의 배치

EUT로 또는 EUT로부터의 배선이 명시되어 있지 않으면 차폐되지 않은 평행 도선을 사용해야 한다. 배선은 EUT로부터 1m정도 거리에 떨어져 전자파에 노출시킨다. 사용된 EMI 필터링이 EUT의 작동을 나쁘게 해서는 안 되며 EUT의 한 위치에서 배선은 내성을 최소화하는 균일한 필드 영역에 대해 평행하도록 배치해야 한다. 결과가 반복성을 위해 배선과 장비 위치 및 그 방향에 관한 완전한 설명이 모든 결과에 수반되어야 한다. 노출된 배선 다발은 실질적으로 정상적 배선을 시뮬레이션한 배치로 놓여진다. 즉 배선을 EUT옆에 놓고 설치 지침서에 따라 상하로 조정한다. 수평/수직 배치를 통해 최악의 상태를 보장할 수 있다.

(자) 인체에 부착된 장치의 배치

인체에 부착된 장치는 탁상용 품목과 같은 방법으로 시험 될 수도 있다. 그러나 이것은 인체

특성이 고려되지 않기 때문에 오버 테스팅(over-testing) 또는 언더 테스팅(under-testing)을 포함할 수 있다. 이러한 이유로 적절한 유전체 특성을 가진 인체 시뮬레이터의 사용의 지정이 제품 생산 위원회에 권고되어야 한다.

(차) 시험 과정

- EUT는 의도되는 작동 조건과 기후 조건에서 시험한다. 온도와 상대 습도는 별도로 기록하여 남긴다. 이 절에서 설명된 시험 과정은 변형된 준-무반사실에서 쌍원뿔 안테나 또는 대수 주기 안테나를 사용하기 위한 것이다.
- 시험 전에 확립된 필드의 강도는 필드 센서를 그리드 포인트에 놓아 점검해야 한다. 그리고 필드안테나와 케이블을 눈금 조정에서 이용했던 위치에 놓고 조정에 필요한 필드를 내기 위한 전력을 측정할 수 있다.
- 지점(Spot) 확인은 80㎒에서 1000㎒의 주파수 영역에 걸쳐 여러 눈금조정 격자점에서 실시한다. 눈금조정을 한 후에 시험 필드는 눈금조정으로부터 얻어진 값들을 사용하여 발생시킬 수 있다. EUT는 처음에 눈금 조정 면과 일치하는 면에 위치시킨다.
- 필요에 따라 R.F 신호 레벨의 조정이나, 또는 필요한 발진기와 안테나의 개폐를 멈춰가면서 고려되는 주파수 범위를 1kHz 싸인파로 80% 진폭 변조된 신호로 교체한다.
- 교체률은 1.5×10^{-3} decades/s를 넘어서는 안되며 주파수 대역에서 상향 교체하는 경우에 스텝 크기는 눈금 조정된 점 사이의 선형 보간된 기본치의 1%를 넘어서는 안된다.
- 각 주파수에서의 휴지 시간은 EUT가 실행되고 응답하는데 필요한 시간보다 짧으면 안 된다.
- 시험은 보통 EUT의 각각 4개 측면을 마주 보고 있는 발생 안테나로 실시되어야 한다.
- 장비가 다른 방향에서 사용될 수 있으면 (수직 또는 수평) 이 시험은 모든 방향에서 실시되어야 한다. 각 안테나에 의해 발생된 필드의 편파로 인해 각 측면은 두 번 시험할 필요가 있다.
- 한번은 안테나를 수직으로 세워서 다시 한번은 안테나를 수평으로 세워서 시행한다. 시험을 하는 동안 EUT가 충분히 작동하도록 시도해야 한다.
- 그리고 내성 시험을 위해 선택한 모든 임계 동작 모드에 대하여 조사해야 한다.

(4)경찰청 교통신호제어기

(가) 뢰임펄스 모의시험

① 검사장비 : 임펄스 제너레이터

② 검사방법

㉮ 뇌(雷)임펄스 모의시험은 신호기 입력단에 교류 입력전원과 1.2×50㎲, 5000V 또는 8×20㎲, 3kA의 임펄스를 인가한다.

㉯ 뇌 임펄스 전압을 인가한 후 신호기는 정상적으로 동작해야 한다.

(나) 비파괴 내전압시험

① 에너지원 : 15㎌±10% Oil Capacitor (내부 서지 임피던스는 1Ω 이하)

② 진 폭 : 1000V±5% (정극성, 부극성)

③ 검사방법

㉮ 신호기의 교류 및 기타전원을 제거한 후 위와 같은 고에너지 과전압 인가시 각 전자기기의 파손이 없어야 한다.

㉯ 비파괴 내과전압 시험은 각 극성에 3회 반복하였을때 각 기기의 파손이 없어야 한다.

㉰ 비파괴 내과전압시험은 SWCS(Surge Withstanding Capacity Simulation) 시험장비를 이용한 SWCS시험으로 대체 실시하여도 무방하다.

(관련참조규격 : ANSI STD587)

(다) 절연저항 시험, 교류 내전압 시험, 직류 내전압 시험 등.

라. 안전기반 신뢰성 유지기술 사례조사

: 안전·신뢰성 기반의 유지보수관리체계(H/W, S/W, 알고리즘, 운영규정 등)에 대한 해외 사례조사는 그림의 내용과 같다.

(2차년도 주요 연구 실적)

(1) RCM(Reliability Centered Maintenance)

(가) 최소 비용으로 장비의 고유한 신뢰성 유지를 위해 필요한 유지 관리 작업을 식별하는 방법이다.

(나) 보전의 목적이 장비를 유지하는데 있다는 것보다 시스템의 기능을 유지하는데 있다는 새로운 견해를 제시하고 있는 전략이다.

(다) 장비들을 지원하고 있는 기능, 장비가 가지고 있는 실질적인 목적을 아는 것이 중요하다.

(라) 최소 비용으로 장비의 고유한 신뢰성 유지를 위해 필요한 유지 관리 작업을 식별하는 방법이다.

(마) 대부분의 장비, 설비들의 고장은 시간에 보다는 장비의 기능, 주변 환경, 장비의 구성요소 등이 더 많은 영향을 끼친다. 따라서 시간에 기반 \한 교체나 점검이 장비의 신뢰도를 높여주지 않는다는 데서 시작되었다.

(바) 일반적으로 통용되는 OEM(Maker) 매뉴얼에 있는 유지보수계획을 그대로 따르면 장비의 신뢰성 및 경쟁력이 떨어질 수밖에 없다는 것에 기반하고 있다.

(2) RCM 프로세스를 수행하기 위한 최소 기준

(가) 현재 운영상황에서 장비의 기능과 관련도니 성능 규격은 무엇인가?(Functions)

(나) 장비의 기능을 수행하는데 있어 어떤 방식으로 고장이 발생하는가(Functional failures)

(다) 각 기능적 고장의 원인은 무엇인가(Failure modes)

(라) 각 고장이 발생할 때 어떤 일이 발생하는가(Failure effects)

(마) 어떠한 방식이 각 고장의 문제가 되는가(Failure consequences)

(바) 각 고장을 예측 또는 예방하기 위해 무엇을 수행해야 하는가(Proactive tasks and task intervals)

(사) 만약 적합한 예방 활동을 발견할 수 없다면 어떤 조치를 취해야 하는가(Default actions)

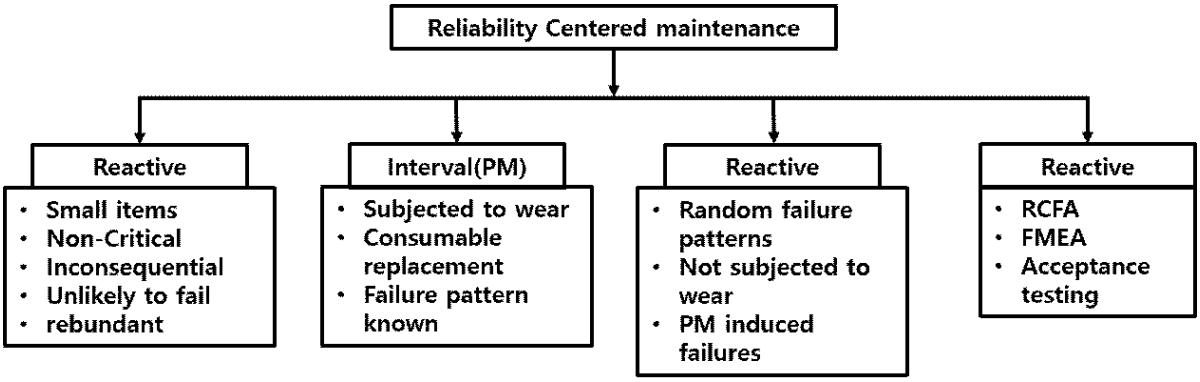


그림 49 Components of RCM

(3) RCM프로젝트의 과정

(가) 시스템 선택과 데이터 정렬

: 중요한 시스템 선택을 초래하는 요인

① Mean-time between failures(MTBF). 고장시간들 사이 간격의 평균

② Total maintenance cost. 총 유지보수 비용

③ Mean time to repair(MTTR) 수리하는 시간의 평균

④ Availability 시스템, 장비의 가용성

(나) 분석대상 장비의 선택

(다) 기능정의

(라) 기능적 고장 정의

(마) 고장영향 정의 및 평가

(바) 고장원인 정의

(사) 보전활동 선택

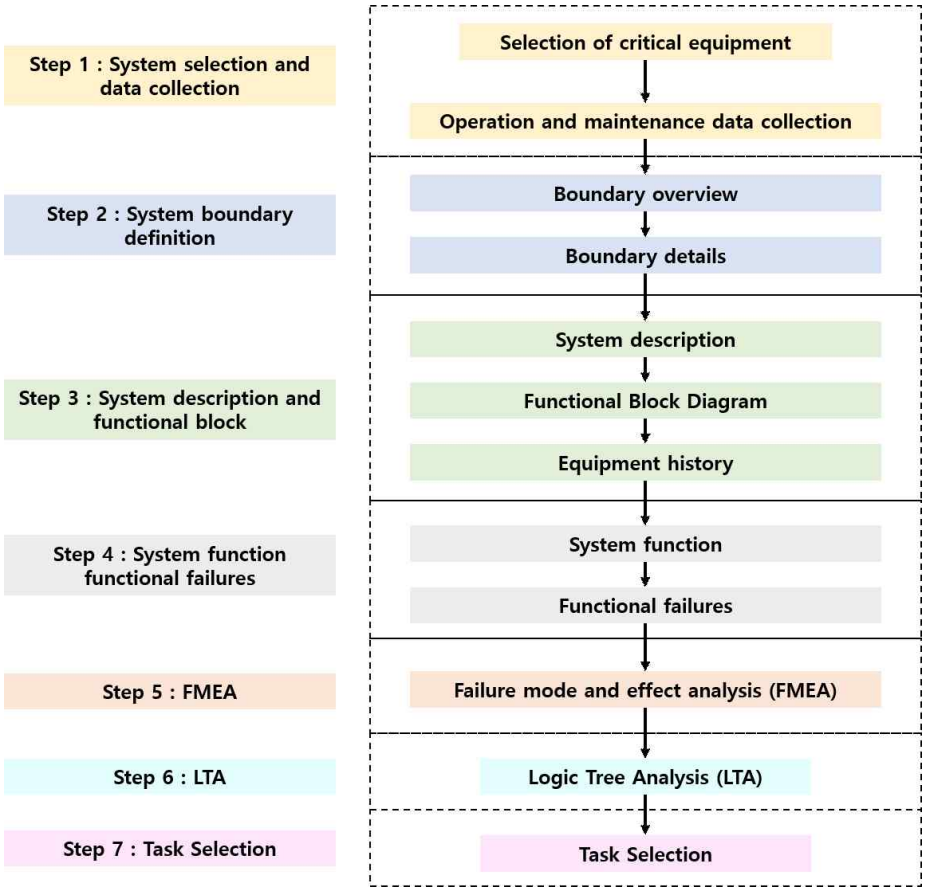


그림 50 Main Process of RCM

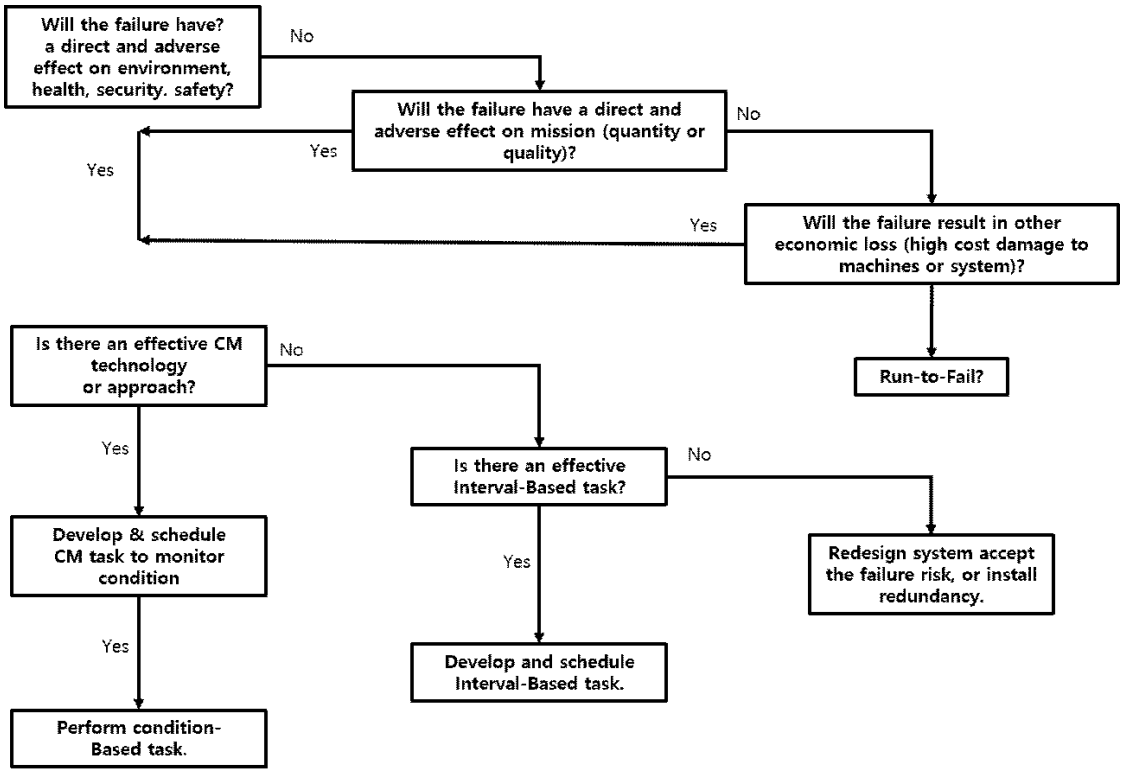


그림 51 RCM step 6. Logic Tree

(4) RCM프로젝트의 결과 및 효율, 이익

(가) 적절한 시간에 적합한 유지보수 제공

(나) 기능과 성능 기대치에 대한 광범위한 이해

(다) 유지보수의 효과와 효용성 향상

(라) 장비의 신뢰성과 가용성 향상

(마) 향상된 안전성과와 환경보전

(바) 장비수명 연장

(사) 유지보수전략 확보

5. 경찰청의 교통신호제어기 유지보수관리

국내 교통신호제어기의 경우 유지보수를 위한 규격은 제공되고 있지만 NASA와 달리 체계적이고 유지보수를 집중적으로 관리하는 부서나 체계가 마련되어있지 않은 실정이다. 아래는 교통신호제어기 표준규격서중 일부인 등기구동장치(LSU : Load Switch Unit)의 규격과 유지보수에 대한 내용이다.

가. 등기구동장치(LSU : Load Switch Unit)

(1) 개요

등기구동장치는 신호등에 공급되는 전력을 직접 제어하며, 그 제어 결과에 대한 궤환신호를 컨트롤러에 제공하는 기능을 수행한다. 등기구동장치는 110V 및 220V에 사용할 수 있어야 하며, 구동환경의 불규칙한 변화에 대하여 영향을 받지 않아야 한다. 조광제어기능을 수행할 수 있는 환경을 제공하여야 하고, 방열을 고려해야 한다. 또한 유지 보수의 편리를 위하여, 고장이 발생한 LSU부를 교통신호기의 정상 운용 중에 부분적으로(CARD 단위) 교체 할 수 있다.

(2) 구성

등기구동장치는 신호등에 공급되는 전력을 제어하는 전력 제어부, 신호등의 등기 전압을 검출하는 검출회로와 Red Fail 검출회로, DATA LATCH부, LED 구동 회로로 구성된다.

(3) 기능

(가)컨트롤러 CPU 연동기능

- 내부 BUS에 의해 컨트롤러와 통신한다.
- 컨트롤러 CPU의 제어신호에 따라 해당 등기의 AC출력을 제어하고 AC출력에 대한 궤환신호를 판별하여 신호구동부 CPU가 취득할 수 있도록 하는 기능이다.
- 신호등 출력기능
  - 등기부의 R1, Y1, G1, R2, Y2, G2 AC 구동

(나) 신호 등기 감시 기능

등기 검출 회로는 각 등기 신호별 출력상태를 검지하여 컨트롤러에 전달한다.

(다) 신호등(Lamp)의 전력 소모를 적게 하기 위하여 신호등의 밝기를 정상 상태와 심야용 두 가지 상태 이상으로 조절할 수 있다.

(라) 등기부 신호궤환기능

등기부의 R1, Y1, G1, R2, Y2, G2 AC 출력 귀환기능

(마) 신호모순검출기능이 H/W적으로 구성되어 있어야 한다.

등기출력상태와 신호귀환 상태를 비교하는 회로를 구성하여 모순을 검지하고 모순상태를 점멸기로 보고(CONF 단자)해야 한다.

(바) 등기부 신호출력 상태표시

등기부의 R1, Y1, G1, R2, Y2, G2 AC 출력 시 전면 LED 구동

(사) 적색등 이상 검지기능(RF: red Fail)과 G모순 검지기능(G-G: 출력과 피드백신호의 H/W적 비교 판단)을 설정하는 스위치가 있어야 하며, 기능 동작 상태 LED가 표시된다.

(아) 3색 등화기의 LSU에 연결되는 신호등은 LED신호등으로 한다.

(자) 교통신호기에 연결되는 적색 LED신호등은 용이한 Red-Fail검사를 위해 켜졌을 때 최저 소모전력을 5W이상(조광모드시 2.5W 이상)으로 하며 5개를 초과하는 등을 하나의 출력에 연결해서는 안된다. 단, LED표시부 부하가 없을 때 0.1W 이하로 유지되는 신호등을 권장한다.(단, '경찰청 LED 신호등 표준 지침'에 관련 규정이 있으면 이에 따른다.)

(차) 교통신호기에 연결되는 LED신호등은 미약전류에 의한 점등현상을 예방하기 위해 기준전압이 220V인 경우 95V±5% 이하, 기준전압이 110V인 경우 47.5V±5%의 전압에서는 동작하지 않는 상태(Cut-off Status)를 유지하는 LED 등기구를 권장한다.

(카) 교통신호기에 연결되는 LED신호등은 용이한 G-G 모순(Conflict) 검사를 위해 동작하지 않는 상태(Cut-off Status)에서의 임피던스가 10KΩ보다 작아야 한다.

(타) 3색등화기와 4색등화기는 그림의 내용과 같이 H/W적으로 상호 호환성이 없다.

④ 사양

㉮ 동작 특성

- 동작 온도 범위 : -34 ~ +74℃
- 사용 전압 : AC 85V ~ 250V (정격전압 110/220 겸용)
- 정격 전원 주파수 : 60Hz
- 누설전류 : 8mA(110VAC 에서)이하
- 신호구성

R1, Y1, G1, R2, Y2, G2 구성을 기본으로 한 LSU 구성
(구형은 PR, PG, R, Y, A, G 구성을 기본으로 한 LSU 구성이나 표준과 같이 사용할 수 없음)

㉯ 출력회로 수 : 6회로/LSU × 16LSU = 96출력
㉰ 보호회로 : 각 출력 회로별 낙뢰 유입 보호회로 적용(Fuse : 5A 이상)
㉱ 출력전류 허용값: 1.5A/회로 이상, 최대 5A/LSU 이상(동시 사용 전류값 기준)
㉲ 동작중 유지보수 기능 : 교통신호기의 정상적 신호 운용 중 LSU 교체가 가능해야 한다
㉳ 외부 전원의 심한 변동으로부터 내부 회로를 보호하기 위해 AC 공급단에 Fuse를 부착하고 Surge를 감쇄시킬 수 있는 기능을 있어야 한다.
㉴ Lamp Driver는 각각의 신호등에 연결되어 있고 출력이 나가는 신호는 해당하는 전면판 LED 에 표시되어야 한다.
㉵ 신호등 점등 상태 모순을 검지할 수 있는 기능이 내장되어야 한다.
㉶ 각 등기 출력단에 외부전원 Surge를 감소할 수 있는 기능을 내장해야 한다.
㉷ 모순발생 선택기능 : G-G 모순과 Red-Fail 의 두 가지에 대해 각각 모순으로 인정하여 모순 신호를 발생시킬지를 선택할 수 있는 스위치를 제공하여야 한다.

⑤ 등기 구동 스위치 규격
㉮ AC 전력 스위치 (고성능 Relay나 무접점 반도체형도 사용가능)
㉯ 절연 내압 : 1500V 이상(AC 60Hz, 1분간)
㉰ 절연 저항 : DC 500V에서 10 ㏁ 이상
㉱ ZERO CROSS 회로가 있어야 함
㉲ LSU당 연속사용 허용전류 : 5A/LSU
㉳ LSU 등기 출력회로 당 허용 Peak-Current : 120A@10ms
㉴ 신호등 이외에 LSU 출력(신호등 전원선)을 이용하는 장치는 LSU 소자 보호를 위해 다음과 같이 전류 사용량이 제약된다.
- 장치당 Peak-Current : 20A@10msec

㉵ LSU 출력(신호등 전원선)을 교통신호등과 교통신호 보조장치 이외에 조명 등 다른

용도로 사용해선 안 된다.

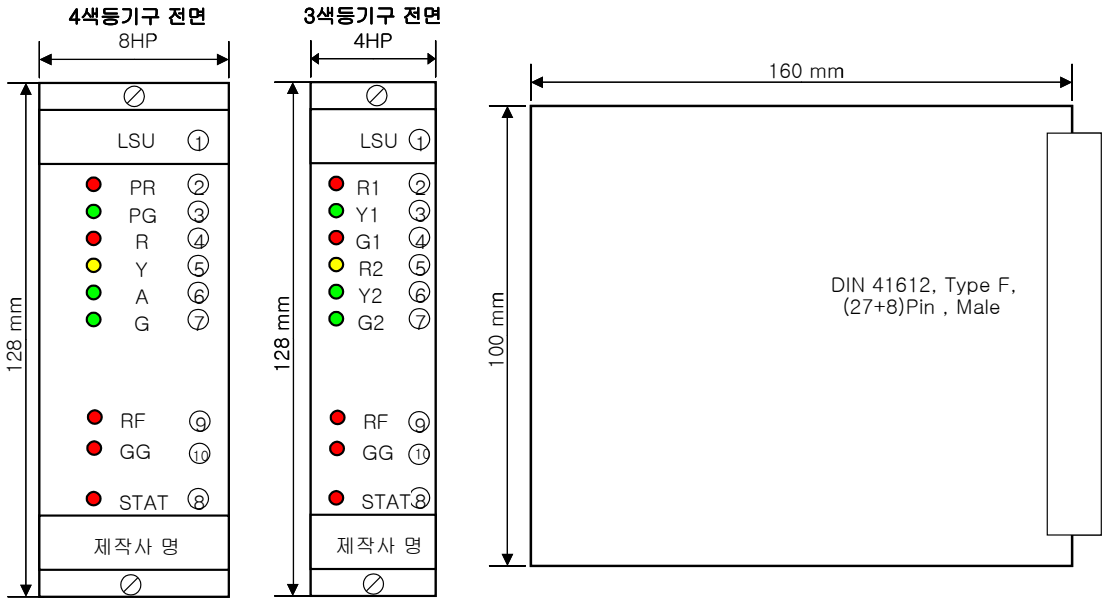


그림 52 등기구동장치 기판 및 전면판 규격

⑥ 기판(PCB) 규격

㉮ 크기 : 160 × 100mm

㉯ 재질 : NEMA(RR-4) Glass Epoxy(내열성)규격 또는 동등한 재질

㉰ 전기적 물질의 표면 : 비 부식성

㉱ 두께 : 1.6 ~ 2.2mm

㉲ Unit에 사용되는 전기소자 : 기본 회로 심벌을 사용하여 표시

⑦ 전면판(Front Panel) 규격

㉮ PCB 접착은 Edge로부터 0.5HP 이격

㉯ 크기 : 3U × 4HP

㉰ 전원 표시 LED와 상태표시 LED 6개 이상

㉱ 전면판 Name Plate(①,⑨) : Unit Name과 제작사명을 표시한다.

㉲ 표시등 : Unit의 동작 상태를 나타내는 Indicator를 표시한다.

㉮ STAT LED의 표시방법에서 모순에 의한 소등일 경우에는 모순 상태를 표시하도록 한다. (참고. 소등 시 12V를 차단하는 경우도 예상되므로, 이에 대비한 STAT 등의 사용 전원을 고려한 것임)

㉯ 유지관리 시 혼란을 방지하기 위하여 STAT LED등은 정상상태에서 녹색계열 색상을 표출한다.

표 61 등기구동장치 전면판 표시등 기능

구분	번호	표시	기능
4색등화기	②	PR	보행자 RED등 상태 표시
	③	PG	보행자 GREEN등 상태표시
	④	R	차량 RED등 상태표시
	⑤	Y	차량 황색등 표시
	⑥	A	차량 좌회전 GREEN등 표시
	⑦	G	차량 GREEN등 상태 표시
	⑧	STAT	동작 상태 표시(소등출력: 꺼짐, 정상출력: 켜짐, 모순발생: 점멸)
	⑨	RF	RED Fail(점등:모순 검지, 소등:모순 미 검지, FLASH:모순상태)
	⑩	GG	G-G 모순(점등:모순 검지, 소등:모순 미 검지, FLASH:모순상태)
3색등화기	②	R1	보행자 RED등 상태 표시 (차량 RED등 상태표시)
	③	Y1	(차량 황색등 표시차량)
	④	G1	보행자 GREEN등 상태표시 (차량 GREEN등 상태 표시)
	⑤	R2	차량 RED등 상태표시
	⑥	Y2	차량 황색등 표시차량
	⑦	G2	차량 GREEN등 상태 표시
	⑧	STAT	동작 상태 표시(소등출력: 꺼짐, 정상출력: 켜짐, 모순발생: 점멸)
	⑨	RF	RED Fail(점등:적색이상검지기능 활성, 소등:비활성, FLASH:모순상태)
	⑩	GG	G-G 모순(점등:H/W모순검지기능활성, 소등:비활성, FLASH:모순상태)

(6) 접속장치(Connector) 규격

㉮ Connector Pin : DIN 41612, Type F, (27+8)Pin, Male

㉯ Data 입출력 Connector Pin 배정

앞서 언급된 바와 같이 NASA의 경우 RCM과 FMEA를 적용하고 별도의 유지보수 관리자를 두어 유지보수관리가 체계적이고 보다 발전하는 방향으로 이루어지고 있지만 국내의 경우 정해진 규격서 내에서 제한적인 사항의 유지보수 관리차원을 보여주고 있다. 이에 따라 국내에서도 FRACAS와 RCM같은 유지보수 관리체계를 도입하여 FMEA를 통해 보다 체계적인 관리가 필요하다.

6. TCS 신뢰성 평가

가. TCS 의 신뢰도 예측 방법

(2차년도 주요 연구 실적)

본 연구에서는 국내 국도상에 설치된 TCS 에 대하여 신뢰성 평가를 실시하였다. 평가방법은 앞에서 설명한 바와 같이 MIL-STD 217F, EPRD를 활용하였다. 이를 실행하기 위하여 Windchill Quality Solutions(WQS)를 이용하였는데, WQS는 신뢰도 분석 도구 키트로 완전 통합형 소프트웨어 제품군이다.

WQS를 이용하여 신뢰도를 예측하는 절차는 다음과 같다.

① WQS에 BOM 입력. BOM은 사용자가 외부에서 작성한 파일을 가져올 수도 있고, 사용자가 직접 WQS에 BOM 정보를 입력할 수 있다.
② System 신뢰도 예측 규격 선택. 신뢰도 규격서로 217F, 217Plus, Telcordia, BellCore 등이 제공된다.
③ 신뢰도 모델링. RBD를 사용하지 않을 경우 기본적으로 직렬로 가정하여 예측 수행한다.
④ 부품별 고장률 산출을 위해 부품의 범주와 하위 범주 선택.
⑤ 부품 고장률의 합으로 시스템 고장률 산출.
⑥ 시스템 입력정보를 이용해 신뢰도 예측.

다음은 TCS 의 신뢰성 평가를 위하여 적용된 부품별 고장률모델들이다.

① 캐패시터: 캐패시터는 4종으로서 CQR(Fixed Plastic, Dielectric), CLR(Fixed, Electrolytic, Tantalum), CSR(Fixed, Electrolytic-solid-electrolyte, Tantalum), CE(Fixed, Electrolytic-Aluminium) 이다. 고장률 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_C \pi_V \pi_{SR} \pi_Q \pi_E$$

λ_b : 기본고장률

$\pi_T, \pi_C, \pi_V, \pi_{SR}, \pi_Q, \pi_E$ 는 온도, 용량, 전압스트레스, 직렬저항(SR), 품질, 환경인자이다.

② 다이오드: 다이오드는 2종으로서 Low Frequency 규격에 해당한다. 고장률 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E$$

λ_b : 기본고장률

$\pi_T, \pi_S, \pi_C, \pi_Q, \pi_E$ 는 온도, 전기스트레스, 접합구조, 품질, 환경인자이다.

③ LED: LED는 발광다이오드에 해당한다. LED 고장률 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_Q \pi_E$$

λ_b : 기본고장률

π_T, π_Q, π_E 는 온도, 품질, 환경인자이다.

④ 저항: 저항은 9종으로서 저항소자 모두 RLR (Resistor, Fixed, Film-insulated)로 되어 있다. 고장률 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_P \pi_S \pi_Q \pi_E$$

λ_b : 기본고장률

$\pi_T, \pi_P, \pi_S, \pi_Q, \pi_E$ 는 온도, 전력소비, 전력스트레스, 품질, 환경인자이다.

⑤ 마이크로프로세서 IC: 마이크로프로세서(CPU Chip)은 1종이다. 고장률 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_P = (C_1 \pi_T + C_2 \pi_E) \pi_Q \pi_L$$

$C_1, \pi_T, C_2, \pi_E, \pi_Q, \pi_L$ 은 IC Chip종류(84pin, IC Socket 사용), 온도, Package, 환경, 품질, 공정숙련도 인자이다.

⑥ EEPROM IC: EEPROM은 1종이며, 고장률 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E + \lambda_{CYC})\pi_Q\pi_L$$

$C_1, \pi_T, C_2, \pi_E, \pi_Q, \pi_L$ 은 IC Chip종류, 온도, Package(ROM 데이터의 쓰고 지우기 반복횟수), 환경, 품질, 공정숙련도 인자이다.

⑦ DRAM: DRAM은 1종이며, 고장률 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E + \lambda_{CYC})\pi_Q\pi_L$$

$C_1, \pi_T, C_2, \pi_E, \pi_Q, \pi_L$ 은 IC Chip종류, 온도, Package(DRAM사용 반복횟수), 환경, 품질, 공정숙련도 인자이다.

⑧ TTL (Microcircuits): TTL IC는 2종, 21 Type이며, 고장률 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L$$

$C_1, \pi_T, C_2, \pi_E, \pi_Q, \pi_L$ 은 TTL IC종류(16pin) 외 1종 IC Chip(44Pin)이며, 온도, Package, 환경, 품질, 공정숙련도 인자이다.

⑨ IC Linear (Microcircuit): IC Linear 1종이다. 고장률 모델은 IC TTL(16pin)과 동일하며, C_1, π_T, π_Q를 산출하여 IC Linear 고장률값을 산출한다.

⑩ Quartz Crystals, Oscillators: 수정발진기는 2종(4.9152Mhz, 32Mhz)이며, 고장률 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_P = \lambda_b\pi_Q\pi_E$$

⑪ 커넥터: 커넥터는 3종, 3Type(Connector General DIN 96Pin 3개, RJ45 8Port 1개, Joint-Jumper stick 28ea)이며, 고장률 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_K \pi_Q \pi_E$$

$\pi_T, \pi_K, \pi_Q, \pi_E$ 는 온도, 체결 및 분리반복횟수/1000시간, 품질, 환경인자이다.

⑫ IC Sockets(Connectors): IC소켓은 5종(84Pin, 44Pin, 32Pin, 16Pin, 7Pin)이며, 고장률 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_P \pi_Q \pi_E$$

π_P, π_Q, π_E 는 온도, 활성화접점Pin수, 품질, 환경 인자이다.

⑬ Switches: 스위치는 1종(Dual-In-Line Package)이며, 고장률 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_L \pi_C \pi_Q \pi_E$$

$\pi_L, \pi_C, \pi_Q, \pi_E$ 는 부하스트레스, 접점배열구조, 품질, 환경 인자이다.

⑭ PCB Assemblies with PTH and SMT: PCB조립 삽입실장(PTH, Plated Trough Holes)방식의 고장률 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_P = \lambda_b \left[N_1 \pi_C + N_2 (\pi_C + 13) \right] \pi_Q \pi_E$$

$N_1, \pi_C, N_2, \pi_Q, \pi_E$ 는 PTH 숫자(N_1), PCB Layer구성, 수작업 납땜량(N_2), 품질, 환경 인자이다.

나. TCS 의 구조분석

TCS의 신뢰성을 평가하기 위해서는 우선 TCS의 구조분석을 실시하여야 한다. 본 연구에서 파악한 BOM을 바탕으로 구조분석을 실시하여 보면, TCS는 주제어부(MCU, Main Control Unit), 신호제어부 (SCU, Signal Control Unit), 기타 장치부로 구성되어있다.

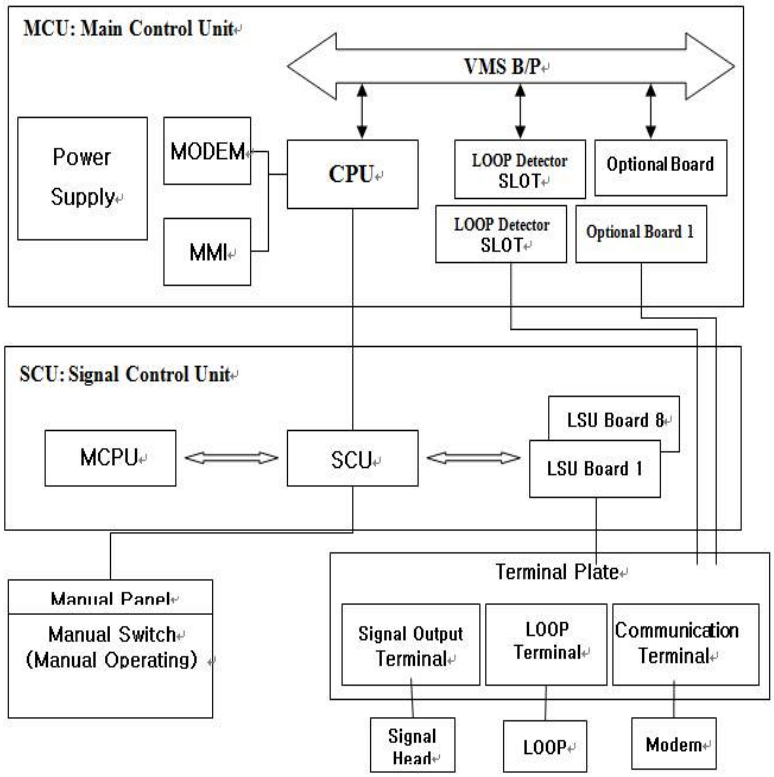


그림 53 교통신호제어기(TCS) 시스템 구성도

다. TCS의 신뢰성 평가

Windchill Quality Solutions에 시스템 신뢰도 예측 규격을 MIL-HDBK-217F로 지정하여 아래 8가지 보드의 Failure rate와 MTBF를 계산하였다. 모든 부품들은 직렬구조 관계로 가정하고 계산하였다. 그리고 작동온도는 30℃로 설정하였다.

(2차년도 주요 연구 실적)

① CPU

CPU는 Integrated Circuit 12종, LED 4종, Resistor 8종, Battery 1종, Teste PIN 1종, Miscellaneous 2종, Switching Device 2종, Connection 9종, Semiconductor 1종으로 구성되어

있다. 단, Integrated Circuit 1종, LED 4종, Battery 1종, Teste PIN 1종은 제외하였다.
CPU의 고장률과 MTBF는 다음과 같다.

표 62 CPU의 Failure rate와 MTBF

Value	Result
고장률	4.620748
MTBF	216415
Reliability	0.999538
Availability	1
MTTR	0

② MCU MB 1

MCU MB 1은 Connection 6종으로 이루어져 있다. MCU MB1 의 Failure rate와 MTBF는 다음과 같다.

표 63 MCU MB1의 Failure rate와 MTBF

Value	Result
고장률	1.129639
MTBF	885238
Reliability	0.999887
Availability	1
MTTR	0

③ MCU MB 2

MCU MB 2는 Connection 10종으로 구성되어 있다.

MCU MB2의 Failure rate와 MTBF는 다음과 같다.

표 64 MCU MB2의 Failure rate와 MTBF

Value	Result
고장률	3.142873
MTBF	318180
Reliability	0.999686
Availability	1
MTTR	0

④ SCU MB V1

SCU MB V1은 Connection 8종으로 구성되어 있다.

SCU MB V1의 Failure rate와 MTBF는 다음과 같다.

표 65 SCU MB V1의 Failure rate와 MTBF

Value	Result
고장률	3.539637
MTBF	282515
Reliability	0.999646
Availability	1
MTTR	0

⑤ MMI

MMI는 Integrated Circuit 4종, Capacitor 6종, Semiconductor 2종, Miscellaneous 1종, Inductor 2종, Resistor 6종, Connection 7종, Switching Device 2종, GND 1종으로 구성되어 있다.

MMI의 Failure rate와 MTBF는 다음과 같다.

표 66 MMI의 Failure rate와 MTBF

Value	Result
고장률	10.829005
MTBF	92345
Reliability	0.998918
Availability	1
MTTR	0

⑥ FLASH_V1

FLASH_V1은 Integrated Circuit 5종, Semiconductor 9종, 점퍼 1종, Resistor 8종, Capacitor 6종, Realy 1종, Miscellaneous 1종, Connection 3종, GND 1종으로 이루어져있다.

FLASH_V1의 Failure rate와 MTBF는 다음과 같다.

표 67 FLASH_V1의 Failure rate와 MTBF

Value	Result
고장률	3.575819
MTBF	279656
Reliability	0.999642
Availability	1
MTTR	0

⑦ SCU

SCU는 Integrated Circuit 7종, Capacitor 5종, Semiconductor 8종, Inductor 2종, Miscellaneous 1종, LED 4종, Resistor 8종, Connection 3종, Switching Device 2종으로 이루어져있다.

SCU의 Failure rate와 MTBF는 다음과 같다.

표 68 SCU의 Failure rate와 MTBF

Value	Result
고장률	7.110808
MTBF	140631
Reliability	0.999289
Availability	1
MTTR	0

⑧ GLSU 4C

GLSU 4C는 Integrated Circuit 7종, Capacitor 7종, TVS 1, LED 3, Inductor 2종, Semiconductor 9종, Resistor 14종, Connection 3종, Switching Device 1종으로 이루어져 있다.

GLSU 4C의 Failure rate와 MTBF는 다음과 같다.

표 69 GLSU 4C의 Failure rate와 MTBF

Value	Result
고장률	10.888352
MTBF	91841
Reliability	0.998912
Availability	1
MTTR	0

⑨ 전체 고장률

다음은 CPU, MCU MB 1, MCU MB 2, SCU MB V1, MMI, FLASH_V1, SCU, GLSU 4C의 Failure rate와 MTBF를 모아놓은 표이다.

표 70 고장률 종합 표

	CPU	MCU MB 1	MCU MB 2	SCU MB V1	MMI	FLASH _V1	SCU	GLSU 4C
고장률	4.620748	1.129639	3.142873	3.539637	10.829005	3.575819	7.110808	10.888352
MTBF	216415	885238	318180	282515	92345	279656	140631	91841

TSC는 MCU와 SCU로 이루어져있다. 이 중 CPU, MCU MB 1, MCU MB 2, MMI는 MCU를 이루고 있고 SCU MB V1, FLASH_V1, SCU, GLSU 4C는 SCU를 이루고 있다.

표 71 TSC 고장률

	MCU (MCU MB1, 2, CPU, MMI)	SCU (SCU MB, SCU, FLASH_V1, GLSU 4C)	TSC (MCU+ SCU)
고장률	19.722270	25.114620	44.836890
MTBF	50704	39817	22303

이를 직렬구조라 가정하고 신뢰도를 예측해본 결과 MCU의 고장률은 19.788870, MTBF는 50,704 (시간)가 나온다. SCU의 고장률은 25.114620, MTBF는 39,817 (시간)이 나오게 된다. 이를 종합적으로 보았을 때 TSC의 고장률은 44.836890이 도출되며, MTBF는 22,303 (시간)이 나오게 된다. 이를 년으로 환산하면 22303/8760 = 2.546 년으로 내구연한 10년보다 매우 작음을 알 수 있다.

(2차년도 주요 연구 실적)

라. 타 TCS MCU 보드의 신뢰성 평가

앞의 결과는 TSC 의 신뢰성이 개선되어져야 함을 보이고 있다. 이 결과를 확인하기 위하여 국내에서 제조되는 TCS 중 시장점유율 40%의 TSC1 과 15%를 점유하고 있는 TSC2의 MCU CPU 보드의 신뢰도를 분석하였다. TSC1의 CPU 보드는 보급형으로 개발되어 부품의 수가 185개로 이루어져 있지만, TSC 2의 CPU 보드는 타 제어시스템을 위하여 개발된 것을 TSC에 응용한 것으로 403개의 부품으로 이루어져 있다. 즉 TSC2는 TSC1보다 상위의 제어기이다. CPU 보드는 캐패시터, 다이오드, LED, 저항, 마이크로프로세서 IC, EEPROM IC, DRAM IC, TTL IC, Linear IC, 수정발진기, 커넥터, IC소켓, 스위치, 부품표면실장기술(SMT)납땜겸용 PCB 등으로 구성되어 있다. 각 CPU 보드에 대하여 MIL-HDBK-217F를 이용하여 고장률을 산출하였다. 예측에 필요한 온도 조건은 앞에서는 30℃를 고려하였으나, CPU 보드의 작동으로 고려하여 기준온도를 40℃를 기본조건으로 하여 산출하고, TSC 내부 온도가 60℃인 경우와 하절기의 함체내부온도로 추정되는 온도 80℃에서의 고장률 값과 수명(MTBF)을 예측하였다. 여기서 60℃를 고려한 것은 우리나라도 유럽이나 일본처럼 TSC 내부온도를 60℃ 이하가 되도록 규정할 경우를 고려하여 예측 값을 제시하고자 한 것이다. 다음 표들은 예측된 고장률을 나

타내고 있다.

표 72 TSC1 고장률예측

Parts	규격		n	40℃	60℃	80℃
Capacitors	100μF/35V 외 2종		77	0.929881	1.509440	2.411645
Diodes	1N4007		1	0.011132	0.020145	0.034085
Discrete Semiconductor			9	0.035663	0.060915	0.097923
Resistors	RW 외1종		41	0.561094	0.692635	0.840705
IC CPU	132pin	80386EX	1	1.420515	2.170443	3.538149
IC CPU Con	44pin	AM85C30	3	1.679509	2.804402	4.855961
IC CPLD	84pin	XC9572	1	0.520436	0.574002	0.671695
IC EEPROM	32pin	27C010	1	0.193087	0.197640	0.205944
IC DRAM	28pin	DS1243Y	1	0.054741	0.057176	0.061617
IC RAM	32pin	684000	2	0.073847	0.088943	0.116474
IC	74HC573	외5종	20	1.135946	1.347289	1.732733
OSC	50Mhz	외1종	2	0.331064	0.331064	0.331064
Conn. DIN	96P male및64P male		2	0.415548	0.567564	0.748284
Conn. D-sub	9P male		2	0.623333	0.851358	1.122440
IC Socket	32P 외4종		6	0.037322	0.037322	0.037322
Stick	Jumper-Pin 외2종		3	0.007792	0.010642	0.014030
Switch	Reset Sw. 외1종		2	0.784498	0.784498	0.784498
LED Holder	(2열*8P)		8	0.003840	0.003840	0.003840
Battery	Ni-Cd		1	0.226336	0.493443	0.984840
PCB PTHs (787ea)	PCBs with PTHs λ_b0.000137		1	0.093439	0.093439	0.093439
PCB SMT	818 mils(600ea)		1	0.863893	0.863893	0.863893
λ_{P_MCU2}				10.002916	13.560096	19.550584
MTBF(hours)				99970.84486	73745.79	51149.37
Life-Time(Years)				11.41	8.42	5.84

표 73 TSC2 고장률 예측

Parts	Div.	Spec.	n	40℃	60℃	80℃
Capacitors	C1	CQR	146	1.338059	1.868699868	2.512847
	C2	CLR	2	0.076979	0.107506521	0.144564
	C3	CSR	2	0.053925	0.07530994	0.101270
	C4	CE	2	0.023497	0.051227241	0.102242
Diodes	1N4001, 1N4148		3	0.033396	0.060433925	0.102254
LEDs			20	0.079252	0.135366959	0.217606
Resistors		RLR	55	0.196303	0.781939922	0.915744
IC CPU	Microprocessor		1	0.613005	0.773704164	1.066784
IC EEPROM			2	0.490336	0.49944185	0.516050
IC DRAM			1	0.089825	0.092259987	0.096701
IC TTL			38	1.756013	1.827718644	1.958494
		44Pin	4	0.538242	0.545790007	0.559556
IC Linear			16	1.310819	1.361135122	1.451044
OSC	OSC 1	4.9152Mhz	1	0.118124	0.118124063	0.118124
	OSC 2	32Mhz	1	0.181747	0.18174748	0.181747
Conn. 96Pin	DIN Type		3	0.056099	0.076621164	0.014030
Conn. 8Port	RS232C		1	0.054542	0.07449386	0.098214
IC Socket	Type1	84 Pin	2	0.037642	0.037642296	0.037642
	Type2	44 Pin	4	0.044919	0.044919485	0.044919
	Type3	32 Pin	2	0.018176	0.018176267	0.018176
	Type4	16 Pin	2	0.012389	0.012388795	0.012389
	Type5	7 Pin	64	0.278823	0.278822742	0.278823
Stick			28	0.072721	0.099323738	0.130950
Switch			1	0.001142	0.001142112	0.001142
PCB PTHs (1412ea)	PCBs with PTHs		1	0.192971	0.192971092	0.192971
PCB SMT	1638 mils(996ea)		1	0.641000	0.641	0.641000
$\lambda_{P\_CPU-Bd.}$			1	8.309946	9.957907245	11.515283
MTBF (Hours)				120,338	100422.7068	86841.1104
Life-time(Years)				13.74	11.46	9.91

두 제어기의 신뢰도 예측 결과를 살펴보면 TSC1은 작동온도를 40℃로 가정한 경우는 MTBF가 11.41년이지만, 폭염을 가정한 80℃ 경우에는 5.84년, 작동온도를 유럽이나 일본과 같이 60℃로 가정하면 8.42년으로 나타났다. 따라서 봄가을 6개월을 작동온도 60℃, 하절기 3개월을 작동온도 80℃, 동절기 3개월을 작동온도 40℃로 가정하면 필드에서의 MTBF는 11.41×1/4 + 8.42×1/2 + 5.84×1/4 = 8.5225년으로 예측된다. TSC의 고장 중 30%가 MCU 에서 발생한다는 점을 감안하면 TSC 전체의 MTBF는 CPU 보드의 30% 이하로 될 것이므로, 8.5225×0.3 = 2.557 년으로 앞의 결과와 유사함을 알 수 있다.

한편 TSC2의 경우에는 MTBF 추정치가 작동온도가 40℃, 60℃, 80℃에 대하여 각각 13.74

년, 11.46년, 9.91년으로 나타났다. 따라서 위와 동일한 작동온도를 가정하면 CPU 보드의 MTBF는 11.6425년으로 예측된다. 따라서 CPU 보다만 고려하면 MTBF 예측치는 교체연한보다 높아 문제가 없는 것으로 판단된다. 그러나 앞에서 살펴본 바와 같이 CPU 보드의 고장이 전체고장의 약 30%인 점을 감안하면 TSC2 전체의 MTBF 는 3.493년으로 예측되어 TSC2도 개선이 필요하다고 판단된다.

한편 신뢰도 예측 결과를 보면 TSC1의 경우에는 IC CPU-con과 IC CPU, IC, capacitor 등의 고장률이 높음을 알 수 있다. 특히 40IC CPU 는 1개 부품의 고장률이 1.42로 매우 높고, IC CPU의 고장률은 부품 3개의 고장률이 1.68로 개별 고장률은 0.56 이다. 한편 IC 들은 20개가 사용되어 고장률이 높은 것으로 나타났고, 일반적으로 고장률이 낮은 것으로 알려진 캐패시터가 77개씩 사용되어 고장률이 높아졌다. 이들 부품들을 보다 신뢰도가 높은 것으로 대체하거나 개수를 줄인다면 CPU 보드의 신뢰도가 높아질 것으로 판단된다.

TSC 2의 경우에도 유사한 경향을 보이고 있는데, 개별 부품으로는 IC CPU 와 PCB SMT의 고장률이 높고, IC TTL, IC linear, 캐패시터 등은 부품개수가 많아 고장률이 높게 나타났다. 특히 캐패시터는 전해캐패시터를 포함하여 152개 씩이나 사용되어 전체 고장률의 18%나 차지하게 되었다. 이들에 대한 설계 개선이 요구된다고 할 수 있다.

마. TCS 의 필드고장률

TCS는 외함을 제외하면 전기전자부품, PCB, 운영 소프트웨어 및 고유의 교통신호제어 알고리즘으로 구성된 시스템 조립제품으로서 필드 고장은 다음과 같은 분포를 가지고 있다.

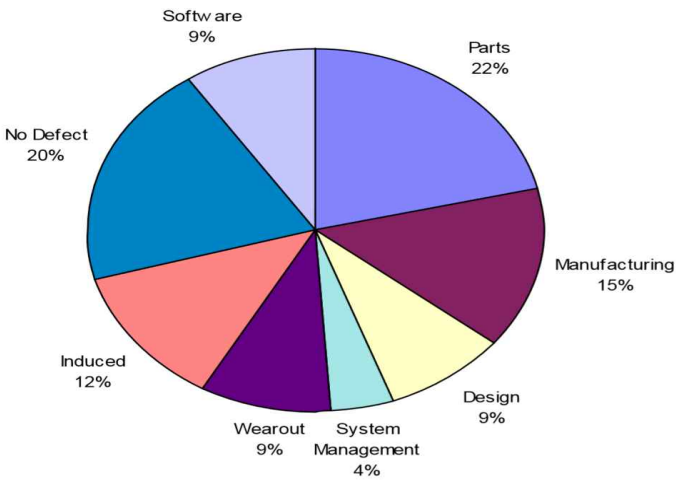


그림 54 TCS의 필드고장 분포

7. PHM 기반의 TCS 관리

가. PHM 접근방법

(2차년도 주요 연구 실적)

PHM이란 Prognostics and Health Management의 약자로, 공학 시스템의 실사용 상황에서 센서를 이용하려 관찰 후 이상상태를 진단하여 사용 환경조건에서 언제 고장에 도달하는지 미리 예지하여, 조치/관리하는 것이다.[124] PHM은 현재상태를 관찰, 진단하고 나아가 미래 상태를 예측하고 선제적으로 조치해 줌으로써 더 장기간 안전하게 유지할 수 있도록 하기위해 시행한다.

PHM 기술은 데이터취득, 전처리 및 특징인자 추출, 고장진단, 수명예측의 순서로 진행되며 각 순서의 특징은 다음과 같다.[125]

① 데이터 취득단계

- 실제 산업설비의 특징을 분석하고 이상 상태를 감지하기 위한 최적의 센서 종류, 위치, 수량을 결정하고 데이터 취득 시스템을 구축

② 전처리 및 특징인자 추출단계

- 전처리 및 특징인자 추출 단계에서는 계측, 수집된 원신호에서 고장과 관련 있는 통계적, 물리적 건전성 특징인자를 추출

③ 고장 진단 단계

- 전처리 및 특징인자 추출단계에서 추출한 건전성 특징인자를 바탕으로 정상/이상을 판단하고 고장 모드를 추정

④ 수명 예측 단계

- 수명 예측 단계에서는 실제로 시스템이 정지에 이르기까지 남은 잔여 유효수명을 예측

같은 제품이 동일하게 제작되었다고 하지만 제품의 성능은 편차를 가질 수밖에 없으며, 제품을 사용하는 환경조건 또한 각기 다를 수밖에 없다. 현재 대부분의 장비의 유지 보수관리는 제품을 만든 업체가 정한 한 가지 기준으로 유지보수를 실시하고 있다. 하지만 이는 사용 환경조건을 고려하지 않은 캘린더 시간이나 사용시간만을 고려하는 유지보수이며, 이는 효율적이지 못한 것이 사실이다. 개별 설비별로 유지보수를 진행하는 것이 효율적이며, 고장 전에는 항상

124) 기계저널, 2013년 7월, 2016년 11월호
125) "인공지능을 이용한 공학시스템 상태진단 및 예지", 윤병동 외4, 대한기계학회. 기계저널

전조증상 따른다. 이 전조증상을 사전에 감지할 수 있다면 큰 고장을 미리 방지할 수 있다.

설비에 PHM을 적용하기 위하여 현재까지 수행된 대부분의 연구들은 설비에 새로운 센서나 측정장치 등을 장착하여 실시간으로 설비의 상태를 모니터링 하고자 하였다. 전자장비의 PHM 분야의 세계적인 리더 역할을 하고 있는 메릴랜드 대학의 CALCE 의 연구에서 보면 고장발생의 리스크가 큰 전자부품을 선정하고, 해당 부품의 열화현상을 모니터링 할 수 있는 센서를 새로 병렬시키고자 하는 방법이 주를 이루고 있다. 그러나 이러한 방법은 기계 장비에는 가능할 수 있으나 TCS의 경우와 같은 전자제어 장치들에서는 적용하기 매우 어려운 방법이다. 그러한 방법들은 새로운 시스템을 개발할 때에 적용이 가능하다.

CALCE에서 그러한 방식을 채택한 것은 전자부품의 열화 특성을 나타내는 성능지표를 직접적으로 측정하고자 하는 시도에서 비롯되었다. 따라서 기설치되어 있는 설비에는 이러한 직접측정보다는 간접측정을 하는 것이 feasible 한 해가 될 것이다. 그러기 위해서는 설비의 열화를 나타내는 간접 성능지표의 식별이 가능하여야 한다.

기설치된 설비에 대하여 직접 측정이 불가능한 경우에는 실시간 측정도 반드시 가능한 것은 아니다. 오히려 일정기간마다 검사를 행하고 검사 데이터를 활용하여 건전성을 평가한 후 잔여수명을 예측하여 언제 고장이 날 수 있을지를 알 수 있도록 하는 것이 더 실용적이라 판단된다. 본 연구에서는 이를 정기점검 PHM (Periodic Inspection PHM) 이라 명명하고자 한다.

나. TCS의 PHM

PHM을 적용하기 위해서는 우선 시스템의 어떤 수준에서 모니터링을 실시할 것인가를 결정하여야 한다. 모니터링 수준은 부품일 수도 있고, 모듈일 수도 있다. 그러나 모듈의 경우에는 여러 부품이 결합된 효과를 나타내게 되므로 여러 개의 측정치가 필요한 것이 일반적이다. 따라서 가급적 부품 수준부터 모니터링을 실시하고, 이를 바탕으로 모듈이나 어셈블리 등을 모니터링 하는 방향으로 진행하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 즉 PHM은 고장 발생 부품의 열화를 모니터링하여 고장 전 전조증상을 찾아 고장예지를 하게 된다. 만일 전조증상을 모니터링 할 수 없으면 제품 자체의 사용환경 조건을 모니터링 한다.

본 연구에서도 TCS 의 PHM 을 위하여 가장 고장이 많이 나는 critical 부품을 대상으로 모니터링을 실시하고자 한다. 다음 표는 TCS의 고장을 나타낸 것인데, 내부의 고장은 크게 가장 많은 고장이 발생하는 OCU(MCU), 26.5%를 차지하고 있는 SCU부, 7.9%인 SSU, 6.1%의 전원장치 고장으로 나뉜다. TCS 내부의 주된 고장은 소프트웨어 이상, 부품 고장, 접촉 불량, 조립불량, 출력이상, 입력부 불량, 출력전원이상, 입력단 이상으로 나뉠수 있다.

표 74 TCS내 고장 발생부분과 특성분석

분석 / 구분	초기 고장 발생 특성 분석				
	1차 분석		2차 분석	3차 분석	4차 분석
내부요인 (69.5%)	1	MCU불량 (OCU불량) 29.0%	소프트웨어 이상	응용프로그램 이상	신호현시시간 이상
			부품 불량	IC 불량	DATA 처리 이상
			접촉 불량	콘넥터 접촉 불량	세척 미비
	2	SCU 불량 26.5%	소프트웨어 이상	제어프로그램 이상	OCU 와 통신두절
			부품 불량	DATA처리/통신 IC불량	Maker별 신뢰성 미흡
			조립 불량	납땜 불량	Cold Soldering
	3	LSU 불량 7.9%	출력 이상	신호 출력부 불량	외부 요인으로 부품 파손
			입력부 불량	콘넥터 접촉 불량	세척 미비
		전원장치 불량 6.1%	출력전원 이상	고온 특성 미흡	출력 정류 소자 파손
			입력단 이상	입력 FUSE 파손	전원투입 시 돌입전류 과다
외부요인 (30.5%)	4	신호등 불량 및 선로 불량 22.9%	신호등기 선로불량	선로단선/SHORT	맨홀, 철주에 선로접속부 단선
					토목공사 시 선로단선/SHORT
		기타 불량 7.6%	수동조작부 오류	현장조작 시 오류	수동스위치조작미흡
			입력전원 이상	정전	인입전원회로차단기 OFF

이러한 고장을 더 구체적으로 분석하면 TCS에서 가장 많이 발생하는 고장들은 다음과 같다.

① 신호모순이 발생하는 SSR의 Triac, 소프트웨어, 전해 캐패시터의 정전용량 변화로 인한 순간정전 방지 불가, 어래스트 불량으로 인한 낙뢰피해 발생

② 시스템고장에 속하는 부품인, MCU부분 내 파워 서플라이 부의 전해 캐패시터, 과전압 차단 부품, IC의 고장, CPU보드 내 ROM/RAM의 고장으로 인한 데이터 베이스의 이상, CMOS계열 I/O Chip의 고장, 리튬이온 베터리의 순간방전(쇼트), SSR 보드에서 높은 발열이나 도금 두께 불량으로 인한 커넥터 접촉불량.

③ MCU부의 빈 슬롯을 방치함으로 인한 먼지 쌓임.

④ SCU 부의 플레쉬보드 고장, SSU의 고장

⑤ 낙뢰로 인한 어래스터고장

위에서 언급한 고장 중 고장이 많이 발생하며, 열화성 고장에 해당하는 것은 전해캐패시터, Triac, arrestor, RAM/ROM, 시몬스계열의 I/O 커넥터, 리튬이온 베터리 등이다. 이들 중 본 연구에서는 TCS의 PHM을 수행하기 위한 기초연구로써 전원단의 낙뢰방지용 arrestor, SSR의 Triac, 전원단의 전해 캐패시터를 선정하였다.

다. TCS 전해캐패시터의 PHM

(1) TCS의 전해캐패시터

캐패시터는 전기에너지를 저장하는 장치로 전기회로에 사용되며, 대부분의 전자장치에 사용된다. 교통신호제어기용 직류전원공급장치(DC Power Supply)에 사용하고 있는 전해캐패시터는 다음 표의 내용에서 알 수 있듯이 직·병렬 회로결합 조립으로 대용량 콘데서를 적용하고 있다. AC-DC 컨버팅 후 직류로 변환하는 다종의 출력을 요구하는 규격을 채택하고 있으며, 각 출력 별 부하는 현장 설치 운영 조건 별로 상이하나 대부분 부하 사용 역률 범위 내에서 사용하도록 기본 설계를 채택하고 있다.[126] 이와 같은 설계구조는 매우 드문 사례인데, 이는 관련 교통신호제어기 요구 규격 내용 중에서 전원순단조건을 충족시키기 위한 것이다.[127][128][129][130]

126) 직류전원공급장치(DC Power Supply)의 경우 최소부하 30%를 기본 부하조건으로 설정하여 대략적으로 70%수준의 Rating에서 적용할 수 있도록 하고 있다. 즉 풀 부하 용량에서는 적용할 수 없도록 하고 있으나, 이 부분은 현장 환경조건 중에서 온도변화 및 입력전원 공급을 하는 쪽으로부터의 전압변동(Line Regulation) 이상 여부에 따른 출력부하에 대응을 할 수 있도록 Rating 범위를 두고서 설계하고 있다.

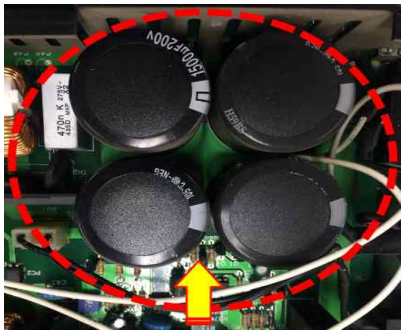
127) VDS(Voltage Dip Simulation) 시험이라고도 한다.

128) 국내 표준 규격 '경찰청 표준 교통신호제어기' Ver. 04, pp. 66, 2004년

129) NEMA TS-1:1983, Section 2. Environmental Standard 및 NEMA TS-2:1992/2003, Section 2. Environmental Standard

130) 전원순단 시험 관련, IEC 61000-4-11:IEC2004, EMC(ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY) Part 4-11: Testing and measurement techniques Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests

표 75 TSC용 직류전원공급장치 내 대용량 전해캐패시터 (04Ver./ 10Ver. 동일함)

구분	구성 형태	국내 표준 규격[131]	비고
○교통신호제어기 MCU 실장 직류전원공급장치(DC Power Supply) 내 대용량 전해캐패시터 적용하여 조립된 사례-현 실제 사용 품 중.  DC전원공급장치 전원부 대용량 전해캐패시터 연결로 부품 조립	일정 범위의 입력전원 전원순단(450ms Max.) 시 교통신호제어기는 정상작동을 계속하여야 한다. 그러나 다소 길지 않은 전원순단 시간이 연속하여 반복 순단 시에는 교통신호제어기는 재부팅(restarting)해야 하며, 일정 규모 전원순단(1000ms) 이상의 전원순단 시에는 반드시 재부팅해야 한다.[132]	○ 녹색(Green)신호의 경우, (1) 200ms 미만: 정상동작 (2) 450ms 이상: 모순인정, 점멸동작 (3) 200이상~ 450 미만 : 1)이나 2)로 동작 ○ 적색(Red)신호의 경우, (1) 700ms 미만: 정상동작 (2) 1000ms이상: 점멸동작 (3) 700이상 - 1000 미만 : 1)이나 2)로 동작[133]	좌기 이유 등으로, 대용량 전해캐패시터를 적용함.

교통신호제어기용 직류전원공급장치는 실온(혹은 상온) 조건에서 녹(Green) 신호, 적(Red) 신호 현시 규격에서 규정하는 전원순단 조건 별로 정상 작동을 유지하여 한다. 더욱이 현장 설치 운영 조건에 부합하는 규격 조건으로 규정되어 있는 환경시험 조건을 그림의 내용과 같이 저온에서 약 11시간 고온에서 약 16시간 등 전체 온·습도 사이클이 약 45시간 동안 피 시험체인 교통신호제어기는 전원순단 시간 별로 정상동작 상태를 유지하고 있음을 확인한다.

교통신호제어기 및 전원공급장치(DC Power Supply) 등 환경시험 프로파일	관련 규격
	국내 규격, NEMA 규격[134][135]

131) 이 부분 국내 표준 규격의 경우, NEMA 규격을 준용하고 있으나, NEMA에서 규정한 내용과는 다소의 내용 차이가 있다. vs. NEMA TS-1, Section 2. Environmental Standard, 1983

132) 일본 경시청 제정 교통신호제어기 표준 규격과 관련하여 교통신호제어기는 교통신호등 표출 신호를 해야 하는 공인기기이므로 교통신호제어기는 정상작동하고 있는데 반하여 정작 교통신호등의 표시가 없는 제어기 정상작동은 의미가 없다는 이유를 들어 전원순단 시 교통신호제어기의 정상작동 만을 요구하지는 않고 있다. 단지 적색 모순 시험은 엄격 수준으로 준수하고 있다.

133) 국내 표준 규격 '경찰청 표준 교통신호제어기 Ver. 04, pp. 71-72, 2004년

134) 국내 표준 규격 '경찰청 표준 교통신호제어기' Ver. 04, pp. 206~209, 2004년 — NEMA TS-1:1983, Section 2. Environmental Standard 일부 내용은 국내TSC 규격 내용에 초두부터 기준내용으로 적용하고 있다.

135) NEMA TS-1, Section 2. Environmental Standard, 1983

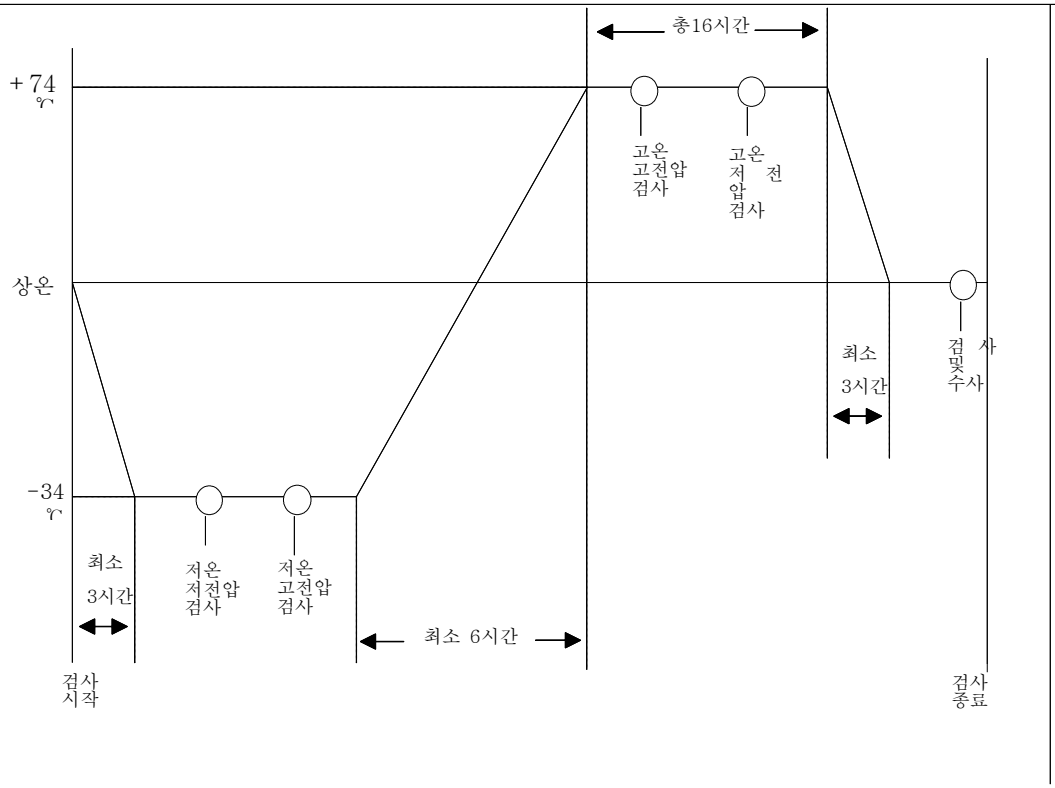


그림 55 온·습도 환경시험 PROFILE - 국내규격, NEMA TS-1 규격 동일함

이와 같은 시험 절차로 인하여, 실질적인 전해캐패시터 용량은 상온 조건에서의 용량에 비하여 상당히 더 큰 용량으로 추가하여 설계된 용량으로 반영하여야 한다.[136] 이 것은 결국 리액턴스 전기적 특성을 많이 부가하는 경우이기 때문에 DC Power의 부하조건 별 (예, 최소부하, 정격부하, 최대부하 등 및 전기적 입력전원 가변범위 최저, 최고 레벨 등의 조건)에 따른 초기 DC Power 입력 전원 투여 시 돌입전류(In-Rush Current) 과다 발생으로 이어지는 것을 피할 수 없다.[137] 국내 표준 규격의 경우 입력전원을 220VAC로 규정하고 있지 않고 있기 때문에 부하조건 별 돌입전류 값은 현 110VAC 보다 2배 수준으로 증가한다고 예상하였을 시 이와 같은 리액턴스 구성 조건에서의 타 소자 부품류 등 구성품 성능에 미칠 수 있는 것은 상당하다고 보아야 한다.

그러나 현장 설치 운영 조건에서는 이와 유사한 온·습도 반복 및 외부의 전기적 특성, 전자파 조건 등이 포함하는 보다 더 좋지 않는 악 조건(worst case)이 지속하는 경우에 상응하는 내용으로서 사실상 전해캐패시터(electrolyte capacitor)의 열화 조건 가중으로 직류전원공급장치 직류성분에 리플노이즈(Ripple & Noise level)성분에도 악영향 초래로 이어지게 된다.[138]

(2) 전해캐패시터의 고장

전해캐패시터의 고장 모드는 크게 1) 캐패시턴스(Capacitance) 감소, 2) ESR 증가, 3) 누설전류(Leakage Current) 증가로 나눌 수 있다. 다음 그림은 전해캐패시터의 구조를 나타낸 것이다.

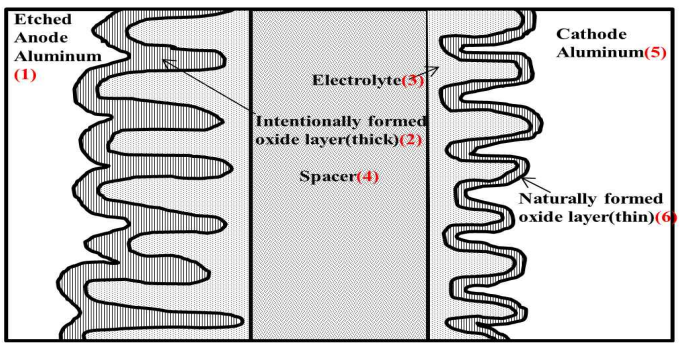


그림 56 전해 커패시터의 구조

136) 선진국의 경우 UPS 등을 사용하여 이 부분에 개선하는 기술 방안으로 적용하는 사례가 있음-일본, 유럽 등

137) 국내 규격의 경우, 입력 돌입전압(Inrush Current) : 입력 110VAC, 출력 최대 부하전류 상태에서 전원 투입시의 돌입전류(突入電流, In-Rush Current)는 30A 이하이다. (입력전압의 위상각 90°, 270°)- p.62, 국내 표준 교통신호제어기 Ver. 04.

138) TR 62380,IEC:2004. p. 61.; 전해캐패시터(electrolyte capacitor)의'Failure modes'는 개방회로(Open-circuits)가 90%를 차지하며, 단락회로(Short-circuirs)가 10%를 차지하는 것으로 보고되고 있다.

(가) 캐패시턴스(Capacitance) 감소

캐패시턴스는 전하를 저장하는 능력을 가진 성질을 말한다. 즉 이는 캐패시터의 용량이다. 캐패시턴스가 감소 한다는 것은 캐패시터의 전체 용량이 감소함을 말한다. 그리고 이 용량의 감소는 커패시터가 고장의 원인이 된다. 표준 접근 방식에 의하면 캐패시턴스가 초기 캐패시턴스에 비해 15- 20% 감소하였을 때 고장으로 간주한다.[139]

캐패시턴스가 감소하는 주요한 이유는 전해 캐패시터 내의 열 발생이다. 이는 캐패시터 내에서 소비되는 전력의 손실과 관련 있다. 전력 손실은 아래의 식을 사용하여 계산된다. 식에서 Ripple Current란 전류에 교류 성분이 포함된 맥동 전류[140]를 말하며 이는 전해 캐패시터가 사용되는 모든 회로에서 발생한다. Ripple Current의 증가는 캐패시터의 소비 전력이 높아지는 원인이 되고 이는 내부 온도 상승으로 이어져 전해액의 온도가 높아지고 전해액의 증발을 유도하게 된다. 결국 이는 캐패시터의 고장으로 이어진다.

$$P = I_R^2 \, ESR$$

P = 커패시터 내 소비 전력

I_R = RMS Ripple Current

ESR = 등가 직렬 저항

다음 식에서 볼 수 있듯이 내부의 전해액이 증발하게 되면 단면적(A)이 줄어들게 되고 캐패시터의 캐패시턴스(전체 용량, C)가 줄어들게 된다.

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

C = Capacitance

A = 금속판 단면적 (2개의 판이 겹치는 부분)

ϵ = electric constant

d = 두 개의 금속판 사이의 간격

---

139) Emerson Network Power, “Capacitors age and capacitors have an end of life,” Emerson Network Power, Columbus, 2008.

140) 두산백과, https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1092109&cid=40942&categoryId=32372

(나) ESR 증가

ESR은 등가직렬저항(Equivalent Serial Resistance)의 약자이며 이는 캐패시터가 캐패시턴스 이외에 가지고 있는 고유한 저항 값이다.[141] 앞의 식을 보면 ESR 은 커패시터 내 소비전력과 비례관계를 가지고 있다. 따라서 ESR증가 또한 캐패시터 내부 온도를 상승시켜 캐패시터를 고장에 이르게 한다.[142]

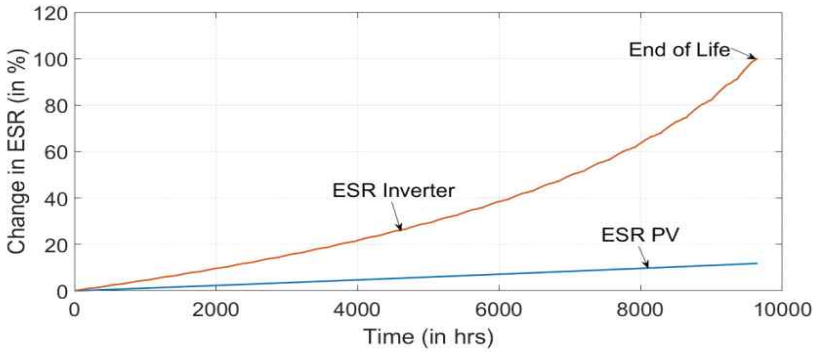


그림 57 ESR의 변화와 커패시터의 수명과의 관계 곡선

위의 그림을 통해 알 수 있듯이, ESR의 변화는 수명과 밀접한 관계를 보이며 캐패시터가 노화될 수 록 ESR값이 증가한다. 통상적으로 DXF이 200-300% 증가한 경우 캐패시터의 고장으로 판단한다.

다음 그림은 ESR 증가와 용량감소가 시간에 따른 변화를 나타낸 것이다.

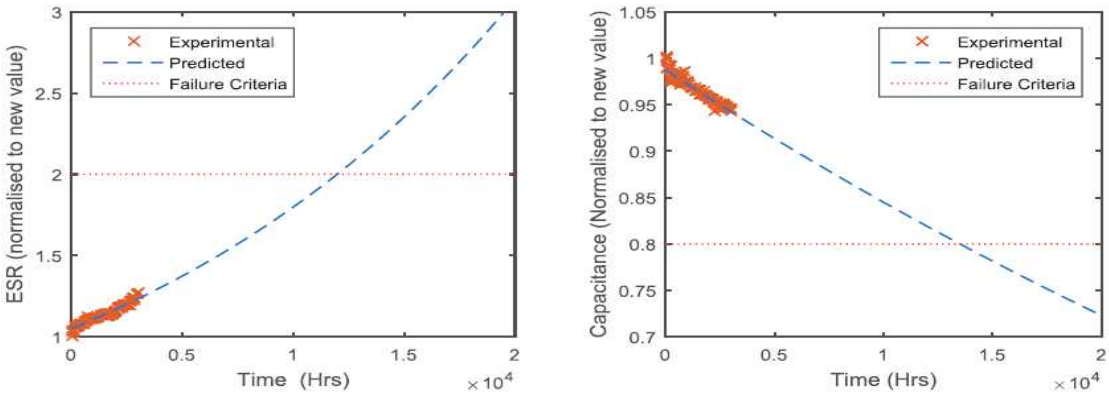


그림 58 시간에 따른 ESR값의 변화와 전해 캐패시터의 용량 변화.

141) http://m.blog.daum.net/tangleguy/18221845?np_nil_b=2, ESR이란 무엇인가?, 2013

142) Mission Profile Based Evaluation of Capacitor Reliability in Two Stage Grid Feeding Photovoltaic Inverter, SagarB. Narale, P Nandha Kumar, Md, Waseem Ahmad, D.S. More and Sandeep Anand, IEEE, 2017, 11p

ESR 증가와 용량감소는 온도에 따라 달라지는데, 다음 그림은 이러한 관계를 나타낸 것이다.

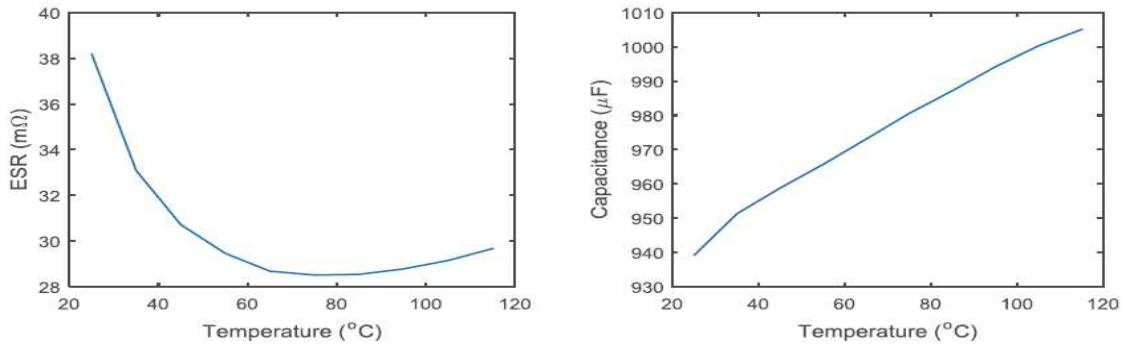


그림 59 온도 변화에 따른 전해 캐패시터의 ESR과 용량 변화

(다) 누설 전류 증가

캐패시터에 있어서 누설 전류란 두 금속판 사이에 흐르는 미세한 양의 전류를 의미한다. 모든 절연체는 사실상 전압이 가해질 때 매우 작은 전류를 전달한다. 따라서 캐패시터에 전압이 가해질 때 유전체 물질을 통해 미세한 양의 전류가 흐르게 되는 것이다. 누설전류의 요인에는 알루미늄 산화피막인 유전체의 분극에 의한 것, 유전체의 용해, 생성에 기인한 것, 유전체의 습기 부착에 의한 것, 염소나 철분물의 불순물의 존재에 의한 유전체의 파괴가 있다.[143]

누설 전류는 캐패시터 회로에 있어서 불필요한 성분이지만 기본 재료 제조 공법의 선택함에 따라 그 값을 저하 시킬 수는 있지만 완전히 없앨 수 없다. 누설 전류 값은 온도, 시간. 인가전압 등에 의존성을 가지고 있다. 앞서 언급한 요인들에 의해서 누설 전류 값이 증가하게 되면 커패시터에 열이 발생된다. 열은 전해액 증발과 전해액 내에서의 화학적 변화를 유도하는 가장 큰 원인이 되며 커패시터는 고장 상태가 된다. 다음 그림은 전해캐패시터의 누설전류를 경년변화에 따라 나타낸 것이다.

143) 삼화 전기, http://www.samwha.co.kr/electric/customer/tech/TEC1.html

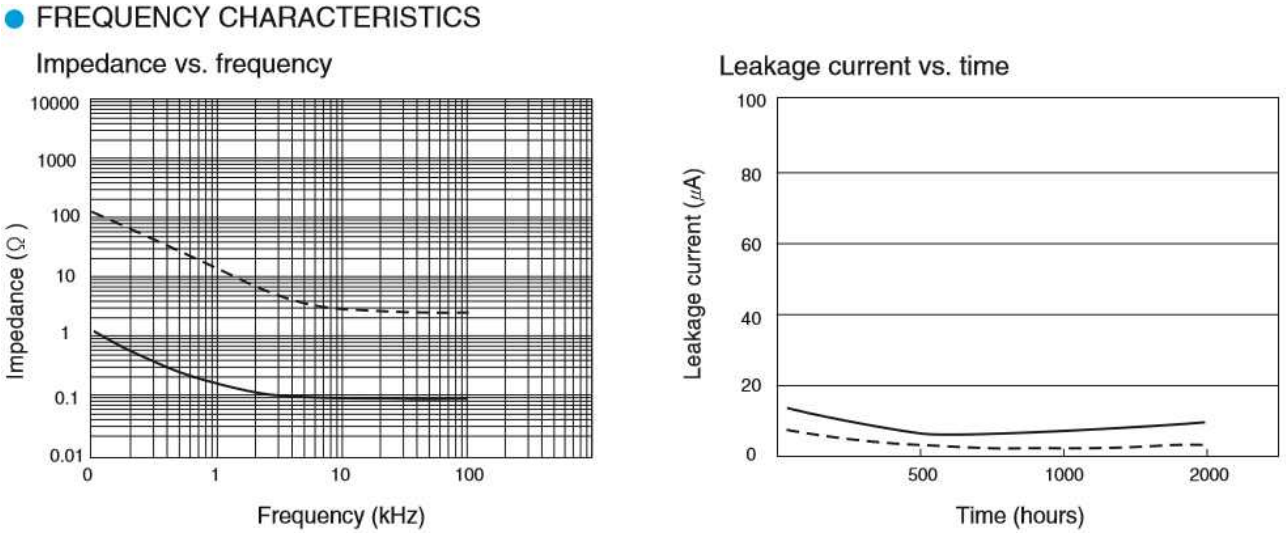


그림 60 전해캐패시터 경년변화별 누설전류

(3) Swelling 이미지 기반 전해 캐패시터의 건전성 진단

앞에서 살펴 본 바와 같이 전해 캐패시터의 주요 고장은 용량감소, ESR 증가, 누설전류 증가등이 3가지가 있다. 전해 캐패시터의 건전성 평가에 대한 연구는 많이 이루어져 왔는데[144][145][146][147], 대부분은 ESR 증가를 실시간으로 측정하여 고장 여부를 판단하고자 하는 것들이었다. 그런데 캐패시터의 ESR을 측정하기 위하여는 캐패시터를 회로에서 분리하거나 시스템을 off 시키고 측정할 수 있도록 회로에 센서를 새로 장착하여야 하므로 기존에 있는 시스템에는 적용하기 힘들고, 새로운 시스템을 개발하는 경우 고려할 수 있는 방식이다. 이러한 이유로 ESR을 이용한 전해캐패시터의 PHM은 대부분 UPS 와 같은 대형시스템에 대해서만 이루어졌다. 이러한 점을 고려하면 TSC 에 활용되고 있는 전해 캐패시터에 대하여는 회로를 수정하지 않는 방법 또는 로프-라인으로 측정할 수 있는 방식을 고려하는 것이 바람직하다고 판단

144) 정정훈(鄭正勳)(2012), DC - Link 전해 커패시터의 온라인 고장진단 기능을 갖는 무정전전원시스템, 가천대 석사학위논문.
145) M. Rigamonti, P. Baraldi, E. Zio, D. Astigarraga, and A. Galarza (2016). “Particle Filter-Based Prognostics for an Electrolytic Capacitor Working in Variable Operating Conditions,“ IEEE Trans. Power Electronics, v. 31, No. 2, 1567-1575.
146) K. Praveen, N. Kulshrestha, L. Srivani, D. Thirugnanamurthy, B. K. Panigrahi (2018). “Prognostics of Electrolytic Capacitors under Inrush Current Overstress,” International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET).
147) Q. Qin, S. Zhao, S. Chena, D. Huang, & J. Liang (2018). “Adaptive and robust prediction for the remaining useful life of electrolytic capacitors,“ Microelectronics Reliability, v87, 64-74.

된다.

TSC 의 알루미늄 전해캐패시터는 TSC 운영 시 주변 온도, 습도, 진동·충격 및 인입되는 서지성 전기적/전자기적 변화 스트레스를 받는 환경조건에서는 캐패시터 하부로부터 전해액의 누유로 인한 캐패시터 자체 고장 뿐만 아니라 이로 인하여 주변 부품들에 고장요인을 야기하게 된다. 또한 내부적으로는 캐패시터의 반복적인 충전-방전 과정에서 발생하는 전류로 인하여 캐패시터 내부의 온도가 높아지고, 이로 인하여 전해액의 증발이 발생한다. 이 과정에서 발생한 가스로 인하여 캐패시터 내부의 압력이 높아지고, 결국 캐패시터의 부풀어오름 현상이 swelling 이 발생하며, 이후 캐패시터의 용량감소와 ESR 증대를 야기할 수 있게 된다. Swelling 이 심해지면 캐패시터의 폭발로도 이어지는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 캐패시터의 swelling 현상을 이용한 PHM 방법을 제시하고자 한다.[148] 전해 캐패시터는 열화 정도에 따라 윗면이 부풀어 오르는 특성을 갖고 있다. 이를 이용하여 캐패시터의 이미지를 통해 열화의 정도를 파악하는 방법론을 제시한다.

캐패시터의 Swelling 정도를 파악하기 위해서는 카메라를 통해 캐패시터의 이미지를 획득하는 것이 필요하다. 일반적인 이미지는 배경이나 빛으로 인한 노이즈가 껴있어서 그대로 사용하기에는 어려움이 있다. 이진화 작업을 통해 일반적인 이미지를 아래의 그림과 같이 흑과 백의 이미지로 추출하여 캐패시터 윗면의 중심점을 식별하기 쉽도록 한다.

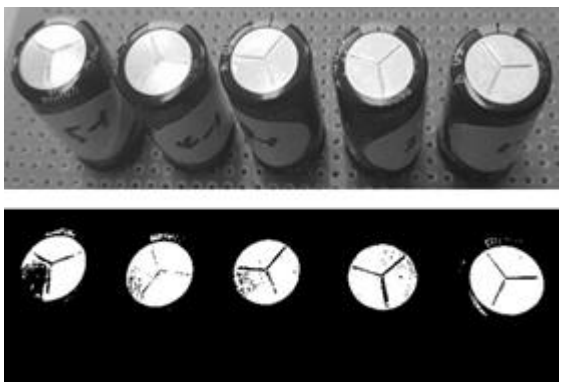


그림 61 이진화 작업 전후의 캐패시터 이미지

이러한 캐패시터 이미지를 통해 중심점 및 장단축의 길이와 같은 정보들을 사용하여 캐패시터의 Swelling 정도를 계산할 수 있다.

148) 캐패시터 제조기업 전문가들과의 협의과정에서 캐패시터의 고장발생여부는 우선 목시적으로 부풀어 오름 현상과 발열 여부로 판단함을 알 수 있었다. 전기적 특성 측정은 고장 시료를 분리하여야만 가능하다고 한다.

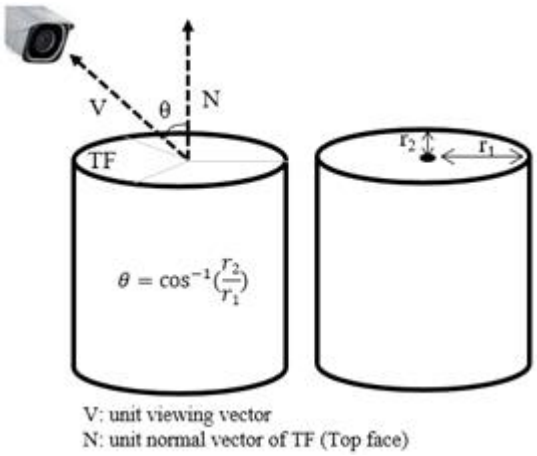


그림 62 카메라 각도 계산

우선 캐패시터를 찍은 카메라와 캐패시터 윗면의 수직인 벡터가 이루는 각도(Θ)를 구하는 것이 필요하다. 이는 이미지의 장축과 단축의 길이를 비교하여 얻을 수 있으며 이에 대한 식은 아래와 같다.

$$\theta = \cos^{-1}\frac{r_2}{r_1}$$

열화가 진행됨에 따라 윗면이 Swelling되면 캐패시터 중심의 위치가 이동하게 된다. 맨 처음 신품 캐패시터의 중심을 C_o, 열화된 캐패시터의 중심을 C_m이라 하면, $\overline{C_oC_m}$가 열화의 정도(Swelling된 정도)라고 할 수 있다.

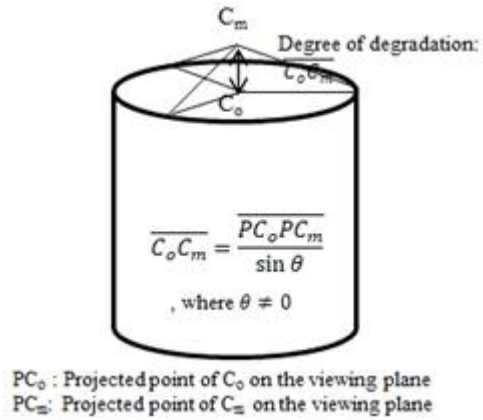


그림 63 Swelling 정도 계산

위 그림과 같이 $\overline{C_oC_m}$는 아래와 같은 식으로 계산이 가능하며, 이때 각도 Θ는 0이 되면 안 된다.

$$\overline{C_oC_m} = \frac{\overline{PC_oPC_m}}{\sin\theta}$$

캐패시터의 커패시턴스(용량)감소는 열화 진행을 가장 확실히 알 수 있는 요소이며 커패시턴스가 초기 값 보다 15-20% 감소했을 때 고장이라고 판단한다. 따라서 커패시턴스의 감소와 캐패시터의 Swelling된 정도와의 관계를 이용하여 캐패시터의 고장판단의 지표로 사용할 것을 제안한다. 관계 파악을 위해 30개의 캐패시터(시료, Samwha, 50V 1500μF)를 5개씩 6개의 군집으로 나누어 열화정도를 달리하여 준비하였다. 커패시터에 원래 정해진 극성(정방향)으로 전압을 인가해 파괴 시킬 경우 높은 전압을 인가하는데 반해, 역전압을 인가하면 더 적은 전압에 의해 동일한 현상을 쉽게 재현할 수 있다. 커패시터에 역전류를 흘려 커패시터의 열화를 이끌어냈으며 역전류를 가했을 때 커패시터가 터질 수 있기 때문에 커패시터의 상태를 계속 체크하여 역전류의 세기를 조절하였다. 이를 이용해 열화정도를 달리하여, 캐패시터의 열화를 측정할 수 있는 지표중의 하나인 캐패시터의 용량과 Swelling 정도를 측정하였다. 군집 1번의 커패시터는 1분 동안 역전류를, 군집 2번의 커패시터에는 2분 동안 역전류를 흘렸으며, 나머지 군집의 커패시터들에도 각 3분, 4분. 5분. 6분 동안 역전류를 흘려 커패시터를 열화 시켰다. 아래의 그림을 보면 군집1보다 군집6에서 커패시터의 윗 부분이 눈에 띄게 부풀어 오른 것을 확인할 수 있다.



그림 64 6단계로 열화 시킨 커패시터

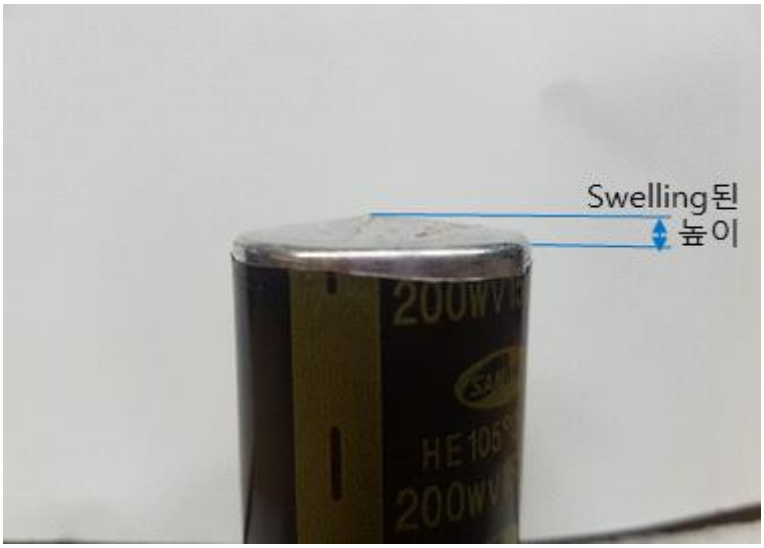


그림 65 Swelling된 커패시터

아래 <표 89>는 실험한 캐패시터의 특성치(커패시턴스, ESR, 손실값)와 커패시터의 높이를 측정한 데이터이다. 시료 N은 어떠한 스트레스도 주지 않은 커패시터의 특성치와 높이를 나타낸 것이다. 캐패시터의 높이는 커패시터 전체의 길이를 잰 것이다. Swelling된 높이는 Swelling되어 부풀어 오른 정도를 의미한다. 열화 된 커패시터의 높이에서 스트레스를 가하지 않은 캐패시터(시료 N)의 높이를 뺀 값이며 실제 부풀어 오른 치수를 나타낸다.

열화된 정도에 따라 커패시턴스(용량)는 감소하고 ESR은 증가하며 손실값은 커지는 것을 알 수 있다. 이 특성치들 중 가장 눈에 띄게 변화하고 있는 것은 커패시턴스(용량)이다. 그리고 커패시터의 높이는 열화 정도가 클수록 증가하고 있다. 또한 ESR이나 손실값의 증감보다 커패시터가 노후 됨에 따라 꾸준히 높아지고 있었다. 이는 커패시터의 고장의 판단의 근거로 커패시턴스(용량)의 감소와 커패시터의 높이 변화간의 관계를 분석하는 것이 다른 특성치와의 관계보다 주목하여 봐야할 이유이다.

표 76 열화된 커패시터의 용량과 Swelling된 높이

시료 번호	용량 C_s(μF)	ESR(R_s)	손실값(D)	캐패시터의 높이(mm)	Swelling된 높이(mm)
1.1	1346.51	0.0467	0.394	50.55	0.15
1.2	1381.06	0.0461	0.399	50.46	0.06
1.3	1348.51	0.0458	0.398	50.54	0.14
1.4	1350.32	0.0483	0.414	50.65	0.25
1.5	1354.48	0.0482	0.411	50.72	0.32
2.1	1342.54	0.0489	0.414	51.71	1.31

2.2	1347.8	0.0482	0.406	51.53	1.13
2.3	1328.18	0.0482	0.402	51.3	0.9
2.4	1383.23	0.0486	0.422	51.35	0.95
2.5	1366.21	0.0482	0.415	51.44	1.04
3.1	1340.12	0.0499	0.42	52.24	1.84
3.2	1323.48	0.0501	0.16	51.93	1.53
3.3	1317.15	0.0503	0.415	52.3	1.9
3.4	1327.91	0.0504	0.421	52.02	1.62
3.5	1341.51	0.0513	0.433	52.17	1.77
4.1	1328.07	0.0503	0.421	52.38	1.98
4.2	1348.61	0.0482	0.407	52.57	2.17
4.3	1305.73	0.05	0.411	52.24	1.84
4.4	1346.51	0.0488	0.412	52.03	1.63
4.5	1320.23	0.0498	0.416	52.26	1.86
5.1	1323.15	0.0469	0.39	52.39	1.99
5.2	1311.69	0.047	0.393	52.53	2.13
5.3	1305.82	0.0483	0.396	52.25	1.85
5.4	1307.78	0.0497	0.408	52.52	2.12
5.5	1281.54	0.0499	0.401	52.43	2.03
6.1	1294.36	0.0472	0.385	52.47	2.07
6.2	1288.13	0.048	0.392	52.48	2.08
6.3	1271.35	0.0491	0.391	52.69	2.29
6.4	1229.82	0.049	0.379	52.94	2.54
6.5	1313.02	0.0495	0.393	52.5	2.1
N	1385.02	0.0434	0.379	50.4	0

아래의 그림과 같이 그래프를 그려 열화 정도에 따른 커패시터의 커패시턴스 감소와 커패시터가 Swelling된 높이를 파악하였다. 가로축은 1-6까지의 군집, 세로축은 각각 커패시턴스와 Swelling된 커패시터의 높이이다.

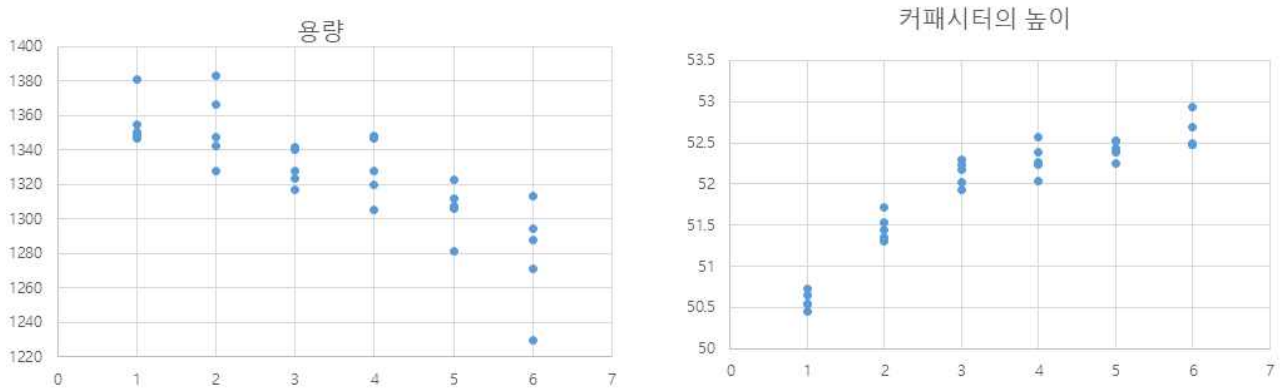


그림 66 커패시터의 용량과 높이 그래프

커패시턴스와 Swelling된 높이의 관계를 파악하기 위해 회귀분석을 실시하였다. Origin프로그램의 Fitting탭을 이용하여 Model ExpDec1으로 Fitting한 결과이다.

R-Square값은 데이터와 Fitting한 분포가 부합한지 보여주는 지표로 1에 가까울수록 좋은 결과라고 판단한다. ExpDec1과 커패시턴스-용량 데이터는 0.71227의 R-Square값을 갖는다.

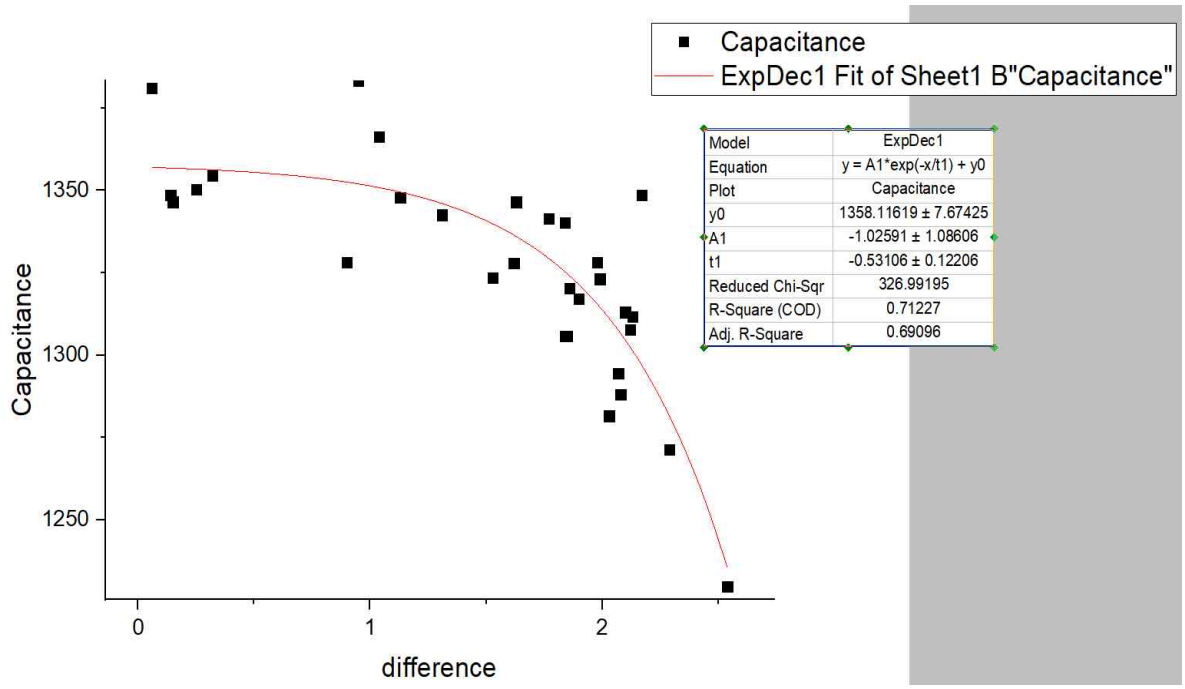


그림 67 커패시턴스-높이 회귀

$$y = y_0 + Ae^{-\frac{x}{t}}$$

Number: 3

Names: y0, A, t

Meanings: y0 = offset, A = amplitude, t = time constant

Lower Bounds: none

Upper Bounds: none

그림 68 ExpDec1 모델의 상수에 대한 설명

커패시터의 용량이 초기치 대비 20% 감소하였을 때, 고장으로 판단하게 되며 스트레스를 가하지 않은 커패시터(시료 N)의 용량이 1385.02μF이므로 용량 1108μF가 고장 판정 기준이 된다. 아래 그래프는 커패시턴스와 높이간의 관계를 나타내는 분포와 고장 판정기준을 표시하였다. 커패시턴스가 고장일 때(용량이 1108μF일 때) 커패시턴스가 부풀어 오른 높이는 약 2.75mm임을 알 수 있다. 결론적으로 커패시터의 Swelling된 높이에 대한 고장 판단 기준이 있다면 카메라로 커패시터를 모니터링하여 커패시터의 노후된 정도에 대한 정보를 얻을 수 있을 것이다.

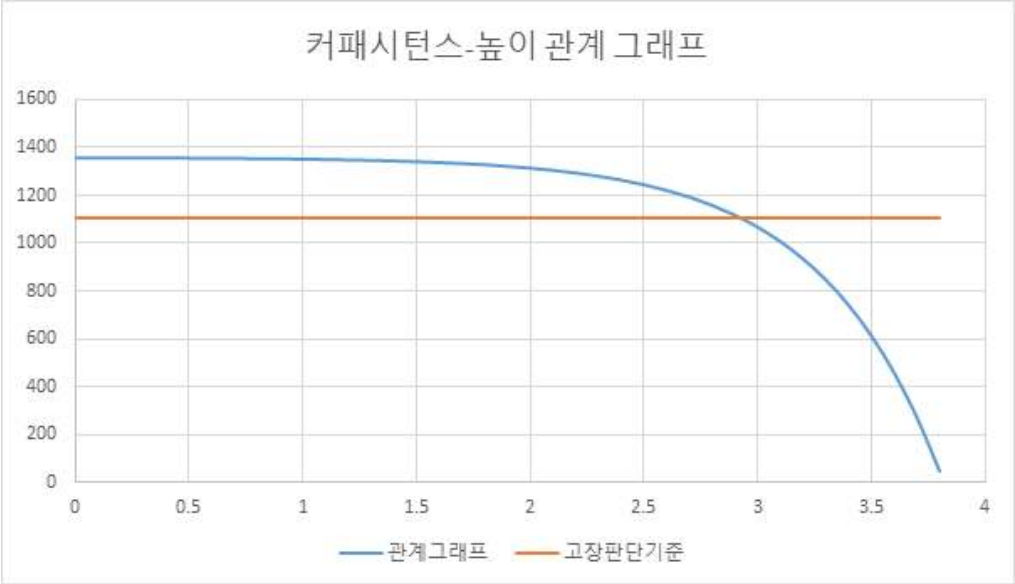


그림 69 커패시턴스-높이 관계 그래프

실험에서 이와 같이 커패시터가 열화 됨에 따라 커패시턴스가 감소하고 Swelling되어 부풀어 오른다는 고장 메커니즘을 이용하여 관계그래프를 그려 커패시터의 고장을 체크할 수 있었다. 따라서 두 관계 그래프를 교통신호제어기 내 커패시터의 PHM을 위해 적용할 수 있을 것으로 생각된다. 이 방법은 커패시터의 직접적인 특성치나 커패시터에 가해지는 스트레스를 모니터링 하지 않고도 커패시터의 열화 정도를 파악할 수 있는 장점이 있다. 카메라 위치에 제약을 받지 않고 물리적으로 부풀어 오른 높이를 파악할 수 있으므로 설치의 어려움 또한 없을 것으로 예상한다. 추가적인 회로나 새로운 장치를 추가하지 않아도 되므로 전국에 설치되어 있는 기존의 교통신호제어기에 본 연구의 PHM방법론을 적용하는데 비용적인 측면도 다른 모니터링 방법들 보다 우수할 것이다.

(4) 커패시터의 열 발생 감지 고장 모드 이용

캐패시터는 수동소자로서 시간이 지남에 따라 유전체 내압 성능이 감소된다. 열화가 진행됨에 따라 캐패시턴스 값은 서서히 감소하고 저항 값(ESR)은 서서히 증가한다. 앞에 세 가지의 고장 모드에 대한 고장 메커니즘을 보면 대부분의 열화의 원인은 열이라는 것을 알 수 있다. 열은 커패시터의 온도를 높이게 되고 이는 단락이나 커패시터의 폭발로 이어질 수 있다. 따라서 미연에 이를 감지하여 커패시터의 교체나 수리가 이뤄져야 한다.본 연구에서는 커패시터의 고장을 미연 방지하기 위해 커패시터의 가장 큰 고장 원인인 열(온도 상승)을 열화상카메라로 사전에 감지할 수 있는 방법을 제안한다. 이는 커패시터의 ESR, Ripple Current, Leakage Current 등의 전기적 특성들을 측정하기 위해서는 별도의 측정 장치나 따로 회로나 보드를 제작하여야 한다는 번거로움이 발생한다. 특히 작은 용량의 커패시터나 여러 개의 커패시터의 열화를 감지하여야 할 경우 Cost Effectiveness 가 떨어진다. 하지만 본 연구에서 제안하는 방안은 전기적 특성을 따로 측정하지 않아도 되어 비용을 줄이고 설치의 간편하다는 장점이 있다. 대용량 커패시터나 커패시터가 많은 부품에 열화상카메라를 설치하여 커패시터에 대한 온도 정보를 얻을 수 있다. 이는 실시간으로 모니터링하지 않아도 이미지 처리를 통해 커패시터의 열화 여부를 파악할 수 있다.

열화상 카메라로 커패시터의 열을 감지할 수 있는지 알아보기 위해 실험을 진행하였다. 실험에 쓰인 커패시터는 <그림 109>이며 25V, 1000μF이다. Ripple 저항기를 사용하여 <그림 110>과 같이 일주일간 130만 번의 충격을 인가하는 방식으로 커패시터를 열화 시켰다.

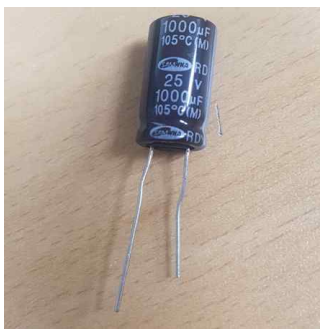


그림 70
시료(커패시터)

브레드보드판에 커패시터를 연결시켜 왼쪽 부분의 커패시터들은 3일, 오른쪽 부분의 커패시

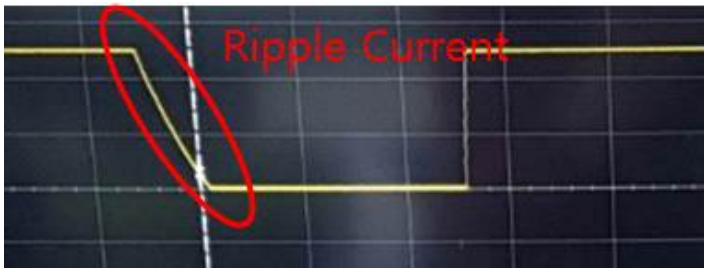


그림 71 커패시터에 인가한 Ripple Current

터들은 7일 동안 열화 Ripple Current를 주어 열화 시켰다<그림111>.

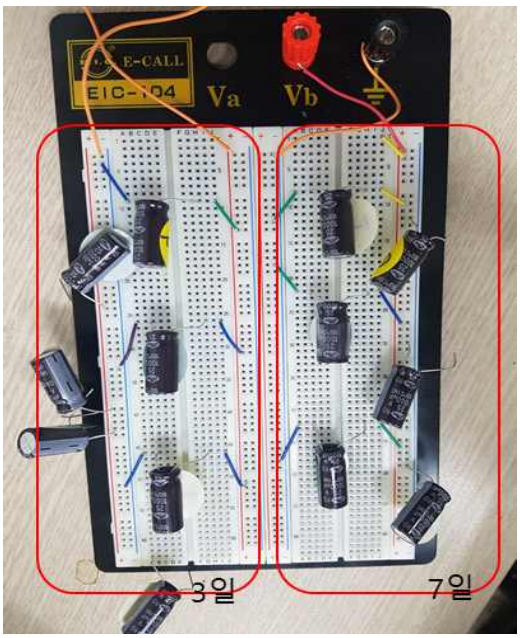


그림 72 열화 중인 커패시터

이 후 열화 된 커패시터들을 10시간 동안 정상 동작 전압을 인가하여 작동시켰다. 이 후 열화 된 커패시터들의 온도를 열화상카메라로 측정하였다. 이미지를 통해 여러 개의 커패시터의 온도를 한 번에 측정할 수 있었다. 또한 3일 동안 열화 시킨 커패시터들에 비해 7일 동안 열화 시킨 커패시터들의 온도가 눈에 띄게 높아졌음을 알 수 있다<그림112>. 실험을 위해 준비한 소형 열화상카메라의 결과와 비교하기 위해 고성능의 열화상카메라로 커패시터를 찍어 확인한 결과 마찬가지로 7일 동안 열화 시킨 커패시터에서 열이 발생하고 있음을 확인할 수 있었다 <그림 113>.

교통신호제어기 내의 커패시터의 열화는 커패시터의 폭발로 나타날 수 있으며 이는 교통신호제어기 전체의 고장으로 이어질 가능성이 높다. 따라서 교통신호제어기 내의 커패시터의

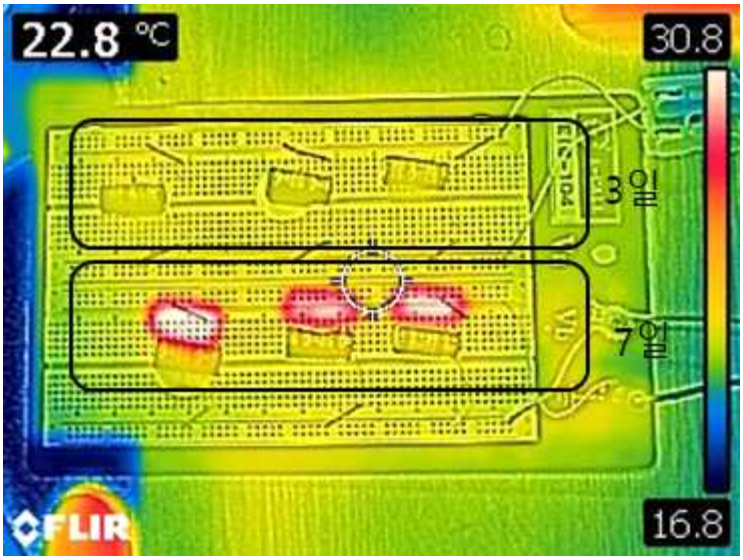


그림 73 동작전압을 인가한 커패시터의 온도(열화상 카메라)

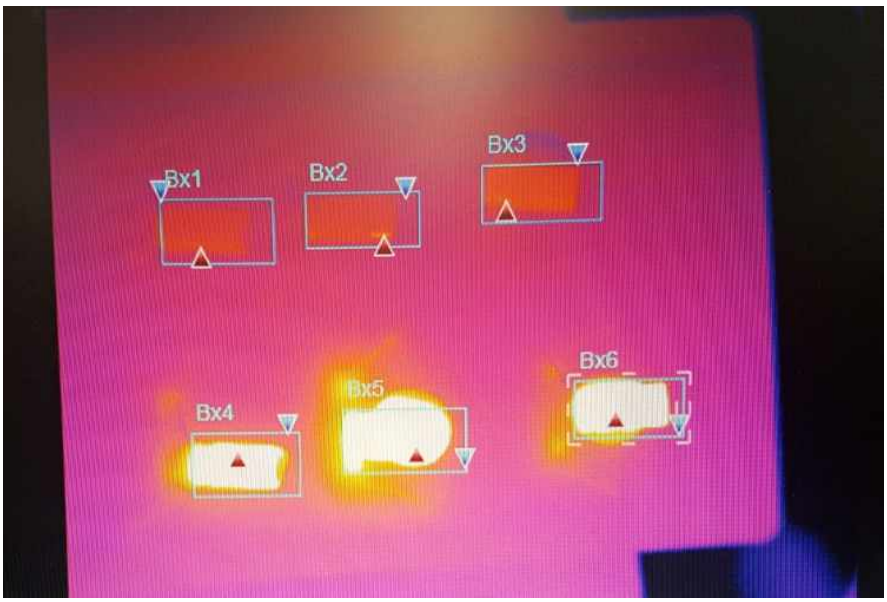


그림 74 고성능 열화카메라로 관찰한 열화 시킨 커패시터

PHM이 필요하며 이는 커패시터 고장의 주요 원인인 커패시터의 발열을 체크하여 고장 전 교체나 수리에 필요한 정보를 얻을 수 있다. 앞의 논리를 응용하여 본 연구에서는 열화상카메라를 이용하여 동장 중의 커패시터 온도를 파악하여 열화 판단의 근거로 사용할 것을 제안하였다. 이는 교통신호제어기 내의 커패시터로 인한 교통신호제어기 전체의 고장을 미연 방지할 수 있을 것으로 기대된다.

라. Arrestor의 PHM

(1) TSC 와 낙뢰

교통신호제어기TSC는 다양한 전기·전자 부품의 조립 구성으로 개발된 제품으로서 전기적 구성품, 전자적 구성품, 통신장치적 구성 단위품, 영상물을 연결하여 장치 확장을 하는 등 전체 구성의 부품으로 완성품을 이루기 위해서는 하드웨어적인 구성요소, 프로그램 소프트웨어 및 교통신호처리 고유의 알고리즘을 탑재하여야 시스템적 표준 규격에 부합하는 완성 제품으로서 안전 기반의 신뢰성을 갖게 되며, 생산품은 일정 LOT 별 규정에 맞는 지정 공인시험검사기관에서 공인인증을 필할 시에 한하여 현장에서 공공 시설물로 설치 운영을 이행하는 절차로 이어진다.

그러나 TSC 는 옥내가 아닌 야외에 설치됨으로 낙뢰에 대한 대비가 되어 있어야 한다. 이러한 낙뢰에 직접 노출된 경우에는 보호를 받을 수 없는 경우로 한정하더라도, 이웃하는 유도뢰서지(대부분이 이 영역에 상당함)로 인하여 전원라인 및 통신라인에 인입되어지는 유도뢰 현장 조건 별로 낙뢰보호장치의 경우 교통신호제어기에서는 표의 내용에서 알 수 있듯이 총 8개소의 낙뢰보호를 필요로 하는 구성단위로 적용을 기술하고 있으나, 정작 그 규정을 명료하게 규격 사항으로 정의하고 있는 곳은 총 조립 완성품의 입력전원단에 연결 부착되는 피뢰기(Arrestor) 단 1개에 미치고 있는 수준이다. 하지만 이 부분에 적용하는 구성품 규격 내용 또한 규격에서 제시하고 있는 규격 내용과는 상이한 보호구성품의 부품이 있음을 파악할 수 있다.[149]

표 77 TCS 교통신호제어기 구성기능 별 낙뢰 보호 장치의 규격 내용 요약

(낙뢰보호) 해당 항목	해당 Page	규격 내용 [국내 표준교통신호제어기 Ver.04]	비고
[2.1.7 모뎀 (Modem)]	p.45	3) 낙뢰보호기능 : 송·수신 선로로 유입되는 뇌서지로부터 장치를 보호하기 위하여 선로 양단간, 선로와 간에 Surge Protector를 설치하여야 함.	서지 규격 적시 내용 없음
[2.2.6 등기구동장치(LSU : Load Switch Unit)]	p.81	7) 보호 회로 : 각 출력 회로별 낙뢰 유입 보호회로 적용(Fuse : 20A 이상)	서지 규격 적시 내용 없음

149) 낙뢰 보호기 부품 형식과 구조는 그 사용 사례에 따라서 상당히 달라지는 데, 이 부분은 http://www.sankosha.co.jp/products/lightning/railroad/및ttp://www.otowadenki.co.jp/knowledge/history/ 등 관련 낙뢰 보호기 개발 공급 Maker의 사이트에 쓰임 형태별 환경조건 별 등으로 구분하여 제시하고 있음을 알 수 있다.

[2.3.2 영상검지기]	p.85	(2.3.2.1 개요) 영상검지기는 영상입력장치인 CCD카메라와 카메라를 보호할 수 있는 카메라 하우징, 영상을 처리하는 Controller와 낙뢰보호장치 등으로 구성됨.	서지 규격 적시 내용 없음
[2.3.2 영상검지기]	p.85	5) 통신 Line낙뢰보호, 방진, 방우, 방습	서지 규격 적시 내용 없음
[2.5 단자대 함(Terminal Facility)]	p.89	2) Arrestor: 교통신호기의 AC전원 입력에 순간적인 고전압신호 및 낙뢰가 들어올 경우에 BYPASS시켜주는 역할을 하여 교통신호기내의 모든 회로와 부품 및 기기들을 보호함.	서지 규격 적시 내용 없음
[2.5.3.2 터미널 블락]	p.90	8) 통신 모뎀용 Terminal Block: 교통신호기의 통신모뎀과 지역 교환기의 통신 선로를 연결하여 주며, 기본적으로 통신용 낙뢰보호 회로와 잡음제거 회로가 내장되어야 한다. 낙뢰보호회로는 (+), (-) 양단에 결선하며 최대 써지 전류용량은 8/20 μsec 표준파형 기준 40KV이상, 절연저항 3μΩ이상 이여야 함.	서지 규격 적시 내용 있으나, 내용에 흠결 있음
[2.6 함체(Cabinet)]	p.99	22) 함체 외부 네 모서리는 낙뢰 방지를 위해 모따기를 하며 접지봉을 매설하여 함체를 직접 3종 접지를 실시함.	서지 규격 적시 내용 없음
[5.2.1.6.4 뢰임펄스 내전압 시험]	p. 212	1) 검사장비 : 임펄스 제너레이터 2) 검사방법 (1)뢰임펄스 내전압 시험은 신호기 입력단에 교류입력전원 1.2×50μSec, 5000V 또는 8×20μSec, 3KA의 임펄스를 인가한다. (2)뢰임펄스 전압을 인가한 후 신호기는 정상적으로 동작해야 한다. (관련참조규격 : IEEE 587(ANSI C62.41))	서지 규격 적시 내용 없음
[5.2.1.6.5 비파괴 내과전압 시험]	p. 212	1) 에너지원: 15μF±10% Oil Capacitor (내부 서어지 임피던스는 1Ω 이하) 2) 진 폭: 1000V±5% (정극성, 부극성) 3) 검사방법 (1)신호기의 교류 및 기타전원을 제거한 후 위와 같은 고에너지 과전압 인가시 각 전자기기의 파손이 없어야 함 (2)비파괴 내과전압 시험은 각 극성에 3회 반복하였을때 각 기기의 파손이 없어야 함	서지 규격 적시 내용 미흡함 -관련출처 기준이 불분명함

		(3)비파괴 내과전압시험은 SWCS(Surge Withstanding Capacity Simulation) 시험장비를 이용한 SWCS시험으로 대체 실시하여도 무방함 (관련참조규격 : ANSI STD587)	
[내구성 시험 항목 검사표-4.진동/충격/절연시험 검사표]	p.226	동작중 교류전원입력의 뢰 임펄스 내전압에 대한 이상유무	횟수 등 정의가 불명확함
	p . 230	비파괴내과전압시험 SWCS:) 고 에너지 고전압을 교류전원 입력단에 인가시 비파괴 내과전압에 대한 이상유무	횟수 등 정의가 불명확함

국내 표준 규격의 변경되어온 히스토리 내용 중에서 각종의 외형 구조 및 기능을 중심으로 변경을 거듭하여왔으나, 교통신호제어기의 경우 교통신호제어기용 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor) 연결 사용은 제품의 변경에 따른 규격 변화는 표의 내용과 같다.[150]

표 78 TSC 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor) 부품 규격(04Ver./ 10Ver. 동일함)

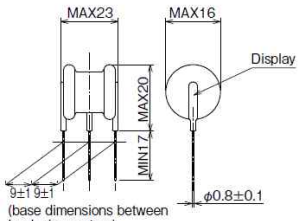
항목	AV3P-1Type (UL인증품)	AV3P-1Type	AV3P-2Type (UL인증품)	AV3P-1Type
공칭회로전압	AC 125 V	AC 125 V	AC 240 V	AC 240 V
Impulse 보호 레벨[151]	800V	800V	1,200V	1,200V
	10/200μs、3kV			
Impulse 전류내량	8/20μs、9kA			

실제 교통신호제어기용 입력전원단에는 낙뢰보호기(Arrestor, 피뢰기라고도 함)는 표의 내용과 같이 3극 Type을 단자로 확장시켜 연결 접속하여 사용하여 오고 있다.[152]

150) 교통신호제어기용 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor)는 완성품 출하 시 조건이 영구적인 부품 특성을 가지는 것은 아니기 때문에 낙뢰가 빈번한 환경 지역이거나(통계청 데이터 등을 고려할 필요성이 있음) 주변에 서지 영향이 상당하다는 환경 조건 등에서 적용하는 낙뢰보호기의 교체주기는 보다 더 과학적 기준(해당 부품은 일정의 이상 전원 상태가 주어지면 방전개시를 반복을 하여야 하는 구성 부품이기에 그 반복 수명을 고려하여야 하나, 이를 반영하고 있는 지역과 개소는 없었다)을 고려하여 교체주기를 가져가야 하는 데, 이 부분은 개선을 가져가야 할 필요성이 있다.

151) 교통신호제어기용 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor)에 적용하는 뢰임펄스 내전압 시험은 신호기 입력단에 교류 입력전원 1.2×50μSec, 5000V 또는 8×20μSec, 3KA의 임펄스를 인가 임펄스 레벨(Impulse Level), 전류 내량(A Endurance Capacity Maximum by Impulse Current Serge Level)과는 그 규격 내용을 수용할 수 없는 수준임을 피뢰기 부품 제작 공급하는 Maker 규격 제시 내용을 통하여 알 수 있다.

표 79 TSC 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor) 연결 사용 규격

구분	구성 형태	국내 표준 규격	비고
○교통신호제어기용 입력전원단 낙뢰 서지 보호 부품: AV3P-2 type  피뢰기(Arrestor): AV3P-2형	 AV3P-2 type ○ 특징: - 뇌서지(Lightning Impulse Surge)로부터 240V이하의 전원회선을 방호 - 소형 3극형의 전원용 보안기 소자타입 - 기판으로 실행 좁은 공간에서 설치가능 - UL 규격 승인 (E328370) - RoHS 대응 ○ Size, AV3P-2 type: W25 × D19 × H40	○뢰임펄스 내전압 시험은 신호기 입력단에 교류 입력전원 1.2×50 μSec, 5000V 또는 8×20μSec, 3KA의 임펄스를 인가한다. ○뢰임펄스 전압을 인가한 후 신호기는 정상적으로 동작해야 한다. (관련참조규격 : IEEE 587(ANSI C62.41))	

교통신호제어기용 전원단자에 낙뢰보호기(Arrestor)를 연결 부착한 후 뢰임펄스 내전압 전용 시뮬레이션 시험기를 활용하여 교류 입력전원에 뢰임펄스 1.2×50μSec, 5000V를 부가하여 시험하는 장면은 그림과 같다.

152) 관련 사이트 주소: http://www.sankosha.co.jp/products/lightning/spd_power/av3p.html



그림 75 교통신호제어기의 뢰임펄스시뮬레이션 시험기로 임펄스 1.2×50μSec, 5000V시험장면

교통신호제어기의 교류 입력전원에 뢰임펄스서지 시뮬레이션 전압 서지 시험조건 1.2×50μ Sec, 5000V를 부가하여 시험하는 것은 그림의 내용과 같다.[153)154)]

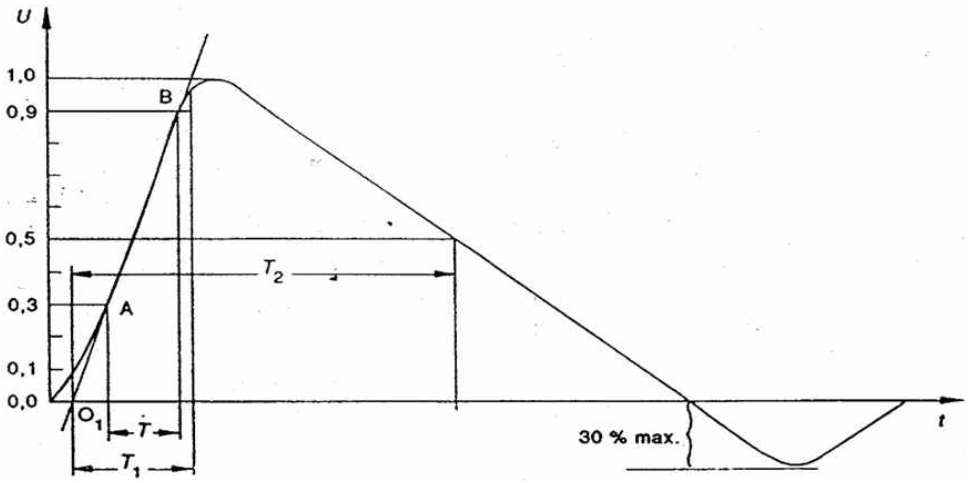


그림 76 뢰임펄스서지뮬레이션 전압 서지 1.2×50μSec, 5000V 테스트 조건

IEC-1000-4-5, pp.24, IEC, 1995 ---; 임펄스 1.2×50μSec x 5KV

IEC 60-1 파형, 및 ANSI Std. 62.41C

- T1: 1.67× T = 1.2μSec ± 30%,
- T2: 50μSec ± 20% ---; (절반까지의 Wave 듀레이션 시간)

뢰임펄스시뮬레이션 전압 서지 시험 파형 (예)

153) 전압서지시뮬레이션 시험 조건을 설정한 후, 교통신호제어기는 전원투여 전 접지를 한 상태에서 정상작동을 확인한 후 뢰임펄스 전압서지 조건을 시험(설정되어진 Impulse Serge Injection)시 정상작동을 지속하여야 한다. 일반적으로 공인시험 시험 시에는 3번을 반복하여 정상작동을 지속하였을 시 적합으로 판정하는 사례가 있다.-한국기계연구원(KIMM) 공인기관 시험의 경우에 해당하며, 또한 일반적으로 임펄스시뮬레이션 전압 시험조건에서의 시험 적합성 여부로써 가름하는 경향이 있다.

154) 국내 표준 규격 내용 중에서 통신구성품, 영상제어기, 직류전원공급장치 내, 부하스위치(LSU), 및 터미널블럭 단자대 등 낙뢰보호기를 필요로 하는 구성품 적용을 필요로 하는 곳에 관련 표준 규격 기준 및 관련 가이드 제시하고 있는 국제 표준 규격을 살펴 그 내용에서 제시하는 뢰임펄스시뮬레이션 전압/전류 서지의 특성 파형을 제시할 수 있도록 하여, 이에 적합한 낙뢰보호기 구성품을 설계 개발 반영 및 공인시험 시 확인할 수 있도록 필요하다.

교통신호제어기의 교류 입력전원에 뢰임펄스서지 시뮬레이션 전류 서지 시험조건 8×20μSec, 3KA를 부가하여 시험하는 것은 그림의 내용과 같다.[155]

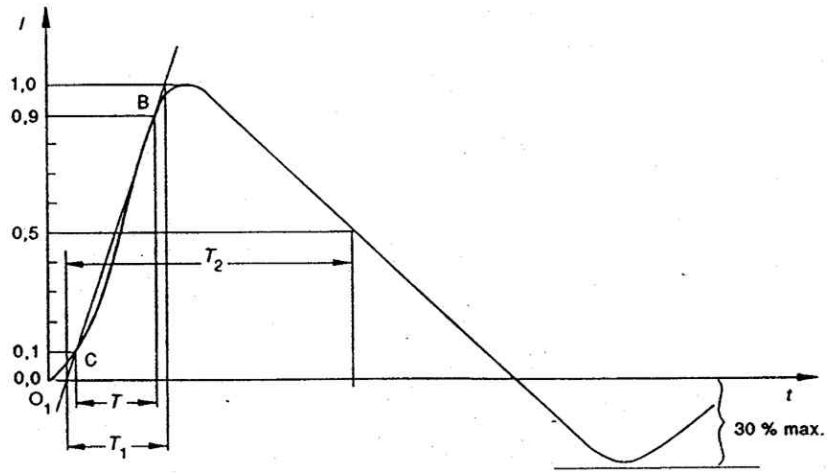


그림 77 뢰임펄스서지 시뮬레이션 전류 서지 시험조건
8×20μSec, 3KA를 부가하여 시험

EC-1000-4-5, pp.24, IEC, 1995 ---; 임펄스 8×20μSec x 3KA

IEC 60-1 파형, 및 ANSI Std. 62.41C

- T1: 1.25× T = 8μSec ± 20%,
- T2: 20μSec ± 20% ---; (절반까지의 Wave 듀레이션 시간)

뢰임펄스시뮬레이션 전류 서지 시험 파형 (예)

(2) TSC 입력단 연결용 서지 소자 PHM 열화 특성 시험

본 연구에서는 뢰임펄스 서지시뮬레이션(雷 Lightning Impulse Surge Simulation), 서지 소자인 어레스터의 PHM을 정립을 위하여 우선 특성 분석 시험을 진행하기로 하였다. 이에 대한 규격은 KS C IEC 61643-11:2012, 국내 TSC 표준규격서를 활용하기로 하였다.

155) 국내 표준 규격 내용 중에서 통신구성품, 영상제어기, 직류전원공급장치 내, 부하스위치(LSU), 및 터미널블럭 단자대 등 낙뢰보호기를 필요로 하는 구성품 적용을 필요로 하는 곳에 관련 표준 규격 기준 및 관련 가이드 제시하고 있는 국제 표준 규격을 살펴 그 내용에서 제시하는 뢰임펄스시뮬레이션 전압/전류 서지의 특성 파형을 제시할 수 있도록 하여, 이에 적합한 낙뢰보호기 구성품을 설계 개발 반영 및 공인시험 시 확인할 수 있도록 필요하다.

▣ 현재 사용중인 TSC 입력단 서지 소자:

○ AV3P-2형 ; 일본 산코샤(Sankosa)생산공급; — TSC당 1개 사용중이며, 서지 소자는 Varistor 와 Arrestor(Air-Gap Tube형) 결합 구성으로 1.2x50㎲ 5,000Volt 서지에 적합으로 규정하고 있음(국내 TSC 규격서 준거)

▣ 시험 히스토리:

○ 2017.11월초・중순 : PHM 열화모니터링을 Arrestor, DC전원공급장치 대용량 전해캐패시터, Load스위치 등으로 선정하여 '연차실적・계획서' 준비작성하여 KAIA 제출

○ 2017.12.12. : 진행 정부R&D 과제 1차연도에서 2연차 연구 PHM 열화모니터링 대상으로 TSC 전원입력단 ARRESTOR 지목하여 특성 시험 데이터 확보를 하기로 조율하여 정함[156]

- 당초 아주대 연구실내 전용시험장비를 임대차 등으로 이동하여 설치하여 관련 시험 준비를 하기로 하였으나, 현실적으로 실행하기에는 다소 무리가 없지 않다는 사실 확인함 (임대차 지원하는 기관별 보유장비 내용에 차이로 인한 미스매칭 등으로 시험결과 데이터의 신빙성, 신뢰성, 장비 안전성 확보 의 어려움 등)
- 그 대안으로 전문 외부기관을 타진하여 준비하여 보는 것으로 하여, 대전 소재 한국기계연구원(KIMM) 공인시험 장비를 활용한 일정 외 추후 일정으로 조율함

○ 2017.12.21. 및 12월말 : 서지 소자 및 관련 구성품 확보 및 그 이후 서지카운터기 구입확보[157][158]

○ 2018.01.12. : 한국기계연구원KIMM(대전 대덕연구단지내 소재) 방문 시험

- 시험 중 예기치 않게 멈춤 상태
- '클림핑Clamping 전압'기준으로 한국도로공사(ex) 적용 규격; (단상의 경우 800V Peak 전압 이하로 규정하고 있음)
- KIMM은 관련 TSC 시험 공인기관으로 지정 관련 시험운영 중(1987~2018년 현재)- 'KeyTek 587 모델'을 이용하여 서지시뮬레이터로 공인시험 사용 중

○ 2018.01.13. : 세미나실에서, "'2018.01.12.-한국기계연구원KIMM(대전 대덕연구단지내 소재)

156) 참석자: 박상철교수 외 5명-오봉식박사, 참여연구원 2명-정영현/김은영연구원, 및 외부 2명 이정준박사, 김승우 [이상 외부 전문가 참석함]- 본 과제의 PHM 열화 모니터링 대상으로 예상한 구성품 중에서, 서지 소자 Arrestor로 우선하여 특성 시험

157) 전문업체 서돌전자통신방문협의, 전문공급처를 통한 서지카운터기 구입

158) 참여진: 오봉식박사 외 2명 참여연구원-조현선,김은영 외 서돌전자통신 대표 외 3명과 방문협의

방문 시험 내용' 및 '추후 전문기업(대전소재 성진테크윈)을 방문하여 PHM 열화 특성 시험을 병행'" 하는 것을 기준으로 한다.

○ 2018.01.18. : 서지 관련 SPD 전문개발・생산 공급 중인 국내 기업(성진테크윈, 대전에 본사/공장 소재) 방문하여 TSC 적용 서지소자 열화 특성 시험[159]

- 서지 소자 샘플: 4개 외 서지시뮬레이션 PHM 열화 모니터링
- 서지시뮬레이션은 전용장비 검・교정 기간으로 측정을 할 수 없었음
- 따라서 이후 서울연구소에서 서지시뮬레이션을 통한 서지소자 PHM 열화 특성 시험 데이터 확보를 하는 일정으로 준비하기로 조율함
- 2018.01.25.까지 2018.01.18. 대전 방문에서 조율한 내용으로 서지소자 특성 시험 데이터를 확보하기로 함-이와 관련하여 몇 차례 관련 추가적인 전화 연락 등으로 서지소자 PHM 열화 특성 데이터 확보 준비를 위한 관련 시험 절차 등 일련의 준비를 보완 조율하여 실험 실행으로 이어지도록 함

○ 2018.01.26. : 서지 관련 SPD 전문개발・생산 공급 중인 국내 기업 방문하여 TSC 적용 서지소자 열화 특성 시험- 추가적인 시험을 병행함[160]

- 기 실행내용 확보데이터 리뷰 및 당일 주요 실행할 내용 요약, 리뷰 공유: 2018.1.18.이후 2018.01.25.까지 서지 소자 PHM 열화 특성 시험 데이터 진행 내용 중 시험 실행한 내용 결과 데이터 리뷰

※ 추가 서지 특성 시험 및 분석 실행

① 시험품에 15KV 인가 후 내성 확인

- Arrestor 샘플 2개 시험 확인하여 데이터 확보-단 엑폭시 흑색 결합 몰딩 상태에서는 Varistor 등 일련의 특성은 측정 불가함
- 1.2x50㎲ 5,000Volt(실제 규격 내용은, 1.2x50㎲ 6,000Volt 8x20㎲ 3KA Combinational Wave) 조건에서 정(正 Positive), 부(否 Negative) 극성 각 30회씩 인가하여 제한전압 레벨 등 일련의 시험 데이터 값을 그래프 등 디지털 데이터 내용 자료로 확보함
- PHM 열화 특성을 위하여는 장비에서 출력시험할 수 있는 Max. 값인 15KV 상태에서 시험하여 내성 등 확인 필요-'AV3P-2형' 특성 데이터 쉬트 제공 9KA로 규정하고 있음
- 시험 결과 내용은 3~4회 15KV 인가 시 서지 소자 'AV3P-2형' 파괴 해체-관련 내용 사

159) 참여진: 오봉식박사 외 1명 참여연구원 및 성진테크윈 전문기술자 2명
160) 참여진: 오봉식박사 외 2명 참여연구원 및 전문기술진 성진테크윈 2명

진 참조

② 시험품 분해(해체)하여 서지 소자 특성 분석

- Varistor, Arrestor(Air-Gap Tube Type) 결합 구성품으로 확인-관련 내용 사진 확인

③ 시험품에 대응 기능 제품으로 대체 후 서지 소자(SPD) 특성 분석

- 위 2. 시험 Varistor, Arrestor 결합 개발품(by 성진테크윈)에 15KV 10회 연속 인가 시에 문제없음-저온납으로 납땜부위 분리되는 안전모드로 설계 개발품임

○ 서지 전문가 의견으로 서지 소자 Varistor의 경우 초기 양품은 누설전류값이 약 0.1mA 의 값을 지니다가 서지 인가(또는 현장 설치 운영 중 서지 인입) 시에는 점점 그 누설전류값이 점점 상승하는 값은 대략 0.2mA, 0.3mA, 0.4mA, 0.5mA 등으로 상승을 지속하다가 0.5mA 누설전류 값을 전·후하여 누설전류 값이 상승폭을 급격하게 변화하는 그래프의 모양으로 누설전류 값이 상승폭을 긋다가 약 70mA 정도에 이르게 될 시 Varistor 는 서지 소자 표면에 상당한 발열을 내면서 폭파 일보직전 내지는 파괴에 이르게 된다. 이 부분이 대략 수명으로 판단된다. 그러나 약 0.5mA 까지 누설전류값을 일일이 측정을 하면서 얼마만큼의 누설전류값으로 변이 경과하여 0.1mA 누설전류값에서 0.5mA 누설전류값에 이르는 지는 잘 알려져 있지는 않으나 약 200~500회 서지인가(또는 서진 인입) 횟수에 이르게 되면 그 수준으로 되는 것으로 전문가는 추정하고 있음.

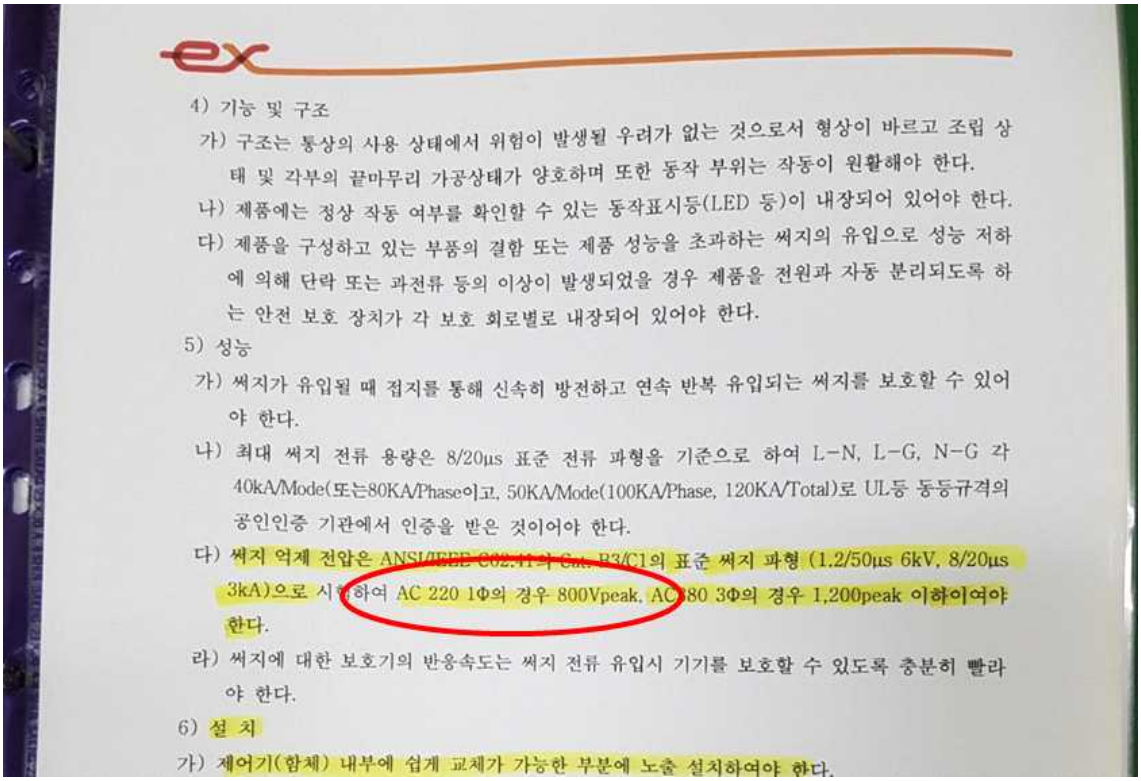
○ 기계연구원 낙뢰시험

실험 내용

- 시험 시료 개수 : 4
- 시험 횟수 : 60번 정도로 계획
- 시험 조건 : 충격 후 그 다음 시험은 2-3분 내외로 할 것
- 시험 배경

현재 교통신호제어기의 낙뢰 시험 통과 기준을 정상작동으로 보고 있다. 도로교통안전공사에서

는 800V 이하라는 규정이 존재한다.



4) 기능 및 구조

가) 구조는 통상의 사용 상태에서 위험이 발생될 우려가 없는 것으로서 형상이 바르고 조립 상태 및 각부의 끝마무리 가공상태가 양호하며 또한 동작 부위는 작동이 원활해야 한다.

나) 제품에는 정상 작동 여부를 확인할 수 있는 동작표시등(LED 등)이 내장되어 있어야 한다.

다) 제품을 구성하고 있는 부품의 결함 또는 제품 성능을 초과하는 써지의 유입으로 성능 저하에 의해 단락 또는 과전류 등의 이상이 발생되었을 경우 제품을 전원과 자동 분리되도록 하는 안전 보호 장치가 각 보호 회로별로 내장되어 있어야 한다.

5) 성능

가) 써지가 유입될 때 접지를 통해 신속히 방전하고 연속 반복 유입되는 써지를 보호할 수 있어야 한다.

나) 최대 써지 전류 용량은 8/20μs 표준 전류 파형을 기준으로 하여 L-N, L-G, N-G 각 40kA/Mode(또는80KA/Phase이고, 50KA/Mode(100KA/Phase, 120KA/Total)로 UL등 동등규격의 공인인증 기관에서 인증을 받은 것이어야 한다.

다) 써지 억제 전압은 ANSI/IEEE C62.41의 Cat. B3/C1의 표준 써지 파형 (1.2/50μs 6kV, 8/20μs 3kA)으로 시험하여 AC 220 1Φ의 경우 800Vpeak, AC 380 3Φ의 경우 1,200peak 이하이여야 한다.

라) 써지에 대한 보호기의 반응속도는 써지 전류 유입시 기기를 보호할 수 있도록 충분히 빨라야 한다.

6) 설 치

가) 제어기(함체) 내부에 쉽게 교체가 가능한 부분에 노출 설치하여야 한다.

그림 78 교통안전공사 규정

-시험 장비



그림 79 SURGE 연결

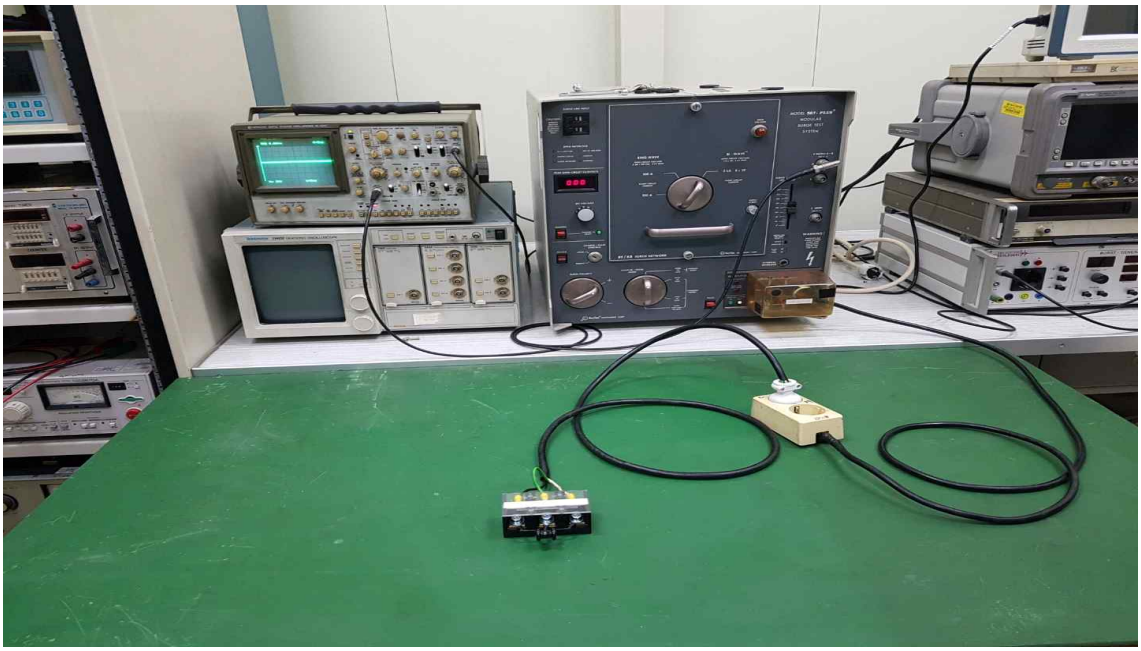


그림 80 시험 전체 환경



그림 81 낙뢰 제어기

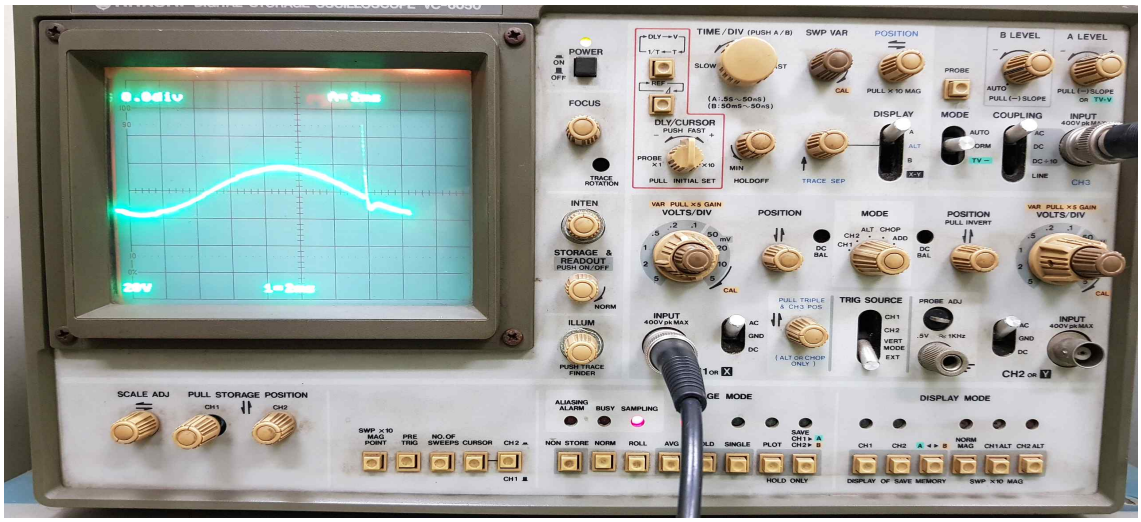


그림 82 스코프

- 시험 내용 : 낙뢰가 교통신호제어기의 SURGE전류는 약 5~6만 킬로바이트이다. 따라서 사용전압이 220V인 교통신호제어기의 내부에 영향을 줄이기 위해, ARRESTOR가 이를 사용가능할 만큼의 전압으로 충격을 완화시켜야 한다.

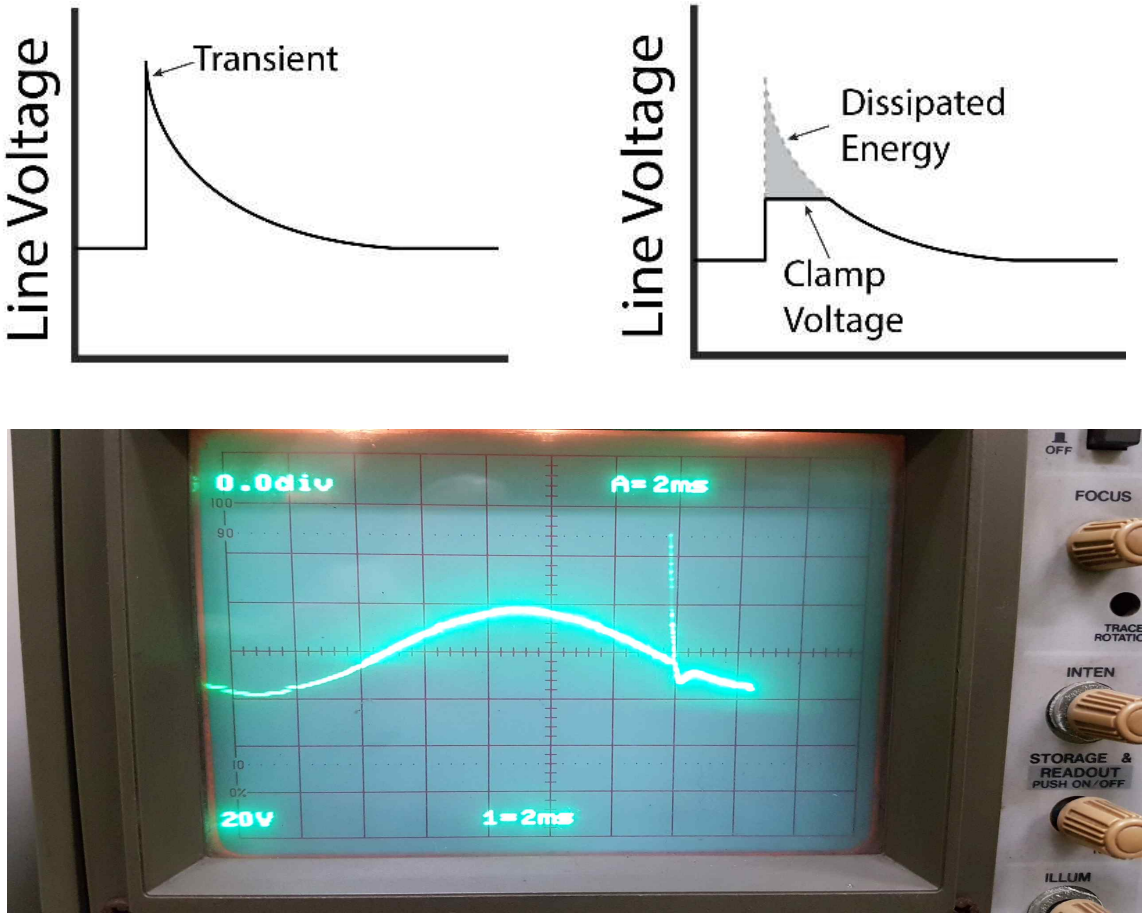
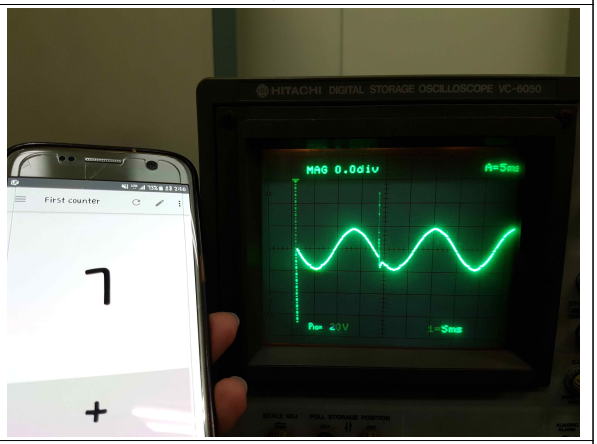
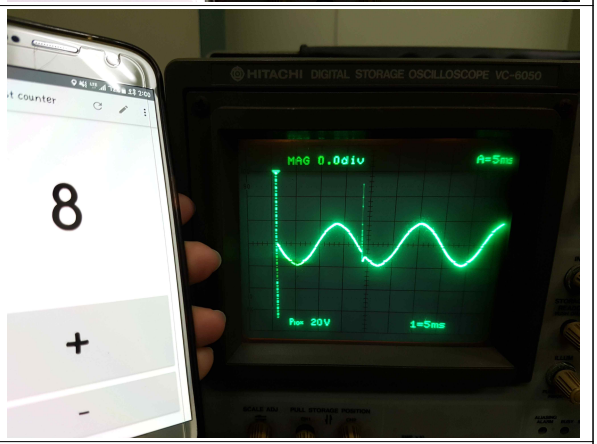
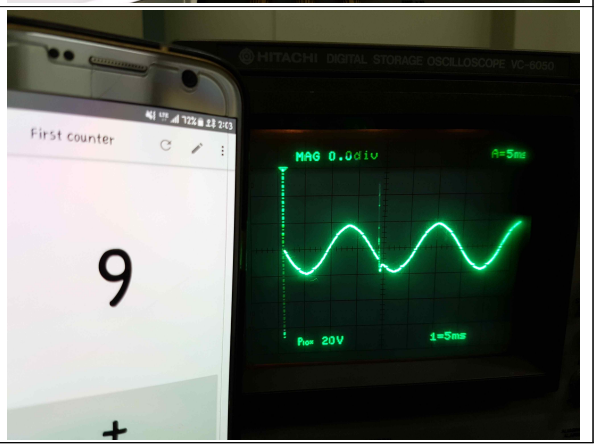
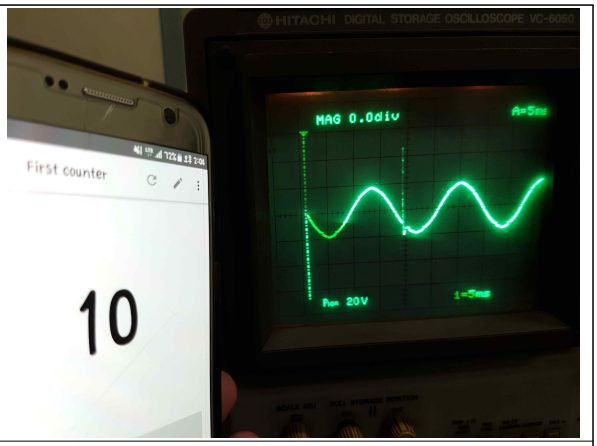
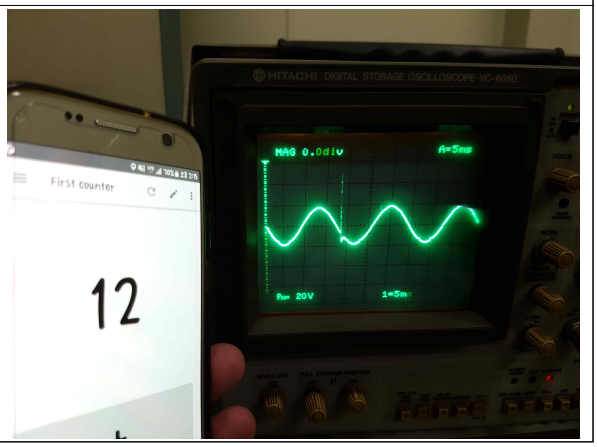


그림 83 스코프 그래프 설명 (한 칸 당 200V)

표 80 실험결과

시료 번호	Voltage(V)	참고
7	720	
8	720	
9	720	

10	720	
11	잡히지 않음	
12	720	

○ 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트[161]



그림 84 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트

161) IEC 61643-11, -12 표준규격 근거, 및 국내 TSC 경찰청 규격 뢰임펄스 시험규격에 따라 테스트 실시함

○ 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트 및 모니터링



그림 85 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트 및 모니터링

○ 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트

; SPD + Logger, IoT (PRGM) ; MOV Varistors + Arrestors — 뢰임펄스 시뮬레이션 테스트에 따른 SPD 열화 특성 데이터 적집(Data Acculation) IoT 모니터링[162)]



그림 86 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트-SPD로거기능

162) KS C IEC 61643-11, -12 표준규격 근거 제품 샘플 1식 테스트

○ 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트

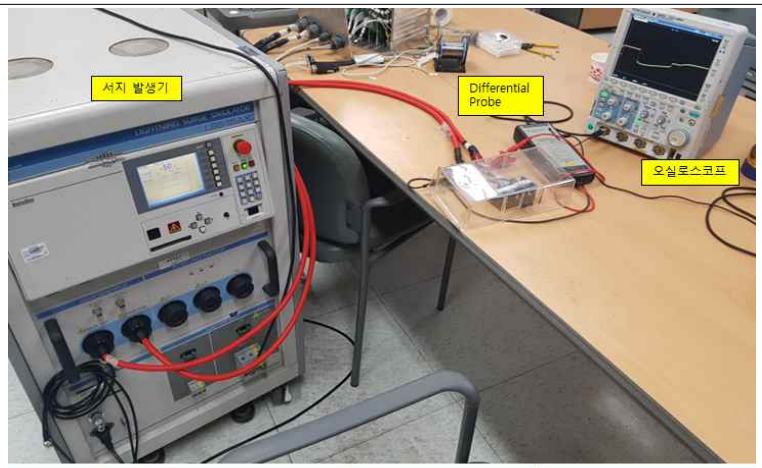
; TCS 입력단 연결용 Varistors + Arrestors 규격 — 뢰임펄스 시뮬레이션 테스트 전용장치에 따른 SPD 열화 특성 데이터 측정 모니터링



- 모델명 : AV3P-2 in TSC
- 제조사 : 산코샤, Made in Japan
- 용도 : TSC 교통신호제어기용
  (240V 이하 전원회선 보호)

○ 사양 Specification :

Item	AV3P-2
Maximum Continuous Operating Voltage (Uc)	AC 240V
Impulse Protection Level (Up)	1,200V (10/200us, 3kV)
Impulse Discharge Current	9kA (8/20us)



번호	제품명	제조사	모델명
1	Lightning Surge Simulator	NoiseKen	LSS-15AX
2	Oscilloscope	Yokogawa	DLM2054
3	1000:1 Differential Probe	Sapphire Instruments	SI-9010

그림 87 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트-전용장치

○ 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트

; TCS 입력단 연결용 Varistors + Arrestors 규격 — 뢰임펄스 시뮬레이션 테스트 전용장치에 따른 SPD 열화 특성 정(+)/부(-) 극성 기준 서지인가 모니터링

- 서지 인가 : 5kV ; 1.2/50us, 8/20us (Combination Wave)
- 인가 횟수 : 정극성 / 부극성 각 30회
- 인가 모드 : 하기 사진 그림의 단자대 번호 1-2, 3-2
- 시료 번호 : #1, #2 (#3 Reserved Sample)

- (시험 결과 데이터☺ 서지인가 후 측정된 잔류전압과 측정파형을 기록함

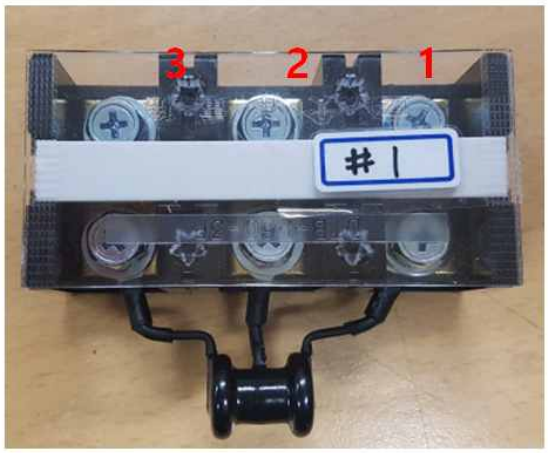






그림 88 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트-정/부 극성별 서지인가 테스트

○ 피뢰기(Arrestors & Varistors)뢰임펄스서지 열화 특성 테스트

; TCS 입력단 연결용 Varistors + Arrestors 규격 — 뢰임펄스 시뮬레이션 테스트에 따른 SPD 열화 특성 Data; SPD 열화 특성 정(+)/부(-) 극성 기준 서지인가 모니터링

표 81 피뢰기 SPD 관련 규격 내용 및 동향

시료번호	모드	인가전압	횟수	극성	제한전압	파일명	극성	제한전압	파일명
1	1 ~ 2	5kV	1	정극	1160	772	부극	1160	802
			2		1160	773		1140	803
			3		1160	774		1150	804
			4		1160	775		1140	805
			5		1200	776		1160	806
			6		1190	777		1170	807
			7		1200	778		1160	808
			8		1180	779		1180	809
			9		1110	780		1180	810
			10		1200	781		1210	811
			11		1180	782		1200	812
			12		1150	783		1190	813
			13		1140	784		1260	814
			14		1160	785		1170	815
			15		1170	786		1170	816
			16		1150	787		1160	817
			17		1140	788		1250	818
			18		1170	789		1180	819
			19		1150	790		1150	820
			20		1180	791		1200	821
			21		1130	792		1110	822
			22		1170	793		1150	823
			23		1180	794		1130	824
			24		1130	795		1160	825
			25		1170	796		1120	826
			26		1140	797		1140	827
			27		1170	798		1150	828
			28		1170	799		1120	829
			29		1180	800		1160	830
			30		1160	801		1130	831

시료번호	모드	인가전압	횟수	극성	제한전압	파일명	극성	제한전압	파일명
1	3 ~ 2	5kV	1	정극	1160	862	부극	1080	832
			2		1060	863		1110	833
			3		1060	864		1070	834
			4		1060	865		1080	835
			5		1040	866		1130	836
			6		1060	867		1140	837
			7		1080	868		1110	838
			8		1040	869		1120	839
			9		1060	870		1130	840
			10		1060	871		1070	841
			11		1050	872		1070	842
			12		1060	873		1160	843
			13		1070	874		1150	844
			14		1050	875		1070	845
			15		1080	876		1050	846
			16		1040	877		1100	847
			17		1040	878		1090	848
			18		1040	879		1090	849
			19		1070	880		1090	850
			20		1040	881		1100	851
			21		1060	882		1090	852
			22		1040	883		1100	853
			23		1060	884		1060	854
			24		1040	885		1060	855
			25		1040	886		1080	856
			26		1060	887		1060	857
			27		1040	888		1060	858
			28		1040	889		1090	859
			29		1090	890		1050	860
			30		1080	891		1040	861

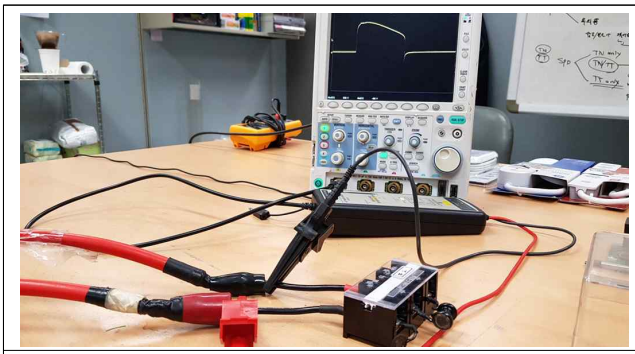
시료번호	모드	인가전압	횟수	극성	제한전압	파일명	극성	제한전압	파일명
2	1 ~ 2	5kV	1	정극	1120	892	부극	1130	922
			2		1040	893		1160	923
			3		1060	894		1180	924
			4		1060	895		1200	925
			5		1040	896		1180	926
			6		1030	897		1180	927
			7		1030	898		1180	928
			8		1040	899		1230	929
			9		1120	900		1220	930
			10		1040	901		1110	931
			11		1040	902		1200	932
			12		1040	903		1180	933
			13		1040	904		1220	934
			14		1040	905		1180	935
			15		1150	906		1220	936
			16		1080	907		1230	937
			17		1080	908		1190	938
			18		1080	909		1240	939
			19		1060	910		1160	940
			20		1110	911		1190	941
			21		1040	912		1250	942
			22		1100	913		1220	943
			23		1100	914		1220	944
			24		1040	915		1210	945
			25		1050	916		1210	946
			26		1040	917		1190	947
			27		1060	918		1150	948
			28		1040	919		1200	949
			29		1070	920		1190	950
			30		1040	921		1200	951

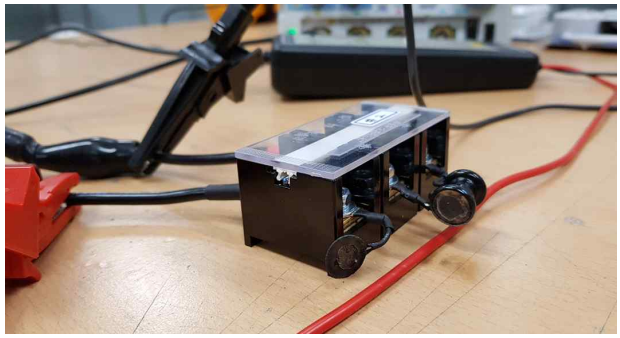
시료번호	모드	인가전압	횟수	극성	제한전압	파일명	극성	제한전압	파일명
2	3 ~ 2	5kV	1	정극	1080	982	부극	1080	952
			2		1110	983		1130	953
			3		1060	984		1120	954
			4		1140	985		1130	955
			5		1040	986		1120	956
			6		1050	987		1120	957
			7		1060	988		1110	958
			8		1130	989		1110	959
			9		1100	990		1120	960
			10		1110	991		1120	961
			11		1090	992		1100	962
			12		1120	993		1110	963
			13		1060	994		1130	964
			14		1060	995		1140	965
			15		1060	996		1150	966
			16		1100	997		1130	967
			17		1090	998		1120	968
			18		1060	999		1070	969
			19		1080	1002		1060	970
			20		1100	1003		1140	971
			21		1040	1004		1150	972
			22		1060	1005		1110	973
			23		1060	1006		1080	974
			24		1120	1007		1070	975
			25		1130	1008		1090	976
			26		1060	1009		1050	977
			27		1040	1010		1120	978
			28		1060	1011		1140	979
			29		1100	1012		1240	980
			30		1060	1013		1040	981

○ 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트

: 서지내력 확인 테스트[163]

; TCS 입력단 연결용 Varistors + Arrestors 규격 — 뢰임펄스 시뮬레이션 테스트에 따른 SPD 열화 특성 Data, SPD 열화 특성 정(+)/부(-) 극성 기준





1. 시험품에 15kV 인가 후 내성확인

시료번호	모드	인가전압	횟수	극성	제한전압	파일명	비고
2	3 ~ 2	15kV	1	정극	1360	1015	
			2		1380	1016	
			3		1400	1017	
			4		1500	1018	소자 파손

시료번호	모드	인가전압	횟수	극성	제한전압	파일명	비고
2	1 ~ 2	15kV	1	정극	1370	1019	
			2		1420	1020	
			3		1500	1021	소자 파손



파손된 시험품

그림 89 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트-서지내력 확인 테스트

163) 서지내력 임펄스서지 테스트는 KS C IEC 6143-11, -12 규격 내용 중, 현장(Field) 사용환경 조건 기준을 적용하여 서지내력의 적합성을 검토·검증한 것임(최종결과내용은 표 내용의 소자파손으로 부적합인 것으로 최종확인함)

○ 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트

: 서지내력 확인 테스트 후, TCS입력단 현사용중 피뢰기 부품 특성 분석 — 대체안 개발설계 방안 수립 및 검증을 위하여 검토·검증 절차에 해당함[164]

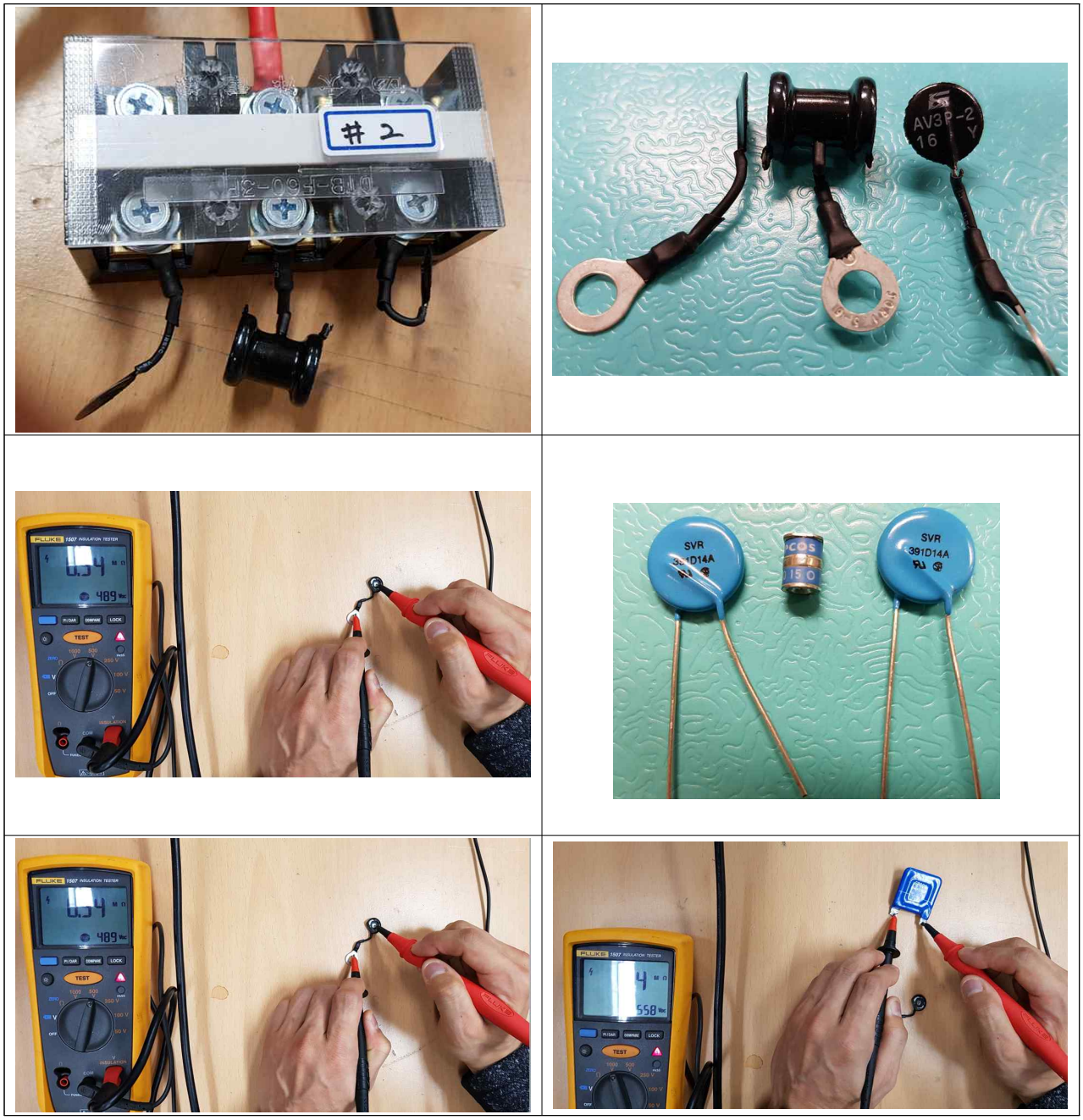


그림 90 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트- 대체안 제품 검토

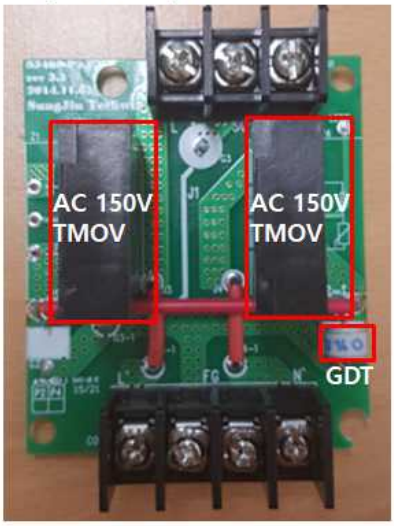
164) KS C IEC 61643-11, -12 표준규격 근거, 및 국내 TSC 경찰청 규격 뢰임펄스서지 시험규격 근거, SPD(Surge Protective Device) 부품 특성 측정, 분석 결과에 따른 대안 설계 필요함

○ 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트

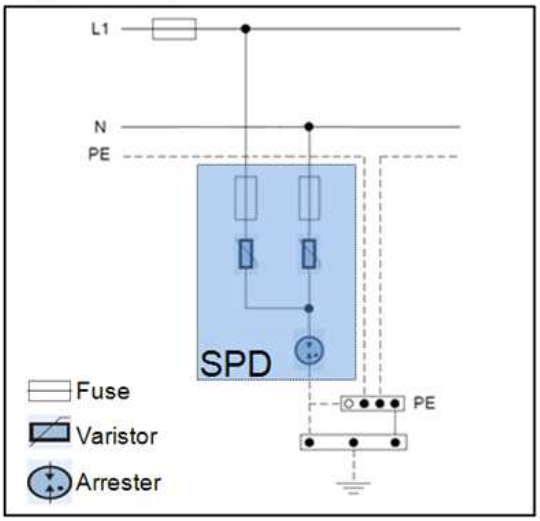
: 서지내력 보완설계 적용후, 서지내력 적합성 테스트 검증[165]

; TCS 입력단 연결용 Varistors + Arrestors 규격 — 뢰임펄스 시뮬레이션 테스트에 따른 SPD 열화 특성 Data, SPD 열화 특성 정(+)/부(-) 극성 기준

시험품 사진



시험품 회로도



제품 사양

최대연속 사용전압 : L-N AC 300V / L-PE, N-PE AC 400V
서지 용량 : In 10kA / Imax 20kA
전압 보호레벨 : L-N 1.5kV / L-PE, N-PE 1.5kV
KS C IEC 61643-11 기준 만족 (thermal fuse, 상태표시기)

165) KS C IEC 61643-11, -12 규격에 따른 대체 보완 제품에 대한 뢰임펄스서지 테스트 검토・검증Data

시료번호	모드	인가전압	횟수	극성	제한전압	파일명	비고
1	L ~ PE	15kV	1	정극	1330	1022	
			2		1370	1023	
			3		1570	1024	
			4		1400	-	Data 없음
			5		1410	1025	
			6		1450	1026	
			7		1710	1027	
			8		1430	1028	
			9		1520	1029	
			10		1460	1030	**이상 없음**

그림 91 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트- 서지내력 보완설계 적용후, 서지내력 적합성 테스트 검증

○ 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트

: 뢰임펄스서지 시뮬레이션 테스트 전용장비 제원

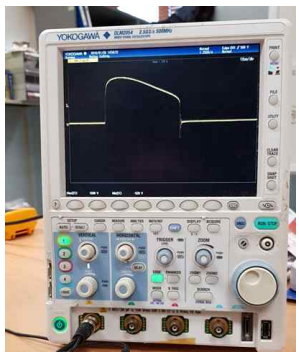
			
뢰 임 펄 스 서 지 (Lightning Impulse Surge) Simulator, LSS-15AX, Made in Japan		High Voltage Difference Probe SI-9010 with Digital Oscilloscope	High Voltage Difference Probe SI-9010 and Digital Oscilloscope

그림 92 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트-뢰임펄스서지 시뮬레이션 테스트 전용장비 제원

○ 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트

: 서지내력 테스트 결과 분석 및 보완설계 적용후, 서지내력 적합성 테스트 검증 — 분리기 연결설치를 통한 전기안전기준 적합성 검토・검증 테스트[166]

; TCS 입력단 연결용 Varistors + Arrestors 규격 — 뢰임펄스 시뮬레이션 테스트

166) KS C IEC 61643-11, -12 규격 및 경찰청 뢰임펄스서지 특성시험 규격 내용에 따른 대체 보완 제품에 대한 뢰임펄스서지 테스트 검토・검증

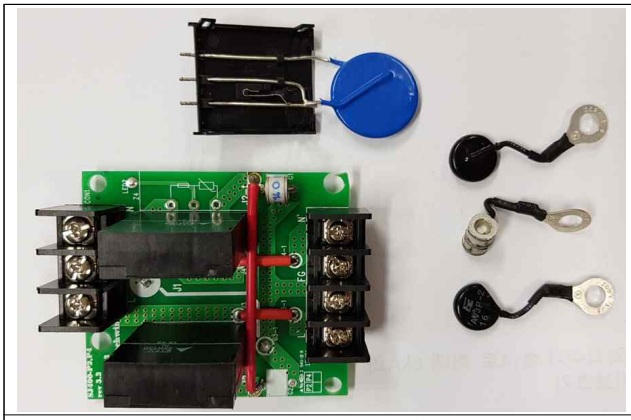
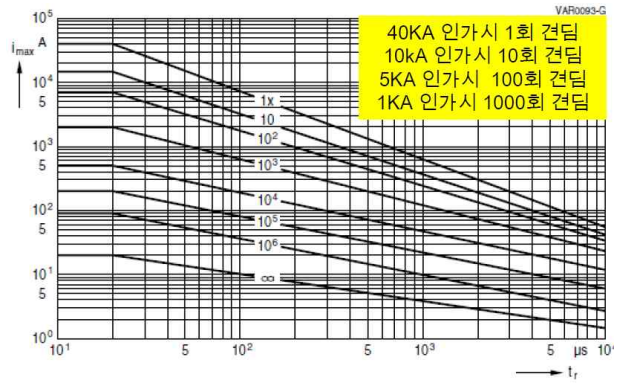
	
○ SPD Varistor+Arrestor 서지 소자 설계 개발 리뷰 - 설계개발품은 저온납땜으로 서지 소자 발열시점에서 분리방식의 예(전기안전성 개선) - vs. AV3P-2형(분리되지 않고 파괴로 이어짐)	○ SPD Varistor+Arrestor 서지 소자 설계 개발 리뷰 15KV 서지 인가 - 설계개발품은 저온납땜으로 서지 소자 발열시점에서 분리(전기안전성 표준규격에 근거하여 개선 결과, 적합성 확인함)

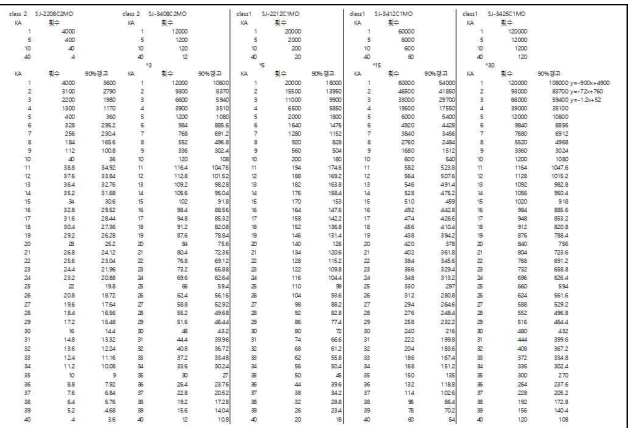
그림 93 피뢰기(Arrestors & Varistors) 뢰임펄스서지 열화 특성 테스트-분리기 연결설치를 통한 전기안전기준 적합성 검토·검증 테스트

○ SPD 로거기능, TDK EPCOS 특성 그래프 특성 분석 데이터 열화특성

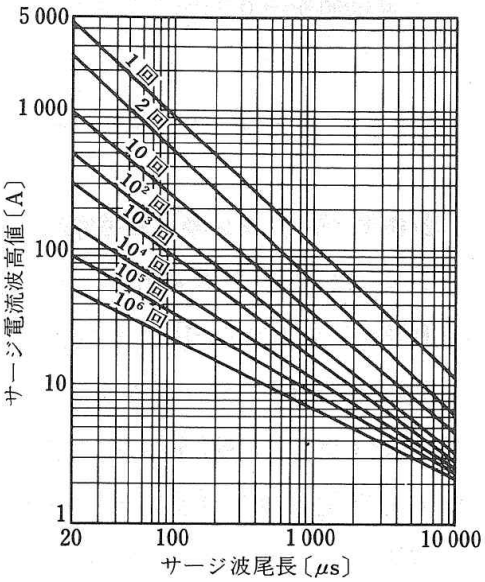
— 피뢰기 SPD Varistors의 열화가 심할수록 누설전류는 증가하게 되며 약 0.5㎃이상으로 증가 시에 피뢰기 SPD Varistors 교체가 필요[167]



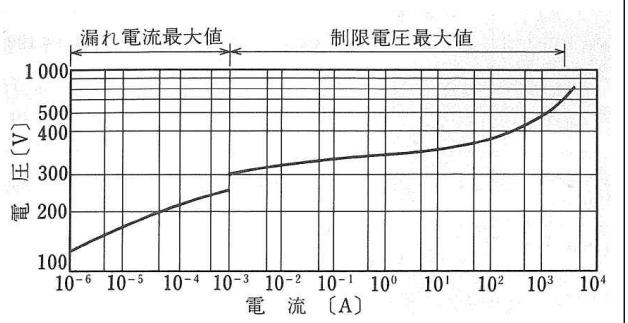
SPD용 바리스터 부품 서지인입량에 따른 열화특성(TDK-EPCOS사 in 20KA): KS C IEC61643-11 규격 내용—서지내력, 서지인가회수 기준 설정



SPD Logger 데이터분석을 통한 SPD 열화특성데이터 및 SPD잔존수명 분석기술 모니터링 데이터 검토・검증



SPD ZnO Varistors의 서지 수명 특성예: 서지전류(Y축), 서지파미장(X축)과 서지인가회수와의 관계 특성 Graph — (일본 Sankosha '뢰해대책 Handbook 통신보안체계' pp. 83-86, 1990)



SPD ZnO Varistors의 전류-전압 특성(일본 Sankosha '뢰해대책 Handbook 통신보안체계' pp. 83-86, 1990) — 전압(Y축), 전류(X축)

그림 94 SPD 로거기능, EPCOS 특성 그래프 특성 분석 데이터 열화특성-SPD Varistors의 열화/교체시점

167) SPD Varistors는 수 nF의 특성을 가지며, 0.1~3㎃정도의 누설전류(Leakage Current)가 발생한다. 이는 피뢰기 SPD Varistors의 열화가 심할수록 누설전류는 증가하게되며 약 0.5㎃이상으로 증가 시에 피뢰기 SPD Varistors 교체가 필요하다.

○ TCS 입력단 SPD 부품 성능 테스트 분석 평가 결과[168]

; 피뢰기(Arrestor/바리스터) 부품 특성을 전문시험장비로 테스트 실시하여 시험데이터 분석/평가를 통한 전문가 기술 검토를 중점으로 토의하여 결과를 도출한 내용이다.

○ 기본 구성 SPD[169] 제품규격: AV3P-2형 ; 일본, Sankosha 회사 제품

○ 적용하는 개소: 교통신호제어기 (TSC 또는 TCS로 약칭명으로 사용) 입력전원 연결단

○ TSC당 사용갯수: 대당 1개

○ 주 목적기능(Major Purpose Functionality) : 입력전원단에 불규칙 서지인입 시에 보호소자 기능을 갖는 것으로 정의하며, 실질 TSC규격에서는 뢰임펄스서지내량에 부합하는 보호기능을 의미함

○ 관련규격: 국내 경찰청 교통신호제어기 표준규격서

- NEMA TS-1, TS-2 Std.,
- 유럽 HD638 S1-2001년 HARMONIZATION DOCUMENT-Road traffic signal systems
- tr2500a, Specification for Traffic Signal Controller, 65p., Highway Agency, 2005.(유럽 규격 예)-1
- IEC61508-2 -Functional safety-Requirements for electrical,electronic,programmable electronic safety-related systems
- CALTRANS, 미국 교통신호제어기, California Department of Transportation (Caltrans)
- 유럽 EN 12675[1]-2000년 - 표준규격-신호제어기,안전요구조건
- IEC61643-11 & -12

○ 규격 내용: 용량 약 9KA 에 해당하는 서지내력을 가지고 있는 것으로 검토; 이 부분은 필드 설치에 부합하는 20KA 수준 비교 시 규격이 낮은 수준이며, 분리기 설치가 불가한 구조로 확인함

(뢰임펄스서지 테스트[170] 데이터 분석 평가/결론Conclusions:) TCS 입력단에 연결 부착하여

---

168) TCS입력단 뢰임펄스서지 보호소자로 연결사용 중에 있는(1991년부터 부품규격이 정해진 이후 규격변동이 단한차례도 되지 않은 채 본 동일의 소자 규격으로 적용하여 사용중에 있음)AV3P-2형 Arrestor 특성 테스팅 실행한 주요 기간은 2018.01.12.~2018.05.14.으로서 특성 테스트 주요장비를 보유하고 있는 성진테크윈 회사 외 해당 전문 시설·장비를 활용하여 진행하였다. – (2018.05.14., 전문가 내용 검토 시 확인자:) 이영진, 최기원, 이재훈(이상 성진테크윈 기업부설연구소 소속 전문가, 및 아주대 참여 교수 오봉식)

169) Surge Protective Device

170) Lightning Impluse Surge Simulation Test 관련 규격 KS C IEC61643-11 & -12, ANCI C62.41 etc.

사용하는 AV3P-2형에 대하여, 서지내량(파괴수준까지의 시험결과를 포함하여 *1) 시뮬레이션 테스팅 및 시험결과를 분석 평가한 내용은 대체적으로 유사 제품으로 범세계에 시장점유를 상당부분 가지고 있는 TDK(EPCOS) 바리스터 데이터 쉬트에서 제시하고 있는 특성그래프를 가지는 것으로 판단한다. 특히 현 사용중인 피뢰기(Arrestor)는 약 9KA 에 해당하는 서지내력을 가지고 있는 것으로 검토; 이 부분은 필드 설치에 부합하는 20KA 수준 비교 시 규격이 낮은 수준이며, 분리기 설치가 불가하다. 이 부분은 국내·외 전기안전기준에 부합하지 않아 시정조치가 후속조치로 필요하다.[171]

확인서

바리스터 부품 특성 기술 관련 검토 확인 내용임

○ 관련 정부R&D 과제명: 안전 신뢰성 기반 고장 예지 건전성 관리기술(PHM)을 활용한 국도상 TCS유지관리 기반기술연구
○ 과제번호: No.17CATP-C129828-01, 동 연속과제명·연속과제번호 18CATP-C129828-02
○ 기본 구성 제품규격: AV3P-2형 ; 일본, Sankosha 회사 제품
○ 적용하는 개소: 교통신호제어기 (TSC 또는 TCS로 약칭명으로 사용) 입력전원 연결단
○ TSC당 사용갯수: 대당 1개
○ 주 목적기능(Major Purpose Functionality) : 입력전원단에 불규칙 서지인입 시에 보호소자 기능을 갖는 것으로 정의하며, 실질 TSC규격에서는 뢰임펄스서지내량에 부합하는 보호기능을 의미함
○ 관련규격: 국내 경찰청 교통신호제어기 표준규격서 외 다수
; 외 다수:
- NEMA TS-1, TS-2 Std.,
- 유럽 HD638 S1-2001년 HARMONIZATION DOCUMENT-Road traffic signal systems
- tr2500a, Specification for Traffic Signal Controller, 65p., Highway Agency, 2005.(유럽규격 예)-1
- IEC61508-2 -Functional safety-Requirements for electrical,electronic,programmable electronic safety-related systems
- CALTRANS, 미국 교통신호제어기, California Department of Transportation (Caltrans)
- 유럽 EN 12675[1]-2000년 -표준규격-신호제어기,안전요구조건
- IEC61643-11 & -12
○ 규격 내용: 용량 약 9KA 에 해당하는 서지내력을 가지고 있는 것으로 검토; 이 부분은 필드 설치에 부합하는 20KA 수준 비교 시 규격이 낮은 수준이며, 분리기 설치가 불가한 구조로 확인함

(확인을 하는 내용 Conclusions :) AV3P-2형에 대하여, 서지내량(파괴수준까지의 시험결과를 포함하여 *1) 시뮬레이션 테스팅 및 시험결과를 분석 평가한 내용은 대체적으로 유사 제품으로 범세계에 시장점유를 상당부분 가지고 있는 TDK(EPCOS) 바리스터 데

171) KS C IEC61643-11 & -12 규격 적용에 부적합한 규격의 부품을 적용하고 있는 것으로 해당 부품의 시험데이터 분석 및 평가 결과 내용이 국내·외 전기안전기준에 부합하지 않아 시정조치가 후속조치로 필요한 것으로 판단하여, 후속적인 시정조치가 필요하다.

이터 쉬트에서 제시하고 있는 특성그래프를 가지는 것으로 확인함

(*1) AV3P-2형 Arrestor 특성 테스팅 실행한 주요 기간은 2018.01.12.~2018.05.14.으로서 특성 테스트 주요장비를 보유하고 있는 성진테크윈 회사 외 해당 전문 시설·장비를 활용함

(Remark:) 관련 테스트 분석 내용 자료는 별첨 1부.

2018.05.14.

전문가 내용 확인: (소속/ 직위) (서명:)

성진테크윈/ 기술이사 이 영 준

성진테크윈/ 수석연구원 최 기 원

성진테크윈/ 책임연구원 이 재 훈

아주대학교/ 연구교수 오 봉 식

위의 결과를 종합하면

① KS C IEC 61643-11, KS C IEC 61643-12 규격은 분리기기(Disconnected switching device) 설치기준으로 출력부하단의 전기안전을 확보하도록 전기안전 규격을 두고 있다.[172)173)]

- KS C IEC 61643-11 제 3.2.27, 3.2.28, 및 7.2.5.1항 등
- KS C IEC 61643-01 제 3.29항
- KS C IEC 61643-12 제 3.16항

② 전기전자기기 및 장치 보호를 위한 서지보호장치(SPD) 규격은 IEC 61643-11, IEC 61643-12 국제규격 및 TBT 협정에 따른 KS C 규격으로 전기안전에 적용되어야 하나, 국내 TSC 입력단에 연결되어 사용 중인 Arrestor(내부에 Varistor 결합 부품으로 구성)는 관련의

172) SPD 및 로거(모델명 예: SJ-2212C1MO)와 분리기기 연결결합으로 전기안전 표준규격으로 적용 필요함

173) KS C IEC 61643-11 중 7.2.5.1항에 의거하여 "SPD는 분리기(내부 또는 외부, 또는 내· 외부 모두가 될 수 있음)가 있어야 한다. 단, TN시스템의 N-PE 접속간 그리고/ 또는 TT 시스템 전용 시스템의 N-PE 접속간에 연결되는 SPD의 분리기는 생략 할 수 있다" 라고 되어 있다. KS C IEC 61643-11 중 3.1.28항: SPD 분리기 (SPD disconnector) 전력시스템으로부터 SPD를 개방시키는 장치 – SPD 분리기는 계통 안전을 요구하는 차단 성능까지는 요구하지 않는다. 분리기는 계통의 영구적인 고장을 방지하고 SPD 고장을 표시하는데 사용한다. 분리기 내장형 또는 외장형으로 구성이 가능하며 외장형의 경우 제조사가 제시를 해야한다. 과전류보호 기능과 열 보호 기능 등, 하나 이상의 분리 기능이 있을 수도 있다. 이러한 기능들은 하나의 장치에 통합될 수도 있고, 기능별로 다른 장치로 각각 나누어서 존재할 수도 있다.
KS C IEC 61643-12 중 3.16항: SPD 차단기 (SPD disconnector) SPD가 고장날 때, 시스템에서 SPD를 차단(disconnect)하는 장치. 시스템에서 발생하는 지속적인 오동작을 방지하고 SPD 오동작을 가시적으로 지시한다. – KS C IEC 61643-1의 정의 3.29 를 인용하였다. SPD 차단기에는 최소한 세 가지 기능이 요구된다.(바리스터에서의 열폭주 등 과 같은) 열과 관련된 문제로부터의 보호 기능, 내부 단락에 대한 보호와 간접 접촉에 대한 보호. 이러한 기능은 하나 또는 그 이상의 차단기에서 얻을 수 있다. 각 차단기는 SPD에 내장되어 있거나 외부에 장착되어 있다. SPD 회로 또는 전원 선에 사용할 수 있다.

전기안전규격에 부합하지 않고 있다.[174]

(3) 어레스터의 낙뢰기반 PHM

위와 같은 검토 결과 TCS의 바리스터가 TDK 바리스터 데이터시트에서 제공하고 있는 특성그래프를 따르는 것으로 확인되었다. 이 결과를 바탕으로 잔여수명을 추정하기 위한 PHM model을 개발하기 위하여 SPD 전문업체인 성진테크윈과 협력하여 SPD 제품에 대한 서지 크기별 서지인가 가능횟수를 시뮬레이션으로 구하였다. 다음은 이렇게 구해진 서지 크기별 서지투여인가 횟수를 나타낸 것이다.[175]

표 82 서지 크기별 서지투여인가 횟수

class 2	SJ-2208C 2MO	class 2	SJ-3408C 2MO	class 1	SJ-2212C 1MO	class 1	SJ-3412C 1MO	class 1	SJ-3425C 1MO
KA	횟수	KA	횟수	KA	횟수	KA	횟수	KA	횟수
1	OO000	1	OO000	1	O0000	1	OO000	1	OO0000
2	OO100	2	OO300	2	OO500	2	OO500	2	OO000
3	OO200	3	OO600	3	OO000	3	OO000	3	OO000
4	OO300	4	OO900	4	OO500	4	OO500	4	OO000
5	OO000	5	OO200	5	OO000	5	OO000	5	OO000

여기서 class 1은 변전소나 발전소에 사용되는 바리스터이며, class 2는 일반 산업용 장치기기에 사용되는 경우이다.[176]

다음은 자료를 그래프로 나타낸 것이다. 기밀유지를 위하여 자료는 가공되었다.

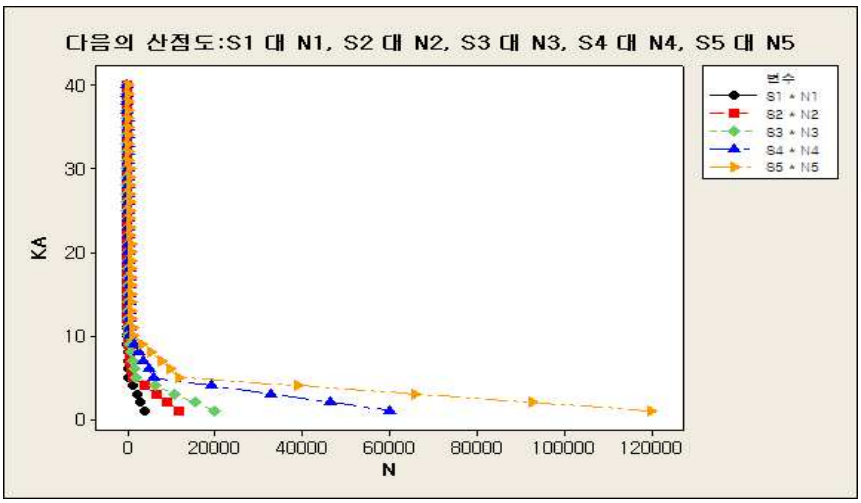


그림 95 서지크기와 서지투여인가 횟수

174) 피뢰설비는 IEC62305, 건축전기설비는 IEC60364 표준규격으로 적용함
175) 40KA까지의 데이터를 입수하였으나 기업의 기밀사항으로 구체적인 수치를 생략함.
176) IEC 61643-11, 12 에 따름

위의 표는 TDK사에서 제공한 열화특성곡선으로부터 구해진 것인데, 기준이 되는 SJ-2208C2MO 제품에 대해서는[177]

$$N=\begin{cases}-a_1S+b_1, & S\le c_1\,(KA)\\ -a_2S+b_2, & c_1<S\le c_2\,(KA)\\ -a_3S+b_3, & c_2<S(KA)\end{cases}$$

S : 인가 서지 (단위: KA)

N : 서지 인가 가능 횟수

를 만족한다. 이 식을 성진테크윈 식이라고 하자. 다른 제품들은 위의 식에 용량값을 고려하여 곱하면 된다. 예를 들어 SJ-3408C2MO 제품은 용량을 고려하여 위의 식에 3배를 곱하여 구한 것이다.

위의 식은 TDK 사의 그래프를 3구간으로 나누어 구한 것인데, 이를 하나의 곡선으로 모델링할 수도 있을 것으로 판단되어 SN 곡선과 같은 역거듭제곱 모형을 이용하여 분석을 실시하였다. 즉 서지크기와 인가횟수의 관계로

$$NS^m = K$$

즉

$$\ln N + m\ln S = \ln K$$

m, K : 상수

로 모델링할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 확인하기 위하여 회귀분석을 실시하면 SJ-2208C2MO 에 대해서는 lnK = 9.009, m = 1.913 으로 나타나며, 결정계수 R^2 의 값이 95%로 회귀식이 매우 적합한 것으로 판단된다. 나머지 제품들은 절편인 K 값만 달라지게 되는데, 그러한 용량효과를 고려하면 서지크기와 인가횟수의 관계는

$$NS^{1.913} = 8176.341C$$

177) 상수들의 값은 기업비밀사항으로 생략함

의 식을 구할 수 있다. (이 식을 SN 식이라고 하자.) 여기서 상수 C 는 바리스터 용량에 따라 달라지는 용량계수이다.

서지의 크기와 인가횟수가 SN 곡선과 같은 방식으로 표현될 수 있으므로 잔여수명은 Miner 법칙을 이용하여 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 확인하기 위해서는 많은 새로운 실험이 필요하게 될 것이지만, 잔여수명 추정을 위하여는 선형손상법칙을 가정하여

$$\sum_{i=1}^{k} \frac{n_i}{N_i} = 1$$

N_i : 서지 크기가 S_i 수준일 때 인가가능횟수 (내구횟수)

n_i : 서지 크기 S_i 수준 인가횟 횟수

에서 구할 수 있을 것으로 판단된다.

예를 들어 SJ-2208C2MO 바리스터를 사용하는 경우 과거 이력이 3KA 500회, 7KA 30회, 10KA 5회를 경험하였다면 향후 5KA가 지속적으로 인가된다면 잔여수명은 다음과 같이 구할 수 있다. 인가 서지가 S = 3KA 인 경우에는 N = 2200[178], S = 5KA 일때는 N = 400, S = 7KA 일 때는 N = 256, S = 10KA 일 때는 N = 40 이므로, S= 5KA 일 때 잔여 인가 가능횟수를 n 이라하면

$$\frac{500}{2200} + \frac{n}{400} + \frac{30}{256} + \frac{5}{40} = 1$$

로 부터 n = 227.8 은 228회로 구할 수 있다. 만일 여기서 향후 5KA가 인가될 것을 알 수가 없는 경우에는 과거에 발생한 서지의 평균값을 이용하여 잔여수명을 구할 수 있다. 즉 과거에 발생한 서지의 평균크기는 (3×500+7×30+10×5)/(500+30+5) = 3.289 (KA) 이다. 향후 평균 크기의 서지가 반복된다면 N 은 N =1939.252 이다. 따라서 잔여인가 가능횟수는 1104.6 회로 추정이 가능하다.

위의 논리를 이용하여 바리스터의 잔여수명을 추정하는 로직을 다음과 같이 구할 수 있을

178) 여기서는 성진테크윈 식을 이용하여 구하였으나, SN 식을 이용할 수도 있다.

것으로 판단된다. 서지의 발생이 랜덤하여 시간 t까지 발생하는 서지의 수가 Poisson 프로세스를 따른다고 하자. 즉 $\{X(t), t>0\}$를 시간 t까지 발생한 서지의 수라고 할 때

$$P(X(t)=x)=\frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!}, x=0,1,2,\cdots$$

로 가정하자. 여기서 λ 는 단위시간당 서지발생강도이다. 이 경우 다음 그림에서와 같이 각 서지가 발생하는 시간간격을 각각 $\{T_1, T_2, \cdots\}$ 이라고 하자. 그러면 $\{T_1, T_2, \cdots\}$는 평균 1/λ인 지수분포를 따르게 된다.

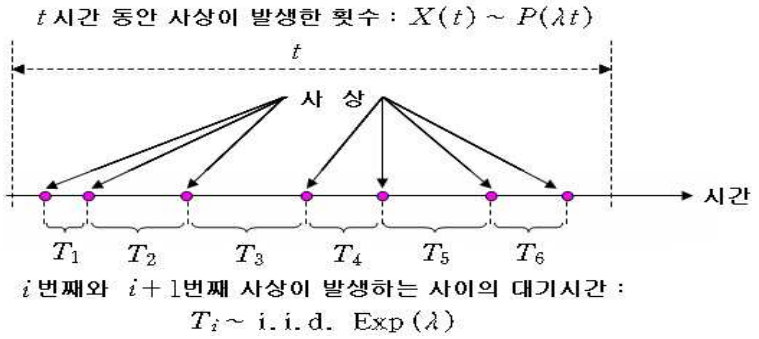


그림 96 포아송과정과 지수분포의 관계

만일 TCS 에 인가되는 서지의 발생시간과 크기를 기록하는 logger 이 있다면 잔여수명을 다음과 같이 구할 수 있다. S_i를 i번째로 발생한 서지의 크기, N_i를 해당 서지수준의 인가가능횟수라고 하자 ($i=1,2,\cdots$). 그러면 발생한 서지 크기의 평균은

$$\bar{S}=\frac{\sum_{i=1}^{X(t)} S_i}{X(t)}$$

이다. 그러면 향후 평균서지 $\bar{S}$ 수준의 서지가 반복될 수 있는 횟수 n 은 마이너 법칙을 이용하여

$$n=N_{\bar{S}}\times\left(1-\sum_{i=1}^{X(t)}\frac{1}{N_i}\right)$$

로 구할 수 있다. 여기서 $N_{\bar{S}}$ 는 서지의 수준이 $\bar{S}$ 일 때 인가가능횟수이다.

한편 서지발생강도의 최우추정치는

$$\hat{\lambda} = \frac{X(t)}{t}$$

로 구할 수 있다. 따라서 서지발생시간간격의 평균은 $1/\hat{\lambda} = t/X(t)$ 이다. 따라서 잔여수명은

$$RL = n\frac{t}{X(t)}$$

로 구할 수 있다.

이러한 로직을 반영하여 잔여수명을 구하기 위해서는 서지의 크기와 발생시간을 구할 수 있는 서지로거가 필요하다. 본 연구에서는 앞서 서지 실험에서 본 것과 같은 서지로거를 구입하였으며, 아래는 SPD 로거와 PC의 통신과정을 보여주는 그림이다. SPD로거에서 데이터를 확보하면 다음 그림과 같이 잔여수명을 추정하게 된다.

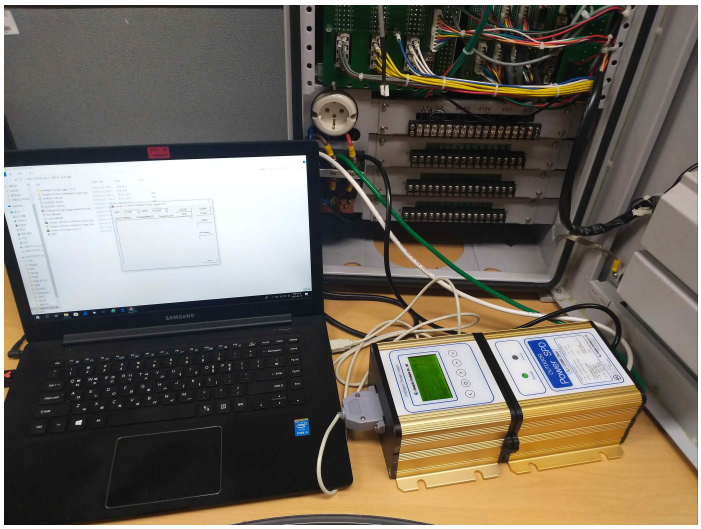


그림 97 SPD와 PC 연결

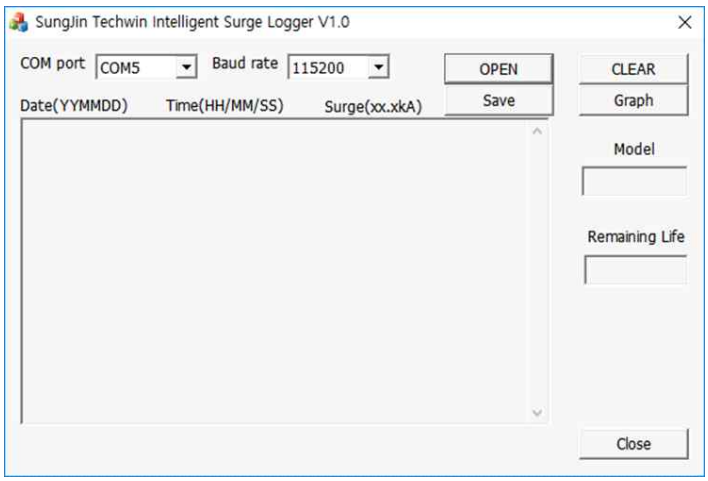


그림 98 SPD 연결시 데이터 전송 프로그램

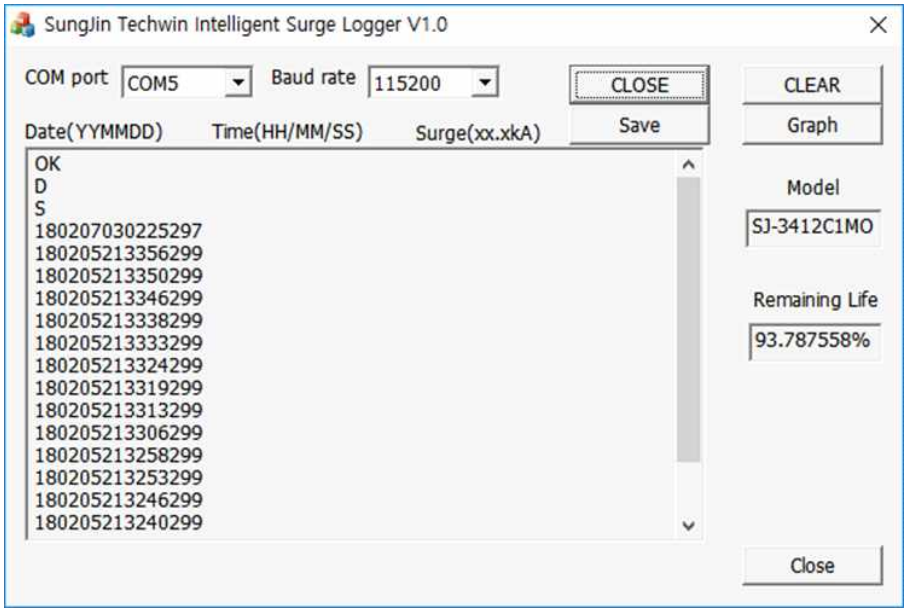


그림 99 SDP 데이터 전송 프로그램 (데이터 전송 예시)

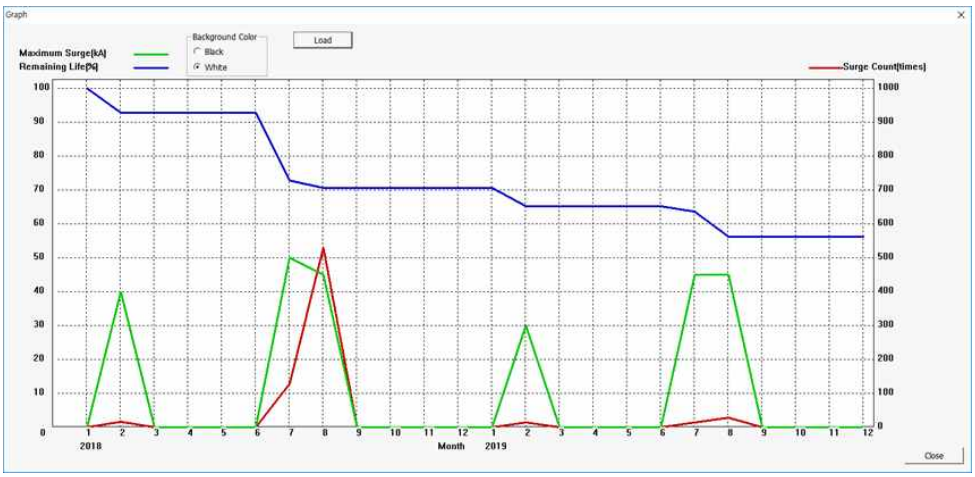


그림 100 SDP 데이터 전송 프로그램 (데이터 그래프)

마. Thyristors-Triacs(LSU) PHM

(1) TSC 트라이액 부하스위치 기능

TSC 부하스위치 기능은 교통신호등을 켜고 끄는 주 기능으로서 LSU(SSR by TRIACs) 와 점멸기(FLASHERs)의 주 기능 두가지 장치로 대분된다.[179] 이들의 열화특성을 검토·검증을 필요로 하는 것은 유지보수정보 데이터를 해당 수요기관별 조사를 하던 중 애로사항으로 해결을 필요로 숙지하게 된 누전·누설전류에 따른 현장에서의 TSC 운영에 매우 많은 불편을 격고 있는 것으로 확인되었으며, 이로 인한 모순검지기능에 이르기까지 안전·신뢰성 기반에 시급히 개선을 필요로 한다.

(가) 점멸기(FLASHERS) 부하스위치 TRIACs 부품특성[180]

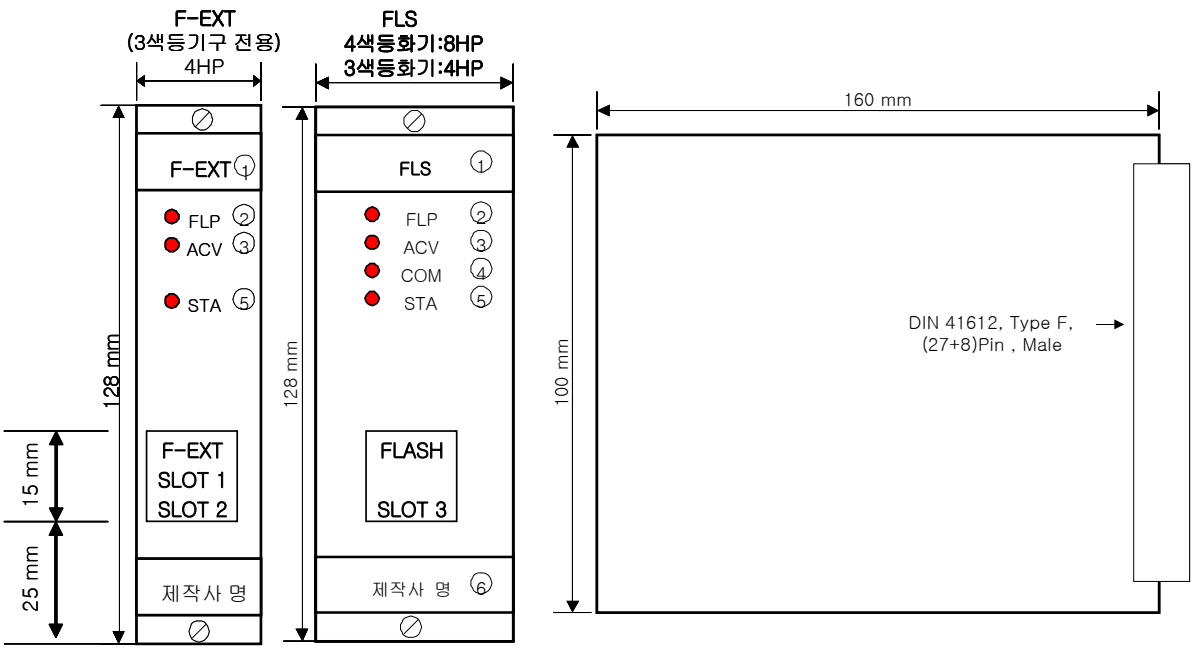
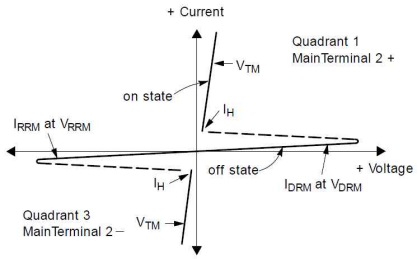


그림 101 점멸기(FLASHERS) 기판 및 전면판 규격

179) SCU(Signal Control Unit) 구동제어부 Shelf-unit 에 해당한다. – NEMA TS-2:1992/2003 은 MMU를 포함하여 자체진단기능, 오동작방지기능 등 대폭 안전신뢰성을 강화한 규격으로 공개하고 있다.

180) 국내규격, 교통신호제어기 규격서 취합_180614 NPA-TSC-2010-R21, pp. 92-94; – 점멸 구동 스위치 규격: AC 전력 스위치, 고성능 Relay나 무접점 반도체형도 사용가능, F-EXT의 스위치별 구동 전류가 20mA 이상이면 F-EXT 자체 전원을 사용, 절연 내압 : 1500V 이상, 절연 저항 : DC 500V 에서 10MΩ이상, 최대 출력 전류 : 회로 당 1.5A 이상, 누설 전류 : 3mA 이하로 정하고 있다.

- 점멸기 부하스위치 규격은 LSU 규격의 용량보다 다소 크게 설정되어 있다.[181]

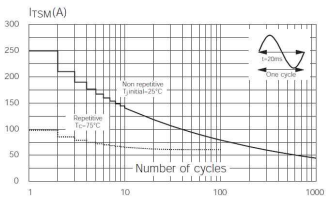


Voltage Current Characteristic of Triacs (Bidirectional Device)

Symbol	Parameter
V_{DRM}	Peak Repetitive Forward Off State Voltage
I_{DRM}	Peak Forward Blocking Current
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Off State Voltage
I_{RRM}	Peak Reverse Blocking Current
V_{TM}	Maximum On State Voltage
I_H	Holding Current

Symbol	Parameter		Value(MAX)	Unit
V_{TM}	ITM=35A,tp=380us	Tj=25℃	1.55	V
I_{DRM}	VD=V_{DRM} VR=V_{RRM}	Tj=25℃	5	uA
I_{RRM}		Tj=125℃	3	mA

Static Characteristics



Surge peak on-state current versus number of cycles

그림 102 Voltage Current Characteristic of Triacs (Bidirectional Device)

- 점멸기 관련한, 이 부분의 국내 공인시험은 실시한 바가 없는 것으로 조사되었으며, 시험방법 조차 제시한 내용을 찾을 수 없다.[182]

- 점멸기(Flashers)의 기능안전 및 전기적 안전을 위한 해외 규격의 경우 엄격한 다음의 시험절차와 규격을 표 내용에서 제시한 규격내용으로[183] 시험 적합성을 통하여 오동작, 열화특성 등을 적용하도록 하고 있다.

181) BTA24-600B, SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA, FS사

182) 국내 TSC의 생산공급 점멸기(Flashers)자체시험은 단지 성능특성 테스트를 하는 것보다는 작동시험을 하는 것에 그치고 있다.

183) 7. The output current from the flasher through an 1800 watt load when the flasher is in the Off state shall not exceed a maximum of 10 milliamperes peak at 135 volts RMS AC.
11. The flasher shall operate for a minimum of 10 million operations when switching an 1800 watt tungsten lamp operating from a 135 volts RMS AC source or an open circuit load.
12. Each flasher output circuit shall be capable of withstanding a one second surge current of 40 amperes RMS (56.6 peak) at 60 hertz.
13. Each flasher output circuit shall be capable of withstanding a one cycle surge current of 175 amperes RMS (247.5 peak) at 60 hertz.

- 점멸기(Flahers)가 오프 상태에있을 때 점멸에서 1800 와트 부하에 의한 출력 전류는 135 V.AC RMS 에서 최대 10 ㎃를 초과 할 수 없다.[184]
- 점멸기(Flahers)는 135 V RMS AC 전원 또는 개방 회로 부하에서 작동하는 1800 Watt 텅스텐 램프(tungsten lamp load)를 스위칭 할 때 최소 1,000 만회 작동한다.[185]
- 점멸기(Flahers)는 출력 회로는 60 Hz에서 40 A RMS (56.6 A peak)의 서지 전류에서 1 초간 견딜 수 있어야 한다.[186]
- 점멸기(Flahers) 출력 회로는 60 Hz에서 175 A RMS (247.5 A peak)의 서지 전류에 1 주기 견딜 수 있어야 한다.[187]

(나) 신호등제어 부하스위치 SSR(LSU, 출력 부하스위치용) TRIACs 부품

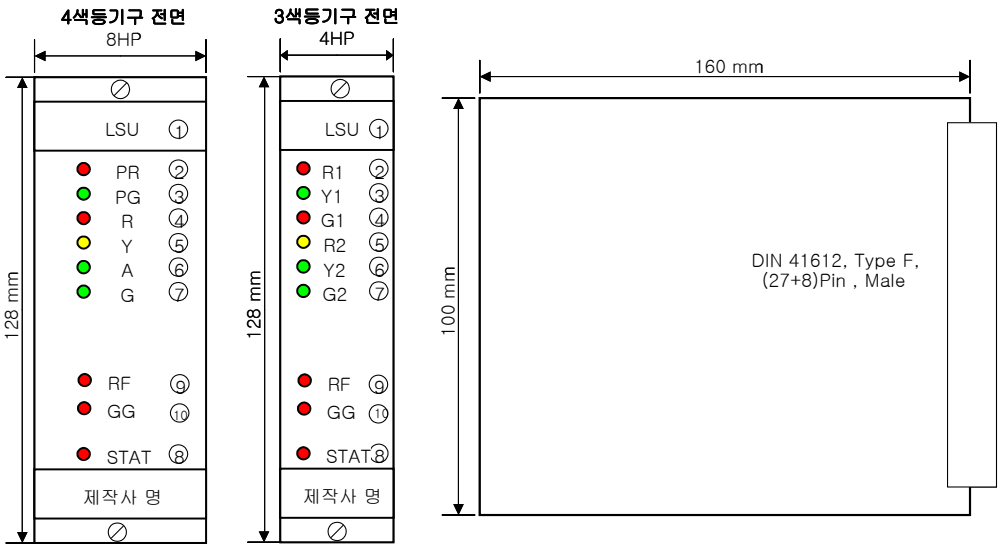


그림 103 등기구동장치(LSU by TRIACs) 기판 및 전면판 규격

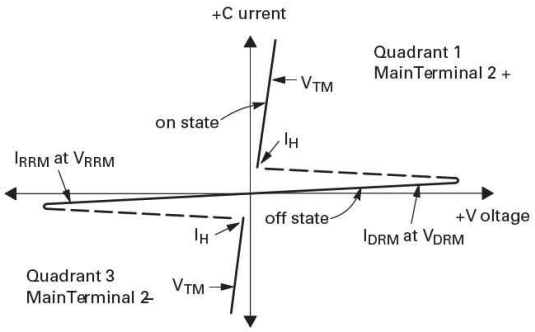
○ TSC 신호등제어 부하스위치 SSR(LSU, 출력 부하스위치용) TRIACs 부품은 초기 생산공급 시 적용 규격[188]으로 생산공급하고 있다.[189]

184) Solid State Load Switches의 OFF 상태에서 부하 1200Watt 및 입력전원 135 V.AC RMS 조건(i.e. 출력 OFF 상태에서 Worst Case로 설정한 조건 상태)에서 누설전류(Leakage Current) 값이 최대 10㎃이하의 출력제어부 전기적 특징을 가지는 것을 말한다.

185) Shall be the reliability of definition minimum requirement for Solid State Flashers for output load switching in Safety-related: concerning refer to NEMA TS-1:1983, pp. 68-70, 'Section 8.2~8.6: Solid State Flashers'; NEMA TS-2:1992, pp. 115-118, 'Section 6, Auxiliary Devices(i.e. 6.3 ~ 6.4.3: Solid State Flashers); NEMA TS-2:2003, pp. 58, 214-217(p.2-18, pp. 6-4~ 6-7), 'Section 6, Auxiliary Devices(i.e. 6.3:, and 6.4.3: Solid State Flashers)

186) KS C IEC 61643-11, IEC 61643-12: SPD(Surge Protective Device) 출력소자 보호 관련 규정 내용을 참조할 필요가 있다.

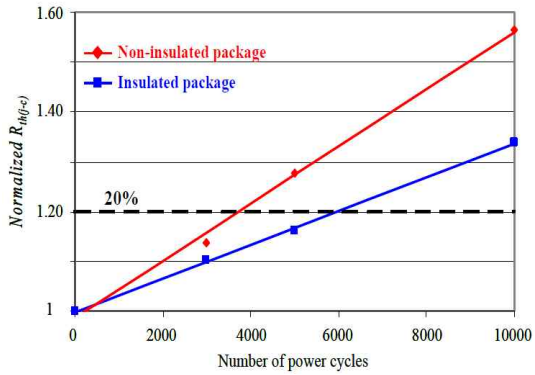
187) KS C IEC 61643-11, IEC 61643-12: SPD(Surge Protective Device) 출력소자 보호 관련 규정 내용을 참조할 필요가 있다.



Symbol	Parameter
V_{DRM}	Peak Repetitive Forward Off State Voltage
I_{DRM}	Peak Forward Blocking Current
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Off State Voltage
I_{RRM}	Peak Reverse Blocking Current
V_{TM}	Maximum On State Voltage
I_H	Holding Current

Electrical Characteristics - OFF (T_J = 25°C unless otherwise noted ; Electricals apply in both directions)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Peak Repetitive Blocking Current ($V_D = V_{DRM} = V_{RRM}$; Gate Open)	T_J = 25°C	I_{DRM}, I_{RRM}	-	-	0.005	mA
	T_J = 125°C		-	-	2.0	



Normalied $R_{th(j-c)}$ evolution during power cycling tests($TRIANGLET_j = 155℃$) – Comparion between non-insulated TRIACs

그림 104 Normalied $R_{th(j-c)}$ evolution during power cycling tests($TRIANGLET_j = 155℃$) – TRIACs of TSC LSU

188) 경찰청 2004Ver. 규격이 표준규격의 효시이므로 이 시점부터로 보아야 한다.

189) TSC는 교통신호등이 백열등에서 LED등으로 교통신호등 에너지절감차원에서 부하변동이 있었으나, 이에 연동하는 부품 규격은 변동없이 초기의 규격으로 적용하고 있다. 다만 부하에 따른 열발산 히트싱크(Heat-sinking, AL재질)과 열발산 촉진을 하도록 하는 구성품은 삭제되어 적용하고 있다.

1) https://www.st.com/resource/en/datasheet/t1610.pdf ; 누설전류Leakage Current 값 관련,
- 정션온도 Tj = 25℃ 조건에서 5㎂ Max.
- 정션온도 Tj = 125℃ 조건에서 5㎃ Max. (Tj = 25℃ 시 보다 약 400백 누설전류값이 증가함)

2) https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/1384296.pdf ; 누설전류Leakage Current 값 관련,
- 정션온도 Tj = 25℃ 조건에서 5㎂ Max.
- 정션온도 Tj = 125℃ 조건에서 5㎃ Max. (Tj = 25℃ 시 보다 약 400백 누설전류값이 증가함)-부품공급사별 동등 수준 누설전류값 데이터를 제시하고 있다.

(다) LSU(SSR) 출력 전기적 특성[190][191]

- 부하 스위치가 OFF 상태에서, 부하 스위치에서 1200 Watt 부하에 의한 출력 전류(output current)는 135 V.AC RMS에서 최대 10 ㎃ 이하여야 한다.[192]
- 각 부하 스위치 출력은 500V 이상의 피크 스탠드 오프 전압(peak stand-off voltage)을 가져야 한다.[193]
- 각 부하 스위치의 출력은 그림 2-3의 회로를 사용하여 21℃에서 측정했을 경우, 1 마이크로 초(per microsecond) 당 적어도 100 볼트의 dv/dt 등급을 가져야 한다.
- 각 스위칭 회로는 텅스텐 램프 부하 또는 역률 보정 가솔린 배관 변압기 부하 (역률 0.8 이상) 중 하나에 대해 60 Hz에서 89~135 V.AC RMS 범위에서 10 A. RMS의 최소 정격(minimum rating)을 가져야 한다.
  - 또한 각 부하 스위치는 100 ㎃ 의 낮은 전류 스위칭이 가능해야 한다.
  - 부하 스위치는 10 A의 연속 부하 회로 사이에서 임의의 비율로 분할하여 평가하여야 하고, 각 회로는 연속 10 A를 통전 할 수 있는 것으로 한다.
  - 이러한 정격 부하 스위치가 일반적으로 장착되어있을 때의 대기 상태 공기에서 동작 설정을 위한 것이어야 한다.
- 각 부하 스위치 회로는 120 V.AC RMS 전원에서 동작하는 1200 Watt 텅스텐 램프

---

190) (TRIACs for Load switch) Output Electrical Characteristics
1. The output current from the load switch through a 1200 watt load when the load switch is in the OFF state shall not exceed 10 milliamperes peak at 135 volts RMS AC.
2. Each load switch output shall have a peak stand-off voltage of 500 volts or greater.
3. Each load switch output shall have a dv/dt rating of at least 100 volts per microsecond when measured at 21℃ using the circuit in Figure 2-3.
4. Each switching circuit shall have a minimum rating of 10 amperes RMS for either a tungsten lamp load or power factor corrected gas tubing transformer loads (power factor greater than 0.8) over a voltage range of 89 to 135 volts RMS AC at 60 hertz.
   - Additionally, each load switch shall be capable of switching currents as low as 100 milliamperes.
   - The load switch shall be rated for 10 amperes continuous load divided between the circuits in any proportion, and additionally each circuit shall be capable of continuously conducting 10 amperes.
   - These ratings shall be for operation in still air when the load switch is oriented as normally mounted.
5. Each load switch circuit shall be designed to switch a 1200 watt tungsten lamp load operating from a 120 volts RMS AC source for a minimum of 10 million operations.
6. Each load switch circuit shall be capable of withstanding a one second surge current of 40 amperes RMS (56.6 peak) at 60 hertz.
7. Each load switch circuit shall be capable of withstanding a one cycle surge current of 175 amperes RMS (247.5 peak) at 60 hertz while operating from a 120 volts RMS AC source.

191) NEMA TS-1:1983, pp. 43-44, 'Section 5, 5.1.3:, and 5.1.4: Solid State Load Switches'; NEMA TS-2:1992, pp. 113-115, 'Section 6, Auxiliary Devices(i.e. 6.2.3:, and 6.2.4: Solid State Load Switches); NEMA TS-2:2003, pp. 58, 211-217(p.2-18, pp. 6-1~ 6-3), 'Section 6, Auxiliary Devices(i.e. 6.2.3:, and 6.2.4: Solid State Load Switches);

192) Solid State Load Switches의 OFF 상태에서 부하 1200Watt 및 입력전원 135 V.AC RMS 조건(i.e. 출력 OFF 상태에서 Worst Case로 설정한 조건 상태)에서 누설전류(Leakage Current) 값이 최대 10㎃이하의 출력제어부 전기적 특징을 가지는 것을 말한다.

193) KS C IEC 61643-11, IEC 61643-12: SPD(Surge Protective Device) 출력소자 보호 관련 규정 내용을 참조할 필요가 있다.

(tungsten lamp load) 부하를 최소 1,000 만회의 작동하도록 설계되어 있어야 한다.[194]

- 각 부하 스위치 회로는 60 Hz에서 40 A RMS (peak 56.6 A)의 서지 전류에 1 초 동안 견딜 수 있어야 한다.[195]
- 각 부하 스위치 회로는 120 V.AC RMS 전원으로 작동하고 있을 때, 60 Hz에서 175 A RMS (peak 247.5 A)의 서지 전류에 1주기(one cycle) 견딜 수 있어야 한다.[196]

(2) 검토 및 예비시험

위와 같은 규격을 준용하여 TSC의 트라이액 부품을 검토하였다. 그 결과는 다음과 같다.

○ SSR(LSU, 출력 부하스위치용) Thyristor TRIAC 부품(누설전류Leakage Current 값 관련) 규격 검토중 온도상승에 따른 누설전류값의 변화폭이 크다는 것을 알 수 있다.[197] logic level and standard 16 A Triacs (as like 국내 TSC내 부하스위치 TRIAC)

- 정션온도 Tj = 25℃ 조건에서 5㎂ Max.
- 정션온도 Tj = 125℃ 조건에서 2 ㎃ Max. : (Tj = 25℃ 시 보다 약 400배 누설전류값이 증가한다)

○ Thyristor TRIAC 부품의 누설전류(Leakage Current) 값 관련(누설전류Leakage Current 값) 규격 검토중 온도상승에 따른 누설전류값의 변화폭이 크다는 것을 알 수 있다

(파일명:) TRIAC BTA16-600~800__Littelfuse_Thyristor_BTA16_600BW3_D_Datasheet (as like 국내 TSC내 부하스위치 TRIAC)[198]

- 정션온도 Tj = 25℃ 조건에서 5㎂ Max.
- 정션온도 Tj = 125℃ 조건에서 2 ㎃ Max. (Tj = 25℃ 시 보다 약 400배 누설전류값이 증가한다)

○ Thyristor TRIAC 부품의 누설전류(Leakage Current) 값 관련(누설전류Leakage Current 값) 규격 검토중 온도상승에 따른 누설전류값의 변화폭이 크다는 것을 알 수 있다.[199][200]

194) Shall be the reliability of definition minimum requirement for Solid State Relays for output load switch: concerning refer to NEMA TS-1:1983, pp. 43-44, 'Section 5, 5.1.3:, and 5.1.4: Solid State Load Switches'; NEMA TS-2:1992, pp. 113-115, 'Section 6, Auxiliary Devices(i.e. 6.2.3:, and 6.2.4: Solid State Load Switches); NEMA TS-2:2003, pp. 58, 211-217(p.2-18, pp. 6-1~ 6-3), 'Section 6, Auxiliary Devices(i.e. 6.2.3:, and 6.2.4: Solid State Load Switches)

195) KS C IEC 61643-11, IEC 61643-12: SPD(Surge Protective Device) 출력 소자 보호 관련 규정 내용을 참조할 필요가 있다.

196) KS C IEC 61643-11, IEC 61643-12: SPD(Surge Protective Device) 출력 소자 보호 관련 규정 내용을 참조할 필요가 있다.

197) https://www.st.com/resource/en/datasheet/t1610.pdf

198) https://www.st.com/resource/en/datasheet/t1610.pdf

199) https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/1384296.pdf

- 정션온도 Tj = 25℃ 조건에서 5㎂ Max.
- 정션온도 Tj = 125℃ 조건에서 2 ㎃ Max. (Tj = 25℃ 시 보다 약 400배 누설전류값이 증가한다)

본 연구진은 이러한 TRIAC 부품의 누설전류의 현황을 알기 위해서 2018년 9월 중순 수원시 도시안전통합센터를 방문하여 협의를 하였다. 그 결과 비가 오는 날이거나 습기가 많은 환경조건에서는 누설전류의 가능성이 있음을 확인하였다. 누설전류가 발생하면 교통신호 제어기의 모순이 발생할 수 있어 치명적인 사고로 연결될 수도 있다.

이를 확인하기 위하여 전문기관에서 누설전류를 측정하는 실험을 간략하게 진행하였다.[201] 다음은 결과를 나타낸 것이다.

① 1200W 연결시 전류값 측정데이터는 대략 4.74암페어(A) 수준이어서, 전기 회로망 이론에 근접함

② 1200W 연결부하[202] 조건에서 부하단 TRIAC 출력오프조건에서 누설 전류값은 약 24μA에 수렴함. 그러나 부하가 연결되지 않은 조건에서는 약 30μA 측정되어 TSC 규격에서 요구하는 약 6μA를 상회하고 있음.

③ ②의 누설전류 값은 TRIAC 부품특성 데이터 북에서 제시하고 있는 Junction온도 섭씨 25도에서의 누설전류 값 5μA를 약 5배~6배를 상회하는 측정값임

(3) 누설전류 측정시험

위의 예비시험 결과에 기초하여 전문시험기관에서 누설전류를 측정하였다.

(4) TRIACs 서지내력 특성

국내 TCS 규격 내용에 명시된 규격은 다음과 같다.[203]

- LSU 등기 출력회로 당 허용 Peak-Current : 120A@10ms
- 장치 당 Peak-Current : 20A@10msec

이 부분의 시험은 전체 제어기 생산공급 공인시험기관에서의 시험은 확인하지 않았던 것으로 유추된다. 따라서 Ground 적합성 검증을 포함하여 전기안전성 기반에 중점 검토를 필요하다. 또한 규격 내용에서도 알 수 있듯이 별도의 시험방법 등을 기술하고 있지 않아서 공인시험기

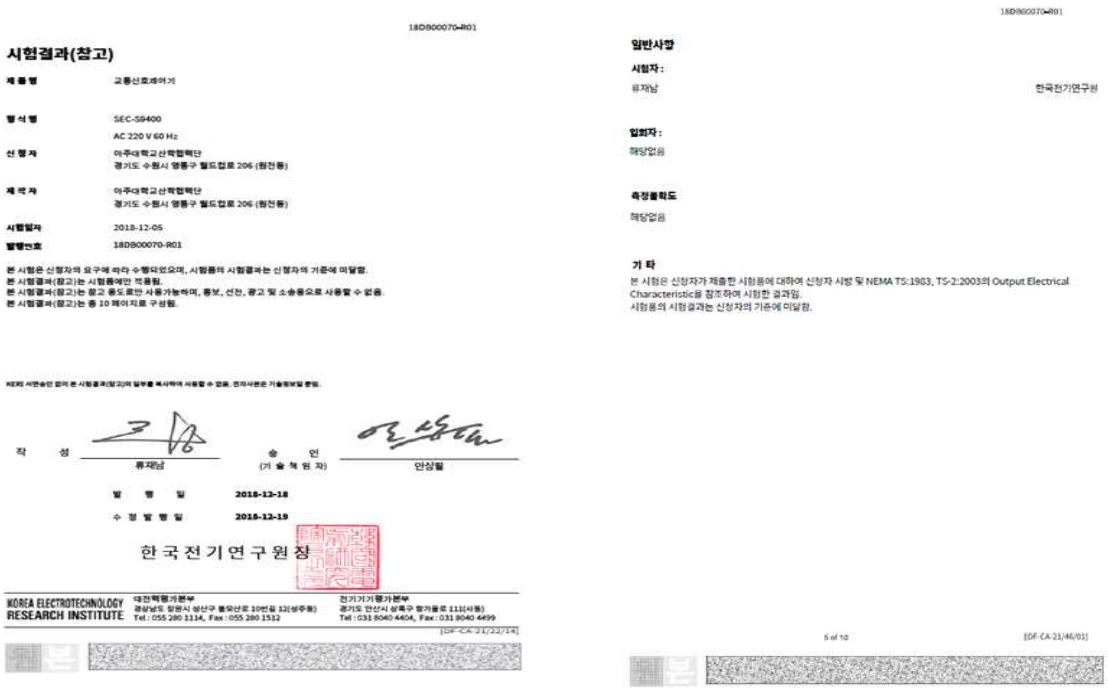
200) Thyristor TRIAC 부품의 검토 내용 파일명: Thyristor TRAIAC BTA16-600~800BWRG__BTA16, BTB16 and T16 Series – 국내 TSC내 부하스위치 TRIACs

201) 규격에는 전압가변범위를 250V.AC로 요구되어지나, 실제 시험에서는 입력전압을 215V .AC수준으로 함. 왜냐하면 부하변동이 0~1200와트 변화상황에서는 250V.AC 조건은 고가의 테스트 장비의 고장 내지는 파손의 위험을 가지고 있다.

202) 텅스텐 램프

203) 경찰청, 교통신호제어기 규격서 취합_180614 NPA-TSC-2010-R21(Including Digital TSC), 2018.06.

관에서도 무엇을 어떤 방법으로 테스트할 것인지를 이해하는 데 어려운 것으로 판단한다.
이에 비하여 해외 TSC 규격의 경우 부하수위치의 열화특성 시험규격은 국내규격 내용에 기재된 내용에 비하여 매우 엄격수준으로 정의하고 있는데 다음과 같으며, 이에 준거한 공인시험기관의 테스트를 하였다.



18D800070-R01

시험결과(참고)

제품명	고종신호제어기
형식명	SEC-S8400 AC 220 V 60 Hz
신청자	아주대학교산학협력단 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206 (원천동)
제작자	아주대학교산학협력단 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206 (원천동)
시험일자	2018-12-05
발행번호	18D800070-R01

본 시험은 신청자의 요구에 따라 수행되었으며, 시험품의 시험결과는 신청자의 기준에 의탁함.
본 시험결과서(참고)는 시험품에만 적용됨.
본 시험결과서(참고)는 광고 등으로만 사용가능하며, 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없음.
본 시험결과서(참고)는 총 10 페이지로 구성됨.

작 성 류재남 (기술책임자) 승 인 안상필

발 행 일 2018-12-18
수정발행일 2018-12-19

한국전기연구원장

KOREA ELECTROTECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE
대전력평가본부 경상남도 창원시 성산구 불모산로 10번길 12(성주동) Tel : 055 280 1134, Fax : 055 280 1512
전기기기평가본부 경기도 안산시 상록구 항가울로 111(사동) Tel : 031 8040 4404, Fax : 031 8040 4499

[DF-CA-21/22/14]

18D800070-R01

일반사항

시험자 :
류재남 한국전기연구원

입회자 :
해당없음

측정불확도
해당없음

기 타
본 시험은 신청자가 제출한 시험품에 대하여 신청자 사방 및 NEMA TS:1903, TS-2:2003의 Output Electrical Characteristic을 참조하여 시험한 결과임.
시험품의 시험결과는 신청자의 기준에 의탁함.

5 of 10 [DF-CA-21/46/01]

그림 105 공인시험성적서–LSU(SSR) TRIACs 서지전류 전기안전성 특성 시험결과

(5) 공인기관 테스트 결과

: **TRIACs 서지전류내력에 견디지 못하는 것으로 확인함** (**첨부 시험성적서 참조**) – 다만 TCS 시료수와 생산공급(제조사)자 설계방법 등의 차이가 있어서 이 부분의 서지전류 전기안정성 확보를 위하여는 향후 추가적인 공인테스트 검증을 필요하다. 또한 내구연한으로 이어지는 연속반복시험 특성은 확인 시 상당한 시간이 필요하므로 향후 추가적인 공인테스트(혹은 자체테스트) 필요하다.

본 연구에서는 LSUs 및 Flashers 에 On/Off 부하스위칭 Thyristor소자 Triac 특성 중 열화시점은 Junction과 Case 열저항값이 부품신품 시의 20%증가 시점이 고장판정기준이기 때문에, 열화특성을 실시간으로 모니터링을 위하여 TRIACs 부품의 누설전류나 온도를 측정하는 시험을 실시하여 PHM을 정립하고자 하였다. [204] 그러나 시험 실행시에는 시험을 위해 장착한 IOT 보드를 비롯한 TSC의 여러 부품이 파손되거나 고장이 발생하였다. 따라서

이를 확립하기 위하여는 더욱 많은 실험이 필요하며, 본 연구의 범위를 넘어서는 것으로 판단하였다. 다만 본 시험 결과 TSC 의 누설전류가 치명적인 잠재고장요인으로 판단되어 Thyristor Triac 등의 부품[205],[206]은 현장운영 시 부하특성 스위칭 규격조건에 서지전류내력 특성[207] 및 열화특성[208],[209]을 검토하여 시험적용방안으로[210] 개선할 필요가 있는 것으로 판단된다.

바. TCS PHM의 통합방안

교통신호제어기의 고장예지 및 건전성 관리를 위해서는 효과적인 유지보수가 매우 중요하다. 유지보수에는 사후 유지보수 (Breakdown Maintenance) 및 사전 유지보수 (Preventive Maintenance)로 나눌 수 있다. 사후 유지보수는 교통신호제어기의 열화 상태를 Monitoring하여 신속하게 파악하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서 본 연구에서 개발한 두 가지 방법론 (Top-Down Monitoring, Bottom-Up Monitoring)을 개발하였다. Top-Down Monitoring은 시뮬레이션 기술을 도입하여 교통신호제어기의 전반적인 작동상태를 Monitoring하여 열화를 판단하며, Bottom-Up Monitoring은 교통신호제어기의 주요부품의 상태를 Monitoring하여 열화 및 고장유무를 판단한다. 사전 유지보수를 위해서는 잔여수명을 예측하여 잔여수명이 소진되기 전에 유지보수 하는 것이 중요하다. 잔여수명 예측을 위해서 본 연구에서는 두 가지 기법을 개발하였다. 하나는 시뮬레이션 기법을 도입하여 임무신뢰도를 계산함(Simulation based Mission Reliability Evaluation)으로써 사전 유지보수에 활용하는 것이다. 그리고 다른 하나는 사용 환경에 따른 잔여 수명을 딥 러닝 기법으로 예측(Deep Learning based RUL Estimation)하여 사전 유지보수에 활용하는 것이다. 통합적인 PHM 구축방향에 대한 그림은 아래와 같다.

---

204) Aging Test Results for High Temperature TRIACs During Power Cycling, pp. 1-2, Sebatien JACQUES(Tours University, France)외 3인-Nathalie BATUT, Rene LEROY, and Laurent GONTHIER(i.e. STMicroeletronics, Tours, France)-; “The failure criterion, which decides a TRIACs reached its end-of-life, is a junction-to-case thermal resistance increase of 20% with respect to the initial value.”

205) Component TRIAC BTA16-600~800_Snubberless™, logic level and standard 16A Triacs (as like 국내 TSC내 부하스위치 TRIAC)

206) Component TRIAC(Flashers) BTA24(25)-600-TRIACs (ST사) for Solid State Flashers

207) TRIAC(SSR-LSUs & FLASHERs), Section 6.3.3 General Electrical Characteristics(Output Electrical Characteristics), i.e. Solid State Relay-LSUs & Flashers by NEMA TS-1:1983,TS-2:2003

208) Aging Test Results for High Temperature TRIACs During Power Cycling

209) EN 50129:2003 Thyristors pp. 69-70, to requirement SIL Level; ‘CENELEC HD 638 S1:2001) Road Traffic Signal Systems,’규격 내용에 ‘EN 50129:2003’(Railway applications - Safety related electronic systems for signaling)를 Normative Reference 규격으로 제시하고 있음

210) NEMA TS-1:1983,TS-2:2003, Section 6.3.3 General Electrical Characteristics(Output Electrical Characteristics), i.e. Solid State Relay-LSUs(Load switch relays) & Flashers by ; TRIAC(SSR for Load switch relays & FLASHERs)

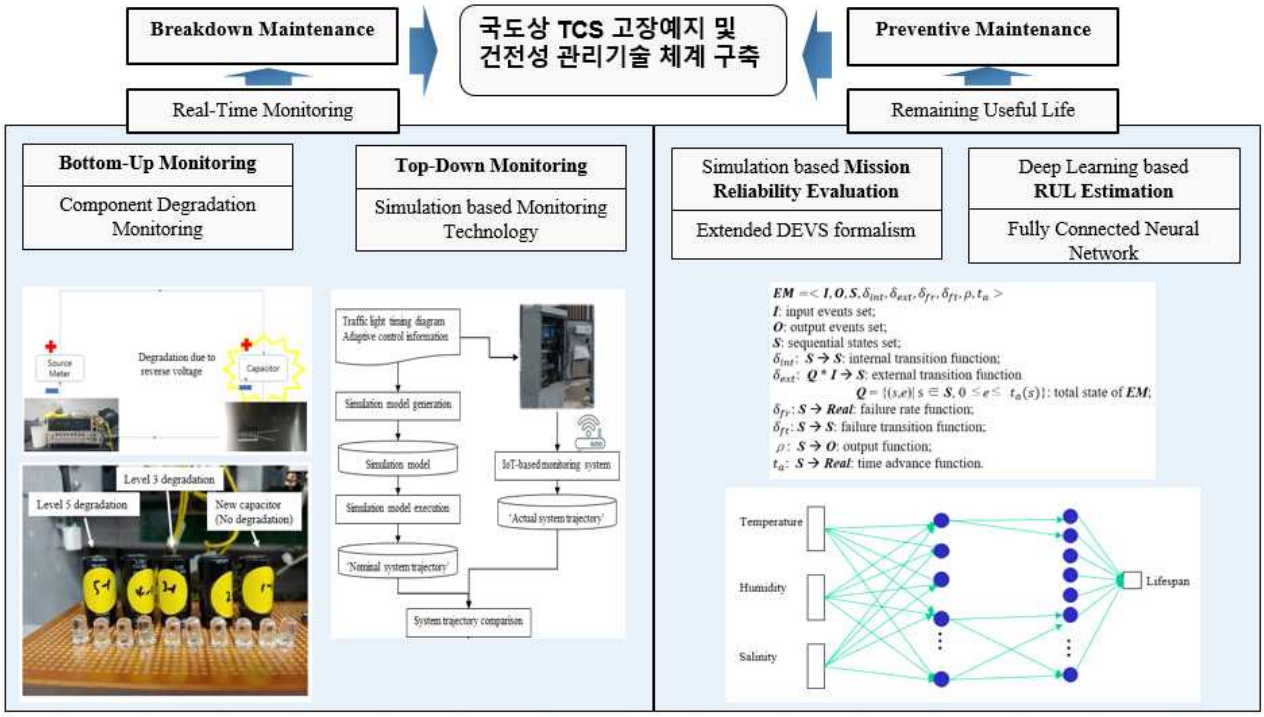


그림 106 PHM 통합 구축 방향

사. 기존 기술과의 차별성 및 개발 시스템의 정량적인 경제성 분석

TSC신호제어기 입력단 낙뢰보호부품인 Arrestor는 바리스터와 세레믹형Air-gap형 Gas-Tube 방식으로 구성된 부품으로 구성되어있는데, 이 부품은 분리기 설치의 전기안전기준(관련 적용 규격 ksc iec61643-11,-12: SPD/Logger 포함)에 따른 출력단 분리기 설치기준에 벗어나고 있어서 TSC현사용 중에 있는 부품(예, AV3P-2Type)는 더 이상 사용을 하는 것은 전기안전기준에 부합하지 않아 'KSC IEC 61643-11,-12' 관련 규격에 부합하는 SPD(Surge Protective Device) 구성부품으로 반드시 변경적용이 필요하다. SPD 분리기 안전기능 표준규격에 적용하여 관련 구성품 변경개선 필요하다.

기술 차별성, 국토교통신호제어기에 안전·신뢰성기반 IoT연계 PHM활용기술은 본 기초원천 기술 연구 과제가 국내외 최초로 시도하여 계획 목표대비 성공달성한 사례로서 기존 기술 대비 현격한 기술차별성을 드러내는 성과 내용이다. TCS교통신호제어기 관련, 국내·외 안전·신뢰성기반 IoT연계 PHM활용기술 기초원천 연구는 최초의 성공사례이다.

포터블 유지기술 디바이스의 경우, 미국NEMA전용 포터블(예, Eagle사 Siemens 포터블 현장장치 등)을 개발 적용하여 현장 유지기술향상에 도움을 주고 있는데, 이 부분 관련하여 본 과제에서 노트PC급으로 설정하여 현장여건 상황에 부합하는 현장포터블 장치구현을 이루도록 하였으며, 추후 실용화 개발연구 추가 계속 개발연구로 이어질 경우 해당 상품을 국내·외 경쟁력있는 상품으로 출시 가능할 수 있는 확대 기술 역량의 범위에 해당한다. 본 기초원천 연구

과제의 최종성과 성공이후, 실용화 개발연구를 통하여 구체적인 상품화 확보를 이어져 국내외 경쟁력확보가 필요할 것으로 사료 판단한다.
유럽식 포터블 유지기술 디바이스의 경우 기능안전요구조건 관련 표준규격(EN 12675, TR2500A 등)에 근거하여 현장 유지기술을 효과적 대응하고자 개발제품으로 활용하는 데, 이 부분 본 과제에서 해당 주요부품별 고장열화 검지 모니터링 기술 구현으로 활용성과 기술역략을 제고하였으며, 차후 실용화 개발연구 수행의 기회가 될 시에는 상용화 상품으로 출시가능하여 국·내외 기술경쟁력을 갖출 수 있을 것이다. 본 기초원천 연구 과제의 최종성과 성공이후, 실용화 개발연구를 통하여 구체적인 상품화 확보를 이어져 국내외 경쟁력확보가 필요할 것으로 사료 판단한다.
유지보수 MTTR, 예상유지비용(cost)절감 관련하여 현장대응의 정확성과 고장검지 모니터링을 IoT기능보드 적용 및 PHM 활용기술을 통하여 최소 약 40%이상의 절감효과로 이어질 것으로 예상하며, 이 부분의 구체적인 현실화를 드러내기 위하여는 추후 실용화 개발 연구가 계속과제로 진행 필요하다.
(향후) 디지털신호제어기에도 활용 확대 가능한 범위를 설정 제시(예, 부품: SPD, 전해 Capacitor, Load switch/ 디바이스: IoT 포터블, 몽고디비..고정코드 베이스) 관련하여, 추후 기술 개연성을 갖춘 본 과제 기초원천 성과 내용이다.

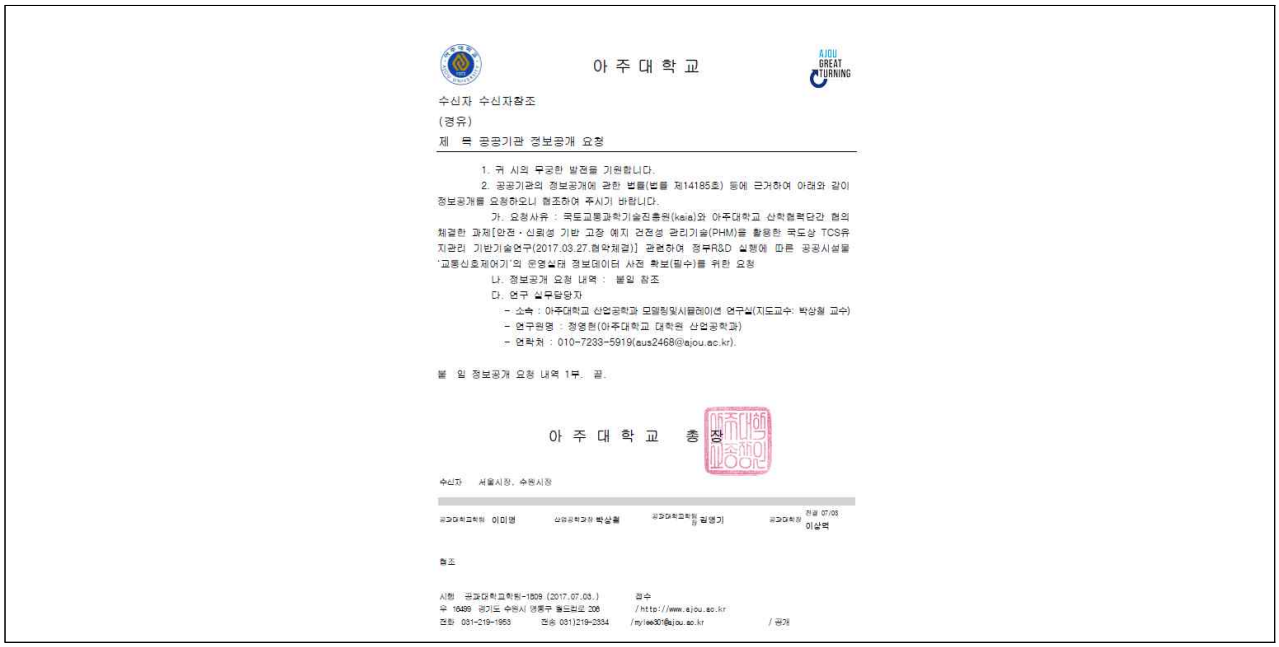
8. TSC 의 FRACAS

(2차년도 주요 연구 실적)

가. 현황

FRACAS는 고장발생시 보고와 분석, 그리고 시정조치를 관리하는 정보시스템이다. FRACAS의 정보는 설계 개발 및 생산에 피이드백 되어 차후 TSC의 고장예방에 적극적으로 활용되어져야 하므로 정보시스템 구축이 필요하다. 또한 유지보수접수에서 해결조치 처리 관련한 일련의 정보처리가 디지털화 정보처리 기준으로 처리규정을 개선 강화하여 지켜질 수 있는 운영을 필요로 한다.

현재 우리나라에서 운용되고 있는 TSC 의 FRACAS와 유지보수관리 정보데이터를 전문기업을 통하여 수집하려 다각도·다방안 등으로 강구하였으나, 실질적인 데이터를 공개대상에 두고 있지 않은 현재 상황이다. 해당 공공기관 지자체 수요기관을 통하여 관련 유지보수정보를 수집하고자 정보공개 공문을 발송하여 공식적으로 신청한바 있다.



아 주 대 학 교

수신자 수신자참조
(경유)
제 목 공공기관 정보공개 요청

1. 귀 시의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 공공기관의 정보공개에 관한 법률(법률 제14185호) 등에 근거하여 아래와 같이 정보공개를 요청하오니 협조하여 주시기 바랍니다.
가. 요청사유 : 국토교통과학기술진흥원(kaia)와 아주대학교 산학협력단간 협의체결한 과제[안전·신뢰성 기반 고장 예지 건전성 관리기술(PHM)를 활용한 국도상 TCS유지관리 기반기술연구(2017.03.27.협약체결)] 관련하여 정부R&D 실행에 따른 공공시설물 '교통신호제어기'의 운영실태 정보데이터 사전 확보(필수)를 위한 요청
나. 정보공개 요청 내역 : 붙임 참조
다. 연구 실무담당자
- 소속 : 아주대학교 산업공학과 모델링및시뮬레이션 연구실(지도교수: 박상철 교수)
- 연구원명 : 정영현(아주대학교 대학원 산업공학과)
- 연락처 : 010-7233-5919(aus2468@ajou.ac.kr).

붙 임 정보공개 요청 내역 1부. 끝.

아 주 대 학 교 총 장

수신자 서울시장, 수원시장

협조

시행 공과대학교학팀-1809 (2017.07.03.) 접수
우 16499 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206 /http://www.ajou.ac.kr
전화 031-219-1953 전송 031)219-2334 /my!ee301@ajou.ac.kr / 공개

그림 107 유지보수 관리데이터 정보공개 레터 – 아주대학교 총장 명의 발송

정보공개가 되지 않아, 본 연구에서는 수원시 도시통합안전센터 방문하여 FRACAS 관련 정보를 수집하였다. 다음은 그 결과를 나타낸 것이다.

- 모순점멸 발생 수량이 과다하여 시정조치 기술 개선이 반드시 필요하다.(예, FRACAS 방식

등을 활용하여 구체적인 시정조치가 필요한 상황임)[211]

표 83 점멸 고장 발생

고장 발생 상황		2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	계
고장 구분	세부 고장 내용						
점멸 발생 (Flash-mode signaling by Abnormal TSC-Status)	모순점멸 (Flash-mode signaling by Conflict Monitoring)	177	150	111	87	57	582
	DB 이상 점멸 (Flash-mode signaling by signal Database risk-erra)	66	61	98	60	7	292

- 누전차단기의 작동으로 전원차단되는 발생 수량이 과다하여 시정조치 기술 개선이 반드시 필요하다.(예, FRACAS 방식 등을 활용하여 구체적인 시정조치가 필요한 상황임)

표 84 전원이상 발생

고장 발생 상황		2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	계
고장 구분	세부 고장 내용						
전원이상 발생 (AC Input Power Supply by Abnormal-Condition-status)	정전	8	5	27	32	42	114
	누전차단기 (Dropped Circuit-Breaker by Leakaging Electrical-potential-level detection)	130	137	106	103	92	568

- TSC 설치 운영 시 잔존수명 내 고장 발생 수량이 과다하여 시정조치 기술 개선이 반드시 필요하다.(예, FRACAS 방식 등을 활용하여 구체적인 시정조치가 필요한 상황임); 특히 LSU보드 고장 발생 과다하며, TSC 주요 CPU 기능보드 고장 발생 수량이 지나치게 과다한 상태이며, 그 밖의 주요 기능보드의 고장 발생 수량도 많은 상태이다.[212]

211) 이 부분, 모순발생이 발생하면 그 구체적인 원인분석을 통하여 해결방안과 근본적 구체책을 세워서 거듭 발생원인을 해결하여 동일한 고장발생을 나타내는 것은 해경하여야 하는 데, 상기의 지자체 방문이후 그 기관으로부터 제공받은 고장정보 데이터에서 보여주듯이 모순점멸 등 동일한 고장발생이 매년 다소의 고장발생수는 차이가 있으나, 그 근본 해결없이 안전·신뢰성 기반 TSC 운영을 한다고 말하기는 어려운 실정인 것이다. 또한 이 모순검지 발생으로 인한 민원발생을 해소·해결을 한다는 것이 고작 모순검지 기능을 불능(Non-Conflict-Monitoring)모드로 설정하여 운영하는 사례가 있는 것으로 밝혀지능 등 교통운영 위험수준(Risk-taking-level and Hazard-level)은 과학기술(Science Enginering Technology)에서 허용할 수 없는 범위를 크게 일탈하고 있다는 우려섞인 목멘 소리가 들리는 것을 보았을 때, 이 부분의 근본적이고 구체해결실행방법을 속히 시행에 옮겨야 한다고 판단한다.

212) TSC 고장 발생 수량이 과다한 것도 문제이지만, 그 고장원인이 무엇인지를 파악할 수 없다는 것은 TSC 설치 현장 조건 상태에 따른 보호소자를 강화하여야 할 필요성이 있음에도, 문제원인의 근본 구체책없이 해당 공인시험기관에서 시험성적서 적합으로 판정결과만으로 설치현장에 설치하도록 하는 제도 역시 재검토가 필요할 것으로 판단한다.—문제원인 해결없는 공인시험항목만으로 어떤 시정조치와 해결을 기대할 수 없다는 것은 국내 TSC 규격이 유럽, 미국 등 규격에 비하여 약 60% 전

표 85 교통신호제어기 고장 발생

고장 발생 상황		2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	계
고장 구분	세부 고장 내용						
TSC 교통신호제어기 (총 1004대 설치운영중)	Modem보드	43	57	150	162	113	525
	CPU 보드	140	125	172	121	60	618
	POWER 보드	4	1	10	5	5	25
	SCU 보드	13	8	14	44	43	122
	FLS 보드	0	0	1	3	1	5
	LSU 보드	30	14	37	59	45	185
	LSU 퓨즈 교체	5	1	6	4	0	16
	제어기 시간 재설정	15	0	9	20	13	57

※ 가. 기종별 수량

구분	일반제어기	전자제어기	실시간제어기	TOTAL
수량	16	0	1004	1020

※ 나. 공급사별 납품수량

구분	코스텍	서돌전자	한진 E&*C	진우전자	SD시스템	샤이니테크	세인시스템	일반제어기	TOTAL
총계	81	18	189	583	55	79	10	5	1020

※ 다. 온라인/오프라인 운영

구분		TOTAL
1	온라인	615
2	오프라인	405
총계		1020

※ 라. 10년간 유지보수 신고내용 접수정보 / 바. 10년간 유지보수처리내용[213)]

구분		2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	TOTAL
센터시스템	신호제어서버(RC)	0	0	0	0	2	2

· 후 규격 조건 수준에 그치고 있음에도 공인시험항목(국내의 경우, 온라인 기능시험항목만 지나치게 과다한 상태임)은 초기 표준규격 제정시점과 그 이점 시점 수준에서 그다지 변화되거나 개선되지 않고 있다는 것이 큰 문제점이 아닐 수 없다.

	신호제어통신서버(FEP)	1	0	2	3	0	6
	터미널서버	0	0	0	0	0	0
	중앙통신모뎀	0	0	61	3	5	69
	회선집중기	1	0	2	0	0	3
	광링크장비	0	0	0	0	1	1
센터Modem	Modem 이상	0	0	0	213	174	387
	Power 이상	0	0	0	0	2	2
전화국	PCM 보드교체	0	0	0	0	2	2
	MDF, NPC점검	80	43	4	14	5	146
	국간시험	6	7	29	8	28	78
	선로단선 및 교체	12	14	31	25	18	100
자가망	광장비	0	27	31	0	0	58
	광선로	0	0	6	0	0	6
D/B 및 현시변경	D/B 및 현시 변경	217	320	424	505	240	1706
신호 제어기	Modem보드	43	57	150	162	113	525
	CPU 보드	140	125	172	121	60	618
	MMI 보드	0	0	0	1	0	1
	POWER 보드	4	1	10	5	5	25
	SCU 보드	13	8	14	44	43	122
	FLS 보드	0	0	1	3	1	5
	LSU 보드	30	14	37	59	45	185
	LSU 퓨즈 교체	5	1	6	4	0	16
	제어기 시간 재설정	15	0	9	20	13	57
KT전화국	통신장비 점검 의뢰	0	0	0	93	82	175
점멸 발생	모순점멸	177	150	111	87	57	582
	DB 이상 점멸	66	61	98	60	7	292
단자대	배선수리	2	2	7	1	1	13
	낙뢰보호기	0	0	0	0	0	0
전원	정전	8	5	27	32	42	114
	누전차단기	130	137	106	103	92	568
스위치	수동S/W 교체	0	0	2	3	0	5
	점멸SW ON	0	0	0	0	0	0
	수동SW ON	1	0	1	2	0	4
	전원SW ON	0	0	0	0	1	1

등기선및 LAMP	등기배선 불량	19	16	20	15	17	87
	LAMP 불량	29	20	12	12	13	86
검지기	루프보드교체	12	30	0	1	0	43
	감도 조정	10	9	0	0	0	19
	검지기 단선	54	16	0	0	0	70
기타	기타 (제어기교체,이설,직결,단자대이동,신호철주및신호등파손,제어기함체점검)	25	8	20	78	14	145
합계		1100	1071	1393	1677	1083	6324

※ 마. 유지보수 신고 접수된 제품의 최초 설치운영정보

구분	수원시 지능형 교통시스템 교통통신호제어_운영단말
내용	2007년 설치 및 운영

나. TSC FRACAS 보완방향

TSC 의 효과적 운용을 위해서는 개발단계에서부터 고장예방을 적극적으로 노력하여야 하지만, 유지보수도 상태정비나 PHM을 도입하는 방향으로 발전되어야 하며, FRACAS 도 그러한 점을 감안하여 개발되어야 한다. 이를 위해 TSC 주요장치들은 센서 기술을 접목하여 유지보수 데이터를 실시간으로 또는 정기적으로 확인하고 네트워크화 하여 DB로 관리함으로써 TSC 의 관리 효율성을 대폭적으로 향상시킬 수 있는 기술 개발이 요구 된다.

(1) FRACAS 구축 방향

효과적인 FRACAS는 기존의 운용단계에서 발생하는 고장에 대한 보고, 분석 및 시정조치가 수행되는 '운용 FRACAS' 뿐만 아니라, TSC를 개발하기 위한 시험평가 단계에서 발생된 고장에 대한 시정조치를 통하여 신뢰성 향상을 도모하기 위한 '개발 FRACAS'도 필요하다.

FRACAS를 위한 추진단계를 4단계로 구성된다.

① 제 1단계 고장보고(FR, Failure Report) : 시험평가 및 운용 단계에서 발생한 고장에 대한 보고서를 작성하는 단계이다.

② 제2단계 고장분석(FA, Failure Analysis) : 발생된 고장의 원인을 분석하는 단계이다.

213) 해당 정보제공 기관: 수원시청 도시통합안전센터–2013년이전자료 자료문서로만 가지고있다고 함, 2018년9월 확인함

③ 제3단계 시정조치(CA, Corrective Action) : 고장분석 결과 규명된 원인에 대한 대책을 수립하여 시정조치하는 단계이다.

④ 제4단계 FRB(Failure Review Board) : 고장분석과 시정조치에 대한 검토가 필요한 경우 FRB에 의한 검토를 실시하는 단계이다.

(2) 개발 FRACAS

TSC의 개발단계에서 발생하는 고장을 관리하기 위해서는 시험평가과정에서 발생하는 고장들을 관리할 수 있는 FRACAS 가 필요하다. 시험평가는 다음 그림과 같이 획득과정의 여러 시점에서 의사결정권자들에게 의사결정에 필요한 자료를 제공할 수 있는 6단계의 절차로 이루어진다.

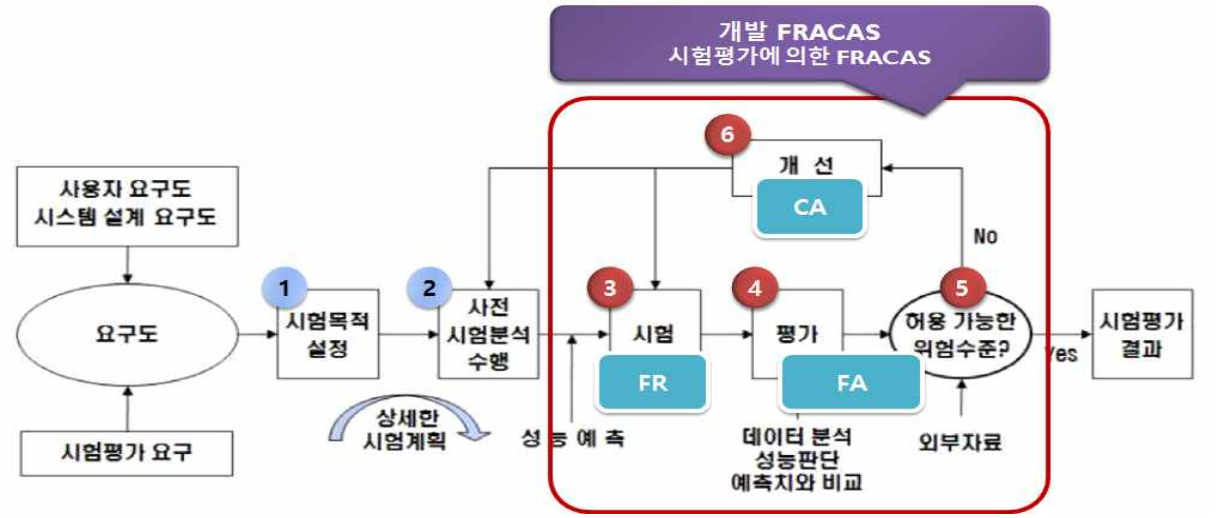


그림 108 6단계의 시험평가 프로세스

이러한 6단계의 시험평가 프로세스에서 FRACAS를 위한 고장보고(FR), 고장분석(FA) 및 시정조치(CA)의 3단계는 다음과 같이 구성할 수 있다.

고장보고(FR) 단계 : 제3단계 시험

고장분석(FA) 단계 : 제4단계 평가 및 제5단계 허용가능수준 판정

시정조치(CA) 단계 : 제6단계 개선

고장보고(FR) 단계 : 제3단계인 시험단계에서는 시험계획, 시험수행 그리고 자료 관리로부터 시험결과 보고까지 많은 활동 범위를 포함하므로, FRACAS의 FR 단계로 적합하다.

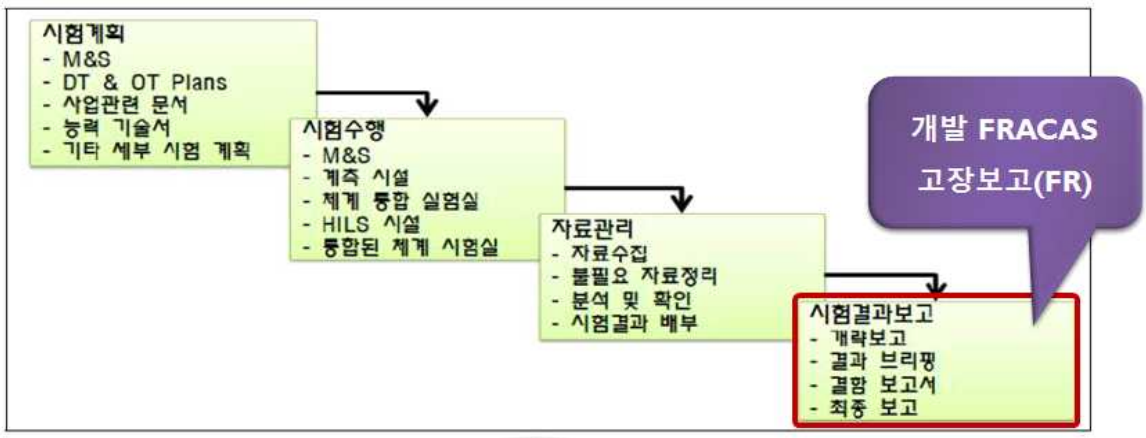


그림 109 고장보고(FR) 단계로써의 시험평가 제3단계(시험 단계)

고장분석(FA) 단계 : FRACAS 관점에서 FRB 구성을 통하여 고장분석을 실시하는 것은 제4단계와 제5단계에서 적합하다.

제 4단계 평가는 시험결과 분석을 통해 충족 또는 미충족여부를 판단하는 것으로, 시험대상에 대한 정량적 정성적 판단기준을 충족하기 위해 시험항목에 대한 수행 결과를 평가한다.

시정조치(CA) 단계 : 만약 결함이 시험을 진행하는 중에 발생하게 되면 이러한 결함은 TSC 설계나 시험방법, 시험 절차의 오류로부터 기인될 수 있는데, 이러한 문제를 분석하거나 수정함으로써 무기체계 연구개발의 위험을 줄일 수 있다. 시험평가 프로세스의 특징은 향후 설계 변경이 최소화되도록 지속적으로 반영하는 것이며, 이렇게 함으로써 평가단계로부터의 피드백이 조기에 반영가능하게 된다. 무기체계의 개발과 시험이 진행됨에 따라 성능과 효율성에 대한 예측의 정확성과 측정 방법의 유효성 검증은 지속적으로 최신화 되어야 한다. 사전 시험 예측을 위하여 사용된 모델링과 시뮬레이션에서 발견된 결함은 시험평가를 수행하고 관리하는 조직에서 관심을 가져야 한다. 개발시험평가의 피드백 정보에 대해 제대로 대응하지 못하면 운용시험평가와 전체 개발에 나쁜 영향을 줄 수 있기 때문이다.

개발단계에서의 고장을 관리하기 위해서는 다음과 같은 4가지 유형의 보고서가 필요하며 그 내용은 DB 화 되어야 한다.

① 고장 보고서

② 고장분석 보고서

③ 시정조치 보고서

④ FRB 보고서

다음은 개발고장보고에 필요한 보고서와 DB 항목을 나타낸 것이다.

표 86 개발 고장보고서와 DB

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="3">개발 고장보고서와 DB</th></tr>
<tr><td>DB항목</td><td colspan="3">1. 개요
① 시험유형 :
② 시험번호
③ 시험일 : 시작일, 종료일, 시험일, 보고일
④ 시험자 : 시험실시자, 시험참관자, 소속, 연락처
⑤ 시험장소
⑥ 시험결과 : 합부판정, 총괄결론
2. 장비형상 및 운용 개념
① 시험대상 :
② 형상 및 제원
3. 시험 결과 : 시험분류, 시험항목, 시험조건, 시험결과, 판정
4. 고장 보고 : 고장현황, 고장품목, 고장유형</td></tr>
<tr><td>보고서</td><td colspan="3"><table>
<tr><td>시험대상</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>시험유형</td><td colspan="2">개발( ), 운용( )</td></tr>
<tr><td>시험번호</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>시험일</td><td colspan="2">시작일, 종료일, 보고일</td></tr>
<tr><td>시험담당</td><td colspan="2">성명, Tel. e-mail</td></tr>
<tr><td>시험장소</td><td colspan="2">시험장소
특기사항</td></tr>
<tr><td rowspan="5">시험결과</td><td>시험항목</td><td></td></tr>
<tr><td>시험조건</td><td></td></tr>
<tr><td>합부판정</td><td>합격( ), 불합격( ), 판정보류( ), 기타( )</td></tr>
<tr><td>최종평가</td><td>개발종료( ), 시정조치( ), 기타( )</td></tr>
<tr><td>특기사항</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">고장보고</td><td>고장현황</td><td></td></tr>
<tr><td>고장품목</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">고장유형</td><td>중요고장( ), 비중요고장( ), 시험외 고장( ), 기타( )</td></tr>
<tr><td>수리가능고장( ), 예방정비항목고장( ), 예지정비고장( )</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

다음은 개발고장분석에 필요한 보고서와 DB 항목을 나타낸 것이다.

표 87 개발 고장분석 보고서와 DB

<table>
<tr><th>구분</th><th>개발 고장분석 보고서와 DB</th></tr>
<tr><td>DB항목</td><td>1. 고장 현황 : 고장발견자, 고장발생일, 고장현상, 고장발생시간
2. 고장분석 개요 : 고장분석자, 고장분석일, 고장품목, 고장분석방법
3. 고장분석 결과 : 고장모드, 고장메커니즘, 고장 원인
4. 고장 현황 : 고장발견자, 고장발생일, 고장현상, 고장발생시간
5. 고장분석 개요 : 고장분석자, 고장분석일, 고장품목, 고장분석방법
6. 고장분석 결과 : 고장모드, 고장메커니즘, 고장 원인</td></tr>
<tr><td>보고서</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="3">고장현황</td><td>고장 발견자</td><td>성명[ ], 소속[ ], 연락처[ ], 이메일[ ]</td><td>고장 현상</td><td>임무고장[ ], 비임무고장[ ],
시험외 고장[ ], 기타[ ]</td></tr>
<tr><td>고장 발생일</td><td></td><td>고장 현상</td><td>사진첨부</td></tr>
<tr><td>고장 발생시간</td><td></td><td>고장 현상</td><td>동영상 첨부</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="3">고장분석
개요</td><td>고장 분석자</td><td>성명[ ], 소속[ ], 연락처[ ], 이메일[ ]</td><td>고장 분석방법</td><td>서술형</td></tr>
<tr><td>고장 분석일</td><td></td><td>고장 분석방법</td><td>사진첨부</td></tr>
<tr><td>고장 품목</td><td></td><td>고장 분석방법</td><td>동영상 첨부</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="4">고장분석
결과</td><td>고장모드</td><td colspan="3">단선[ ], 단락[ ], 파손[ ], 균열[ ], 변형[ ], 찍힘[ ], 누설[ ], 부식[ ], 특성저하[ ], 기타[ ]</td></tr>
<tr><td>고장메커니즘</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>고장메커니즘</td><td colspan="3">분석사진 첨부[ ], 분석동영상 첨부[ ]</td></tr>
<tr><td>고장원인</td><td colspan="3">설계미스[ ], 생산공정미스[ ], 사용자 미스[ ], 환경적인 과부하[ ], 마모/열화 수명[ ], 기타[ ]</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="3">고장현황</td><td>고장 발견자</td><td>성명[ ], 소속[ ], 연락처[ ], 이메일[ ]</td><td>고장 현상</td><td>임무고장[ ], 비임무고장[ ],
시험외 고장[ ], 기타[ ]</td></tr>
<tr><td>고장 발생일</td><td></td><td>고장 현상</td><td>사진첨부</td></tr>
<tr><td>고장 발생시간</td><td></td><td>고장 현상</td><td>동영상 첨부</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="3">고장분석
개요</td><td>고장 분석자</td><td>성명[ ], 소속[ ], 연락처[ ], 이메일[ ]</td><td>고장 분석방법</td><td>서술형</td></tr>
<tr><td>고장 분석일</td><td></td><td>고장 분석방법</td><td>사진첨부</td></tr>
<tr><td>고장 품목</td><td></td><td>고장 분석방법</td><td>동영상 첨부</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="4">고장분석
결과</td><td>고장모드</td><td colspan="3">단선[ ], 단락[ ], 파손[ ], 균열[ ], 변형[ ], 찍힘[ ], 누설[ ], 부식[ ], 특성저하[ ], 기타[ ]</td></tr>
<tr><td>고장메커니즘</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>고장메커니즘</td><td colspan="3">분석사진 첨부[ ], 분석동영상 첨부[ ]</td></tr>
<tr><td>고장원인</td><td colspan="3">설계미스[ ], 생산공정미스[ ], 사용자 미스[ ], 환경적인 과부하[ ], 마모/열화 수명[ ], 기타[ ]</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

다음은 시정조치에 필요한 보고서와 DB 항목을 나타낸 것이다.

표 88 개발 시정조치 보고서 DB 항목

<table>
<tr><th>구분</th><th>개발 시정조치 보고서 DB 항목</th></tr>
<tr><td>DB항목</td><td>1. 시정조치 개요 : 담당자, 실시일, 투입인원, 투입기간, 투입품목, 투입비용
2. 고장분석 결과 : 고장현상, 고장모드, 고장원인
3. 시정조치 결과 : 제거 및 교환, 비계획, 계획, 기타, 예방정비여부</td></tr>
<tr><td>보고서</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="3">시정조치 개요</td><td>시정조치 담당자</td><td></td><td>시정조치 실시일</td><td></td></tr>
<tr><td>시정조치 투입인원</td><td></td><td>시정조치 투입기간</td><td></td></tr>
<tr><td>시정조치 투입품목</td><td></td><td>시정조치 투입비용</td><td></td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="3">고장분석 결과</td><td>고장 현상</td><td>임무고장[ ], 비임무고장[ ], 시험외 고장[ ], 기타[ ]</td></tr>
<tr><td>고장모드</td><td>단선[ ], 단락[ ], 파손[ ], 균열[ ], 변형[ ], 찍힘[ ], 누설[ ], 부식[ ], 특성저하[ ], 기타[ ]</td></tr>
<tr><td>고장원인</td><td>설계미스[ ], 생산공정미스[ ], 사용자 미스[ ], 환경적인 과부하[ ], 마모/열화 수명[ ], 기타[ ]</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="4">시정조치 결과</td><td>H(제거 및 교환)</td><td>시정조치내용 서술함</td><td>사진 첨부</td><td>동영상 첨부</td><td>예방정비[Y, N]</td></tr>
<tr><td>G(비계획)</td><td>시정조치내용 서술함</td><td>사진 첨부</td><td>동영상 첨부</td><td>예방정비[Y, N]</td></tr>
<tr><td>O(부대정비)</td><td>시정조치내용 서술함</td><td>사진 첨부</td><td>동영상 첨부</td><td>예방정비[Y, N]</td></tr>
<tr><td>기타</td><td>시정조치내용 서술함</td><td>사진 첨부</td><td>동영상 첨부</td><td>예방정비[Y, N]</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

다음은 고장검토위원회 (FRB)의 보고서와 DB 항목을 나타낸 것이다.

표 89 개발 FRB 보고서 DB

<table>
<tr><th>구분</th><th>개발 FRB 보고서 DB</th></tr>
<tr><td>DB항목</td><td>1. FRB 개요 : FRB 담당자, FRB 실
2. FRB 고장분석 결과 : 고장모드, 고장메커니즘, 고장원인
3. FRB 시정조치 결과 : 제거 및 교환, 비계획, 계획, 기타, 예방정비여부</td></tr>
<tr><td>보고서</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="2">FRB 개요</td><td>FRB 담당자</td><td>성명[ ], 소속[ ], 연락처[ ], 이메일[ ]</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>FRB 실시일</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="3">FRB 고장분석 결과</td><td>고장모드</td><td>단선[ ], 단락[ ], 파손[ ], 균열[ ], 변형[ ], 찍힘[ ], 누설[ ], 부식[ ], 특성저하[ ], 기타[ ]</td></tr>
<tr><td>고장메커니즘</td><td></td></tr>
<tr><td>고장원인</td><td>설계미스[ ], 생산공정미스[ ], 사용자 미스[ ], 환경적인 과부하[ ], 마모/열화 수명[ ], 기타[ ]</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="4">FRB 시정조치 결과</td><td>H(제거 및 교환)</td><td>시정조치내용 서술함</td><td>사진 첨부</td><td>동영상 첨부</td><td>예방정비[Y, N]</td></tr>
<tr><td>G(비계획)</td><td>시정조치내용 서술함</td><td>사진 첨부</td><td>동영상 첨부</td><td>예방정비[Y, N]</td></tr>
<tr><td>O(부대정비)</td><td>시정조치내용 서술함</td><td>사진 첨부</td><td>동영상 첨부</td><td>예방정비[Y, N]</td></tr>
<tr><td>기타</td><td>시정조치내용 서술함</td><td>사진 첨부</td><td>동영상 첨부</td><td>예방정비[Y, N]</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

(3) 운용 FRACAS

운용 FRACAS는 앞에서 살펴본 바와 같이 14단계의 FRACAS 추진절차에 따라서 수행된다. 이를 개발단계와 같이 분류하여 보면

① 고장보고 : 제 1단계 ~ 제 6단계

② 고장분석 : 제 7단계 ~ 제 9단계

③ 시정조치 : 제 10단계 ~ 제 11단계

④ FRB : 제 12단계 ~ 제 14단계

로 구분할 수 있다.

이들 활동들은 개발단계와 마찬가지로 보고서가 필요하며, 그 내용은 DB화 되어야 한다. 다음은 고장보고와 분석 및 시정조치에 필요한 보고서를 나타낸 것이다.

표 90 운용 FRACAS 고장 보고서 양식

운용고장보고서

보고서 번호		고장보고일		고장보고자	
고장장비					
운용장소		운용기관			
고장발생품목					
고장모드					
고장원인	온도( ), 습도( ), 강우( ), 강설( ), 바람( ), 빙결( ), 먼지( ), 일사( ), 충격( ), 진동( ), 노후화, 낙뢰( ), EOS( ), 서지( ), 전류누설( ), 오염( ), 화학물질( ), 방사선( ), 자외선( ), 오용( ), 실수( ), 기타( )				
	특기사항				
정비내역					
고장유형	중요고장( ), 비중요고장( ), 기타( )				
	수리가능고장( ), 예방정비고장( ), 예지정비고장( )				

표 91 운용 FRACAS 고장분석 보고서 양식

고 장 분 석 보 고 서

고장현황	고장 발견자	성명[ ], 소속[ ], 연락처[ ], 이메일[ ]	고장 현상	임무고장[ ], 비임무고장[ ], 시험외 고장[ ], 기타[ ]
	고장 발생일		고장 현상	사진첨부
	고장 발생시간		고장 현상	동영상 첨부
고장분석 개요	고장 분석자	성명[ ], 소속[ ], 연락처[ ], 이메일[ ]	고장 분석방법	서술형
	고장 분석일		고장 분석방법	사진첨부
	고장 품목		고장 분석방법	동영상 첨부
고장분석 결과	고장모드	단선[ ], 단락[ ], 파손[ ], 균열[ ], 변형[ ], 찍힘[ ], 누설[ ], 부식[ ], 특성저하[ ], 기타[ ]		
	고장메커니즘			
	고장메커니즘	분석사진 첨부[ ], 분석동영상 첨부[ ]		
	고장원인	설계미스[ ], 생산공정미스[ ], 사용자 미스[ ], 환경적인 과부하[ ], 마모/열화 수명[ ], 기타[ ]		
FRB 개요	FRB 담당자	성명[ ], 소속[ ], 연락처[ ], 이메일[ ]		
	FRB 실시일			
FRB 고장분석 결과	고장모드	단선[ ], 단락[ ], 파손[ ], 균열[ ], 변형[ ], 찍힘[ ], 누설[ ], 부식[ ], 특성저하[ ], 기타[ ]		
	고장메커니즘			
	고장메커니즘	분석사진 첨부[ ], 분석동영상 첨부[ ]		
	고장원인	설계미스[ ], 생산공정미스[ ], 사용자 미스[ ], 환경적인 과부하[ ], 마모/열화 수명[ ], 기타[ ]		

다. Knowledge Matrix 기반 TSC 관리

FRACAS는 TCS의 실제 운용 과정과 시험단계에서 발생하는 모든 고장을 망라하여 관리하는 것이다. 지금까지 논의한 보고서와 DB 항목은 고장이 실제로 발생한 경우를 대상으로 한 것이다. 그러나 많은 유지보수과정에서 사용 중인 부품이나 모듈의 상태를 식별할 수 있다면 고장이 발생하지 않은 경우라도 이를 DB 화 하여 관리하여야 할 필요가 있다. 더욱이 향후 예지정비나 PHM 이 활성화되는 경우에는 온라인 실시간으로 획득되는 상태정보를 축적하고 관리하여야 한다. 이를 위해서는 제조업에서 활용중이 MES를 기반으로 DB 와 운영방식을 설계할 필요가 있다.

FRACAS에서 수집된 정보는 축적되고, TCS 개발업체에 피이드백 되어야 그 효과성이 나타

나게 된다. 이러한 과정에서 다음과 같은 FRACAS DB 항목들을 분석하여 다음과 같은 Knowledge Matrix를 구축하여야 한다.

표 92 Knowledge Matrix

No	부품	소재	고장메커니즘	고장원인	고장모드	과부하/마모/불량	검지법	열화특성	영향주는 작동조건	시험방법	경감대책	시험인자/방법	참고규격	가속모형	참고가속모형	비고
103	바리스터															
8	트라이액															

9. 포터블 TCS 현장 신뢰성 평가 장치(H/W 및 S/W) 기능 요구사항

가. 포터블 TCS 현장 신뢰성 평가 장치의 기능 및 요구사항

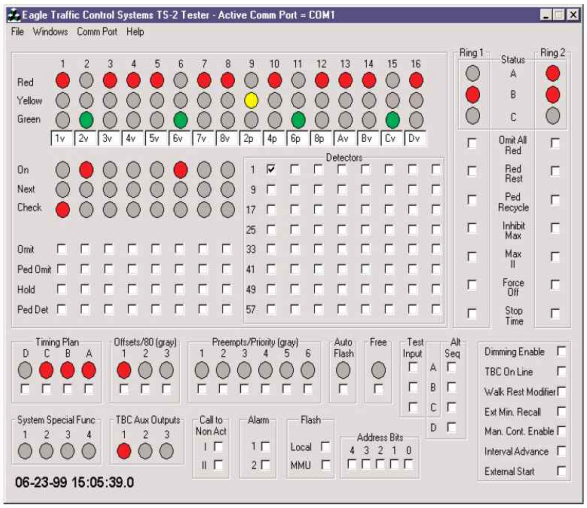
포터블 TCS 현장 신뢰성 평가장치의 기능 및 요구사항 결정과 프로토타입 제작을 위하여 고장예지 대상품을 선정하고 기존의 EAGLE사의 NEMA TS-2 Tester의 기능을 조사하였다.

(1) Eagle사의 NEMA TS-2 Tester for TS-2 controllers

그림으로 도시한 내용의 제품본체와 소프트웨어로 구성된 현장 유지기술에 편리하게 적용하도록 현장 포터블 테스터(예, 미국 NEMA 규격 적용)미며, 매초마다 10번씩 TCS내 컨트롤러의 메시지를 받고, S/W로 데이터를 전송하는 기능을 가지고 있으며, 검사할 컨트롤러를 위한 프로그래밍 입력을 허용하며, 컨트롤러의 전원상태나 각종 에러사항들을 감지할 수 있는 기능을 가지고 있다.



NEMA TS-2 Tester 본체



NEMA TS-2 Tester S/W 창

그림 110 포터블 TSC 현장테스터장치 NEMA TS-2 Tester for TS-2 controllers

(2) TCS의 오류코드

○ 오류코드 유지 관리 기술 조사 및 결정

미국 표준 규격에서는 오류(error) 코드 관련 근본적인 원인 발생이 없도록 하기 위한 오동작 방지기능(Malfunction Protection)을 단위모듈기능 장치를 추가하여 채택하고 있으며, 이를 위한 소프트웨어를 공개적으로 오픈하여 그 안전성신뢰성 보장을 공개적으로 검증하고 있다.

유럽 표준 규격에서는 기능안전 요구조건 중에서 모순검지 및 EMC 현장조건에서의 안전기반의 신뢰성을 보장할 수 있음을 기능 요구 사항으로 정의하여 제시하고 있다.

① 오류코드 유지관리 기술결정을 위해 미국 TCS 표준 규격인 NEMA TS-2와 유럽표준 규격인 TR2500A를 조사하였다. TR2500A에서 에러코드는 크게 major, minor, special 3가지로 분류된다. 코드 AA1, AB1, AD1, DA1 FA1은 Major 에러코드로 분류되며, 나머지 코드는 minor로 분류된다. 추가로 유럽 국경간 법률적인 부분에서 적용되는 Special code가 있다.

○ NEMA TS-2

NEMA TS-2 에서는 오류를 malfunction이라 정의하고 에러들의 감지와 대응을 위해 오작동 관리장치(Malfunction Management Unit)의 필요성과 감지방법, 대응방법에 대해 기술하였다. MMU의 주요 역할은 MMU 스스로 연결 단자에서의 작동 전압을 감지하고 이상상태를 모니터링 하는 것이다. MMU가 이상을 감지하면 신호를 점멸로 동작하게 한다. NEMA TS-2에서 요구하는 MMU의 기능적 요구사항은 다음과 같은 것 들이 있다.

- 단자의 신호 모니터 부분은 필드 연결단자의 전압 유무를 모니터링 할 수 있어야 한다.
- 전압 모니터 부분은 작동 전압을 나타내는 컨트롤러 유닛 전압 출력을 모니터링 할 수 있어야 한다.
- MMU는 MMU의 정전을 감지하는 수단을 포함해야한다.
- 과전류 보호장치를 포함 해야한다.
- 전원의 고장감지가 가능해야한다.
- AC 입력라인이 정상적인 작동상태에 있는가를 확인할 수 있어야 한다.

또한 MMU는 사용자의 잘못된 데이터 입력이나 논리적 에러가 존재할 시, MMU에서 이를 감지하고 패널을 이용해 즉각적으로 사용자에게 피드백을 제공한다. 현재 우리나라에서는 신호제어기의 고장이나 에러 발생시 즉각적 피드백을 받을 수 있는 장치가 없으며, 이에 관한 에러코드도 정의되어져 있지 않다.

○ TR2500A

유럽은 자체 표준규격인 TR2500A를 이용해 상태 이상에 대한 코드를 정의했으며 TR2500A 내 에러코드는 다음 표의 내용과 같다.

표 93 TR2500A내 Fault code - BS EN 12675

Fault	Class
Green -- Green conflict	AA1
Green - Yellow conflict	AB1
Yellow - Yellow conflict	AC0
Green - Red/Yellow conflict	AD1
Green -- Green/Yellow conflict	AE0
Absence of any conflicting Red signal	AF0
Absence for conflicting Red on specified signal heads	AG0
Absence of the last conflicting red signal	AH0
Absent Red/ absent Red	AJ0
National signal regulations (infringement)	BA0
Absence of a Red signal on a specified signal group	CA1
Absence of the last Red signal	CB1
Absence of a number of Red signals	CC1
Absence of specified Red signals	CD0
Absent signal groups, Yellow or Green signals	CE0
Compliance checking	DA1
Stored values of timings	FA1
Time base frequency	FB0
Minimum values of time settings	FC0
Maximum settings of time settings	FD0
Duration of timing	FE0
National signal sequences (infringement)	GA0
Specified signal group Green to signal group Green movements	GB0
Specified signal start up sequence signal group moveme	GC0
Faults of external inputs	HA1

- TR 2500A은 신호제어기가 최소 15년의 보증 기간을 가져야 한다고 언급하고 있으며, 현재 유럽은 신호제어기 내 Error나 상태 이상이 발생 시, 신호기 내 메모리에 event항목으로 자동 저장된다. 그 반면 우리나라는 신호제어기에서 이상 발생시, 이상의 감지가 지연될 뿐만 아니라 관리 체계에서 후속 조치 사항을 적용시키는 것도 어려움이 따르고 있다. 따라서 우리나라 또한 사용하고 있는 에러코드를 보다 체계적이고 구체적으로 제정할 필요가 있으며, event 발생 시 즉각 적인 모니터링과 피드백이 가능하도록 체계를 구축해야 한다.

② 국내 NPA 표준 규격의 변화

국내 NPA 표준규격의 변화는 다음과 같다.

☞ HW(하드웨어) 모순검지 처리 절차

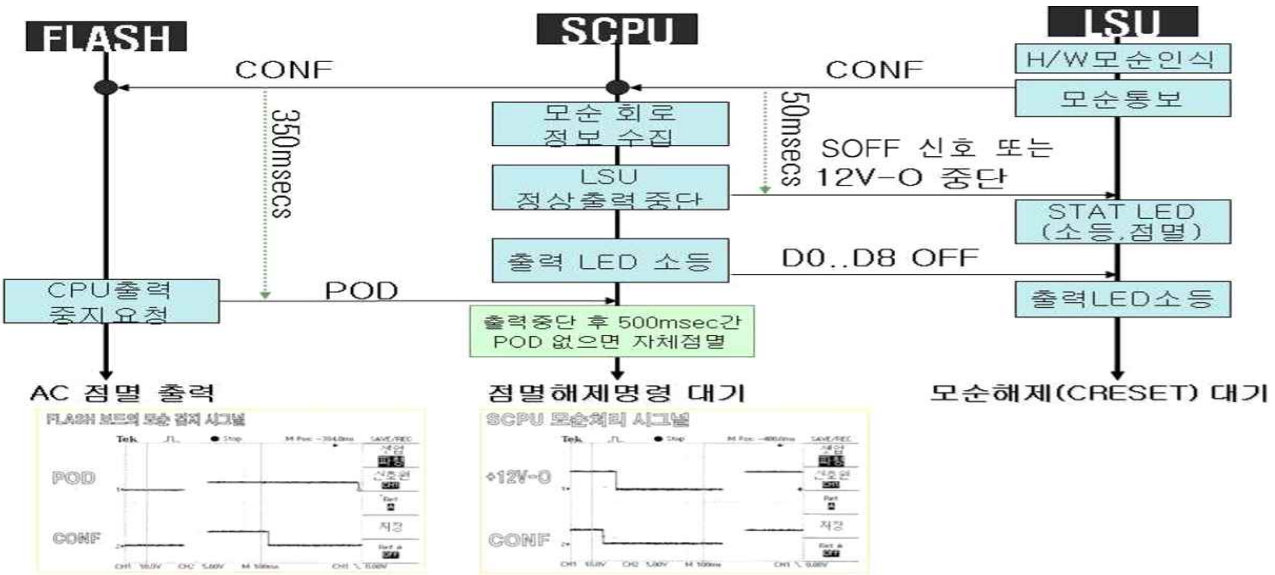


그림 111 HW(하드웨어) 모순검지 처리 절차

☞ SW(소프트웨어) 모순검지 처리 절차

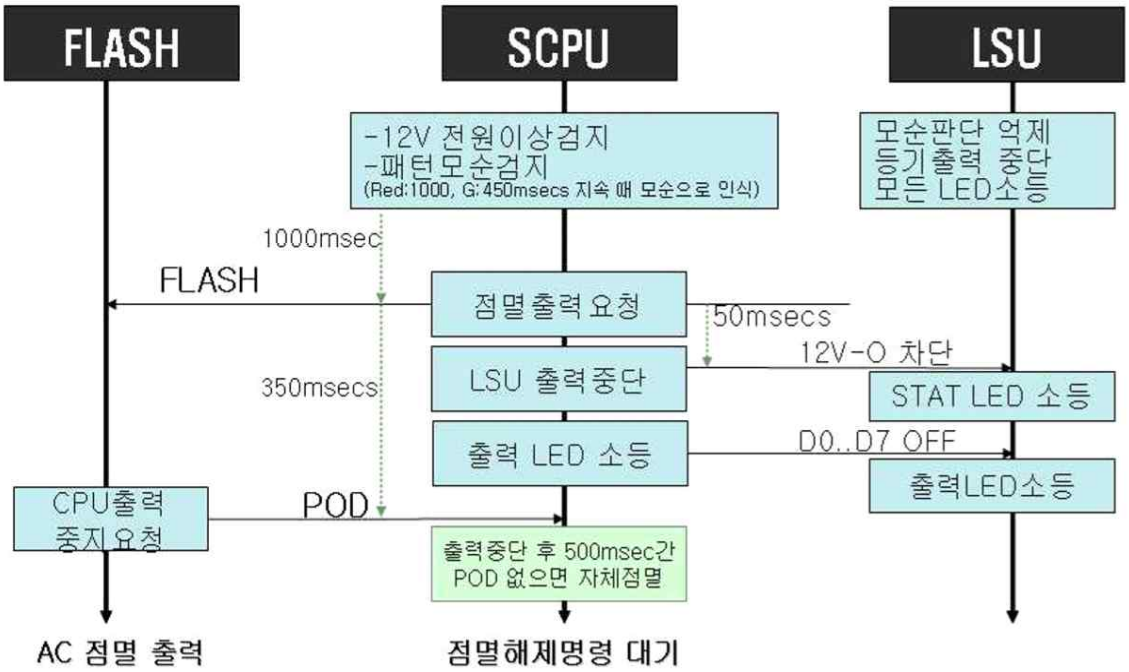


그림 112 SW(소프트웨어) 모순검지 처리 절차

☞ 모순검지 시 해제 처리 절차[214)]

214) [국내규격 New 풀 페이지 파일] 경찰청 본청 2018.04.30. 표준 개정 Public Release 내용 자료에 근거함: NPA-TSC-STANDARD-2018-04-30(2010R16), 제 2.2.2.2.5항, pp. 77-78

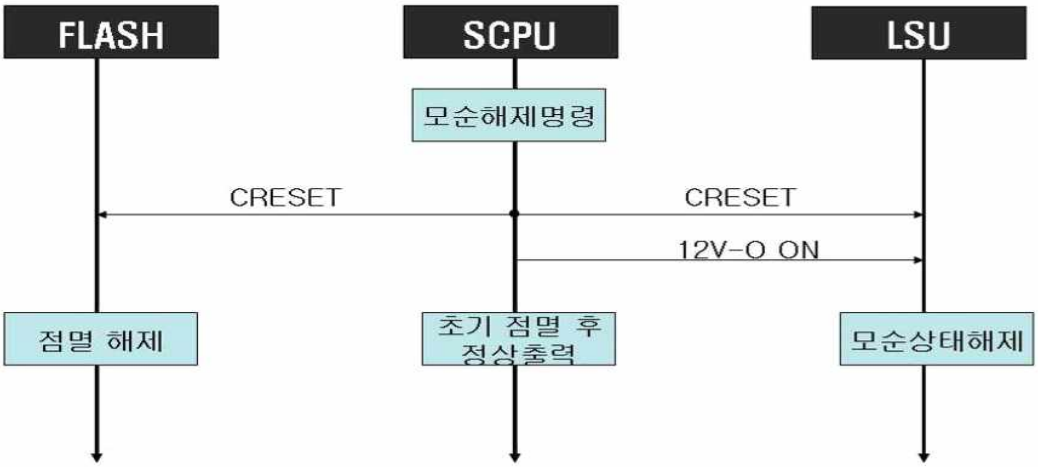


그림 113 모순검지 시 해제 처리 절차

☞ 모순검지(Conflict Monitoring) 초기화 절차

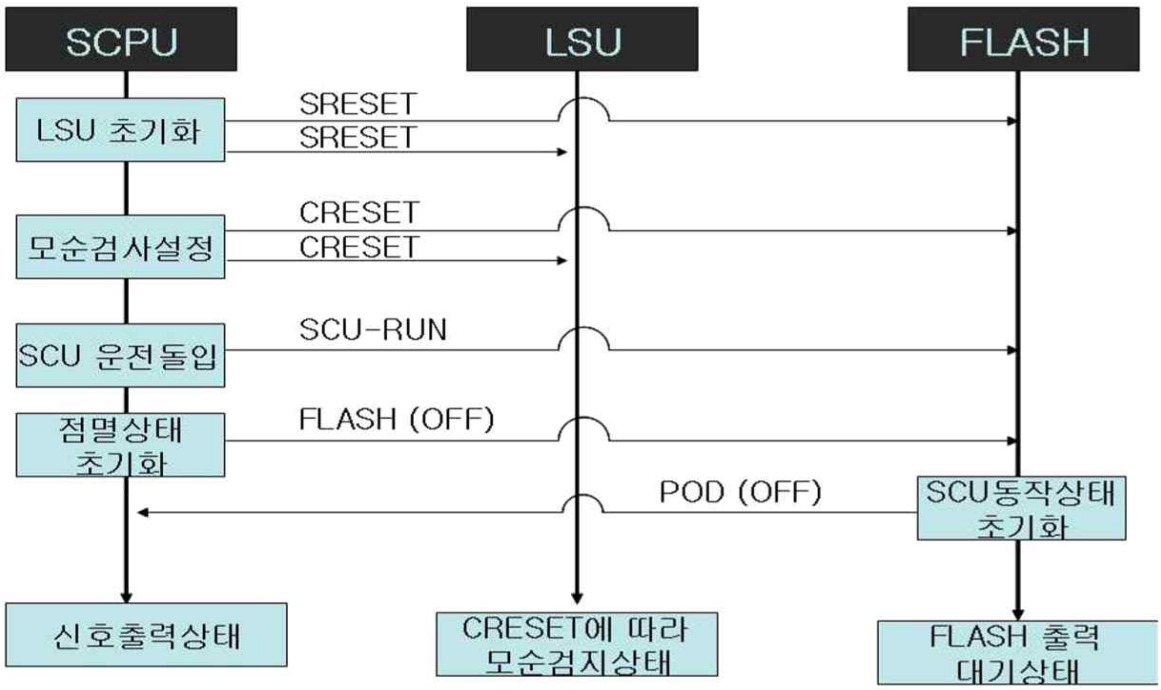


그림 114 모순검지(Conflict Monitoring) 초기화 절차

(3) 국가별 TCS 안전 규격 비교

- 국가별 TCS 안전규격 비교 내용은 표와 같다. 유럽규격은 BS7987 (HD 638)-BS EN12675:2001, 미국규격1은 NEMA Std. TS1-1983, 미국규격2는 NEMA Std TS2-1992,

미국규격3은 - CALTRANS 170/170E, 일본규격은 일본경시청 교통신호제어기 규격을 사용하였다.

표 94 국가별 안전 기반 규격 Error Code 비교

Fault Detection Status	Class	국가별 안전 규격비교					
		유럽	한국	미국			일본
				1	2	3	
Green - Green conflict	AA1	O	O	O	O	O	O
Green - Yellow conflict	AB1	O					
Yellow - Yellow conflict	AC0	O					
Green - Red/Yellow conflict	AD1	O	O	O	O	O	O
Green - Green/Yellow conflict	AE0	O					
Absence of any conflicting Red signal	AF0	O	O	O	O	O	O
Absence for conflicting Red on specified signal heads	AG0	O	O	O	O	O	O
Absence of the last conflicting red signal	AH0	O	O	O	O	O	O
Absent Red/ absent Red	AJ0	O	O	O	O	O	O
National signal regulations (infringement)	BA0	O					
Absence of a Red signal on a specified signal group	CA1	O	O	O	O	O	O
Absence of the last Red signal	CB1	O	O	O	O	O	O
Absence of a number of Red signals	CC1	O	O	O	O	O	O
Absence of specified Red signals	CD0	O	O	O	O	O	O
Absent signal groups, Yellow or Green signals	CE0	O					
Compliance checking	DA1	O					
Stored values of timings	FA1	O	O	O	O	O	O
Time base frequency	FB0	O	O	O	O	O	O

Minimum values of time settings	FC0	O	O	O	O	O	O
Maximum settings of time settings	FD0	O	O	O	O	O	O
Duration of timing	FE0	O					
National signal sequences (infringement)	GA0	O					
Specified signal group Green to signal group Green movements	GB0	O					
Specified signal start up sequence signal group moveme	GC0	O					
Faults of external inputs	HA1	O					

(2차년도 주요 연구 실적)

나. IoT기반의 TCS 포터블 신뢰성 평가장치

본 연구에서는 NEMA TS2 Terter for TS-2 Controller를 참고 하여 포터블 TCS 현장 신뢰성 평가장치를 개발하였다. 이 장치는 IoT 기술을 이용해 기본적인 TCS 프로토콜 목록을 모니터링 하는 기능을 추가 하였다. 다음 그림 115는 포터블 신뢰성 평가장치의 시스템 구성도이며, IoT 통신장치 인터페이스와 그 구성은 그림 116과 같다.



그림 115 교통신호제어기

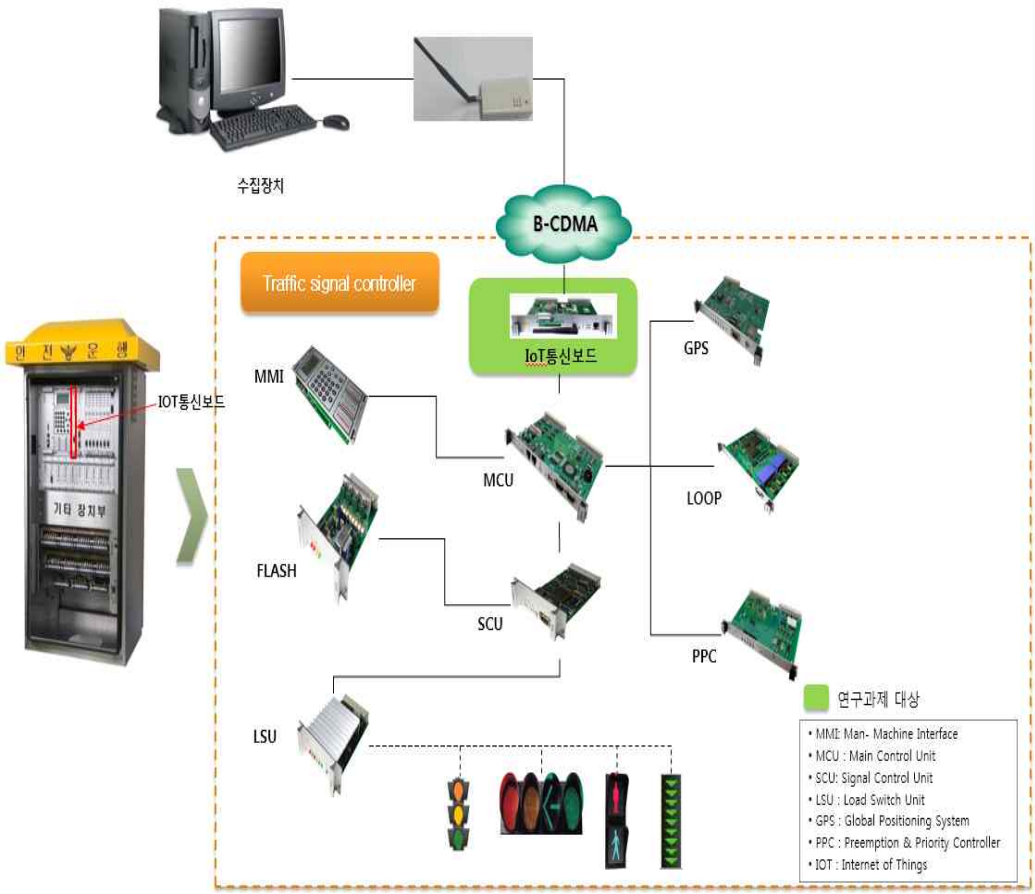
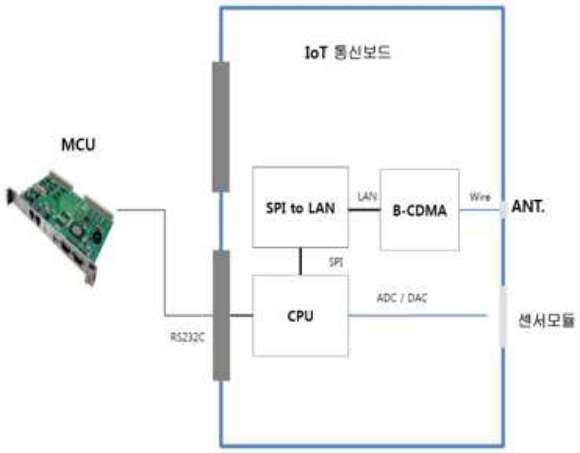
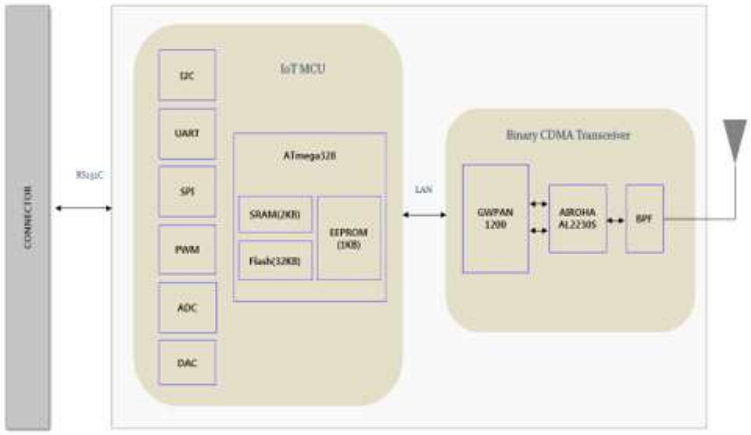


그림 116 IoT TCS 시스템 구성도



IoT 통신장치 인터페이스



IoT 통신장치 인터페이스 구성

그림 117 IoT 통신장치 인터페이스 구성

○ 모니터링 되는 통신 프로토콜

제작중인 평가장치의 통신 프로토콜은 크게 3가지로 나뉜다. 이는 운전프로토콜, 확장 프로토콜, 데이터베이스 프로토콜이다. 운전 프로토콜은 교차로 제어정보, 교차로 상황정보, Detector Info, 현시정보 Up/Down load 5가지로 더 세분화 될 수 있다. 모니터링 할 구체적인 프로토콜 목록은 다음 표의 내용과 같다.

표 95 IoT 기반 TCS 포터블 신뢰성 평가장치 프로토콜 목록

1	7	Power FAIL 상태	0 : 정상, 1 : Power FAIL
	6	MCU와 SCU간 통신 상태	0 : 정상, 1 : FAIL
	5	조광 제어 상태	0 : 정상, 1 : 조광 제어중
	4	RING 운영 방식	0 : SINGLE-RING, 1 : DUAL-RING
	3	PPC 제어 상태	0 : 정상 1 : PPC Enabled
	2	교통신호기 운영 모드	0:SCU고정주기모드, 1 : 감응하지 않는 OFFLINE 제어모드 2 : 감응되는OFFLINE제어모드 4 : 감응되는 온라인 제어모드 5 : 감응하지 않는 온라인 제어모드
	:		
	0		
2	7-5	RING A의 PHASE	0 ~ 7
	4-0	RING A의 STEP	0 ~ 31
3	7-5	RING B의 PHASE	0 ~ 7
	4-0	RING B의 STEP	0 ~ 31
4	7	POLICE PANEL 수동진행 S/W상태	1 : ON, 0 : OFF
	6	POLICE PANEL 수동 S/W 상태	1 : ON, 0 : OFF
	5	POLICE PANEL 점멸 S/W 상태	1 : ON, 0 : OFF
	4	POLICE PANEL 소등 S/W 상태	1 : ON, 0 : OFF
	3	모순 상태	1 : 모순, 0 : 정상
	2	소등 상태	1 : 소등, 0 : 정상
	1	점멸 상태	1 : 점멸, 0 : 정상

	0	DATABASE 상태	1 : 이상, 0 : 정상
5	7	푸쉬버튼 ENABLE/DISABLE	1 : 활성상태, 0 : 비활성 또는 설치안됨
	6-4	점멸 동작 원인	0 : 알수없는원인 1 : Power ON FLASH(초기화동작 점멸) 2 : NORMALFLASH(명령에의한점멸) 3 : P.P. S/W FLASH(수동 점멸) 4 : CONFLICTFLASH(모순점멸) 5 : DB ERROR FLASH(DB 에러 점멸) 6 : 소등(진입/해제)점멸, 7 : 장치이상(점멸기고장, BUS에러 등)
	3	시차제 좌회전 여부	1 : 수행중, 0 : 수행 안함
	2	MANUAL ENABLE/DISABLE 상태	1 : ENABLE, 0 : DISABLE
	1	CONFLICT ENABLE/DISABLE상태	1 : ENABLE, 0 : DISABLE
	0	DOOR OPEN 상태	1 : OPEN, 0 : CLOSED
6	7-4	모순발생 LSU 번호	0 ~ 15
	3	모순 검지 근거	0 : LSU H/W 모순 1: SCU S/W 모순
	2-0	모순발생 회로번호	4색: 0:PR, 1:PG, 2:R, 3:Y, 4:A, 5:G 3색: 0:R1, 1:Y1, 2:G1, 3:R2, 4:Y2, 5:G2, 6:BUS ERROR
7	-	보행자 등 출력 상태비트	LSB부터북,동,남,서,북동,남동,남서,북서순 1=녹색, 콜 있음, 고장 0=적색, 콜 없음, 정상
8		푸시버튼입력(처리대기)상태	
9		보행자 작동장치 고장 상태 비트	
10		옵션보드 고장상태	LSB-bit 6 : OPT ID 1-7의 RUN 상태 0: 정상 또는 설치 안됨 1: RUN 상태 이상 (2.1.3.2.4 참조)
11	-	주기 COUNTER	초

<table>
<tr><td>12</td><td>-</td><td>전 주기 길이</td><td colspan="8">초</td></tr>
<tr><td>13</td><td>-</td><td>현 주기</td><td colspan="8">초</td></tr>
<tr><td>14</td><td>-</td><td>연동값</td><td colspan="8">실제 계측 옵셋값(주현시 시점 % CYCLE)</td></tr>
<tr><td>15</td><td>-</td><td>유지 현시 번호</td><td colspan="8">PHASE HOLD 명령 또는 PPC에 의해 고정된 현시번호 (1-8)</td></tr>
<tr><td>16</td><td>-</td><td>생략 현시 번호</td><td colspan="8">PHASE OMIT 명령을 받은 현시번호 또는 감응제어에 의해 생략중인 현시번호(1-8)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">17</td><td>7</td><td colspan="9">등기종류(0=3색등화기,1=4색등화기)</td></tr>
<tr><td>6-4</td><td colspan="9">현재운영중인맵번호(0:일반제,1-5:시차제,6:전용맵,7:예약)</td></tr>
<tr><td>3 - 0</td><td colspan="9">앞막힘 제어 상태 정보 ((주) 조기종결 상태는 현시종료 후 리셋)
Bit 3 : 허용권상태(0=없음, 1=제어중)
Bit 2 : 제어방법(0=MG무시,1=MG유지)
Bit1 : 주현시조기종결(1=발생)
Bit 0 : 부현시조기종결(1=발생)</td></tr>
<tr><td>18-19</td><td>-</td><td>F/W Module ID</td><td colspan="8">F/W Module ID (F/W Upgrade 지시 참조)</td></tr>
<tr><td>20-21</td><td>-</td><td>F/W Module Datagram INDEX</td><td colspan="8">F/W Datagram Index of 240Bytes
다운완료시:0xFFFF(MCU),0xFFFE(SCU)</td></tr>
<tr><td>22</td><td>-</td><td>DB Error Code</td><td colspan="8">D/B Error Code 참조(다음페이지)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">23</td><td rowspan="2">-</td><td rowspan="2">PPC상태(preemption & Priority Cntl)</td><td>MSB</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>LSB</td></tr>
<tr><td>In Service (1)</td><td>긴급(1) BUS</td><td>A-Hold</td><td>A-Off</td><td>A-jmp</td><td>B-Hold</td><td>B-Off</td><td>B-Jmp</td></tr>
<tr><td>24-25</td><td>-</td><td>예약(임의 사용금지)</td><td colspan="8"></td></tr>
</table>

○. IoT기반의 포터블 TCS 신뢰성 평가장치 데이터 전송

다음은 IoT기반의 포터블 TCS 신뢰성 평가장치 데이터 전송에 관련된 방안이다.

- LC에서는 교차로의 상황정보 수신(0x12)시 상황정보를 RC쪽으로 UP-LOAD(0x13)함.
- 현시진행 동작이 이루어질 때 반드시 황색스텝 진행 종료시점에서 바뀐 현시 및 스텝번호를 포함한 상황정보(OPCODE=0x13)를 자동으로 전송함.
- 첫 현시 진입 시 (현시 및 스텝이 0인 경우) 교차로 상황정보 전송 후 연속해서 현시운영정보(OPCODE=0x33)와 검지기 정보(OPCODE=0x23) 약간의 시격(100ms)을 두고 연속 전송함.
- DATA FIELD의 DATABASE 상태는 교통신호기에서 운용이 불가능하다고 판단되거나 DB가 FAIL 된 경우 해당 정보를 전송함.
- 전원 Fail 상태가 발생하면, 상황정보를 자동 업로드하며, 최소시간간격으로 반복 전송함.
- ITS 현장장치 통신을 매개할 때는 제어기 상태정보 뒤에 덧붙여 전송함.
- 신호등 동작상태 표출을 위하여 현시 및 스텝 변경시 센터로 데이터 전송함.
- Firmware(F/W) Upgrade 기능은 제외함.

○ IoT 기반의 포터블 TCS 신뢰성 평가장치 CPU 및 모뎀 사양

- 포터블 TCS 신뢰성 평가장치의 CPU 및 모뎀 사양은 표의 내용과 같다.

표 96 IoT Device CPU 및 모뎀 사양

CPU		모뎀	
Microcontroller	ATmega328 *	사용주파수대역	2.4GHz ISM Band
Board Power Supply	5 V	채널대역폭	8MHz
Circuit Operating Voltage	3.3V	동시채널수	10채널
Digital I/O Pins	14	전송속도	< 1 Mbps (Rate 4)
PWM Pins	6		
UART	1		
SPI	1	변조/확산방식	BCDMA + QPSK
I2C	1		
Analog Input Pins	6	기본 암호화 알고리즘	128Bit-AES
External Interrupts	2		

DC Current per I/O Pin	40 mA	다중접속방식	CSMA/CA +TDMA
Flash Memory	32KB of which 2 KB used by bootloader *	서비스반경	+4dBi 이득 ANT 기준 200m 이상
		QoS지원	O
SRAM	2 KB *	연결형태	1(Master):4(Slave)
EEPROM	1 KB *		
Clock Speed	8 MHz (3.3V versions)	소비전력	2W이하

○ IoT기반 포터블 통신모듈 제원:

○ IoT기반 포터블 통신모듈 구성도와 인터페이스 상세 회로도는 그림과 같다.

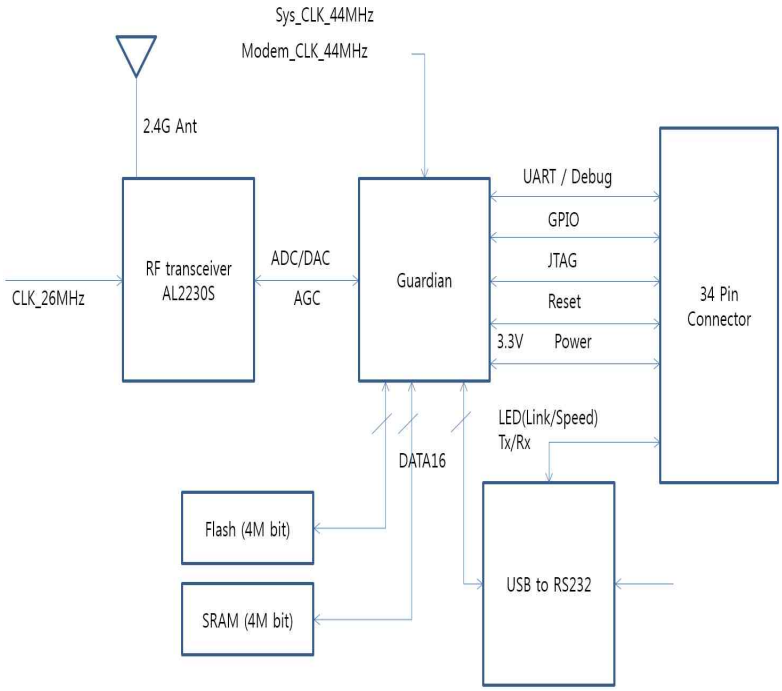


그림 118 IoT 통신모듈 인터페이스 상세

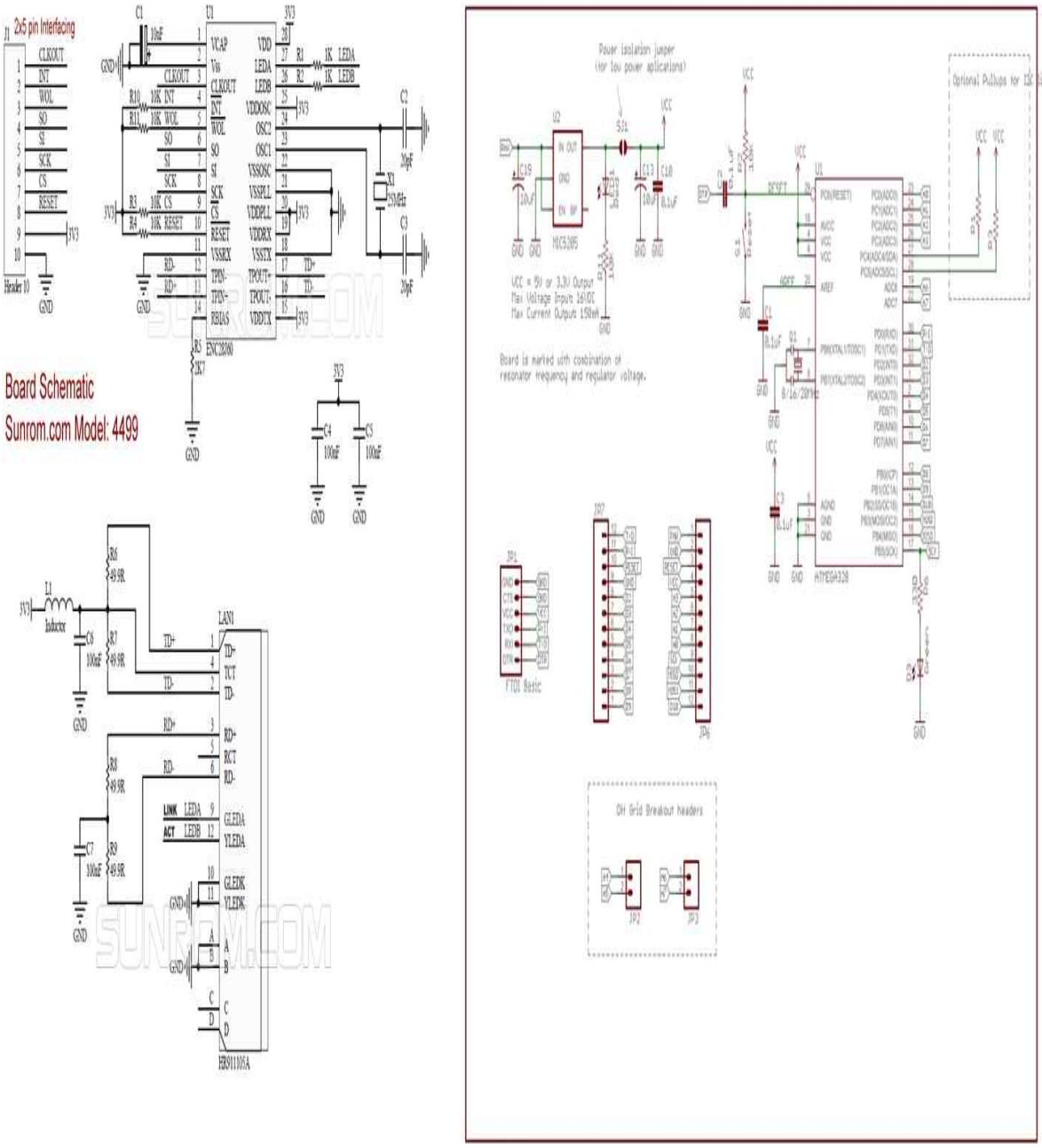


그림 119 IoT 기능보드 회로도

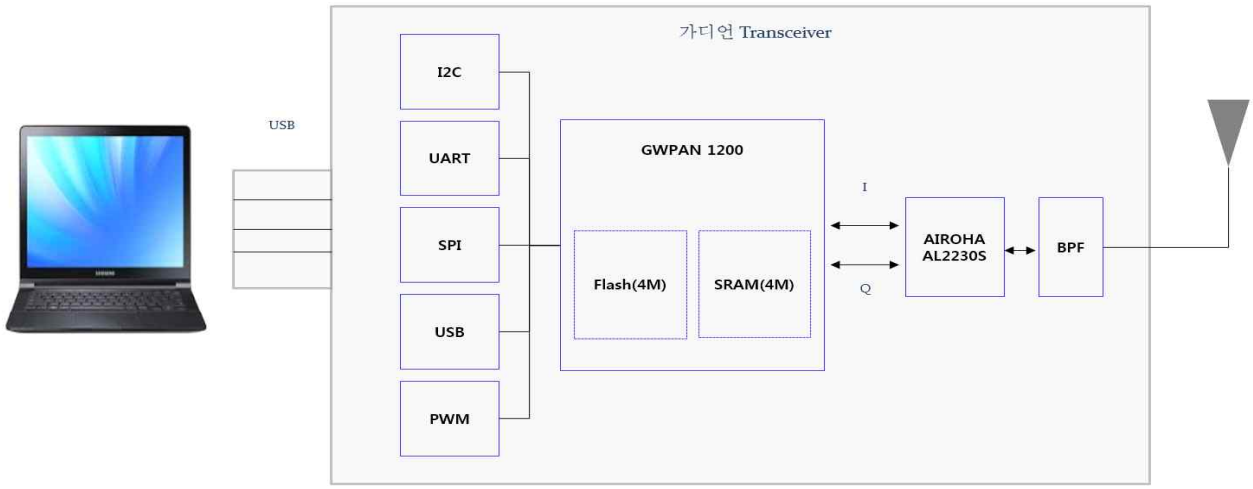


그림 120 포터블 통신모듈 구성도

다. 실시간 감시를 통한 교통신호제어기의 열화 감지 프로그램

(2차년도 주요 연구 실적)

교통신호제어기를 실시간 모니터링하기 위해서는 교통신호제어기 내부의 정보들을 전달받는 것이 필요하다. 앞서 기술한 내용과 같이, IoT 보드를 통해 교통신호제어기 내부의 정보들을 PC로 보내게 되고 이것을 전송받기 위해서는 IoT 통신 단말기를 PC에 설치하는 것이 필요하다. IoT 통신을 통하여 전송받은 데이터를 읽고 저장하기 위해서는 교통신호제어기와 통신하는 프로그램이 필요하다.

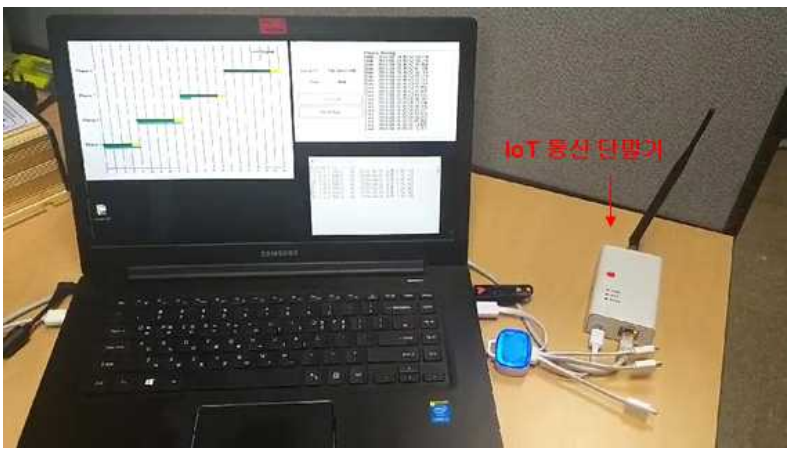


그림 121 PC와 IoT 통신 단말기

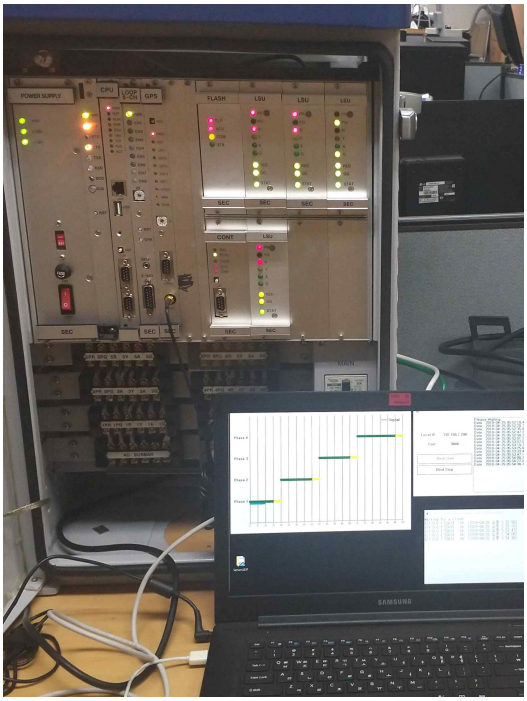


그림 122 교통신호제어기와 IoT 통신 중인 PC

본 프로그램은 교통신호제어기와 통신하여 받은 데이터를 데이터베이스에 저장하는 프로그램과 데이터베이스에 저장된 교통신호제어기의 교차로 상황정보를 통해 현재 교차로 상황 및 교통신호제어기의 고장을 분석하는 프로그램, 데이터를 저장하는 데이터베이스로 구성된다. 프로그램의 구성은 아래의 그림과 같다.

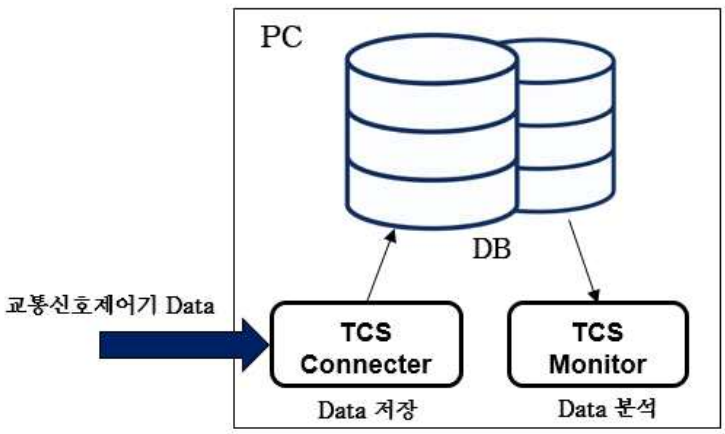


그림 123 교통신호제어기 열화 감지 프로그램 구성도

○ TCS Connecter

TCS Connecter는 IoT보드와의 통신을 통해 교통신호제어기로부터 교차로상황정보를 전송받고, 전송받은 데이터를 분석하여 현재 진행되고 있는 현시번호와 전송받은 시간을 DB에 저장하는 역할을 하는 프로그램이다. 아래는 TCS Connecter 프로그램이며, 지정된 Local IP와 Port를 통해 교통신호제어기에 설치되어 있는 IoT와 UDP 통신이 연결되도록 해주는 기능을 한다.

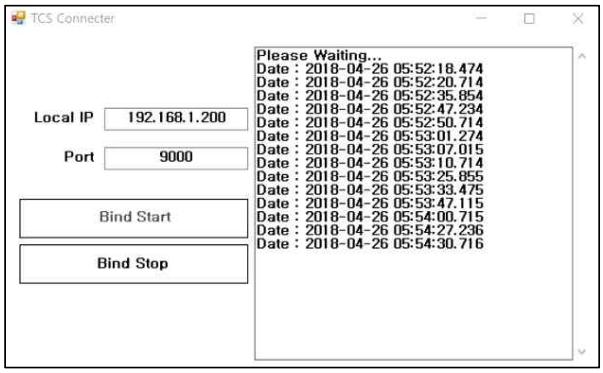


그림 124 TCS Connecter

교통신호제어기의 통신 프로토콜에 따라, 교통신호제어기의 IoT보드는 TCS Connecter에 연결하여 현시변화가 일어날 때마다 자신의 교차로상황정보를 보내게 된다. 연결된 UDP 통신을 통해서 정보를 전송받으면 데이터들의 전송시간을 보여주며, 계속해서 통신이 이루어지는 것을 화면을 통해 보여준다. 통신시간에 대한 정보가 필요하므로 전송받은 데이터 이외에 통신시간을 추가로 입력하여 데이터베이스에 저장한다.

라. TCS Monitor

TCS Monitor는 데이터베이스에 저장되어있는 데이터를 통해 교통신호제어기 열화를 분석하는 역할을 하며 프로그램 화면은 아래와 같다.

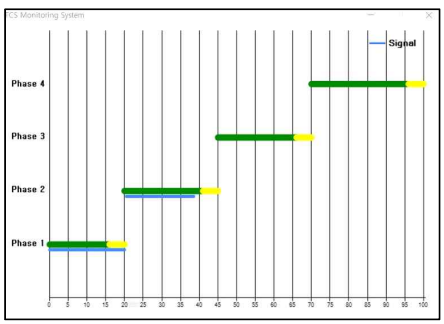


그림 125 TCS Monitor

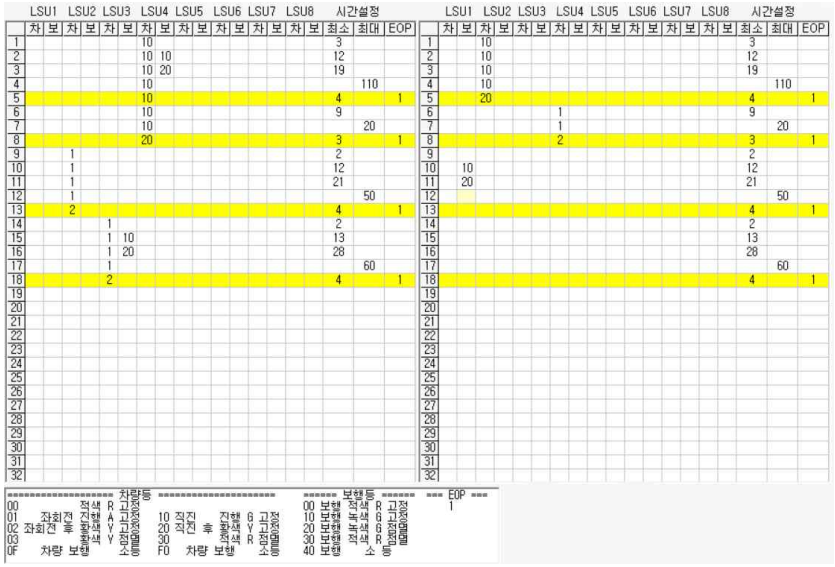


그림 126 교차로 운영 시그널 맵

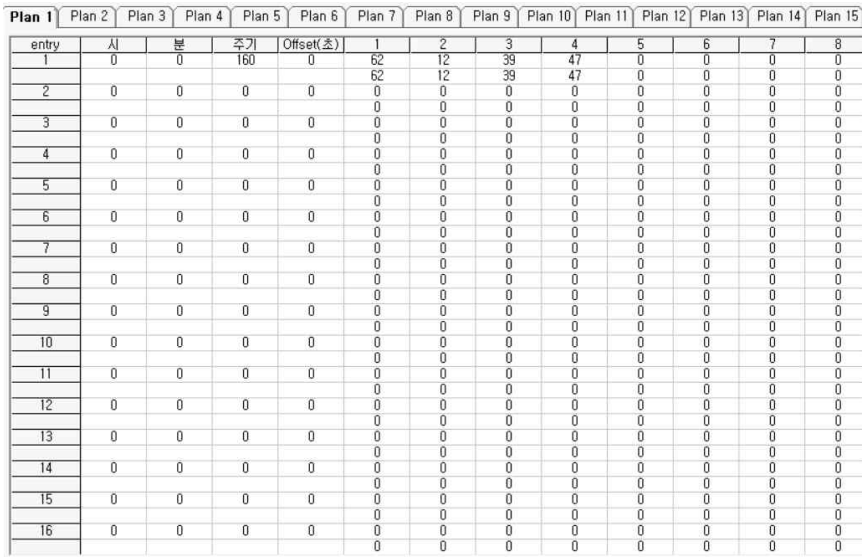


그림 127 교차로 운영 현시일일자료

교통신호제어기는 현시변화가 일어날 때마다 자신의 교차로상황정보를 통신하도록 되어있으며, 현시변화에 대한 현시기준정보는 시그널 맵과 현시일일자료를 통해 파악할 수 있다. TCS Monitor는 시그널 맵과 현시일일자료를 업로드 받아, 자동적으로 현시기준정보를 파악하여 그림의 황색, 녹색 선과 같은 기준선을 만들어준다. 데이터베이스의 통신시간을 통해 현재 진행되는 현시를 파악하고 이를 현시기준정보와 비교하여 열화의 정도를 파악한다.

(2차년도 주요 연구 실적)

마. 교통신호제어기 고장 이력 관리 프로그램

교통신호제어기 부품의 신뢰성을 평가하기 위해서는 부품단위의 고장률이 필요하고, 부품의 고장률은 대게 고장 이력을 가지고 계산하는 경우가 많다. 따라서 부품 및 교통신호제어기의 고장 이력을 관리하는 것은 매우 중요한 일이며, 이를 위해 고장 이력 관리 프로그램을 개발하였다. 고장이력 프로그램은 아래의 그림과 같다.



그림 128 고장이력관리 프로그램 - 조회



그림 129 고장이력관리 프로그램 - 입력

10. 1차년도 연구 실적

가. 논문 실적

1) A Reliability Model for a Wafer FAB :

복합구성품의 신뢰성 모델링을 방법론을 제시하였으며, 시뮬레이션을 통해 신뢰성을 계산할 수 있는 방법은 아래 그림의 내용과 같다.

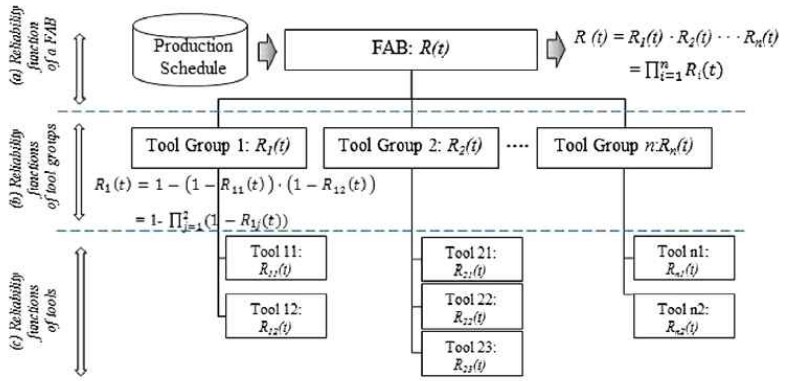


그림 130 복합구성품의 신뢰성 모델링 방법

○ RAMS TOOLs[215]

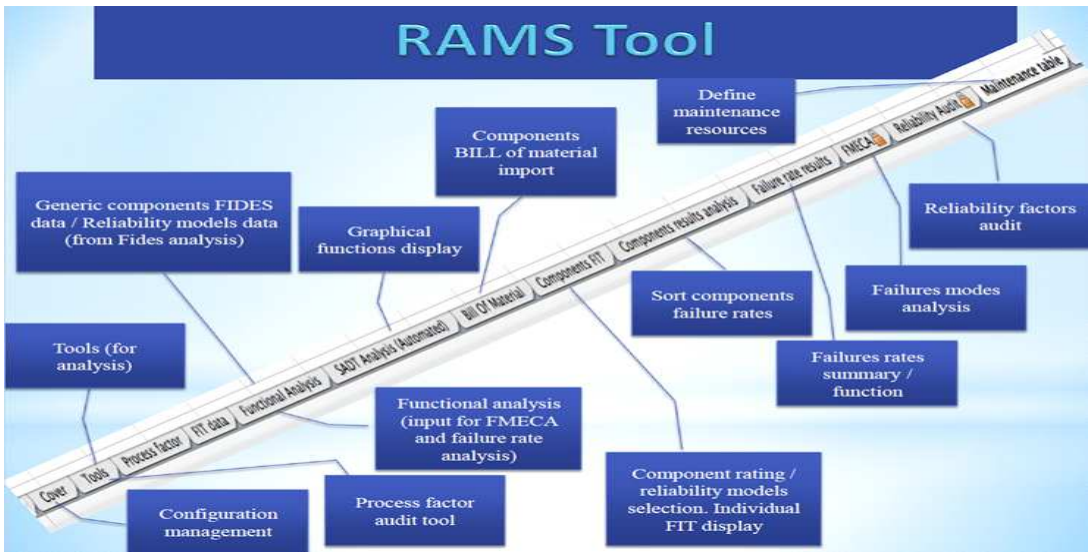


그림 131 RAMS TOOLs

215) RAMS Training with FIDES; KM3NETFMECA_reliabilitytraining_2to5may2017

2) NHPP Model based Reliability Growth Management of a Hybrid DC-DC Converter

부품 경년화를 고려할 수 있는 Non-homogeneous poisson 분포를 이용하여 신뢰성 성장관리에 관한 방법론을 제시하였다. 복합 구성품에 해당하는 DC-DC Converter 예제를 이용하여 시간 변화에 따른 신뢰성 성장 관리를 살펴보았으며 교통신호제어기를 대상으로 NHPP 모델을 이용하여 신뢰성 성장관리를 할 수 있는 기반을 제안하였으며 해당 내용은 아래 그림과 같다.

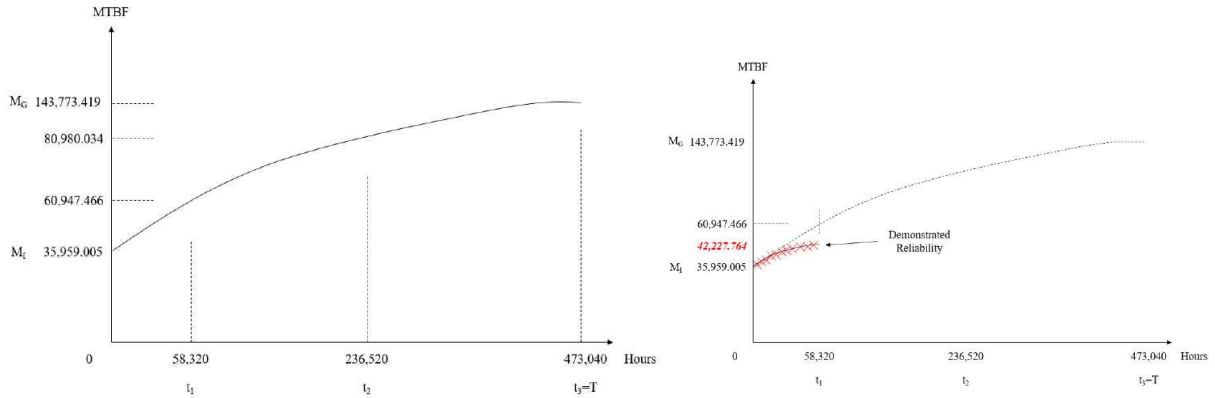


그림 132 복합 구성품에 대하여 NHPP 모델을 이용한 신뢰성 성장관리

나. 특허 실적

1) TSC 생산공정 신뢰성 향상 솔루션:

Simulation based AMHS Optimization of Cellular Manufacturing System for Productivity Improvement : 이산사건 시뮬레이션 모델링 기법을 이용하여 복합 구성품을 모델링하고 성능지표를 평가할 수 있는 방법론을 제안하였다. 특허 관련 내용은 아래의 그림의 내용과 같다.

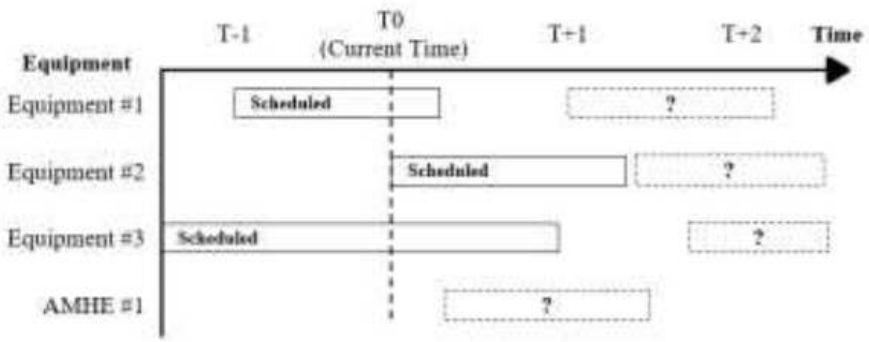


그림 133 복합구성품 모델링과 생산 시스템 스케쥴링의 컨셉

11. 2차년도 연구 실적

가. 신뢰성예측표준 규격 기반 교통신호제어기 신뢰성예측:

신뢰성 예측 표준 규격에 근거한 교통신호제어기 제어보드 잔여수명 예측 방법 : 교통신호제어기는 서비스 제공업체가 장비의 성능을 유지 관리하는데, 교통신호제어기의 고장은 차량과 보행자 모두에게 심각한 피해를 발생시킬 수 있으므로 가용성을 극대화하면서 동시에 수명주기 비용을 최소화하는 최적화된 유지관리정책을 수립하는 것이 중요하다. 본 연구는 신뢰성 예측 표준 규격에 근거한 교통신호제어기 제어보드 잔여수명 (RUL: Remaining Useful Life) 예측 방법에 관한 것으로, 교통신호제어기 설치 장소의 연간 온도 데이터를 3가지 온도 수준으로 변환하고 설치 장소의 염도를 2가지 염도 수준으로 변환하는 분류 체계를 제공함으로써, 신뢰성 예측 표준 규격(MIL-HDBK-217F)이 제공하는 환경 조건 및 온도에 따른 시간당 시스템 고장률을 획득하고, 교통신호제어기가 설치된 도시의 온도 데이터를 3가지 온도 수준으로 분류하여 온도 수준 별 지속시간을 구하고 온도에 따른 시간당 시스템 고장률을 곱해서 환경을 고려한 교통신호제어기 제어보드의 연간 수명 소비율을 도출할 수 있다.

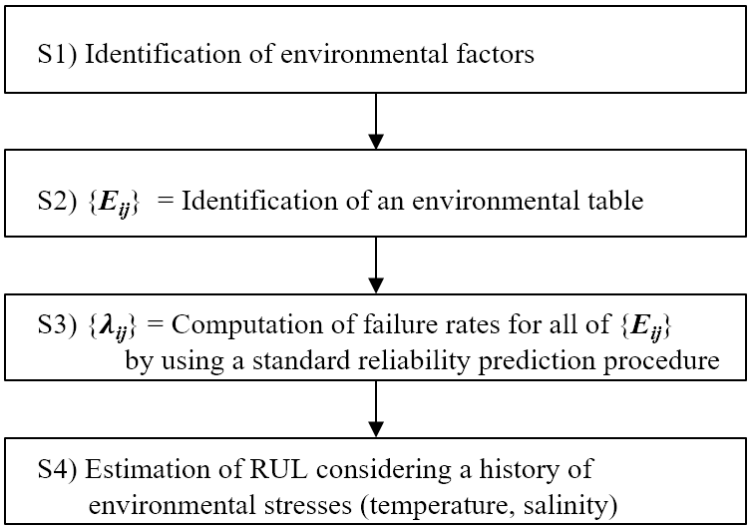


그림 134 신뢰성 예측을 통한 TSC 기능 PCB Board 잔여수명(RUL) 평가 절차

교통신호제어기의 잔여수명을 도출하기 위해서는 교통신호제어기의 신뢰성 함수

(Reliability Function, R(t))를 이용하여야 한다. 신뢰성 함수란 특정 장비가 주어진 시간동안 고장 없이 정상적으로 작동할 확률을 의미한다. T를 특정 장비가 고장 나는 시간(Time to Failure)이라 하고, f(t)를 T의 확률분포함수라 하자. 이때 특정시간 t에서 장비의 신뢰도라는 것은 장비가 t 시점 이후에 고장 날 확률과 동일하게 된다. 즉 0에서 t시점 까지 고장이 없을 확률을 의미한다. 그러므로 신뢰도 함수(R(t))는 아래와 같이 정의된다. 일반적으로 신뢰성 분야에서는 f(t)를 지수분포(Exponential Distribution)로 가정하고 있으므로 본 연구에서 이를 따르도록 한다.

$$R(t) = P(T > t) = 1 - \int_0^t F(x)dx$$

일반적으로 신뢰성 분야에서는 f(t)를 지수분포(Exponential Distribution)로 가정하고 있으므로 본 연구에서 이를 따르도록 한다. 고장 빈도 (failure rate)란 특정 시간에 고장이 일어나는 횟수를 의미한다. 고장빈도를 λ라고하면 아래와 같이 f(t)가 정의 될 수 있다.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \text{ where } \lambda \text{ is the failure rate}$$

이때 수명은 다음번 고장 날 때까지의 시간으로 정의 될 수 있으며 이를 MTTF (Mean Time to Failure)라고 하며 이는 아래와 같이 정의 될 수 있다.

$$\text{MTTF} = \int_0^\infty t \cdot f(t)dt = \int_0^\infty R(t)dt = \frac{1}{\lambda}$$

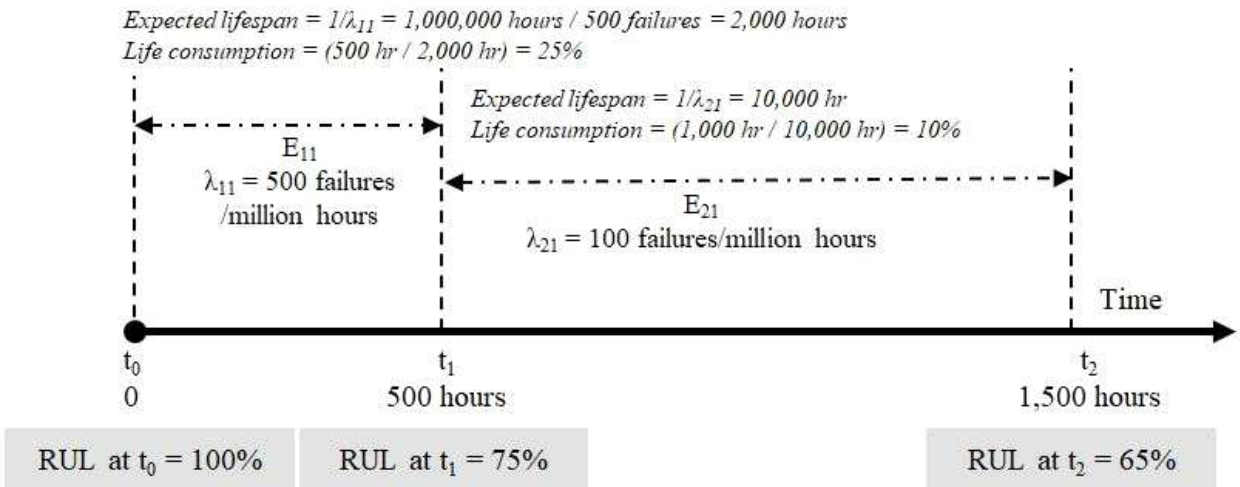


그림 135 Life consumption 기반 잔여수명 예측기법

위 그림은 Life consumption 기반의 잔여수명 예측기법을 보여주고 있다. 특정 환경에서의 고장빈도를 신뢰성예측표준규격(MIL-HDBK-217F)에 의거하여 구하고 그에 따른 수명소모를 비율형태(%)로 표현함으로써 사용자가 직관적으로 남은 잔여수명을 산정할 수 있게 된다.

나. System trajectory 기반 교통신호제어기 유지보수 방법 :

국도 상 교통신호제어기의 통신 프로토콜에 따르면 교통신호제어기는 일정 주기에 따라 교통신호제어기 내부 데이터를 교통 센터로 전송하게 되어있다. 교통신호제어기가 정상적으로 작동한다면 교통 센터와의 통신이 정상적인 주기로 원활하게 이루어질 것이다. 하지만 교통신호제어기의 부품들이 열화해감에 따라 통신에도 영향을 끼칠 수밖에 없다. 따라서 시뮬레이션 기반 교통신호제어기 유지보수 방법에서는 교통신호제어기의 현시 정보를 기반으로 추출된 이상적인 통신 주기(Nominal system trajectory)와 실제 교통신호제어기가 센터로 전송하는 통신 주기 (Actual system trajectory)를 비교하여 열화를 감지한다.

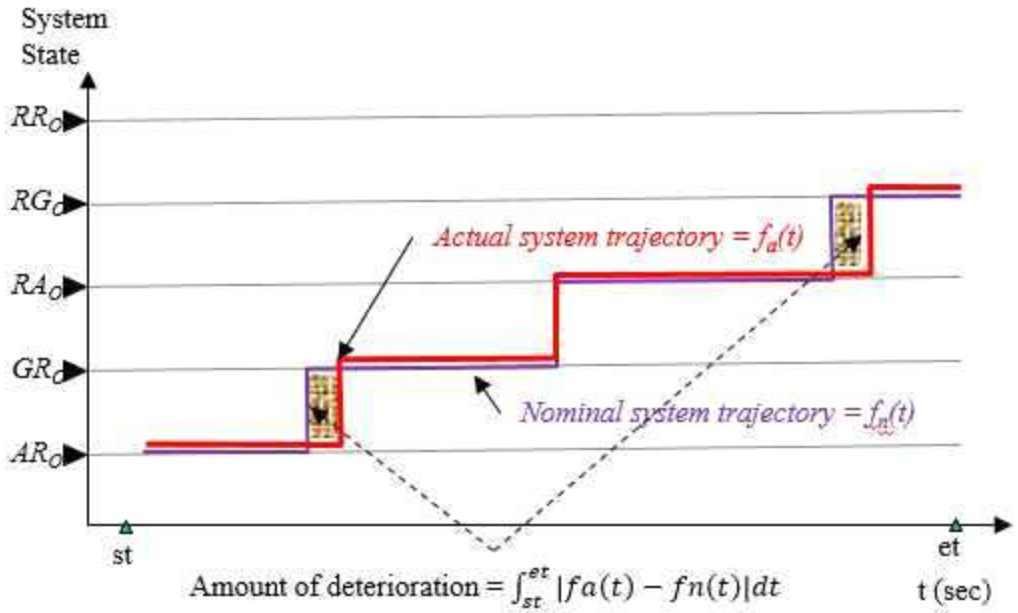


그림 136 교통신호제어기의 통신주기 비교

다. 시뮬레이션 기반 교차로 감응 신호 시스템 실시간 감시 방법 :

제시된 기술에서는 교차로 감응 신호 시스템의 열화를 감지하기 위해 교차로 감응 신호 시스템의 현시정보를 통하여 시뮬레이션 모델을 만든다. 일반적인 도로의 경우에는 교차로의 신호가 일정하게 정해져있다. 교차로 감응 신호 시스템이란 신호교차로에서 교통량이 적은 부도로의 진, 출입 차량이나 주도로의 횡단보행자를 검지하여 꼭 필요한 신호만을 부여하고, 나머지 시간은 항상 주도로에 녹색시간을 부여하는 신호시스템이다. 검지기를 통하여 신호가 검지되었을 경우에만 신호의 변동이 있기 때문에 신호를 파악하는 것에 어려움이 있다. 이러한 교차로 감응 신호시스템의 신호를 시뮬레이션 모델을 통해 정의하고 이를 통해 Nominal system trajectory를 얻을 수 있으며, 실제 동작하는 교차로 감응 신호 시스템의 정보와 비교하여 교차로 감응 신호 시스템의 열화를 감지한다.

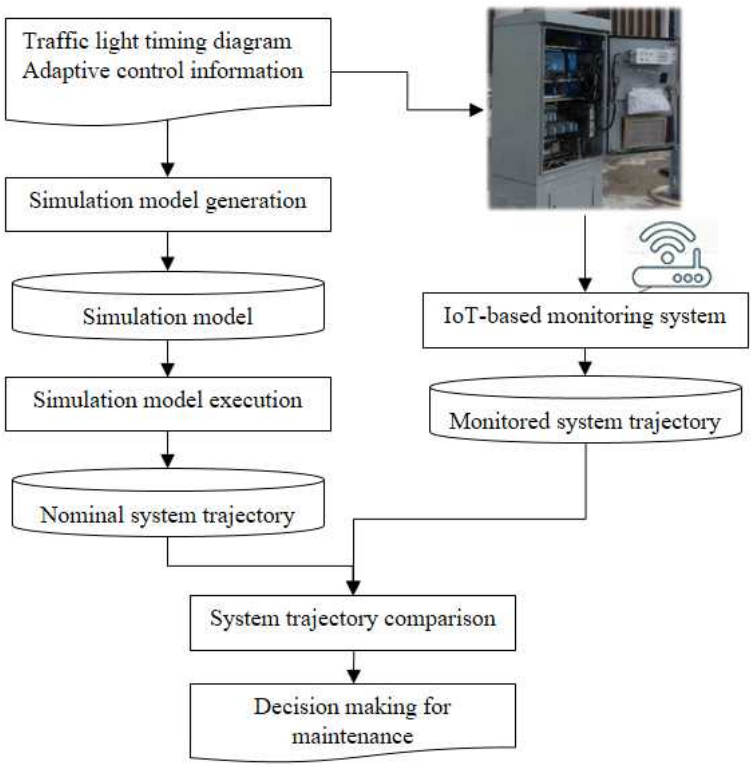


그림 137 Monitoring system architecture of a traffic signal controller

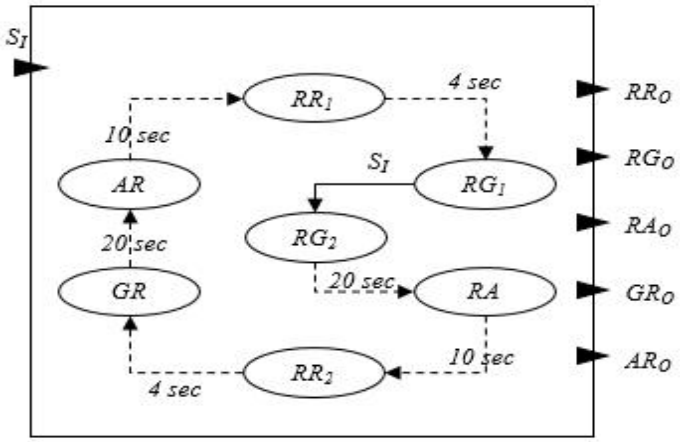


그림 138 DEVS atomic model - State diagram

$TSC = < I, O, S, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, t_a >$
$I = \{S_I\}$
$O = \{RR_O, RG_O, RA_O, GR_O, AR_O\}$
$S = \{RR_1, RG_1, RG_2, RA, RR_2, GR, AR\}$
$\delta_{ext}(RG_1, S_I) \rightarrow RG_2$
$\delta_{int}(RR_1) \rightarrow RG_1$
$\delta_{int}(RG_2) \rightarrow RA$
$\delta_{int}(RA) \rightarrow RR_2$
$\delta_{int}(RR_2) \rightarrow GR$
$\delta_{int}(GR) \rightarrow AR$
$\delta_{int}(AR) \rightarrow RR_1$

$\lambda(RR_1) \rightarrow RR_O$
$\lambda(RG_2) \rightarrow RG_O$
$\lambda(RA) \rightarrow RA_O$
$\lambda(RR_2) \rightarrow RR_O$
$\lambda(GR) \rightarrow GR_O$
$\lambda(AR) \rightarrow AR_O$
$t_a(RR_1) \rightarrow 4\ sec$
$t_a(RG_1) \rightarrow \infty$
$t_a(RG_2) \rightarrow 20\ sec$
$t_a(RA) \rightarrow 10\ sec$
$t_a(RR_2) \rightarrow 4\ sec$
$t_a(GR) \rightarrow 20\ sec$
$t_a(AR) \rightarrow 10\ sec$

그림 139 DEVS atomic model - Formal description

이때 이상적인 Nominal system trajectory를 효율적으로 생성하는 것이 중요한데, 이를 위하여 이산사건시스템을 모델링하는 DEVS (Discrete Event System Specification) formalism을 활용하여 교통신호제어기 모델을 구축하는 방법론을 제안하였다.

라. 딥러닝 (Deep Learning) 기반 교통신호제어기 수명예측방안 솔루션

딥러닝이란 최근 각광 받고 있는 머신러닝 (Machine Learning) 분야에 속하는 하나의 기법이다. 머신러닝은 크게 감독 학습 (Supervised Leaning), 비 감독 학습 (Unsupervised Learning) 그리고 강화 학습 (Reinforcement Learning)의 세 가지로 나누어 질 수 있다. 일반적으로 우리가 특정상황에 대응하는 정답을 이미 알고 있다면 감독 학습을 사용하게 되는데

본 연구에서 활용하고자하는 딥러닝은 이러한 감독학습 분야 내에서 활용한다.

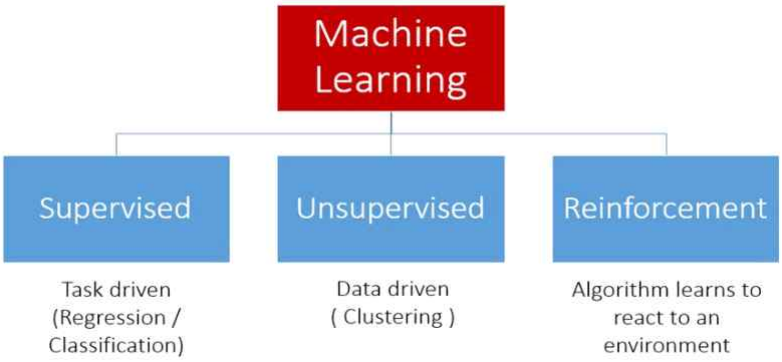


그림 140 머신러닝의 구성 분야

교통신호제어기를 실제로 설치하고 운영하는 주체의 입장에서는 교통신호제어기 가용 수명에 대해서 가장 관심이 클 수밖에 없다. 교통신호제어기는 야외에서 운영되는 대표적인 자율제어시스템이므로 운용환경에 따라서 가용수명이 크게 영향을 받을 수 있다. 실제로 온도가 높은 곳 그리고 해안 가 (염분이 높은 곳)일수록 교통신호제어기의 수명이 크게 줄어드는 것으로 알려져 있다. 만약 이러한 운영환경 별로 관찰된 교통신호제어기의 수명에 대한 정보가 충분히 저장되어 있다면 이를 딥러닝 모델로 하여금 학습하게 만들고자 한다. 이렇게 학습된 딥러닝 모델은 특정 환경에 설치된 교통신호제어기의 수명을 효율적으로 예측할 수 있을 것이다.

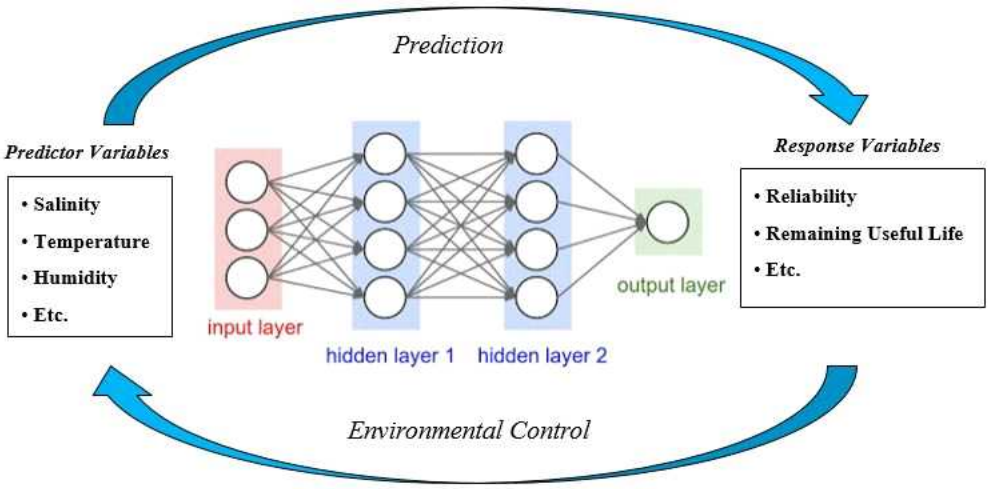


그림 141 교통신호제어기 운용 환경별 수명예측을 위한 딥러닝 모델 개념도

교통신호제어기는 교통신호를 제어하는 역할을 하기 때문에 교통사고와 같은 안전문제와 밀접한 연관이 있다. 따라서 교통신호제어기의 수명을 예측하여 고장을 방지하고 유지 보수하는

것이 필요하다. 경찰청 교통신호제어기 설치관리 매뉴얼에 따르면 교통신호제어기의 내구연한은 10년이지만, 온도, 습도, 염분 등 교통신호제어기의 환경에 따라 수명은 달라질 수 있다. 이것을 고려하여 딥러닝을 이용해 교통신호제어기의 환경 데이터와 수명데이터를 학습하여 수명을 예측하는 방법론을 제시하였다. TCS 수명예측을 위한 딥러닝 모델은 아래의 그림과 같다.

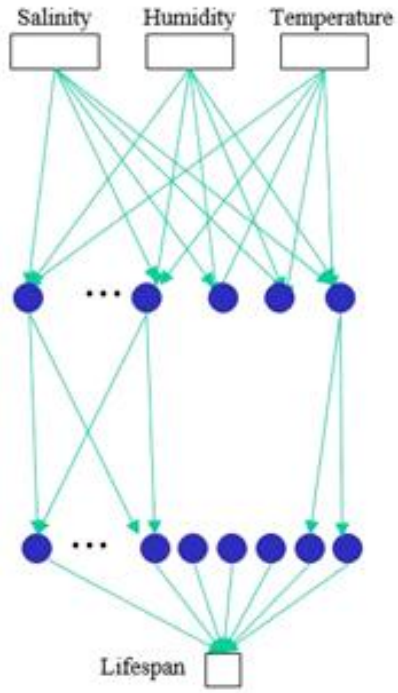


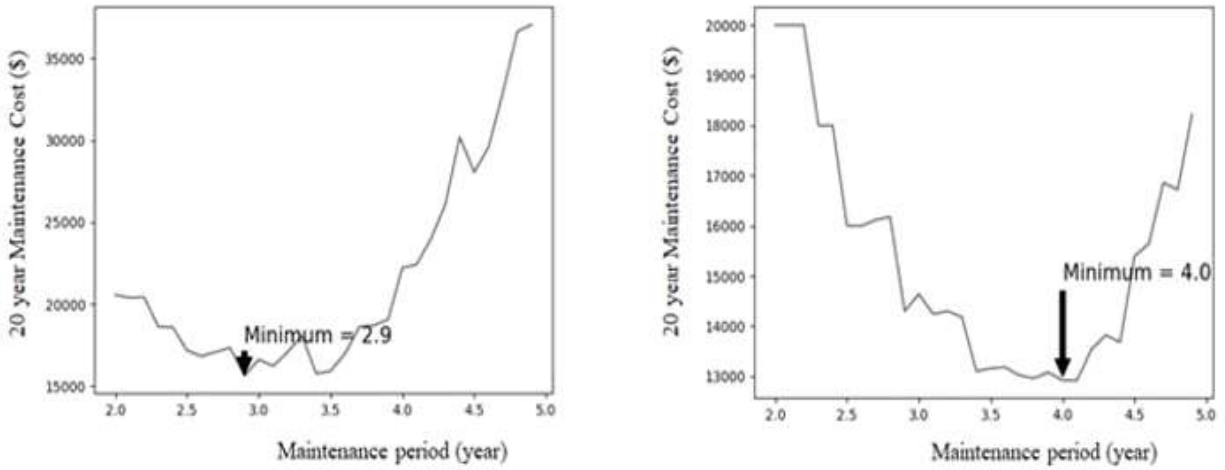
그림 142 TSC 수명예측을 위한
딥러닝 모델

교통신호제어기의 효과적인 유지보수를 위해서는 유지보수에 관련된 비용을 분석할 필요가 있다. 고장 후 수리하는 비용, 서비스를 제공하지 못함으로 발생하는 비용, 보수비용을 가정하고 이를 계산하여 최소화하는 방법으로 효과적인 정기보수기간을 설정하여 고장을 방지하고자 한다. 이와 관련하여 교통신호제어기의 수명데이터는 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용하여 생성하였다. 특정 지역의 온도, 습도, 공기 중 염분과 교통신호제어기의 정기보수기간을 각각 t, h, s, Tm으로 하고, 수리비용, 서비스를 제공하지 못함으로 발생하는 비용, 보수비용을 각각 Cm, Cr, Co라고 할 때, 10년 유지보수 비용을 계산하는 알고리듬은 아래와 같다.

```
Calculate_10year_cost (t, h, s, Tm)
// t: Temperature
// h: Humidity
```

```
// s: Salinity
// Tm:Maintenanceperiod
// Cm:Maintenancecost
// Cr:Repaircost
// Co:Outagecost
{
L = Lifespan_by_DL_Model (t,h,s);
Lm=RandomnumberNormal(L,1);
Tnow = 0;
TotalCost = 0 ;
While (Tnow < 10.0) {
If (Tm<=Lm){
  TotalCost += Cm;
  Tnow = Tm;
} Else {
TotalCost += Cr+Co;
Tnow = Lm;
}
}
Return TotalCost ;
}
```

딥러닝 모델과 알고리듬을 이용하여 실제로 유지보수 비용을 최소화 할 수 있는 최적 정기보수기간을 계산해보았다. 대표적으로 온도, 습도, 염도의 차이가 큰 따뜻한 해안가 환경과 추운 내륙지방의 두 가지 사례에 대해 정기보수기간을 계산하였으며, 이에 대한 정기보수기간 그래프는 아래와 같다.



a. 따뜻한 해안가 환경 b. 추운 내륙지방 환경

그림 143 정기보수 기간 그래프

이와 관련하여 교통신호제어기의 데이터를 가지고 딥러닝을 이용하여 수명을 예측하기 위한 소프트웨어를 개발하였다. 사용자가 기존에 코드로만 실행하여 콘솔에서 확인하였던 딥러닝 결과를 실시간 그래프로 시각화하여 보여주는 프로그램으로 학습률과 Hidden Layer 등 Learing parameter 설정 값을 조작할 수 있다. 아래 화면은 프로그램에서 parameter을 설정하여 실행한 후, 그에 해당하는 오차 및 정확도 chart를 보여주는 화면이다.

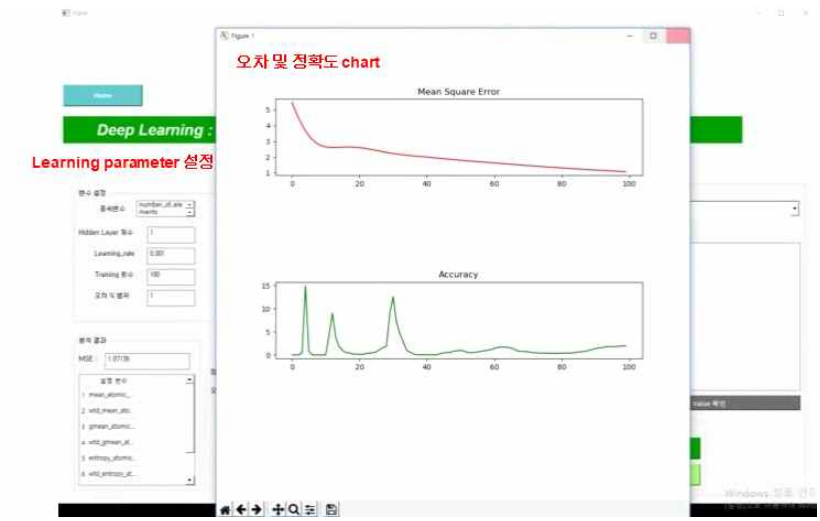


그림 144 딥러닝 프로그램

마. Knowledge Matrix 기반 교통신호제어기 기술 DB 연구 :

(1) 교통신호제어기 기술동향 조사

- 특허기술 동향조사

- 분석방법

1단계

-분석 대상인 교통신호제어기를 경찰청에서 제공하는 기준으로 6개의 기술분류로 나누었다.

-기술범위에 해당하는 키워드를 도출

2단계

-키워드를 기준으로 관련된 특허 조사

-특허 조사의 범위는 대한민국으로 한정한다.

3단계

-유효데이터 357개 도출 (특허 302개 + 논문 55개)

-특허기술의 연도별 동향 조사

4단계

-기술분류 주제와 관련성 큰 특허와 논문을 중심으로 191개 핵심 유효 데이터 선정

5단계

-matrix를 이용한 해결과제별 해결수단의 기술현황 분석

-기술장벽 및 공백기술 여부판단

(2) 분석대상 기술분류

분석 전, 분석대상이 되는 교통신호제어기에 대한 기술 분류표를 작성하였다. 이를 바탕으로 기술 조사의 범위를 한정하고 각 항목별 해당하는 기술 키워드를 분류하여 특허와 논문 조사 검색에 활용하였다.

표 97 교통신호제어기의 기술 분류 항목 표

대분류	중분류	기술범위
교통신호제어기 (A)	H/W 부문(AA)	교통신호기의 외관 및 내부 구성, 하드웨어 장치의 구성, 구성부를 이루는 각 실장 부품에 대한 호환성을 목표로 하는 하드웨어적 접속 규격과 요구기

		능을 지정하기 위한 부분이다.
	S/W 부분(AB)	교통신호기에서 신호등을 점등 및 소등하는데 적용되는 신호시간계획의 작성과 운영방법, 검지기 정보의 처리방법, 수동입력장치나 차량 소통상태의 변화에 의한 사건의 발생 등 여러 가지 지역적인 입력신호를 처리하는 방법에 대한 표준화된 기능을 지정하는 부분이다.
	관제 센터 통신(AC)	교통신호기와 중앙장치간 및 내부 독립장치간 통신규격을 다루는 부분이다.
	장치 내부 통신(AD)	
	내구성시험체계(AE) (기기적 안정성)	교통신호기의 전자, 전기적 규격 만족 여부와 이에 대한 기계적 검사와 외부환경에 대한 내환경성 및 외관 등을 검사하는 내구성시험 및 소프트웨어적 기능을 검사하는 기능검사 방법으로 이루어진다.
	기능검사체계(AF) (기능적 안정성)	

- 기술조사 유효데이터 요약

논문 조사에 국가과학기술정보센터(NDSL)을 이용했으며 특허 조사를 위해서는 윕스온(WIPS ON)을 통해 검색하였다.

관제 센터 통신(AC)와 장치 내부 통신(AD)의 경우 장치 내부의 통신이 이루어져야 관제 센터와의 통신이 가능하다는 점과 이 두 기술을 포함하여 작성된 논문과 특허가 많아 데이터 계수를 합쳐서 나타내었다.

표 98 유효데이터 요약

	교통신호제어기						
	H/W 부문 (AA)	S/W 부분 (AB)	관제센터 통신 (AC)	장치내부 통신 (AD)	내구성시험체계 (AE)	기능검사체계 (AF)	계
논문	4	37	5		5	4	55
특허	45	143	38		42	29	302
계	29	180	43		47	33	357

(2) 특허 기술동향

한국 특허만을 조사 대상으로 삼았으며, 2018년 11월까지 출원된 교통신호제어기 관련 303

개의 유효데이터를 도출하였다. 유효데이터에 대한 연도별 기술개발 현황, 출원 건수의 증감정도의 분석을 통한 기술시장 성장 단계 파악 및 기술경쟁력 현황을 분석하였다.[216]

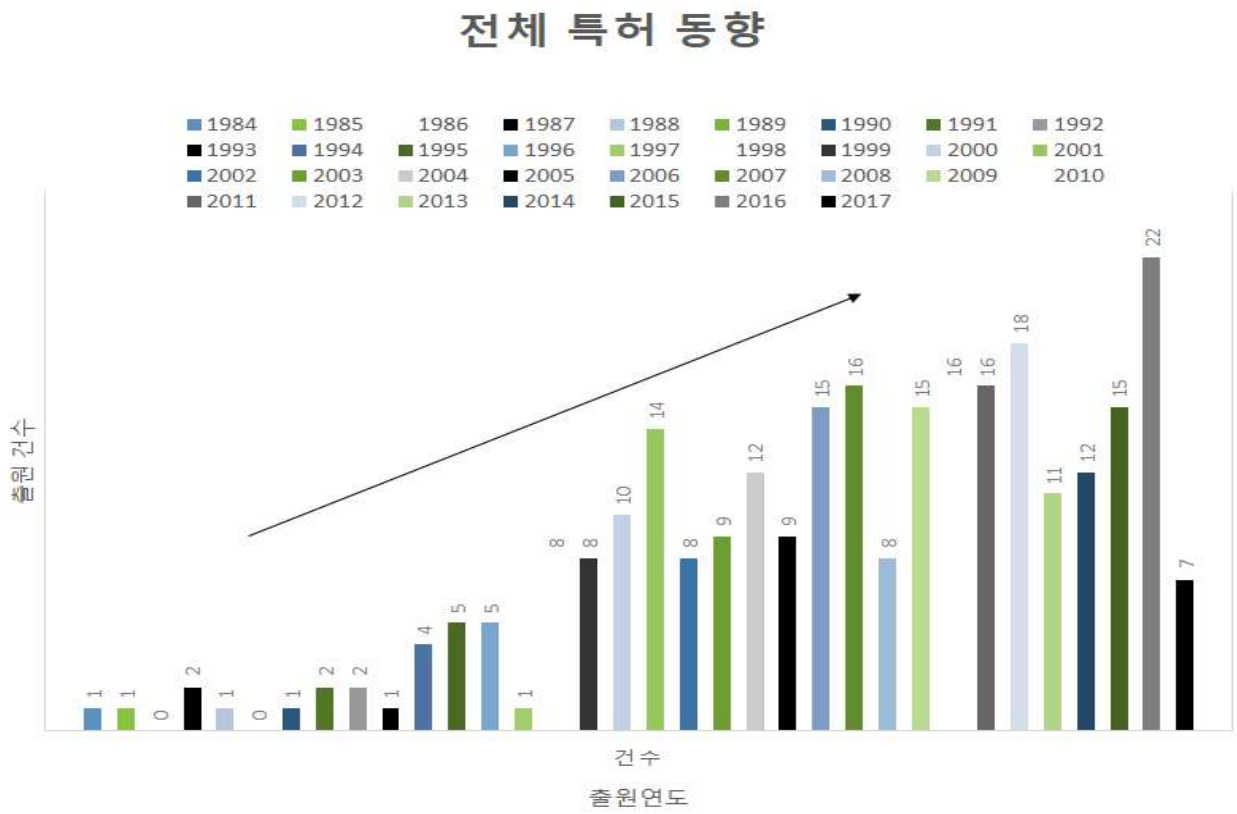


그림 145 전체 특허 동향 그래프

교통신호제어기와 관련된 기술개발 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 1984년 출원을 시작으로 90년대 후반을 시작으로 점점 특허 출원이 본격적으로 시작되었으며, 90년대 후반에서 2000년대 초반으로 넘어오며 급격하게 증가하였다. 2000년대 이후에는 꾸준한 증가세를 유지하고 있으며 2016년 최대 건 이후 2017년 최근 다소 하락하였다.

○ H/W 부문

H/W 부문의 경우 전체 특허 14.9%를 차지하고 있으며 교통신호제어기의 하드웨어적 연결과 부품과 주로 관련된 특허들이 있다. 출원이 시작된 이래로 꾸준하게 출원 건수가 있는 기술이며 교통신호제어기를 설치하는 방법이나 교통신호제어기 내부에 고장과 관련된 피뢰장치나 전원공급장와 같은 부품에 대한 기술이 출원되고 있다.

216) 보행자 안전확보 기술개발 기획연구, 국립재난안전연구원, 2013, 32p

○ S/W 부문

교통신호제어기와 관련 된 기술 중 가장 많은 특허가 출원되고 있는 분야이다. 전체 302개의 특허 중 143개의 특허가 이에 속해있으며 꾸준히 출원 건수가 증가하고 있다. 주로 교통신호제어기에서 신호등을 점등 및 소등하기 위한 계획이나 검지기나 영상 등으로 얻은 입력정보 처리에 관한 기술이 많이 개발되었다. 도로의 원활한 소통을 위한 교통신호 운영방법에 대한 기술 또한 S/W 부문의 주기술이다. 이 외에 긴급 차량을 위한 입력 정보 처리와 신호 변경에 관한 기술이 최근 출원됐다.

○ 관제 센터 통신(AC), 장치 내부 통신(AD)

장치 내부 통신의 경우, 교통신호제어기의 구조를 변형하여 장치 내부의 통신이 원활하게 이뤄질 수 있도록 하는 기술이 있다. 관제 센터 통신의 경우 장치 내부 통신과 관련한 기술 보다 많은 특허가 출원되고 있다. 주로 무선 통신을 통해 교통신호제어기와 관제 센터가 실시간으로 통신하여 통신에 필요한 부품이나 선을 설치하지 않도록 하는 특허가 출원되고 있다. 현재 교통신호제어기의 통신에 대한 기준이 없기 때문에 이를 위한 표준화 방법에 대한 특허 또한 있다.

○ 내구성시험체계(기기적 안정성)(AE)

교통신호제어기의 기기적 안정성에 관한 기술로 교통신호제기의 내구성과 관련된 특허들이 속하는 항목이다. 교통신호제어기에서 가장 크게 문제가 되고 있는 신뢰성 문제는 전원공급이 끊기거나 기타의 이유로 발생되는 블랙아웃이다. 이는 큰 사고로 이어질 수 있는 문제인 만큼 많은 특허들이 출원되었으며 보조전원이나 외부 전원공급을 통해 문제를 해결하고자 한다. 이 외에도 낙뢰나 먼지, 습기 등으로부터 교통신호제어기를 보호하여 고장을 막는 기술이 있다.

○ 기능검사체계(기능적 안정성)(AF)

소프트웨어적 기능에 대한 안정성을 확보하고자 하는 기술 항목이다. 주로 교통신호제어기에 탑재되는 알고리즘의 모순을 검지하는 기술이며 이는 비교 연산이나 계속 알고리즘에서 나오는 신호를 받아서 검사하는 모니터링 방법이 있다. 기기적 안정성과 관련된 특허 수 보다는 적으나 비교적 최근에 이 항목과 관련된 문제점을 해결하기 위한 특허들이 출원되고 있다.

○ 연구논문 기술동향

연구논문의 조사 범위 또한 한국만을 선정하였으며 2018년 11월까지 등록된 교통신호제어기 관련 연구논문인 55개의 유효데이터를 도출하였다. 유효데이터의 수가 작아 유의미한 정량분석이 되지 않았다. 하지만 논문의 내용을 기술 항목별로 구분하여 논문 연구에서 가장 많이 연구되어지고 있는 분야인 S/W부분의 기술시장 성장단계 파악 및 기술경쟁력 현황을 분석하였다.

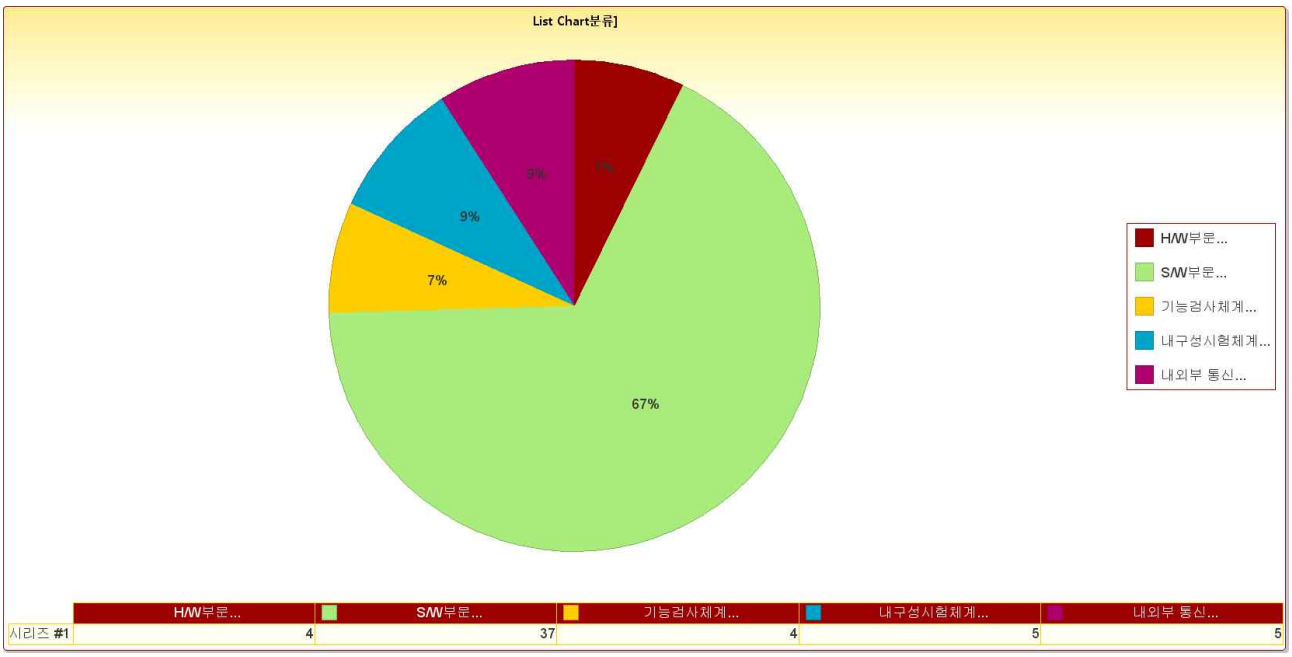


그림 146 논문 연구 동향

교통신호제어기와 관련된 특허 중 67%가 S/W부문과 관련된 연구들이다. 앞서 특허들과 유사한 내용의 연구들이 발표되고 있다. 논문 연구에서 눈에 띄는 내용은 교통신호제어기를 현시를 구성하고 제어하여 효율적으로 운영하기 위해 주로 쓰이는 퍼지 알고리즘에 대한 연구이며 다수를 이루고 있다. 뒤 이어 영상이나 검지기로부터 정보를 추출하여 처리하는 기술에 대한 연구가 이루어지고 있다. 최근에는 빅데이터 기반으로 현시정보를 데이터 베이스에 쌓아 경험기반 신호 운영 계획을 짜는 연구 또한 진행되고 있다.

○ 심층분석

다음으로 357개의 유효 특허와 논문 중 보다 연관성이 큰 특허와 논문을 중심으로 191개의 핵심 유효 데이터를 도출하여 이에 대한 기술 분류를 실시하였다. 교통신호제어기 장치 구성(내부), 교통신호제어기의 외부 구성(외부), 교통신호제어기 내부 및 외부 통신. 기기적 안정성 확보, 기능적 안정성 확보. 신호 운영(방법), 신호시간 및 입력정보 처리로 재구성하였으며 이를 교통신호제어기 관련하여 해결하여야할 과제로 선정하였다(총7건).

재구성의 기준은 앞서 언급한 기술 분류 항목을 활용하여 항목을 합치거나 세부항목으로 나누어 계층이 맞도록 구성하였다.



그림 147 해결과제에 대한 해결수단

해결과제에 대한 해결수단으로 분석/방법론 확립에 대한 기술이 다른 해결 수단보다 많이 사용되고 있다. 뒤 이어 외부 정보 활용과 무선통신, 기존 장치 및 기구 업그레이드 기술이 해

결 수단으로 분류됐다. 따라서 이 4항목에 대한 기술 장벽이 다소 높게 형성되었다고 볼 수 있다. 따라서 이 분야로 진출하기 위해서는 기존의 연구보다 심층 적은 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또는 이 기술을 활용하기 위해 회미 또는 우회하는 기술을 개발하는 것도 가능성 있을 것으로 생각된다.

반면에 정보제공이나 교통신호조정, 모니터링, 새로운 장치 및 기구 추가, 보조장치 사용에 대한 기술 장벽은 앞서 언급한 기술보다 기술 장벽이 낮은 것으로 나타났다. 따라서 이러한 기술에 대한 연구 개발 및 기술 투자가 이루어진다면 장벽을 보다 쉽게 극복할 수 있을 것이다.

		해결 수단									
		교통신호조정(A)	기존장치 및 기구 업그레이드 (B)	모니터링 (C)	무선통신 (D)	보조장치 사용 (E)	분석/방법론 확립 (F)	새로운 장치 및 기구 추가 (G)	외부정보 활용 (H)	정보제공 (I)	총합계
해결과제	교통신호제어기 내부 및 외부 통신(A)		3		6		7	1	5		22
	교통신호제어기 외부 구성(B)		1				2	2			5
	교통신호제어기 장치 구성(C)		12		1	1	1	7			22
	기기적 안정성 확보(D)	1	11	5		10	7	4			38
	기능성 안정성 확보(E)	1	2	7	1		12	1			24
	신호 운영(방법)(F)				2		2		11		15
	신호시간/입력정보 처리(G)		1	1	22		14	1	22	4	65
	총합계	2	30	13	32	11	45	16	38	4	191

그림 148 교통신호제어기의 특허 매트릭스

특허 매트릭스를 통해 현재 계획하고자 하는 기술의 침해분석과 회피설계를 위해 활용될 수 있다. 또한 현재 공백기술을 찾아 낼 수 있는데 현재 파란색으로 표시된 영역은 교통신호제어기와 관련된 기술 중 개발되지 않은 영역이라고 할 수 있다. 하지만 공백영역이라고 판단하기 앞서서는 기술적 가능성을 판단하고 비용의 효율성을 생각해야한다. 우선 기술적으로 가능한 것인지 판단해야한다. 또한 기술적으로 가능하다고 하여도 비용 측면에서 유리한지 논의되어야 할 것이다.[217]

예를 들어 기기적 안정성 확보(D)를 위해 정보제공(I)기술을 활용할 수 있을지 판단해본다. 교통신호제어기가 운영되며 고장이 날 가능성을 줄이고 만약 고장이 나더라도 그 피해를 줄일 수 있고 신속한 대처가 일어질 수 있게하는 것이 해결 과제라고 할 수 있다. 이를 위해서 교통신호제어기의 열화 정도를 나타내거나 현재 노후된 부품을 수시로 체크할 수 있도록 교통신호제어기를 관리하는 사람에게 정보를 제공함으로써 이를 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 위해서는 교통신호제어기의 열화를 보기위해 검지기나 센서를 부착, 혹은 무선 통신 등으로 그에 대한 정보를 얻어 올 수 있을 것이다.

교통신호제어기릴 수리하거나 관리하는 비용을 고려하였을 때, 고 비용의 검지기나 센서 보다는 온도센서나 소형 카메라가 적당할 것이며 무선 통신은 따로 선을 설치하지 않아도 되므로 비용측면에서 효율적일 것이다. 또한 이를 실시간으로 확인하거나 현장에서 정보를 제공하기 위해서는 교통신호제어기에 소형 디스플레이를 설치할 수 도 있을 것이다.

217) 정부 R&D 특허기술동향조사사업 기본 분석 실무 자료집, 한국지식재산전략원, 84p

제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

성과지표	성과목표	성과	달성도(%)
SCI(E)급 학술지 게재(2점)	1건 (2점)	7.4건 (14.8점)	740%
일반학술지게재(1점)	7건 (7점)	3.2건 (3.2점)	45.7%
특허출원(1점)	5건 (5점)	3건 (3점)	42.9%
특허등록(2점)	4건 (8점)	-	0%
디자인 등록(1점)	0건	-	
소프트웨어(1점)	2건 (2점)	5건 (10점)	250%
하드웨어(1점)	0건	-	
기타(1점)	0건	-	
소계(점수)	24점	31점	129.2%

목표 달성은 X 점으로 정량적 목표인 24점은 초과달성하였다.

SCIE급 학술지는 원래 목표치를 크게 초과 달성하였으며, 반면 일반 학술지가 목표치에 미달하고 있다. 이는 최근 대학원생들의 실적을 산정할 때 SCIE급 학술지 실적을 우선적으로 반영하면서 대학원생들이 SCIE급 학술지를 선호하면서 발생하는 현상이며, 일반 학술지보다 더 저명한 SCIE급 학술지에 논문을 게재하였으므로 바람직한 결과라고 볼 수 있다.

특허출원은 목표치를 상회하고 있으나, 특허 등록이 저조하다. 이는 특허등록 심사에 걸리는 시간이 과도하여 발생하였고, 문의한 결과 1년-2년 정도의 기간이 심사에 소요되는 실정이다. 따라서 최근 심사기간이 과도하게 길어짐에 따라 특허등록이 원래 목표치 보다 저조하다고 볼 수 있다.

소프트웨어 등록은 목표치를 초과하여 달성하였다.

2. 관련 분야 기여도

본 연구를 통해 PHM 분야에 기여한 내용을 요약하면 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 교통신호제어기와 같은 자율제어시스템의 임무신뢰도를 평가하기 위한 시뮬레이션 모델링 형식론을 개발한 것이고, 두 번째는 교통신호제어기의 잔여수명 산출 방법론을 개발한 것이다.

2.1 컴퓨터 비전을 이용한 캐패시터 열화 감시 방법론 개발

- 캐패시터는 전원의 평활회로 혹은 바이어스를 가할 때 직류전압에 남아 있는 맥류를 제거하기 위해 사용되므로, 실제적으로 거의 모든 전자회로에 장착된다고 할 수 있다. 따라서 캐피시터가 어느 정도 이상 열화 되면 장착된 전자회로 전체가 고장 나게 되므로, 캐패시터의 열화를 감지하는 것은 매우 중요한 일이다.
- 대표적으로 전원공급장치인 SMPS (Switching Model Power Supply)는 교류전원을 직류전원으로 변환하는 스위치 제어방식의 장치이며, 캐패시터가 반드시 사용되는데, SMPS에서 가장 고장률이 높은 부품이 바로 캐패시터이다.
- 캐패시터의 고장예측을 위한 기존 연구는 크게 두 가지 방식으로 분류될 수 있다.
  - 첫 번째는 Output voltage에서 Switching ripple voltage를 빼서 얻어지는 직렬등가저항을 측정하여 평가하는 방법이다.
  - 두 번째 방법은 캐패시터의 IV characteristic 에서 직접적으로 직렬등가저항을 얻는 방법이다. 이러한 기존 방법들은 모두 캐패시터의 전기적 특성(용량 값, 손실, 직렬등가저항 등)을 측정하여 고장을 예측하는 방법이다.
- 하지만 전자회로에 장착된 캐패시터를 이런 방식으로 특성을 측정한다는 것은 현실적으로 매우 곤란한 점이 많이 존재한다.
- 본 연구에서는 이러한 어려움을 극복하기 위해 전자회로에 장착된 캐패시터를 있는 그대로 두고 열화를 감시 할 수 있는 방법론을 제안한다. 제안된 방법론은 컴퓨터 비전 기술을 이용하여 캐패시터의 외형을 측정하여 열화의 정도를 감시한다. 현실적으로 전자회로에 장착된 캐패시터의 열화를 감시할 수 있는 새롭고도 유일한 방법이라 할 수 있다.

2.2 자율제어시스템의 임무신뢰도 평가를 위한 시뮬레이션 모델링 방법론 개발

교통신호제어기와 같은 자율제어시스템은 오랜 기간 동안 불확실한 환경 속에서 주어진 임무를 수행하여야 하므로, 임무기간동안 실패하지 않을 확률(임무 신뢰도)을 산정하는 것은 매우 중요한 일이다.

이러한 임무신뢰도 산정을 위해 기존에도 많은 연구가 있어 왔으며 크게 세 가지로 분류될 수 있다; 1) state-enumeration methods, 2) combinatorial methods, 그리고 3) modular methods. 이러한 세 가지 부류의 기존 연구들은 각자의 장. 단점이 있지만 공통적으로 자율제어시스템이 많은 부품으로 이루어진 복합대형품일 경우에 state explosion과 같은 한계점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 어려움을 극복하기 위해 시뮬레이션 기술을 접목하여 임무신뢰도를 평가하는 방법론을 개발하였다. 기존 시뮬레이션 모델링 방법론인 DEVS formalism을 확장하여 임무신뢰도 평가에 적용할 수 있도록 하였다.

기존 DEVS Atomic Model은 3개의 집합과 4개의 함수로 이루어지며 시스템의 논리적인 행위를 기술하는데 그치고 있지만, 확장된 Atomic Model은 3개의 집합과 6개의 함수로 이루어지며 시스템의 논리적인 행위뿐만 아니라, 단위 임무 수행시 고장률에 대한 정보까지 함께 포함하고 있다. 이러한 단위 임무 수행시 고장율 정보를 이용하여 시뮬레이션을 결과물로 임무신뢰도를 산정하고 있다.

제안된 방법론은 기존 임무신뢰도 평가 방법론들의 한계를 극복하고, 새로운 시뮬레이션 기법을 임무신뢰도에 접목했다는 점에서 이론적으로 큰 기여를 했다고 볼 수 있다.

2.3 교통신호제어기의 잔여수명 산출방법론 개발

교통신호제어기는 차량 및 보행자의 안전에 큰 영향을 미치기 때문에 예기치 못한 고장횟수 및 고장기간을 최소할 필요가 있다. 이를 위해서는 잦은 예방보전이 필요하지만 이는 곧 교통신호제어기의 유지보수 비용의 증가와 직결된다.

따라서 적절한 유지보수 계획을 수립하는 것이 매우 중요하다. 적절한 유지보수 계획 수립을 위해 반드시 필요한 것은 교통신호제어기의 잔여수명을 산출하는 것이다. 기존에도 설비의 잔여수명을 산출하는 방법론이 존재하지만 기존 방법론들은 대부분 Physics of Failure Model을 필요로 한다. 이론적으로는 문제가 없으나, 실제적으로 특정 설비의 Physics of Failure Model을 정확히 구축하는 것은 극단적으로 어려운 일이므로 현실에 적용하기가 극히 어려웠

다.

본 연구에서는 이러한 어려움을 극복하기 위하여 기존에 존재하고 쉽게 적용할 수 있는 신뢰성 예측 표준을 이용하여 잔여수명을 산출하는 방법론을 제시하였다.

제시된 방법론은 4 단계로 이루어진다. 1) 교통신호제어기의 수명에 영향을 미칠 수 있는 환경 요소 선별, 2) 환경요소들의 조합으로 정의되는 환경 테이블의 도출, 3) 각 환경조건에 따르는 고장율 계산, 그리고 4) 환경 스트레스를 고려한 교통신호제어기의 잔여수명 산출. 제안된 방법론은 기존의 방법론과 다르게 현실적으로 구축하기 어려운 Physics of Failure Model을 필요로 하지 않고, 교통신호제어기의 실제 수명에 영향을 주는 환경요소를 고려했다는 점에서 의미 있는 기여를 했다고 볼 수 있다.

제 5 장 연구개발성과의 활용 계획

*** 교통신호제어기**(TSC, Traffic Signal Controller) **열화 정도 실시간 감시를 통한 우발 고장 최소화**

TSC 내부에 컴퓨터 비전시스템을 설치하여 캐패시터를 포함한 다양한 부품들의 "외형열화" 정도를 감시한다. 또한 TSC의 현시 정보를 감시하고 이를 이상적인 현시정보 Trajectory와 비교함으로써 "논리열화" 정도를 감시한다. 이러한 "외형적 열화"와 "논리적 열화" 정보를 조합함으로써 해당 TSC의 상태를 실시간으로 감시하고, 일어날 수 있는 고장을 미연에 방지하는데 활용한다.

*** 교통신호제어기 잔여 수명 계산을 통한 최적 유지보수 계획 수립**

TSC는 보행자와 차량의 안전에 큰 영향을 미치므로, 가용성을 최대로 하는 것이 중요하지만, 이는 잦은 예방보전을 의미한다. 즉 유지보수 비용의 증가와 직결된다. 유지보수 비용을 급격히 증가시키지 않고도 최적의 유지보수를 위해서는 본 연구에서 개발된 TSC의 잔여수명을 정확히 산정하는 기술이 매우 중요하다.

*** 교통신호제어기의 임무신뢰도 산정을 통한 교통신호제어기 사양 개선**

본 연구에 따르면 TSC는 운용환경 (온도, 염분, 낙뢰 빈도 등) 즉 주어진 임무의 종류에 따라서 수명이 크게 달라진다. 하지만 현행 TSC의 사양은 이러한 운용환경을 충실히 고려하고 있지 못하다. 본 연구에서 제안된 TSC의 임무신뢰도 산정 기법을 이용하여 지역 및 운용환경에 따라서 요구되는 TSC의 사양을 차별화 할 수 있을 것으로 기대한다.

*** TSC 설계 개발 단계에서의 사전 신뢰성 예측 기술을 통한 안전·신뢰성 기반 고장률 개선**

본 연구에 따르면 TSC는 전기전자 부품의 구성으로 전기전자장치로 전체 조립구성(Entired Assembly)를 이루며, 교통신호 현시 특수 알고리즘을 포함한 신호우선 주기를 부여하는 우선순위(Priority)를 갖는 TSC 만의 안전·신뢰성 기반의 기능안전요오구조건(Requirements for Functional Safety)을 갖는 데, 각 구성 단위별 안전기능(Safty-ralated)조건의 중요한 분석을 위하여는 반드시 사전에 관련의 기술보고서(eg, Technical Report by IEC) 등을 준거하는

것이 필요하다. 특히 TSC 구성품의 기능 구현을 위한 설계 개발을 위하여는 신뢰성 예측을 위한 솔루션이 반드시 필요한데, 본 연구에서 기술하고 있는 제안된 내용에 따르면 유럽, 미국 등 선진국에서 이룬 안전기능 사전확보를 위한 안전·신뢰성 기반 신뢰성 예측 및 사후 TSC 유지기술에 효과를 가져올 것으로 기대한다.

본 과제 "안전·신뢰성 기반 고장예지 건전성 관리기술(PHM)을 활용한 국도상 TCS 유지관리 기반 기술 연구"[218] 결과를 활용 관련 내용은 다음 표 내용과 같다.

○ 향후 예상 수요처 및 현장:

- 국토관리청 국도·지방도 관할 TSC 유지 기술에 활용 전망
- 지방자치단체 국도·지방도 TSC 유지 기술에 활용 전망
- 국외 기술수출 TSC 유지기술에 활용 전망
- TSC 안전·신뢰성 기반 신뢰성 예측 및 사후 TSC 유지기술 향상으로 전망

표 99 본 연구개발성과의 활용계획 내용 요약 <표>

□ 기술개요

국도상 TCS의 공공시설물 시설물 안전·유지관리 기술 기반기술을 고장예지 및 건정성 관리기술(PHM)을 활용한 국도상 TCS 유지관리 기반 기술 연구 및 신뢰성 예측(CoRP), 안전·신뢰성 기반 RAMS 기술보고서(Technical Reports) 활용과 설계 개발 및 생산단계에서 적합성을 검증 프로세스 연구[219][220][221]

□ 기술의 우수성 및 효과

차별성: 국내·외 기술과 수준 비교표

구분	안전·신뢰성 기반 고장예지 건전성 관리기술(PHM)을 활용한 국도상 TCS 유지 관리 기반 기술 연구	국내 기존 국도상 TCS 관리	국외 기존 TCS 유지 기술명
■ 기능/성능	- 실시간 모니터링 가능 - 부품특성 상 고장발생 빈도수를 가진 중요부품의 열화	- 실시간 모니터링 불가능 - 국도상 TCS는 고	- 기 설정 고장 코드 기반 상시 모니터링 및 데이터 저장

218) (과제명 영문:) Research to safety and Reliability based using PHM(Prognostics and Health Management) for effective infrastructure of rural-road-TCS(Traffic Signal Control System) Maintenance-safety management technology

	변이 시기를 모니터링 가능하며 적정교체시점 알림기능 가능 - 안전·신뢰성 기반 PHM기술 활용이 가능 - 국도 TSCs(Traffic Signal Controllers)의 RAMS 프로세스 적용을 통한 분석·평가의 기술보고서(Technical Reports)를 안정·신뢰성 검증이 가능 - 국도 TSCs 신뢰성예측(CoRP)산출보고서 분석평가 자료를 통한 사전사후 신뢰성 예측 데이터 검증 가능	장코드 기반 데이터 수집 정보데이터가 없음(순찰차량, 민원 등에 대응처리 수준) - 국도상 TCS는 안전·신뢰성 기반 PHM기술 활용이 불가능	기능을 가지고 있음; 기능안전요구사항(Functional Safety Requirements) 관련 규격에 근거함 - PHM기술 기반 활용이 불가능
■ 장/단점	- 고장 시 즉시 인지 및 조치 가능 - 고장 코드 기반의 고장인지 가능 - 고장데이터 수집 및 저장으로 고장 주요 원인 및 사후 설계 개발 프로세스에 시정조치 처리 가능 - 본 개발기술을 현장 적용을 위하여는 관련 도로교통법을 개정 보완 조치가 필요함(본 연구 추가 기능을 부여 장착 시) • IoT기능 구현 시 TSC 내부 추가 기능(HW, SW) 장착 필요 • 실시간 통신을 위한 통신망 활용 필요	- 고장인지까지 시간이 길어져 안전·신뢰성 기반의 유지 기술에 한계성을 가지고 있음 - 이로 인한 교통사고 유발요인으로 위험 증대 - 고장데이터 수집에 어려움이 있음 - 이로 인한 고장발생 내용 중 유사 반복고장이 잔존하고 있음 - 현지 유지기술수준이 현상 유지 답보 수준	- 고장분류를 Major, Minor, Special 구분하여 엄격 관리(안전기능 요구 규격에 따름) - 고장발생 사항은 시정조치(Corretive Action) 진행사항을 실시간 모니터링 기능 - 인접 국경지역의 관련 규정·규칙은 보완 추가사항이 잔존함
■ 경제성 (공사비, 유지관리비, 공사기간 등)	- IoT 통신기능 솔루션 장치 구축 운영 비용(PC포함): 약 50백만원 - 통신비: 전국망 Lora, NBIoT등 시세 사용비에 따름[222] - 공사기간은 'IoT 통신기능솔루션장치' 및 통신비 관련	- (유지관리비:) 유지보수용역 사업 계약 체결에 따른 수행(구축비 대비 약 10% 규모 수준) - (기간:) 연차계약 또는 연차 유지보수 용역사업	- 기술용역비 계약체결에 따른 유지기술 수행하는 것으로 알려짐 - 1년계약에서 수행실적 결과에 따른 연차 계약체결 방식

	준비 시 1일에서 3일이면 적정하다. - 유지관리비는 필요에 따라서 'IoT 통신기능솔루션장치'백업장치를 준비상태로 하면 된다. - 그 밖에 본 연구 운영에 따른 교육·훈련 기간을 상기 구축 기간 중에 병행하는 것이 필요하다.	- (발주계약체결방식:) 공공발주 방식으로 유자격조건을 가춘 사업자로 한정, 공공Bid 투찰방식, 기술평가방식 등 선택하여 선정평가	- 유지보수 용역비는 기술료, 기술수행료, 부품교체비용 외 발주수요 기관에서 정한 계약조건에 따름

우수성: 국내·외 기술대비 경쟁력

(국내:) - 본 연구 기술 내용이 국내 TCS에 보유하고 있지 않음
- IoT융·복합 기술 연구 사례있으나, 본 연구 국도상TCS 관련 연구 관련 내용은 본 연구 내용외에는 없음
- 본 연구 '안전·신뢰성 기반 고장예지 건전성 관리기술(PHM)을 활용한 국도상 TCS 유지 관리 기반 기술 연구'를 활용한 유지기술 경쟁력 제고 기대

(국외:) - 본 연구 기술 내용에 부합하는 TCS 유지기술 적용한 구체적 사례 없음
- 기능안전요구조건(Functional Safety Requirements) 표준 규격 등으로 인한 고장 모니터링을 고장 코드 단위로 중요고장, 일반고장 및 특수점검검토 대상으로 구분하여 적용 수준[223]
- 본 연구 TSC(Traffic Signal Controller)의 PHM을 활용한 연구는 국외 기술 경쟁력을 가지고 있음(국외의 경우, 현재까지 PHM 활용의 유지기술 적용사례를 찾을 수 없음)

경제적 효과:

- 본 연구 성과에 따른 안전·신뢰성 기반 IoT 통신기능 솔루션 장치 구축 운영으로 기존 유지기술에 획기적인 유지기술 향상 효과를 예상한다.
- 기술 발전에 따른 재난안전망 전국망 구축(예, Lora, NBIoT등) 시 통신비 부담은 현격하게 저감할 수 있다.[224]
- 본 연구 성과를 적용대상은 국도·지방도, 광역지자체 도로상에 설치 운영 중인 국도관리청 해당 구역에 속한 국도 TSC가 대상 수량이나, 도심부에 운영 중인 TSC의 유지기술에서는 WiFi 통신 연계하여 동일 방법으로 활용 가능하다.[225]
- 본 연구 성과는 국내 TSC 기술 적용과 더불어 국외 기술수출 전략에도 적용 가능한 경쟁력을 갖추고 있다.
- 본 연구 성과 안전·신뢰성 기반의 TSC에 대한 신뢰성 예측 기술 및 공공시설물로서 RAMS 기술 정착을 위한 전문가 활용도를 해당 관청 또는 기관별 고용확대를 전개할 시 사회환경적 전문가 활용에 따른 전문가 기술력이 사회전반에 확대

정착할 수 있을 것으로 전망한다.

- **(간접효과) 시장 확대, 고용창출, 타 산업 활성화 등**
  - IoT 통신기능솔루션장치 구축운영은 안전·신뢰성 기반 시장 확대가 보다 더 앞당겨 질 수 있다.(관련 정부시책과 연계하여 추진 등)
  - TSC 신뢰성 예측(CoRP) 전문기술자 각 공공기관별 1인이상 고용 정책 필요함
  - 안전신뢰성 기반 유지기술 향상으로 사회안전기반 부가적인 경제적인 효과를 기대한다.(사고율 저감에 따른 사회적 비용의 획기적 비용 저감 예상 등)

□ **기술내용:** 시공절차, 적용방법 등 그림 포함

가. 기존 국도상 TSC_s(Traffic Signal Controller$_s$) 주제어부(MCU, Main Control Unit)에 본 연구 성과결과 그림 A.의 실시간 모니터링을 위한 IoT기능보드를 장착한다.

나. 본 연구 그림A. 연계 그림B. 실시간 모니터링 프로그램 소프트웨어 구성 Configuration을 노트PC를 활용하여 운영할 수 있는 기능모드로 설정한다.[226]

---

219) TCSs: Traffic Signal Control System, or Traffic Signal Controllers

220) PHM: Prognostics & Health Management)

221) RAMS: Reliability, Availability, Maintainability and Safety

222) 재난안전통신망 관련 전국망 구축 시설을 활용 시 통시비 책정은 해당 통신사와 협의 계약에 따른 책정 조율된 통신비가 될 것이다.

223) — e.g. EN12675:2000, HD638 S1:2001, BS7987:2001(These are functional safety requirements for TSCs) ; Reference Standards to EN 50129:2003(This is a 'Railway applications' requirement for SILs:), EN 50128:2001(This is a 'Railway applications' requirement for SILs' Software); IEC 62278(i.e. EN 50126):2002(RAMS Standard for Railways), and IEC 61508-1 to IEC 64508-70(i.e. There are Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems)

224) 재난안전통신망 관련 전국망 구축 시설을 활용 시 통시비 책정은 해당 통신사와 협의 계약에 따른 책정 조율된 통신비가 될 것으로 생각한다.

225) 국내 TSC는 전국에 설치운영 중인 수량이 약 5만여 SET에 이르며 또한 교통LED신호등은 전국에 약 20만조(Head Assemblys)를 설치 운영 중에 있다(통계자료); 이 중 국도TCS가 총 수량의 절반에 해당한다. (참고: 일본은 전국에 TSC가 약 20만대 넘게 설치운영 중에 있음)

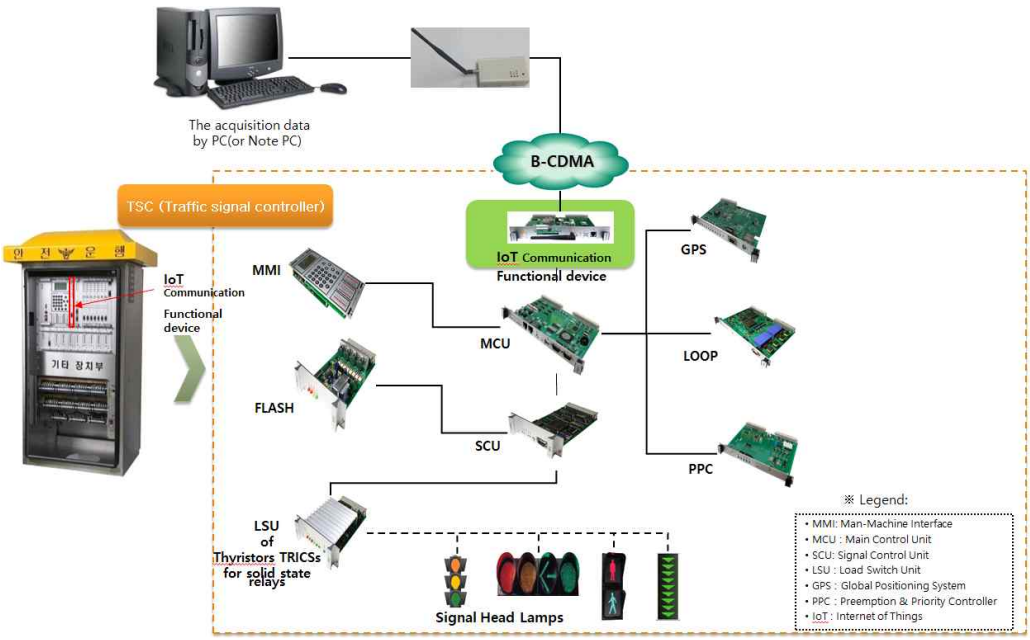
226) 실시간 모니터링 노트PC를 활용하여 운영할 수 있는 IoT 기능모드: i.e. The function operating mode for IoT real time monitoring by Computer

227) Analysis and evaulation of the acquisition data for Big-data

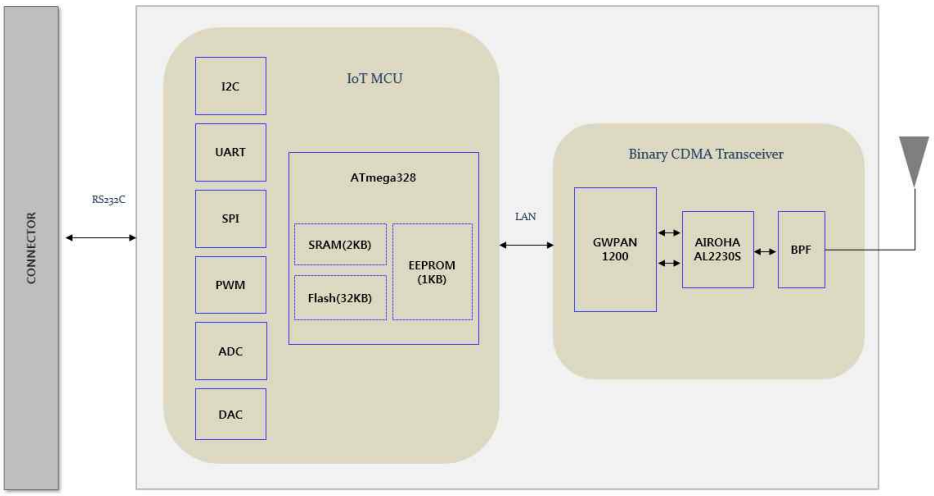
228) IEC 60384-4:2016-08, Edition 5.0 Part 4: Sectional specification – Fixed aluminium electrolyte capacitors with solid(MnO_2) and non-solid electrolyte (reference to IEC 60384-1:2016-02, Edition 5.0)

229) "Electrolytic Capacitor Age Estimation Using PRBS-based Techniques", David A. Hewitt외 4인, PCIM Europe, May 2016, Nuremberg, Germany

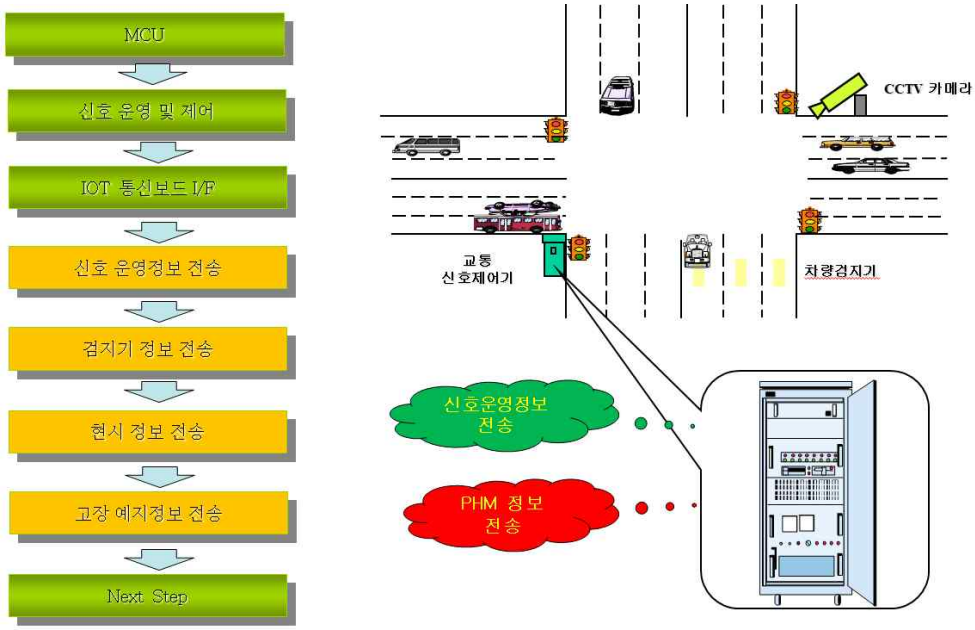
230) Thyristors TRIACs of Solid State Relays(LSU, Load switch unit) and Flashers



<그림 a.> Integration solution of IoT device for real-time monitoring of TSCs



<그림 b.> IoT solution of Communication Interface Device for TSCs



<그림 c.> Analysis and evaulation for the acquisition data of PHM in TSC_s

다. 본 연구 그림A.열화특성 중요부품 구성을 설정하여 실시간으로 데이터 모니터링 하여 계속하여 수집하여 Big-data를 PC에 저장한다.

라. 그림C. 및 위 다.를 통하여 수집데이터(The acquisition data)를 통하여 PHM 상태여부를 분석・평가한다.[227]

마. 위 다., 라.를 절차를 마치면 가., 나.에서 실시간 모니터링을 위한 추가 장착한 장치는 탈착한 후, 국도상 TSC는 기존의 원래 상태로 복귀하여 정상동작으로 한다.

바. 위. 다.~ 마. 수행한 정보처리 내용은 수행결과 보고서로 파일명을 지정하여 저장한 후, 해당 관련기관에 연계하여 연락하는 일련의 시행절차를 이행한다.

사. 위 가. ~ 바. 수행순서에 준거하여 차기 검토 Site로 이동하여 동일 방식으로 본 연구 성과의 유지 기술을 수행・처리한다.

□ 기술활용 실적 및 전망

기술활용 실적:

- Arrestors(including Varistors components): TSC 입력단 뢰임펄스서지 피해방지(SPD, Surge Protective Device) 구성품 Test, 열화특성 로깅데이터
- 전해캐패시터(electolyte Capacitors): 전해캐패시터의 열화에 따른 직렬저항(serial registance)값의 증가 및 외형 부풀어오름 현상 변화 값의 모니터링 수집 데이터[228][229]
- 부하스위치(LSU of TSCs), 점멸기(Flashers) 경년변화, 환경온도・부하 상황에

따른 누설전류(Leakage current) 변화 특성 측정 데이터[230]

- (수요기관 지정 site에서의 결과는 해당사항없음:) 본 연구 최종보고서 제출 심의평가 후, 수요기관과의 추가 협의 진행 가능 전망

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

임무신뢰도 평가를 위한 State-enumeration methods

Smotherman M, Zemoudeh K. (1989) A non-homogeneous Markov model for phased-mission reliability analysis. Reliability Engineering and System Safety; 38:585-90.

Kim K, Park KS (1994) Phased-mission system reliability under Markov environment. IEEE Transactions on Reliability; 43:301-9.

임무신뢰도 평가를 위한 Combinatorial methods

Mo YC. (2009) Variable ordering to improve BDD analysis of phased-mission systems with multimode failures. IEEE Transactions on Reliability; 58:53-7.

Tang ZH, Dugan JB. (2006) BDD-based reliability analysis of phased-mission systems with multimode failures. Reliability Engineering and System Safety; 55: 350-60.

임무신뢰도 평가를 위한 Modular methods

Lu JM, Wu XY. (2014) Reliability evaluation of generalized phased-mission systems with repairable components. Reliability Engineering and System Safety; 121: 136-45.

Wu X, Wu XY. (2015) Extended object-oriented Petri net model for mission reliability simulation of repairable PMS with common cause failures. Reliability Engineering and System Safety; 136:109-19.

DEVS formalism

Zeigler BP (1984) *Multifacetted modeling and discrete event simulation*, Academic Press, Orland.

TSC **신호제어 현시 출력단 신뢰성 솔루션 위한** IEC TR 62380:2004
LSU(Load Switch Unit) of TSC (Triac of SSR, Solid State Relay) Cause-case of Failures
TRIAC of Reliability Prediction of Electronics Components
Reliability data handbook - Universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment(Triac IEC 60747-xx) in the IEC TR 62380:2004

TSC **안전·신뢰성 기반 솔루션을 위한** IEC 62278 INTERNATIONAL STANDARD
Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS); (to refer EN 50126)

TSC **안전·신뢰성 기반 기능안전**(Functional Safety) **솔루션을 위한IEC 61508 to concern the Functional safety of safety-related systems** *; Including **EN 50129:2003** (Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling)*

- *; **IEC 61508-1:** Première édition First edition 1998-12; Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems -;Part 1: General requirements*
- *; **IEC 61508-2:** Première édition First edition 2000-05; Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems -; Part 2: Requirements for electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems*
- *; **IEC 61508-3:** Première édition First edition 1998-12; Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems -;Part 3: Software requirements; Including EN 50128:2001(Railway applications - Communications, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems)*
- *; **IEC 61508-4:** Première édition First edition 1998-1; Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems -; Part 4: Definitions and abbreviations*
- *; **IEC 61508-5:** Première édition First edition 1998-1; Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems -; Part 5:*

Examples of methods for the determination of safety integrity levels

; ***IEC 61508-6:*** *Première édition First edition 2000-04; Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems -; Part 6: Guidelines on the application of IEC 61508-2 and IEC 61508-3*

; ***IEC 61508-7:*** *Première édition First edition 2000-03; Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems -; Part 7: Overview of techniques and measures*

TSC **안전·신뢰성 기반 전해** Capacitor **부품 기능안전**(Functional Safety) **솔루션을 위한** IEC 60384-4 Fixed aluminium electrolytic capacitors with solid (MnO2) and non-solid electrolyte

; ***(IEC 60384-4:)*** *Fixed capacitors for use in electronic equipment - Part 4: Sectional specification - Fixed aluminium electrolytic capacitors with solid (MnO2) and non-solid electrolyte*

; ***(IEC 60384-1, included:)*** *Fixed capacitors for use in electronic equipment - Part 1: Generic specification*

제 7 장 연구개발성과의 보안등급

일반과제

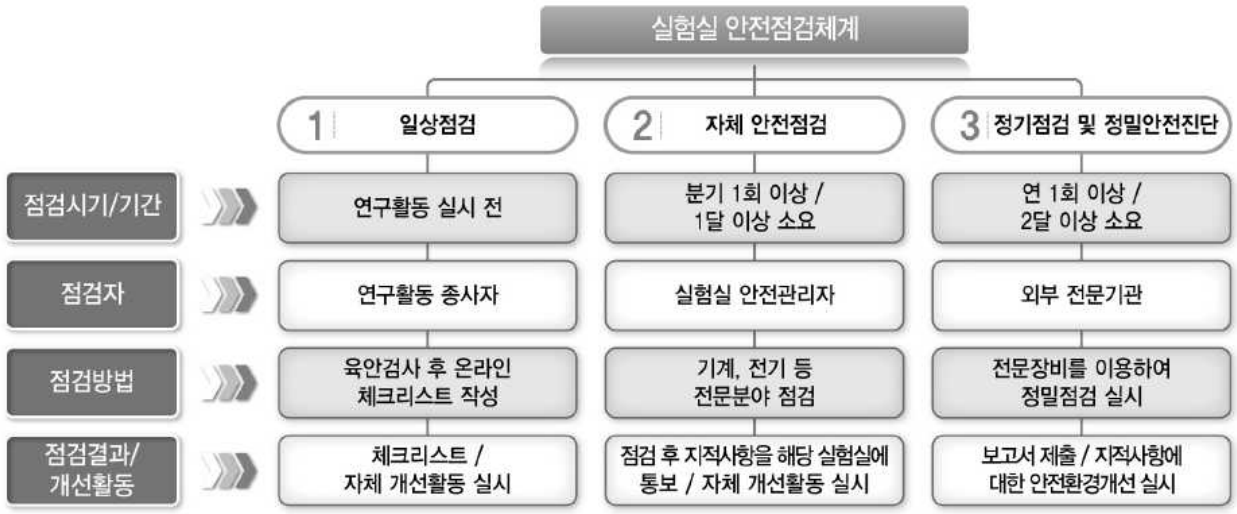
제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구 시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
아주대학교 산학협력단	TCS 기기 및 안전 신뢰성 기반 건전성 데이터 수집 분석 연구장비(H/W)	TCS Protocol	1	2017.12.01	20,000	㈜케이드커뮤니케이션 (033-241-8300)	아주대학교 팔달관 823호	없음

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

가. 연구실 안전 점검 체계 및 실시

1) 실험실 안전 점검 체계



나. 실험실 안전점검

1) 실험실 일상 점검

- 연구활동 시작 전 각 실험실 책임자가 육안으로 장비 및 시설을 매일 점검함

2) 실험실 정기 점검

- 내용 : 과학기술분야 실험실의 일반안전, 산업위생, 전기안전, 소방안전, 화공안전, 가스안전, 기계안전, 생물안전 등의 전문분야 점검함
- 실시 : 매월 각 실험실을 주기적으로 점검함

3) 실험실 정밀안전진단

- 대상: 연구개발활동에 유해화확물질 관리법 제2조 7호에 따른 유해화학물질을 취급하는 연구실, 산업안전보건법 제39조에 따른 유해인자를 취급하는 연구실, 과학기술부령이 정하는 독성가스를 취급하는 연구실 (우리대학은 실험실관리등급 A, B급에 해당하는 실험실)
- 실시: 매년 1회 이상 외부 전문기관에 의뢰하여 실시 후 중대결함이 발견될 경우, 교육과학기술부에 보고함

※ 관리위험등급의 지정

- A등급: 가연성가스, 인화성 시약, 유해화학물질, 다량의 폐액배출, 독극물, 생물 및 동물, 방사성 동위원소, 위험성이 높은 기계장비가 설치된 실험실
- B 등급: 일반시약, 소규모 인화성 시약, 불연성가스, 소량의 폐수발생실험실
- C 등급: 이화학실험을 수행하지 않는 전기, 설계, 컴퓨터 관련 실험실

● 우리 실험실은 C등급에 해당함

다. 교육 훈련

1) 개요: 실험실의 안전을 확보하고 종사자의 건강을 보호하여 실험 및 연구활동에 기여하고, 또한 연구실 안전환경조성에 관한 법률에 의거하여 실험실의 환경안전교육이 의무화됨에 따라 이공계열 대학원생 및 관련자 전원은 환경안전교육을 의무적으로 수강

2) 교육 대상: 교수, 대학원생, 소속연구원, 전문직원, 실험참여 학부생 등

3) 교육 실시:

- 1학기 : 법정 교육시간인 6시간을 온라인 및 집합교육으로 실시
- 2학기 : 법정 교육시간인 6시간을 온라인 교육으로 실시

라. 건강 검진

1) 개요: 인체에 치명적인 위험물질 및 바이러스 등에 노출될 위험성이 있는 연구활동 종사자의 건강을 보호함

2) 대상: 산업안전보건법 시행령 제29조에 따른 유해물질 및 같은 법 시행규칙 별표 12의2에 다른 유해인자를 취급하는 연구활동 종사자에 대하여 일반건강검진과 특수건강

검진을 실시

3) 건강검진 실시: 매년 1회 건강검진 대상자를 선정하여 아주대학교병원 건강증진센터에 의뢰하여 일반 건강검진 및 특수건강검진 실시

마. 보험 가입 현황

보 험 명	보 상 내 용	대 상	주관부서
연구실 안전공제 보험	사망 : 1억원	연구활동 종사자	시설팀
	부상 : 최대 1,000만원	연구활동 종사자	"
	후유장애 : 최대 1억원	연구활동 종사자	"
	연구활동 중 발생된 사고에 대한 보상	연구활동 종사자	"
학교시설 및 물품 보험가입	건물 : 율곡관 외 39개동 물품 : 서버 외 5115개 품목	학교시설 및 물품	구매관재팀

바. 추가 이행 내용

추가 이행 내용	
1) **실험실 안전환경 개선**	노후 실험실 개선공사 시행(흄후드 개선 등)
2) **실험실 소방설비 개선**	실험실에 설치되어 있는 노후 소방시설을 개선하여 신속한 화재경보 및 소화활동 실시
3) **실험실 전기 안전관리**	비접지형 콘센트 노후 분전반 교체 등
4) **고압가스 안전관리**	안전시설 설치(전도방지장치 등)
5) **안전보호장비 설치**	1. 개인용 보호장비 구매 2. 시약장 안전가이드바 설치 3. 밀폐형 시약장 설치

사. 최근 안전교육 이행 실적

- 2018학년도 2학기 연구활동종사자 실험실 정기 안전교육 실시 내용

1. 관련 : 연구실 안전환경 조성에 관한 법률 제18조(교육·훈련 등)

2. 상기 법률에 의하여, 모든 과학기술 분야 연구활동 종사자들은 실험실 정기안전교육을 이수함

가. 교육명 : 2018학년도 2학기 연구활동 종사자 실험실 정기안전교육

나. 교육대상 : 공과대학, 정보통신대학, 자연과학대학, 약학대학 소속의 모든 학부생, 대학원생, 연구원, 교수 등

다. 교육시간 : 학과별 3시간 또는 6시간 (유해물질 사용 여부로 구분)

라. 교육방법 : 온라인(인터넷 및 모바일) 안전교육 실시

- 실험실 안전관리 정보망 홈페이지(http://safety.ajou.ac.kr) 통한 안전교육
- 모바일(스마트폰) 안전교육 : http://msafety.ajou.ac.kr 접속 후 교육수강

마. 교육기간 : 2018년 9월 10일 ~ 2019년 2월 28일

안전교육 이수증명서



아주대학교 | 연구실안전관리시스템

안전교육 이수증명서

교육생 정보

성명	김은영	학(사)번	201824281	소속	산업공학전공

안전교육 이수정보

번호	교육구분	과정명	이수일자	이수시간	이수번호
1		2018년도 2학기 안전교육	2018.09.20	3	20180920_246724
2		2018학년도 1학기 신입 학부(대학원) 실험실 안전교육	2018.04.17	2	집합교육
3		2018학년도 1학기 신입 대학원생 실험실 안전교육	2018.04.09	2	집합교육
			총 이수시간	7	

위와 같이 안전교육을 이수하였음을 증명합니다.

2018년 10월 05일

아주대학교총장

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분(논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일/특허 등록일	사사 여부(단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항(SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	지능형 공장의 이산사건 모델링 방법 및 이산사건 모델이 기록된 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체	아주대학교 산학협력단	주관	대한민국	-	2017.09.01.(출원)	-	-
2	특허	시뮬레이션 기반 복합시스템의 임무신뢰성 평가방법 및 평가 이산사건 모델이 기록된 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체	아주대학교 산학협력단	주관	대한민국	-	2018.04.02.(출원)	-	-
3	특허	자율 객체 행위 모델링 방법 및 자율 객체 행위 이산사건 모델이 기록된	아주대학교 산학협력단	주관	대한민국	-	2018.05.04.(출원)	-	-

		컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체							
4	논문	A reliability model for a wafer FAB	아주대학교 산학협력단	주관	Cogent Engineering	-	2017.06.12	중복 사사	SCI
5	논문	Cyber-Physical System Simulation for Effective Coke Logistics	아주대학교 산학협력단	주관	International Journal of Applied Engineering Research	-	2018.07.23	단독 사사	SCI

제 11 장 기타 사항

부록. 한국전기연구원 시험성적서

제 12 장 참고 문헌

본문 각주 참조.

9. 뒷면지

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발 성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

2. 종합