철도차량 FRACAS System 적용에 관한 연구
Study on the Application of FRACAS System for Rolling Stock

오지은*　　강찬용**
Oh, Ji-Eun　　Kang, Chan-Yong

ABSTRACT

This paper addresses the Fault Monitoring System developed by Hyundai-Rotem based on the Mil-HDBK-2155 Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System.

The purpose of a FRACAS is to provide a documented history of any problems, failures, their associated corrective actions as well as detailing how and why each problem arose or failure occurred during the Warranty Period for Rolling Stock delivered by Hyundai-Rotem. The Fault Monitoring System can assess the reliability, availability and maintainability as well as can predict no. of failure at a time which can input to Life Cycle Cost

1. 서 론

본 논문에서는 신뢰성 데이터 수집의 중요성을 설명하고, 데이터 수집을 위한, Mil-HDBK-2155 Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System이 무엇이며, 철도차량에 어떻게 적용되고 있으며, 이를 기반으로 당사에서 개발된 Fault Monitoring System 소개 하고자 한다. FRACAS의 목적은 고장 발견, 식별 조치 사항 뿐만 아니라, 왜 고장이 발생하였는지를 정확한 root cause를 분석하여 고장이 재발하지 않도록 조치하므로써, 신뢰성을 향상 시킬 뿐만 아니라, 이를 Field에서 발생한 고장이력을 기반으로 예방정비 interval을 조절 및 Spare Part 예측을 통하여, Total Life Cycle Cost를 최적화하는데 그 목적이 있다.

* 오지은 주임연구원, 현대로템주식회사, 시스템기술팀, 비회원
E-mail : seoh@hyundai-rotem.co.kr
TEL : (031)460-1321 FAX : (031)460-1780
** 연구원, 현대로템주식회사

2. 본 문

2.1 신뢰성 데이터 수집의 중요성

신뢰성 데이터는 다음과 같은 주요 목적을 위해 사용 된다.

1) 장치가 신뢰성 요구 조건을 만족했는지 입증하기 위한 것
2) 정비행위를 기초를 제공하여 장치의 결함을 발견하기 위한 것
3) 예측에 있어 비교 및 사용을 위한 고장이력을 설정하는 것

신뢰성 데이터는 또한 물류, 정비 및 운용에 관한 정보 제공하는데 유용하다. 신뢰성 데이터는 부품의 성능저하 및 마모 특성의 예측 뿐만 아니라, Spare Part 요구사항에도 영향을 준다. 이 정보로부터, 빈번한 문제를 제어하기 위해, 효과적인 예방정비 업무가 개발될 수 있고, 요구되는 신뢰성을 보증하기 위해 요구되는 정비시간을 예측할 수 있다. 신뢰성 데이터가 실제의 것일수록 더 높은 신뢰도를 줄 수 있다. 불완전하고 부정확한 기록은 그 데이터의 신뢰성을 잃을 수 있거나 잘못된 결론을 초래하여, 그 결론으로 인해 잘못된 결정을 할 수 있다.

신뢰성/고장 데이터는 다음과 같은 source로부터 획득할 수 있다

1) 기업내의 고장 분석 및 교정 조치 시스템 (FRACAS)
2) 신뢰성 시험 데이터
3) 업체 데이터
4) Field Data
5) 신뢰성 데이터 은행

위 Source 중 가장 유용한 것은 1), 2) 및 혹은 5) 정도가 된다. 다른 source는 대부분 경우 불완전하여 신뢰하기 어렵다. 예를 들어, Field data를 수집하기 위한 군수 정비 수집 시스템 (예를 들어, 육군의 TAMMS, 해군의 3M 및 공군의 REMIS 등 다른 유사 정비 데이터 수집 시스템)은 정비를 기반으로 한다. 따라서, 이들 시스템 자체로부터 데이터를 사용하여, Field 신뢰성을 평가 할 수 없다. 신뢰성 데이터에 영향을 줄 수 있는 모든 요소들이 명확하게 이해되어야 한다. 이들 요소는 데이터 수집을 위한 정해질 규칙 및 분석 중에 사용된 가정 등이 포함 되어야 한다. 이들 요소를 명확이 이해하면 그 데이터가 적절히 해석되고 결론이 신뢰할 수 있게 된다.

2.2 Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System(FRACAS) 및 Failure Review Board(FRB)의 소개

FRACAS의 목적은 고장 데이터를 수집하고, 고장 원인 결정을 하는 절차를 제공하며, 취해진 정비행위를 문서화하는데 있다. 계약자는 구매행위로, hardware를 인수전에 assembly의 규정된 level에 대해 발생하는 고장을 수집 분석 및 기록하는 시스템을 갖추어야 한다. 고장 보고 및 분석은 제품의 신뢰성 및 정비성 달성 및 유지를 위해 필요하다. FRACAS 프로그램은 새롭게 개발되고, 양산된 장비에 대한 고장 재발 억제를 위한 중요 요소이다. FRACAS program은 반드시 고장이 정확하게 보고되

고, 철저히 분석되어 조치행위가 적절한 시기에 수행되어 고장 재발을 줄이거나 예방될 수 있도록 해야 한다. 사내 FRACAS는 설계 혹은 제작에 관련된 고장의 근본 원인을 결정하고, 교정행위 수행을 위한 폐 루프 방식을 제공한다. 그 시스템은 명확한 고장의 빈도, 영향 및 고장 분류에도 불구하고, 설계/부품 구매, 제작 혹은 조립 및 검사 등의 범주에 따라 모든 고장을 조사 및 분석해야 한다. 가장 저렴한 정비는 부품 레벨에서 발생한다. 보편적으로, Subassembly level에서 정비는 Part level에서 소요되는 비용 보다 10배 이상 소요 되고, 제품 level에서의 정비는 subassembly level에서의 정비보다 10배 이상 비용이 소요된다.

전자 장비 오동작의 데이터는 다음 data source type으로부터 얻을 수 있다.

1) Design 입증 시험

2) 양산 전 시험

3) 양산 시험

4) 업체 시험

5) Field data

FRACAS system은 다음 과 같은 필요 정보를 제공 해야 한다.

1) 고장 기술

2) 고장 메커니즘

3) 고장 원인

4) 향후 고장을 제거 방법

2.2.1 폐 루프 FRACAS

Figure 2.2.1은 폐 루프 FRACAS의 주요 단계를 설명한다. Figure 2.1에 보여 주듯이, 전형적인 FRACAS는 14단계가 있다.

1) 운행 중 혹은 시험 중 고장 관측

2) 관찰된 고장 문서화 (고장 위치, 발생 일자 및 시간, 고장 발생 품번, Identification Number, 모델명, 고장 현상 및, 부품명, 고장시 중요 조건

3) 고장 입증(초기 고장 관측에 유효성의 재확인)

4) 고장 위치 확인(장치 내에 가장 교제 가능한 결함있는 item까지 고장 위치 추적)

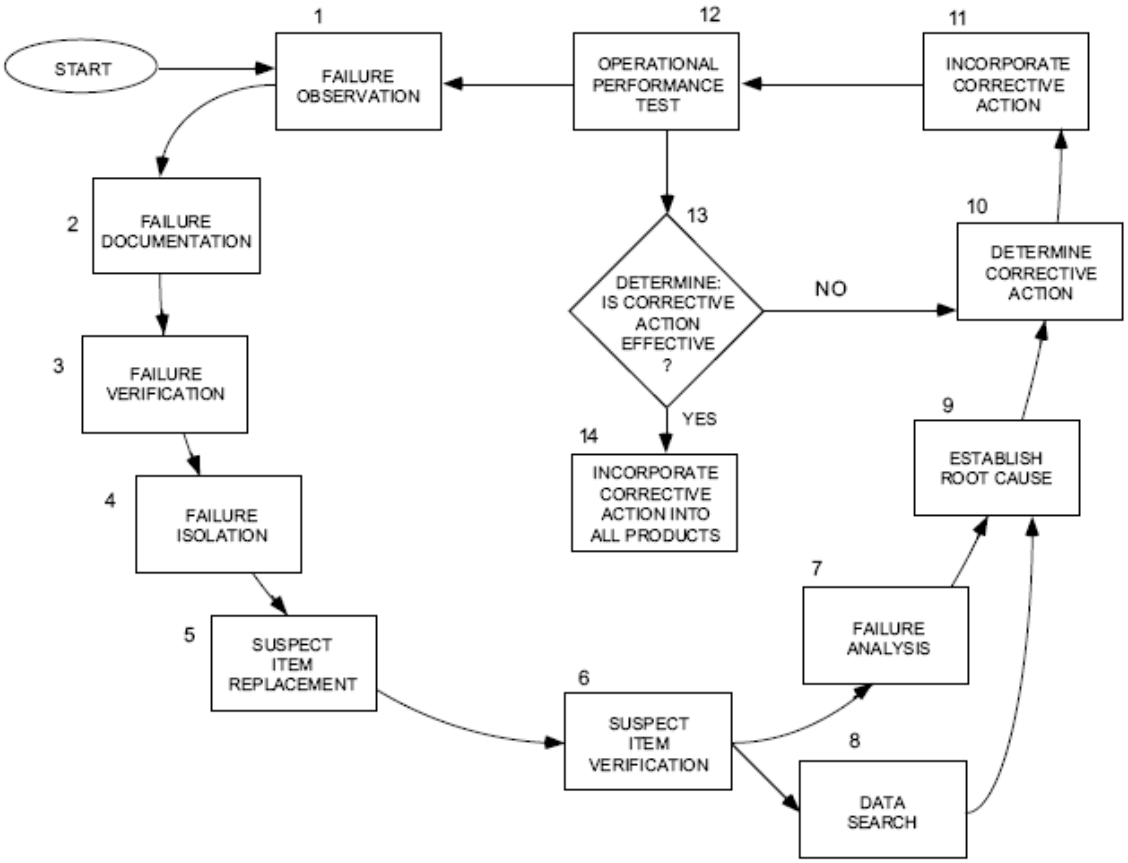
5) 잘 알려진 양호한 item으로 교체 후 장치 재시험 통하여, 교체품이 고장을 수리하였음을 확인

6) 장치 레벨 혹은 가장 하위 level의 의심되는 item을 시험하여, 의심되는 item이 결함이 있음을 확인

7) 관측된 고장 이나 고장 유형에 대한 원인이 되는 내부 고장 메커니즘을 설립하기 위해, 결함 있는 item의 고장 분석

8) 고장난 item 혹은 관련 item에 유사 고장 발생을 찾기 위한 기존 데이터 검색

9) Step 7 및 8에서로부터 온 데이터를 이용하여, 추정되는 혹은 근본 원인 결정



[그림-1]: 폐 루프 FRACAS

10) 필요한 교정 조치, 설계 변경, process 변경, 절차 변경 등으로 고장 재발 예방. 적절한 교정 조치 관련은 여러 분야에 관계가 있는 설계 팀에 의해 결정되어야 한다.

11) 추천된 교정 조치를 시험 대상 장치에 반영

12) 제안된 교정 조치 수정 반영된 장치 재시험

13) 적절한 재시험 후, 모든 적용 data 검토, 제안된 교정 조치가 효과적인지 결정

14) 제안된 교정 조치가 효과적인지 입증 후 모든 납품된 장치에 반영

효과적인 고장 보고 및 교정 조치 사이클을 만드는 많은 중점사항이 아래와 같다

1) 리포트 작성 훈련이 계속 유지되어 고장 발생의 정확한 기술 및 고장 item의 적절한 식별이 될 수

있도록 해야 한다.

2) 적절한 우선 순위 할당 및 고정 분석에 대한 결정은 잘 아는 설계자나 시스템 엔지니어 도움으로 이루어져야 한다.

3) 모든 고장 분석 현황은 보고 되어져야 한다. 고장 분석이 최우선으로 하여, 교정 조치가 가능한 빨리 수행되어져야 한다

4) 모든 고장의 근본 원인은 이해되어져야 한다. 이 이해 없이 논리적인 교정 조치가 불가능하다.

5) 고장 경향 및 MTBF를 결정하기 위한 고장 정보를 테이블화 해야 한다. 고장 보고 성향 및 교정 조치 현황은 도식화 방법이 되어야 한다.

계약자의 계획서에는 제안된 FRACAS가 명확히 명시되어야 한다. 더구나, FRACAS는 계약사항에 포함 시켜, 효율적인 교정조치가 적시에 이루어지도록 해야 한다. SOW(Statement of Work)은 가능한 계약자의 FRACAS가 구매부서 data system과 호환되어야 한다.

또한, Assembly Level 식별, FRACAS로 수행되어야 할 test를 식별하여, 고장원인 범주화의 정의를 주며, 적용 가능한 물류 지원 요구사항 식별 및 납품에 요구되는 data item을 식별해야 한다.

2.2.2 고장 보고 시스템

- 고장 보고 양식

고장 보고 및 조치된 결과는 문서화되어야 한다. 따라서, 양식은 개별 시스템 개발 및 제작 프로그램, 조직의 책임, 요구사항 및 제작자의 제약사항을 만족해야 한다.

-고장 수집 및 유지

이전에 논의된 data 기록, 분석 및 조치 시스템의 수행을 통해 정확하고 최신화 기록 유지를 하는 것은 역동적이고 팽창되는 경험을 준다. 시험 고장 및 교정 조치를 구성하는 경험은 현재 프로그램을 추적하는데 도움이 될 뿐 아니라, Hardware 개발 프로그램 개발에 적용된다.

따라서, 경험치 data는 다음과 같이 사용될 수 있다

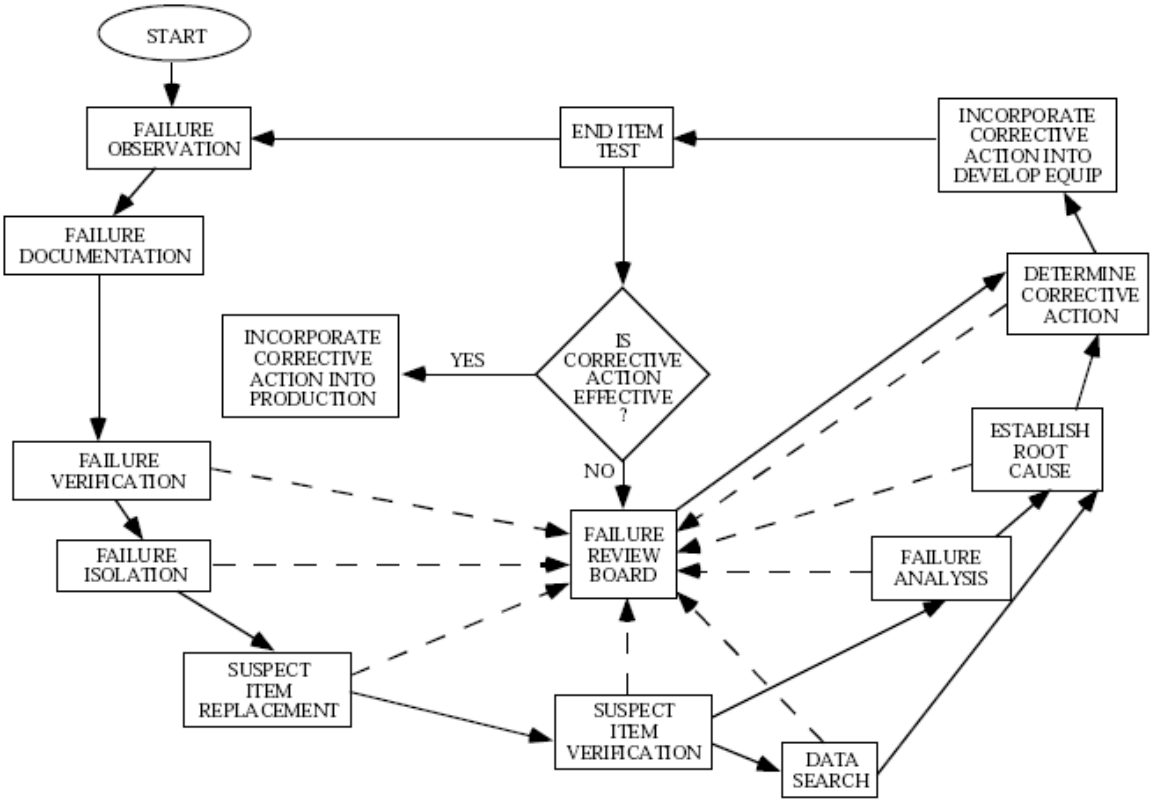
1) 신뢰성 평가 및 추적

2) 비교 분석 및 평가 수행

3) 품질 및 신뢰성 활동의 효율성 결정

4) 중요 부품 및 문제 위치 식별

5) 새로운 설계 신뢰성 예측을 위한 과거 부품 고장율 계산



[그림-2]: 폐 루프 FRACAS와 FRB

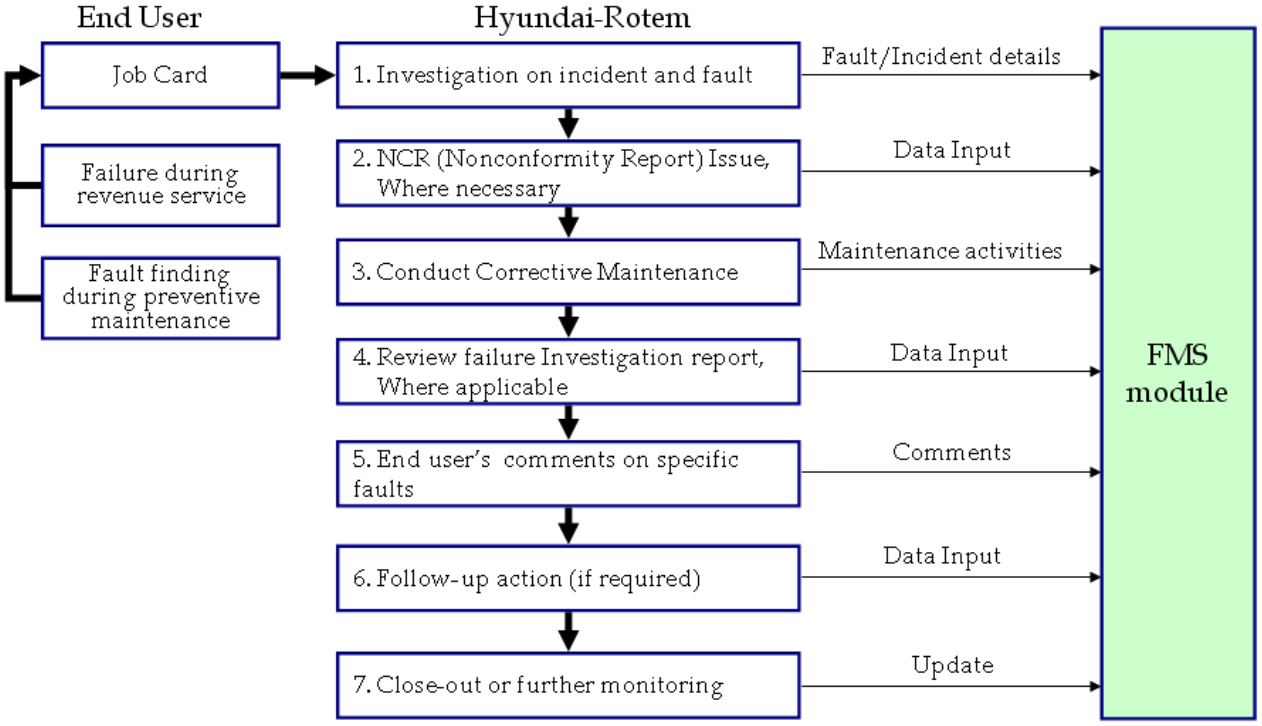
2.2.3 Failure Review Board

어떤 중대한 시스템 및 장치(비싸고 복잡한 장치)의 구매를 위해서는, FRACAS의 효과적인 기능을 감시하기 위해 고장 검토 위원회(FRB) 필요하다. FRB 업무는 신뢰성 관리이며, FRB와의 폐루프 FRACAS는 다음 과 같다.

고장 검토 위원회(FRB)의 목적은 FRACAS의 통제 및 관리의 투명성을 제공하는 것이다. 또한, FRB의 의도된 목적은 적절한 시점에서 훈련된 고장 및 정비 데이터 사용을 통해서 hardware 뿐만아니라 softwre의 신뢰성 및 정비성을 향상 시키는 것이다. FRB의 조직은 고장 재발을 예방하고, 정비 업무를 간소화하기 위한 효과적인 교정 조치 식별하고 추진할 수 있는 충분한 권한이 있는 대표자로 구성되어야 한다.

2.3 철도차량 FRACAS 적용사례 소개

다음은 당사가 현재 각 철도차량 End user와 적용되는 FRACAS 절차, 고장 및 정비성 데이터를 수집 및 분석할 수 있도록 개발된 FMS (Fault Monitoring System)을 소개 한다 .



[그림-3]: 철도차량 FRACAS

당사에서 설계 및 납품된 철도차량에 대해서 FRACAS는 시운전에서 보증기간까지 수행되며, 상세 절차는 다음과 같다. 차량의 고장은 영업 운행 및 예방정비 활동 기간 식별가능 하고, End user는 고장 발견 후 당사 C/S(Customer Service) manager에게 Job Card를 issue하여, 고장 현상, 고장 item정보 등을 제공하면, 당사 C/S engineer는 고장 입증 후 [그림-1]에 설명된 절차에 따라 의심난 부품 교체 및 function test를 하여 관련 고장 부품을 해당업체에 NCR(Non-confirmity Report)와 함께 송부 후, 업체는 root cause를 발견하기 위해 다양한 업무(sinulation test, 자료 검토 등)를 수행하여, root cause를 식별하면, Failure Analysis report를 당사 C/S(Customer Service)팀, 유관 설계팀 및 RAMS Team에 송부 및 관련 내용 검토 후 End-user에게 송부하고, End-user가 Failure Analysis report를 승인하면, 설계 변경(ECP)제안서를 준비하여, End-user에게 최종 승인을 받으면, 전체 납품차량 대상으로 modification을 수행하게 된다. 이러한 모든 정보가 당사 FMS에 upload되어 유지된다.

2.3.1 FMS(Fault Monitoring System) module 소개

본 프로그램은 크게 세가지 모듈로 나누어지다.

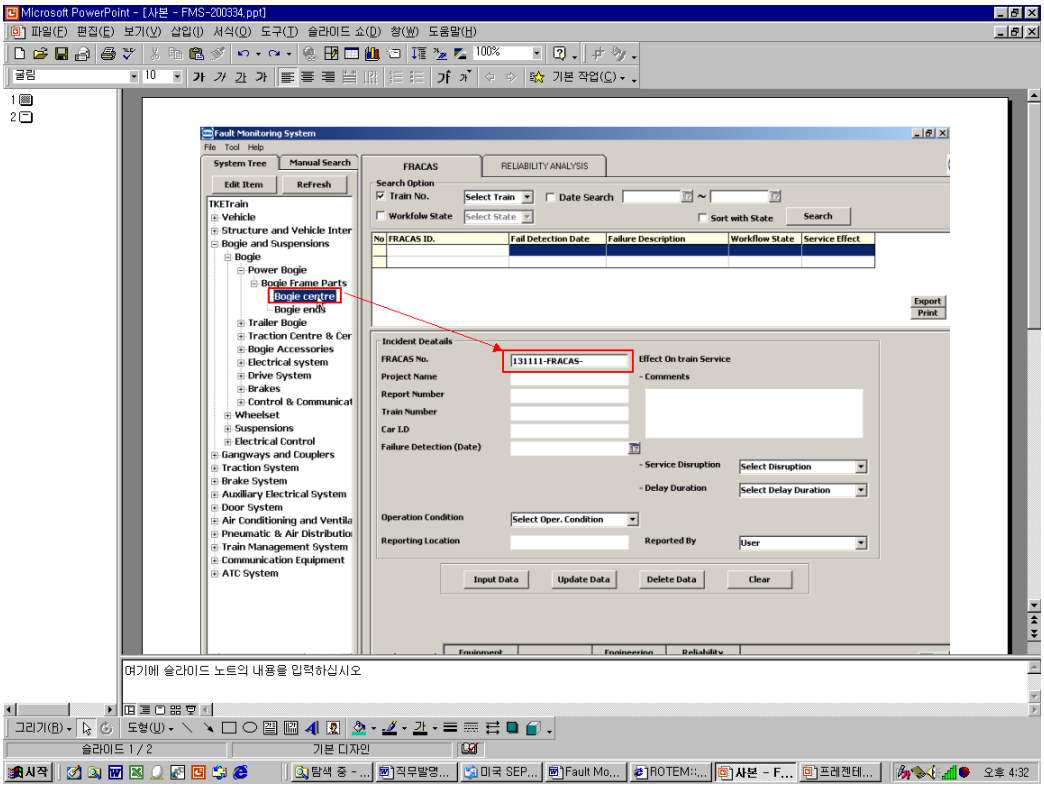
첫째, 각 부품의 명칭을 쉽게 식별/선택할 수 있도록 최상위 Train에서부터 계층구조로 최하위 교체 가능한 아이템까지 세분화 하여System Tree를 구성하였으며, 수동으로 부품 명칭을 찾을 수 있도록 Manual Search기능을 구성하였다.

둘째, 고장 발생 및 조치 내역 등을 입력/검색/수정하는 FRACAS 모듈에서는 종래에 사용하던 FRACAS, CM List의 문서양식을 프로그램에서 동일하게 구현을 하였다. 여기에서 입력내용이 한정되어 있는 data는 List화 하여 사용자가 직접입력이 아닌, 선택입력을 할 수 있게 하였다.

셋째, 차량과 부품 성능에 대한 정량적 수치를 입력한 조건에 따라 자동으로 산출할 수 있는 연산 식을 전산화 하여 자동으로 계산되어지고 이를 조회 할 수 있는 Reliability Analysis모듈로 구성되어 있으며, 상세내용은 다음과 같다.

2.3.1.1 System Tree

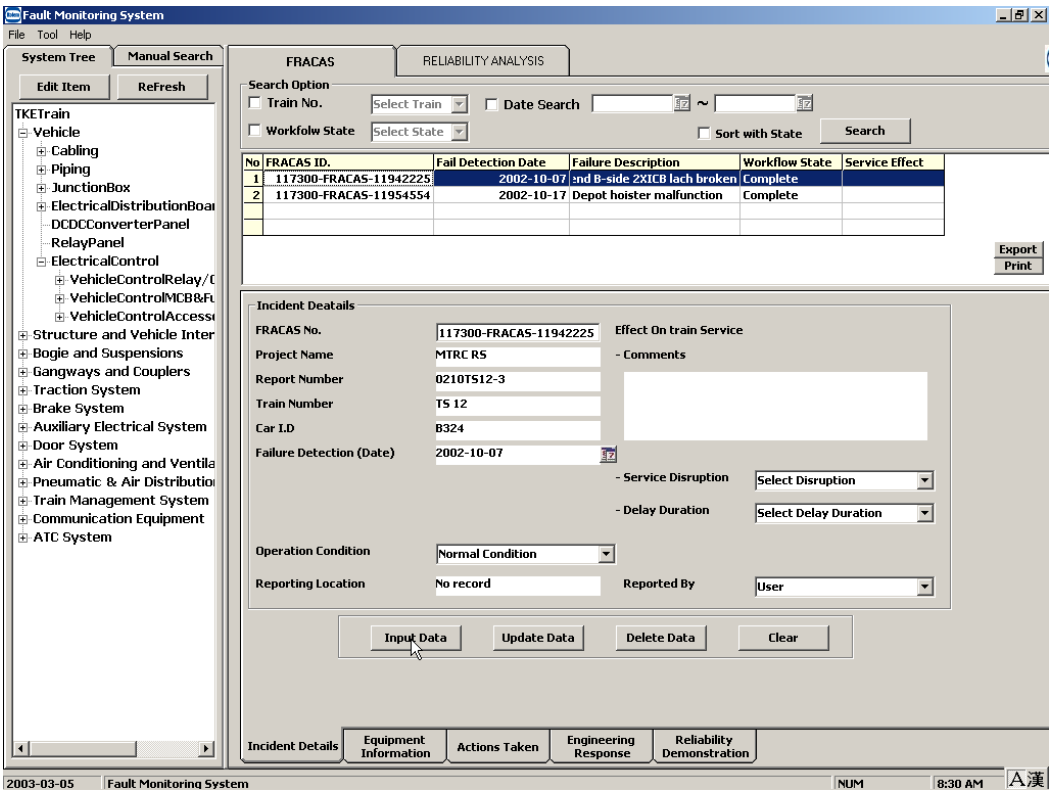
최상위 System(Train)을 계층구조로 최하위 교체 가능한 아이템(Line Replaceable Unit)까지 세분화하여, System Tree를 구성하였으며, 각각의 구성품에 대해서 고유의 식별 번호가 있도록 되어 고장난 아이템을 System Tree를 이용하여 윈도우 탐색기 기능처럼 쉽게 찾아 고장 정보를 입력할 수 있으며, 고장난 아이템의 정확한 명칭을 모를 때는 Manual search가 가능하도록, 유사 아이템의 명칭을 입력하여 쉽게 찾을 수 있도록 구현 하였다.



[그림-4]:System Tree

2.3.1.2. FRACAS (Failure Reporting And Corrective Action System) Module

FRACAS는 고장 보고 및 교정 시스템으로, 어떤 부품이 고장시, 고장난 부품의 정보를 입력하고, 고장원인 분석 및 고장 수리내역을 작성하여, 최대한 빠른 시간 내에 정상상태로 복귀시키는 시스템으로써, 다음과 같이 구성 되어 있다.



[그림-5]: FRACAS Module

(1) Incident Details(고장정보)

사용자가 고장난 아이템을 System Tree에서 선택하면, FRACAS No. 의 텍스트 박스에, 고유한 FRACAS No.가 자동으로 입력이 되며, 관련 프로젝트며, 고장 난 Train, Car, 고장일자, 장소 전동차 운행 상태, 고장으로 인한 운행의 영향 등을 입력한다.

(2) Equipment Information(장치 고장정보 입력)

사용자가 고장난 아이템의 상세 정보(System, Subsystem, Equipment 및Failure Description)을 입력한다

(3) Action Taken (수리 조치현황관리)

Maintenance Staff가 고장발생시 고장수리를 위해서 어떠한 조치를 했는지를 기록하는 탭이다. 여기에는 다음과 같은 정보가 필요하다. 조치사항, 고장난 부품을 교체하였으면, 교체된 부품의 정보, 교체한 부품 정보, 조치를 하기위해 Car Lifting이 필요했는지, 교체하는데 Man Hour는 얼마나 들어갔는지 등을 입력한다.

(4) Engineering Response (기술검토)

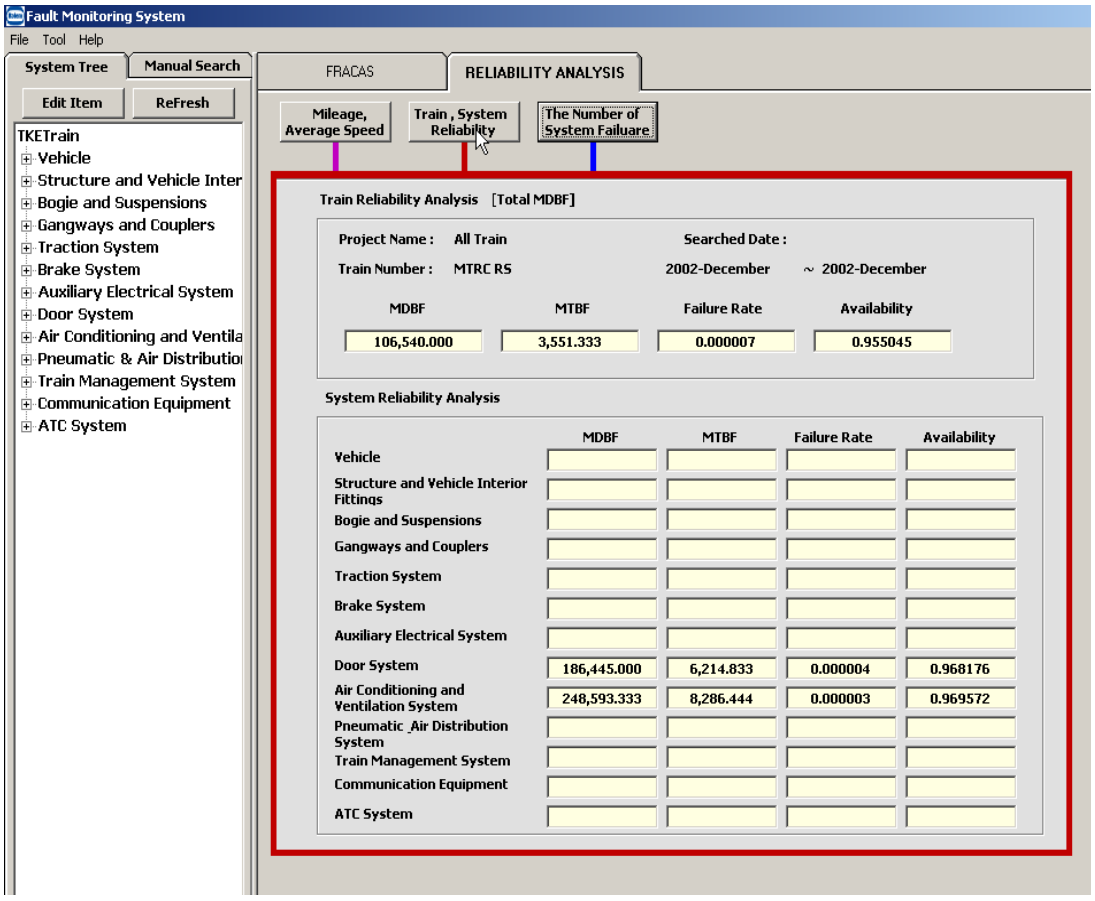
설계적인 검토가 필요하면, 해결방안을 작성한다.

(5) Reliability Demonstration

관련 고장이 Hardware Failure, Software Failure or Workmanship인지를 고장 형태를 분류하고, 고장 귀책사유가, 당사의 잘못으로 인해 발생했는지, 시행청 잘못 아니면, 타 계약자의 잘못인지를 정의를 하고, 당사의 잘못이면 고장부품 및 고장 정보를 포함하는 NCR (Non-Conformity Report)를 작성하여 관련업체에 배포하고, 업체는 고장원인을 분석한Failure Report를 작성하여 당사에 송부하며 NCR 및 Failure Report를 본 프로그램에D/B화한다.

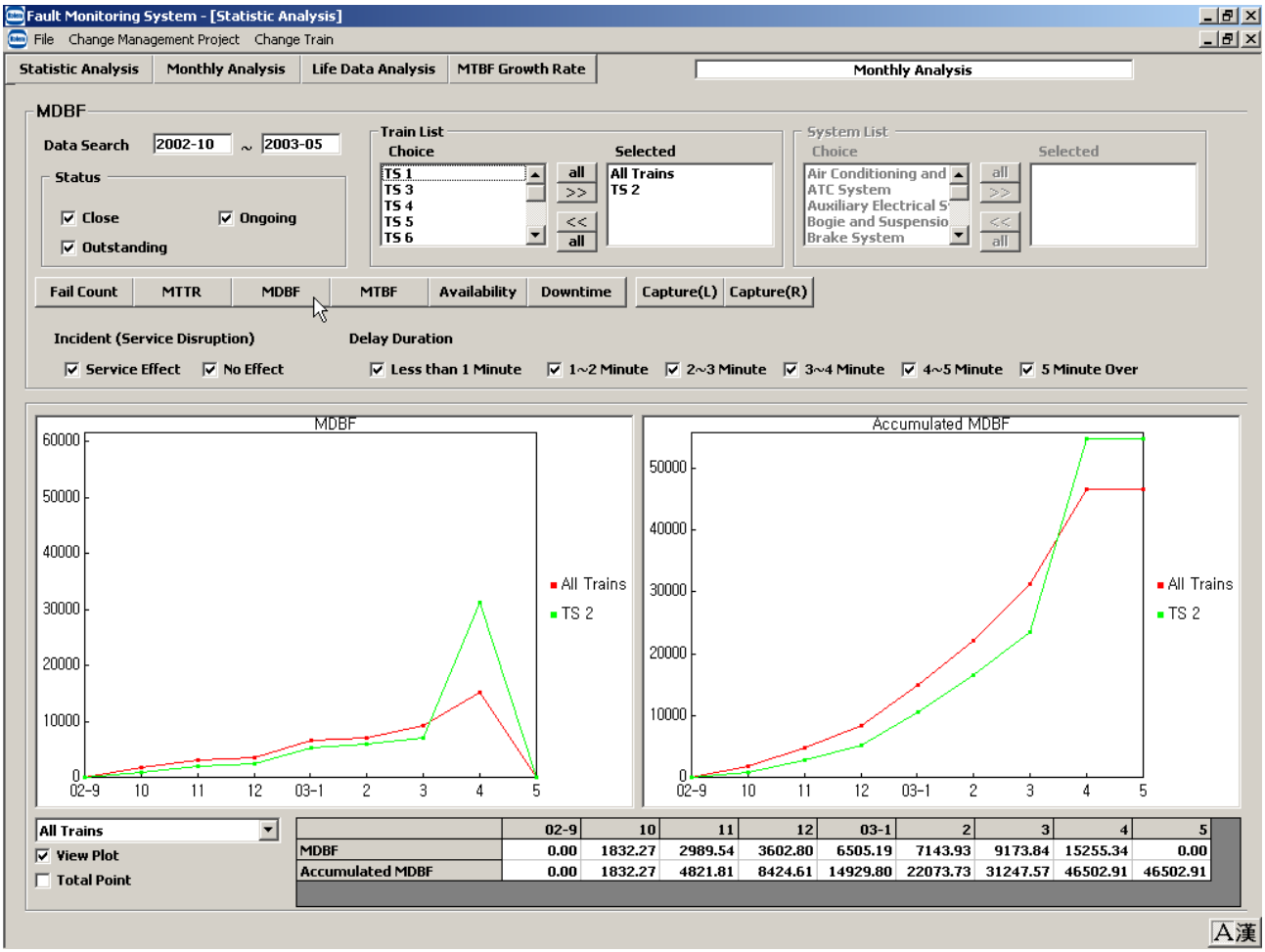
2.3.1.3. Reliability Analysis(신뢰성 분석)

Reliability Analysis 는 FRACAS의 정보를 응용하여, 선택한 기간 동안, 차량 및 부품의 신뢰성 및 가용성을 알 수 있도록 구현하였다.



[그림-6]: Reliability Analysis Module

또한, 도식화 하여 Statistic Analysis Module을 추가하여, 선택기간 신뢰성, 정비성 및 가용성 추이, 도 알 수 있게 하였다.



[그림-7]: Statistic Analysis Module

3. 결론

FRACAS 단순히 고장 기록을 하는 행위가 아니라, 고장 원인 분석 및 향후 고장 재 발생 예방을 위한 대책을 수립하는 폐루프 Process이다. 요구되는 신뢰성, 가용성 및 정비성 입증뿐만 아니라, 그들을 개선을 위해서는, 반드시 구축되어야하는 절차로, 국내 철도차량에서도 RAMS 관리 뿐만 아니라, 이 FRACAS도 도입단계에 있으며, 성공적인 FRACAS를 위해서는 계약자, 주요 업체 뿐만 아니라, End-user 또한 적극적으로 참여하여, 관련 고장 정보 공유 및 대책 수립 제안 등으로 철도 차량 신뢰성, 정비성 및 가용성을 극대화할 수 있도록 해야 한다.

참고문헌

1. MIL-STD-2155, Failure Reporting Analysis and Corrective Action System, Department of Defense, 1985.

2. Reliability Toolkit: Commercial Practices Edition

3. MIL-STD-785: Reliability Program for Systems and Equipment and Production

4. MIL-HDBK-781, Handbook for Reliability Test Methods, Plans, and Environments for engineering, development qualification, and production