

RCM 기반 철도시설물 고장분석시스템 구축 효과에 관한 고찰 A Study on the Effect of Implementing the RCM-based Failure Analysis System for Railway Facilities & Equipments

정관수*, 김성진**, 서원재***

Kwan-Soo Jung*, Sung-Jin Kim**, Oun-Je Seo***

Abstract Since Seoul Metro implemented and operated ERP system which covered in all its departments at 2009, it has enormously accumulated elementary data available for analysis to manage scientific railway facilities & equipments. And then, introducing the RCM technique of advanced maintenance management from 2011 to 2012, we construct 86,894 units to inspect and maintain the railway facilities in Seoul Metro' 7 technical parts(electricity, signal, communications, electronics, railway, mechanics and architecture) and 23,013 units to establish and analyse the classified system of the main train devices. Consequently, we implement and operate the Seoul Metro RCM-based failure analysis system for railway facilities which dramatically reduce repair costs by optimizing the inspection and the maintenance cycles of railway facilities and improving the reliability of operation and preventing excessive maintenance. In this study, We will introduce the considered contents for the implementation effect of the systems which consist of MARS(Metro Analysis for Real Safety) and RFAS(Railstock Failure Analysis System) applied RCM in Seoul Metro' 8 technical parts(train, electricity, signal, communications, electronics, railway, mechanics, and architecture).

Keywords : MARS, RFAS, HFMECA/FTA, RAMS, LCC

초 록 서울메트로는 2009년도 전사 ERP 시스템의 구축 및 운영으로 과학적인 철도시설물 관리를 위해 분석 가능한 자료가 축적되어 2011년부터 2012년까지 7개 공종(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 점검 및 정비 대상 시설물 86,894개와 차량 주요장치에 대한 분류체계 정립 및 분석을 위한 기초자료 23,031개 구축과 선진 유지보수 관리기법인 RCM 방식을 도입해서 철도 시설물별 점검 및 유지보수 주기를 최적화하여 가동의 신뢰도를 향상시키고 과잉정비를 방지하여 유지보수 비용을 획기적으로 절감할 수 있는 RCM 기반 철도시설물 고장분석시스템을 구축하여 운영 중이다. 본 연구에서는 서울메트로 7개 공종(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 시설물을 관리하는 고장분석시스템(MARS: Metro Analysis for Real Safety)과 차량고장분석시스템(RFAS: Railstock Failure Analysis System)에 RCM을 적용한 시스템의 구축 효과에 대하여 고찰한 연구 내용을 소개하고자 한다.

주요어 : 시설물고장분석시스템, 차량고장분석시스템, 수명주기비용

* 서울메트로 전산정보처 정보화기획팀(kwansoo@seoulmetro.co.kr)

** 서울메트로 전산정보처 정보화운영팀

*** 서울메트로 전산정보처 정보화운영팀

1. 서 론

서울메트로에서 운영중인 1~4호선 철도시스템을 구성하는 각 설비들에 대한 유지보수 업무는 설비 자체의 보존에만 초점을 맞추어져 왔다. 철도 시설물의 구조적인 접근이 미흡한 실정에서 시간단위의 정비계획을 수립하거나 불필요한 정비업무가 포함된 설비 특성에 맞지 않는 부적절한 정비업무로 과도한 비용이 지출되고 효율성이 감소되는 체계로 장기간 수행되어져 왔다. 하지만, 서울메트로는 2009년도 전사적자원관리시스템(ERP) 구축으로 인해 여러 분석 가능한 자료들이 축적되어 과학적인 철도시설물 유지관리가 가능해 졌다. RCM 기반 철도시설물 고장분석시스템 구축으로 인하여 2011년부터 2012년까지 공종별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 점검 및 정비 대상 시설물 86,894개 및 차량 주요장치 23,031개에 대한 분류체계 정립 및 분석을 위한 기초 자료를 구축하였고 선진 유지보수 관리기법인 RCM 방식을 도입함으로써 철도시설물별 점검 및 유지보수 주기를 최적화하여 가동신뢰도를 향상시키고 과잉정비를 방지하여 유지보수 비용을 획기적으로 절감할 수 있는 계기를 마련하였다.

본 연구에서는 서울메트로 7개 공종별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 시설물을 관리하는 고장분석시스템(MARS : Metro Analysis for Real Safety)과 2012년도 6월에 구축하여 운영중인 차량고장분석시스템(RFAS : Railstock Failure Analysis System)에 RCM을 적용한 시스템의 구축 효과를 고찰한 연구내용을 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 서울메트로 RCM 기반 시스템 소개

2011년 12월 구축 완료하여 운영중인 RCM 기반 7개 공종별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 시설물고장분석시스템(MARS : Metro Analysis for Real Safety)과 2012년 6월에 구축한 차량고장분석시스템(RFAS : Railstock Failure Analysis System)의 운영현황을 간략히 소개하고자 한다.

2.1.1 시설물고장분석시스템

7개 공종별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 시설물의 고장원인, 고장유형 정의, 고장영향 치명도 해석 및 고장트리 분석 등의 작업을 수행하는 동시에 분석된 자료와 유지보수의 경험을 바탕으로 효율적인 유지보수 점검주기 및 절차를 정의하고, 그 결과를 반영하여 최적의 유지보수 업무를 지원하는 시스템이다.

시설물고장분석시스템은 그림1에서와 같이 ERP 시스템의 시설설비 모듈에서 각 시설물의 기본 정보를 제공받아 시설물고장분석시스템의 FRACAS 모듈에서 부품의 BOM 관리와 고장데이터를 수집·분석하고, RAMS 분석모듈에서 고장분포 적합도 관리 및 RAMS 계산을 시행한다. HFMECA/FTA 분석모듈에서 부품별 위험원식별(현상·원인·결과)과 위험발생 결과를 확인한 후 위험 발생도·심각도·인지도를 고려한 위험도 평가를 시행하여 위험도 등급을 결정한다.

위험도 평가모듈은 위험도 등급 및 매트릭스를 설정·관리할 수 있다. 부품별 위험도 등급이 결정되면 수명주기관리모듈에서 고장데이터와 위험도를 근거로 정량적 분석을 통하여 최적 교체 및 점검 주기를 산출하고 최종적으로 점검항목, 유지보수(분석결과), 분석현황을 조회할 수 있는 분석결과모듈로 구성된다.

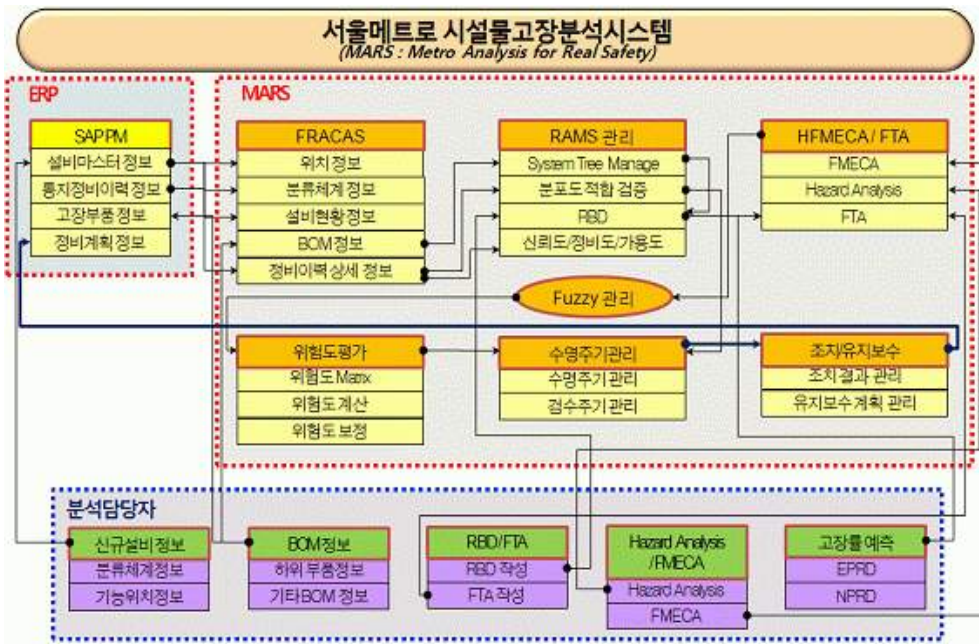


Fig. 1 시설물고장분석시스템 전체 구성화면

2.1.2 차량고장분석시스템

서울메트로 차량 주요장치에 대한 분류체계 정립과 분석을 위한 기초자료(BOM, FBD, RBD, FTA, FMECA 등) 구축과 차량 부품의 신뢰도 및 고장률을 산출하여 전동차 정비와 검수 주기를 신뢰성기반 정비체계로 전환하여 차량의 효율적인 유지보수 관리를 지원하는 시스템이다.

차량고장분석시스템은 그림2에서와 같이 4개의 단위시스템 모듈로 구성된다. BOM 관리 모듈은 차량 부품을 Master BOM과 기능 BOM으로 구축하여 Data 표준화와 부품 및 기술자료 검색 등에 활용하고 신뢰성정보관리모듈은 차량분야정보화시스템(RIMS)에 축적되어 있는 유지보수 이력정보를 제공받아 차량의 신뢰도 및 고장률 산출을 분석하여 주요 부품 신뢰도를 관리한다. 유지보수주기최적화모듈은 인공지능망 알고리즘을 적용한 상위 부품고장에 대한 하위 부품의 영향도 산출과 유전자 알고리즘을 이용한 장치 및 부품의 최적 정비주기 산출 결과를 이용하여 부품 고장특성을 고려한 전동차의 가용성 및 유지보수성 향상을 지원하고 품질향상관리모듈은 6시그마를 활용한 장치/부품 관련 측정 데이터 및 고장정보를 분석하여 품질 이상 예측과 해당 장치/부품의 정확한 소요량과 수명 예측을 지원하는 모듈로 구성된다.

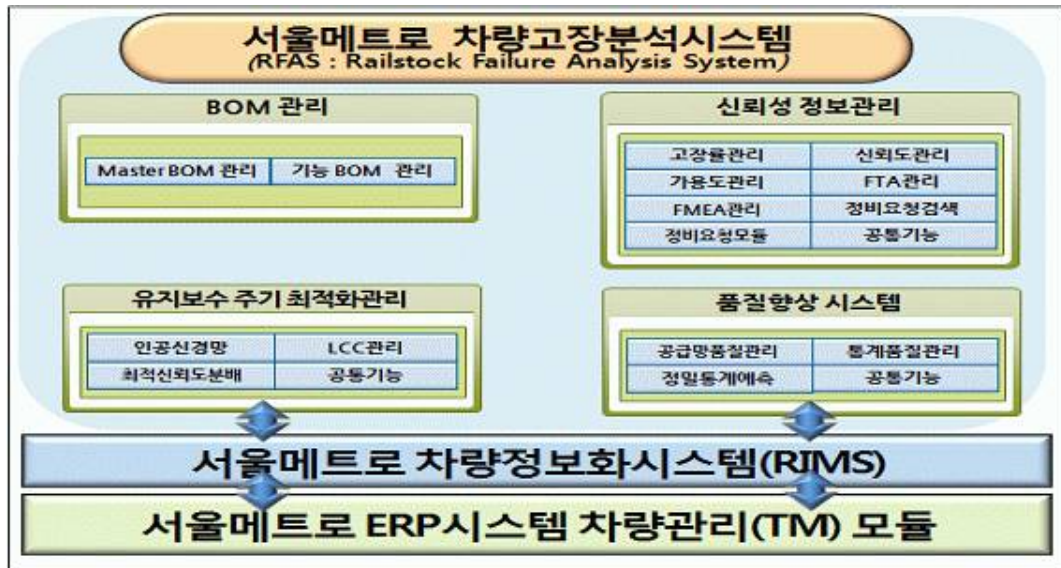


Fig. 2 차량고장분석시스템 전체 구성화면

2.2 RCM 적용 효과

서울메트로 7개 공종별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 시설물 및 차량 관리 조직, 업무 프로세스와 시스템측면의 3개 부문으로 분류하여 RCM 적용 효과를 고찰해보고자 한다.

2.2.1 조직측면

2.2.1.1 RCM 시설물 관리 조직

서울메트로 RCM 시설물 관리 조직은 시스템 구축 시 고장분석전문가 인력 양성과 기존 T/F 조직을 확대하여 그림3에서와 같이 7개 공종별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축)로 고장 분석전문가 및 공종별 업무담당자를 전사적 고장이력 데이터의 신뢰성 확보, 시설물 점검/정비 이력 및 측정자료 통계분석과 위험도/신뢰도 중심의 과학적인 분석을 통한 부품 교체 및 점검주기 산출을 위해 조직을 구성하여 운영 중이다.



Fig. 3 서울메트로 RCM 7개 공종별 시설물 관리 조직

서울메트로 시설물 고장분석전문 T/F 운영 조직은 도표1에서와 같이 2011년 5월 ~ 2012년 12월까지 점검 및 정비 대상 시설물 86,894개에 대해 Block Flow Sheet, 시스템 구성요소 전개도 및 기능 블록도 작성하였고 분석대상 시설물과 계통 경계설정 및 시설물의 기능에 요구되는 성능목표를 설정하여 시설물의 기능고장 해석표(FFA), 기능별 성능저하 유발 고장 정의, 고장유형별 고장모드 및 원인 정의와 고장 영향 분석을 통한 고장모드에 대한 위험도 평가를 수행하여 설비별 최적의 점검 및 교체 주기를 위한 기초 데이터를 구축하였다.

Table 1 공종별 RCM 활용 시설물 기초 데이터 구축수

년도 \ 공종	합계	전기	기계	통신	전자	신호	궤도	건축
합계	86,894	6,960	10,809	16,195	21,957	25,960	3,282	1,731
2011년도	31,680	1,032	4,479	4,041	15,612	4,550	930	1,036
2012년도	55,214	5,928	6,330	12,154	6,345	21,410	2,352	695

현 RCM 시설물 관리조직이 수행하고 있는 유지보수 현장의 데이터 신뢰성 확보, 시스템 전체 모니터링을 통한 데이터 파악과 분석 등을 과학적이고 체계적으로 지원할 수 있는 7개 공종별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) FRB(Failure Review Board) 조직을 팀단위로 구성하여 시설물 점검 및 교체 주기 검증 및 신속한 의사결정 수행을 금년도 말에 추진할 예정이다.

2.2.1.2 RCM 차량 관리 조직

서울메트로 RCM 차량 관리 조직은 시스템 구축에 참여한 기존 차량 고장분석전문가 T/F 조직을 확대하여 그림4에서와 같이 차량 고장유형 분석과 운영 데이터를 기초로 하여 이를 분석하고 예방정비를 위한 가장 효과적인 유지보수 업무를 도출하고자 정비처 산하 5개 차량사업소별 고장분석 업무담당 조직을 구성하고 군자차량사업소의 기술관리과에서 RCM 업무를 총괄하여 운영중이다.



Fig. 4 서울메트로 RCM 차량 시설물 관리 조직

서울메트로 차량 고장분석전문 T/F 운영 조직은 도표 2에서와 같이 2012년 1월 ~ 2012년 10월까지 검수 및 정비 등을 관리하는 차량분야정보화시스템에 축적되어 있는 유지보수 이력 정보를 활용하여 차량 주요장치에 대한 분류체계 정립 및 고장 분석을 위한 2, 3, 4호선별 전동차량 차종별로 23,031개의 Master와 자재 BOM을 구축하였다.

Table 2 RCM 활용 차량 기초 데이터 구축수

고장분류	차종	2호선 로템DV		3호선 로템DV		4호선 현대DV		4호선 현대ADV	
		BOM	자재	BOM	자재	BOM	자재	BOM	자재
계		3,953	945	4,834	263	4,006	2,095	4,560	2,375
주회로장치		319	97	315	51	604	314	1,043	528
제어회로장치		344	71	318	5	338	137	353	147
보조회로장치		67	15	68	14	163	114	163	114
출입문장치		286	96	126	3	251	143	251	143
차체 및 연결장치		505	65	780	24	354	162	354	162
제동장치		825	292	932	123	1,031	519	1,048	523
대차및주행장치		677	184	672	29	498	312	510	318
ATS/ATC장치		89	12	755	4	125	97	176	133
열차종합정보장치 등		37	13	38	1	67	43	67	43
공기조화장치		439	65	310	4	164	98	164	98
고객서비스장치		172	25	361	5	255	60	255	60
기타		193	10	159	0	156	96	176	106

현 차량고장분석시스템을 활용하여 차량 부품 고장 특성과 발생 확률 및 MTBF 관리 등의 신뢰도 향상을 도모하고 과잉정비를 방지하여 정비비용을 최적화 할 수 있도록 효율적 업무 수행을 위한 1~4호선별로 추가 11개 차종에 대한 BOM을 2014년 1분기 내에 구축하여 완료할 예정이다.

2.2.2 업무프로세스 측면

그림 5, 6에서와 같이 서울메트로 기존 철도시설물 점검 주기 및 점검·정비 업무절차에 RCM을 적용하여 7개 공종별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 시설물과 차량 관리 업무 프로세스 절차를 마련하여 운영중이다.

<점검주기>	1/4분기	2/4분기	3/4분기	4/4분기	
일상점검	시설물, 고객편의시설 등 역사 시설물에 대한 점검				수시
분기점검	안전수칙 이행, 시설물 관리상태 등 제 규정 준수여부				매분기
특별점검	연말연시, 설날, 하계, 추석대비 특별점검				년4회
심야점검	영업종료 후 시설물 및 터널·교량 구조물 등 점검				월2회
중점점검	시설물에 대하여 지시사항 및 계획, 장애와 관련 점검				수시
기타점검	대내외 요구 및 특이사항 발생 시 점검				수시

Fig. 5 서울메트로 철도시설물 점검 주기

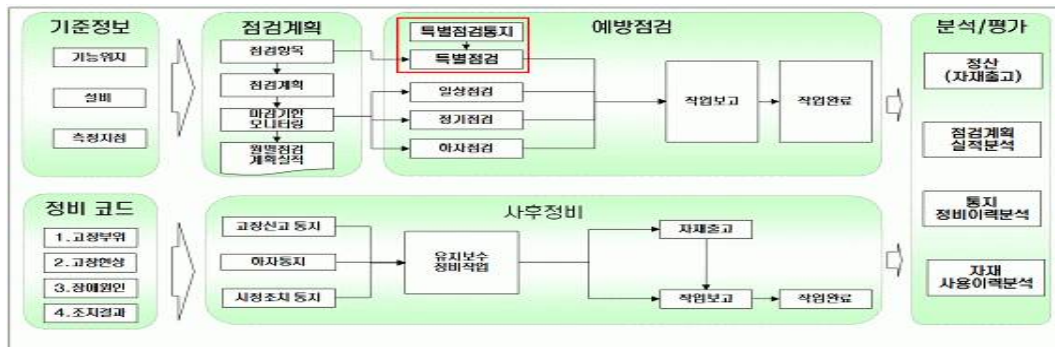


Fig. 6 서울메트로 철도시설물 점검·정비 업무 절차

2.2.1.1 7개 공종별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 시설물

RCM 기반 7개 공종별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 시설물 관리 업무절차는 그림 7에서와 같이 점검/정비 이력 및 측정 자료에 대한 통계 분석 등을 처리할 수 있도록 신뢰성 기반 고장분석 전문가가 기본 정보(신규설비정보, BOM 정보, RBD 작성 정보 등)를 시설물고장분석시스템에 생성 후 고장부품/현상/원인별 위험도 및 신뢰도 중심의 RAMS와 HFMECA/FTA 분석을 수행하고 위험도 평가와 수명주기관리를 통한 부품 교체와 유지보수 점검 주기 산출과 최적의 유지보수 방법을 선정하고 실행하는 업무 프로세스 체계를 수립하여 시행 중이다.

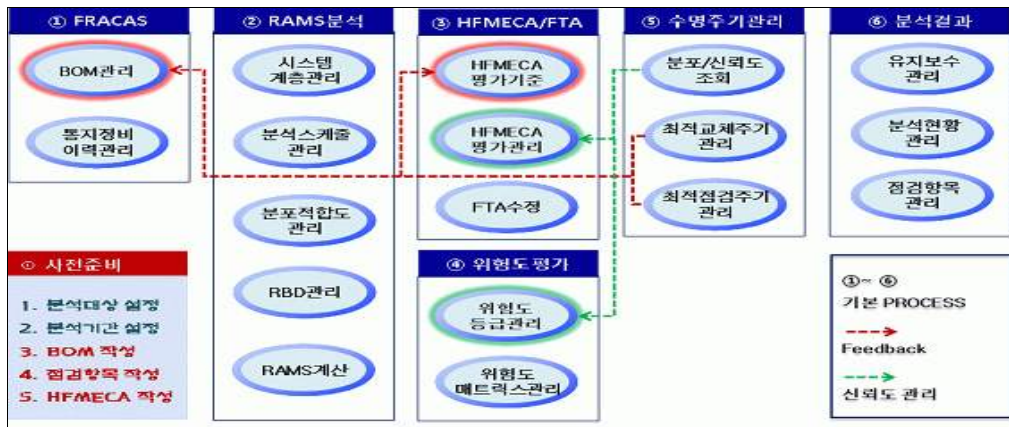


Fig. 7 RCM 기반 시설물 관리 업무절차

2.2.1.2 차량

RCM 기반 차량 시설물 관리 업무흐름은 그림 8에서와 같이 차량 고장분석 전문가가 부품에 대한 Master 및 기능 BOM을 구축하고 차량분야정보화시스템 고장 조치이력 기초 정보에 대한 품질 점검을 통하여 데이터 신뢰도를 향상하여 RBD, FMECA, FTA 등을 시스템에 생성 후 차량 주요 부품의 신뢰도 지표와 고장률 추이 분석 등을 통해 차량 성능 및 유지보수 개선 작업을 수행한다. 차량 부품의 민감도 분석, 차량 정비 유지보수 주기 최적화 작업 및 6시그마를 활용한 고장 Data 및 부품 소요량과 수명 예측을 도모하는 업무 프로세스로 구성된다.



Fig. 8 RCM 기반 차량 시설물 관리 업무절차

2.2.3 시스템 측면

2.2.3.1 시설물고장분석시스템

공중별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 시설물의 최적 유지관리를 위하여 7개 단위 시스템으로 구성되어 있다. FRACAS 시스템은 분석대상 설비의 부품별 BOM 관리와 통지 정비/측정 자료의 조회 및 분석을 수행하고, RAMS 시스템은 고장 분석 통지/정비 정보를 분석하여 RAMS 요소를 도출하고, HFMECA/FTA 시스템은 고장모드의 영향을 분석하여 이들의 상관관계를 도표화 한다. 위험도평가시스템은 HFMECA 분석을 위해 대상설비의 고장빈도, 위험인지도, 심각도 등의 위험도 항목 평가를 하고 수명주기관리시스템은 RAMS 분석 결과에 따라 분석대상 설비의 교체주기/점검주기를 표시한다. 분석결과 및 출력관리시스템은 대상설비의 점검항목과 분석결과를 표시하고 출력하는 기능을 수행한다.

시설물고장분석시스템의 단위 시스템별로 공중별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 시설물 중 전자 시설물 개집표기의 실제 RCM을 적용한 효과를 소개하고자 한다.

첫 번째로 FRACAS 단위시스템은 그림 9에서와 같이 전자 시설물의 개집표기를 고장 품목별로 단말기 등 24개로 BOM을 구성하여 품목 규격, 부품체계(BOM) 상의 최소 유지보수 부품(LRU), 수량 등을 구분하여 BOM을 구축하였다.

구분	부품번호	고장품목코드	고장품목명	고장품목내역	규격	LRU	수량
1	1	AF01	단말기	개집표기		0	1
1.1	1	AF10	LATEXT			1	1
1.2	1	AF10	LATEXT			1	1
1.3	1	AF07	통화IC BOARD			1	1
1.4	1	AF04	G-TURNSTILE-M			1	1
1.4.1	1	AF04	G-TURNSTILE-M	접외 GATE TURNSTILE용		1	1
1.4.2	2	AF04	G-TURNSTILE-M	종종러 SPR용-M		1	1
1.4.3	3	AF04	G-TURNSTILE-M	복크, #10BIT TURNSTILE J		1	1
1.4.4	4	AF04	G-TURNSTILE-M	접안스위치용 TURNSTILE		1	1
1.4.5	5	AF04	G-TURNSTILE-M	사료용 TURNSTILE MECH		1	1
1.4.6	6	AF04	G-TURNSTILE-M	스프링용 TURNSTILE용-M		1	1
1.4.7	7	AF04	G-TURNSTILE-M	스프링용 TURNSTILE용-A		1	1
1.4.8	8	AF04	G-TURNSTILE-M	스프링용 TURNSTILE용-B		1	1
1.4.9	9	AF04	G-TURNSTILE-M	간차용 102V 12W 용량용		1	1
1.4.10	10	AF04	G-TURNSTILE-M	GALET GAME PRZFP		1	1
1.4.11	11	AF04	G-TURNSTILE-M	Economizer Module		1	1
1.4.12	12	AF04	G-TURNSTILE-M	Flex. I.Ea		1	1
1.5	1	AF06	G-M/S-PLATE			1	1
1.6	1	AF06	간차용교집기			1	1
1.7	1	AF07	개집표기연결			0	1
1.8	1	AF09	APPROCH SIGNAL DISPLAY			1	1
1.9	1	AF09	SENSOR BOARD			1	1
1.10	1	AF10	CONSOLE			0	1
1.11	1	AF11	SAM			0	1

Fig. 9 FRACAS 시스템 전자 시설물 개집표기 BOM

그림 10에서와 같이 전자 시설물의 개집표기 BOM을 고장 품목별로 구축 후 ERP시스템 시설설비(PM) 모듈 통지정비 이력정보를 활용하여 분석후 서울메트로 설비위치별 고장 품목별로 고장횟수 및 누적 고장횟수를 그래프로 현시하여 개집표기의 통지정비이력을 분석하였다.

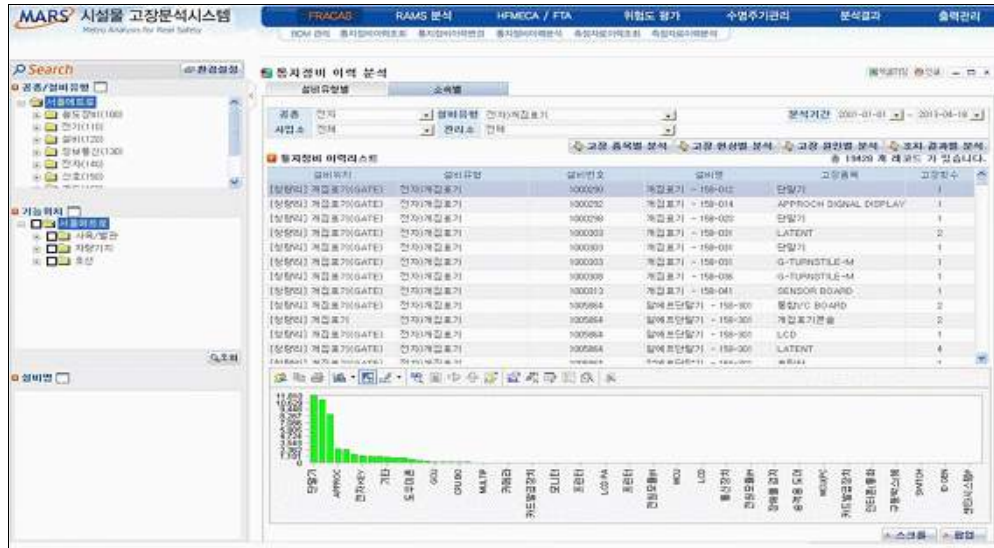


Fig. 10 FRACAS 시스템 전자 시설물 개집표기 통지정비비력분석

두 번째로 RAMS 시스템은 그림 11에서와 같이 전자 시설물의 개집표기를 적합분포별 그래프 4개의 Weibull분포, 로그정규분포, 지수분포, 정규분포를 사용하여 적합분포 처리한 결과 Kolmogorov-Smirnov값이 가장 작은 분포유형이 Ranking 1위로 선정되었다. 전자 시설물 개집표기는 로그정규분포를 적합분포로 사용하였다.



Fig. 11 RAMS 분석시스템 전자 시설물 개집표기 분포적합도

2.2.1.2 RCM 차량 관리 조직

그림 12는 FRACAS 단위시스템에서 전자 시설물 고장정보를 수집하여 고장시간 및 고장수리 시간 산출, 고장품목, 고장원인, 조치결과 정보를 생성하여 분석 가능한 상태로 만든 정보를 활용하여 전자 시설물의 전체 개집표기에 대한 RAMS 계산 결과 MTBF=1894.63 Hr, 고장률 =0.000528, 가용도=94.18%, MTR=119.99Hr와 서울메트로 4호선 동대문역사문화공원역 개집표

기 설비품목 단말기 MTBF=178.53Hr, 고장률=0.0056, 가용도=99.36%, MTR=1.45Hr RAMS 계산 결과의 내용이다.



Fig. 12 RAMS 분석시스템 전자 시설물 개집표기 RAMS 계산

세 번째로 HFMECA/FTA 시스템은 FRACAS 단위 시스템의 고장 통지정비이력정보의 고장 빈도를 활용하면 그림13에서와 같이 전기 개집표기 단말기 시설물의 고장현상으로 개집표기 처리불량과 잠재적 발생원인으로는 커넥터접속불량의 위험원 식별 후 영향받은 시스템/설비측면, 작동/운전 측면과 안전성 측면의 3가지 부문의 위험 잠재적 영향을 도출한다. 최종적으로 전기 시설물 고장분석업무 관리자가 발생빈도, 심각도, 위험인지도 평가를 통한 위험도 우선순위를 결정한다. 현재 개집표기의 하위 구성품목 단말기 위험도 등급 산출 수준은 매우 위험한 리스크 등급인 Red로서 목표 신뢰도는 95%이다.



Fig. 13 HFMECA/FTA 시스템 전자 시설물 개집표기 위험원 고장모드 영향 및 치명도 분석

네 번째로 위험도평가시스템은 도표 3에서와 같이 7개 공중별(전기, 신호, 통신, 전자, 레도, 기계, 건축) 시설물 위험 발생도와 위험 심각도를 고려하여 서울메트로 3차원 위험도 매트릭스를 기준으로 시설물의 위험도 등급을 결정한다.

Table 3 서울메트로 위험도 등급 기준

1차 위험도		위험심각도						
		NEGLECTABLE	MARGINAL	SLIGHT	NORMAL	CRITICAL	VITAL	CATASTROPHIC
위험발생도	IMPROBABLE	B	B	B	B	B	B	G
	REMOTE	B	B	B	B	B	G	G
	OCCASIONAL	B	B	B	B	G	G	G
	SPORADIC	B	B	B	G	G	G	Y
	PROBABLE	B	B	G	G	G	Y	Y
	FREQUENT	B	G	G	G	Y	Y	R
	ALWAYS	B	G	G	G	Y	Y	R

등급	등급 내용	목표 신뢰도	등급	등급 내용	목표 신뢰도
R	대우 위험한 리스크 등급	95%	Y	위험하거나 저감 대책이 요구되는 리스크 등급	80%
G	승인을 통해 허용할만한 리스크 등급	60%	B	허용할만한 리스크 등급	50%

그림 14에서와 같이 도표 3의 서울메트로 시설물에 대한 위험도 등급 기준을 정하기 위해서 위험발생도, 위험심각도(안전 및 고객서비스부문), 위험인지도의 세부 등급을 산정하여 위험도 등급을 관리한다.



Fig. 14 위험도평가시스템 위험도 등급관리

마지막으로 수명주기관리시스템은 그림 15, 16에서와 같이 전자 시설물의 개집표기와 하위부품에 대한 최적 유지보수업무 관리 활동을 수행하기 위해 FRACAS 단위시스템의 고장정보, RAMS 단위시스템의 적합분포 도출 정보와 MTBF, 고장율, 가용도, MTR RAMS의 결과값 정보, HFMECA/FTA 단위시스템에서 위험도 우선순위를 결정한 정보를 활용하여 전자 시설물의 개집표기 교체 및 점검 주기를 최종적으로 결정한다. 최종결과 전자 시설물 개집표기 하위 구성품목인 단말기의 교체주기는 25개월로 산출되었고 점검주기는 단말기별로 1개월 9일 ~ 34개월 13일로 도출되었다. 산출된 시설물 수명주기관리 정보를 사용하여 유지보수 방안 계획을 수립하여 시설물 관리 조직에서 점검 및 교체 업무를 수행한다.

The screenshot displays the '최적 교체주기 관리' (Optimal Replacement Cycle Management) interface. It features a table with columns for '시스템개입구호' (System Entry Code), '품목내역' (Item Details), '레벨' (Level), '고장원인' (Failure Cause), '고장정인' (Failure Effect), '적합분포유형' (Distribution Type), '위험도' (Risk), '목표 신뢰도' (Target Reliability), 'MTBF' (Mean Time Between Failures), '기준점검주기' (Reference Inspection Cycle), '교체주기 (M)' (Replacement Cycle in Months), and '적용고장률' (Applied Failure Rate). The table lists various components like '단말기' (Terminal) and '개입구호' (Entry Code) with their respective failure rates and recommended cycles. A summary box on the right indicates '위험도 평가 등급' (Risk Assessment Grade) as '적합분포도' (Normal Distribution) and '고장률' (Failure Rate) as '분석계산' (Analytical Calculation) for the period 2009-09-01 to 2012-07-31.

Fig. 15 수명주기관리시스템 전자 시설물 개집표기 하위구성부품 단말기 최적교체주기

The screenshot displays the '최적 점검주기 관리' (Optimal Inspection Cycle Management) interface. It features a table with columns for '시스템개입구호' (System Entry Code), '품목내역' (Item Details), '레벨' (Level), '고장원인' (Failure Cause), '고장정인' (Failure Effect), '적합분포유형' (Distribution Type), '위험도' (Risk), '목표 신뢰도' (Target Reliability), 'MTBF' (Mean Time Between Failures), '적용점검주기' (Applied Inspection Cycle), '점검주기 (M)' (Inspection Cycle in Months), and '적용고장률' (Applied Failure Rate). The table lists various components like '단말기' (Terminal) and '개입구호' (Entry Code) with their respective failure rates and recommended inspection cycles. A summary box on the right indicates 'HFMECA 결과' (HFMECA Result) as '위험도 평가 등급' (Risk Assessment Grade) and '적합분포도' (Normal Distribution) for the period 2009-09-01 to 2012-07-31.

Fig. 16 수명주기관리시스템 전자 시설물 개집표기 하위구성부품 단말기 최적점검주기

2.2.3.2 차량고장분석시스템

차량고장분석시스템은 서울 지하철 1~4호선을 운영하는 전동차 차종별 주요장치와 차량 부품의 최적 유지관리를 지원하는 4개의 단위시스템으로 구성되어 있다. BOM 관리시스템은 차종별로 10개의 차호에 차량 설비의 하위부품별 BOM코드와 장착된 수량을 표기한 마스터 BOM과 기능 BOM을 구축되어 신뢰성 기반 유지보수 업무의 기본 정보로 활용하고, 신뢰성시스템은 차량정보화시스템의 작업관리 단위시스템 검수/정비 고장이력정보를 활용하여 차량 부품 고장율, MTBF 등의 신뢰성 분석과 FBD, RBD, FTA을 작성한 후 FMECA 기법을 이용하여 고장모드 및 위험도 영향을 분석하여 효율적 차량관리를 위한 유지보수 수행주기 최적화 및 전동차의 가용성 향상에 사용된다. 주기최적화시스템은 인공지능망 알고리즘을 이용하여 차량 부품별로 민감도를 분석하기 위한 신뢰도 및 민감도를 계산한다. 품질향상시스템은 차량분야정보화시스템의 고장이력 정보를 이용하여 RCM 분석을 위한 정확한 기초 Data 구축에 요구되는 데이터의 정합성 및 표준화를 수행하여 시스템의 신뢰도 향상에 기여한다. 차량고장분석시스템의 단위 시스템별로 서울 1호선 운행 차종 VVVF 현대 ADV 판타그래프 설비에 대한 실제 RCM을 적용한 효과를 소개하고자 한다.

첫 번째로 BOM 관리시스템은 그림 17에서와 같이 서울 1호선 구간에 운행하는 차종 VVVF 현대 ADV 판타그래프의 하위부품별에 대한 BOM을 구축하여 차호 1~10호별 BOM코드, 장착 수량 등을 표기한 내용이다.

The screenshot shows the BOM management system interface. On the left is a 'BOM Tree' showing a hierarchical structure of components. The main area displays a 'BOM Table' with columns for '차호' (Car No.), 'BOM코드' (BOM Code), '회로명' (Circuit Name), 'BOM명' (BOM Name), '공용' (Common), '단위' (Unit), '0호' (0 No.), and '차호별 장착수량' (Quantity by Car No.).

차호	BOM코드	회로명	BOM명	공용	단위	0호	차호별 장착수량
1	BOMCD-01-01-00-0000	판타그래프	Pantograph Assy				2
2	BOMCD-01-01-00-0001	압착스위치	Pan Pressure S/W PanPS				2
3	BOMCD-01-01-00-0000	공기배관	Air Piping Assy				2
4	BOMCD-01-01-00-0008	공기배관자	Insulator With Air P				2
5	BOMCD-01-01-00-0001	유니온조인트	Union Joint				2
6	BOMCD-01-01-00-0002	유니온	Elbow				2
7	BOMCD-01-01-00-0003	엘보	Elbow				2
8	BOMCD-01-01-00-0004	파이프	Pipe				2
9	BOMCD-01-01-00-0005	파이프	Pipe				2
10	BOMCD-01-01-00-0006	서포트	Pipe Support				2
11	BOMCD-01-01-00-0007	판타그래프 호스	Pantograph Hose				2
12	BOMCD-01-01-00-0000	슬리퍼	Collector Shoe Ass				4
13	BOMCD-01-01-00-0007	동판	Copper Plate				4
14	BOMCD-01-01-00-00013	리벳	R. Head Rivet				32
15	BOMCD-01-01-00-00019	코어바	Core Bar				8
16	BOMCD-01-01-00-00025	세이틀	Lower Spring Seat				16
17	BOMCD-01-01-00-0001	판	Flat				4
18	BOMCD-01-01-00-00002	브라켓	Bracket				16
19	BOMCD-01-01-00-00003	라켓	Thin Flat Head Riv				8
20	BOMCD-01-01-00-00004	필브	Fib				8
21	BOMCD-01-01-00-00005	브라켓	Bracket				16
22	BOMCD-01-01-00-00006	벨로우홀더	Bellows Holder				16
23	BOMCD-01-01-00-00008	보호대	Protector				8
24	BOMCD-01-01-00-00009	파이프	Pipe				8
25	BOMCD-01-01-00-00010	고무조인트	Yielding Rubber				8
26	BOMCD-01-01-00-00011	파이프	Connecting Pipe				4
27	BOMCD-01-01-00-00012	부시	Pipe Bush				8

Fig. 17 BOM 관리시스템 1호선 차종 VVVF 현대 ADV 판타그래프 기능 BOM

두 번째로 신뢰성시스템은 그림 18과 같이 신뢰성분석 단위모듈에서 차량분야정보화시스템 고장이력 정보를 활용하면 1호선 차종 VVVF 현대 ADV 판타그래프의 단일부품 총운행시간 =769,407.1 hr, 총운행거리=29,082,464,3 Km, 고장건수=101건의 결과가 산출된다.

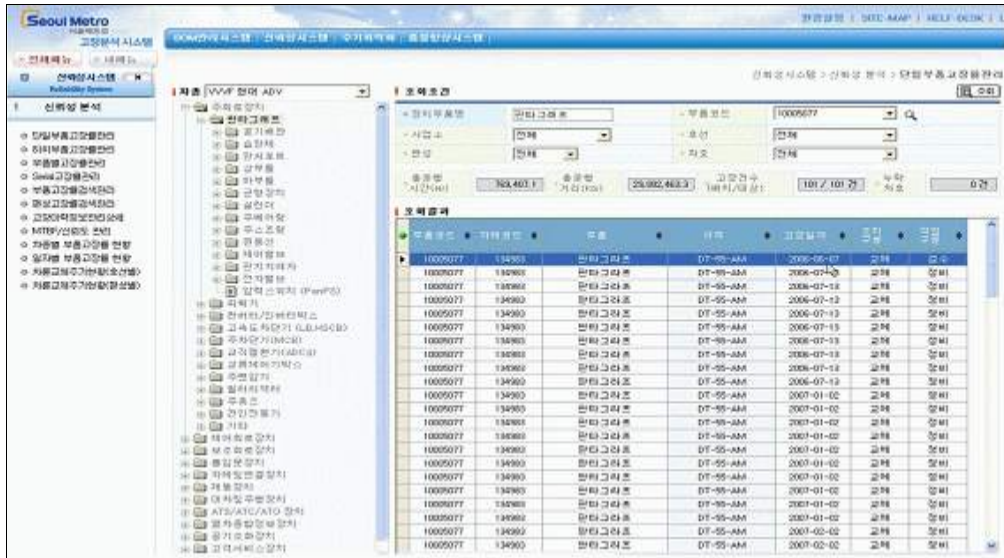


Fig. 18 신뢰성시스템 1호선 차종 VVVF 현대 ADV 판타그래프 단위부품고장률관리

그림 19에서와 같이 1호선 차종 VVVF 현대 ADV 판타그래프 단위부품 고장율의 결과를 도출하기 위해서는 적합분포별 그래프 4개의 지수분포, Normal분포, Log-Normal분포, Weibull분포를 비교하여 적합분포 결과 Chi-Squared값의 최소값이 제일 작은값을 선정한다. 판타그래프의 운행시간 및 운행거리에 대한 고장률에 대해 4개 적합분포 최종결과 지수분포 적합도를 적용한다.

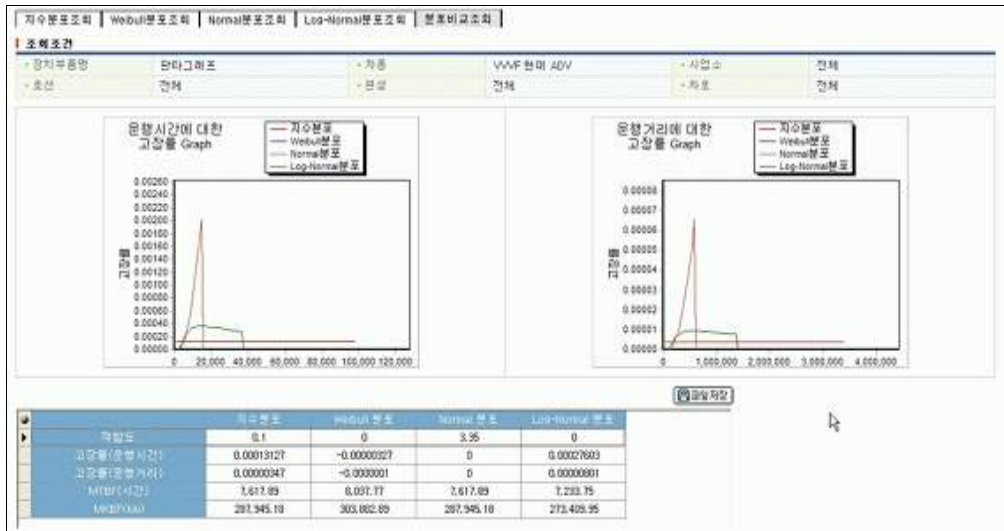


Fig. 19 신뢰성시스템 1호선 차종 VVVF 현대 ADV 판타그래프 적합분포

그림 20에서와 같이 1호선 차종 VVVF 현대 ADV 판타그래프 신뢰도 결과는 그림 20의 신뢰성정책관리 모듈에서 판타그래프에 대한 유지보수 정책을 결정한 후에 계산된 목표신뢰도 결과값 98%, 제작사에서 정한 제작 신뢰도, MTBF, MKBF 정보와 고장이력 데이터를 통하여 산출

된 적합 분포 결과의 정보를 활용하여 최종적으로 판타그래프 단위부품의 유지보수 MTBF=7,307.40 hr, MKBF=276,476.50, 신뢰도=36.8%의 값이 산출된다.



Fig. 20 신뢰성시스템 1호선 차종 VVVF 현대 ADV 판타그래프 신뢰도

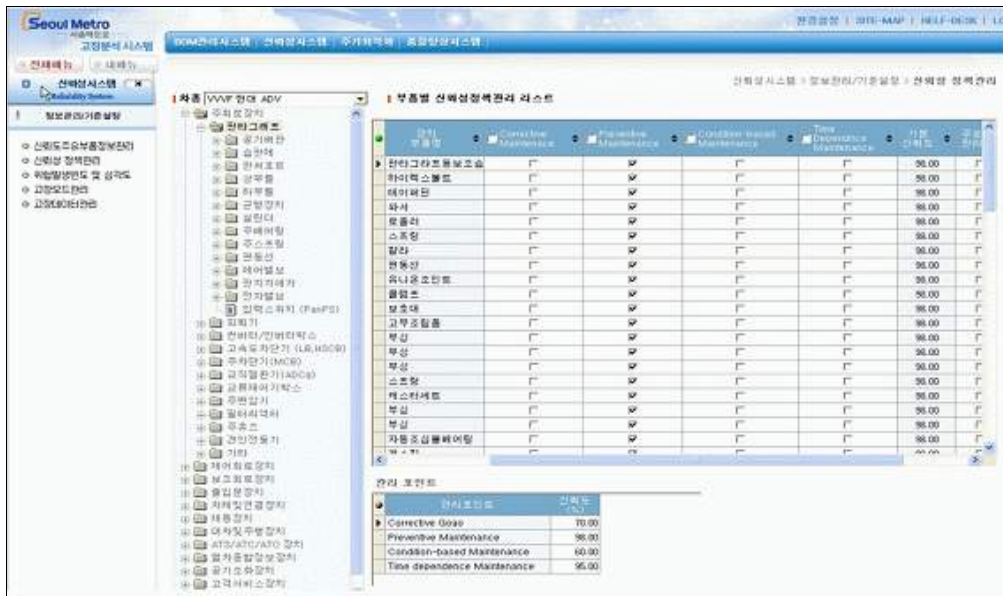


Fig. 21 신뢰성시스템 1호선 차종 VVVF 현대 ADV 판타그래프 신뢰성정책관리

세 번째로 신뢰성시스템의 신뢰성 활용 단위시스템은 그림 22에서와 같이 1호선 차종 VVVF 현대 ADV 판타그래프 하위구성 부품들간의 고장원인과 결함수를 FTA한 결과 Fault Tree Rate=0.14건/year, Fault Tree Rate=0.000001598건/hr, 건당 Fault 발생기간=7.14 year, 건당 Fault 발생시간=62,571.43 hr의 고장확률값이 산출된다.



Fig. 22 신뢰성시스템 1호선 차종 VVVVF 현대 ADV 판타그래프 FTA

2.2.1.2 RCM 차량 관리 조직

신뢰성활용의 FMECA 단위시스템은 그림 23에서와 같이 1호선 차종 VVVVF 현대 ADV 판타그래프 FMECA 결과는 고장원인, 차량시스템 및 서브시스템 영향과 그림 24의 위험발생빈도 및 심각도 기준을 적용하여 발생도=희박한, 심각도(안전)=경상, 심각도(서비스)=무시할만한 값이 도출되었고 심각도를 종합한 결과값은 1로 산출되어 치명도는 1.41이다. 판타그래프의 최종 위험도 등급 결과는 고장 평점 2미만으로 4등급 이다.



Fig. 23 신뢰성시스템 1호선 차종 VVVVF 현대 ADV 판타그래프 FMECA

위험발생빈도	등급(빈도)	발생	설명	데이터	최소치	최대치
VERYHIGHLY	매우 자주 발생하는	Has occurred frequently at specific location	특정장소에서 자주 발생하는 경우	10	100.00	1,000.00
FREQUENT	빈번한	Has occurred frequently in the railway line with	선로구간 내에서 자주 발생하는 경우	8	10.00	100.00
PROBABLE	있을적당한	Has occurred once or twice in the railway line	선로구간 내에서 1회 혹은 2회 발생하는 경우	6	1.00	10.00
OCCASIONAL	때때로	Has occurred many times in the industry	선로구간 내뿐만 아니라 관련 산업분야에서 다	4	0.10	1.00
LMPROBABLE	희박한	Unheard of in the industry	관련산업분야 내에 발생한 적이 거의 없는 경우	2	0.00	0.01
LMPROBABLE	희박한	Unheard of in the industry	관련산업분야 내에 발생한 적이 거의 없는 경우	1	0.00	0.01

위험심각도	구분	종류	데이터	설명	등급(심각도)	코드
CONSEQUENCE SERVICE	DISRUPTION TO LINE SERVICES	1	10분 미만	무시할만한	A1	
CONSEQUENCE SERVICE	DISRUPTION TO LINE SERVICES	2	10분 이상 20분 미만	경미한	A2	
CONSEQUENCE SERVICE	DISRUPTION TO LINE SERVICES	4	20분 이상 2시간 미만	중요한	A4	
CONSEQUENCE SERVICE	DISRUPTION TO LINE SERVICES	6	2시간 이상 8시간 미만	중요한	A6	
CONSEQUENCE SERVICE	DISRUPTION TO LINE SERVICES	8	8시간 이상 1일 미만	치명적인	A8	
CONSEQUENCE SERVICE	DISRUPTION TO LINE SERVICES	10	1일 이상	재난이 발생가능한	A10	
CONSEQUENCE SAFETY	경상	1	경상 없음	무시할만한	B1	
CONSEQUENCE SAFETY	경상	2	1명 이상 경상	경미한	B2	
CONSEQUENCE SAFETY	사망	1	사망 없음	무시할만한	D1	
CONSEQUENCE SAFETY	사망	6	1명 사망	중대한	D6	
CONSEQUENCE SAFETY	사망	8	2-10명 사망	치명적인	D8	
CONSEQUENCE SAFETY	사망	10	10명 이상 사망	재난이 발생가능한	D10	
CONSEQUENCE SAFETY	홍상	1	홍상 없음	무시할만한	C1	
CONSEQUENCE SAFETY	홍상	4	1명 이상 홍상	중요한	C4	

Fig. 24 신뢰성시스템 위험발생빈도 및 심각도 기준

마지막으로 주기최적화시스템의 신뢰성정보관리 단위시스템에서 산출한 기준신뢰도, MTBF, 고장건수 등 정보를 활용하는 인공지능경망관리는 그림 25에서와 같이 인공지능경망 알고리즘을 적용하여 1호선 차종 VVVF 현대 ADV 판타그래프 차량 부품의 신뢰도 및 민감도를 계산 후에 판타그래프 고장에 대한 하위 부품의 압력스위치 및 습관체의 신뢰도 변화에 대한 압력스위치 변경신뢰도=0.1314153 및 습관체 변경신뢰도=0.0012888, 예상 압력스위치 MTBF=6255.6 hr, 습관체 MTBF=6.4, 압력스위치 예상고장건수=3, 습관체 예상고장건수=31395.1의 값을 도출한다. 최종적으로 판타그래프 신뢰도=0.279591 값을 산출한 결과값은 전동차 차량 부품의 최적의 정비주기 산출을 위한 기본 정보로 사용된다. 현재 최적정비주기관리시스템은 목표신뢰도, 예방정비비용, 고장정비비용 정보 및 장치부품의 신뢰도 정보를 활용한 최적 예방정비주기 업무를 도출하기 위한 절차 및 시스템 구축을 준비 중이다.

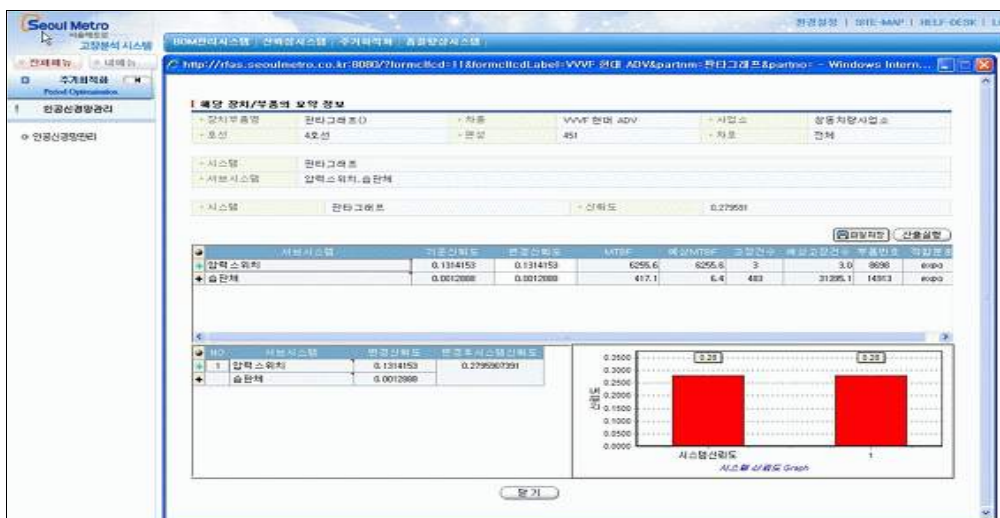


Fig. 25 주기최적화시스템 1호선 차종 VVVF 현대 ADV 판타그래프 인공지능경망관리

3. 결 론

본 연구에서는 서울메트로 RCM 기반 7개 공종별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 시설물을 관리하는 고장분석시스템과 전동차 차종별 주요장치와 차량 부품의 최적 유지관리를 지원하는 차량고장분석시스템의 소개와 구축 효과를 조직, 업무프로세스, 시스템측면으로 분류하여 고찰하였다.

현재 철도시설물은 시스템을 구성하는 각 설비들에 대한 유지보수 종류, 시간 및 비용 등을 결정짓는 유지보수 정책결정의 중요성이 점점 강조되고 있고 시설물의 전 수명 주기 동안 무한 책임 요구와 관련 표준 제정이 가시화 단계이다. 그러므로 경제적 측면으로 볼 때 잦은 철도시설물 고장은 막대한 비용을 초래하므로 이에 대한 경제적 손실을 최소화하고 유지보수 비용 절감이 필요하며, 고객 측면으로 볼 때 승객으로부터 신뢰를 쌓고 안전한 철도 운영 서비스를 확대 공급해야 하고, 기술적 측면으로 볼 때 철도 시설물의 신뢰성 향상 및 안정성 확보와 시설물의 생애주기를 고려한 체계적인 관리가 요구된다.

향후 철도시설물 고장분석시스템을 더욱 발전시키기 위해서는 첫 번째로 철도시설물 전체 수명주기 비용(LCC : Life Cycle Cost)을 고려하여 전체 유지보수 비용을 예방정비 비용과 사후정비 비용을 구분하여 유지보수 비용 산출 체계를 선행적으로 마련하여 RCM 시스템과 연계하여 유지보수 점검 및 교체주기를 산출해야 한다. 두 번째로 7개 공종별(전기, 신호, 통신, 전자, 궤도, 기계, 건축) 시설물 고장분석시스템과 차량고장분석시스템과의 연계방안을 고려하여 서울메트로 전체 시설물에 대해 BPM 기반으로 상호연관성을 갖고 복합공종간의 유지보수 정책 수립의 일관성이 가능하도록 시스템을 구현해서 경영진에게 철도시설물 점검 주기 및 교체 변경 내역과 변경 유지보수 비용 정보를 경영자정보시스템을 통해 실시간으로 제공해야 한다. 마지막으로 RCM 기반 유지보수 업무가 사내에 적용 및 확산될 수 있도록 제도적으로 철도 시설물 분석대상 선정 방법, 분석 및 평가방법, 비용효과 분석과 유지보수 점검 및 교체 주기를 결정할 수 있는 절차를 사규 및 관리지침으로 제정하여 시행해야 한다.

참고문헌

- [1] 서울메트로, “시설물 고장분석시스템 구축 완료보고서”, 2011.12
- [2] 서울메트로, “차량 고장분석시스템 구축 완료보고서”, 2012. 6
- [3] 서울메트로, “2011년 경영실적 보고서”
- [4] 정관수, “RCM 기반 철도시설물 고장분석시스템 구축”, 2011 한국철도학회 추계학술대회 논문집
- [5] 신국호 등, “도시철도 중심의 RCM 적용에 관한 연구”, 2011 한국철도학회 추계학술대회 논문집
- [6] 송기욱 등, “RCM 기반 설비 고장 예측시스템”, 2010 대한기계학회논문집 A권, 제34권 제9호 pp.1281-1286
- [7] 이창환 등 “철도차량의 RCM 분석을 위한 유지보수비용 산출방안”, 2008 한국철도학회 춘계학술대회 논문집
- [8] 김종운 등 “철도시스템의 RAMS 중심의 유지보수 정책 결정을 위한 개념적 절차”, 2008 한국철도학회 논문집 제11권 제1호 pp.19-25