

국내 RCM 추진 현황과 발전 방향



최용운
서울도시철도 차량처장
공학박사
T.02.6311.2320
choiyongun2004@hanmail.net

1. 서론

1974년 8월 15일, 서울의 지하철 1호선이 개통된 이후 약 40년이라는 시간이 흘러, 정비방법도 시간지향 정비방법(TDM)에서 각각 운영기관에 맞는 정비방법으로 발전하여 왔다. 우리나라의 전동차 정비방법의 근거는, 2005년 1월 1일 제정된 철도안전법 제26조 제1항 및 제2항에 근거를 명시하고 있다. 그에 대한 주요내용은 운행되는 차량에 대한 안전기준 요구와 운영자의 정비 및 점검에 대한 유지·관리 내용이다.¹⁾ 이에 각 운영기관에서는 운영환경에 맞는 정비방법을 적용하여 왔으며, 현재는 RCM 기법을 적용하기 위해 많은 노력을 하고 있는 실정이다.

본고는 RCM의 기본 절차와 서울도시철도공사(SMRT)의 RCM관련 전동차(EMU) 정비체계 관련하여 우리공사에서 추진한 내용을 소개하고자 한다.

1.1 RCM 정의

정비 철학(정비 상식의 조직화)의 조직화 이다. 이는 기존 하드웨어적인 관점에서, 시스템의 기능면을 우선 고려하는 정비방식이다. 기능은 고장 날 수 있으므로 적정하고 효과적인 방식의 예방정비의 시행으로, 고장이 발생하기 전 안전과 경제성을 고려하여 대처하는 것이다. 이전 정비방식들과 비교해 볼 때, RCM의 수행 절차의 관점(목표)은 하드웨어(설비)가 아니고, 철저하게 시스템의 기능면을 분석하여 최적의 정비방법을 도출하는 것이다.

1.2 RCM 절차

RCM의 각 수행 절차의 목적은 ‘기존의 정비 프로그램을 최적화 하거나 또는 새로운 정비 프로그램을 수립하기 위한 체계적인 접근 방법’ 이라고 할 수 있다. RCM 수행 절차는 문헌에 따라 다소 다르나, 예방정비관련 업무를 보다 합리적으로 판단하기 위해서 표1과 같이 논리적 순서를 밝

표 1. 대표적인 RCM 절차 매뉴얼

구분	IEC 60300-3-11	NAVAIR 00-25-403	MIL-STD-2173
정의	효율적인 예방보전업무를 식별하고 보전 업무 간격을 수립하기 위한 체계적인 접근 방법	효과적인 운영을 보증하기 위한 활동을 식별하고 예방정비 요구사항을 결정하기 위한 프로세스	장비의 고유 신뢰도를 달성하기 위해 예방 정비 업무를 선택한 규율된 논리 또는 방법론
절차	① 정보수집 ② 시스템 식별 ③ 시스템 선정 ④ 장치 선정 ⑤ 아이템 선정 ⑥ 업무선정 ⑦ 업무적용	① 계획수립 ② 장치구분 ③ FMEA ④ 장치선정 ⑤ RCM 업무평가 ⑥ RCM 업무선정 ⑦ 업무 실행	① 장치구분 ② 기능분석 ③ 아이템 선정 ④ FMEA ⑤ RCM 결정로직 ⑥ 업무평가 ⑦ 업무실행

으면서 접근하는 것이다. 즉 대상 계통(system), 부계통(Sub-system)으로 구분한 후 그들의 기능(Function)을 정의하고 기능 수행에 중요한 기기 고장모드를 식별한다.

1.3 특징²⁾

1.3.1 기능을 유지하라(어디서-요소)

현재 PM 계획 접근에 영향을 주는 “모든 설비의 중요성을 갖는다”는 이전 정비방식의 가정이 아닌, “어떤 설비가 그 기능과 관계가 있는가?”를 체계적인 단계를 거쳐 결정하게 된다.

1.3.2 기능을 마비시키는 고장 양상을 확인하라(무엇이-고장양상)

고장을 발생시킬 수 있는 양상을 정확히 식별함으로써 하드웨어(설비) 요소를 변화시킬 수 있다.

1.3.3 고장양상을 통하여 필요 기능의 우선순위를 정하라(어떤 순서로-로드맵)

“모든 기능은 동일한 태생을 갖지 않는다.” 따라서 모든 기능고장과 그와 관련된 요소 및 고장 양상은 같을 수 없다.

1.3.4. 가장 우선하는 고장 양상에 대해 적용 가능하고 효율적인 예방정비를 선택하라(효율/적용가능-대처방법)

고장발생 방지, 완화, 징후 발견, 숨겨진 고장 발견 대책 등을 선택하는 것이다.

1.4 효과

성공적인 RCM 절차의 적용은 그림1과 같이 위험 요소

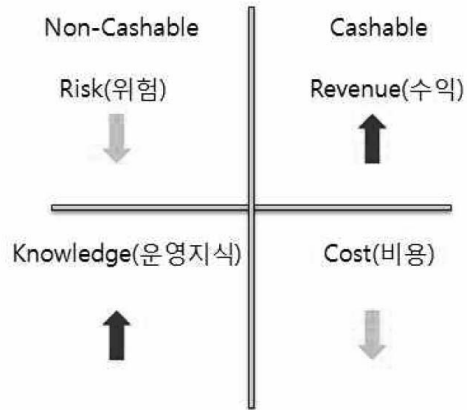


그림 1. 성공적인 RCM의 가치

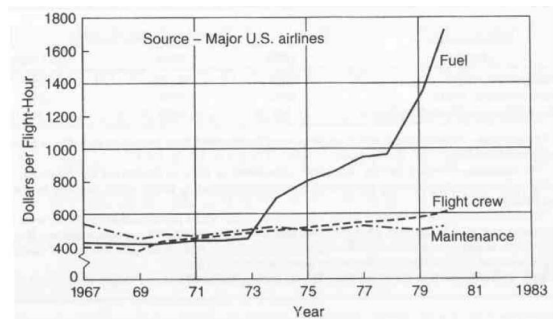


그림 2. 비행시간 대비 비용

는 감소되면서, 유지보수(사회적 간접비용 포함) 비용의 하락으로 수익이 증대되는 것을 확인할 수 있다.

또한 RCM에 의거한 성공적인 PM의 개발로 표 2와 같이 정비방식의 변화를 추구할 수 있어, 가용도 향상이라는 또 다른 목적을 달성할 수 있게 된다. 표2와 그림2는 신.구 여객기 RCM 적용에 따른 PM의 효과를 잘 보여준다.

표 2. 최적 PM 방식 개발에 의한 이익

Type of PM	Required Using Traditional Approach	Required Using RCM
Structural inspections	4,000,000 hours for DC-8	66,000 hours for B747
Overhaul	339 items for DC-8	7 items for DC-7
Overhaul of turbine engine	Scheduled	On-condition(cut shop maintenance costs by 50% compared with DC-8)

대량수송 점보제트기가 도입되던 1970년대에, 중동의 석유 봉쇄와 맞물려 항공사는 운용비용 증가로 인한 재정적 어려움에 직면 하였지만, 신뢰도 중심의 정비(RCM) 방법 도입으로, 시간당 유지보수 비용을 오일 쇼크 이전과 비슷하게 유지할 수 있었다. 즉, 대량수송 으로 인한 영업비용이 증가 했고, 점보제트기의 유지보수 비용이 감소하면서 연료비의 상승에 대응할 수 있었던 것이다.³⁾

이는 신뢰도를 최대한 보장하면서 정비시간(가용도) 및 비용저감 효과를 가져 온 결과물 이라 할 수 있다.⁴⁾

2. 신뢰도 중심 정비(RCM 과정)

2.1 육조곡선의 오류

고장분포의 경우 표 3과 같이 주기적 예방정비가 필요한 장치보다는 우발고장의 형태를 갖는 부품의 비율이 높게 나타난다는 것을 확인할 수 있다.

보통 90% 이상의 장치가 육조곡선의 수명분포를 갖는다는 이전의 통념과는 달리, 정반대의 경향을 보여준다. 현장에서 RCM 추진을 위해, 모든 장치에 대한 분포를 확인한다는 것은 사실상 불가능하므로 주요장치에 대한 고장 분포를 확인하는 것이 꼭 필요할 것이다. 그렇지 못한 경우 적정하지 못한 정비방법에 의한 고장발생 확률이 더욱 증가되기 때문이다.^{5,6)}

표3을 부연설명 하면, 표4와 같이 고장분포가 A, B, C 패턴인 경우 주기정비를 시행하는 것이 타당하며, D, E와 F인 경우 조건부 정비(On-condition maintenance, 정기적인 점검 또는 시험을 시행하여 이상 유무를 판정하고 이상이 있는 곳이 발견되면 부품의 교환이나 수리 등의 적정한 조치를 취하는 정비방식) 방법을 이용하는 것이 유리할 것

2.2 RCM 과정⁷⁾

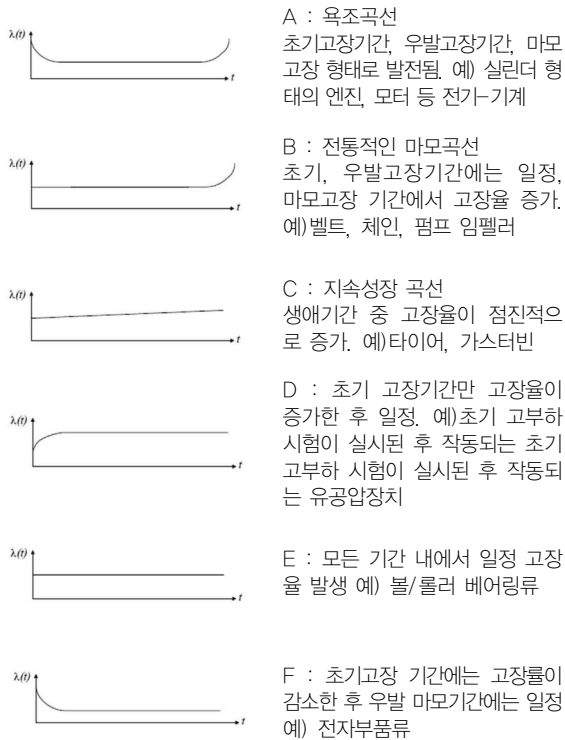
RCM 과정의 수행 목적은 설비의 유지가 아닌 기능 유지라는 관점을 확인하며, 설비고장이 아닌 기능고장 측면에서 어떻게 기능이 상실되었는지 살펴보는 과정이다. 궁극적으로 적합한 PM 작업을 수행하기 위해 신뢰할 수 있는 고장의 원인을 밝혀내는 과정이라 할 수 있다. RCM 과정에 대한 연구 문헌이 많이 존재하므로 본고에서는 간단하게만 확인하고자 한다.

- ① 시스템의 정의: 분석대상의 범위를 명확히 한다.
- ② 분석대상의 기능을 명확히 정의 한다.
- ③ RCM 절차를 수행하기 위한 가정과 기본 원칙 정의 한다.
- ④ 기능블록 다이어그램을 작성한다. (시스템의 설명, 기능 블록 다이어그램, IN/OUT 경계, 시스템 작업 분석 구조, 설비 이력)
- ⑤ FMEA(고장모드 영향도 분석)을 수행 한다.
- ⑥ 위험도와 관련하여 정비의 우선순위를 정한다.

표 3. 항공기 부품의 고장 분포 비율

구분	분포 특성	UAL 항공 1968	Bromberg 항공 1973	미 해군 1982	미 해군산하 SUBMEPP 2001
마모특성 주기적 정비 효과 있음	A : Bathtub curve	4%	3%	3%	2%
	B : Traditional view	2%	1%	13%	10%
	C : Slow age	5%	4%	3%	17%
우발고장특성 주기적 정비 효과 적음	D : Best new	7%	11%	6%	9%
	E : Constant Random failure	14%	15%	42%	56%
	F : Worst New	68%	66%	29%	6%

표 4. 부품 고장율의 분류



- ⑦ 이전 과정에서 걸리지 않은 고장 양상을 LTA 과정을 거쳐 추가 분류한다.
- ⑧ 고장발생 양상을 고려하여, 정비방법을 선택한다.
- ⑨ 선택된 정비방법에 대한 개발을 추진한다.

2.3 정비방법의 종류⁸⁾

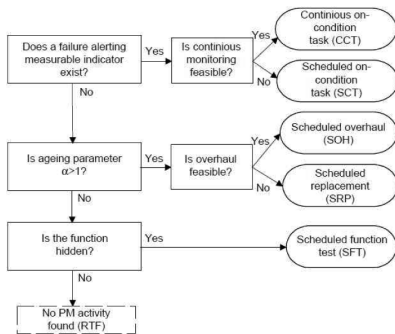


그림 4. RCM에 의한 유지보수 선정 방법

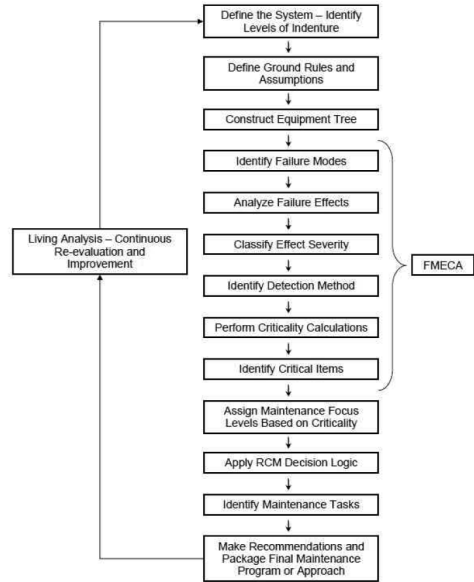


그림 3. RCM의 전형적인 절차

2.4 정비주기 선정방법

RCM 과정에서는 예방정비에 대한 최적화 정책에 관하여 많은 부분을 할애하고 있다. 이는 정비주기를 검토 없이 연장한 다고해서, 운영비용이 줄어들지 않으며⁹⁾, 고장이 추가로 발생되기 때문이다. 현재 RCM 과정에서 선정되는 예방주기 방법의 종류에는 다음과 같은 방식이 선호된다.

2.4.1 최소수리(Minimal repair policy)

Barlow와 Hunter에 의하여 처음으로 제안되었다. 최소수리란 증가 고장률을 갖는 시스템이 고장났을 경우, 이 시스템이 다시 작동하기 위한 최소한의 수리만 시행하여, 시스템이 수리 되었을 때의 고장률이 수리하기 직전의 고장률과 변함없이 해주는 것이다.¹⁰⁾ 예를 들어 마모 문제가 발생하게 되면 대상 마모부품만 교환하고 운행하면 된다.

2.4.2 일괄교체 방법(Block replacement policy)

예측된 장치의 수명시간 t_p 에 이르면 부품을 예방유지보수로 교체를 수행하고, 수명 t_p 가 되기 전에 고장 나면 교환 유지보수를 수행하는 방법으로 사용기간 중 시간당 정비비용이 최소가 되는 시점을 택하게 된다.

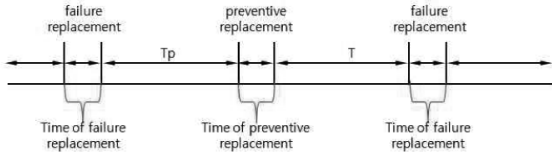


그림 5. 일괄교체 정책

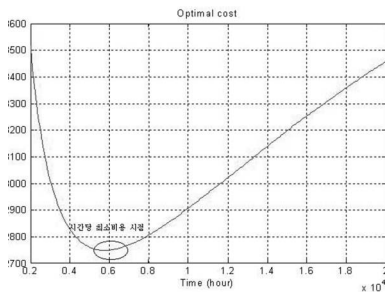


그림 6. 일괄교체에 의한 최소 비용 시점 검토 방법

2.4.3 기능시험(Functional testing)

기능시험 방법은 일정 주기로 시스템의 기능을 시험하는 방법이다. 일정한 고장률(λ)을 패턴을 보이다 고장이 발생하는 시스템에 대한 정비주기 선정방법이다.

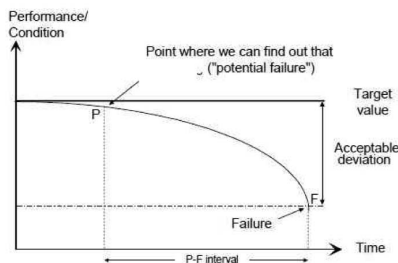


그림 7. 기능시험 방법

2.4.4 지속상태 감시(Continuous on condition task)

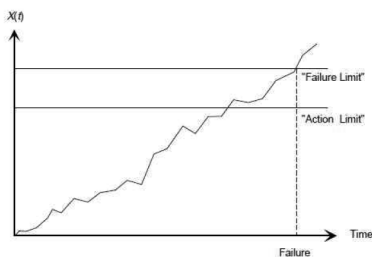


그림 8. 지속상태 감시 방법

고장을 발생시키는 특정 지수를 지속적으로 모니터링하는 방법이다.

2.5 RCM 적용의 어려움¹⁾

2.5.1 설비정비와 기능정비의 혼란

이전 주류를 이룬 정비의 개념은 항상 하드웨어 즉 설비였다. 하지만 RCM에서는 이와 같은 개념자체를 부정한다. 즉, 기능이 유지되어야 하는 것도 기능이라고 생각한다.

2.5.2 RTF(Run to failure) 문제

이전 정비방식과 비교해 볼 때, RTF 방식은 매우 낯설다. 특정장치가 고장 날 때까지 기다린다는 것은 기술자들에게 매우 곤혹스러운 정비방법이기 때문이다.

2.5.3 시간지향(Time-Directed) 정비, 상태기반(Condition Directed)와 고장추적(Failure finding) 정비의 대립

과거의 전형적인 시간지향 정비에서 벗어나지 못하는 이유는 RCM 측면에서 볼 때, 현장전문가들이 시간지향 정비가 상태기반 이나 고장추적 정비에 비해 PM 프로그램에서 가장 효과적이라고 생각하는 오류 때문이다.

2.5.4 고정관념에 대한 장애물

경험적으로 아무리 많은 비용과 시간이 투자되더라도 전통적인 정비방법을 실시해야한다는 맹신이 있다. 하지만 RCM은 모든 정비프로그램에서 이러한 맹신을 배제한다.

2.5.5 노동력 감축에 대한 오해

시스템에 대한 유지보수 비용을 줄일 수 있다면 일자리 역시 줄일 수 있다는 의미가 된다. 하지만 지금까지 RCM에 의한 인원 감축은 없다고 보고된다. 이는 RCM이 PM 과정 중 복잡한 해체 작업을 배제했기 때문이지만, 시스템 기능에 대한 분석과 장치의 검사에 대한 과학적인 기법 고안, 점검개소의 추가로 해소가 된다. 이는 RCM 과정을 위한 당연사항이다. 노동력 면에서 RCM은 적정 업무에 대한 분배이고, 재고자산 및 고장(사고)에 대한 간접비용을 줄이는데 목적을 갖기 때문이다.

표 5. 국내 검사주기 현황('13년 10월 기준)

기관별		검 증 별 검 사 주 기					
기관명	호선	경정비			중정비		
		출고	입고	일상	월상	중간	전반
서울도시철도	5~8	○	○	7D	4M(4만km)	4Y(40만km)	
서울메트로	1~4구 신	x('08)	○	3D	2M(3만km)	2Y(30만km)	4Y(60만km)
				3D	3M(5만km)	3Y(50만km)	6Y(100만km)
부산	1	○	x	3D	3M	2Y(30만km)	4Y(60만km)
	2~3			5D	4M	3Y(40만km)	6Y(80만km)
인천	1	x('09)	○	7D	4M	4Y	
대구	2	○	x('04)	5D	4M	3Y(40만km)	6Y(80만km)
광주	1	○	○	7D	4M(4만km)	3Y(40만km)	6Y(80만km)
코레일	저항	x	x	7D(2,500km)	2M(3만km)	2Y(36만km)	4Y(72만km)
	VVVF			7D3,500km	3M(4.5만km)	3Y(54만km)	6Y(108만km)
	'09.신규 반입차량			3,500km(평균5일)	6만km	72만km	144만km
공항철도	1	-	-	4,000km	2.4만km 10만km	60만km	
대전	1	○	○	2천km±15% (평균9일)	3만km±15% (평균120일)	4Y(40만km)	
메트로 9	9	○	-	6일 이내	3개월	4Y(60만km)	8Y(120만km)

2.5.6 인적 물적 자원의 조正文제

RCM에 의한 PM과정은 전형적으로 상태기반(Condition Directed)정비 방법과 고장추적(Failure finding)정비 방법을 도입하는 것으로, 신규설비와 기기에 대비한 인적자원의 교육과 물적자원(계측기류 구매 비용)에 대한 지출비용 등을 요구하게 된다. 하지만 정비에 사용되는 자재 감소와 고장으로 발생하는 사회적 간접자본 소요의 감소로 인한 효과가 비용을 절감하는 결과로 축적되고 정량화 된다.

3. RCM 국내 현황

3.1 검사주기 현황

국내 지하철 운영기관 검사주기 현황('13년 현재)은 국내 도시철도 운영기관의 검사주기는 표5과 같다. 운영기관의 검사주기는 전동차 도입당시 제작사에서 제시한 검사주기를 운영환경에 맞게 변경한 형태로 발전되어지고 있다.

3.2 RCM tool 도입현황

3.2.1 도입 시기 및 주요 분석기법의 경우 표6과 같다.

표 6. RCM tool 분석 기법

기관명	RCM tool 명칭	시행 시기	주요 능력	적용 기법 또는 도구
서울도시철도	신뢰성관리시스템	'13.12월 이후	RCM 및 통계관리	형상관리, FMEA, LTA
서울메트로	RFAS	'12.6.21	RCM	FMECA, FBD,RDB
대구	DRIMS	'13.9(시험가동중)	RAMS, RCM 등	FMEA, FMECA
코레일	KTX-RCM	'04.04.01		MKBSF
	KOVIS-RCM			RAMS
공항철도	차량검수정보 시스템	'07년 개통~(단, RCM 분석기법은 2009년 구축)	RCM, 비용분석(차량)	FMEA, FMECA, FTA, LTA
메트로 9	9호선 전동차	'10년 5월	RAM	-

3.2.2 특성

기관명	시스템 특성	문 제 점 또는 한계	향후 계획
서울도시철도	RCM 과정을 거쳐 대상 시스템의 신뢰성 정비대책 수립 가능	검수정보시스템과 이원화 RCM 전문가 부족	'13.12월 이후 시험 추진, 전문가 양성 교육 추진
서울메트로	검수정보시스템(RIMS)과 접목하여 사용	검수정보시스템의 데이터를 RCM 툴에 이전하는데 어려움 발생, FMEA의 기준이 명확하지 않음	RCM 도출사항을 운영에 적용 예정, 시스템 분석기능 향상을 위한 데이터 마이닝 기법 도입
코 레 일	차종별 대상시스템의 평균수명 산출 가능	전문조직 부재, 신뢰성 전문가 부족, 시스템 미구축	전문조직 구성, KOVIS 시스템 개선, 신뢰성 전문가 양성
공항철도	차량분야 외 신호, 통신 등 6대 기전시스템 신뢰성 관리, 정비데이터 활용과 통계 분석 가능	S/N 단위 부품 관리 시스템 미 구축, 수명분석을 위한 데이터 관리 불가(엑셀 관리 중) 신뢰성 관리목표 설정 및 달성 관리 기능 없음	RCM분석 내용이 주로 장치 개선 위주로 활용되었으나 점검항목/방법/주기 개선에 차츰 활용하고 있으며, 그 활용도를 더 높일 예정
메트로 9	-	운영사와 차량 유지보수사가 분리되어 있어 차량-타분야간 귀책구분이 어려움.	새로운 검수정보시스템구축/활용을 통한 KPI 및 고장 이력 관리중

3.3 RCM 기법 도입 추진 현황(SMRT)

특정 유지보수 업무를 도입하기 위해서 IEC 60300-3-14에서는 필요한 자원을 공급하기 위해 충분한 시간(Lead time)을 갖아야 한다고 당부한다. 이에 대한 대상은 다음과 같다. ①인력의 확인과 할당, ②예비품, ③정비지원 장비의 가용성 보장, ④운용, 보전, 안전과 환경적인 절차 및 작업계획, ⑤외부자원 확보 ⑥통신자원 ⑦필요한 훈련 제공

3.3.1 인적자원에 대한 대책 노력

표 8. RCM 도입을 위한 노력(인적자원)

구분	정비품질 확보를 위한 노력
직무기술교육 강화	⇒ 전동차 기술향상과 신기술 접목을 위한 위탁교육 확대(국내·외 선진기술 벤치마킹)
차량명장제도 도입	⇒ 정비기술력 및 고장조치 능력 향상을 위한 차량명장제도 도입(우수직원 발굴 포상 및 교관으로 활용)
책임검사제 정착	⇒ 검사의 책임을 명확히 하여 정비품질 향상과 평가에 반영(일상검사 1개조 : 5명 운영)
장애예방 평가제도 개선	⇒ 장애, 민원, 안전을 최우선으로 10개 항목 가중치 상향 조정

3.3.2 정비품 물품 품질확보 노력

표 9. RCM 도입을 위한 노력(물품)

구분	정비품질 확보를 위한 노력
노후화 물품 교체	⇒ 중장기(5년) 수급계획 수립, 구매예산 점진적 확대
전동차 수명연장 사전준비 작업 추진	⇒ 정밀진단, 개량(개조), 대수선 사업 등 추진계획 수립
반복고장 물품에 대한 운용 지침 마련	⇒ 장기 사용에 따른 노후화로 인한 고장 반복시(5회 이상) 불용처리 지침
원제작사 물품구매	⇒ 성능검증이 불충분한 국산품 가급적 사용 지양 외국산 순정품 구매 추진
순환예비품 품목 / 수량 조정	⇒ 현재 도어엔진 등 29종 1,098점 운영 중

3.3.3 정비품질 개선 노력

표 10. RCM 도입을 위한 노력(정비기법)

구분	정비품질 확보를 위한 노력
심화정비제도 도입	⇒ 차종별 고장 다발장치 위주로 점검항목 선정

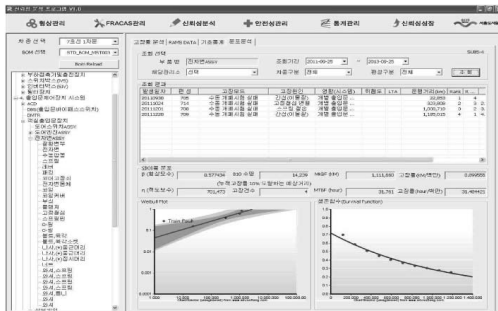
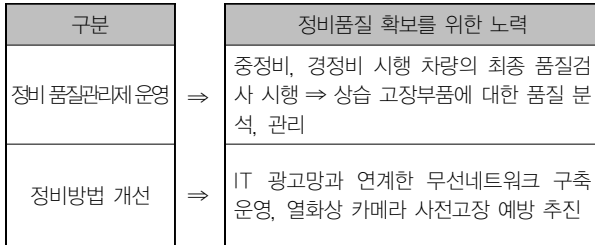
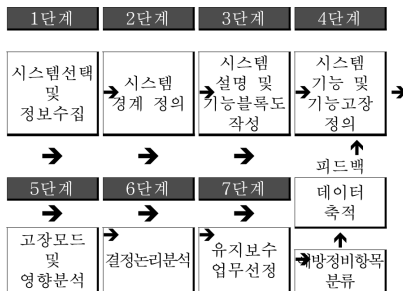


그림 9. 신뢰성 분석프로그램 화면

표 11. RCM 분석 절차



3.3.4 최적화된 RCM tool 도입 노력¹²⁾

운영환경에 맞는 RCM 과정을 수립하고, 필드데이터를 반영하여 RCM tool 제작 추진으로 '13. 12월 시범 시행을 목표로 하고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 국내외의 각 운영기관의 정비체계 현황을 확인해 보고, RCM 기법을 적용하기 위한 SMRT의 노력을 기술하였다. 하지만 RCM에 관한 철도분야의 연구는

아직까지도 미진한 실정이다. 그 결과 RCM이 “신뢰도 중심” 혹은 “신뢰도의 중시” 인가? 하는 논란과 마치 운영기관의 정비체계를 평가하는 척도로 받아들여지는 논란을 발생시키고 있다. 이는 RCM 관점대환 혼란으로 현장에서 여전한 문제가 되고 있는데, RCM의 적용은 목적이나 방향 면에서 정비방법이나 체계를 평가하기 위한 규정은 아니다 라고 말할 수 있다.¹³⁾ RCM은 복합시스템의 신뢰도를 확보하면서, 비용에 대한 효율성을 원칙으로 하고 있기 때문에, 철도차량의 운영환경에 맞는 RCM 프로세서를 개선·개발한다면 좋은 결과를 가져올 것으로 확신한다.

향후 SMRT의 효과적인 RCM 적용을 위해서는 RCM 기법에 관한 지속적인 연구와 상기와 같은 노력 등을 추진해야 될 것으로 본다. 신중하지 못하게 RCM을 적용하여 정비를 추진하였을 경우, 전동차의 안전성능 저하와 비용의 증가로 이어 질 수 있다는 학자들의 주장을 간과해서는 안 될 것이다.¹⁴⁾ 또한 이후 도출된 타당한 결과를 예방주기업무 결정에 반영하는 연구가 지속되어야 한다고 사료된다.

본 논문은 한국철도학회 기계분과위원회의 “철도차량 유지관리 최적화 연구회” 발표 자료입니다. ☺

♣ 참고 문헌

1. 철도안전법 제 26조
2. 김종걸, 김형만, 송정무(2010), “철도차량의 효과적 RCM 적용을 위한 연구”, 대한안전경영과학회, 2010년도 춘계학술대회, pp.573-585
3. 윤기봉, 최정우, 박교식, 김범신(2004), “세계적 수준의 유지보수 기술”, 윤기봉, 대가, pp.122-125
4. US army, “Technical manual, TM 5-698-2”, US army, pp.3-4
5. 방대선, 손석규, 정우균(2013), “전투장비 창정비 수행 최적화 방향”, 국방과 기술 2013년 7월호, pp.10-17
6. 윤기봉, 최정우, 박교식, 김범신(2004), “세계적 수준의 유지보수 기술”, 윤기봉, 대가, pp.107-112
7. US army, “Technical manual, TM 5-698-2”, US army, pp.3-4
8. M. Rausand and J. Vatn,(1998), "Reliability Centered Maintenance", Holland, pp.16-18
9. 한국철도기술연구원(2007), “RAMS 기반 철도차량 유지보수주기 산정기술 개발”, pp.78-79
10. 한성욱(1995), “정비시간을 고려한 최소수리/교체 모형에 관한 연구”, KAIST, pp.11-12
11. 윤기봉, 최정우, 박교식, 김범신(2004), “세계적 수준의 유지보수 기술”, 윤기봉, 대가, pp.285~292
12. 도시철도공사(2013), “신뢰성 추진현황 보고”
13. 권중근(2008), "RCM과 약식 RCM", 대한기계학회지, 48권, pp.47-51
14. 이호영, 한석윤, 박기준, 배철호, 서명원(2004), "도시철도 유지보수 예방 정비체계 구축 방법론에 관한 연구", 철도저널 제7권 제3호, pp.245-250