

# 고무차륜 AGT 차량의 신뢰성 중심 유지보수(RCM)에 관한 연구

## A Study on Reliability Centered Maintenance of AGT Vehicle System

한석윤<sup>1</sup> · 하천수<sup>2</sup> · 이한민<sup>3</sup>

Seok-Youn Han · Chen-Soo Ha · Han-Min Lee

### Abstract

This paper is concerned with the reliability centered maintenance (RCM) of the Automated Guideway Transit (AGT) vehicle system. Korea Railroad Research Institute (KRRRI) has developed the AGT vehicle system from 1999 to 2004. The provisions for a specific maintenance system including RAMS (reliability, availability, maintainability & safety) of AGT vehicle system is necessary for maintaining good operation conditions. RCM is a process used to determine what must be done to ensure that any system continues to do whatever its users want it to do in its present operating conditions. Therefore, we introduce RCM in details and describe how RCM should be applied to AGT vehicle system on Gyeong-San test line. Analyses to approach RCM to AGT vehicle system are demonstrated in the seven steps that contain each main task and detailed operating conditions.

**Keywords** : AGT(Automated Guideway Transit) vehicle system(무인자동운전 차량시스템), RCM(reliability centered maintenance)(신뢰성 중심 유지보수), RAMS(reliability, availability, maintainability & safety)

### 1. 서론

고무차륜 AGT 시스템은 차량, 신호, 전력공급, 선로구축물 등으로 결합된 매우 복잡한 구조를 가진 대형시스템으로서 기존 철도차량 시스템과는 달리 무인운전(driverless)과 자동운전 운행에 따른 신뢰성과 안전성의 확보가 중요하며 이를 유지할 수 있는 유지보수 체계의 확립이 무엇보다도 필요하다. 도시철도 차량과 같이 복잡한 대형시스템의 경우 운영 및 유지보수에 소요되는 비용은 수명주기비용(life cycle cost)의 60% 정도를 차지할 정도로 유지보수비가 전체 운영비에 미치는 영향이 크므로 효율적인 운영, 유지보수체계의 구축을 통하여 유지보수 비용의 절감을 추구하는 일이 무엇보다도 중요하다[1].

국내의 도시철도 차량의 경우 예방정비를 통해 사고를 사전에 예방하고 차량의 가용도를 향상시키기 위해 노력하고 있다. 그러나 이러한 유지보수 활동은 검수규정집에서 정한 주기에 따른 검수정비로서 제품의 품질에 따른

신뢰도를 반영하고 있지 않아 최근 빈번하게 발생하고 있는 도시철도 시스템의 대형사고들과 같이 고장 및 사고의 근원적인 예방에는 미흡한 실정이다.

신뢰성 중심 유지보수(reliability centered maintenance, 이하 RCM)체계는 항공사, 미 해군의 항공기, 원자력 발전소 등 안전성이 주요 초점이 되는 시스템에서 주로 적용되어 온 유지보수체계로서 철도의 안전성 향상을 위해서는 매우 유용한 기법이다. 따라서 국내 최초로 개발된 무인운전 고무차륜 AGT 차량에 맞게 적용하여 시스템을 구축하면 안전성이 크게 향상될 것이다. 이를 위해서는 시험선의 신뢰성 시험계획에 따른 시험운행 결과를 적절하게 활용하여, 고무차륜 AGT 시스템의 신뢰성 기법의 정립, 고장정보 관리체계의 구축, 신뢰성 관련 자료의 DB 구축, 고무차륜 AGT 시스템의 종합 측정시스템 완성 등의 AGT 시스템의 안정화 및 실용화를 위한 기반기술의 확보가 이루어져야 한다.

개발된 차량시스템이 성공적으로 운행되기 위해서는 성능의 입증 뿐만 아니라 시스템을 안정화시키고 신뢰성을 확보하는 노력이 필요하다. 한국철도기술연구원(이하 KRRRI)에서는 1999년부터 고무차륜 시스템을 개발하여 현재 제작을 완료하고 2004년 7월 현재 경산 시험선에서 종합시험 평가

1 정회원, 한국철도기술연구원, 도시철도기술개발사업단장  
2 한국철도기술연구원, 경량전철연구팀, 공학박사  
3 정회원, 한국철도기술연구원, 경량전철연구팀, 주임연구원

를 위한 기초 시험을 진행중에 있다. 시험선에서의 종합시험평가는 계획된 시험운행을 통한 신뢰성 시험자료를 이용하여 신뢰성 평가 및 추후 사용 신뢰성에 대한 예측분석이 필요하다. 또한 복잡하고 동적인 종속관계의 다양한 설비와 하위 시스템으로 이루어진 복합시스템인 고무차륜 AGT 차량시스템의 경우에 신뢰성 관리체계, 특히 개발 시스템에 적합한 유지보수 활동의 실시는 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 먼저 국내의 도시철도 운영기관의 유지보수 현황과 국제규격 및 RCM에서 요구하는 사항들을 조사분석하고 고무차륜 AGT 차량시스템을 경산 시험선에 운영할 경우 신뢰성 중심 유지보수 적용방법론에 대하여 연구하고자 한다.

## 2. 도시철도의 신뢰성 관리체계 및 현황

### 2.1 도시철도의 신뢰성 평가시 특징

먼저, 고 신뢰성과 안전성을 갖추어야 하는 도시철도와 같은 수송 시스템의 신뢰성 평가시 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 시스템의 규모가 크고 매우 복잡한 구조를 갖는다. 전체 시스템에 관한 신뢰성 평가가 용이하지 않으므로 초기 개발단계에서부터 신중하고 체계적인 신뢰성 관리체계가 절실히 요구된다.
- 2) 고장발생시 치명적인 인명피해가 발생할 가능성이 큼으로 신뢰성과 안전성이 매우 중요하다. 따라서 개발단계에서 고장모드 및 영향분석(FMEA), 치명도분석, 고장체계분석(FTA) 등의 신뢰성 기법 등을 활용하여 고장해석을 실시한다.
- 3) 유용한 교통수단으로 가용도가 높은 시스템은 유지보수 활동에 중점을 두고 신뢰성 관리체계를 구축한다(즉, 예방보전(PM) 뿐만 아니라 사후관리, 사용 신뢰도에 초점).
- 4) 신 교통 시스템의 개발시 시험차량의 수가 매우 제한적이고, 시험시간과 시험비용이 크게 소요되므로 시뮬레이션 평가를 많이 실시하거나, 시험선을 제작하여 비교적 충분한 시험운행을 실시하여 잠재적 고장모드와 고장메커니즘을 파악한다.

### 2.2 국내 도시철도의 주요 유지보수 활동 현황

다음 Table 1은 국내 도시철도 운영기관에서 시행중인 도

시철도 차량의 주요 유지보수 활동 내용을 정리하였으며, 일반적으로 실시하고 있는 안전관리 내용은 다음과 같다.

- 자동 열차제어 장치, 열차 자동(비상)정지 장치
- 기관사(운전요원) 안전장치 · 출입문 안전장치
- 열차운행 종합제어시스템 · 열차 무선통신
- 승객안전관리(자동안내방송, 열차출발 경고음, 행선 안내, 비상인터폰 등), 승강장 경보등
- ITV(화상설비, 감시 모니터)

Table 1. 국내 도시철도의 유지보수 활동 현황

유 지 보 수 활 동			
정기 검사	경정비 업무	도착점검	· 인천(7일) · 부산1호선 (2일, 1000km)
		출고점검	
		3일검사(일상)	
		3월검사(월상)	
중정비 업무	3년 or 40만km	· 인천(4년, 40만km) · 부산1호선 (2년, 30만km) (4년, 60만km)	
	6년 or 80만km		
비정기 검사	임시 검사		
	특별 검사		
	차륜교환검사		
	인수 검사		

도시철도에서는 Table 1과 같은 유지보수 활동과 안전관리를 추구하고 있지만 이용승객의 수, 사용환경, 시스템 특성 등을 고려하기보다는 기존의 방식을 주로 답습하는 수준으로 관리되고 있고 각 대도시별로 검사주기, 방법, 인력 등이 상이하고 차량정비에 관련된 이력도 2~6년내에 폐기되는 실정이므로 차량정비정보 DB화 등 차량정비체계 개선이 필요하다. 이를 실현하기 위해서는 차량자동검수장치 등 장비의 현대화, 정비작업 표준화, 유지 관리 정비기록의 정보화 등을 통해 차량정비 효율화를 추진해야 한다.

최근 5년간(1998~2002년)의 도시철도 주요 통계지표 중에서 신뢰성에 관련된 운전장애 건 수를 Table 2에, 운전장애의 원인분석 결과를 Table 3에 정리하였다[2].

Table 2와 3의 통계자료를 간단하게 살펴보면 도심의 중요 교통수단으로서의 도시철도의 운전장애가 여러 가지의

Table 2. 운전장애 (단위:건)

구 분	1998	1999	2000	2001	2002	계
운전장애	88	101	88	106	75	458

주) 운전장애는 10~20분 운행지연, 인적피해는 없음.

1) 경산 시험선 : 고무차륜 AGT 전용시험선으로서 완전 무인자동운전이 가능하며 총연장 2.38km이며, 본선, 측선, 대피선으로 구성되어 있음.

Table 3. 운전장애의 원인 분석 (단위:건)

제질 불량	제질 노후	시공 불량	보수 불량	제작 결함	취급 부주의	검수 불량	외부 요인	기타	계
81	61	6	30	51	24	34	51	120	458
18%	13%	1%	7%	11%	5%	8%	11%	26%	100%

원인에 의해서 대략 연평균 92건 정도가 발생하고 있으며, 특히 외부요인과 기타 원인 등을 제외한, 도시철도 시스템에 대한 체계적인 신뢰성과 보전성 관리에 의해서 미리 예방이 가능한 고장발생 건수가 상당히 큰 비중을 차지하고 있음을 파악할 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 건설교통부에서는 최근까지의 철도관련 통계자료를 분석하여 지하철·철도 사고를 2007년까지 지하철 사고 30% 감축하는 것을 목표로 안전대책을 마련하였으며 주요 두 가지 목표는 다음과 같다[2].

- 1) 열차 주행 1백만km당 열차·화재·설비사고는 최근 평균 0.3건에서 2007년까지 0.2건으로 감소시킨다.
- 2) 지하철사고 사망자수는 최근 평균 46명에서 2007년까지 평균 32명으로 감소시킨다.

도시인구 주요 이동수단인 도시철도시스템은 안전이 무엇보다도 중요시되는 시스템으로, 시스템 전반에 걸쳐 신뢰성 확보가 매우 중요하다. 유지보수 활동은 시스템의 사용 신뢰도를 목표값으로 유지하는 제반활동으로서 운영신뢰도의 목표값은 안전이 우선시 되는 시스템의 경우 목표값을 매우 높은 수준으로 설정하는 경향이 있으며, 이에 따른 비용발생은 크게 증가한다. 신뢰도의 목표값이 높을수록 안전한 시스템이지만 이것은 막대한 비용발생과 직결되기 때문에 적절한 경제성 평가가 필요하다. 특히 국내에서 개발될 고무차륜 AGT는 무인운전 방식으로 운행하게 되므로 승객을 안전하게 수송하기 위해 유지보수에 많은 노력을 하여야 한다.

### 2.3 철도 및 신뢰성에 관한 국제 규격의 동향

본 절에서는 철도와 신뢰성에 관련된 몇 가지 국제규격의 동향을 살펴보고자 하며 이에 대한 내용을 간략하게 설명하였다.

- 1) IEC 62278(EN 50126)은 RAMS에 관한 규격이다. 이 규격은 철도전체를 대상으로 하고 있으며, 대상이 되는 시스템의 위험요인을 찾아 리스크 해석을 수행하고, 필요한 RAMS를 확보하기 위한 수명주기를 정하여 각 단계

- 에서 실시해야 할 업무 및 내용 등을 규정하고 있다[3].
- 2) IEC 300(Dependability management)은 의존성 분석 기술로서 시스템의 RAMS 측정의 재검토와 예측을 위해서 사용된다. 의존성 분석은 한 시스템 또는 한 설비의 의존성 척도를 평가하거나 결정하기 위해서 다양한 시스템 수준과 세부 항목의 정도에서, 주로 개념과 정의 단계, 설계와 개발 단계, 그리고 운영과 유지보수 단계 동안에 수행된다[4].
  - 3) IEC 62280(EN 50128)은 소프트웨어에 관한 규격으로서 수명주기에 있어서 안전성 확보를 위한 요구사항과 그 요구사항이 충족되어 있음을 명확하게 하는 과정을 규정하고 있다[5].
  - 4) EN 50129는 아직 IEC 규격으로 등록되지는 않았으나, 신호시스템의 인가 및 도입을 위해 필요한 안전성 요건과 그 문서관리에 대해서 규정한 것이다[5].

이상의 국제규격에서는 신뢰성과 안전성을 확보하기 위하여 수명주기의 각 개발 및 진행 단계에서 업무와 내용을 요구함과 동시에 문서로 정리할 것을 요구하고 있다. 따라서 본 연구에서는 IEC 62278의 RAMS에 관한 규격에서 언급하고 있는 신뢰성, 보전성 등의 기술적 수준을 고려한 고장정의와 영업선으로의 확장시 서비스 품질을 최대화 할 수 있도록 개발 시스템의 최적 유지보수를 수립하기 위한 방법론을 제시하고자 한다.

## 3. 신뢰성 중심 유지보수

1930년대 이후에 유지보수는 제 3 세대로 발전하고 있으며 RCM은 제 3 세대 유지보수의 주춧돌이라고 할 수 있다. 제 1 세대의 유지보수 정책은 시스템이 간단하고, 대부분 과 설계 되어 충분한 안전계수를 갖게 되어 신뢰성을 확보하였고 수선이 용이하였다. 1950년대 이후 모든 종류의 시스템이 크고 복잡하게 되므로 제 2 세대 유지보수는 시스템의 운행정지가 큰 문제가 되므로 시스템의 고장이 예방될 수 있는 예방정비(PM, preventive maintenance)의 개념을 갖게 되었다. 1970년대 중반이후로는 기계화와 자동화의 증가로 인하여 시스템의 신뢰성, 가용성 그리고 안전성에 주요 관심을 갖게 되었으며 새로운 개념과 기술이 유지보수 분야에서 크게 성장하였다. 제 3 세대의 새로운 기술은 위험분석, FMEA, 전문가 시스템과 같은 결정을 지원하는 도구들, 신뢰성과 보전성이 더 높은 시스템 설계 등이다[6].

따라서 본 연구에서는 제3세대의 유지보수 방법론으로 크게 관심을 집중되고 있는 RCM에 대하여 소개하고 이를 활

용한 고무차륜 AGT 차량시스템의 유지보수 시스템의 구축을 위한 방법을 제시하고자 한다.

### 3.1 RCM의 정의

다음 Table 4에는 RCM의 정의와 절차, 장점 및 효과에 대하여 간단하게 정리한 것이다[7,8].

Table 4. RCM의 정의, 절차(기본 질문), 장점, 효과

구분	내용
정의	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 경험위주의 유지보수 방식에서 고장모드 및 메커니즘을 파악하여 고장영향과 결과를 평가한 후 최적의 유지보수 방식을 선택하는 것.</li> <li>· 정비 업무가 필요한 설비에 대하여 기존의 정비 프로그램을 최적화하거나 또는 새로운 정비 프로그램을 수립하기 위한 체계적인 접근방법.</li> </ul>
절차 : RCM의 기본 질문	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 장비 · 시스템의 기능과 성능 기준(Functions &amp; Performance Standards)</li> <li>2. 기능적 고장(Functional Failures)</li> <li>3. 고장 모드(Failure Modes)</li> <li>4. 고장 영향(Failure Effects)</li> <li>5. 고장 결과(Failure Consequences)</li> <li>6. 사전 업무(Proactive Tasks) : 계획된 복원, 폐기, 조건별 작업 등</li> <li>7. 디폴트 업무(Default Tasks) : 결함발견, 재설계, 계획이 없는 유지보수 등</li> </ol>
장점	어떤 사전 작업이 기술적으로 타당하고 얼마나 자주 수행되어야 하며 업무 담당자 결정에 있어 간결, 정확 그리고 쉽게 이해되는 기준을 제공한다.
효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 안전성 향상과 환경 보전</li> <li>· 향상된 운용성능(산출물, 제품품질과 고객서비스)</li> <li>· 유지보수 비용 유효성 향상</li> <li>· 고가 부품의 유효수명 증대</li> <li>· 이해가 쉬운 DB, 업무 담당자에게 동기부여 등</li> </ul>

### 3.2 RCM 해석의 단계

RCM은 고장해석 방법이 아니고 시스템을 구성하고 있는 부품에 예상되는 다수의 고장 가운데 어느 것이 시스템에 중대하고 그 치명도는 어느 정도 되는가를 평가해서 가장 적절한 예방보전 방법을 선택, 실행하는 방법이다. 그리고 RCM 방법은 시스템 기능을 해석하므로써 기능 고장의 원인이 되는 하위 부품의 상위 부품에 대한 영향을 논리적으로 평가하여, 기대하는 기능, 즉 안전성과 경제성에 미치는 영향을 고려해 가면서 적용가능하고 효과가 있는 유지보수 방식을 체계적으로 선출해 내는 유지보수 관리시스템이다.

RCM 방법을 크게 분류해 보면 신뢰성 해석부분과 유지보수 작업 결정부분으로 분류되고, 전자는 해당 기기의 중요도를 평가하고, 후자는 자료를 근거로 하여 적절한 유지보수 작업을 결정한다. 또한 시험선에 RCM의 방법을 이용

한 유지보수를 수행할 경우에도 각 진행 단계에서 활동내용 및 자세하고 명확한 문서화가 필요하다.

다음 Table 5에는 참고자료 [9]에서 인용한 RCM 해석의 단계별 주요 내용 및 업무, 활동내용을 AGT 차량시스템에 적용하여 정리한 표이다. 음영처리된 부분이 시험선 AGT 차량시스템에 구체적으로 적용되는 단계별로 구분한 부분으로써 각 단계에 대한 활동내용을 참조하여 수행하면 된다.

현재 KRRRI에서는 Table 5의 내용 중에서 제 1, 2 단계의 업무정도가 체계적으로 수행되고 있고, 제 3 단계에서부터 제 7 단계까지는 계속해서 활발한 연구를 수행 중에 있다. 그리고 RCM에 기초한 신뢰성 관리체계가 구현되는 구체적인 결과는 2004년 8월부터 시작되는 종합시험평가에서 차량의 운행정보와 2005년에 시험운행 및 검수, 고장, 유지보수 자료를 획득하여 분석 및 평가하므로써 본격화 될 전망이다.

## 4. 고무차륜 AGT 차량의 신뢰성 중심 유지보수 단계의 적용

본 장에서는 3장에서 설명된 RCM 기법을 2004년 7월에 운행되는 시험선(고무차륜 AGT 차량, 2량 1편성)에 적용하는 과정을 기술하고자 하며 전체 시스템 중에서 특히 차량 시스템을 중심으로 살펴보고자 한다.

### 4.1 제 1 단계 : 기초자료 작성

고무차륜 AGT 시스템의 이용 승객이 접하게 되는 주된 인터페이스인 차량 시스템은 무엇보다도 신뢰성과 안전성이 중요시되는 하위 시스템이다.

이미 개념, 설계 단계에서 차량 시스템의 정의와 차량에 관련된 구성도(1) 차량시스템 구성도, (2) 차량의 신호시스템 구성도, (3) 차량의 제어구성도 등) 등이 세부적으로 명확하게 작성되어 있으며, 이후에 고장모드 및 영향분석과 같은 신뢰성 평가에서 잘 활용할 수 있도록 문서화하여 보관하도록 한다[10]. 또한 주요 연구대상인 차량 시스템 이외에도 각 하위 시스템인 신호, 전력공급, 선로 구축물에 대한 구성도와 고장발생시 명확한 구분을 위한 이들 상호간의 시스템별 인터페이스에 대한 정의도 작성하는 것이 중요하다.

### 4.2 제 2 단계 : 차량 시스템의 고장 정의

운행에 문제가 되는 기능 고장의 정의와 제 1 단계에서 작성된 자료를 기초로하여 고장 발생시 고장 해석 및 평가와 중요도 등을 결정할 수 있도록 고장기능 해석표 등의 자료를 문서화한다. 국내에서 처음 개발되는 신 교통시스템의

Table 5. RCM 해석의 단계 전개 방법

단 계	AGT 차량 sys. 적용	주요 업무	세부 활동 내용
제 1 단계 기초자료 작성	· 차량sys. 구성도, 차량sys. 제어 구성도, 차량sys. 관련 I/F(인터페이스) 구성도(전력, 통신, 신호 등) 작성 등	자료수집 및 정리	· Block Flow Sheet · 시스템 구성요소 전개도 · 부품 고장실적표(MTBF 분석표, 유지보수 작업 내용) · 기능 블록도 · 부품 구조도
		분석 대상 시스템의 선정	· RCM 해석 분석대상 시스템 선정 · 시스템(계통) 경계 설정
제 2 단계 RCM 해석-1 기능고장해석	차량 sys.의 기능, 성능 정의, 고장 정의	기능고장 재발 예측 List up, 기능고장해석표 작성	· 기능고장해석 · 기기 고장영향 평가/중요도 결정
제 3 단계 RCM 해석-2 FMEA/FTA 고장해석	· 차량 sys. 및 각 하위 sys.의 목표신뢰도 정의(평가척도 결정) · 하위 sys.별 고장유형 및 영향 평가 실시 · 고장메커니즘 이해 등	FMEA/FMECA에 의한 고장유형 및 영향평가, 대책안 도출, 대책실시	· 시스템, 하위시스템 구성과 임무확인 · 시스템, 하위시스템의 분석수준 결정 · 기능별 블록의 결정 · 신뢰성 블록도 작성 · 블록별 고장모드의 열거 및 검토 · FMEA에 효과적인 고장모드 선정, 결과 요약 · 선정 고장모드에 대한 추정원인 열거 · 고장등급평가 및 결과 정리, 대책 및 개선
		FTA에 의한 고장해석	· FTA 분석 절차의 활용
제 4 단계 RCM 해석-3 LTA 최적 유지보수 방식 설정	· 각 하위 sys.별 유지 보수 방식 설정	LTA(logic tree analysis)에 의한 고장모드별 유효보전 분석 및 유지보수 방식 선택	· LTA의 실시 · 최적 유지보수방식 설정
제 5 단계 RCM 유지보수 RCM 작업, Sheet 작성	· 시험선의 시험운영 및 사용현장 고장·유지 보수 자료 수집	RCM 보전내용 설정(최종 RCM 실시 권고안 도출), RCM 보전내용의 실시	· RCM 작업내용 설정 · 유지보수 작업 패키징 · RCM 작업 실시
제 6 단계 RCM 효과 확인	· 시험선의 획득 자료를 이용한 신뢰성 평가	RCM 유효성 분석 및 확인	· 유지보수 비용 및 고장문제의 집계 · RCM 유효성 분석·확인
제 7 단계 RCM 정착화 확대전개	· 영업선으로의 RCM 방법의 확장 및 적용	RCM 정착화 개선, 확대전개	· 정착화 개선 · 확대전개

경우에는 고장모드 및 고장메커니즘에 관한 정보가 부족하  
 므로 설계단계에서 유사 시스템 정보의 충분한 활용과 국외  
 의 사례, 선진기술에 따른 자문 등을 잘 활용하여 고장 해석  
 및 평가가 이루어질 수 있도록 해야한다.

다음 Table 6에는 시험선 차량시스템의 운영시 발생가능  
 한 운행고장의 정의를 간략하게 정의한 예이다.

- 기능고장을 해석시 유의사항 잘 참고하여 작성한다.
- ① 분석 가능한 최소 시스템 기능을 명확하게 한다.
  - ② 시스템의 경계 및 경계조건 등을 명확하게 한다.
  - ③ 기능고장을 명확하게 한다.

Table 6. 운행고장 구분과 세부 정의

운행고장 구분	운행상의 영향	비고
매우 중요한	운행할 수 없는	운행정지, 30분이상 지연
중요한	긴급상황 운행 1	10분~30분이내 지연
경미한	긴급상황 운행 2	2분~10분이내 지연
무시 가능한	정상 운행	정상운행, 2분이내 지연

◎ 상업운전의 경우 10분이상 지연시 구원운전을 시행한다.

#### 4.3 제 3 단계 : FMEA/FMECA, FTA 분석

신뢰성 공학에서 고장영향 평가방법으로 활용되는 기법  
 인 FMEA/FMECA, FTA 등을 실시한다. 이때 유의사항은  
 고장모드를 빠짐없이 찾아내어 가능성이 있는 고장을 모두  
 명시해야 함으로 처음 개발되는 차량의 경우에는 국외의 사  
 례 등을 활용하여 평가한다. 그리고 고장메커니즘을 잘 이  
 해하여 이에 대한 유지보수 대책의 수립이 가능하도록 문서  
 화를 실시한다.

#### 4.4 제 4 단계 : LTA에 의한 유지보수 방식 선택

LTA에 의한 고장모드별 유효보전분석 및 유지보수 방식  
 의 선택을 실시한다. Fig. 1은 차량시스템의 보전방식을 결  
 정하는 LTA의 예이다. 이 방법은 각 질문에 대하여 “예/아  
 니오”를 대답하면서, 각 고장모드, 원인의 심각성을 판단하  
 여 대상 시스템에 적용가능하면서 효율적인 유지보수 방식  
 을 선택하도록 한다.

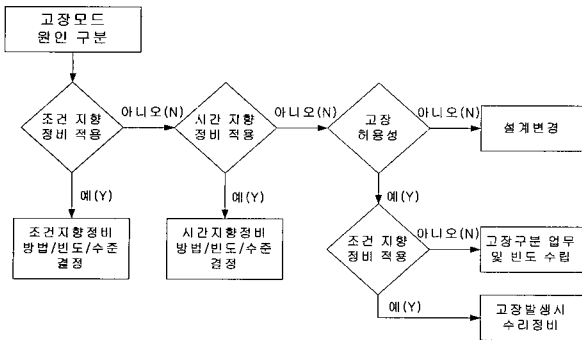


Fig. 1. 유지보수 업무 LTA 예

4.5 제 5 단계 : 운영, 고장·유지보수 자료 수집

시험선은 1회 왕복거리 3.74km로 현재 여건을 고려하면 1일 평균 30회 왕복(총 112.2km)하는 운행계획을 수립하고 있다. 특히 2004년내에 도시철도법에 명시된 신 개발차량의 성능입증 기준이 되는 5,000km를 주행하고 2005년에는 정상 및 가속조건을 반영하여 누적 운행거리 50,000km를 운행하여 이에 대한 신뢰성 평가와 RCM을 적용한 최적의 유지보수체계를 구축하고자 한다. 다음 Table 7에는 시험선에

Table 7. 시험선 신뢰성 시험계획(안)

구분	내용	비고
2004년 8월, 9월	· 성능/기능 관련 종합시험평가 · 하위 시스템간 인터페이스 평가	이 기간동안은 운행 거리를 이용한 신뢰성 평가는 없음
2004년 10월 ~ 12월	· 시험선 종합시험 (시험선 안정화 단계) · 일/주/월별 운행 및 고장보고서 · 목표 누적운행거리 : 5,000km	고장률, 수리율, 보전도, 가용도, 신뢰도 성장모형 등 초기고장의 원인분석과 대책마련
2005년	· 정상 및 가속조건하의 운행시험 · 일/주/월별 운행 및 고장보고서 · 목표 누적운행거리 : 50,000km	차량에 하중 또는 속도 등의 가속조건을 고려한 시험 실시 및 평가

서 2005년까지 계획중인 신뢰성 시험계획(안)을 간단하게 정리한 표이다.

다음 Fig. 2에는 고장정보체계를 수행하는 흐름도를, Fig. 3에는 시험선에서 신뢰성 시험 중 발생하는 고장정보의 문서화와 유지보수 계획 수립에 필요한 정보인 수리·교체 내용을 문서화할 수 있도록 시험선의 고장보고서 양식을 정의한 예이다.

4.6 제 6 단계 : 시험선 자료를 이용한 신뢰성평가

일별/주별/월별 등 운행정보 및 고장자료 등을 이용하여 RCM 유효성 분석 및 확인을 실시한다. 이 단계에서는 유지보수 비용과 고장문제의 집계하여 차량 시스템에 적용된 RCM 유효성 분석 및 확인을 해야한다.

4.7 제 7 단계 : 영업선으로의 확장 및 적용

영업선으로의 상업화를 실시할 경우, 시험선에서 획득한 자료로 분석한 제 6 단계의 결과를 이용하여 영업선에 어떤 방법으로 RCM 정착화하고 개선하며 또 확대 전개할 것인지를 결정한다.

이상의 제 7 단계까지 운용단계에서의 RCM의 적용을 통하여 기대효과인 신뢰성 향상, 신뢰성 유지, 신뢰성 회복, 보전성 향상 그리고 고장 및 유지보수 비용의 감소와 같은 결과를 획득할 수 있도록 전체 시스템에 관련된 연구자, 개발자 및 실무자의 정보공유와 문서화, 그리고 이에 대한 전문가 시스템의 개발이 중요하다. 또한 향후 2005년까지 체계적인 시험계획에 따른 성공적인 종합적 시험운영이 실시되어야 한다.

5. 결론

본 연구에서는 먼저 국내 도시철도의 신뢰성 관리체제(유지보수 활동 중심) 및 현황을 살펴보고 국외 선진국에서 도입하여 실시하고 있는 국제규격 동향을 파악하였다. 최근 신뢰성과 안전성이 중요시되는 대중교통수단의 관심과 필요성이 증대되고 있으므로 KRRI에서 국내 처음 개발중인 고무차륜 AGT 시스템을 시험선에 운영시 신뢰성 중심의 유지보수체계를 구축하기 위해서 RCM의 방법론을 구체적으로 제시하였다.

요약하면 RCM을 활용한 시험선 및 영업선의 최적 유지보수 방식을 도출하기 위해서 차량시스템에 7단계로 구분하여 각 단계별로 적용해야될 주요업무와 세부활동내용을 자세하게 언급하였다. 따라서 현재까지 개발된 기술내용과 추

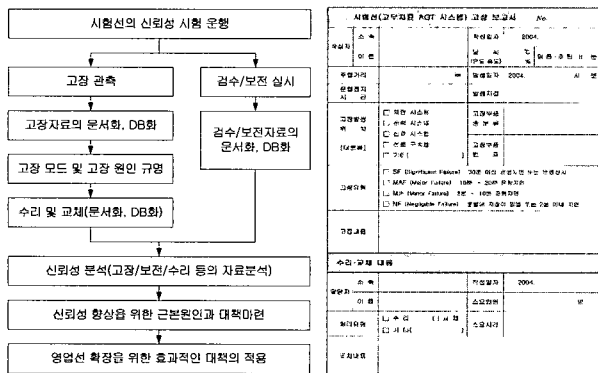


Fig. 2. 고장정보체계 과정

Fig. 3. 고장보고서 양식

후에 체계적인 시험계획에 의하여 시험선에서 실시되는 추가적인 시험정보를 잘 활용하여 고무차륜 AGT 차량에 적합한 유지보수 활동을 찾아 이를 실시해야 한다.

앞으로 본 연구와 이에 관련된 기술개발의 추가 연구를 통하여 향후에 개발될 신 첨단 수송시스템에서도 개발단계에서부터 RCM 적용을 기대할 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

1. 이호용 외 4, “도시철도유지보수체계 시스템의 예방정비시스템에 대한 연구(I)”, 한국철도학회지, 제6권, 제2호, 2003.
2. 건설교통부, 도시철도 종합안전대책 요약편, 지하철안전기획단, 2003.
3. IEC, IEC 62278 : Railway applications - Specification and demonstration of RAMS, 2002.
4. IEC, IEC 300-3-1, Dependability management Part 3 : Application guide, Section 1 : Analysis techniques for dependability : Guide on methodology, 1991.
5. 김종기, 임훈, “철도신호시스템 소프트웨어 신뢰서 기술 동향”, 2001년 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, pp.434-437, 2001.
6. Aladon, “Reliability Centered Maintenance - An Introduction”, Aladon Ltd., 1999.
7. 구병춘 외 3, “신뢰성에 기초한 유지보수(RCM) 기술동향”, 한국철도기술, 7·8월호, pp.70-77, 2001.
8. 김연중, 김찬주, “RCM 분석기법 및 철도시스템에 대한 도입 필요성”, 한국철도기술, 5·6월호, pp.16-19, 2002.
9. 권오운, 효과적 TMP 창출을 위한 계획보전추진매뉴얼, 한국 CyberTpm Center, 2003.
10. 한국철도기술연구원, 경량전철시스템 기술개발사업 5차년도 연구결과보고서, 2003.