

위험도분석을 통한 RCM 유지보수 결정로직의 개발에 관한 연구
**A study on the development of Maintenance Decision Logic for railway RCM
using Risk Analysis**

신석균* 김영상** 이기서***
Shin, Seok-Kyun Kim, Young-Sang Lee, Key-Seo

ABSTRACT

In these days, private investment for railway business has been expended and the importance of asset management arose. Especially new concept and effective management for the maintenance of railway have been developed. RCM(Reliability Centered Maintenance) is suggested to optimize the maintenance task and the proper maintenance decision logic for each system has been needed. But there are a lot of difficulties to apply the maintenance decision logic which has been developed in Aviation fields to railway.

In this paper, the study on the development of the maintenance decision logic will be introduced through the risk analysis which has been applied to analyze the safety of railway.

1. 서론

사회 인프라에서 철도분야의 민간 투자 사업이 확대 적용되면서 철도 인프라에 대한 자산관리(Asset Management)의 중요성이 부각되었고, 특히 시스템의 수명주기에 따른 구매로부터 폐기까지의 자산관리 단계에서 물리적 자산의 유지보수에 대한 새로운 개념정립과 효율적인 운영을 위한 방안들이 도출되었다. 이러한 자산관리측면의 유지보수의 최적화를 위해 도입되는 방안중의 하나로 신뢰성 중심의 유지보수(RCM : Reliability Centered Maintenance)가 제안되고 있으며 국내 철도분야에 일부 적용이 되고 있다.

신뢰성 중심의 유지보수방안은 항공기 분야에서 출발하여 현재까지 3세대를 거치면서 군수 및 일반 산업에까지 폭넓게 적용되고 있으며, 적용되는 분야에 따라 유지보수에 대한 효율적인 절차 및 예방정비 주기의 최적화가 중요한 핵심사항으로 부각되어왔다. 이러한 신뢰성 중심의 유지보수 방안을 적용하기 위해서는 적용별 유지보수 업무의 정의 및 각 해당 시스템 별로 할당이 가능한 유지보수 결정로직(Maintenance Decision Logic)이 절차에 포함된다. 그러나 항공기 분야에서 출발한 개념으로 인해 다른 분야에서 실시하고 있는 유지보수 업무와의 연계성이 제한적이며, 특히 안전성을 최우선으로 운영되는 철도분야의 경우 상당한 수정이 불가피하게 되었다.

* 로이드 레지스터 레일, RAMS 컨설팅, 회원
E-mail : seok-kyun.shin@lr.org
TEL : (02)3703-7569 FAX : (02)782-1659

** 로이드 레지스터 레일

*** 광운대학교 정보제어공학과 교수

본 논문에서는 현재까지 도출된 RCM 규정 중에서 일반 산업분야에서 가장 널리 쓰이고 있는 RCM II를 기준으로 적용 절차 및 유지보수 결정로직을 분석하고, 철도 분야에서 적용되고 있는 정량적인 안전성 분석활동의 기준이 되는 위험도(Risk) 등급을 활용하여 기존 유지보수 결정로직이 가진 정성적인 결정방안을 보완함으로써 철도분야에 적용이 가능한 안전성 중심의 정량적인 유지보수 결정로직을 수립하고자 한다.

2. RCM II 분석

2.1 RCM II 절차 분석

RCM은 물리적인 자산 혹은 시스템이 사용자가 원하는 목적을 지속적인 수행이 보장되도록 수행되어야 하는 행위를 결정하기 위해 사용되는 절차이다. 민간 항공사에서 유지보수 비용을 포함하여 신뢰성을 향상시키기 위해 도입되었으며 비행기의 성능을 유지하기 위한 업무가 어떠한 유지보수인지를 결정하기 위해 일반 산업에서 개발하기 시작하였다. 1978년 미 국방성에서 United Airlines사의 Nowlan과 Heap이 수립한 절차를 근거로 RCM이라는 개념을 수립하였다.

이후 유지보수 관리그룹(MSG : Maintenance Steering Group)이 조직되어 보잉 727의 유지보수 평가 및 프로그램 개발에 참여하였다. 이후 1980년대에 들어서면서 MSG-3가 발전되었으며 United Airlines사는 미 국방성의 지원 하에 유지보수 및 안전성 그리고 유지보수에 관한 관계성을 연구하였고 수많은 시행착오를 거쳐 1990년대 후반에 들어서면서 RCM II라는 방법이 제안되었다[1],[5].

그림 1은 RCM II의 적용절차를 나타낸다.

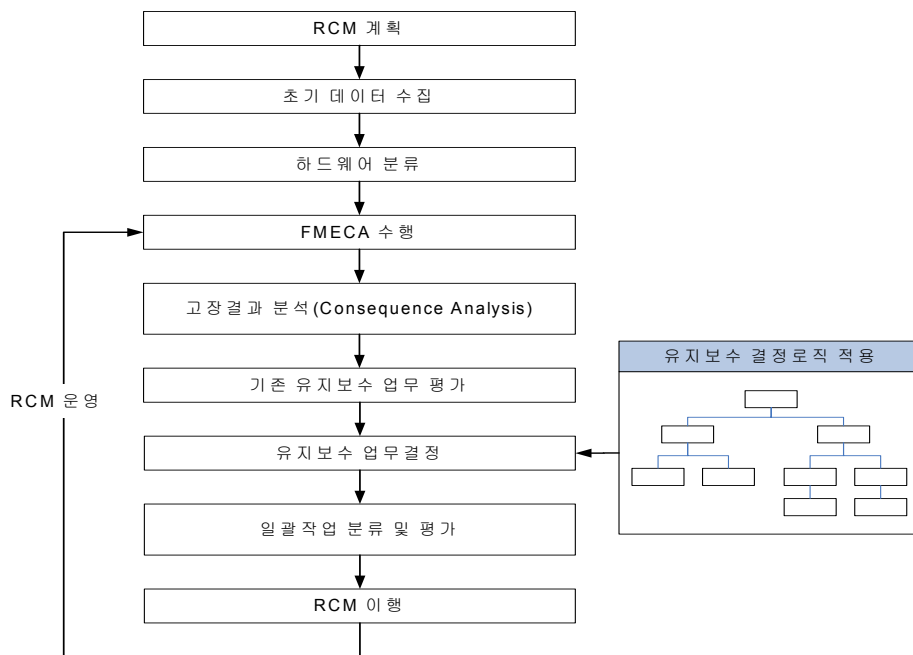


그림 1. RCM II의 적용 절차

RCM II에서는 해당 적용 시스템에 대한 기능 및 고장 분석에 중점을 두어 실시를 하도록 권고하고 있다. 유지보수에 대한 기준마련을 위해 기존 운영 방안에 대한 초기 데이터를 수집하고, 고장 유형 및 영향에 따른 치명도 분석(FMECA: Failure Modes, Effects and Criticality Analysis)을 통해 안전성과 신뢰성 분석을 실시한다. FMECA를 통해 도출된 고장 결과를 근거로 기존 유지보수 업무에 대한 평가를 실시하며, 유지보수 결정로직을 적용하여 RCM을 위한 효율적인 유지보수를 재정의 한다. 시스템의 신뢰성을 기준으로 동일한 유지보수 주기에 대한 일괄작업 분류를 시행하고 최종적으로 RCM을 수행한다. 또한 RCM 운영 경험을 기반으로 RCM에 대한 재정의가 필요할 경우 FMECA를 다시 수행하여 유지보수 업무에 대한 새로운 정의를 갱신한다.

2.2 RCM II 유지보수 결정로직 분석

그림 1에서 소개된 RCM II 적용절차 중에서 시스템에 대한 분석 결과를 근거로 유지보수 업무 선정을 위해 적용되는 방안이 유지보수 결정로직이다. 유지보수 결정로직은 적용 대상 시스템에 대한 기존의 유지보수 업무를 안전성을 근거로 재정의 할 수 있도록 지원하는 객관적인 논리결정 방안이며, 본 유지보수 결정로직에 따라 시스템에 적합한 유지보수 업무가 정의된다.

그림 2는 RCM II에서 적용 권고하는 유지보수 결정로직이다.

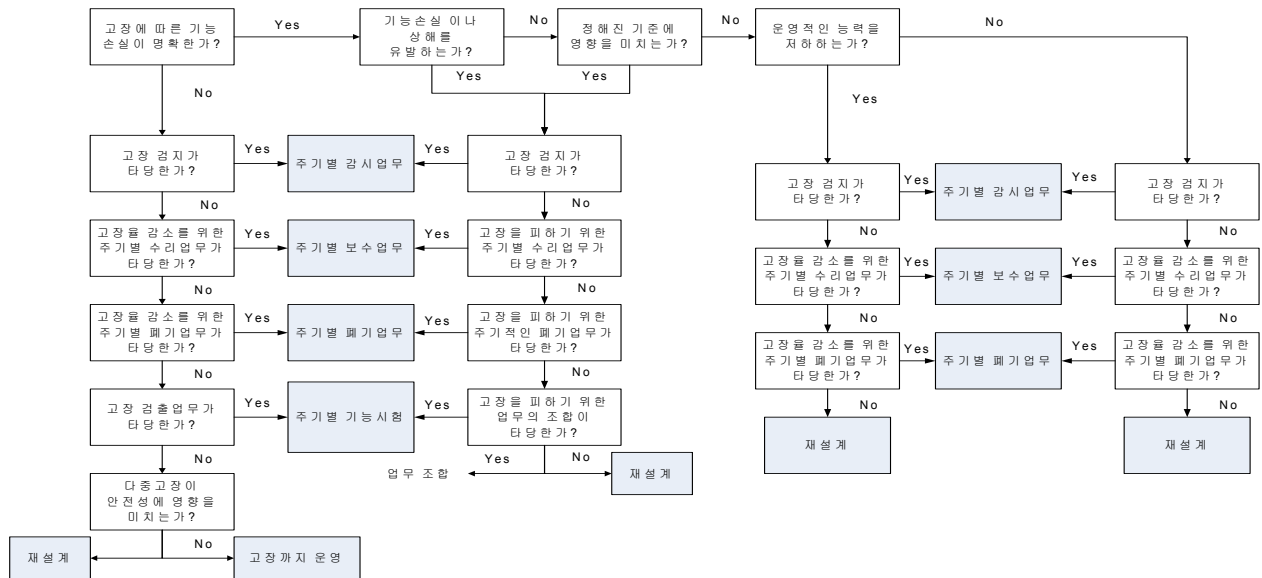


그림 2. RCM II의 유지보수 결정로직

그림 2에서 제시하는 유지보수 업무에 대한 정의는 다음 표 1과 같다.

표 1. 유지보수 업무의 분류

작업		정의
사전 정비	예방정비 (사용연한에 의존)	주기별 복구 업무 (Scheduled Restoration) 현 상태와 무관하게, 특정 시간 한계 이전에 구성요소를 재제조 하거나 분해검사 하는 것
		주기별 폐기 업무 (Scheduled Discard) 현 상태와 무관하게, 특정 시간 한계나 그 이전에 항목을 폐기하 는 것
	예측정비 (사용연한에 무관)	주기별 감시 업무 (Scheduled On-Condition Task) 잠재적인 고장을 검지하기 위해 사용되는 새로운 기법이며 기능 고장상태가 될 경우 초래될 수 있는 결과를 감소시키거나 제거하 기 위해 조치가 취해진다.
기본 정비 (효과적인 사전정비 작업을 파악할 수 없을 경우)	고장발견 (Failure-Finding)	고장이 발생했는지를 찾기 위해 정기적인 기간에 탐복기능을 점 검하는 것
	재설계 (Redesign)	시스템의 고유한 성능을 보장하기 위해 임의적인 변경을 수행하 는 것이며, 하드웨어 및 절차의 변경을 모두 포함.
	고장까지 운영 (No Scheduled Maintenance Task)	적용된 고장유형을 예방하거나 예상하지 않아도 되는 것이며 단 순히 고장의 발생을 방치한 후 발생 후 수리하며 run-to-failure 라고도 함

그림 2에서처럼 유지보수업무를 결정하는 기준은 고장의 명확성이나 안전성에 대한 구체적인 정량적 기준이 아닌 “Yes/No”를 유도하기 위한 정성적인 평가로 이루어진다. 따라서 철도 시스템과 같이 안전

성이 최우선되는 산업에 적용하기에는 적용하기 어려운 부분이 존재하므로 유지보수 결정로직에 대한 정량적인 평가 기준이 요구된다.

3. 위험도 분석을 통한 유지보수 결정로직 개발

3.1 위험도 분석

현재 국내 철도분야에서는 RAMS와 같은 정량적인 안전성 분석이 적용되고 있으며, 위험도라는 기준을 통해 안전성 평가가 이루어지고 있다. 위험도에 대한 일반적인 정의는 유럽 규정이나 미국방성 규정에 언급되고 있으며, 심각도와 발생빈도의 조합으로 구성된다.

표 2는 MIL-STD-882C에서 언급하는 위험도 기준이다.

표 2. MIL-STD-882C에서 제시하는 위험도 수준

발생빈도 \ 심각도	무상해	경미한 부상	심각한 부상	사망	P : 발생 확률 D : 고장으로 인한 서비스 운휴 시간(Downtime) I(Intolerable) : 허용 불가능 U(Undesirable) : 원하지 않음 T(Tolerable) : 허용 가능 N(Negligible) : 무시해도 좋음
	$D < 1$ 일	$1 \text{ 일} \leq D < 14$ 일	$14 \text{ 일} \leq D < 120$ 일	$120 \text{ 일} \leq D$	
$10^{-2} \leq P < 1$	U	I	I	I	
$10^{-4} \leq P < 10^{-2}$	T	U	I	I	
$10^{-6} \leq P < 10^{-4}$	T	U	U	I	
$10^{-8} \leq P < 10^{-6}$	N	T	U	U	
$10^{-10} \leq P < 10^{-8}$	N	N	T	T	
$10^{-12} \leq P < 10^{-10}$	N	N	N	N	

표 2에서 언급되는 안전성에 대한 허용수준을 근거로 FMECA를 통해 시스템에 대한 안전성 평가가 이루어지며, 위험요인을 관리하는 방법으로 해당 시스템의 위험도 평가 결과가 I와 U등급일 경우 최소한 T와 N등급으로 완화가 되도록 설계 및 유지보수업무에 대한 정의가 가능하다.

3.2 유지보수 결정로직 개발

그림 1에서 소개된 RCM II의 절차에 따라 FMECA가 수행되고, 수행된 고장에 대한 결과 분석을 통해 위험도 등급을 저감할 수 있는 방법으로서 유지보수 업무에 대한 결정이 가능하다.

위험도 등급에 따른 유지보수 업무의 기본분류에 대한 예시는 그림 3과 같다.

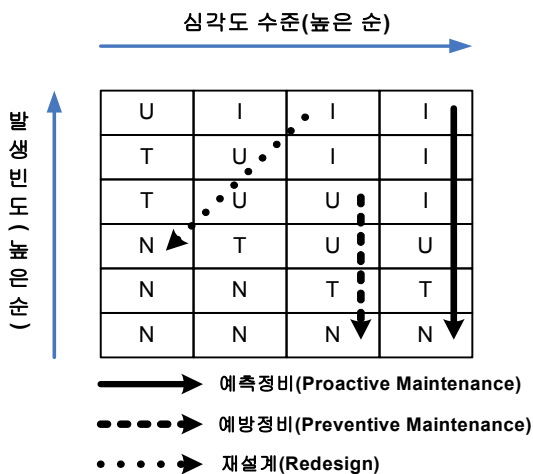


그림 3. 위험도 등급에 따른 유지보수 업무 분류

RCM II에서 권고하는 유지보수 결정로직을 근거로 위험도 분석을 통한 기본적인 유지보수 분류 방법을 적용하여 그림 3과 같이 위험도 분석을 통한 유지보수 결정로직은 그림 4와 같이 수립이 가능하다.

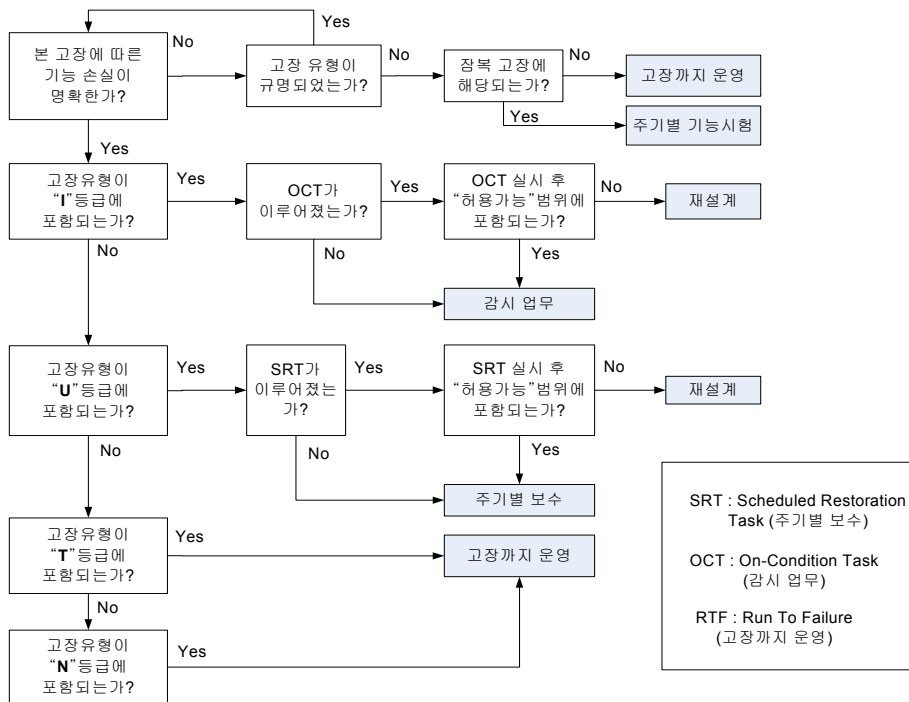


그림 4. 위험도 분석을 통한 유지보수 결정로직

그림 4에서처럼 RCM II에서 제시하는 기능 손실에 대한 명확성 유무가 첫 번째 로직에 해당되며, 고장이 명확한 경우 위험도 분석의 기준이 되는 위험도 등급에 따라 유지보수 업무의 결정이 가능한 로직으로 구성된다.

4. 위험도 분석을 통한 유지보수 결정로직 적용

본 논문에서 제시한 유지보수 결정로직의 타당성 검증을 위해 차상 ATC 장치를 예로서 적용해본다. 유지보수 결정로직의 적용에 앞서, 시스템에 해당 기능 분석 및 FMECA를 수행한다.

표 3은 차상 ATC 장치의 FMECA 적용 예를 나타낸다.

표 3. 차상 ATC 장치의 FMECA 적용 예

분석 대상	기능	고장 유형	고장영향		고장 원인	위험도 평가			완화 조치 방법	조치 후 위험도
			본 항목	상위항목		심각도	발생 빈도	위험도		
차상 ATC 장치	허용속도 데이터 수신	수신 불가	ATC 고장판단	차량 비상 제동	안테나 파손, 케이블 파손	II	B	I	이중계 설계	II C (U)
		낮은 허용속도 수신	이상 없음	과주, 추돌	손상된 데이터 수신	II	B	I	이중계 설계	II C (U)
		높은 허용속도수신	이상 없음	제동으로 인한 감속	손상된 데이터 수신	IV	B	T	이중계 설계	IV C (T)
	구간 허용속도 데이터 연산	허용속도보다 높게 연산	이상 없음	과주, 추돌	잘못된 연산논리	II	B	I	이중계 설계	II C (U)
		허용속도보다 낮게 연산	이상 없음	제동으로 인한 감속	잘못된 연산논리	IV	B	T	이중계 설계	IV C (T)
		허용속도보다 낮게 연산	이상 없음	제동으로 인한 감속	잘못된 연산논리	IV	B	T	이중계 설계	IV C (T)

표 3에서 분석된 차상 ATC의 위험도 등급은 최소 U등급에 해당된다.

따라서, 그림 4에서 제시한 유지보수 결정로직에 적용한 결과는 그림 5와 같다.

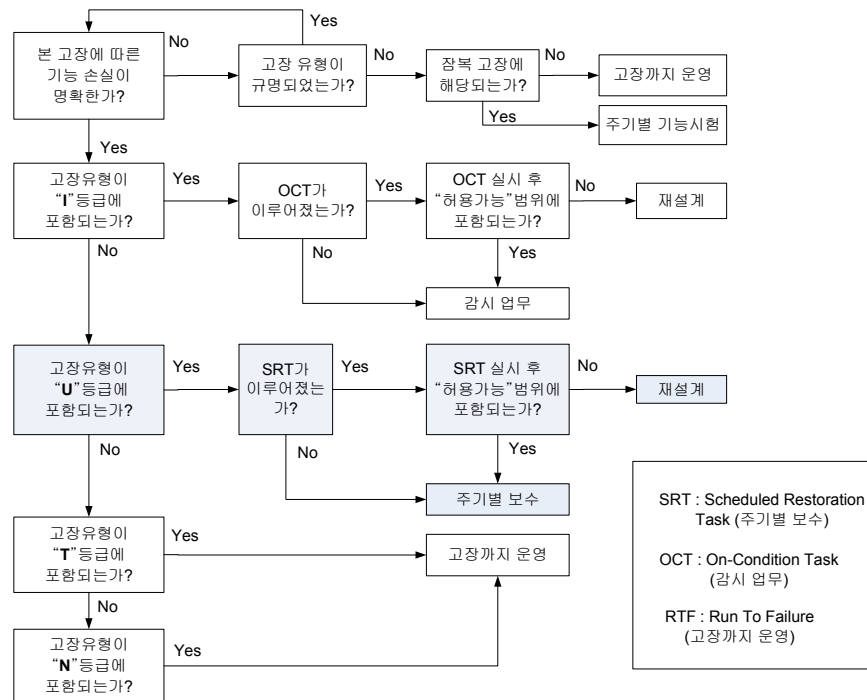


그림 5. 차상 ATC에 적용된 유지보수 결정로직 예

그림 5에서 나타난 결과처럼 유지보수 결정로직을 통해 정의된 유지보수 업무는 주기별 유지보수 즉 주기별 예방정비 업무나 재설계가 적합한 것으로 나타났다. 그러나 재설계의 경우 적용을 위한 비용문제를 고려해야 하므로 현재보다 더 짧은 주기별 예방정비를 수행하는 것이 바람직하다.

5. 결론

본 논문에서는 안전성이 중요시 되는 철도 분야에 적용이 가능한 RCM의 유지보수결정로직을 개발하였다. 기존 RCM에 존재하는 정성적인 분석논리를 정량적 기준으로 적용하기 위해 위험도 분석이라는 방법을 사용하여 개발하였다. 개발된 유지보수 결정로직에 대한 객관성을 확보하기 위해 현재 일반 산업에서 많이 적용하고 있는 RCM II에 대한 절차 및 유지보수 결정로직을 분석하였고, 위험도 분석을 적용하기 위해 미 국방성에서 제시하는 위험도 등급을 기준으로 유지보수 결정로직을 개발하였다. 또한 개발된 유지보수 결정로직에 대한 타당성을 분석하기 위해 차상 ATC 장치에 대한 예를 적용하였다. 그 결과 차상 ATC의 경우 주기별 보수 즉 주기적인 예방정비나 재설계가 타당한 조치업무임을 알 수 있었고, 재설계의 비용을 고려한다면 주기별 예방정비 업무가 가장 적합한 업무일 것으로 예상되었다.

본 논문에서 개발된 유지보수 결정로직은 국내 철도 분야에 대한 위험도 등급이 아직 부재한 이유로 미 국방성에서 제시한 위험도 등급을 활용하였다. 차상 ATC 장치로의 적용 결과 또한, FMECA에 대한 일부 적용을 실시하였으므로, 향후 국내 철도분야에서 RCM을 적용하고자 한다면 국내 환경에 적합하게 도출되는 위험도 등급의 선정에 따라 본 논문에서 제시한 유지보수 결정로직이 수정되어야 하며 적용시스템에 대한 안전성 분석이 좀 더 깊이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. John Moubray, "Reliability-Centered Maintenance II", Industrial Press Inc. 1997
2. MIL-882, "System safety program requirements", 1993
3. 신석균, 이기서, "철도시스템 RCM 적용을 위한 신뢰성 및 안전성 분석 활동에 관한 연구", 한국철도학회논문집, 제8권, 2006.