

운영기반의 철도시스템 RAMS 성능 요구사항 설계에 관한 연구

A Study on Operational Optimization Based RAMS Performance Requirements Design of Railway Systems

최 성 호* · 김 길 동** · 구 정 서†
(Sung-ho Choi · Gil-dong Kim · Jeong-seo Koo)

Abstract - Recently the design of railway systems have been performed, based on the analysis of operational conditions and service targets, it is to optimize the effectiveness and efficiency of system operation. Many RAMS requirements have been developed to transform operation conditions into system design characteristics. However, our railway industry has not actived the application of RAMS into system design performance. According to short of RAMS application, many technologies that have been developed are not only applied the existing systems that is operating, but also have not succeed to apply for new systems. In order to design the effective and efficient railway systems that are optimized to operation conditions and service targets, a systems approach and RAMS management are necessary in railway development, operation and maintenance. Therefore, in this study, the RAMS performance requirement design methods are discussed. the allocation methods from system level to each devices of subsystems.

Key Words : Operation conditions, RAMS Requirements, Allocation, Railway Systems, Systems Approach

1. 서 론

최근 유럽을 비롯한 선진국가의 철도시스템 설계는 장기적인 운영 측면(Long term based operational aspect)에서 운용 조건(Operational conditions) 및 운영목표(Operational objectives)를 최적화하기 위하여 RAMS 요구사항을 설계하는 것이 일반적이다. 운영적 측면에서의 시스템 접근(System approach)은 한국철도공사와 같은 최종 운영자가 서비스 장애(Service failures)나 안전위험(Safety risk)에 효과적으로 대응할 수 있도록 하는 것이 주요한 목적이다[1]. RAMS 기반 시스템 구성요소 설계는 임무 및 안전성이 중요한 우주, 항공과 같은 교통 산업에서 일반적으로 적용되어 왔으며, 국방과 항공 산업을 통해 국내 처음 소개되었으나 구매위주 시스템 도입으로 산업 전반으로 확대되지 못하였다. 국내 철도산업에 RAMS 엔지니어링이 도입된 것은 경부고속철도 개통이 계기가 되었다. 이후 철도 시스템 개발에서 RAMS 엔지니어링 관리의 중요성에 대한 인식은 산업 전반으로 확대되었으나 실질적 적용으로 확대되진 못하였다. 하지만 국제 표준기구의 전기위원회에서 RAMS에 대한 철도적용 유럽표준규격(EN50126)이 국제 표준 규격(IEC 62278)으로 확대되면서, 철

도 프로젝트의 이슈가 되면서 RAMS 적용이 법제화하였으나 철도 운영기관 위주로 추진되고 있는 실정이다.

정인수 외 2명은 철도차량을 구매하기 위해 RAMS 값을 특성화하는 방법에 대하여 국제표준규격(IEC 62278)을 기반으로 제시하였고[2], 역시 정인수 외 2명은 한국철도공사의 정비규정에 만족하도록 신뢰성, 유지보수성 및 가용성의 정량적 목표를 산정하는 값을 제시하였다[3]. 차제한 외 3명은 고속철도차량을 국내에서 개발하기 위하여 운영 시나리오를 기반으로 RAM값을 산정하는 방법을 제시하였다[4].

본 연구는 철도 시스템의 엔지니어링 과정에서 시스템 수준에서 서브시스템 그리고 서브시스템의 각 구성장치까지 RAMS 성능을 단계적으로 설계하는 방법에 대하여 제시한다. 운영목표 및 운영조건을 기반으로 시스템의 RAMS 성능을 설계하고, 서브시스템 RAMS 성능은 유사한 기존 시스템과의 성능 비교를 통해 할당하여 시스템 수준의 RAMS 성능을 성취하도록 하였고, 서브시스템 구성장치들의 기능적 아키텍처에 의해 할당하여 RAMS 성능을 결정하는 방법에 대하여 제시하였다.

2. 철도시스템 RAMS 성능설계

2.1 시스템 수준의 RAMS 성능 설계

2.1.1 운영기반의 RAMS 요구사항 설계

시스템 엔지니어링에 통합된 프로세스로서 RAMS 요구사항을

† Corresponding Author : Dept. of Railway Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea
E-mail:koojs@seoultech.ac.kr

* Dept. of Global Railway Systems Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea.

** Smart Electrical and Signaling Division, Korea Railroad Research Institute, Korea

Received : October 11, 2018; Accepted : October 29, 2018

설계하기 위해서는 그림 1에 제시된 바와 같이 운영 목표(가용성과 안전성)와 운영적 조건(운영, 유지보수 및 유지보수 지원 개념)을 기반으로 시나리오 분석 및 위험평가를 통해 RAMS 성능 요구사항을 설계 한다[5-7]. 운영 시나리오에 대한 분석은 운영적 조건의 각 개념들의 시간흐름 분석을 통해 수행한다[8].

운영 시나리오 분석은 전체 가용시간(TT)을 운용가동시간(TUT)과 유지보수 비가동시간(TDT)으로 구분하여 고유가용성을 검토하고, TDT는 유지보수시간(TMT)과 유지보수지원 지연시간(TALDT)으로 구분하여 성취 가용성을 산출한다. 또한 TMT는 운용 중 유지보수시간(TCP)과 정기적 예방 유지보수시간(TPM)으로 구분하고 TALDT는 행정지원의 지연시간 (TADT)와 부품공급 지연시간(TLDT)로 구분하여 운용 가용성을 순차적으로 검토한다.

그림 1에서 오른쪽은 운영적 조건 분석을 통해 고유가용도, 성취가용도 그리고 운영 가용도를 산출하는 절차를 보여주고 있다. 그림 1의 왼쪽은 또한 운영적 시나리오에 포함될 잠재적 위험요소를 파악하여 안전위험성을 산출하는 과정을 보여준다. 그림에서 운용 가용성과 위험안전성은 전체적인 수명비용을 기반으로 상호 적정한 값으로 트레이드오프(Trade-off)를 하는 방식을 제시하고 있다.

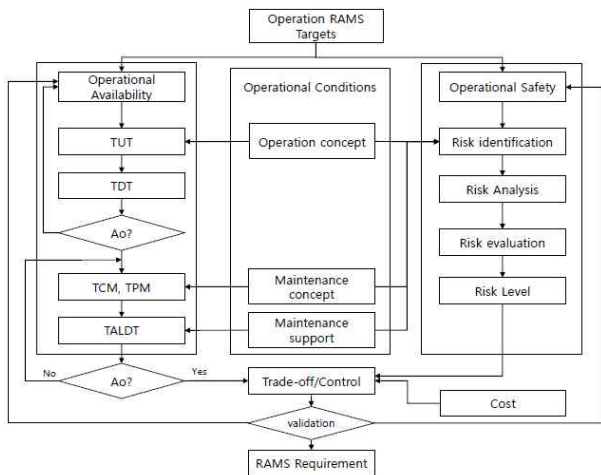


그림 1 RAMS 성능 요구사항 설계를 위한 프로세스
Fig. 1 A process for RAMS Performance requirement design

그림 2는 앞서 산출된 운영 가용성의 타당성은 유사시스템의 운영적 경험 데이터를 통해 신뢰성과 유지보수성 성능산출을 통해 트레이드오프를 통해 결정하는 프로세스를 보여주고 있다. 이때 기존의 철도 시스템의 유사시스템 경험을 신뢰성과 유지보수성의 도달 수준을 결정하는 기준이 된다.

2.1.1.1 운용 가용성 및 안전성 목표 산출

위 그림 1에서 제시된 것처럼 운영 가용성은 운영적 조건의 개념 시나리오를 분석하여 고유가용성, 성취가용성 등의 성취 타당성 검토를 걸쳐 운용 가용성을 결정하고 최종적으로 비용 및 안전성과 트레이드오프 방식을 통해 결정된다. 아래 식 (1, 2)는

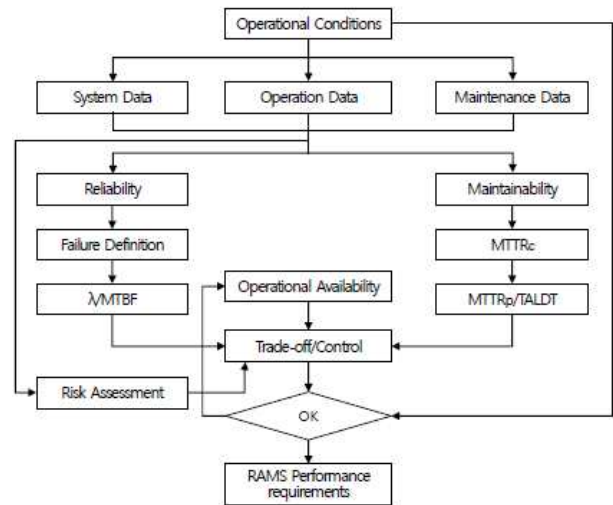


그림 2 신뢰성과 유지보수 설계를 위한 프로세스
Fig. 2 A process for reliability and maintainability design

그림 1에서 제시한 절차로 정량적 운용 가용성을 산출할 수 있도록 한다. 그림 1에서 보는 바와 같이 운용 가용성은 정확한 성능을 산출하기 위하여 유지보수는 물론 유지보수 지연을 일으키는 행정적 지원은 물론 부품공급 지연 원인까지 분석하여 적용하도록 하다.

안전성 목표의 타당성을 검토하는 것은 위 그림 1의 왼쪽에서 제시하고 있다. 그림1에서 보는 바와 같이 안전성 목표에 대한 타당성은 운영적 조건의 개념적 시나리오에 잠재적으로 포함될 수 있는 위험을 분석하여 위험 수준을 결정하고, 이를 수명비용과의 트레이드오프를 통해 안전성 목표를 결정하도록 한다[9]. 그림 1에서 보여주는 바와 같이 운용 가용성 및 운영 안전성 목표는 전체적인 비용을 기반으로 트레이드오프 방식에 의해 결정된다.

$$A_o = \frac{TUT}{TUT - TDT} \tag{1}$$

$$= \frac{TT - TMT - TALDT}{TT} \tag{2}$$

2.1.1.2 운용 신뢰성 및 유지보수성 목표 산출

그림 2는 그림 1에 의해서 산출된 운영 가용성 및 운영 안전성 목표를 기반으로 운영적 신뢰성 및 유지보수성 목표를 산출하는 절차를 보여주고 있다. 앞서 운용 가용성과 운영 안전성 목표는 운영적 조건들의 각각의 개념 시나리오를 통해 성능을 산출하는데 반해 운영 신뢰성과 유지보수성은 기존 유사시스템의 운영과 유지보수 경험을 기반으로 상호 비교하여 운용가용성을 기반으로 각각의 수준을 결정한다.

운영 신뢰성 목표를 산출하기 위해서는 우선적으로 시스템 고장(failure)에 대한 정의를 수행하고 이를 기반으로 고장율(λ) 및 평균고장간격(MTBF)을 산출하여 신뢰성 성능 목표를 산출한다. 시스템의 고장은 운행 사고, 서비스 장애 및 단순고장 등 3가지로 정의된다.[10] 신뢰성(MTBF), 유지보수성(MTTRc) 및 유지보

수 지연(TALDT)은 아래 식 (3-5)를 통해 산출할 수 있다. 예방 유지보수에 대해서는 각 정비주기와 장치의 정비시간의 총합에 의해 식 (4)와 같은 방법에 의해 산출한다.

$$MTBF = \frac{OT \times ALDT}{(1 - A_o)TT - TMT} \quad (3)$$

$$MTTR_c = \frac{TCM \times OT}{MTBF} \quad (4)$$

$$TALDT = \frac{OT \times ALDT}{MTBF} \quad (5)$$

2.2 서브시스템 수준의 RAMS 성능 설계

서브시스템 수준의 RAMS 성능은 시스템 수준의 RAMS 성능을 산출하는 방법과 달리 시스템 RAMS 성능을 서브시스템 특성에 의해 할당하는 방법으로 결정된다.

2.2.1 신뢰성 할당

서브시스템의 신뢰성 성능은 시스템의 기능적 아키텍처에 의한 시스템 특성과 기능적 위험평가를 기반으로 시스템 신뢰성 성능을 서브시스템에 각각 할당한다. 신뢰성을 할당하는 방법은 미국 국방성 표준규격에서 4가지 방법을 제시하고 있으나[8], 이들 방법은 서브시스템에 대한 정확한 데이터를 기반으로 한다. 따라서 RAMS 경험 부족으로 인해 서브시스템에 대한 정보가 부족한

것을 고려하여 아래 표 1과 같은 신뢰성을 할당할 수 있는 매트릭스를 제시하였다.

이 매트릭스는 기존 유사 서브시스템의 운영 경험 성능을 평가하여 새롭게 설계 개발하는 서브시스템의 신뢰성을 전문가 평가를 통하여 결정하도록 한다. 표 1의 매트릭스에서 제시된 바와 같이 유사시스템의 신뢰성 수준(TF_n) 평가요소로 시스템의 복잡성(Complexity), 최신 기술성(State of Art), 운영 중 가동 시간(Operational time), 중요성(Criticality), 운영환경(Operational Environments) 등을 유사시스템과 비교할 수 있도록 매트릭스를 구축하였다. 이때 핵심요소에 대한 평가는 전문가에 의해 각 요소에 대한 평가(R_{ni})를 하도록 하였으나 평가는 ±10% 범위에서 하도록 제한하였다. 결과는 비중도(weight factor)를 산출하여 최종적으로 결과(result)에 의한 식으로 산출하도록 하였다.[11]

위 매트릭스에 의해 결정된 신뢰성 성능은 전체 시스템의 신뢰성에 적합하도록 할당되었는지 아래 식 (6)에 의해 검토할 수 있다.

$$MFBF_s = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{TF_i \cdot \prod_{j=1}^4 R_{ij}} \right)} \right] \quad (6)$$

2.2.2 유지보수성 할당

서브시스템에 대한 유지보수성 할당도 신뢰성과 같은 방법을 적용하여 아래 표 2와 같은 매트릭스를 제시하였다. 이때 유지보

표 1 서브시스템의 신뢰성 성능 할당을 위한 매트릭스

Table 1 A matrix for reliability allocation of subsystems

Compared system		Evaluation factors					
Sub system	MTBF	Complexity	Criticality	Operation time	State of Art	Weight factors	Results
1	TF ₁	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	$\prod_{i=1}^n R_{1i}$	TF ₁ · $\prod_{i=1}^n R_{1i}$
2	TF ₂	R ₂₁	R ₂₂	R ₂₃	R ₂₄	$\prod_{i=1}^n R_{2i}$	TF ₂ · $\prod_{i=1}^n R_{2i}$
3	TF ₃	R ₃₁	R ₃₂	R ₃₃	R ₃₄	$\prod_{i=1}^n R_{3i}$	TF ₃ · $\prod_{i=1}^n R_{3i}$
n	TF _n	R _{n1}	R _{n2}	R _{n3}	R _{n4}	$\prod_{i=1}^n R_{ni}$	TF _n · $\prod_{i=1}^n R_{ni}$

표 2 서브시스템의 유지보수성 할당을 위한 매트릭스

Table 2 A matrix for maintainability allocation of subsystems

Compared system		Evaluation factors					
Sub systems	MTTR	Testability	Accessibility	Standard	Modulation	Weight factor	Results
1	TR ₁	M ₁₁	M ₁₂	M ₁₃	M ₁₄	$\prod_{i=1}^n R_{1i}$	TF ₁ · $\prod_{i=1}^n R_{1i}$
2	TR ₂	M ₂₁	M ₂₂	M ₂₃	M ₂₄	$\prod_{i=1}^n R_{2i}$	TF ₂ · $\prod_{i=1}^n R_{2i}$
3	TR ₃	M ₃₁	M ₃₂	M ₃₃	M ₃₄	$\prod_{i=1}^n R_{3i}$	TF ₃ · $\prod_{i=1}^n R_{3i}$
n	TR _n	M _{n1}	M _{n2}	M _{n3}	M _{n4}	$\prod_{i=1}^n R_{ni}$	TF _n · $\prod_{i=1}^n R_{ni}$

수성을 할당하기 위한 핵심 평가요소는 시험성(Testability), 접근성(Accessibility), 표준화(standardization) 및 모듈화(Modulation) 등을 제시하였다. 유사 시스템의 유지보수성(TR)은 위 평가요소에 대한 비교를 통해 각 요소에 의한 유지보수성 평가(Mni)를 하도록 하여 비중도를 산출하여 각 서브시스템의 유지보수성 값을 결정하도록 하였다. 이때 각 평가는 신뢰성과 같이 ±10% 범위로 제한하였다.[8],[11]. 위 매트릭스에 의해 결정된 유지보수성 성능은 시스템 전체의 유지보수성 성능에 적합하도록 할당되었는지 아래 식 (7)에 의해 검토할 수 있다.

$$MTTR_s = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{TF_i \cdot \prod_{j=1}^4 R_{ij}} \cdot \frac{1}{TR_i \cdot \prod_{j=1}^3 M_{ij}} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{TF_i \cdot \prod_{j=1}^4 R_{ij}} \right)} \quad (7)$$

2.3 서브시스템 구성장치의 신뢰성 및 유지보수성 성능 설계

이 절은 서브시스템의 기능적 아키텍처를 구성하는 구성장치들의 신뢰성을 할당하는 방법을 철도차량 추진 장치(Propulsion System)의 사례를 적용하여 산출하는 방법을 제시한다.

2.3.1 추진 장치의 물리적 구조 및 기능 블록도

그림 3은 철도차량 추진 장치의 물리적 구조를 나타내고 있으며 그림 4는 그림 3의 물리적 구조를 기반으로 제시된 기능 블록도(Functional Block Diagram)이다. 추진 장치의 물리적 구조는 그림 4에서와 같이 전체 기능을 3가지로 구분하였다. 동력을 전차선에서 수전하는 판토타그래프(PAN)를 중심으로 한 가선변압기(PT) 및 전압회로차단기(VCB)를 기능 A그룹으로, 전차선 전력을 일정 전압으로 변환하는 지붕루프장치(RL)와, 전차선 전력을 일정 전압으로 변환하는 변압시스템(MT)을 기능 B그룹으로, 변압기의 일전 전압을 추진동력으로 전환하는 추진인버터(MB)와 견인전동기(TM)를 기능 C그룹으로 3개로 구분하였다.

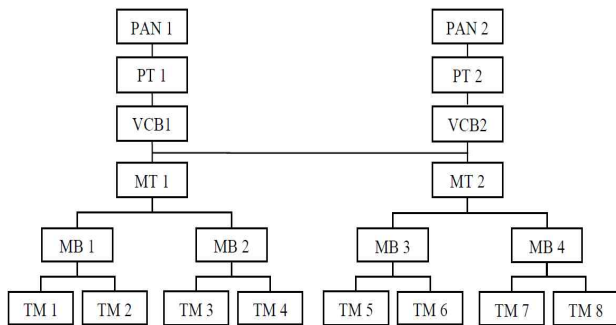


그림 3 추진 장치의 물리적 구조
Fig. 3 Physical structure of propulsion system

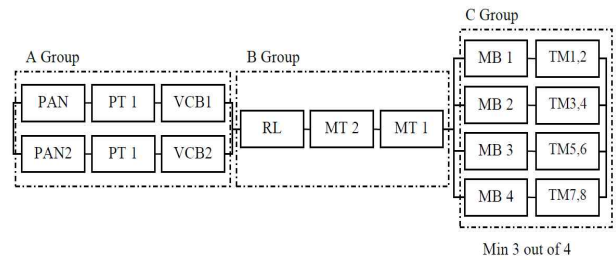


그림 4 추진 장치의 기능적 블록 다이어그램
Fig. 4 Functional block diagram of propulsion system

표 3 차량 시스템 수준에서 추진장치에 할당된 신뢰성 및 유지보수성 목표

Table 3 Reliability and Maintainability targets of propulsion system allocated from system level

Item	Reliability			Maintainability
	λ	MTBF (hour)	MKSBF (km)	MTTR (hour)
Targets	3.28E-04	3,050	610,000	4

2.3.2 추진장치의 신뢰성 및 유지보수성 목표 산출

표 3은 추진 장치 전체에 대하여 산출된 신뢰성 및 유지보수성 성능 목표를 보여주고 있다. 이 신뢰성 및 유지보수 목표는 앞서 표 1과 2의 매트릭스를 활용하여 철도 운영 및 산업기반 전문가 의견과 운영경험을 기반으로 산출하였다. 표3에서 보는 바와 같이 운영 신뢰성은 대략 3천 시간이고 유지보수성 시간은 4시간으로 산출되었다.

2.3.3 신뢰성 및 유지보수성 할당

그림 3의 추진 장치의 물리적 구조에 대한 전체적인 신뢰성 및 유지보수성 목표(표 3)는 그림 4의 기능 블록도에 의해 아래 표 4와 같이 각각 할당하였다. 이들의 신뢰성 및 유지보수성 성능 할당 또한 앞서 시스템 수준에서와 같이 표 1과 2의 매트릭스에 의한 평가방법을 적용하여 각 기능 그룹에 대하여 표4와 같은 신뢰성 및 유지보수성 값을 결정하였다.

표 4 추진 장치의 신뢰성 및 유지보수성 목표

Table 4 Reliability and maintainability objectives of functional block diagram groups

Group	Reliability			Maintainability
	λ	MTBF (hour)	MKSBF (km)	MTTR (hour)
A	0.00033	7,114	1,422,800	1.7
B	4.69E-05	21,300	426,000	0.6
C	0.00033	7,114	1,422,800	1.7

2.3.4 각 구성장치의 신뢰성 할당

그룹 A의 각 장치에 대한 신뢰성 할당은 식 (8)과 (9)를 이용하여 산출할 수 있다. 그룹 A는 두 개의 동일한 유닛이 병렬로 연결되고 각 유닛을 구성장치는 직렬연결로 구성되어 있다. 따라서 각 유닛에 대한 신뢰성은 아래 식 (7)에 의해 유닛 전체의 신뢰성을 할당할 수 있다. 또한 하나의 유닛을 구성하는 각 장치의 신뢰성은 직렬연결로 구성되어 식 (8)에 의해 신뢰성 값을 결정할 수 있다. 만약 각 구성장치의 시스템 속성을 비교할 수 있으면 앞선 표 1의 매트릭스를 적용하여 신뢰성을 상세히 검토할 수 있다.

$$R = 1 - (1 - R_{A_1})(1 - R_{A_2}) \tag{8}$$

$$R_{PAN_1} = R_{PT_1} = R_{MCB_1} = (R_{A_1})^{\frac{1}{3}} \tag{9}$$

그룹 B의 장치에 대한 신뢰성은 식 (9)에 의해 할당할 수 있다. 그림 4에서와 같이 B그룹의 각 구성장치는 하나의 유닛으로 각각 직렬연결로 구성되어 있다. 따라서 이들은 식 (9)를 적용하여 산출할 수 있다. B그룹은 지붕장치와 변압기에 대한 회로로 직렬회로로 구성되어 식 (9)와 같이 직렬방식에 의해 산출할 수 있다.

그룹 C를 구성하는 장치의 신뢰성은 식 (10-12)에 의해 산출할 수 있다. 그림 4에서 보는 바와 같이 C그룹은 4개의 병렬 유닛으로 구성되어 있고, 각 유닛은 2개의 장치의 의해 구성되었다. 이들 4개의 유닛 중 최소 3개의 유닛은 항상 동작하도록 설계되었다. 따라서 최소 3개 유닛에 대한 신뢰성은 식 (10)에 의해 산출할 수 있고, 각 유닛의 신뢰성은 식 (11)에 의해서 산출된다. 마지막으로 각 구성장치의 신뢰성은 식 (12)을 적용하여 산출할 수 있다. 아래 표 5는 각 그룹과 그 구성장치의 할당된 신뢰성 수준을 보여주고 있다.

표 5 추진 장치 기능적 그룹의 신뢰성

Table 5 Reliability of Propulsion Functional Groups

Group	R	$R_{A_1 = A_2}$	$R_{PAN_1 = PT_1 = VCB_1}$	$R_{PAN_2 = PT_2 = VCB_2}$
Group A	99.934%	97.44%	99.14%	99.14%
Group B	99.99%			
Group	R	Rci	Rc	RMBi=TMi
Group B	99.34%	83.997%	87.72%	94.353%

$$R_C = \sum_{x=1}^4 \binom{4}{x} R_{C_i} (1 - R_{C_i})^{4-x} \tag{10}$$

$$R_{C1,2,3,4} = 1 - \sqrt[4]{1 - R_C} \tag{11}$$

$$R_{MB1} = R_{TM1} = R_{TM2} = (R_{C_i})^{\frac{1}{3}} \tag{12}$$

3. 결 론

본 연구는 운영적인 조건에 최적화시키기 위한 RAMS 성능 요구사항을 산출하는 과정에 대하여 4단계로 제시하고 있다. 먼저 운영 목표(가용성 및 안전성 목표)에 대하여 운영적 조건(운영, 유지보수 및 유지보수 지원 개념) 시나리오 분석 및 위험평가를 기반으로 시스템 수준에서 운영 가용성 및 안전성 목표의 성취 가능성에 대한 타당성을 검토하고 전체적인 비용을 기반으로 트레이드오프의 방법을 통해 최종적으로 운영목표를 결정하는 것을 제시하였다.

두 번째는 시스템 수준의 운영 목표를 기반으로 신뢰성 및 유지보수성 목표를 산출하는 프로세스 및 수학적 모델을 제시하였다. 또한 본 논문에서는 시스템 수준의 RAMS 성능을 전문가의 유사시스템과의 비교 평가를 통해 서브시스템 수준으로 할당하는 매트릭스를 제시하고 있다. 이 매트릭스에 의한 할당방법은 개발하는 시스템 개념을 유사한 기존 시스템과의 비교 평가하여 새로운 서브시스템의 신뢰성 및 유지보수성을 결정하는 방법이다.

마지막으로 서브시스템을 구성하는 각 장치에 대한 신뢰성을 시스템의 기능 블록도를 통해 결정하는 방법을 제시하였는데 이는 철도차량 추진 장치의 물리적 기능적 구조를 통해 하나의 사례로 제시하고 있다. 이와 같은 RAMS 성능 요구사항 산출방식은 RAMS 적용의 경험이 부족한 국내 철도산업에서 유용하게 적용할 수 있다. 하지만 지속적인 경험을 축적하여 산출방법을 데이터 기반으로 산출할 수 있도록 지속적으로 발전시켜야 한다.

감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] EN 50126-1, "Railway application - the specification and demonstration of RAMS -Part 1: Basic requirements and generic process", *European standard*, 1999.

[2] I. S. Chung, K. W. Lee, J. W. Kim, "A Study on RAMS parameters in the procurement Requirement for Rolling Stock", *Korea Railroad Association Journal 11*, Vol. 4, pp. 371~377, 2008.

[3] I. S. Chung, K. W. Lee, J. W. Kim, "Study on Setting up the Quantitative RAM goals for Rolling stocks", *Korea Railroad Association Journal 11*, Vol 4, 370~397, 2008.

[4] J. H. Cha, J. S. Chung, Y. H. Ha, J. W. Kim, "Study on Setting up KTX-2 RAM goals for Requirement Train-set", *Korea Railroad Association*, 2009.

- [5] ISO/IEC 26702, "Systems engineering - Application and management of the systems engineering process", *European standard*, 2007.
- [6] MG. Park, "RAMS management of Railway Systems engineering-Integration of RAMS Management into systems engineering", *University of Birmingham*, 2013.
- [7] Jenkins, G & Youle, P "A Systems Approach for Management", *OR*, pp. 5-21, 1968.
- [8] MIL-HDBK-388B, "Electronic Reliability Design Hand Book", *Military standard*, 1998.
- [9] EN 50126-2, "Railway application -the specification and demonstration of RAMS -Part 2: Systems approach to Safety", 2015.
- [10] EN 50126-3, "Railway application -the specification and demonstration of RAMS -Part 3: Guide to the application of EN 50126-1 for rolling stock RAMS", *European standard*, 2006.
- [11] SP. Seo, "establishing RAM Requirement based on BCS model for weapon systems", *Korea Weapon Technical Institution*, Vol. 1, pp. 67-98, 2010.

저 자 소 개



최 성 호 (Sung-ho Choi)

1971년 12월 29일생. 2001년 명지대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2018년 서울과학기술대학교 철도전문대학원 글로벌철도시스템학과 수료 및 재학중. 현재 (주)브이씨텍 연구소장.



김 길 동 (Gil-dong Kim)

1964년 9월 20일생. 1986년 명지대학교 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국철도기술연구원 스마트전기신호본부 본부장.



구 정 서 (Jeong-seo Koo)

1957년 6월 23일생. 1995년 KAIST 대학원 기계공학과 졸업(박사). 2018년 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도안전공학과 주임교수.