

## 철도차량 정량적 신뢰성 · 가용성 · 유지보수성(RAM) 목표값 설정에 관한 연구

### Study on Setting up the Quantitative RAM Goals for Rolling Stocks

정인수<sup>†</sup> · 이강원\* · 김종운\*\*

Insoo Chung · Kang-Won Lee · Jong-Woon Kim

**Abstract** Quantitative RAM (Reliability, Availability, Maintainability) is the one of the important indicator that shows the quality of rolling stock. It is usually required in the domestic and abroad purchase specification of rolling stock. And achieving and demonstrating the quantitative RAM goals is also required. In this study, the method to set up these goals will be proposed in the aspects of service and logistic reliability, operational, achievement or inherent availability and maintainability. And we apply this proposed method to the real operation data.

**Keywords** : RAM, Quantitative goals, Rolling Stock, Service reliability, Logistic reliability, Availability, Maintainability

**요 지** 정량적 RAM(Reliability, Availability, Maintainability)은 철도차량의 품질을 나타내는 중요한 척도중 하나이다. 국내외의 철도차량 구매사양서에서는 정량적 RAM 요구조건이 제시되고 있으며 이에 대한 달성과 입증은 요구하고 있다. 본 연구에서는 철도차량의 정량적 RAM의 목표값을 설정하는 방법을 서비스 신뢰도, 로지스틱 신뢰도, 운영가용도와 성취가용도 또는 고유가용도, 유지보수성 측면에서 제안한다. 그리고 이 설정방법을 실제 철도차량 운영데이터에 적용해 보았다.

**주요어** : RAM, 정량적 목표값, 철도차량, 서비스신뢰도, 로지스틱 신뢰도, 가용도, 유지보수성

## 1. 머리말

정량적 RAM(Reliability, Availability, Maintainability)은 철도차량의 품질을 나타내는 중요한 척도이다. 따라서 국내외의 철도운영사에서는 높은 품질의 철도차량을 획득하고자 사양서에 정량적 RAM 요구사항을 제시하고 이에 대한 달성과 입증은 철도차량 공급자에게 요구하고 있다.

이와 같은 절차를 수행하기 위해서는 RAM 특성값에 대한 정량적 목표를 설정하는 것이 첫 번째 단계이다. 그러나 철도차량에 대한 각종 표준이나 지침 등에서 RAM 특성값에 대한 정량적 목표를 설정하는 방법은 거의 제시되

지 않고 있다.

일반적으로 대량생산되어 시중에서 구매되는 제품(Off-the-Shelf Product)의 경우의 신뢰성은 생산자가 고객과 시장을 고려하여 전략적으로 신뢰도 수준을 결정한다. 대량생산품의 RAM 목표 설정 절차에 관한 연구는 거의 없다.

대형플랜트나 방위산업 그리고 철도차량과 같이 시스템이 복잡하고 규모가 큰 주문생산품의 경우에는 사용자가 신뢰도 수준을 결정하고 이를 사용자 요구사항에 기술하여 주문한다[1, 2]. 입자가속기나 우주항공설비 등의 RAM 목표 설정에 관한 연구는 많이 이루어지고 있다[3-6]. 한편 방위산업에서는 운영 관점에서 RAM 요구사항이 제시되고 이를 검증하는 절차가 정착되었으나 정량적 RAM 목표값을 설정하는 방법에 대해 발표된 연구는 많지 않다. VINTR 등 [7]은 국방 철도차량 시스템의 업그레이드 모델에 대하여 최소한의 설계변경으로 시스템 가용도를 높이기 위한 요구조건 할당 방법을 개발하였다. 이한규[8, 9]는 미래형 전차의 RAM 목표값 설정에 관한 연구를 하였고, 권용수 등

<sup>†</sup> 책임저자 : 정희원, 코레일

E-mail : chungis@hanmail.net

TEL : (042)609-3703 FAX : (042)609-4915

\* 교신저자 : 정희원, 서울산업대학교 산업정보시스템공학과, 교수

E-mail : kwlee@snu.ac.kr

\*\* 정희원, 한국철도기술연구원, 선임연구원

[10]은 함정탐재 유도무기에 대한 운영모드종합임무프로파일(OMS/MP) 템플릿 개발을 하면서 RAM 목표값 설정 프로세스와 목표값 산출에 대해 기술하였다.

철도차량의 경우에는 정량적 RAM 목표값을 설정하는 방법에 대해 발표된 연구는 거의 없다. 또한 Mayer[11]가 지적 한대로 철도차량과 다른 산업에서의 환경은 서로 상이하기 때문에 다른 산업이나 사례에서의 RAM 목표값 설정 절차를 그대로 적용할 수도 없다. 본 연구는 설정된 철도 서비스의 품질 수준을 달성하기 위하여 철도차량의 RAM 목표값을 설정하는 문제를 다룬다.

정인수 등[12]은 철도차량의 구매 사양서에 포함되어야 할 RAMS 특성값을 제안하였다. 신뢰성 특성값으로 서비스 고장간 평균주행거리 또는 시간(MKBSF, MTBSF), 로지스틱 고장간 평균거리 또는 시간(MKBLF, MTBLF), 가용성 특성값으로 고유가용도, 유지보수성 특성값으로 평균 수리시간(MTTR) 및 유지보수 활동별 소요시간 및 인시(man-hour)를 제안하였다.

이 연구에서는 위 연구에서 제안한 철도차량의 특성값에 대한 목표를 설정하는 방법에 대해 기술하고자 한다. 2장에서는 철도차량의 정량적 RAM 목표값을 설정하는 방법에 대해 신뢰성, 가용성, 유지보수성 측면에서 다루고자 한다. 3장에서는 위의 방법을 실제 상황에 적용하여 정량적 RAM 요구조건을 설정하는 사례를 들어 타당성을 검증한다.

## 2. 정량적 RAM 목표값 설정 방법

### 2.1 서비스 신뢰도 목표값

철도차량의 서비스 신뢰도는 운행에 투입된 차량이 그 임무를 완수할 확률로 정의된다. 서비스 신뢰도를 산출하기 위해서는 임무를 완수하지 못하는 조건 즉 서비스 고장에 대한 정의를 해야 한다. 특히 서비스 신뢰도가 구매조건에 포함되면, 서비스 고장에 대한 정의를 사용자와 계약자가 협의하여 가능한 자세히 서비스 고장 여부와 귀책여부를 사전에 확실히 규정하여야 한다. 일반적으로 서비스 고장은 편성교체를 포함한 열차의 지연과 객실 냉난방이나 출입문과 같은 객실 서비스 고장으로 분류된다.

철도운영자나 철도서비스규제기관은 객실서비스에 대한 기준이나 규제를 하지는 않지만 정시성에 대해서는 기준을 가지고 있는 경우가 많다. 예를 들어 한국철도공사는 고속철도에 대해서 고객서비스현장에 95%의 정시율을 명시하고 있다. 철도차량의 서비스 신뢰도는 철도서비스의 정시율에 영향을 주기 때문에 운영자는 설정된 철도서비스의 정시율을 보증하고자 철도차량의 구매사양에 서비스 신뢰도에 대한 정량적 요구조건을 명기한다.

본 논문에서는 주어진 철도서비스의 정시율을 만족하기 위한 조건으로서 철도차량의 서비스 신뢰도 요구조건을 도출하는 방법을 제시한다.

철도시스템과 같이 운영 단계에서 수리 및 전반검수(overhaul)가 이루어지는 복잡한 시스템에 대한 전형적인 고장분포는 지수분포이다[13]. 또한 시스템의 신뢰성 요구사항의 설정 및 검증 단계에서는 지수분포 이외의 분포를 가정하면 요구조건의 설정 및 검증이 매우 어렵기 때문에 철도차량과 같이 복잡한 시스템의 신뢰성 요구사항의 설정을 위한 고장모형으로 지수분포가 널리 사용된다. 본 연구에서도 철도시스템의 고장은 지수분포를 따른다고 가정한다.

철도시스템의 서비스 고장은 철도차량외에 궤도, 전차선, 신호 등과 같은 철도기반시설물과 여객취급상의 지연 등 기타 운영상의 문제로 인한 고장으로 크게 분류할 수 있다.

이 가정에 의해 철도시스템의 서비스 고장률 및 서비스 신뢰도는 다음과 같이 표현된다.

$$\lambda_{sys} = \lambda_i + \lambda_o + \lambda_r \quad (1)$$

$$R_s(t) = e^{-\lambda_{sys}t} = e^{-(\lambda_i + \lambda_o + \lambda_r)t} \quad (2)$$

$\lambda_{sys}$  : 철도시스템의 서비스 고장률

$\lambda_i$  : 철도기반시설물도 인한 서비스 고장률

$\lambda_o$  : 운영상의 서비스 고장률

$\lambda_r$  : 철도차량의 서비스 고장률

$R_s(t)$  : 철도시스템 서비스 신뢰도

한편 철도서비스의 정시율은 요구되는 철도서비스 임무를 정시에 완료할 확률로 정의할 수 있다. 철도서비스 임무를 정시에 완료하기 위해서는 철도서비스 시작 시점에 철도차량을 서비스에 투입 가능해야 하고 또한 서비스 임무 기간 동안 서비스 지연이 없어야 한다. 따라서 정시율은 다음과 같이 계산된다.

$$SA = SP \times R_s(t_m) \quad (3)$$

SA : 서비스 정시율

SP : 차량 서비스 준비율, 서비스 시작 시점에 철도 차량을 서비스에 투입 가능할 확률

$t_m$  : 1회 서비스 시간 또는 거리

서비스 정시율(SA) 및 차량 서비스 준비율(SP)은 철도서비스의 품질을 나타내는 지표 중의 하나이므로 철도운영자나 철도서비스 규제기관이 사회자본으로서의 철도서비스의 중요성과 고객의 철도서비스 요구수준을 고려하여 결정하여야 한다. 정시율을 95%로 정했다면 전 열차에 대해서  $SP \times R_s(t_m)$ 는 0.95 이상이어야 한다.

철도차량이 기존의 기반시설물과 운영환경에서 운영될 경우  $\lambda_r$ 와  $\lambda_o$ 는 기존의 운영데이터를 통해 추정할 수 있다. 이와 같이  $\lambda_r$ 와  $\lambda_o$ 의 추정값이 구해지면 철도차량의 목표 서비스 고장률  $\lambda_r^*$ 은 식 (2)와 (3)으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\lambda_r^* = \frac{1}{t_m}(\ln SA - \ln SP) - (\lambda_r + \lambda_o) \quad (4)$$

식 (4)를 통해 철도차량의 서비스 고장률이 기술적으로 구현이 불가능하다면 서비스 준비율을 조정하여 서비스 고장률을 재설정하게 된다. 서비스 준비율은 차량의 최소 소요편성수와 소요편성수 및 운영가용도의 함수이며, 서비스 준비율을 만족하기 위한 차량의 보유대수 및 운영가용도를 설정하는 것은 2.2에서 다룬다.

철도시스템의 정시율을 만족하기 위해서 철도차량의 고장률은  $\lambda_r^*$  이하가 되어야 한다. 이 서비스 고장률은 MKBSF로 다음과 같이 변환할 수 있다.

$$MTBSF_r^* = \frac{1}{\lambda_r^*} \text{ [hr]}$$

$$MKBSF_r^* = C \cdot MTBSF_r^* = C \cdot \frac{1}{\lambda_r^*} \text{ [km]} \quad (5)$$

여기에서 C는 철도운영환경에 따라 정해지는 정수로서 운영 단위시간당 주행거리(km)를 의미한다.

철도시스템이 완전히 새롭게 구축되어 철도기반시설물이나 운영상의 서비스 고장율을 운영데이터를 통해 예측하기 어렵다면 전체 시스템의 고장율을 예측하기 어렵고 따라서 정시율을 설정하는 것도 어려울 것이다. 그러나 기존의 기반시설물과 운영시스템 하에서 철도차량을 도입하는 경우가 대부분이고, 완전히 새로운 철도시스템을 구축하는 경우에도 다른 유사시스템의 철도기반시설물과 운영시스템 데이터를 활용하면 예측이 가능할 것이다. 만일 그 것도 어려운 상황이라면 전체 철도시스템의 서비스 신뢰도를 일정한 목표로 잡고 기반시설물이나 운영시스템 그리고 철도차량에 할당하는 방법도 고려할 수 있을 것이다.

### 2.2 가용도 목표값

가용도는 철도차량을 서비스에 투입하려고 할 때 이 철도차량이 서비스가 가능한 상태에 있을 확률을 의미한다. 가용도는 신뢰성과 유지보수성의 결과로 나타난다. 다양한 가용도 정의 중에서 운영 가용도는 운영 효율을 나타내는 척도이기 때문에 철도운영사 측면에서 중요한 척도이다. 그러나 운영가용도는 운영요소가 포함되어 철도차량의 획득과

정에서 공급자가 책임져야 할 부분에 대한 운영가용도 정의 및 입증에 어렵다. 따라서 민간투자사업과 같이 운영서비스를 차량과 함께 공급하는 경우를 제외하고는 운영가용도에서 운영요소를 제외하고 설계 가용도 항목으로 변환해야 한다. 정인수 등[6]은 이를 고려하여 가용도의 특성값으로 고유가용도를 쓰고, 유지보수성에 예방정비 종류별 시간과 인시(man-hour)로 보완할 것을 제안하였다. 이 절에서는 운영가용도에서 철도차량의 설계에서 결정되는 성취가용도 또는 고유가용도로 변환하는 것을 모델링한다.

운영가용도는 그 정의로부터 다음과 같이 식으로 표현할 수 있다.

$$A_o = \frac{TUT}{TT} = \frac{TUT}{TUT+TDT} \quad (6)$$

- $A_o$  : 운영가용도 (Operational Availability)
- TUT : 전체가동시간 (Total Up Time)
- TDT : 전체비가동시간 (Total Down Time)
- TT : 전체시간 (TUT+TDT)

무기개발시에는 단위부대에 배속될 무기대수와 전투준비태세를 고려하여 운영가용도를 결정한다[9]. 철도차량에서 운영가용도는 소요편성수(Required number of fleet)를 결정하는 것과 밀접한 관계가 있다. 최소 소요편성수는 다음의 식에 의해 산출될 수 있다[14].

$$\text{최소소요편성수} = \frac{(\text{표정시간} + \text{반복시간}) \times 2}{\text{운전지격}}$$

이 최소 소요편성수는 운영가용도가 100%일 경우의 소요편성수라고 할 수 있다. 따라서 운영가용도가 100%가 아닌 실제 상황에서는 운영가용도에 따라 실제 필요한 소요편성수는 달라진다. 차량편성이 가용한지 아닌지에 따른 확률은 다음의 이항분포식으로 표현할 수 있다.

$$SP = \sum_{x=S}^N \binom{N}{x} A_o^x (1-A_o)^{N-x} \quad (7)$$

- SP : 서비스 준비율, 편성이 가용할 확률
- S : 최소 소요편성수
- N : 소요편성수, 최소 소요편성수에 운영가용도를 고려하여 추가할 편성수를 합한 편성수

따라서 운영가용도는 2.1에서 기술한 단계에서 서비스 준비율(SP)이 결정되고, 최소 소요편성수가 결정되면 식 (7)에 의해 소요편성수와 운영가용도를 결정할 수 있다. 식 (7)과 같이 구입하는 차량의 운영가용도가 높으면 상대적으로

적은수의 편성을 구입하며 운영가용도가 낮을 때는 많은 수의 편성을 보유하여야 한다.

따라서 소요편성수와 운영가용도를 결정할 때는 달성가능한 운영가용도 범위를 고려하고, 이에 따른 필요한 소요편성수를 동시에 고려하여 결정하여야 한다.

Eberlein 등[15]은 Fig. 1에서처럼 현대적인 철도차량에서의 평균 운영가용도를 약 88.5~93.5%로 보았다.

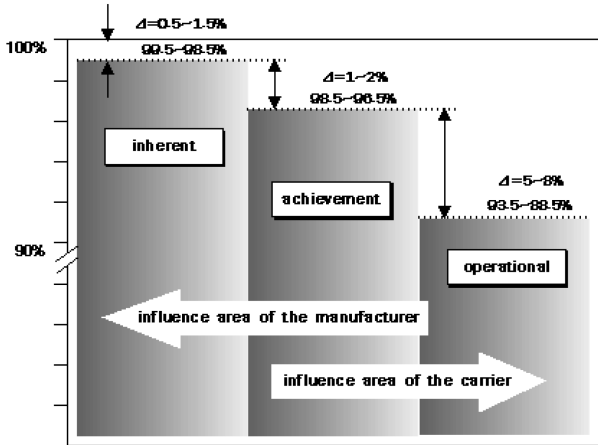


Fig. 1. Availability types and average availability levels of modern railway vehicles

식 (7)을 운행편성수가 20편성일 때 운영가용도 0.7~0.99에서 소요편성수가 각각 20, 22, 24, 26, 28, 30편성인 경우의 서비스 준비율을 Fig. 2에서 보여준다.

Fig. 2는 서비스 준비율이 최소한 90% 이상은 되어야 하는 실제 상황에서 운영가용도나 소요편성수의 차이를 부각하지 못하므로 그림을 확대해보면 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에서 운영가용도가 0.85인 경우, 소요편성수를 24

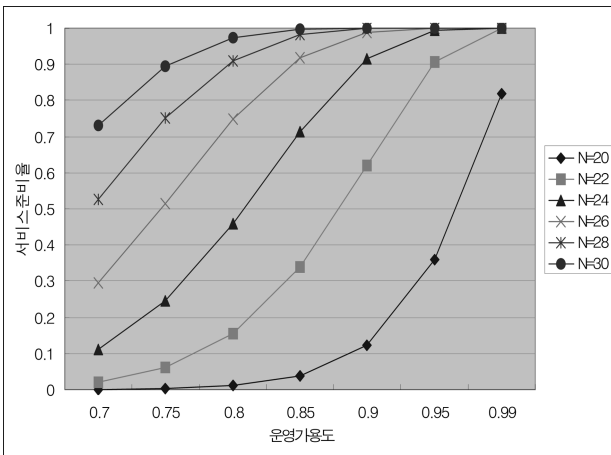


Fig. 2. Service preparation ratio according with operational availability for various number of fleet in the case of S=20

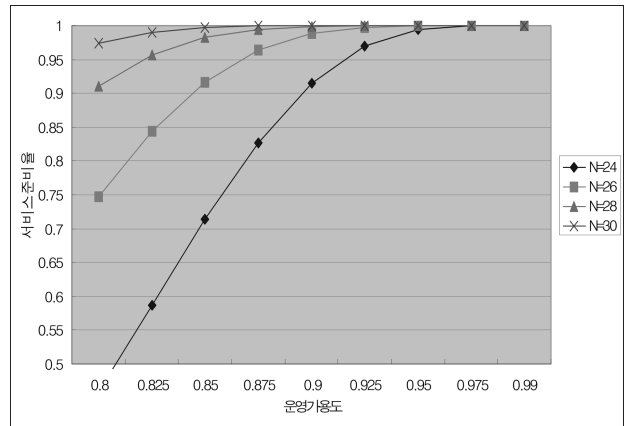


Fig. 3. Service preparation ratio above 0.5 according with operational availability for various number of fleet in the case of S=20

로 하면 서비스 준비율은 0.713으로 너무 낮다. 26편성은 되어야 서비스 준비율이 0.917이고 28편성이면 0.982가 된다. 운영가용도가 0.925인 경우, 24편성의 경우에도 서비스 준비율은 0.915가 되고 26편성이면 0.998이 된다.

운영가용도가 결정되면 식 (6)으로부터 총비가동시간 TDT를 구할 수 있다. 즉,

$$TDT = TT(1 - A_o) \quad (8)$$

한편 전체비가동시간 TDT는 철도차량에서 예방정비(Preventive Maintenance, PM)와 교정정비(Corrective Maintenance, CM) 그리고 행정소요시간과 보수품 대기시간 등의 정비시 발생하는 시간(Administrative and Logistic Down Time, ALDT)으로 구성된다. 즉,

$$TDT = TDT_{PM} + TDT_{CM} + TDT_{ALDT} \quad (9)$$

여기에서 ALDT는 순수하게 운영자의 정비환경에 따라 결정되는 요인으로서 유사한 철도차량의 정비데이터로부터 도출할 수 있다. IEC62278[16]의 가용도의 정의에 따르면, 성취가용도( $A_a$ )와 고유가용도( $A_i$ )는

$$A_a = \frac{TUT}{TUT + TDT_{PM} + TDT_{CM}} \quad (10)$$

$$A_i = \frac{TUT}{TUT + TDT_{CM}} = \frac{MTBLF}{MTBLF + MTTR} \quad (11)$$

MTBLF : 로지스틱 고장간 평균시간(Mean Time Between Logistic Failure)

MTTR : 평균고장수리시간(Mean Time To Repair)

식 (9)로부터 예방정비와 교정정비 소요시간( $TDT_{PM} + TDT_{CM}$ )을 구하면 식 (10)에서 목표 성취가용도를 구할 수 있다. 또는 같은 기간동안 예방정비에 소요되는 시간을 예

방정비종류별로 유지보수성에서 별도로 요구한다면,  $TDT_{PM}$ 은 주어진 조건으로 보고  $TDT_{CM}$ 을 구할 수 있고 식 (11)로부터 목표 고유가용도를 구할 수 있다.

### 2.3 유지보수성 목표값

유지보수성은 가용성과 수명주기비용과 관련되어 있다. 정인수 등은 철도운영기관의 유지보수 체계와 정책에 따라 IEC62278과 CLC/TR 50126-3[17]에서 제시하는 특성값을 선택할 수 있다고 하면서 평균고장수리시간(MTTR)과 예방정비 종류별 소요시간 및 인시(man-hour)를 유지보수성의 특성값으로 제안하였다[12]. RAC[18]에서는 현장(Field)에서의 유지보수성은 MTTR과 예방정비 소요시간 등이 필요하지만 기지(Shop)나 공장(Factory)에서의 예방정비 소요시간 등은 규정하지 않는 것이 일반적이라고 주장한다.

유지보수성은 철도차량 설계상의 난이도의 차이도 있겠지만 유지보수 인력의 숙련도에 따라서도 큰 차이가 있으므로 요구조건을 설정해도 입증에 어려움이 많다. 실용적으로는 유사한 철도차량의 유지보수성에 큰 문제가 없거나 현저한 유지보수성의 향상을 위한 기술적 진보가 없다면 유사한 철도차량의 MTTR을 준용하는 것이 적절하다고 판단된다. 한편 예방정비는 정비인력의 산정과 전체수명비용(Life Cycle Cost)에 미치는 영향이 크므로 유사한 철도차량이 운영되는 환경에서 최대한 정비주기가 연장되는 기준을 요구하는 것이 적절할 것이다.

### 2.4 로지스틱 신뢰도 목표값

로지스틱 신뢰도는 서비스 신뢰도와는 다른 개념으로 우리가 필요하지 않을 확률을 의미한다. 즉 로지스틱 고장은 서비스 고장의 범주에 포함되지 않는 고장을 의미한다. 예를 들어 철도차량의 신호관련 장치는 안전상의 이유로 대부분 이중계(Double Redundancy)를 채택하는 데, 이중 하나가 고장이 나도 운영을 계속할 수 있다. 이런 경우의 고장은 서비스 고장이 아니고 로지스틱 고장에 해당된다. 로지스틱 신뢰도는 안전성이나 서비스 신뢰성과 직접적인 인과관계는 적지만 전생애비용에는 큰 영향을 미친다.

로지스틱 신뢰도의 특성값으로는 서비스 신뢰성과 로지스틱 고장간 평균시간 또는 거리(MTBLF, MKBLF)를 사용한다. 고유가용도와 MTTR이 주어진 조건이라면 목표 로지스틱 신뢰도는 식 (11)로부터 구할 수 있다. 즉,

$$MTBLF^* = \left(\frac{A_i}{1-A_i}\right) MTTR \quad (12)$$

$$MKBLF^* = C \cdot MTBLF^* = C \cdot \left(\frac{A_i}{1-A_i}\right) MTTR \quad (13)$$

## 3. RAM 요구조건 설정 사례

이 장에서는 2장에서 기술한 요구조건 설정방법을 서비스 정시율 95%(SA=0.95), 서비스 준비율 99.8%(SP=0.998)인 경우에 대해 적용해 보기로 한다. 이 조건들은 철도운영자나 철도서비스규제기관이 서비스 정책과 고객 요구 수준을 고려하여 결정해야할 사항이다. 최소 소요편성수는 20편성인 경우를 가정한다. 또한 정량화된 요구조건을 산출하기 위해서는 실제 운영데이터가 필요한 데, 여기에서는 KTX의 사례를 활용하기로 한다.

### 3.1 목표 서비스 신뢰도 설정

먼저 서비스 신뢰도는 식 (1)과 같이 기반시설물과 운영시스템 고장율을 운영데이터로 부터 구해야 하지만, KTX의 데이터는 열차지연이 복합적으로 이루어지는 관계로 이들 요인들이 중첩되어 기록되어서 유용한 데이터를 구할 수 없었다. 그러나 차량고장으로 인한 열차지연과 연쇄지연은 명확히 구분되어 있어, 전체 열차지연 횟수의 비율로 표현할 수 있다. 즉, 차량고장으로 인한 지연이 아닌 것은 기반시설물이나 운영시스템 고장으로 인한 지연으로 볼 수 있다. 2007년 1월부터 2008년 5월까지 17개월간의 전체 열차지연 횟수와 차량고장으로 인한 지연횟수(차량고장으로 인한 연쇄지연 횟수 포함)는 Table 1과 같다.

Table 1. KTX Delay Data during Jan. 2007 ~ May 2008

총열차횟수 (Total # of trains)	지연열차횟수 (# of Delayed trains)	차량원인 지연횟수 (Delayed due to Rolling Stock)
78,269	3,987	407
기간중 총주행거리(Running Distance) : 30,658,812 km		

Table 1로부터,

$$\lambda_s = 3,987/30,658,812 = 13.004 \times 10^{-5} \text{ [건/km]}$$

$$\lambda_r = 407/30,658,812 = 1.328 \times 10^{-5} \text{ [건/km]}$$

$$\lambda_i + \lambda_o = \lambda_s - \lambda_r = 13.004 \times 10^{-5} - 1.328 \times 10^{-5} = 11.676 \times 10^{-5} \text{ [건/km]}$$

새로 구매할 차량이 KTX와 같은 기반시설물과 운영환경에서 운영된다면, 새로 구매할 차량의 목표 서비스고장율은 식 (4)에서

$$\lambda_r^* = \frac{1}{375} (\ln 0.95 - \ln 0.998) - (11.676 \times 10^{-5}) = 1.468 \times 10^{-5} \text{ [건/km]}$$

여기에서 1회 서비스 운행거리  $t_m$ 은 KTX의 평균운행거리 375km를 적용하였다. 이 목표 고장율의 단위는 [건/km]이

므로 식 (5)의 C는 필요없이

$$MKBSF_r^* = \frac{1}{\lambda_r^*} = 68,146\text{km}$$

이 값의 의미는 새로 구매되는 차량의 서비스 신뢰도가 이 값 이상은 되어야 기존 기반시설물과 운영환경의 고장을 전제하에 95%의 정시율을 달성할 수 있다는 것이다. 현재의 기반시설물과 운영환경하에서 서비스 준비율을 99.8%(SP = 0.998)로 한다면 서비스 정시율 목표를 더 높여서 잡을 수 있다. 서비스 정시율과 차량의 목표 서비스 신뢰도를 식 (4)와 (5)로부터 구한 결과가 Table 2와 같다.

**Table 2.** Relationship between service accuracy and service reliability of rolling stocks in this case study

서비스 준비율(SP)	서비스 정시율(SA)	MKBSF [km]
0.998	0.95	68,146
0.998	0.951	84,254
0.998	0.952	110,299
0.998	0.953	159,576
0.998	0.954	N.A.

Table 2로부터 서비스정시율 95.3%까지는 가능하지만 95.4%는 기반시설물과 운영환경의 고장율만으로도 95.4%의 정시율을 지킬 수 없으므로 불가능함을 보여준다. 이 사례에서는 유사 차량시스템인 KTX의 목표 서비스신뢰도가 121,000km[19]이었음을 감안하면 구매 차량의 목표 서비스 신뢰도를 약 160,000km로 설정할 경우 서비스 정시율 목표를 95.3%로 할 수 있음을 보여준다.

### 3.2 목표 유지보수성 설정

유지보수성의 경우 유사한 철도차량인 KTX에서는 계약 요구사항으로 MTTR을 2.7시간으로 하되, 최대 교정정비시간은 90%가 6.2시간 내가 되도록 요구하였다. 예방정비에 대해서는 정비시간과 인시(man-hour) 요구조건이 없었다 [19]. 현재 KTX 예방정비의 종류와 초기 정비주기를 연장한 주기, 그리고 소요시간과 인시는 Table 3과 같다.

유지보수성에 대해서는 2장에서 기술한대로 위와 같은 요구조건을 설정해도 큰 무리는 없을 것으로 판단된다.

### 3.3 목표 가용도 설정

운영가용도는 식 (7)에서 소요편성수와 함께 결정할 수 있다. 즉 서비스 준비율을 0.998로 할 때 운행편성수가 20 편성이면, 소요편성수에 따라 운영가용도는 달라진다. SP = 0.998일 때, 소요편성수에 따른 운영가용도의 변화를 Table

**Table 3.** Preventive Maintenance for KTX [14,15]

Types	Period	Avg. time (hour)	Man-hour	# of action during 16 months
FGI <sup>1)</sup>	16 months	40	2,694	1
GI <sup>2)</sup>	8 months	24	1,414	1
LI <sup>3)</sup>	4 months	16	1,184	2
SWT <sup>4)</sup>	1 month	8	142	12
RGI <sup>5)/CE<sup>6)</sup></sup>	9 days	4	55.68	23
ES <sup>7)</sup>	3 days	2	24.16	139

- 1) Full General Inspection : 전반검수
- 2) General Inspection : 일반검수
- 3) Limited Inspectio : 제한검수
- 4) Systematic Works on Trainset : 체계검수
- 5) Running Gear Inspection : 주행기어검사
- 6) Comfort Examination : 실내검수
- 7) Examination Service : 일상검수

**Table 4.** Relationship between required number of fleet and operational availability (A<sub>o</sub>) in this case study

SP	Required number of fleet	A <sub>o</sub>
0.998	22	0.989
0.998	23	0.976
0.998	24	0.962
0.998	25	0.945
0.998	26	0.925
0.998	27	0.910
0.998	28	0.892
0.998	29	0.875

4에 보여준다. Fig. 1에 따른다면 운영가용도는 0.885~0.935 사이가 유효하다고 할 수 있고, 따라서 소요편성수는 25~29 편성으로 할 수 있다. 이 사례에서는 소요편성수를 26편성으로 한다고 가정하면, 운영가용도는 0.925가 된다.

운영가용도로부터 성취가용도 또는 고유가용도를 구하기 위해서는 예방정비시간과 ALDT가 필요하다. 또한 전체시간은 최장 예방정비주기인 16개월을 적용하면 가용도를 계산하기 위한 수치는 Table 3에서부터,

$$TDT_{PM} = \sum\{(\text{예방정비종류별 평균소요시간}) \times (\text{16개월중 시행횟수})\} = 562 \text{ [hour/편성]}$$

ALDT는 KTX의 행정소요시간과 보수품 대기시간을 2007년도 운영데이터로부터 산출한 결과로부터

$$TDT_{ALDT} = 222 \text{ [hour/편성]}$$

이다. 또한 식 (6)과 식 (8)에서

$$TUT = A_o \times TT = 0.925TT = 0.925 \times 16\text{개월} \\ = 10,834 \text{ hour}$$

$$TDT = (1-A_o) \times TT = 0.075TT = 878 \text{ hour}$$

이므로 식 (9)에서,

$$TDT_{CM} = TDT - TDT_{PM} - TDT_{ALDT} = 94 \text{ [hour/편성]}$$

이므로 식 (10)과 (11)로부터,

$$\text{목표성취가용도 } A_a^* = \frac{TUT}{TUT + TDT_{PM} + TDT_{CM}} \\ = 0.943 = 94.3\%$$

$$\text{목표고유가용도 } A_i^* = \frac{TUT}{TUT + TDT_{CM}} \\ = 0.991 = 99.1\%$$

가 된다.

### 3.4 로지스틱 신뢰도 설정 사례

로지스틱 신뢰도는 앞에서  $MTTR = 2.7$ ,  $A_i^* = 0.991$ 이므로 식 (12)로부터

$$MTBLF^* = \left( \frac{0.991}{1-0.991} \right) \times 2.7 = 110.1 \text{ [hour]}$$

시간을 거리로 환산하기 위해서는

$$MKBLF^* = C \cdot MTBLF^* = 102.7 \times 110.1 = 11,308 \text{ [km]}$$

가 된다.

## 4. 맺음말

철도차량을 구매하는 데 있어서 RAM 목표값을 설정하고 공급자에게 요구조건으로 제시하여 납품 시 이 요구조건들을 만족했는지를 입증하는 것은 철도서비스의 품질을 보장하는 데 매우 중요하다. 본 연구에서는 철도차량의 정량적 RAM 목표값을 설정하는 방법에 대해서 제안하였고 또한 실제 철도차량에서 발생한 운영데이터를 활용하여 서비스 신뢰도, 성취가용도와 고유가용도 그리고 유지보수성과 로지스틱 신뢰도의 목표값을 구해보았다.

이 사례에서는 서비스신뢰도 목표는  $MKBSF_r^* = 68,146$  km이지만 160,000km로 할 경우 서비스 정시율을 95.3%까지 향상시킬 수 있었고, 로지스틱 신뢰도 목표는  $MKBLF^* = 11,408$ km, 가용도 목표는 고유가용도 99.1% 또는 성취가용도 94.3%, 유지보수성 목표는 MTTR을 2.7시간으로 하고 최대 교정정비시간의 90%가 6.2시간 이내가 되도록 하며, 예방정비의 주기와 인시는 Table 3과 같이 설정하였다.

이 사례의 목표값을 유사 시스템인 KTX와 비교하면, 서비스 신뢰도는 KTX가 121,000km로 이 사례의 목표값을 160,000km로 설정하는 것이 타당하고, 유지보수성은 KTX의 목표와 주기가 연장된 현재의 정비체제로 설정했으므로 타당하다고 판단된다. 가용도와 로지스틱 신뢰도는 KTX에서 설정되거나 산정된 것이 없어 비교하기 어렵다.

추후 계속되는 연구에서는 정량적 RAM 목표값을 계약의 요구조건으로 변환하는 것을 포함한 정량적 RAM 요구조건 설정방법과 이 요구조건의 입증을 위한 시험방안을 제시하고자 한다.

## 참고 문헌

- Bazofsky, I. (2004), Reliability Theory and Practice, Dover Publications, pp.155.
- Kohoutek H.J. (1996), Handbook of Reliability Engineering and Management, 2nd edition, pp.7.1-7.32.
- Petkar, D. V. (1980), "Setting up reliability goals for system", Reliability Engineering, Vol. 1, No. 1, pp 43-48
- Rooney J. P. (1983), "Setting reliability goals for PROCEED control instrumentation," Control Engineering, Vol. 30, No. 2, pp.94-96.
- Carlier, S., Coindoz, M., Denuville, L., Garbellini, L and Altavilla, A. (1996), "Evaluation of reliability, availability, maintainability and safety requirements for manned space vehicles with extended on-orbit stay time", Acta Astronautica Vol. 38, No. 2, pp.115-123.
- Tatry, P.H., Deneu, F. and Simonotti, L. (1997), "RAMS approach for reusable launch vehicle advanced studies", Acta Astronautica Vol. 41, No. 11, pp.791-797.
- Vintr, Z. and Holub, R. (2001), "R&M requirements allocation in upgrading a system", Reliability and Maintainability Symposium, Annual Proceedings, pp.258-263.
- 이한규 (2000a), "RAM 요소설계 목표값 연구", 한국군사과학기술학회지, 제3권 제1호, pp.220-230.
- 이한규 (2000b), "미래형 전차의 RAM 목표값 설정에 관한 연구", 석사학위논문, 군사과학대학원.
- 권용수, 이경행 (2007), "함정탐재 유도무기에 대한 OMS/MP 템플릿 개발", 한국국방경영분석학회지, 제33권 제2호.
- Mayer, E. (2000), "Setting reliability goals [for electric utilities]", Power Engineering Society Meeting, IEEE, Vol. 1, Issue 2000, pp.625-627.
- 정인수, 김중윤, 이강원 (2008), "철도차량의 구매 요구사항에 포함되는 RAMS 특성값에 관한 연구", 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp.165.
- O'Connor P.D.T., Newton, D and Bromley, R. (1995), Practical Reliability Engineering, 3rd Edition, John Wiley & Sons, pp.6-8.
- 대한교통학회 (2003), "철도투자분석 및 평가편람 개정 연구용역".
- Eberlein, M. and Hofer, L. (2002), "The development of rail vehicles from the perspective of greater availability", RTR-Railway Technical Review, International Journal for Railway Engineers,

- No. 2-3, pp.112-121.
16. IEC62278 (2002), "Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)".
  17. CLC/TR 50126-3 (2006), "Guide to the application of EN50126 for rolling stock RAMS".
  18. RAC, Reliability Toolkit:Commercial Practices Edition, pp.51-55.
  19. KHRCA (1994), "Contract for rolling stock catenary train control systems and related services", Vol. 1, Exhibit D : RS, pp.32-35.
  20. 한국철도공사 (2005), "KTX차량 검수주기 조정 시행", 고속차량차-1086.
  21. Nemo Partners (2006), "인력운영 합리화 방안 수립 최종보고서", pp.528.
- 접수일(2008년 2월 21일), 수정일(2008년 8월 5일), 게재확정일(2008년 8월 6일)