

## KTX 승강문 시스템의 신뢰도 배분<sup>§</sup>

장무성<sup>\*†</sup> · 최병오<sup>\*</sup> · 이정훈<sup>\*\*</sup>

\* 한국기계연구원 신뢰성평가센터, \*\* 한국철도공사 연구원

### Reliability Allocation for KTX Door System

Mu Seong Chang<sup>\*†</sup>, Byung Oh Choi and Jeong Hun Lee<sup>\*\*</sup>

\* Reliability Assessment Center, Korea Institute of Machinery and Materials, \*\* KORAIL Research Institute

(Received March 10, 2014 ; Revised May 13, 2014 ; Accepted June 3, 2014)

**Key Words:** Reliability Allocation(신뢰도 배분), Door System(승강문 시스템), KTX(한국고속철도), Comprehensive Allocation Method(포괄적 배분방법)

**초록:** 일반적으로 신뢰도 배분은 시스템 개발 초기단계에 시스템의 신뢰도 목표 값을 하위 모듈에 배분하기 위해 사용된다. 본 연구에서는 KTX 승강문 시스템의 목표 신뢰도를 하위 모듈에 배분하기 위해 Comprehensive 배분방법을 제시한다. Comprehensive 배분방법은 시스템의 신뢰도를 배분하기 위해 각 모듈에 대한 고장의 중요도, 작동시간 비율, 위험도, 복잡도, 고장률, 수리/정비성, 개발완성도, 사용환경 가혹도, 신뢰도 달성비용의 평가항목을 고려한다. 승강문 시스템의 목표 신뢰도를 만족하기 위해서 시스템을 구성하는 4 가지 모듈의 B<sub>10</sub> 수명을 제시한다.

**Abstract:** Reliability allocation is generally used during the early stage of system development to apportion the system reliability target to its individual modules. This paper presents a comprehensive method for performing the reliability allocation of KTX door systems. Nine criteria for reliability allocation include failure criticality, operating time, risk, complexity, failure rate, maintenance, manufacturing technology, working condition, and reliability cost. For satisfying the system reliability target, the allocated B10 lives of four modules are provided.

- 기호설명 -

$\lambda_s$  : 시스템의 목표 고장률  
 $\lambda_j$  : j 번째 모듈의 배분 고장률  
 $\lambda_j^*$  : 기존자료로 구한 j 번째 모듈의 고장률  
 n : 시스템을 구성하는 모듈 수  
 N : 시스템의 총 부품 수  
 $N_j$  : j 번째 모듈의 부품 수  
 $e_j$  : j 번째 모듈에 대한 고장의 중요도  
 t : 시스템의 작동시간  
 $t_j$  : 시스템 작동시간 중 j 번째 모듈의 작동시간

$\alpha_j$  : j 번째 모듈의 가중치  
 $\rho_j$  : j 번째 모듈의 작동시간 비율  
 $w_i$  : i 번째 평가항목의 상대적 가중치  
 $\gamma_{ij}$  : i 번째 평가항목에 대한 j 번째 모듈의 상대비율  
 $o_{ij}$  : i 번째 평가항목에 대한 j 번째 모듈의 점수  
 m : 평가항목의 수

### 1. 서론

신뢰도 배분(reliability allocation) 또는 신뢰도 할당이란 시스템의 설계/개발 과정에서 중요한 업무로서 전체 시스템에 요구되는 목표 신뢰도(수명) 값을 서브시스템, 모듈 및 부품의 신뢰도 목표 값으로 배분(할당)하는 과정이다. 배분된 신뢰도 목

§ 이 논문은 2014년도 대한기계학회 신뢰성부문 춘계학술대회(2014. 2. 26.-28., 제주대) 발표논문임

† Corresponding Author, mirucms@kimm.re.kr

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

표 값은 시스템의 설계과정에서 부품 선택, 서브 시스템이나 모듈의 구조 등을 결정하는 근거자료로 활용된다.

일반적으로 하위 모듈에 대한 비용과 신뢰도의 관계가 정량적으로 알려져 있다면 신뢰도 또는 비용을 제약조건으로 두고 비용을 최소화하거나 신뢰도를 최대화하는 신뢰도 배분 방법을 적용할 수 있다. 하지만 이러한 정보가 없을 경우에는 해당 제품에 대해 잘 알고 있는 전문가들의 경험치를 활용한다.<sup>(1)</sup>

전통적인 신뢰도 배분방법으로 균등방법, ARINC(aeronautical radio inc.) 방법, AGREE(advisory group of reliability of electronic equipment) 방법, 목표 가능성에 의한 방법(feasibility of objectives) 등이 존재한다.<sup>(2)</sup> Amari and Hegde 는 수리 가능한 시스템에 대해 목표 가용도를 만족하는 신뢰도 배분방법을 제시하였으며,<sup>(3)</sup> Mettas 는 신뢰도 요구사항을 만족하면서 비용을 최소화하는 모델을 제시하였으며, 이 모델은 신뢰성 소프트웨어인 BlockSim 의 신뢰도 배분에 사용되고 있다.<sup>(4)</sup> Wang 등은 CNC 선반의 15 개 서브시스템에 대한 신뢰도 배분을 위해 7 가지의 평가항목을 고려하였다.<sup>(5)</sup> Kim 등은 서브시스템의 고장 치명도와 해당 서브시스템의 상대 고장빈도를 이용하여 시스템에 심각한 고장 영향을 줄일 수 있는 신뢰도 배분방법을 제시하였다.<sup>(1)</sup>

정략교 등은 경량전철 차량시스템의 하부시스템에 대해 신뢰도 배분을 하기 위해 국내 지하철의 고장 비율을 활용하였으며, 또한 차량시스템 출입문 장치의 하위 구성품까지 신뢰도를 배분하였다.<sup>(6,7)</sup> 이강원 등은 KTX-II 고속차량의 목표 신뢰도 달성을 위해 가장 효과적인 신뢰도 배분 모형으로 판단한 BlockSim 을 이용한 할당 방법에 대해 설명하였다.<sup>(8)</sup> 차재환 등은 KTX 와 KTX-II 의 RAM 목표 값과 서브시스템의 신뢰도 배분 값을 제시하고 있으며, KTX 도어시스템의 평균수명은 5,437,790km 로 배분하였다.<sup>(9)</sup> 그 외 승강문 시스템에 대한 연구로 신정훈 등은 열차 승강문에 장착되는 링크식 발판의 강도 및 기구학적 설계에 대한 시뮬레이션 연구를 수행하였으며,<sup>(10)</sup> 최병오 등은 승강문 시스템이 국내 작동환경에 맞는 성능, 환경 및 수명시험에 대한 평가기준을 제시하고 있다.<sup>(11)</sup>

본 연구에서는 대표적인 신뢰도 배분방법인 ARINC 방법, AGREE 방법과 기계류 시스템에 적용할 수 있는 Comprehensive 신뢰도 배분방법에

대해 설명한다. 그리고 KTX 승강문 시스템의 목표 신뢰도를 하위 모듈에 신뢰도를 배분하기 위해 Comprehensive 신뢰도 배분방법의 9 가지 평가항목을 고려하여 적용한다. 또한 평가항목의 상대적 가중치를 조정 후 신뢰도 배분방법들의 결과를 비교하고자 한다.

## 2. 신뢰도 배분 방법

신뢰도 배분방법의 선택은 시스템에 대한 주어진 정보와 가정사항에 따라 선택될 수 있다. 예를 들어 하위 모듈에 대한 정보가 전혀 없는 경우에는 균등방법을 사용할 수 있고, 모듈에 대한 고장률 정보가 존재하는 경우에는 ARINC 방법을 사용할 수 있으며, 각 모듈에 대한 고장률 보다는 시스템의 복잡도가 알려진 경우라면 AGREE 방법을 고려할 수 있다.<sup>(12)</sup> 그 외 정비가 중요한 시스템의 경우에 시스템의 목표 가용도와 모듈의 수리 시간 정보를 활용한 배분방법, 임의의 구조에 적용할 수 있는 BlockSim 방법, 그리고 신뢰도 배분에 다양한 평가항목을 고려한 Comprehensive 방법 등이 존재한다.

### 2.1 ARINC 방법

ARINC 방법에서는 상수 고장률을 갖는 모듈들이 직렬로 연결되어 있는 시스템을 대상으로 하며, 모듈의 작동시간과 시스템의 작동시간은 동일하다고 가정한다. 여기서 배분되는 신뢰도는 고장률로 나타내며 배분 절차는 아래와 같다.<sup>(2)</sup>

- ① 아래 식에서  $\lambda_j$  를 결정하는 것이 목적이다.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq \lambda_s$$

여기에서,  $\lambda_j$ : j 번째 모듈에 배분된 고장률

$\lambda_s$ : 시스템의 목표 고장률

n: 시스템을 구성하는 모듈 수

- ② 기존의 관측자료 및 추정결과로부터 j 번째 모듈의 고장률( $\lambda_j^*$ )을 결정한다.
- ③ 각 모듈에 대한 가중치를 고려하여 배분 고장률을 식 (1)과 같이 구한다.

$$\lambda_j = \lambda_s \times \frac{\lambda_j^*}{\sum_{j=1}^n \lambda_j^*} \quad (1)$$

### 2.2 AGREE 방법

AGREE 방법은 신뢰도를 배분할 각 모듈의 복

잡도(complexity), 모듈의 고장과 시스템의 고장과의 관계를 반영한 중요도, 그리고 시스템 대비 각 모듈의 작동시간에 기초하여 신뢰도를 배분하는 방식이다. 상수 고장률을 갖는 모듈들이 직렬구조를 이루는 시스템을 대상으로 하며, 각 모듈들은 서로 독립이라고 가정한다.

모듈의 복잡도는 모듈을 구성하는 부품의 개수로 나타내며, 중요도는 해당 모듈의 고장 시 시스템이 고장 날 확률로 나타낸다. 시스템의 목표 고장률을  $\lambda_s$  라 할 때 j 번째 모듈에 배분되는 고장률  $\lambda_j$ 는 식 (2)와 같이 결정된다.<sup>(13)</sup>

$$\lambda_j = \frac{\lambda_s \cdot N_j \cdot t}{N \cdot e_j \cdot t_j} \quad (2)$$

여기서, t 는 시스템의 작동시간, t<sub>j</sub> 는 시스템 작동시간 중에서 j 번째 모듈의 작동시간, N 는 시스템의 총 부품 수, N<sub>j</sub> 는 j 번째 모듈의 부품 수, e<sub>j</sub> 는 j 번째 모듈의 중요도이다. 지수분포의 신뢰도 함수 ( $R(t) = \exp(-\lambda \cdot t)$ ) 와 고장률의 관계를 이용하면 식 (2)는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\lambda_j = \frac{N_j \cdot [-\ln R(t)]}{N \cdot e_j \cdot t_j} \quad (3)$$

또한 j 번째 모듈의 신뢰도 R<sub>j</sub>(t<sub>j</sub>)와 시스템 신뢰도 R(t)와의 관계를 이용하면 식 (3)은 식 (4)와 같이 구해진다.

$$R_j(t_j) = \exp\left[-\frac{N_j \cdot [-\ln R(t)]}{N \cdot e_j}\right] \quad (4)$$

### 2.3 Comprehensive 방법

Wang 등은 CNC 선반의 15 개 서브시스템에 대한 신뢰도 배분을 위해 7 가지의 평가항목을 고려하였으나,<sup>(5)</sup> 본 연구에서는 신뢰도 배분을 위한 평가항목으로 고장의 중요도, 작동시간 비율, 위험도, 복잡도, 고장률, 수리/정비성, 개발완성도, 사용환경 가혹도, 신뢰도 달성비용의 9 가지를 고려하였다. Comprehensive 신뢰도 배분방법에서 시스템의 목표 고장률이  $\lambda_s$  일 때, j 번째 모듈에 대한 배분 고장률  $\lambda_j$ 는 식 (5)<sup>(13)</sup>와 같다.

$$\lambda_j = \lambda_s \times \frac{1}{e_j} \times \frac{1}{\rho_j} \times \alpha_j \quad (5)$$

여기서, e<sub>j</sub> 는 j 번째 모듈에 대한 고장의 중요도, ρ<sub>j</sub> 는 j 번째 모듈의 작동시간 비율, α<sub>j</sub> 는 j 번째 모듈의 가중치를 나타낸다. 각 모듈의 가중치 α<sub>j</sub>

는 식 (6)과 같으며, 가중치의 합은 1 이다. w<sub>i</sub> 는 i 번째 평가항목의 상대적 가중치를 나타내며, 가중치의 합은 1 이며, γ<sub>ij</sub> 는 i 번째 평가항목에 대한 j 번째 모듈의 상대비율, o<sub>ij</sub> 는 i 번째 평가항목에 대한 j 번째 모듈의 점수이다. 그리고 n 은 모듈의 개수로서 본 연구에서는 4 가 되며, m 은 평가항목의 개수로 7 이 된다.

$$(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = (w_1, w_2, \dots, w_m) \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \dots & \gamma_{1n} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \dots & \gamma_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma_{m1} & \gamma_{m2} & \dots & \gamma_{mn} \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\gamma_{ij} = o_{ij} / \sum_{j=1}^n o_{ij}$$

Comprehensive 방법에서 평가항목에 따른 신뢰도 배분은 아래와 같이 이루어진다.

- 고장의 중요도가 클수록 신뢰도는 높게 할당
- 작동시간 비율이 클수록 신뢰도는 높게 할당
- 위험도가 클수록 신뢰도는 높게 할당
- 복잡도가 클수록 신뢰도는 낮게 할당
- 고장률이 높을수록 신뢰도는 낮게 할당
- 수리/정비성이 좋지 않을수록 신뢰도는 높게 할당
- 개발완성도가 높을수록 신뢰도는 높게 할당
- 사용환경 가혹도가 클수록 신뢰도는 낮게 할당
- 신뢰도 달성비용이 클수록 신뢰도는 낮게 할당

본 연구에서 복잡도와 고장률은 실제 정량적인 값을 사용하였으며, 나머지 7 개의 평가항목에서 신뢰도를 높게 할당하기 위해서는 낮은 점수를 입력하고, 신뢰도를 낮게 할당하기 위해서는 높은 점수를 입력한다. 고장의 중요도와 작동시간 비율은 0 과 1 사이의 값을 입력하고, 위험도, 수리/정비성, 개발완성도, 사용환경 가혹도, 신뢰도 달성비용은 1 과 10 사이의 값으로 평가하였다.

### 3. 승강문 시스템의 신뢰도배분 사례

승강문 시스템의 목표 고장률( $\lambda_s$ )은  $1.83898 \times 10^{-7}$  이며,<sup>(9)</sup> MTBF (=1/λ<sub>s</sub>)와 B<sub>10</sub> 수명으로 환산하면 5,437,790km 와 572,928km 가 된다. 승강문 시스템은 도어 판넬, 구동부, 잠금장치, 및 스텝의 4 가지 모듈로 구분하였다. 승강문 시스템은 4 개의 모듈이 직렬로 연결된 구조이며, 수명분포는 지수 분포로 가정한다.

신뢰도 배분에 필요한 정량적인 정보인 복잡도는 각 모듈의 부품 수가 되며, 각 모듈별로 도어

**Table 1** Criteria results of comprehensive reliability allocation for KTX door system

Module Criterion	Door panel	Driving device	Locking system	Step	Weight
Failure criticality	0.48	0.93	0.9	0.65	-
Operating time ratio	0.77	0.9	0.87	0.5	
Risk	5.0	2.0	1.0	4.0	0.15
Complexity	38	44	73	34	0.15
Failure rate	*****	*****	*****	*****	0.5
Maintenance	1.67	4.0	6.5	8.0	0.05
Manufacturing technology	2.5	4.0	2.0	6.25	0.05
Working condition	8.0	5.0	6.0	7.5	0.05
Reliability cost	8.0	9.0	9.0	6.0	0.05

판넬 38 개, 구동부 44 개, 잠금장치 73 개, 스텝 34 개이다. 고장률의 경우 2010.1.1 부터 2012.12.31 까지의 KTX 정비 데이터를 활용하여 추정하였으며, 실제 값은 기업의 보안자료라 ‘\*’로 표시하였다.

Comprehensive 신뢰도 배분방법 중 정성적인 평가에 해당하는 7 개의 평가항목들은 3 개 기관의 전문가들의 경험을 바탕으로 작성되었다. 전체 평가항목에 대한 점수는 Table 1 과 같다.

ARINC 신뢰도 배분 결과는 Table 1 의 결과 중 고장률(failure rate) 정보와 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다. AGREE 신뢰도 배분방법은 고장의 중요도(failure criticality), 작동시간 비율(operating time ratio), 복잡도(complexity) 정보와 식 (2)를 활용하여 구한다. AGREE 방법을 적용하여 도어 판넬에 대한 배분 고장률과 B<sub>10</sub> 수명을 구하는 식은 아래와 같으며, 다른 모듈의 경우도 동일한 방식으로 구할 수 있다. 식 (2)에서 t 과 t<sub>j</sub> 는 실제 시간 또는 작동시간 비율 중에 선택할 수 있다.

$$\lambda_j = \frac{1.83898 \cdot 10^{-7} \times 38 \times 1}{189 \times 0.48 \times 0.77} = 1.0004 \cdot 10^{-7}$$

$$B_{10} = (1/\lambda_j) \cdot (-\ln(1-0.1))$$

$$= (1/1.0004 \cdot 10^{-7}) \cdot (-\ln(1-0.1)) = 1,053,199$$

**Table 2** Allocated B<sub>10</sub> life of each module for KTX door system (ARINC and AGREE methods)

Method	ARINC	AGREE	
		Module base	System base
	Module	B <sub>10</sub> (km)	B <sub>10</sub> (km)
Door panel	6,578,624	1,053,199	2,849,565
Driving device	862,733	2,059,847	2,460,988
Locking system	10,010,983	1,161,451	1,483,335
Step	2,990,307	1,035,062	3,184,808

시스템 기준의 배분 고장률은 모듈 기준의 배분 고장률에 다시 고장의 중요도와 작동시간 비율을 곱하여 구한다. 승강문 시스템의 목표 B<sub>10</sub> 수명을 만족하기 위해 ARINC 방법과 AGREE 방법을 이용하여 하위 모듈에 배분된 B<sub>10</sub> 수명 결과는 Table 2 와 같다.

Comprehensive 신뢰도 배분 방법은 Table 1 의 모든 정보를 활용하며, 배분에 필요한 평가항목의 상대적 가중치, 모듈의 상대비율, 위험도 항목에 대한 각 모듈의 상대 비율( $\gamma_{11}, \gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{14}$ ), 모듈의 가중치 결과는 아래와 같다.

$$(w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7)$$

$$= (0.15, 0.15, 0.5, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05)$$

$$\begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \gamma_{14} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} & \gamma_{24} \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} & \gamma_{34} \\ \gamma_{41} & \gamma_{42} & \gamma_{43} & \gamma_{44} \\ \gamma_{51} & \gamma_{52} & \gamma_{53} & \gamma_{54} \\ \gamma_{61} & \gamma_{62} & \gamma_{63} & \gamma_{64} \\ \gamma_{71} & \gamma_{72} & \gamma_{73} & \gamma_{74} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.417 & 0.167 & 0.083 & 0.333 \\ 0.201 & 0.233 & 0.386 & 0.180 \\ * & * & * & * \\ 0.083 & 0.198 & 0.322 & 0.397 \\ 0.169 & 0.271 & 0.136 & 0.424 \\ 0.302 & 0.189 & 0.226 & 0.283 \\ 0.250 & 0.281 & 0.281 & 0.188 \end{pmatrix}$$

$$\gamma_{11} = 5.0 / (5.0 + 2.0 + 1.0 + 4.0) = 0.417$$

$$\gamma_{12} = 2.0 / (5.0 + 2.0 + 1.0 + 4.0) = 0.167$$

$$\gamma_{13} = 1.0 / (5.0 + 2.0 + 1.0 + 4.0) = 0.083$$

$$\gamma_{14} = 4.0 / (5.0 + 2.0 + 1.0 + 4.0) = 0.333$$

$$(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) = (w_1, w_2, \dots, w_7)$$

$$\begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \dots & \gamma_{14} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \dots & \gamma_{24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma_{71} & \gamma_{72} & \dots & \gamma_{74} \end{pmatrix}$$

$$= (0.1764, 0.4389, 0.1473, 0.2373)$$

**Table 3** Allocated MTBF and B<sub>10</sub> life of each module for KTX door system (Comprehensive method)

Module	Module base (km)		System base (km)	
	MTBF	B <sub>10</sub>	MTBF	B <sub>10</sub>
Door panel	11,392,680	1,200,339	30,824,351	3,247,669
Driving device	10,369,261	1,092,511	12,388,603	1,305,270
Locking system	28,900,178	3,044,938	36,909,550	3,888,809
Step	7,446,657	784,584	22,912,790	2,414,103

위의 결과로부터 모듈의 작동시간 기준으로 도어 판넬에 대한 배분 고장률, MTTF, B<sub>10</sub> 수명을 구하는 식은 아래와 같으며, 다른 모듈의 경우도 동일한 방식으로 구할 수 있다. Comprehensive 신뢰도 배분 방법의 결과는 Table 3 과 같다.

$$\lambda_j = 1.83898 \cdot 10^{-7} \times \frac{1}{0.48} \times \frac{1}{0.77} \times 0.1764 = 8.7776 \cdot 10^{-8}$$

$$MTTF = 1/8.7776 \cdot 10^{-8} = 11,392,680$$

$$B_{10} = (1/8.7776 \cdot 10^{-8}) \cdot (-\ln(0.9)) = 1,200,339$$

AGREE 방법과 Comprehensive 방법의 경우 배분 결과를 모듈 기준과 시스템 기준으로 구분하였다. 모듈 기준은 각 모듈의 작동시간 기준이며, 시스템 기준은 각 모듈이 시스템에 장착되어 시스템 작동시간 기준을 의미한다. 신뢰도 배분 방법의 비교를 위해서는 시스템 기준으로 판단한다.

ARINC 방법의 경우, 실제 고장률을 논문에 제시하지는 않았지만 고장률이 가장 큰 구동부의 B<sub>10</sub> 수명이 가장 낮게 배분되었으며, 고장률이 가장 작은 잠금장치의 B<sub>10</sub> 수명이 가장 크게 배분되었다. Table 2 의 ARINC 방법의 배분 결과는 기업 자료의 보안을 위해 일부 조정되었으나, Table 3 의 Comprehensive 배분 결과는 실제 고장률을 기반으로 계산되었다. AGREE 방법의 경우에는 부품 수가 가장 많은 잠금장치의 B<sub>10</sub> 수명이 가장 낮게 배분되었다.

Comprehensive 방법의 결과는 ARINC 방법의 결과와 유사하게 나타났다. 즉, 구동부의 B<sub>10</sub> 수명이 가장 낮게 배분되었으며, 그 다음으로 스텝, 도어 판넬, 잠금장치 순이다. 이것은 Table 1 의 평가항목 중 고장률의 가중치가 0.5 로 입력되었기 때문일 수 있다. 그러나 Comprehensive 방법은 고장률

이외 다른 평가항목도 추가로 고려하였기 때문에 결과의 편차가 ARINC 방법에 비해 적은 것을 알 수 있다.

Comprehensive 방법에서는 평가항목의 가중치를 조정할 경우 배분 결과는 다르게 나타난다. 예를 들어, 고장률의 가중치를 0.99 로 하면 Comprehensive 와 ARINC 방법의 결과가 거의 동일하며, 복잡도의 가중치를 0.99 로 하면 Comprehensive 와 AGREE 방법의 결과가 유사하게 나타난다. 따라서 Comprehensive 방법에서는 평가항목의 가중치 결정에 주의가 필요하다. 승강문 시스템의 경우 고장의 중요도와 작동 시간 비율 이외에 상대적으로 고장률, 위험도, 복잡도의 가중치를 높게 반영하였다.

승강문 시스템은 4 개의 모듈이 직렬구조로 되어 있으며, 신뢰도 함수 R<sub>s</sub>(t)는 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$R_s(t) = R_{\text{도어판넬}}(t) \cdot R_{\text{구동부}}(t) \cdot R_{\text{잠금장치}}(t) \cdot R_{\text{스텝}}(t) \quad (7)$$

각 모듈은 지수분포로 가정하였으며, 승강문 시스템의 MTTF 인 5,437,790km 에서 신뢰도는 0.3679 가 된다. Comprehensive 배분 결과(Table 3) 를 이용하여 t=5,437,790km 에서 도어 판넬, 구동부, 잠금장치, 스텝의 신뢰도는 아래와 같이 각각 0.8383, 0.6447, 0.8630, 0.7887 이 된다.

$$R_{\text{도어판넬}}(t) = \exp\left(-\frac{5,437,790}{30,824,351}\right) = 0.8383$$

$$R_{\text{구동부}}(t) = \exp\left(-\frac{5,437,790}{12,388,603}\right) = 0.6447$$

$$R_{\text{잠금장치}}(t) = \exp\left(-\frac{5,437,790}{36,909,550}\right) = 0.8630$$

$$R_{\text{스텝}}(t) = \exp\left(-\frac{5,437,790}{22,912,790}\right) = 0.7887$$

#### 4. 결 론

본 연구에서는 신뢰도 배분방법 중 ARINC 및 AGREE 방법과 다양한 평가항목을 고려하는 Comprehensive 신뢰도 배분방법에 대해 살펴보았다. 그리고 3 가지 신뢰도 배분 방법을 이용하여 KTX 승강문 시스템 사례에 적용하였다. 본 연구의 결과물은 다음과 같다.

(1) ARINC 방법을 적용할 경우, 승강문 시스템의 목표 B<sub>10</sub> 수명 572,928km 를 만족하기 위해 도어판넬 6,578,624km, 구동부 862,733km, 잠금장치 10,010,983km, 스텝 2,990,307km 가 된다.

(2) AGREE 방법을 적용할 경우, 각 모듈에 배분된  $B_{10}$  수명은 각각 도어판넬 2,849,565km, 구동부 2,460,988km, 잠금장치 1,483,335km, 스텝 3,184,808km가 된다.

(3) Comprehensive 방법을 적용할 경우, 각 모듈에 배분된  $B_{10}$  수명은 각각 도어판넬 3,247,669km, 구동부 1,305,270km, 잠금장치 3,888,809km, 스텝 2,414,103km가 된다. 그리고 승강문 시스템의 MTTF인 5,437,790km에서 시스템 신뢰도 36.8%를 달성하기 위해서 각 모듈의 신뢰도는 각각 도어판넬 83.83%, 구동부 64.47%, 잠금장치 86.3%, 스텝 78.87% 이상이 되어야 한다.

(4) Comprehensive 방법의 경우에는 평가점수 이외에도 평가항목의 가중치에 영향을 많이 받기 때문에 가중치의 결정이 중요하다. 가중치는 시스템의 특성, 시스템을 사용하는 기업의 정책과 전략, 평가 점수의 신뢰성을 고려할 수 있다.

신뢰도 배분결과는 근사적인 수치이며, 설계의 가능성을 결정하기 위한 기준 값으로 사용되는 것이 바람직하다. 만약 현재 기술수준으로 달성하기 어려우면 설계를 변경하여 신뢰도 배분을 다시 실시할 수도 있으며, 향후 신뢰도 예측 및 분석을 통해 배분결과에 대한 검토가 필요하다.

## 후 기

본 연구는 “고속열차 승강문시스템 국산화 개발”의 일환으로 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌 (References)

- (1) Kim, K. O., Yang, Y. and Zuo, M. J., 2013, “A New Reliability Allocation Weight for Reducing the Occurrence of Severe Failure Effects,” *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 117, pp. 81~88.
- (2) Department of Defense of USA, 1998, “MIL-HDBK-338B-Electronic Reliability Design Handbook”.
- (3) Amari, S. V. and Hegde, V., 2006, “New Allocation Methods for Repairable Systems,” *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 290~295.
- (4) Mettas, A., 2000, “Reliability Allocation and Optimization for Complex Systems,” *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 216~221.
- (5) Wang, Y., Yam, R. C. M., Zuo, M. J. and Tse, P., 2001, “A Comprehensive Reliability Allocation Method for Design of CNC Lathes,” *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 72, No. 3, pp. 247~252.
- (6) Jeong, R. G., Yoon, Y. K., Mok, J. K. and Lee, B. S., 2001, “The Reliability Allocation of the AGT Vehicle System,” *Proceedings of the KIEE-EE&ETS 2001 Spring Conference*, pp. 369~371.
- (7) Jeong, R. G., Yoon, Y. K. and Lee, B. S., 2001, “A Reliability Allocation for Door System of the AGT Vehicle System,” *Proceedings of the KIEE 2001 Summer Conference*, pp. 1233~1235.
- (8) Lee, K. W. and Chung, I. S., 2007, “Reliability Allocation Model for KTX-II High Speed Train,” *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 10, No. 3, pp. 319~326.
- (9) Cha, J. H., Chung, I. S. and Jo, K. W., 2008, “KTX-II RAMS Application Standard for Safety of Passenger Transportation Service,” *Proceedings of the Korean Society for Railway 2008 Fall Conference*, pp. 1525~1538.
- (10) Shin, J. H., Kim, N. K., Nam, T. Y. and Choi, B. O., 2012, “A Simulation Study on the Safety Design of a Linkage Type Foot-Step in Railway Application,” *Proceedings of the KSME 2012 Fall Annual Meeting*, pp. 1997~2000.
- (11) Choi, B. O., Kang, B. S., Lee, S. H., Kim, K. S. and Lee, J. H., 2013, “Development of reliability test of high-speed train door system,” *Proceedings of the KORMS and KIIE Joint Conference*, pp. 2501~2505.
- (12) Kim, K. M., Lee, J. W. and Choi, S. M., 2008, “Applications of ARINC, FMEA and FTA for Allocating Reliability of Multi-Phased Mission Systems,” *Proceedings of the KIIE Fall Conference*, pp. 227~232.
- (13) Kwon, Y. I., 2007, “Reliability Allocation Method Development for Mechanical Systems,” Technical Report of Korea Institute of Machinery and Materials.