KTX-II 고속 차량을 위한 신뢰도 할당 모델
Reliability Allocation Model for KTX-II High Speed Train

이강원*　　정인수**

Lee, Kang-won　　Chung, In-soo

ABSTRACT

During the design phase of a system, which requires high reliability and safety such as aircraft, high speed train and nuclear power plant, reliability engineer must set up the target system reliability. To meet a reliability goal for the system, reliability allocation should be done gradually from the system to its element. For this end, first of all, we need to construct functional block diagram based on the design output and PWBS(Project Work Breakdown System). Another important input data for reliability allocation is the relationship between the cost and the reliability. In this study we investigate various reliability allocation models, which can be applicable to aircraft, vehicle, and power plant, and etc. And we suggest a proper reliability allocation model which can be effectively applicable to KTX-II high speed train to achieve the target system reliability.

1. 서 론

항공기나 고속차량 또는 원자력 발전소등 고도의 신뢰성과 안전성을 요하는 복잡한 시스템 개발의 설계단계에서 개발자는 해당 시스템이 요구하는 신뢰도 목표치를 설정한다. 이 목표치를 달성하기 위해서는 시스템을 구성하는 서브시스템 더 나아가 assembly, subassembly 그리고 component 수준까지 요구되는 신뢰도를 할당할 필요가 있다.

신뢰도 할당 문제는 이미 과거에 많이 연구되어 왔고 또 여러 가지 다양한 신뢰도 할당 모델들이 제시되어 왔다. 그러나 모델에서 요구하는 입력 자료들을 획득하는데 어려움과 모델의 복잡성 혹은 비현실성 등으로 인해 분석 대상인 특정 시스템의 신뢰도 할당을 위해 쉽게 사용할 수 있는 모델을 찾는 것은 간단한 일이 아니다.

KTX-II 고속차량에 요구되는 목표 신뢰성 값을 달성하기 위해서는 차량을 구성하고 있는 주요 서브시스템에서 시작하여 최종 component 까지 적절한 값의 신뢰도 값들이 할당되어야 한다. 이를 위해서

* 서울산업대학교, 산업정보시스템공학과
E-mail : kwlee@snut.ac.kr
TEL : (02) 970-6476 FAX : (02)974-2849
** 한국철도공사, 차량기술단

는 무엇보다도 먼저 설계결과 및 PWBS(Project Work Breakdown System)를 기초로 시스템을 기능별로 분류하고 시스템을 구성하는 구성품의 상호 관계 및 기능을 정의하는 기능 블록선도(Functional Block Diagram)를 작성할 필요가 있다. 이제 기능 블록선도를 활용하여 신뢰도 블록선도(Reliability Block Diagram)를 작성한다. 신뢰도 할당 문제의 또 다른 중요한 입력 자료는 비용(Cost)과 신뢰도의 관계다. KTX-II 고속 차량의 경우처럼 시스템을 새로 개발하거나 과거 자료가 없는 경우 비용과 신뢰도의 정확한 관계를 파악 한다는 것은 거의 불가능한 일이다. 그렇지만 신뢰도 할당 모델이 보다 현실적이고 또 도출된 결과를 유용하게 이용하기 위해서는 비용은 어떤 방식으로든지 모델에 포함되어야 한다.

본 연구에서는 우선 항공기, 차량, 발전소등의 다양한 시스템에서 사용되어온 신뢰도 할당 모델에 대해 살펴보았다. 그 이후 KTX-II 고속 차량의 목표 신뢰성 값 달성을 위해 가장 효과적으로 사용될 수 있는 신뢰도 할당 모델을 제시 하고자 한다.

2. 신뢰도 할당 모델

본 장에서는 과거 수년간에 걸쳐 제시된 신뢰도 할당 모델에 대하여 살펴보았다. 크게 정성적(Qualitative) 모델과 정량적(Quantitative) 모델로 나누어 살펴보았으며 정량적 모델은 다시 비용을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우로 나누어 살펴보았다.

2.1 정성적 모델

이 모델에서는 우선 시스템 신뢰도에 영향을 미치는 요인(Factor)들을 파악한 후 신뢰도 엔지니어나 전문가의 의견을 바탕으로 이 요인들에 적절한 값을 부여한다. 이 요인들의 값을 토대로 적절한 측도를 설정한 후 이를 바탕으로 하여 각 구성부품에 적절히 신뢰도를 할당한다.

1) Karmiol 모델 [2]

이 모델에서는 다음 여러 인자들의 영향력을 고려한다. 즉,

- Complexity (C)
- State of Art Technology (A)
- Operative Profile (O)
- Criticality (C_r)

Karmoil 모델에서는 위 인자들의 합 ($C + A + O + C_r$) 혹은 곱 ($C \cdot A \cdot O \cdot C_r$) 으로 특정 값을 산출한 후 이 값을 토대로 하여 각 구성부품들에 적정 신뢰도를 배분한다. 본 방법은 구성부품들의 신뢰도 및 고장률에 관한 과거 자료가 전무한 새롭게 개발되는 시스템에 효과적으로 활용될 수 있으며 시스템 개발의 전 단계에 적용 가능하다. 그러나 위에 열거한 각 인자들의 값 결정시 전문가나 신뢰도

엔지니어의 주관이 개입될 여지가 있기 때문에 객관적인 할당결과를 기대 할 수 없다.

2) Integrated Factors 모델 [2]

이 모델은 항공기 개발 설계 단계 시 각 구성부품에 신뢰도 할당을 위하여 제안되었다. 본 모델에서는 다음의 4가지 요인을 설정하였다.

- Criticality index (C)
- Complexity index (K)
- Functionality index (F)
- Effectiveness index (O)

위 4가지 요소의 index값은 전문가의 판단에 따라 정해지는데 서브시스템 i ($i=1,2,....,N$)의 global index 는 다음 식으로 주어진다.

$$IG_i = \frac{k_i \cdot F_i \cdot O_i}{C_i}$$

$$IG_i(\%) = \frac{IG_i}{\sum_{i=1}^{N} IG_i}$$

이제 $IG_i(\%)$를 토대로 각 서브시스템 i 에 목표 신뢰도를 할당한다. 이 방법은 Karmoil 방법과 마찬가지로 과거 신뢰성 자료나 고장률 자료가 전무한 새로운 시스템의 신뢰도 할당에 효율적으로 활용될 수 있으나 할당 결과가 전문가의 주관에 따라 달라질 수 있는 단점이 있다.

2.2 정량적 모델

앞에서 언급한대로 정량적 모델은 비용과 신뢰도의 상호관계를 고려한 모델과 비용 함수를 고려하지 않은 모델로 나누어 조사하였다.

2.2.1 비용 함수를 고려하지 않은 모델

1) ARINC 모델

가장 간단한 방법으로 직렬 구조를 갖는 시스템에 적용된다. 허용 될 수 있는 최대 시스템 고장률 혹은 목표 고장률을 λ^* (혹은 MTBF = $1/\lambda^*$) 라 하고 $\lambda_i(i=1,2,...,N)$ 를 각 구성 서브시스템의 고장률이라고 하자. 이때 전체 시스템 고장률 λ_S 는 다음 식으로 표현된다.

$$\lambda_S = \lambda_1 + \lambda_2 + \cdots + \lambda_N$$

이때 λ_S 가 λ^* 보다 크면 전체 시스템의 고장률을 낮추기 위해 각 서브시스템의 고장률은 적절하게 감소되어야 한다. 이를 위해 ARINC 방법에서는 다음과 같이 w_i를 정의한다.

$$w_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_S}$$

$$= \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^{N} \lambda_i}$$

이제 각 서브시스템 i 의 개선된 고장률 $\overline{\lambda_i}$ 는 다음 식 으로 주어진다.

$$\overline{\lambda_i} = w_i \cdot \lambda^*$$

한편 만약 λ_S 가 λ^* 보다 작으면 기존의 구성부품으로 목표 고장률을 달성할 수 있으므로 초기에 할당된 고장률 λ_i 를 그대로 사용한다. 이 모델은 사용 방법이 매우 간단 하다는 장점이 있으나 직렬 구조를 갖는 시스템에게만 적용이 가능하며 구성 부품에 대한 과거 고장률 자료를 필요로 한다.

2) Albert 모델

이 방법은 직렬 구조를 갖는 시스템을 위하여 제안 되었지만 일반적 구조를 갖는 시스템 에게도 적용 가능하다. 논의의 편의상 N 개의 구성 부품이 직렬 구조로 연결된 시스템을 가정 한다. 이때 구성품의 신뢰도가 $R_1 < R_2 < \cdots < R_N$ 이 되도록 구성품의 번호를 다시 매긴다. R^* 를 전체 시스템의 요구 신뢰도라고 하고 r_j 를 다음 식으로 계산한다.

$$r_j = \left[\frac{R^*}{\prod_{i=j+1}^{n} R_i} \right]^{1/j}$$

만약 $R_j > r_j$ 이면 구성부품 j 의 신뢰도는 초기 값 그대로 R_j 로 한다. $j = k_0$ 에서부터 $R_j > r_j$ 이면 구성 부품 j (j = 1,2,..., k_0)의 초기 신뢰도 R_j 를 r_j 로 개선시킨다. 이 방법은 매우 간단한 절차를 거쳐 목표 신뢰도를 만족시킬 수 있지만 가 구성부품에 대한 비교적 정확한 신뢰성 자료를 요하기 때문에 새롭게 개발되는 시스템이나 과거 신뢰성 자료가 없는 경우에는 적용이 곤란하다.

3) AGREE(Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment) 모델

AGREE 방법은 항공기 시스템에 활용을 위하여 제안 되었으며 서브시스템이 직렬 구조로 이루어진 경우에 적용이 가능하다. 시스템은 k 개의 독립적인 서브시스템으로 구성되며 각 서브시스템 i (i = 1,2,..., k)는 n_i 개의 독립적인 모듈로 구성된다고 가정한다.

R^* = 임무(Mission) 요구 신뢰도

m_i = 서브시스템 i 의 요구 평균 수명

t_i = 항공기 이륙 후 서브시스템 i 가 더 이상 필요치 않을 때 까지 시간, 즉 서브시스템 i 의 임무 시간

W_i = 서브시스템 i 가 고장 날 경우 임무 수행이 실패할 확률 (중요도 지수)

n_i = 서브시스템 i 에 있는 모듈의 개수

N = 항공기에 있는 모듈의 총 수 (= $\sum_{i=1}^{k} n_i$)

이때 서브시스템 i 의 요구 평균 수명은 다음 식으로 주어진다.

$$m_i = \frac{N \cdot W_i \cdot t_i}{-n_i \cdot \ln R}$$

위 식을 보면 서브시스템 i 의 요구 평균 수명은 중요도 지수인 W_i 와 임무 시간 t_i 값에 따라 비례적으로 증가하고 상대적인 모듈 개수 n_i/N 와는 반비례함을 보여준다. 이 방법은 입력 자료로 신뢰도나 고장률 자료 대신 각 서브시스템의 중요도, 임무 시간, 모듈의 수를 요구하는데 이 값은 신뢰도 엔지니어나 전문가의 의견을 토대로 구할 수 있다. 그런데 위의 입력 자료 들을 시스템 개발 초기 단계에서 예측하는 것은 쉽지 않기 때문에 이 방법의 이용은 시스템 개발이 어느 정도 진행이 된 상황에서만 가능하다.

2.2.2 비용을 고려한 모델

최소의 비용으로 주어진 신뢰도 목표치를 달성하기 위한 여러 가지 신뢰도 할당 최적화 모델이 제시되어왔다. 이 모델들의 중요한 입력 자료는 바로 비용(Cost)과 신뢰도의 관계이다. 그러나 이들 사이의 관계를 정확히 규명하는 것은 간단한 일이 아니다. 특히 신뢰성이나 비용 관련 자료가 거의 없는 개발

초기 단계에서는 어려움이 더욱 심하다. 그렇지만 신뢰도 할당 모델이 보다 현실적이고 또 도출된 결과를 유용하게 이용하기 위해서는 비용은 어떤 방식으로든지 모델에 포함되어야 한다.

1) BlockSim 이용 모델

본 모델은 N개의 구성 부품으로 구성된 임의의 구조를 갖는 시스템에 적용 가능하다. 이 모델은 최소 비용으로 신뢰도 목표치 R^* 를 달성하도록 각 구성 부품에게 일정 수준의 신뢰도를 할당하는 것이다. 이 문제는 아래와 같이 비선형 계획법 (Nonlinear Programming) 으로 모형화 된다, [4].

$$\text{Minimize} \quad C = \sum_{i=1}^{n} C_i(R_i)$$

$$\text{Subject to} \quad R_S \geq R^*$$

$$R_{i,\min} \leq R_i \leq R_{i,\max}, \quad i = 1, 2, \ldots, N$$

위 비선형 계획 문제를 풀기 위한 첫 번째 단계는 시스템 신뢰도 R_S 의 수학적 식을 각 구성 부품의 신뢰도 R_i 의 함수로 구하는 것이다. 시스템이 직렬이거나 병렬 구조를 가지면 비교적 쉽게 구할 수 있지만 일반적 구조 하에서는 R_S 를 쉽게 구할 수 없다. 따라서 본 모델에서는 시스템의 신뢰성 함수를 구하는 소프트웨어인 BlockSim[5] 을 이용하여 R_S 를 구하였다. 두 번째 단계는 각 구성부품의 비용을 신뢰도의 함수로 나타내는 것이다. 과거 경험이나 유사 부품의 자료 등을 토대로 비용 함수(Cost Function)를 구축 할 수 있지만 그와 같은 자료를 구하기가 쉽지 않다. 이 문제를 극복하기 위해서 본 모델에서는 다음과 같은 비용 함수를 제안 하였다.

$$C_i(R_i; f_i, R_{i,\min}, R_{i,\max}) = e^{\left[(1-f_i)\frac{R_i - R_{i,\min}}{R_{i,\max} - R_i}\right]}$$

위의 비용 함수는 3개의 파라메타, 즉 f_i, $R_{i,\min}$ 그리고 $R_{i,\max}$ 를 내포한다. 첫 번째 파라메타, f_i 는 구성 부품 i 의 신뢰도를 증가 시킬 수 있는 가능성의 정도(Feasibility)를 나타내는데 0과 1사이의 값을 갖는다. 값이 작을수록 일정 신뢰도를 증가 시키는데 비용이 많이 발생하며 1에 가까울수록 적은 비용으로 신뢰도를 증가 시킬 수 있다. 두 번째 파라메타, $R_{i,\min}$은 구성 부품 i 의 초기(현재) 신뢰도를 나타내는데 그 부품의 고장 분포로부터 획득 될 수 있다. 마지막 세 번째 파라메타, $R_{i,\max}$ 는 구성 부품 i 가 가질 수 있는 최대 신뢰도를 나타낸다. 다음 (그림 1)은 f_i = 0.1, $R_{i,\min}$ = 0.7 그리고 $R_{i,\max}$ = 0.99 인 경우 비용 함수를 나타낸다.

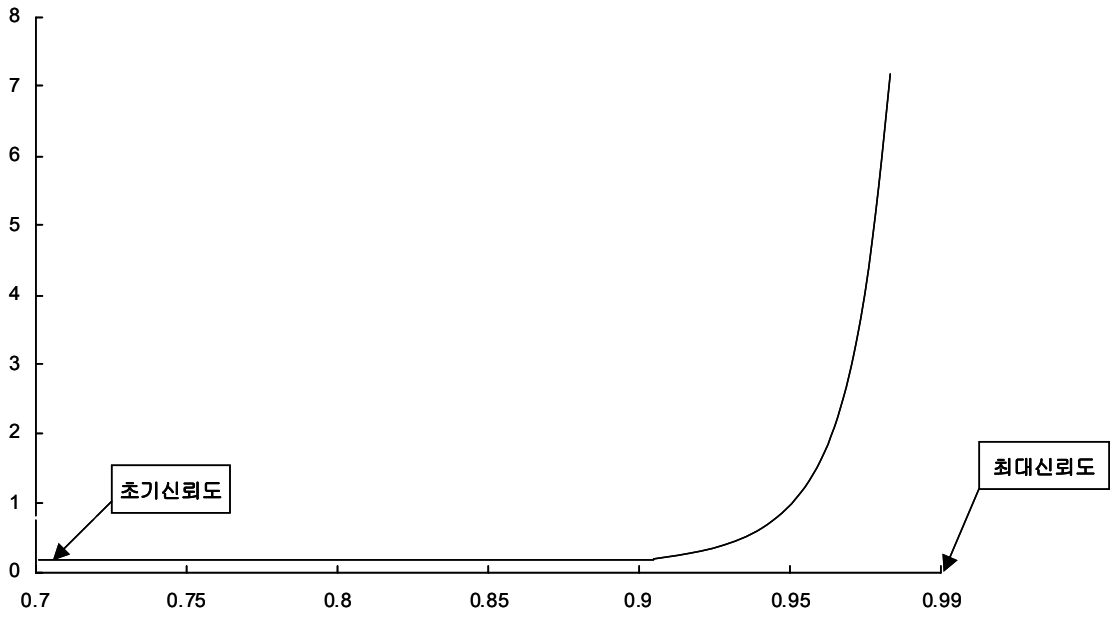

그림 1. 비용 함수

본 모델에서 제시한 비용함수는 단지 두 개의 입력 파라메타, 즉 f_i 와 $R_{i,\max}$ 만을 필요로 하기 때문에 적용하기가 비교적 간단하다. 비용 함수 값은 현재 초기 신뢰도 값 $R_{i,\min}$ 으로부터 구성 부품의 신뢰도를 증가 시키는 어려움의 정도를 나타내는 가중 지수로 생각 할 수 있다.

시스템 신뢰도 함수 R_S 의 수학적 표현과 비용 함수가 주어지면 위의 비선형계획 문제는 BlockSim 이나 적절한 소프트웨어를 이용하여 최적의 신뢰도 할당 해를 구할 수 있다.

2) 불확실한 신뢰성 데이터 하에서 최적 신뢰성 할당 모델 [1]

Hybrid Electric 차량 설계에 적용을 위하여 개발된 모델이다. 일반적으로 신뢰성 자료는 고장률 자료의 DB, 실험실에서 시험 결과치 혹은 과거 자료 등을 토대로 구할 수 있다. 그런데 Hybrid Electric 차량과 같이 새로운 기술로 개발되는 시스템의 경우 관련 부품들에 대한 신뢰성 자료를 구하기가 매우 어렵다. 따라서 본 모델에서는 부품 신뢰도 값을 임의 변수(Random Variable)로 하고 Negative Log Gamma 분포를 가정 한 후 Bayesian 접근 방법을 사용 하였다.

본 모델에서는 Hybrid Electric 차량의 추진(Propulsion) 시스템을 직렬 구조로 나타냈다. 시스템의 목표 신뢰치 R^* 를 달성하도록 각 서브시스템에게 최적의 신뢰도 할당을 위해 다음의 비선형 계획 모형을 제안 하였다.

$$\text{Minimize} \quad C = \sum_{i=1}^{N} C_i(R_i)$$

Subject to $\prod_{i=1}^{n} R_i = R^*$

한편 신뢰도 와 비용간의 관계를 나타내는 함수로는 다음 식을 제안 하였다.

$$C_i(R_i) = C_{0i}(\ln R_{0i} / \ln R_i)^{k_i}$$

위 식에서 R_{0i} 와 C_{0i} 는 경험이나 과거 자료로부터 예측한 i 번째 구성부품의 초기 신뢰도와 비용을 나타내며 K_i 는 적절한 상수 값이다.

본 모델은 신뢰도 데이터의 불확실성을 나타내기 위해 각 구성 부품의 신뢰도 값을 임의 변수로 고려하였다는 장점이 있지만 분석 대상은 직렬 구조를 갖는 시스템에 국한된다. 비용 함수는 1) BlockSim 이용 모델의 그것에 비해 다소 구체성이 떨어지고 해석이 용이하지 않다. 또한 R_{0i} , C_{0i} 그리고 K_i 값을 구하기가 간단하지 않아 쉽게 사용할 수 없다는 단점이 있다.

3) 차량 설계에 적용을 위한 신뢰도 할당 모델 [3]

새로운 차량 설계 시 목표 신뢰도를 만족시키기 위해서 각 구성 부품에 요구 신뢰도를 적절히 할당해야 한다. 일정수준의 기술적 그리고 경제적 요구 사항을 충족시키기 위하여 주어진 목표 신뢰도를 최소 비용으로 달성하는 방법과 아울러 주어진 비용으로 최대 신뢰도를 획득 하는 방법도 제안 하였다. 제시된 수학적 모델은 앞의 두 모델과 마찬가지로 비선형 계획법이며 Lagrange multiplier 기법을 이용 하여 해를 구해 나갔다. 아울러 compromise 계획법에 의한 다중 기준 ranking 방법을 사용하여 신뢰도 할당을 최적으로 해주는 일련의 과정을 제안 하였는데 여기서 비용과 신뢰도는 최적의 해를 구하는데 다중 기준을 나타낸다.

본 모델에서 사용한 비용과 신뢰도의 관계식은 다음과 같다.

$$C_i(R_i) = K_i(\ln R_i)^{-a_i}$$

$$R_i(C_i) = \exp\left[-\left(\frac{K_i}{C_i}\right)^{\frac{1}{a_i}}\right]$$

위 식에서 $C_i(R_i)$ 는 신뢰도 R_i 를 달성하기 위하여 요구되는 구성품 i 의 비용을 나타내며 $R_i(C_i)$ 는 비용 C_i 로 획득 할 수 있는 부품 i 의 신뢰도를 나타낸다. K_i 와 a_i 는 부품 i 를 위한 상수이다.

한편 본 모델은 최적 해를 구하기 위한 과정이 다소 복잡하다는 단점이 있다. 아울러 비용 함수도 실제적인 의미를 부여하기가 곤란하며 K_i 와 a_i 의 값 결정이 쉽지 않아 직접 사용하기에는 여러 어려

움이 따른다.

3. KTX-II 고속 차량을 위한 신뢰도 할당 모델

3.1 신뢰도 할당 목적

KTX-II 고속 차량은 기존 한국형고속열차를 기본으로 국내 기술에 의해 상용화를 위한 제작에 들어가서 2009년에 납품될 예정이다. KTX-II 고속 차량을 위한 신뢰도 할당의 목적은 차량의 신뢰도 목표 값인 MKBSF (Mean Kilometer Between Service Failure) 125,000 train-km 를 달성하기 위해 차량을 구성 하고 있는 주요 서브시스템과 주요 부품에 신뢰도 값을 할당하여 관리 하고자 하는데 있다.

KTX-Ⅱ 차량을 구성하고 있는 주요 서브시스템은 11개로 구성되어 있으며 다음과 같다.

- 차체 및 실내 설비
- 도어 시스템
- 추진 시스템
- 대차 시스템
- 제동 시스템
- 냉방 시스템
- 보조 전원 시스템
- 방송 시스템
- 연결기 시스템
- 신호 시스템
- 열차 제어 시스템

이제 차량 전체의 신뢰도 목표 값인 MKBSF 125,000 train-km 를 달성하기 위해서는 위에서 열거한 각 서브시스템에 얼마의 MKBSF (혹은 고장률) 를 할당해 주어야 하는지 결정해야 한다. 각 서브시스템의 신뢰도 할당 값은 차량의 설계 및 제작 기간 동안 차량의 신뢰도 목표 값인 MKBSF 125,000 train-km 달성하기 위한 내부의 설계관리 기준이 될 것이다.

위에서 논의된 절차는 서브시스템에도 똑 같은 방법으로 적용된다. 위의 서브시스템중 추진 시스템에는 MKBSF 673,200 train-km 가 할당 되었다고 가정하자. 추진 시스템은 아래의 구성 부품으로 이루어진다.

- 팬터그래프 1,2 (PAN1,2)
- 계기용변압기 1,2 (PT1,2)
- 주회로차단기 1,2 (MCB1,2)

- 지붕배선 (Roof Line)
- 주변압기 1,2 (MT1,2)
- 모터블럭 1~4 (MB1~4)
- 견인전동기 1~8 (TM1~8)

정상운전상태에서 열차진행방향 후부의 팬터그래프 PAN1로부터 교류25kv의 전원이 인가되면, PT1을 거쳐 주회로차단기 MCB1이 투입된다. MCB1이 투입되면 전원은 지붕배선을 통해 전부 주변압기 MT2에도 전원이 투입된다. PAN1이 고장인 경우 PAN2가 비상모드로 상승하여 동일한 과정을 거쳐 반대편 주변압기에도 전원이 투입된다. 2개의 주변압기에 전원이 투입되면 주변압기 당 2개의 모터블럭에 필요한 전원을 공급하고 각 모터블럭은 2개의 견인전동기에 견인에 필요한 전력을 공급하게 된다. KTX-Ⅱ에서 두 개 이상의 모터블럭이 고장인 경우 열차는 정상속도를 유지할 수 없게 되어 열차시스템 고장을 초래하게 된다. 이 추진시스템의 기능블록선도는 그림 2와 같다.

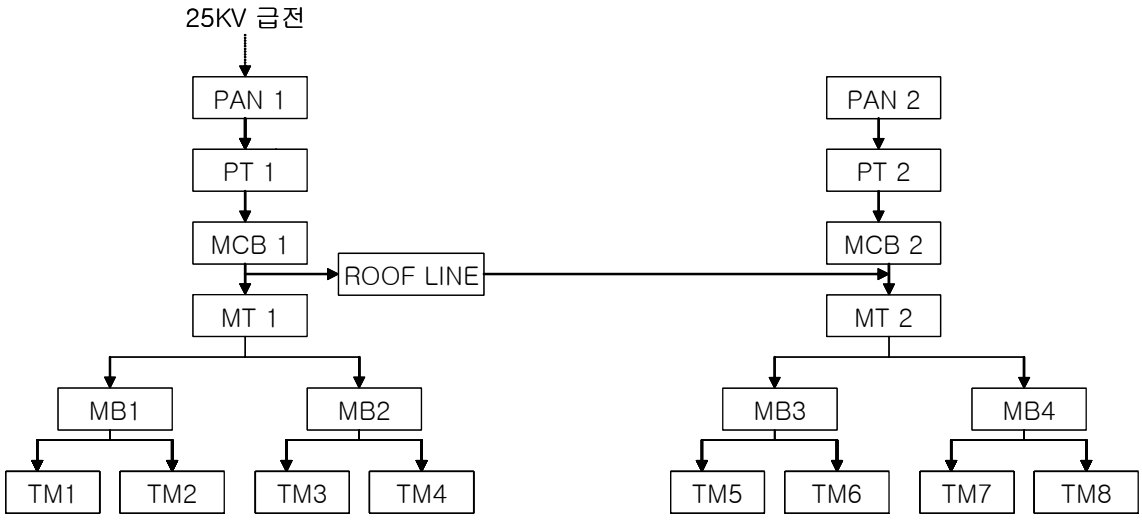

그림2. KTX-Ⅱ 추진장치 기능블록선도

이제 추진 시스템의 할당 목표 값인 MKBSF 673,200 train-km 를 달성하기 위해서 위에 열거한 각 구성 부품에 얼마의 MKBSF (혹은 고장률)를 할당해 주어야 하는지 결정해야 한다. 각 부품에 할당된 값은 추진 시스템의 신뢰도 목표치, 더 나가서는 차량 시스템의 신뢰도 목표치를 달성하기 위한 설계관리 기준이 되며 이 값은 적절하게 관리 되어야 한다.

2) KTX-II 고속 차량에 적용을 위한 신뢰도 할당 모델 요구 조건

본 절에서는 KTX-II 고속 차량에 효과적으로 사용 할 수 있는 신뢰도 할당 모델을 조사 하였다. 이를 위해 먼저 KTX-II 고속 차량을 위한 신뢰도 할당 모델이 갖추어야 할 조건들을 살펴보았다.

첫째, KTX-Ⅱ의 서브시스템 또는 구성부품의 RBD(Reliability Block Diagram) 구조를 다룰 수 있어

야한다. 차량 시스템을 구성하고 있는 중요 서브시스템, 서브시스템을 구성하는 부품들의 RBD는 직렬, 병렬 혹은 임의의 복잡한 구조를 가질 수 있다. 예로 그림 3은 추진 시스템의 RBD를 보여주는데 직렬과 병렬이 혼합된 구조이다. 따라서 임의의 RBD 구조에 사용 할 수 있는 할당 모델이 요구된다.

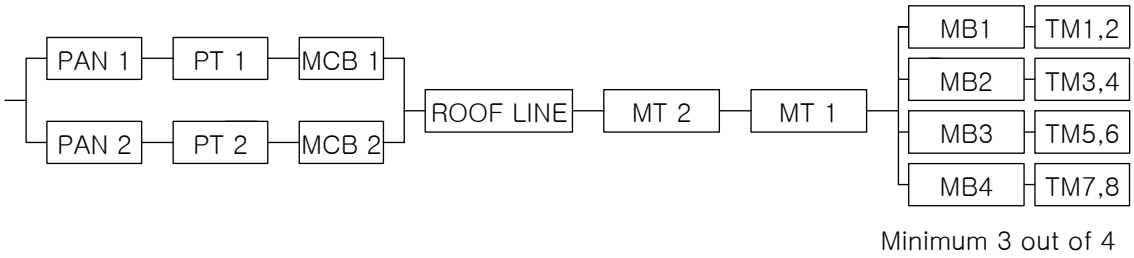

그림 3. KTX-Ⅱ 추진 시스템의 RBD

둘째, 신뢰도 향상에 소요되는 비용을 고려할 수 있는가 하는 점이다. 국내 기술로 개발된 KTX-II는 고속 차량 기술 보유국인 프랑스, 일본, 그리고 독일의 고속 차량과 향후 치열한 경쟁을 하게 될 것이다. 이때 무엇보다도 중요한 요소 중 하나가 비용이다. 특정 부품의 신뢰도를 향상시키기 위하여 많은 비용을 지불하게 되면 전체 차량 가격은 상승 할 수밖에 없고 이는 결국 KTX-II의 경쟁력 하락을 초래할 것이다. 따라서 최소의 비용으로 요구 신뢰도 목표치를 달성하고자 하는 노력이 있어야 하며 이를 위해서는 신뢰도-비용 함수가 신뢰도 할당 모델에 적절히 반영되어야 한다.

셋째, 신뢰도-비용 함수 구축을 위해 필요한 입력 자료를 용이하게 구할 수 있어야 한다. 아울러 비용 함수에 사용된 파라메타 들이 구체적인 의미를 갖고 있어서 이들의 적절한 조절을 통해 비용 함수의 조정이 가능해야 한다. BlockSim을 이용한 할당 모델의 비용 함수에 사용된 파라메타들인 f_i, $R_{i,\min}$ 그리고 $R_{i,\max}$가 일례인데 이들은 각각 신뢰도 증가 가능성을 나타내주는 정도인 feasibility, 초기(현재) 신뢰도 그리고 할당 가능한 최대 신뢰도를 나타낸다. 그런데 이들의 적절한 조절을 통해 모델에서 필요로 하는 비용 함수를 찾아 나갈 수 있다.

넷째, KTX-Ⅱ의 현실을 감안한 다양한 요소를 고려할 수 있는지의 여부이다. 정성적 모델은 전문가들의 주관이 개입되어 객관적인 할당 결과를 기대 할 수 없는 단점이 있긴 하지만 정량적 모델에서는 고려하기 힘든 다양한 인자들의 영향력을 고려하고 있다. 즉 각 구성 부품의 중요도, 복잡도, 기능성, 운용환경, 현 기술 수준 등 을 복합적으로 고려하여 신뢰도 할당을 한다. 한편 RBD를 토대로 하여 신뢰도 할당을 수행하는 정량적 모델은 객관적인 결과를 얻을 수 있는 장점이 있긴 하지만 정성적 방법에서 고려하고 있는 다양한 요소들의 영향력을 고려하기가 힘들기 때문에 결과에 현실성이 떨어 질 수밖에 없다. 그래서 정량적 모델, 특히 비용을 고려한 최적 할당 모델에 정성적 모델에서 고려하고 있는 다양한

요소들의 영향력인 포함된 신뢰도 할당 모델이 필요하다.

3) 기존 모델 비교 검토

본 절 에서는 위의 요구 조건을 비교인자로 하여 2장에서 조사한 기존의 신뢰도 할당 모델을 비교 검토 하였다.

비교인자 / 모델별	분석가능 시스템	비용함수	비용함수 구축 용이성 및 구체성	RBD 구축 필요성(삭제)	다양한 요소의 영향력 고려
Karmoil 모델	임의 시스템	X	X	X	O
Integrated factor 모델	임의 시스템	X	X	X	O
ARINC 모델	직렬	X	X	O	X
Albert 모델	임의 시스템	X	X	O	X
AGREE 모델	직렬	X	X	O	O(일부고려)
BlockSim 이용 모델	임의 시스템	O	O	O	X
불확실한 신뢰도 데이터하의 최적할당모델	직렬	O	X	O	X
차량설계에 활용되는 할당모델	직렬	O	X	O	O(일부고려)

도표 1. 신뢰성 할당 모델 비교

위 표에서 볼 수 있듯이 KTX-II 신뢰도 할당 모델에 요구되는 모든 조건을 충족하는 기존 모델은 없다. 하지만 BlockSim 이용 모델이 현실을 감안한 다양한 요소들의 영향력을 고려하지 않는다는 점 이외에는 KTX-II 를 위한 신뢰도 할당 모델이 갖추어야 할 조건을 어느 정도 충족시키고 있다.

4. 맺음말

본 연구에서는 과거 수년간에 걸쳐 제시된 신뢰도 할당 모델에 대하여 살펴보았다. 크게 정성적(Qualitative) 모델과 정량적(Quantitative) 모델로 나누어 살펴보았으며 정량적 모델은 다시 비용을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우로 나누어 살펴보았다. 그리고 KTX-II 의 신뢰도 할당 모델이 갖추어야 할 조건을 조사 하였다. 그런데 KTX-II 신뢰도 할당 모델에 요구되는 모든 조건을 충족하는 기존 모델은 없어 보인다. 하지만 BlockSim 이용 모델이 현실을 감안한 다양한 요소들의 영향력을 고려하지 않는다는 점 이외에는 KTX-II 를 위한 신뢰도 할당 모델이 갖추어야 할 조건을 어느 정도 충족시키고 있다.

추후 계속되는 연구에서는 BlockSim을 이용한 신뢰도 할당 방법에 정성적 방법에서 사용하는 여러 인자들의 영향력을 고려한 새로운 신뢰도 할당 모델을 제시 하고자 한다. 그리고 이 모델을 토대로

KTX-II의 신뢰도 할당을 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

1. F. Allella, E. Chido and D. Lauria, "Optimal reliability allocation under uncertain conditions, with application to hybrid electric vehicle design," International Journal of Quality and Reliability management, vol.22, no.6, 2005, pp.626-641.

2. D. Falcone, A.Silvestri and G. Di Bona, "Integrated factors method for reliability allocation: Application to an Aerospace Prototype Project," Dept. of IE, Univ. of Cassino, Italy

3. G. Ivanovic, "The reliability allocation application in vehicle design," International Journal of vehicle Design, vol.24, no.2/3, 2000, pp.274-286.

4. A. Mettas, "Reliability allocation and optimization for complex systems," 2000 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, Los Angeles, 2000

5. ReliaSoft's BlockSim 1.0, www.ReliSoft.com/BlockSim