

## 한국형고속열차 차량시스템의 신뢰성 성장 평가

### Reliability Growth Assessment for the Rolling Stock System of the Korea High-Speed Train

최성훈<sup>†</sup> · 박찬경\* · 서승일\*\* · 이태형\* · 김기환\*

Sunghoon Choi · Chan-Kyung Park · Sung-Il Seo · Tae-Hyung Lee · Ki-Hwan Kim

#### Abstract

This paper presents a procedure and an analysis method to evaluate reliability of the Korea high-speed train. The rolling stock system is divided into 6 sub-systems and each subsystem is classified into sub-assemblies. Functional analysis has been conducted to draw reliability block diagrams for the sub-systems. First, failure rates has been calculated for each sub-assembly from the failure data obtained during commissioning tests. Then a reliability block diagram is used to evaluate the MKBF(Mean Kilometers Before Failure) of the sub-systems. Activities to increase reliability have been carried out throughout the test runs and analysis results show that the reliability of the rolling stock system is gradually growing in time.

**Keywords** : High-speed train(고속열차), Reliability assessment(신뢰성 평가), Reliability growth(신뢰성 성장), MKBF(고장간 평균 주행거리)

#### 1. 서론

한국형고속열차는 지난 1996년부터 국내 자체 기술로 개발되어왔고, 각종 성능시험을 거쳐 최고속도 350km/h까지의 주행시험을 마치고 현재는 차량의 안정화와 신뢰성 확보를 위한 주행시험을 지속적으로 수행하고 있다. 한국형고속열차는 2009년 호남선 및 전라선에서의 영업운행이 예정되어 있기 때문에 상용화를 위한 개선 활동을 진행 중에 있다. 시스템의 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, and Safety) 수명 주기에서 보면 현재는 시스템 도입 이전의 시스템의 타당성 검증 단계에 있으며 이 단계에서는 시스템의 신뢰성 요구조건 달성을 위한 준비과정으로 신뢰도를 예측하고 평가하는 절차를 수립하고 신뢰도 향상을 위한 활동을 수행한다[1]. 철도차량에 대한 신뢰성 요구조건은 차량시스템 또는 하부시스템에 대하여 공급자 및 운영자 간의 계약에 의해 결정되며, 시운전 기간 또는 초기 영업운전기간 동안의

고장정보를 이용하여 신뢰성입증(reliability demonstration) 시험을 수행한다. 예를 들어 현재 운영을 하고 있는 KTX 고속열차의 경우 신뢰성평가의 지표로 “운영 고장간 평균주행거리(Mean Kilometers Between Service Failure: MKBSF)”를 사용하고 있는데 상업운행이 개시되는 시점부터 4년 또는 11만 시간의 운행시간 이내에 20 편성에 대한 최종 12개월간의 MKBSF가 121,000km 이상이 되는 것을 신뢰성 목표로 하고 있다. 상업운영 열차에서 신뢰성 평가를 위해서는 고장의 정의가 중요한데, KTX의 신뢰성입증에서는 열차의 도착시간이 계획 대비 10분 이상 지연되는 경우, 열차의 투입이 취소된 경우, 그리고 열차의 상업운행이 취소되는 경우를 고장으로 판단하여 신뢰성을 평가한다. 하지만 정상적인 조건에서 운행되지 않았거나, 다른 열차의 지연에 의해 도착이 지연된 경우, 그리고 고장의 원인이 정비 불량 또는 전차선이나 선로 등의 시설물에 의한 지연은 차량 신뢰도 입증에서 제외한다. 이처럼 신뢰성평가에서는 차량의 운행조건 및 고장에 대한 정의가 매우 중요하다.

한국형고속열차와 같은 연구개발을 통해 제작되고 시험운영 되는 시제열차의 경우에는 많은 신기술이 적용되고 있기 때문에 초기 신뢰성 예측이 쉽지 않다. 특히 시운전 동안의

† 책임저자, 회원, 한국철도기술연구원, 고속철도사업단  
E-mail : schoi@krti.re.kr

TEL : (031)460-5209 FAX : (031)460-5649

\* 한국철도기술연구원 고속철도사업단

\*\* 한국철도기술연구원 기존철도사업단

운영 조건이 상업운영 열차와 매우 다르기 때문에 동일한 조건으로 신뢰성을 비교 하거나 신뢰성 요구조건을 결정하는 것은 적절하지 못하다. 시제열차의 시운전의 주요 목적은 새롭게 적용된 장비의 성능확인 및 안정화, 그리고 전체 시스템의 신뢰성 확보이다. 이를 위해 시운전 과정을 통해 고장정보를 취득하여 신뢰성 평가를 수행하고 고장원인을 파악하여 시스템을 안정화 시키고 신뢰성 향상을 위한 시스템 개선을 수행한다.

본 논문에서는 현재 한국형고속열차의 안정화 및 신뢰성 확보를 위해 수행되고 있는 신뢰성 성장 관리 절차에 대하여 기술한다. 시제차량에서의 신뢰성 평가의 문제점과 함께 시운전을 통해 얻어진 고장정보를 이용하여 차량의 각 하부시스템의 신뢰성 성장을 평가하기 위하여 사용된 Duane 성장 모델의 적용 방법을 기술한다. Duane 성장 모델은 AMSAA (Army Material Systems Analysis Agency) 방법과 함께 시스템의 신뢰성 성장을 평가하기 위해 사용되는 정량적 방법의 하나이다[2]. AMSAA 방법은 통계적 접근을 통해 신뢰성 성장에 대한 결과를 오차 범위와 함께 도출한다. 반면 Duane 성장 모델은 비교적 적은 수의 표본에 대하여, 통계적 적용 방법을 사용하지 않으면서도, 간단히 성장률을 계산할 수 있으며 도시화 할 수 있기 때문에 본 연구에 적용하였다. 본 논문에서는 이 Duane의 모델을 이용한 신뢰성 성장 평가에서 신뢰성 향상을 위한 개선활동의 효과를 반영할 수 있는 방법에 대하여 다룬다.

## 2. 개발 열차의 신뢰성 성장 관리

한국형고속열차의 신뢰성 평가는 고속선 및 기존선 시운전 시험 결과를 고장정보 관리 시스템에 입력하여 수행하고 있다[3]. 고장정보 관리 시스템을 이용하여 시운전 중에 발생한 서브시스템의 고장 정보를 입력하고, 신뢰도에 대한 자료를 축적하여 고장 발생 시의 대책을 수립할 수 있는 기본 정보를 얻는다. 시스템의 신뢰성을 향상시키는 방법으로는 고장의 빈도를 줄이거나 고장에 의한 악영향을 완화시키는 방법이 있다. 따라서 차량 시스템의 신뢰성 분석을 통해 고장의 결과를 평가하고, 고장 저감을 위한 대책을 마련하고 고장의 영향을 최소화 할 수 있도록 한다. 신뢰성 분석 방법에는 여러 가지 형태가 있는데, FMECA(Failure Mode Effects and Criticality Analysis), 신뢰성 블록선도(Reliability Block Diagram) 모델링, 그리고 고장목 분석(Fault Tree Analysis) 등이 그 예이다. FMECA는 시스템의 취약점이나 고장의 영향을 상세히 분석함으로써 시스템 신뢰성 최적화에 직접적으로 활용할 수 있다. 신뢰성 블록선도는 시스템의 고장허용(fault tolerance)

정도를 모델링 할 수 있기 때문에 시스템 구성에 의한 영향을 고려하여 신뢰성을 평가할 수 있도록 한다. 고장목 분석은 이론적으로 신뢰성 블록선도와 동일하나, 신뢰성 블록선도가 서브시스템이나 구성품을 분류하는데 반하여 고장목 분석법은 시스템 고장에 기여하는 인자를 검토하여 외부요인이나 위험을 신뢰성 모델과 통합할 수 있도록 한다. 고장목 분석은 주로 안전에 민감한 기능의 신뢰성 모델링에 적용된다.

한국형고속열차에는 컴퓨터제어에 의한 제동제어장치, 최신 반도체 소자를 적용한 주전력변환장치 및 보조전원 장치, 유도전동기 등 기존 KTX 고속열차에서 사용되지 않았던 기술들이 적용되고 있기 때문에 개발 초기 단계의 신뢰성 성장을 관리하고 분석할 때 상업운영 차량과는 다른 특성을 보일 것으로 예상할 수 있다. 특히 시운전 과정에서 발생하는 문제점을 발견하고, 이를 개선하여 시스템을 안정시키는 과정에서 각각의 개선 사항이 시스템의 성능과 신뢰성에 미치는 영향을 주의 깊게 관찰하고 기록할 필요가 있다. 또한 이 과정에서 여러 서브시스템을 담당하는 팀들 간의 의견 교환이 필요하고 각 시스템 간의 영향을 고려하는 활동이 필요하다. 새로운 시스템을 테스트하기 위해서는 시운전 환경을 적절히 조절하여 테스트하고자 하는 시스템 이외의 시스템에 의한 고장이 발생하지 않도록 주의해야 한다. 이렇게 시험, 고장분석, 고장제거 및 개선, 시험(Test-Analysis-Fix-Test: TAFT)을 반복하는 활동을 통해 차량 시스템의 신뢰성 성장을 관리하게 된다. Fig. 1은 신뢰성 성장 활동이 시스템의 수명주기에서 시스템에 반영되는 과정을 보여준다. 시스템의 도입에서 폐기까지의 전 과정 중에서 현재 한국형고속열차는 시스템검증 단계에 있다고 볼 수 있는데 이 단계에서 시운전을 통하여 발생한 고장을 분석하고 설계과정에 반영을 하여 향후 양산 제품에서 높은 신뢰성을 확보할 수 있도록 한다.

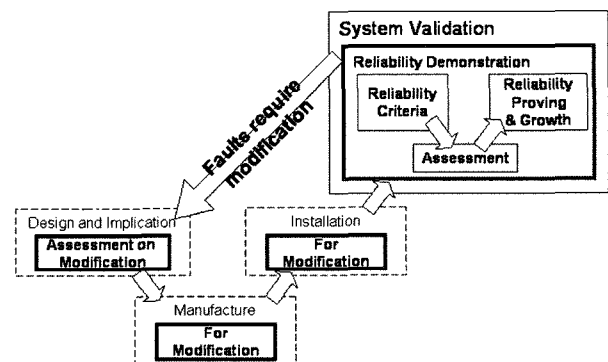


Fig. 1. Activities for reliability growth during RAMS life cycle.

### 3. 한국형고속열차의 신뢰성 평가

#### 3.1 신뢰성 성장 모델

신뢰성 성장은 고장의 근본 원인을 제거하여 신뢰도를 개선함으로써 시스템의 안정화를 앞당기는데 목적이 있다. 특히 한국형고속열차는 신기술을 적용한 시제차량이기 때문에 신뢰성시험 목적은 단순히 신뢰도를 예측하는 것뿐만 아니라 각종 개선활동을 통하여 차량시스템이나 서브시스템의 신뢰도가 얼마만큼 증가하는가를 보는 것이다. 일반적으로 철도차량의 신뢰성은 고장에 의한 지연 없이 얼마만큼 운행하느냐로 평가하기 때문에 한국형고속열차의 신뢰성을 평가하는 척도로 “고장간 평균 주행거리(Mean Kilometers Between Failure: MKBF)” 또는 이의 역수인 고장률을 사용한다. 신뢰성 성장을 평가하는 여러 모델 중 개발되는 시스템과 같이 MKBF의 성장 또는 고장률의 개선이 지속적인 경우에는 Duane의 신뢰성 성장 모델을 이용할 수 있다[3]. Duane 모델은 누적고장률이 시간에 따라 지수적으로 감소한다고 가정한다. 즉

$$\bar{\lambda} = \frac{n}{K_a} = aK_a^{-\alpha} \quad (1)$$

이 식에서,

- $n$  = 발생한 총 고장 수
- $K_a$  = 시험 기간의 누적 주행거리
- $\bar{\lambda}$  = 평균 누적고장률, 횡수/주행거리
- $\alpha$  = 신뢰성 성장 기울기(reliability growth slope)
- $a$  = 시험 시작 시점의 누적고장률,  $a > 0$

이에 상응하는 MKBF의 성장모델은 다음과 같다.

$$MKBF = \frac{K_a}{n} = bK_a^\alpha \quad (2)$$

이 식에서  $b = 1/a$ 이다. 식 (1)의 양변에 로그를 취하면

$$\log \bar{\lambda} = \log a - \alpha \log K_a \quad (3)$$

즉, log-log 그래프 상에서 보면 고장률은  $-\alpha$ 의 기울기를 가지는 직선이 된다. 마찬가지로 식 (2)의 양변에 로그를 취하면

$$\log MKBF = \log b + \alpha \log K_a \quad (4)$$

따라서 MKBF와 주행거리를 log-log 그래프 상에 그리면 Duane 모델의 성장률  $\alpha$ 를 구할 수 있다. Duane 모델의 성장률  $\alpha$ 는 시스템의 신뢰성 개선이 얼마만큼 적절히 이루어지는

가를 나타내는 지표로 일반적으로 0.2에서 0.6 사이의 값을 가진다[4]. 또한 새로 개발된 시스템에서는 신뢰도 개선의 가능성이 많기 때문에  $\alpha$  값이 크다. Duane 성장 모델을 이용하면 시스템의 목표 신뢰도를 도달할 수 있는 시점을 예측할 수 있다.

#### 3.2 서브시스템 분류 및 신뢰성 계산

한국형고속열차 차량시스템은 Table 1에 분류한 바와 같이 6개의 서브시스템으로 구성되어 있고 각 서브시스템 밑으로

**Table 1.** Classification into subsystems and subassemblies of the Korea High-Speed Train system.

SUBSYSTEM	SUBASSEMBLY
ELECTRIC TRACTION AND BRAKING	PANTOGRAPH
	HIGH VOLTAGE SAFETY DEVICE
	ROOF LINE
	MAIN TRANSFORMER
	AUXILIARY TRANSFORMER
	MOTOR BLOCK
	TRACTION MOTOR
	EDDY CURRENT BRAKE
DRIVING, TRAIN CONTROL AND DATA TRANSMISSION	MAIN CONTROL
	ATC/ATS
	TRAILER CONTROL
	TRAIN CONTROL NETWORK
	DRIVER'S DESK CONTROL
	DISPLAY UNIT
ELECTRIC POWER PRODUCTION AND DISTRIBUTION	AUXILIARY BLOCK
	BATTERY SET
	CVCF INVERTER UNIT
	POWER DISTRIBUTION
MOVEMENT & MECHANICAL BRAKING	MOTOR BOGIE
	CARRYING BOGIE
	CONNECTION
	BRAKE CONTROL UNIT
	AIR BRAKE ASSEMBLY
COMFORT FUNCTION UTILITIES	DOOR SYSTEM
	LIGHTING SYSTEM
	FIRE DETECTION
	HVAC AND PRSSURIZATION SYSTEM
	WATER DISTRIBUTION
	PUBLIC INFORMATION SYSTEM
	VIDEO
COMPRESSED AIR, TREATMENT AND STORAGE	MAIN AIR COMPRESSION
	AUXILIARY AIR COMPRESSION

서브어셈블리, LRU(Line Replaceable Unit)의 순으로 구성품을 분류하여 기능 블록선도 및 신뢰성블록선도를 작성 한다 [1,5,6]. 고장정보 관리 시스템에서는 기본적으로 이 분류체계를 따르고 있는데, 시운전 시험으로부터 얻어진 고장 정보는 LRU 까지의 부품 단위까지 기록하지만, 시스템의 신뢰도 계산을 위해서는 서브어셈블리까지의 고장 데이터를 이용한다. 예를 들어 한국형고속열차에는 모두 6개의 모터블록이 있고 이들 모터블록은 서로 다른 두 곳의 제작업체에 의해 제작되고 유지 보수되기 때문에 각 LRU 단위의 신뢰도는 다를 수 있지만 상위레벨의 신뢰도 계산을 위해서는 평균 고장률 값을 적용하여 신뢰도 계산을 단순화 하였다.

각 서브시스템의 신뢰도는 신뢰성 블록선도를 이용하여 구할 수 있는데 여기에서는 주행 및 기계제동시스템(Movement and mechanical braking system) 신뢰성 블록선도를 보여주고 있다. 차량 제어장치로부터 전달된 제동 신호는 Brake Control Unit에서 처리되어 Air Brake Assembly를 작동시켜 각 대차의 디스크 및 휠브레이크에 공기압을 가하게 한다. Connection 서브어셈블리에는 동력차와 동력객차를 연결하는 Coupler와 Buffer 및 Damper, 그리고 Carrying Bogie의 Ring Frame을 포함한다. 이러한 기능 특성을 고려한 신뢰성 블록선도가 Fig. 2에 도시되어 있다[1].

각 서브시스템의 신뢰도 계산을 위해 고장률(failure rate)  $\lambda$ 가 일정하여 신뢰도  $R$ 이 시간  $t$ 에 대한 지수분포를 따른다고 가정하면 다음과 같은 식을 사용할 수 있다.

$$R = e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Fig. 2의 신뢰성블록선도에 대하여 확률 이론을 적용하면 주행 및 기계제동시스템의 신뢰도  $R_{mb}$ 를 다음식과 같이 계산할 수 있다.

$$R_{mb} = (R_{m.bg} R_{air.br} R_{br.con})^6 R_{conn}^2 (R_{c.bg} R_{air.br} R_{br.con})^4 \quad (6)$$

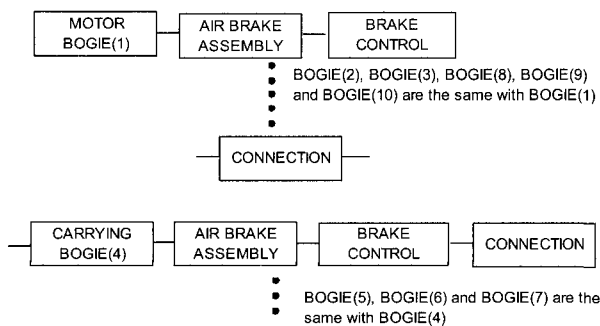


Fig. 2. Reliability block diagram of the movement and mechanical braking system.

이 식에서  $R_{m.bg}$ ,  $R_{air.br}$ ,  $R_{br.con}$ ,  $R_{conn}$ ,  $R_{c.con}$ 는 각각 Table 1에서 분류한 Motor bogie, Air brake assembly, Brake control unit, Connection, Carrying bogie의 신뢰도를 나타낸다. 각 서브어셈블리의 신뢰도를 식 (5)를 이용하여 고장률의 함수로 나타낸 다음 식 (6)을 다음 식에 대입하면 주행 및 기계제동 시스템의 MKBF를 구할 수 있다.

$$MKBF_{mb} = \int_0^{\infty} R_{mb} dt \quad (7)$$

다른 서브시스템의 MKBF도 마찬가지로 방법으로 서브어셈블리의 고장률의 함수로 표현 할 수 있다[1,5,6].

차량시스템은 위에 분류한 6개의 서브시스템이 직렬로 연결된 시스템으로 생각할 수 있기 때문에 고장률은 각 서브시스템 고장률의 합이 된다. 따라서 차량시스템의  $MKBF_s$ 는 각 서브시스템의  $MKBF_i$ 로부터 다음과 같이 구한다.

$$MKBF_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^6 \frac{1}{MKBF_i}} \quad (8)$$

### 3.3 서브시스템 및 차량시스템의 신뢰성 성장 평가

이상에서 기술한 바와 같이 한국형고속열차의 서브시스템 및 차량시스템에 대하여 고장정보를 취득하여 신뢰성 성장 추이를 평가하였다. Fig. 3~6은 Table 1의 서브시스템에 대한 MKBF를 도시한 그림이며 Fig. 7은 식 (8)을 이용하여 계산한 차량시스템의 MKBF와 Duane 모델의 성장률  $\alpha$ 를 보여준다. 공압시스템의 경우 시운전 중 고장이 발생하지 않았고, 편의시설시스템의 경우 한국형고속열차가 상업운행이 아닌 시험운행을 하는 단계이므로 신뢰성 평가에 반영하지 않았다. MKBF 및 신뢰성 성장률은 기본적으로 고장의 발생 빈도에 의해 결정되는데, 특히 한국형 고속열차의 경우에는 시스템 개선 활동에 큰 영향을 받는다. 본 연구에서는 일정 주기 동안의 시스템 개선 정도를 알아보기 위해 주행거리 6만 km 이후에 대하여 3만 km 단위로 Duane 모델의 성장률을 계산 하였다.

추진 및 전기제동시스템의 신뢰성은 초기부터 꾸준한 성장을 보여주고 있고, 보조전원 시스템의 경우에는 주행거리 5~6만 km 부근에서 고장이 다수 발생 하였으나 이후 꾸준한 신뢰성 성장을 보여주는 것을 알 수 있다. 차량시스템의 경우에도 주행거리 6만 km 이후에는 꾸준한 신뢰성 성장 추이를 보이고 있다. Fig. 5와 6의 운전, 열차제어 및 통신 시스템 그리고 주행 및 기계제동시스템의 신뢰성을 보면 신뢰성 개선을 위한 보완 작업을 계속 진행하고 있음에도 불구하고 6만 km

이후에서는 신뢰성이 성장하지 못하고 있는 것으로 나타난다. 그 이유는 본 연구에서 시스템의 고장률을 계산하는데 식 (1)에서와 같이 누적고장률을 이용하는데 있다. 하나의 완성된 시스템의 신뢰성을 평가할 때는 시스템의 수명 초기부터의 고장을 모두 고려하여 고장률을 계산하는 것이 일반적이지만

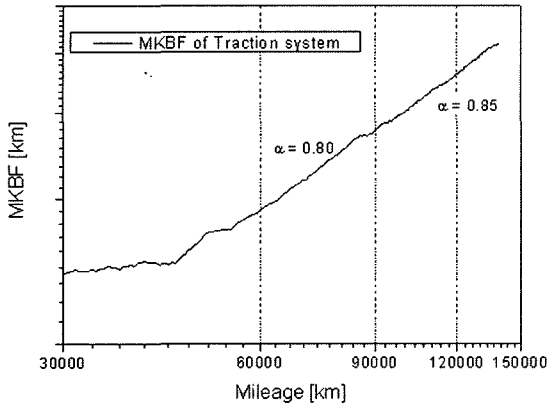


Fig. 3. MKBF curve of the electric traction and braking system.

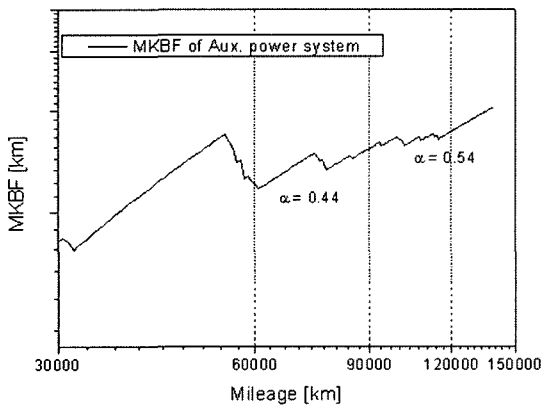


Fig. 4. MKBF curve of the electric power production and distribution system.

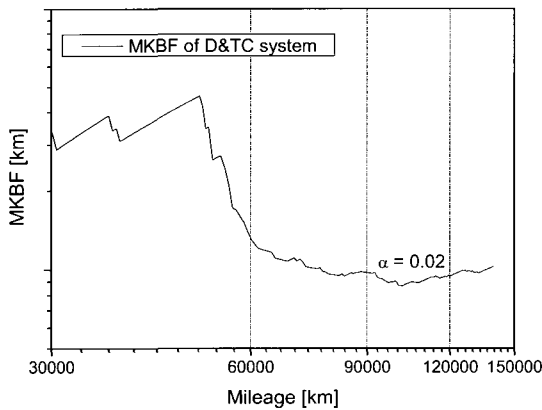


Fig. 5. MKBF curve of the driving, train control and data transmission system.

한국형고속열차의 서브시스템과 같은 개발제품의 경우에는 2절에서 기술한 바와 같이 TAFT를 반복하면서 시스템의 성능 및 신뢰도를 개선하는 경우에는 누적고장수를 이용한 평가는 적절하지 않다. 실제로 개선활동을 통하여 시스템의 주요 부품을 새로운 부품으로 교체하거나 S/W를 수정한 경우에는 그 시스템은 이전과는 다른 새로운 시스템으로 생각할 수 있기 때문에 신뢰성 평가를 새로 시작하는 것이 타당하다[2]. 이러한 경우 적용할 수 있는 방법의 하나로 일정 기간 동안의 평균 고장률을 사용하는 방법이 있다. 하지만 한국형고속열차와 같은 개발열차의 경우 신뢰성시험 샘플이 1대 뿐이기 때문에 제한된 시간 동안 충분한 주행거리를 확보하기 힘든 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 평균 고장률을 이용하는 대신 전체 시운전 시험 데이터를 활용할 수 있는 방법을 고려하였다. 즉, 개선활동을 통하여 고장 원인이 밝혀지고 이에 대한 근본적인 해결책이 적용된 고장은 고장률 계산에서 제외하는 방법이다. Table 2에서는 초기 기계제동시스템에서 다수 발생했던 고장과 이에 대한 개선활동을 보여주고 있다. ECU (Electronic Control Unit)를 교체한 경우와 같이 시운전을 통

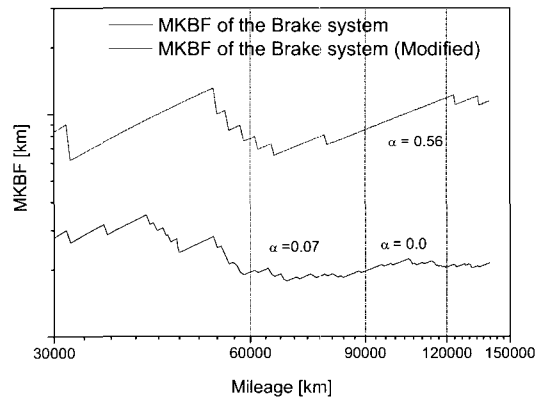


Fig. 6. MKBF curve of the movement and mechanical braking system.

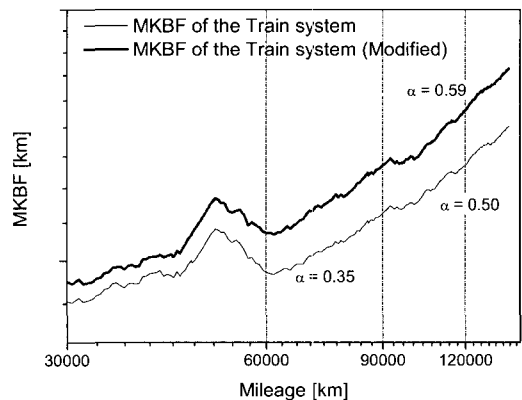


Fig. 7. MKBF curve of the train system.

**Table 2.** Examples of faults and corrective actions of the braking system.

고장 유형	고장 원인	개선사항
운전자 정차제동 검지	BCU 이력신호 오검지	신규 ECU에서는 정차제동모드 미적용
초기 기동시 속도 연산 오류	초기화 오류	리셋회로 변경
BCU내 ECU 제어장치 오동작	CPU 제어전원 노이즈	ECU 교체

해 초기 설계 시에 예측하지 못했던 고장을 발견하여 개선한 경우, 부품의 교체 이전에 이 부품에 의해 발생한 고장의 경우에는 향후에 재발하지 않는다고 추정할 수 있고 이를 근거로 신뢰성을 재평가할 수 있다. Fig. 6에 이와 같이 시스템에 대한 개선활동을 고려하여 MKBF를 다시 계산한 결과를 보여주고 있다. 개선활동과 무관한 고장에 의한 영향이 남아있는 것은 하지만 시스템 개선 이후에 신뢰성이 꾸준히 성장하는 것을 보여주고 있다. Fig. 7에는 제동시스템의 개선 결과를 반영한 차량시스템의 MKBF를 기존의 MKBF와 함께 도시하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 철도기술연구원에서 주관하여 개발하고 현재 시운전 중인 한국형고속열차의 신뢰성 성장 관리 및 평가에 대한 방법을 다루었다. 한국형고속열차는 2002년 처음 시운전 시험을 시작한 이후로 현재 총 누적 주행거리가 140,000km를 넘어가고 있으며 매회 시운전 시험 후 6개의 서브시스템에 대한 고장 정보를 데이터베이스화 하여 관리하면서 신뢰성 성장을 평가하고 있다.

본 연구에서는 시운전을 통해 구한 고장률을 이용하여 서브시스템과 차량시스템의 MKBF 변화 추이를 구하고 Duane의 신뢰성 성장 모델을 이용하여 신뢰성 성장률을 계산하였다. Duane 모델은 비교적 적은 수의 표본에 대하여도 쉽게 신뢰성 성장률을 계산할 수 있으나 누적 고장수를 이용하기 때문에 초기 고장이 빈번한 경우 이에 대한 보정이 필요하게 된

다. 특히 한국형고속열차와 같은 개발제품의 경우에는 시운전 과정 동안 TAFT를 반복하면서 차량 시스템 및 서브시스템의 성능 및 신뢰성을 개선하기 때문에 시운전 과정을 통해 적용되는 개선사항이 각 서브시스템 및 차량시스템의 신뢰성 성장에 어떻게 영향을 주고 있는지를 평가하는 것이 중요하다.

한국형고속열차의 서브시스템의 신뢰성을 평가한 결과 주행거리가 증가하면서 MKBF가 전반적으로 증가하지만 일부 서브시스템에서는 초기의 고장 때문에 시스템 개선에 의한 신뢰성 성장이 Duane의 성장 모델에 반영되지 않은 것을 알 수 있었다. 이 경우 발생한 고장과 이에 대한 조치 사항을 분석하여, 동일한 고장이 발생하지 않을 것으로 판단되는 경우 이를 고려하여 고장률을 새로 계산하여 신뢰성 성장을 평가하였다. 이 방법은 한국형고속열차와 같은 신기술이 적용된 개발차량의 신뢰성 관리에 유용하게 적용할 수 있을 것이다.

#### 후 기

본 연구는 건설교통부 고속철도기술개발사업인 “고속철도 시스템 신뢰성 및 운영효율화” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. 한국철도기술연구원, “고속철도시스템 신뢰성 및 운영효율화 기술 개발”, 고속철도기술개발사업 3차년도보고서, 2005.
2. MIL-HDBK-781A: Handbook for reliability test methods, plans, and environments for engineering, development, qualification, and production, Department of Defense, 1996.
3. 이태형, 최성훈, 서승일, 박춘수, “한국형 고속열차 신뢰성 관리 체계 연구,” 한국SE협회 추계심포지움 논문집, 2005, pp.13-16.
4. 김원경, 시스템 신뢰도공학, 교우사, 2002.
5. 서승일, 박춘수, 한영재, 이태형, 김기환, “한국형 고속열차 보조 전원 시스템의 신뢰성 해석,” 한국철도학회 논문집, 제 7권, 제 4호, 한국철도학회, 2004, pp.356-359.
6. 서승일, 박춘수, 한영재, 이태형, 김기환, “한국형 고속열차 추진 시스템의 신뢰성 평가,” 한국철도학회 논문집, 제 8권, 제 5호, 한국철도학회, 2005, pp. 434-438.