

## 차세대 고속열차의 신뢰성 성장 분석

### Reliability Growth Analysis for Next-Generation High-speed Train

노희민\* · 김석원

Hee-Min Noh · Seog-Won Kim

**Abstract** In this paper, a reliability growth analysis for a next-generation high-speed train was conducted. First, the high-speed train was decomposed into 6 sub-systems and main equipment of the high-speed train was derived from functional diagrams. Next, failure rates were calculated for each sub-system from the failure data obtained during commissioning tests. Then, reliability growth analysis was conducted for the high-speed train using the Duane model. The results show that activities to increase reliability were carried out throughout the test runs from the reliability growth results.

**Keywords** : High-speed train, Reliability analysis, Reliability growth rate, Duane model

**초 록** 본 연구에서는 차세대 고속열차의 신뢰성 성장률 분석에 대한 연구를 수행하였다. 차세대 고속열차의 신뢰성 평가를 효과적으로 수행하기 위해서 6개의 서브시스템으로 분류를 하였으며, 이에 대한 기능블록선도와 신뢰성블록선도를 도출하였다. 또한 안정화 시험 중에 수행된 시험결과를 바탕으로 고장정보분석을 수행하였다. 그리고 Duane 모델에 기반한 신뢰성 성장률 분석을 차세대 고속열차의 실험 결과에 적용하였다. 본 연구를 통해서 지속적인 차량의 유지 보수 활동이 신뢰성 성장에 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

**주요어** : 고속열차, 신뢰성분석, 신뢰성 성장률, Duane 모델

## 1. 서 론

우리나라 철도기술이 세계 고속철도 시장에서 경쟁력을 확보하고 국가 성장동력원으로 활용하기 위해서 해외선진 고속철도 개발 추세를 고려한 고속화 및 대용량 동력분산식 고속열차의 개발이 요구되었다. 차세대 고속열차는 이러한 요구를 충족시키기 위해서 최고시험속도 430km/h(영업속도 370km/h)의 동력분산식 고속열차 시스템과 핵심기술 개발을 목표로 2007년부터 2012년까지 개발되었다. 현재는 차세대 고속열차의 실용화를 위한 시스템 안정화와 신뢰성 확보를 위한 실용화 기술개발사업을 통해서 고속선로 구간에서 시운전 시험을 수행하고 있다. 시제열차의 시운전의 주요 목적은 새롭게 적용된 장비의 성능확인 및 안정화, 그리고 전체 시스템의 신뢰성 확보이다. 차세대 고속열차는 기존의 국내에서 개발된 동력집중식 고속열차와는 달리 각 차량 별로 동력이 분산되어 있으며 이로 인해서 기존의 고속철도 차량에 비해서 각 차량별 장치의 구성이 다른 특징을 가지고 있다.

차세대 고속열차의 모든 시스템 및 보조 시스템의 신뢰성은 운행 고장간 평균 주행거리(Mean Kilometer Between Service Failure, MKBSF)를 기반으로 하여 평가되고 있으며, 기존의 국내에서 개발된 고속철도차량의 신뢰성 목표를 참고하여 전체 시스템의 운행 고장간 평균 주행거리가 125,000 km 이상이 되는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위해 시운전 과정을 통해 고장정보를 취득하여 신뢰성 평가를 수행하고 고장원인을 파악하여 시스템을 안정화 시키고 신뢰성 향상을 위한 시스템 개선을 수행한다. 그리고 신뢰성 성장률 분석을 통해서 목표한 운행고장간 평균주행거리의 달성여부를 확인하게 된다[1].

본 논문에서는 현재 차세대 고속열차의 안정화 및 신뢰성 확보를 위해서 수행하고 있는 신뢰성 성장 관리 절차에 대해서 검토하였다. 효과적인 시스템 분석을 위해서 주요 기능에 기반하여 차세대 고속열차를 6개의 서브시스템으로 분류를 하였으며 이에 대한 기능블록선도를 작성하였다. 그리고 신뢰성 성장률 분석에 대한 이론을 검토하였다. 특히 본 연구에서는 Duane 성장모델을 통해서 신뢰성 성장률을 분석하였다. 시제차량의 고속선로 운행을 통해서 얻은 고장정보를 바탕으로 고장 정보 분석과 함께 신뢰성 성장률 검토를 수행하였다. 본 연구에서 수행한 결과를 통해서 개선활동에 대한 유용성을 검토하였다.

\*Corresponding author. Tel.: +82-31-460-5564, E-mail : hmnoh@krii.re.kr.

© 2015 The Korean Society for Railway. All rights reserved.

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2015.18.3.186>

## 2. 시스템 분석

### 2.1 시스템 분석

차세대 고속열차의 효과적인 신뢰성 분석을 위해서 6개의 서브시스템으로 분류를 하였다[2]. 추진 및 전기제동 시스템은 고속열차에서 고속으로 주행하기 위해 에너지인 전력을 공급받고, 이를 견인력으로 변환하여 동력으로 사용하는 시스템을 의미한다. 대표적으로 팬터그래프, 주회로 차단기, 주변압기, 주전력변환장치, 견인전동기 등이 있다. 운전과 열차제어 및 신호시스템은 주행하는 차량을 안전하고 효과적으로 운영하기 위한 시스템으로 운전자가 직접 차량의 운전을 담당하는 운전 시스템과 차량의 주요 장치에 명령을 전달하고 이상유무를 검토하는 열차진단제어시스템 및 운행 중 지상신호를 수신하여 차량의 운행을 통제하는 신호시스템으로 분류되었다. 주행 및 기계제동 시스템은 차량의 주행 중에 기계 제동과 관련된 시스템으로 구성되어 있다.

또한 편의시설시스템은 차량의 승객에 대한 편의시설로 구성되어 있다. 보조전원시스템은 차량에서 공급받은 전류를 통해서 차량의 각종 보조전원에 전원을 공급하는 장치이며, 공압시스템은 차량에 필요한 각종 압축공기를 공급하는 장치이다. Table 1은 본 연구에서 구현된 서브시스템에 대한 주요 장치를 보여주고 있다.

각 서브시스템에 따른 주요 장치간의 기능적 상관관계를 분석하기 위해서 기능블록선도를 구성하였다. 우선 추진 및 전기제동 시스템에 대한 기능 블록선도는 Fig. 1과 같다. 추진 및 전기제동 시스템의 기능 블록선도를 통해서 가선으로부터 공급되는 25kV의 교류 전압이 견인전동기까지 전달되는 흐름을 파악할 수 있다. 특히 차세대 고속열차는 크게 3개의 유니

**Table 1.** Classification into subsystems and subassemblies of next-generation high-speed train.

Subsystem	Speed (Km/h)
Electric traction and braking	Pantograph
	Main circuit breaker
	Main transformer
	Motor block
	Traction motor
	Eddy current brake
Driving, Train control and signal	Main control
	ATS/ATC/ATP
	Trailer control
	Train control network
	Driver's desk control
Movement and mechanical braking	Display unit
	Master controller control unit
	MVB network
Comfort function utilities	ECU/BCU
	Door system
	Lighting system
	Fire detection
	HAVC and pressurization system
	Water distribution
	Public information system
Electric power production and distribution	Video
	Auxiliary power transformer
	Battery
Compressed air, Treatment and storage	Battery charger
	Main air compression
	Auxiliary air compression

트로 구성되어 있음을 확인할 수 있으며, 각각의 유니트에서 단일품으로 구성되어 있는 주회로 차단기와 주변압기의 이상이 차량의 운행장애에 큰 영향을 미칠 수 있음을 확인할 수 있다. 운전과 열차제어 및 신호시스템의 기능블록선도는 Fig. 2와 같다. 본 시스템은 차량을 운전하는 운전자와 차량과의 인터페이스를 담당하는 운전시스템과 지상정보와 차상정보의 인터페이스를 담당하는 신호시스템 및 각 차량간 데이터를 송/수신하는 차량 통신 시스템으로 구성되어 있다.

주행 및 기계 제동 시스템의 기능블록선도는 Fig. 3과 같다. 차량의 운행 중 기계 제동 시스템이 원활히 작동하기 위해서는 MCCU (Master Controller Control Unit)에서 각 차량간 통신으로 전달되는 제동명령과 전자제어유니트(ECU)에서 수행되는 각 차량별 제동력 분배 및 제동제어유니트(BCU)의 원활한 작동이 중요함을 확인할 수 있다.

편의시설시스템의 기능블록선도는 Fig. 4와 같다. 편의시설 시스템은 각 차량의 제어장치에 의해서 각 시스템이 병렬적으로 구성되는 특징을 가지고 있으며, 실제 고장 시에는 열차의 운행에는 큰 영향을 미치지 않는 장비로 구성되어 있음을 확인할 수 있다. 보조전원시스템의 기능블록선도는 Fig. 5와 같다. 보조전원시스템은 주변압기를 통해서 공급된 전력을 각 차량의 보조장치 및 배터리 충전에 사용됨을 확인할 수 있다. 공압시스템의 기능블록선도는 Fig. 6과 같다. 공압시스템은 주공기압축기를 통해서 각 차량에 압축된 공기를 공급하는 장치와 팬티그래프의 상승과 하강을 위한 보조공기압축기로 구분이 된다.

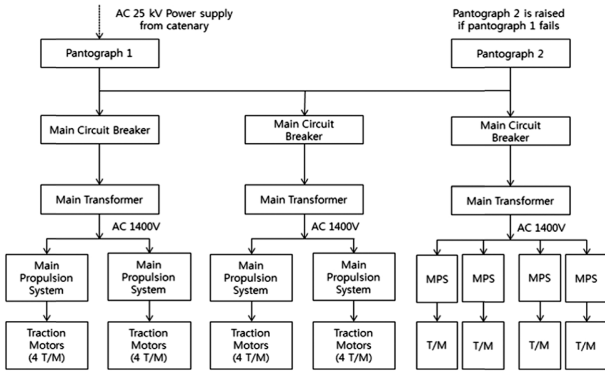


Fig. 1. Functional block diagram of electric traction and braking systems.

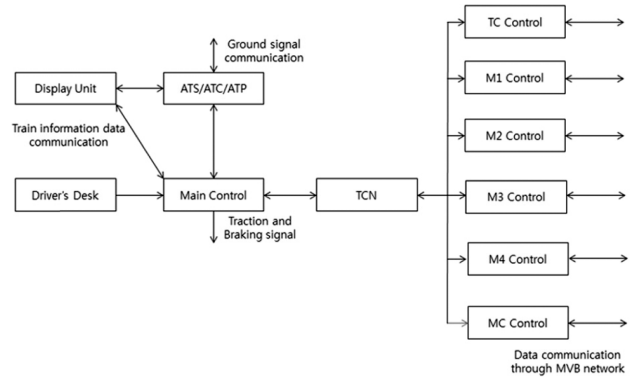


Fig. 2. Functional block diagram of driving, train control and signal systems.

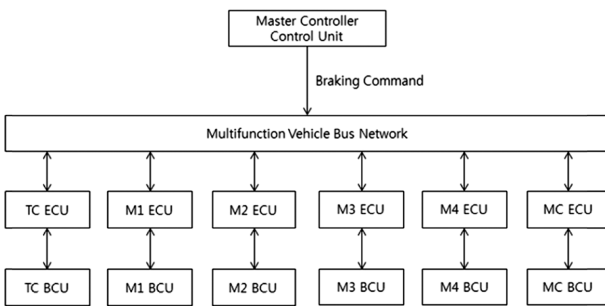


Fig. 3. Functional block diagram of movement and mechanical braking systems.

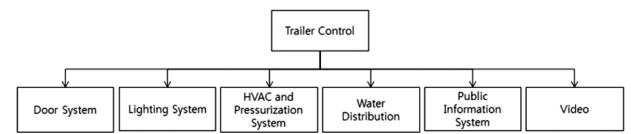


Fig. 4. Functional block diagram of comfort function utilities system.

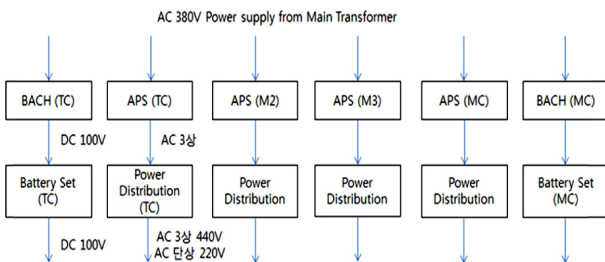


Fig. 5. Functional block diagram of electric power production and distribution.

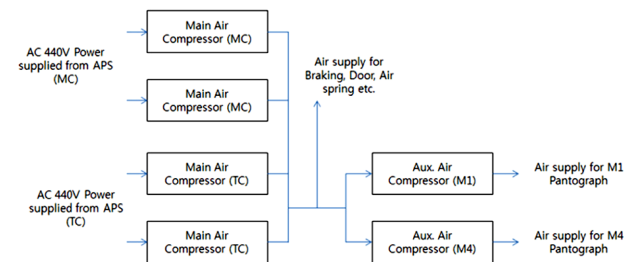


Fig. 6. Functional block diagram of compressed air, treatment and storage systems.

기능 블록선도를 바탕으로 차량의 운행에 영향을 미치는 주요 장비를 선정하였다. 추진 및 전기제동 시스템에서는 팬터 그래프, 주회로 차단기, 주변압기, 주전력 변환장치, 견인전동기를 주요 장비로 선정하였으며, 운전과 열차제어 및 신호시스템에서는 열차제어진단제어시스템과 통합차상신호장치(ATS, ATC, ATP)를 선정하였다. 주행 및 기계제동 시스템의 제동장치와 보조전원시스템의 보조전력변환장치 및 배터리 충전장치, 그리고 공압시스템의 공기압축기 또한 차량의 운행에 중요한 영향을 미치는 장치로 볼 수 있다.

## 2.2 신뢰성 성장 모델

신뢰성 성장은 고장의 근본 원인을 제거하여 신뢰도를 개선함으로써 시스템의 안정화를 앞당기는데 목적이 있다. 특히 차세대고속열차는 기존의 고속철도와 다른 동력분산형 차량으로 다양한 신기술을 적용한 시제차량이기 때문에 신뢰성 시험의 목적 또한 단순히 신뢰도를 예측하는 것뿐만 아니라 각종 개선활동을 통하여 차량시스템이나 세부시스템의 신뢰도가 얼마만큼 증가하는 것을 보는 것이 중요하다. 신뢰성 성장을 평가하는 여러 모델 중 개발되는 시스템과 같이 MKBF의 성장 또는 고장률의 개선이 지속적인 경우에 적용되는 모델로써 대표적으로 Duane 모델[3]과 Crow-AMSAA 모델[4]을 들 수 있다.

### 2.2.1 Duane 모델

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,  $K_a$ = 누적주행 거리

$\bar{\lambda}$  = 평균 누적고장률, 횡수/주행거리

$\alpha$  = 신뢰성 성장 기울기(reliability growth slope)

$a$  = 신뢰성 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 누적주행거리를 log-log 그래프 상에 그리면 Duane 모델의 성장률  $\alpha$ 를 구할 수 있다. Duane 모델의 성장률  $\alpha$ 는 시스템의 개선이 얼마만큼 적절히 이루어지는가를 나타내는 지표로 일반적으로 0.2에서 0.6사이의 값을 가진다. 또한 새로 개발된 시스템에서는 신뢰성 개선의 가능성이 많기 때문에  $\alpha$ 의 값이 크다.

### 2.2.2 Crow-AMSAA 모델

Crow-AMSAA 모델은 개발기간에서 시제품의 고장은 Non-homogeneous Poisson process(NHPP)로 발생한다고 가정하고 있다. 이를 바탕으로 Crow-AMSAA 모델에서 누적주행시간  $t$ 에서의 누적고장횟수는  $N(t)$ 라고 하고,  $\rho(t)$ 를 고장밀도함수라고 정의한다. NHPP 모델에서 순간적인 시간영역인  $[t, t+\Delta t]$ 에서 고장발생횟수는  $\rho(t) \Delta t$ 로 표현된다. 따라서 총 시험시간  $T$ 에 대한 기대고장횟수는 다음과 같다.

$$E[N(T)] = \int_0^T \rho(t) dt \quad (5)$$

그리고 Crow-AMSAA 모델에서 고장밀도함수는 와이블(Weibull)분포에 대응한다고 가정하여 다음과 같이 나타낸다.

$$\rho(T) = \frac{\beta}{\eta^\beta} T^{\beta-1} \tag{6}$$

위 식에서  $\eta$ 는 와이블 분포의 척도 모수를 나타내며,  $\beta$ 는 와이블 분포의 형상 모수를 나타낸다. 특히  $\beta < 1$ 인 경우를 감소형 고장률,  $\beta = 1$ 인 경우를 일정형 고장률,  $\beta > 1$ 인 경우를 증가형 고장률이라고 한다.

이때 고장률이  $\lambda = \frac{1}{\eta^\beta}$ 의 관계가 성립한다고 가정하면, 순간고장률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_i(T) = \lambda \beta T^{\beta-1}, T > 0, \lambda, \beta > 0 \tag{7}$$

전체 시운전 시간  $T$ 에 대한 기대고장횟수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E(N(T)) = \int_0^T \lambda_i(T) dT = \int_0^T \lambda \beta T^{\beta-1} dT = \lambda T^\beta \tag{8}$$

누적 고장률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_c = \lambda T^{\beta-1} \tag{9}$$

이를 통해서 평균무고장시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$MTBF_C = \frac{1}{\lambda} T^{1-\beta} \tag{10}$$

양변의 로그를 취하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\log MTBF_C = \log(1/\lambda) + (1-\beta)\log(T) \tag{11}$$

Crow-AMSAA모델과 Duane모델은 신뢰성 성장분석의 대표적인 모델로서 자주 사용되며, 누적 MTBF와 누적 시간의 대수 사이에 선형적인 관계가 도출된다는 사실로부터 온다. 그리고 Duane모델은 시간에 걸쳐서 관측된 평균무고장시간(MTBF) 변화에 대해서 경험적으로 접근하는데 반하여, Crow-AMSAA모델은 확률로서 신뢰성 성장 프로세스를 보여주며, 특히 고장자료를 바탕으로 성장 추세를 결정하는 가설 검정 절차를 와이블 분포의 형상 모수를 통해서 나타낸다.

본 연구에서는 실제 시스템의 고장 정보를 기반으로 평균무고장시간을 도출하고, 이를 바탕으로 누적주행거리에 따른 신뢰성 성장을 분석하고자 한다. 이에 본 논문에서는 Duane모델을 기반으로 신뢰성 성장 결과를 도출하고 분석하였다.

### 3. 신뢰성 분석

#### 3.1 신뢰성 시험

차세대 고속열차는 2012년 5월에 차량의 공장 출고 이후에 고속선 시험을 시작하였으며, 지속적인 증속 시험을 통해서 2013년 3월에 최고시험속도 421.4km/h를 달성하였다. 이처럼 20,933km의 증속 시험을 수행한 후에 2013년 7월부터 2014년 4월까지 안정화 시험을 수행하였다. 안정화 시험은 부산과 광명의 경부 고속선의 운영선로에서 기존 고속열차와 동일하게 운영을 하였다. 차세대 고속열차의 총 누적주행거리는 78,370km이며, 이 중 안정화 시험은 92회에 걸쳐서 57,437km의 누적주행거리로 수행되었다.

안정화 시험 동안 추진, 제동, 집전 등 주요 성능에 대한 안정화 시험과 차량 하부시스템의 고장 모니터링 및 특성 개선, 시운전을 통한 차량 핵심 부품 개선 및 성능시험을 수행하였다. 그리고 시험 주행 중에 발생하는 고장에 대해서 시운전의 주요 사항을 작성하고 정리한 시운전 시험 일지와 차량의 고장 정보를 저장하고 입력하는 열차차량진단제어시스템의 저장 정보를 바탕으로 분석하였다. 또한 각 주요 장치에 따른 담당자와의 검토회의를 통해서 고장 정보 및 성능 개선 활동 내역을 대조하고 검토하였다.

특히 본 연구에서는 차세대 고속열차의 운행 중에 발생하는 이상 사항에 대한 분석을 통한 차량의 성능개선을 목적으로 하였기 때문에 운행 중 발생한 수리가 필요한 장치의 불량뿐만 아니라 순간적인 오작동 후에 정상 작동한 경우도 포함하여 분석을 수행하였다. 하지만 다음과 같은 경우에는 고장으로 간주하지 않았다. 우선 아직 시스템의 안정화가 완료되지 않

Table 2. Failure data of next-generation high-speed train.

Mileage	MCB	Traction motors	ECU	ATC
~10,000 km	0	0	1	4
~20,000 km	1	0	0	3
~30,000 km	2	0	1	1
~40,000 km	3	1	0	0
~50,000 km	3	0	0	1
~60,000 km	0	0	0	1
Total	9	1	2	10

은 경우에는 분석 대상에서 제외를 하였다. 본 연구에서는 장치의 수정이 진행 중인 신호시스템의 ATS 및 ATP와 영구자석 동기전동기는 고장정보에서 제외하였다. 그리고 안정화를 완료하였으나 고장이 발생하지 않아서 고장에 대한 데이터를 획득하지 못하거나 고장 횟수가 2회 이하여서 고장발생에 대한 경향을 도출하기 어려운 서브시스템의 경우에는 신뢰성 성장 분석에서 제외하였다. 그리하여 안정화 시험 중에 고장이 발생하지 않거나 발생 횟수가 적은 주행 및 기계제동 시스템, 보조전원 시스템, 공압시스템은 신뢰성 성장 분석에서 제외하였다. 다만 전체 시스템의 신뢰성 분석 시에는 발생한 고장을 포함하여 분석을 수행하였다. 시운전 기간 동안 발생한 고장 중 완전한 정비가 이루어지지 않아서 동일하게 발생한 중복 고장에 대해서도 고장횟수에서 제외하였다. 그리고 시운전 운행 동안 발생한 고장 중 고장정비 시, 고장 징후나 고장 현상이 확인되지 않고 추후에 다시 정상으로 확인된 고장은 고장으로 간주하지 않았다.

고장에 대한 정의를 설정한 후에 주행 시 발생한 주요 장비에 대한 발생고장의 현황을 분석하였다. 앞의 기능분석을 통해서 차량의 운행에 실제적으로 큰 영향을 미치는 주요 장비인 팬터그래프, 주회로차단기, 주변압기, 주전력변환장치, 견인전동기, 열차진단제어시스템, 통합차상신호장치, 제동장치, 보조전력변환장치, 배터리충전장치, 공기압축기에 대한 운행 중 발생한 고장 발생 현황을 Table 2와 같이 정리하였다.

차세대 고속열차의 주요 장비에 대한 고장정보를 살펴보면 22건의 고장정보 중 주회로 차단기에서 9건과 ATC-신호시스템에서 10건의 고장이 발생하였으며, 견인전동기와 제동시스템에서 각각 1건과 2건의 고장이 발생하였다. 그리고 이 중에서 열차의 5분이상 운행 지연에 영향을 미친 중대한 고장은 92회의 운행 중 4건으로 이는 각각 주회로 차단기와 견인전동기의 고장으로 발생하였다. 그 외의 고장은 운행에 지장을 주지 않은 경미한 고장이었으며, 고장원인은 신호시스템에서의 특정 구간에서 지상정보의 신호현시오류와 제동시스템에서 차량과 제동시스템과의 통신불량이었다.

### 3.2 신뢰성 분석 결과

고장정보를 바탕으로 전체 시스템과 주요 시스템에 대한 신뢰성 성장률 분석을 수행하였다. 신뢰성 분석은 누적거리 1,000km 단위로 발생한 누적고장수를 바탕으로 평균무고장거리를 도출하였다. 이를 Duane모델에 기반하여 MKBF와 누적주행거리를 log-log 그래프 상에 그리면 Fig. 7과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 시운전 시험이 진행될수록, 평균무고장거리가 전체적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. Table 3은 10,000km 단위로 누적주행거리에 따른 전체시스템의 신뢰성 성장률 변화의 크기를 나타내고 있다. 대체적으로 신뢰성은 성장하고 있으나 10,000~20,000km 영역에서 신뢰성의 성장이 크게 떨어지고 있는 것을 확인할 수 있다.

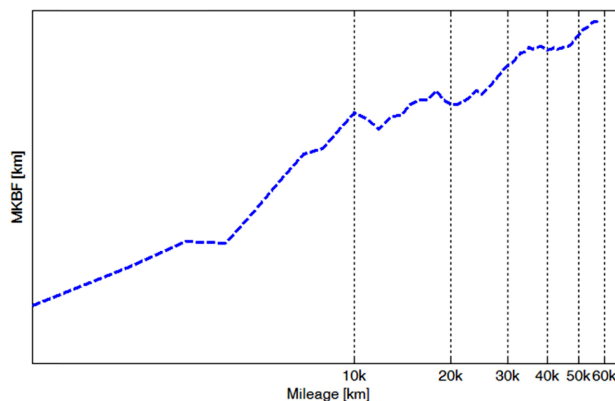


Fig. 7. Reliability growth analysis using duane model.

**Table 3.** Reliability growth rates of next-generation high-speed train.

Mileage	Reliability growth rate
~10,000 km	0.52
~20,000 km	0.07
~30,000 km	0.60
~40,000 km	0.33
~50,000 km	0.41
~60,000 km	0.70

**Table 4.** Reliability growth rates of Sub-systems in next-generation high-speed train.

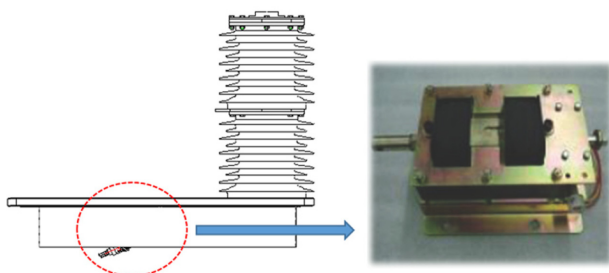
System	Duane model
Total system	0.2271
Electric traction and braking system	-0.5823
Driving, train control and signal system	0.3022
Comfort function utilities system	0.3915

전체 시스템에 대한 신뢰성 분석을 검토한 후에 서브 시스템에 대한 신뢰성 분석을 수행하였다. 서브시스템 중 고장이 발생하지 않거나 고장수가 부족한 주행 및 기계제동 시스템, 보조전원 시스템, 공압시스템은 신뢰성 분석에 제외하였다. 우선 추진 및 전기제동 시스템의 경우에는 Duane 모델을 바탕으로 계산한 경우에는 -0.5823으로 계산되었다. 그리고 운전과 열차제어 및 신호시스템의 신뢰성 성장률은 Duane 모델을 기반한 신뢰성 성장률의 경우 0.3022 였으며, 편의시설시스템은 Duane모델에 기반한 신뢰성 성장률의 경우에는 0.3915으로 나타났다. 전체 및 서브시스템에 대한 신뢰성 성장률결과는 Table 4에 정리하였다.

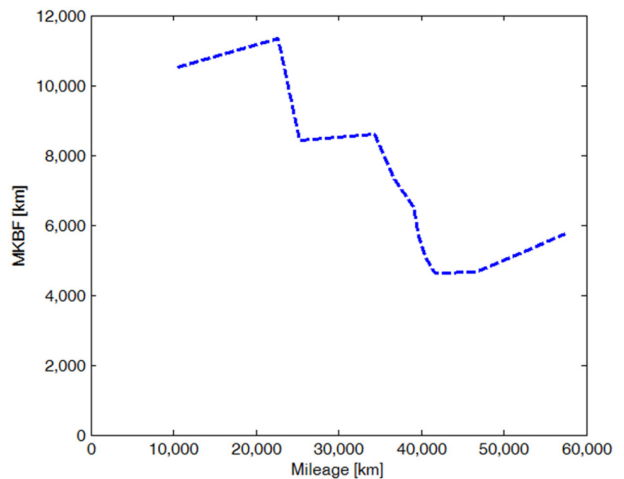
일반적으로 시스템의 신뢰성 성장률을 분석하는 경우에 대상 시스템 초기의 고장에서 유지 보수 활동뿐 만 아니라 시스템에 대한 개선을 통해서 신뢰성이 성장하게 된다. 이번에 차세대 고속열차의 신뢰성 분석에서도 대부분의 시스템에서 시스템의 개선 및 안정화로 신뢰성이 성장하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 추진 및 기계제동 시스템은 신뢰성의 성장이 떨어지는 것으로 결과가 나타났다. 이에 대한 원인 분석을 세부 부품에 대한 고장을 통해서 검토하였다.

추진 및 전기제동 시스템은 신뢰성 시험 분석 동안 총 10건의 고장이 발생하였다. 그리고 대부분의 고장은 주회로 차단기에서 발생하였다. 특히 본 고장의 특징은 신뢰성 시험 시작부터 10,000km까지 고장이 발생하지 않았으며 이후에 고장이 급격하게 증가하다가 40,000km이후에 다시 고장이 감소하는 것으로 분석되었다. 실제로 주회로 차단기는 고압의 전류가 차량에 흐르는 것을 방지하는 장치로써 고장 시에 새로운 부품으로 교체하는 것이 일반적이다.

하지만 본 연구에서의 신뢰성 분석의 대상 차량은 개발이 진행 중인 차량으로써 고장의 발생시에 이에 대한 효과적인 원



**Fig. 8.** Main circuit breaker and controller.



**Fig. 9.** Mean number of kilometers between service failures of main circuit breaker.

인을 수행하는 것이 중요하다. 따라서 주회로 차단기의 고장 시에 새로운 제품으로 교체하기 보다는 고장의 원인분석 및 제품의 개선사항을 도출하는 방향으로 유지보수를 진행하였으며, 이로 인해서 초기의 고장 발생 후에도 다수의 고장이 발생하였다. 이러한 주회로 차단기의 고장원인은 전기적 충격으로 인한 Fig. 8의 제어기의 오작동으로 파악되었으며, 전기적 충격에서 보호하기 위한 제작 보완 및 방전장치를 구현하였다. 이를 통해서 40,000km 이후에는 제품의 고장 발생이 개선되어 신뢰성이 성장하는 것을 Fig. 9의 누적주행거리별 평균무고장시간을 통해서 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 현재 개발이 완료되고 안정화 및 신뢰성 확보를 위해 시운전이 수행중인 차세대 고속열차의 신뢰성 분석에 대한 연구를 수행하였다. 차세대 고속열차의 신뢰성 분석을 수행하기 위해 6개의 서브시스템으로 분류하였으며, 각각의 서브시스템에 대한 기능 분석 선도를 도출하였다. 또한 Duane 모델의 신뢰성 성장 모델을 검토하였다. 그리고 신뢰성 성장률 분석을 수행하기에 앞서 시운전 중 획득한 정보를 바탕으로 주요 장치에 대한 고장 특성을 분석하였다. 전체 시스템에 대한 신뢰성 성장률 분석을 수행하였으며, 이를 통해서 차세대 고속열차의 시운전 시험 중에 시험, 고장제어 및 개선, 시험의 반복의 통해서 신뢰성이 성장하는 것을 확인하였다.

#### 후 기

본 연구는 국토교통부의 430km/h급 고속열차 시운전 시험연구 과제의 지원을 받아 수행하였습니다. 이에 관계자에게 감사드립니다.

#### References

- [1] S.-I. Seo, C.-S. Park, Y.-J. Han, T.-H. Lee, K.-H. Kim (2004) Reliability analysis of auxiliary power system on Korea high speed train, *Journal of the Korean Society for Railway*, 7(4), pp. 356-359.
- [2] S. Choi, C.-K. Park, S.-I. Seo, T.-H. Lee, K.-H. Kim (2006) Reliability growth assessment for the rolling stock system of the Korea high-speed train, *Journal of the Korean Society for Railway*, 9(5), pp. 606-611.
- [3] Washington, DC (1996) MIL-HDBK-781A: Handbook for reliability test methods, plans, and environments for engineering, development, qualification, and production, Department of defense.
- [4] J.-H. Kim (2006) A study on the optimal LCC using AMSAA model, *Journal of the society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 29(3), pp.135-142.

【Received 16 June 2014; Revised 9 December 2014; Accepted 3 June 2015】

**Hee-Min Noh** : hmnoh@krri.re.kr

Planning and Strategy Center R&D Strategy Division, Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea

**Seog-Won Kim** : swkim@krri.re.kr

High-speed Railroad Systems Research Team, Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea