

도시철도 전동차량의 운행고장 데이터 분석을 통한 도어시스템 유지보수주기 결정 사례 연구

A Case Study on Determining Doors Maintenance Intervals through Running Fault Data Analysis for Metro EMU

이덕규[†] · 김종운* · 이희성**

Duk Gyu Lee · Jong Woon Kim · Hi Sung Lee

Abstract Recently, railway corporations have built maintenance information systems and collected failure and maintenance data. For example Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation (SMRT) built the Electric Motor Unit-Information System (EMU-IS) which is the first maintenance information system in Korea. It has been operated from August, 2000. This paper deals with a case study on determining maintenance interval through reliability analysis using EMU-IS fault data. Door system is considered for the case study in which reliability is evaluated for operating time and distance and the overhaul interval is determined.

Keywords : Maintenance Interval, Reliability Centered Maintenance, Maintenance Information System, Overhaul

요 지 최근 들어 각 철도 운영기관들은 유지보수 정보 시스템을 구축하여 고장 및 유지보수 데이터를 수집하고 있다. 그 한 예로서 서울특별시도시철도공사(SMRT)에서는 전동차정보시스템(EMU-IS)을 국내 최초로 개발하여 2000년 8월부터 본격적으로 사용을 시작하였다. 본 논문에서는 SMRT 전동차량 운영으로 EMU-IS에 모아진 운행, 정비, 고장 데이터를 분석하여 신뢰도를 평가하고 유지보수주기를 결정하는 사례를 다루었다. 그 사례로서 도어시스템의 주요 아이টে에 대해 신뢰성을 시간 및 거리 기준으로 평가하고 오버홀 주기를 결정하는 문제를 다루었다.

주요어 : 유지보수주기, 신뢰성 중심 유지보수, 전동차정보시스템, 오버홀

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

전동차량은 차체, 대차, 전력장치, 추진장치, 제어장치, 제동장치, 도어시스템 등이 컴퓨터, 기계, 전자분야가 유기적으로 구성되어 있는 종합시스템으로써 각 시스템들간의 역할이 한 개라도 부족하면 전체 시스템의 기능이 100% 발휘되지 못하고 불안정한 상태로 바뀌게 된다. 이러한 전동차량 고장은 운행 지연을 유발하여 정시성을 해칠 수 있으며, 심각한 고장의 경우는 장시간의 운행지연으로 인하여

이용고객에게 불편을 초래할 수 있어 고장요인을 설계단계부터 최소화하려는 노력이 요구된다. 하지만 국내에서 운행하는 전동차량은 설계단계에서 의무적으로 신뢰성을 중시한 설계기준을 적용하는 제도적인 기준이 마련되기 전에 제작된 것이 대부분이다.

따라서, 지하철을 운영하는 각 기관에서는 정비를 통한 고장방지에 초점을 맞추고 운영기관별 특성에 맞게 정비기준을 설정하여 운영하고 있다.

지하철은 초기비용이 많이 투입된다. 따라서 비용이 많이 투입된 지하철을 경제적으로 운영하기 위해서는 승객과 직접 맞닿아 있는 전동차량을 최소비용으로 안전하고 쾌적하게 운영하는 것이 필요하며 안전하면서도 운영비용을 최소화하기 위한 전동차량 정비기법이 요구된다.

우리나라 지하철 운영기관에서 적용하는 전동차 정비기법은 1974년 지하철 1호선이 최초 개통할 당시 도입된 TBM

[†] 책임저자 : 정희원, 서울도시철도공사, 팀장, 서울산업대학교 철도전문대학원 박사과정

E-mail:ldg0115@hanmail.net

Tel: (02)6311-2341 Fax: (02)6311-2150

* 정희원, 한국철도기술연구원, 선임연구원

** 교신저자 : 정희원, 서울산업대학교 철도전문대학원, 교수

(Time-Base-Maintenance) 방식을 근원으로 한다. 이것은 운행시간을 기준으로 정해진 정비방식으로써 일상, 월간, 년간마다 시행하는 정기검사와 계절별로 가동을 달리하는 냉방, 난방장치를 대상으로 점검하는 계절별점검, 그리고 필요에 따라 계획적으로 실시하는 특별점검, 비계획적인 임시검사로 구분하여 시행하고 있으나 전동차량의 제작기술 발전이 거듭되면서 정비주기도 길어지는 추세지만 정비 방법 자체가 변한 것은 아니다. 그러나 최근 들어 각 운영기관들은 고유의 유지보수 정보 시스템을 구축하여 고장 및 유지보수 데이터를 수집하고 있다. 그 한 예로서 서울특별시 도시철도공사(SMRT : Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation-서울지하철 5~8호선운영)에서는 1995년 11월 15일 5호선 강동구간 개통과 더불어 전동차정보시스템(EMU-IS : Electric Motor Unit-Information System)을 국내 최초로 개발하여 1997년부터 시험단계를 거쳐 6호선이 완전 개통한 2000년 8월부터 본격적으로 사용을 시작하였다.

본 논문에서는 SMRT 전동차량 운영으로 EMU-IS에 모아진 운행, 정비, 고장 데이터를 분석하여 신뢰도를 평가하고 유지보수주기를 결정하는 사례를 다루었다. 그 사례로서 도어시스템의 주요 아이টে에 대해 신뢰성을 시간 및 주행거리 기준으로 평가하고 오버홀 주기를 결정하는 문제를 다루었다. 오버홀 주기는 운행고장의 실패비용을 포함한 수명주기비용을 최소로 하는 주기를 선택하였다.

Table 1. Standard of RCM

규정번호	발행기관	제정연도
RCM [1]	미국방성	1978
MIL-STD-2173 [2]	미국방성	1986
OPNAVINST 4790.16 [3]	미해군	1988
Technique PM-4 [4]	NASA	1994
RCM II [5]	미국	1997
NAVAIRINST 4790.20 [6]	미해군	1999
IEC60300-3-11 [7]	국제전기기술위원회	1999
SAE JA1011 [8]	미자동차공학회	1999
SAE JA1012 [9]	미자동차공학회	2002
NAVAIR 00-25-403 [10]	미해군	2003
TM-5-698-2 [11]	미육군	2003

오버홀 주기에 따른 수명주기비용(유지보수 인건비+유지보수재료비)은 몬테칼로 시뮬레이션 분석에 의해 계산하였으며, 상용 시뮬레이션 도구인 Availability Workbench의 AvSim 모듈을 이용하였다.

1.2 기존 연구

유지보수 체계를 결정하는 기법으로 현재 가장 널리 사용되고 있는 것은 신뢰성 중심 정비(RCM: Reliability Centered Maintenance) 기법이다. 전 세계적으로 RCM에 대한 연구는 항공분야를 시작으로 자동차, 원자력분야로 확대되어가는 추세이다. 철도기반산업에서도 RCM 기술을 연구하기 위한 방안으로 RAIL (Reliability centered Approach for the Infrastructure and Logistics of railway operation)이란 이름을 가진 프로젝트가 시작되었다. 특히 EU (European Union)는 안전한 단일의 철도시스템과 다국적 상호 운행시스템을 구축하는데 있어 표준화된 정비시스템이 필요했다. 철도시스템의 RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) 규정인 IEC 62278에서도 운영 및 유지보수 단계에서 RCM 기법을 적용할 것을 권고하고 있다.

RCM의 절차 및 기법에 대해서는 Table 1의 각 관련 규정에 잘 기술되어있다[1~11]. 그러나 RCM은 각 아이টে 또는 고장모드별 유지보수 업무의 종류를 결정하기 위한 절차 및 기법에 대해서는 자세히 정의하고 있지만, 주기적 유지보수 업무에 대한 주기를 결정하기 위한 기법에 대해서는 단지 몇 개의 규정에서만 개념적 모형만을 제시하고 있다.

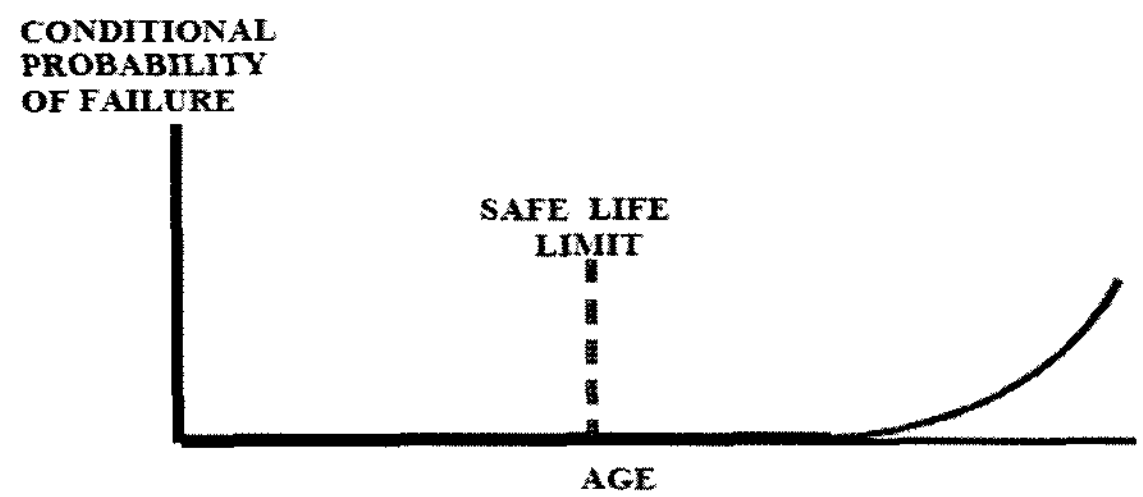


Fig. 1. Safe Life Limit (NAVAIR 00-25-243)

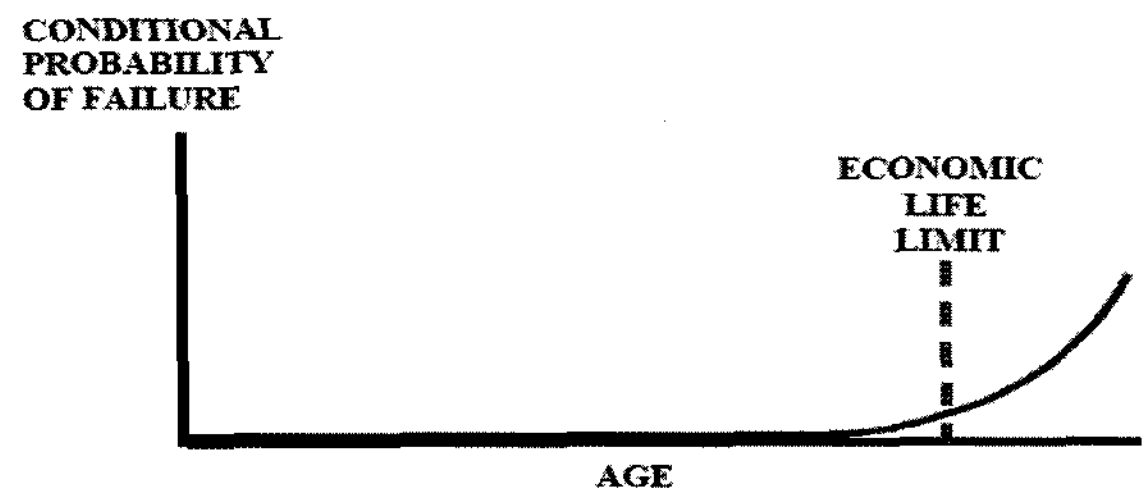


Fig. 2. Economic Life Limit (NAVAIR 00-25-243)

NAVAIR 00-25-243[10]에서는 주기적인 교환 또는 복구 활동과 같은 고정시간 업무(Hard Time Task)에 대해서 안전에 영향을 주는 품목인 경우에는 Fig. 1과 같이 안전 수명 한계(Safe Life Limit) 내에서 유지보수주기를 결정하고, 안전에 관련이 없는 품목인 경우에는 Fig. 2와 같이 경

제적 수명 한계(Economic Life Limit)을 유지보수주기로 결정 할 것을 권고하고 있다. 그러나 경제적 수명 한계를 결정하기 위한 절차 및 방법에 대해서는 다루지 않고 있다.

김중운 등은 정량적인 유지보수주기의 결정을 위해 철도 시스템의 유지보수주기 결정에 따른 리스크로 ‘서비스신뢰도’, ‘가용도’, ‘안전성’, ‘수명주기비용’ 네 가지 리스크 평가 척도 및 계산 방법을 제시하였으며, 고정시간 업무의 최적주기 결정을 위한 개념적 모형을 제안하였다[12]. 이호용 등은 RAMS 추정 및 RCM 기법을 활용한 유지보수 정보화 시스템을 개발하였다[13]. 임병욱, 윤덕균은 고속철도차량(KTX)에 RCM 적용 사례를 바탕으로 KTX RCM 의 시스템 흐름도 및 탄력적 예방정비 주기 조정 방법을 소개 하였는데, 이 방법은 현장데이터를 통해 조정 또는 결정된 유지보수주기를 현장에 적용할 때 유용하게 사용할 수 있는 기법으로 판단된다[14]. 손영진, 이강원은 전동차 유지 보수 정보화시스템의 실증적 운영 결과를 다루어 운영 시 발생하는 문제점과 이의 극복방법을 제시하였다[15].

2. 고장 데이터 분석

2.1 분석 대상 장치의 개요

본 논문에서는 Fig. 4와 같은 공기식도어시스템에서 주요 고장 원인이 되면서 기능적으로 중요한 도어엔진, 전자변, 인터록스위치를 분석 대상으로 하였다. 도어시스템은 전자 변에 의한 공기압력으로 동작된다. 출입문 개·폐는 도어 시스템 제어모드에 의하여 자동열림 자동닫음, 자동열림 수동닫음, 수동열림 수동닫음 3가지 모드로 운영되고, 출입문 개·폐 상태정보는 각 인터록스위치에 의하여 TCMS로 전송되어 전동차가 정상적으로 운행할 수 있는 상태를 운전 자가 확인할 수 있다. 자세한 내용은 Fig. 3에 나타내었다.

“도어엔진”은 5kg/cm²의 압력공기에 의하여 실린더내의 피스톤이 움직여 피스톤로드에 메달려있는 출입문이 열리고 닫히게 하는 기능을 수행 한다.

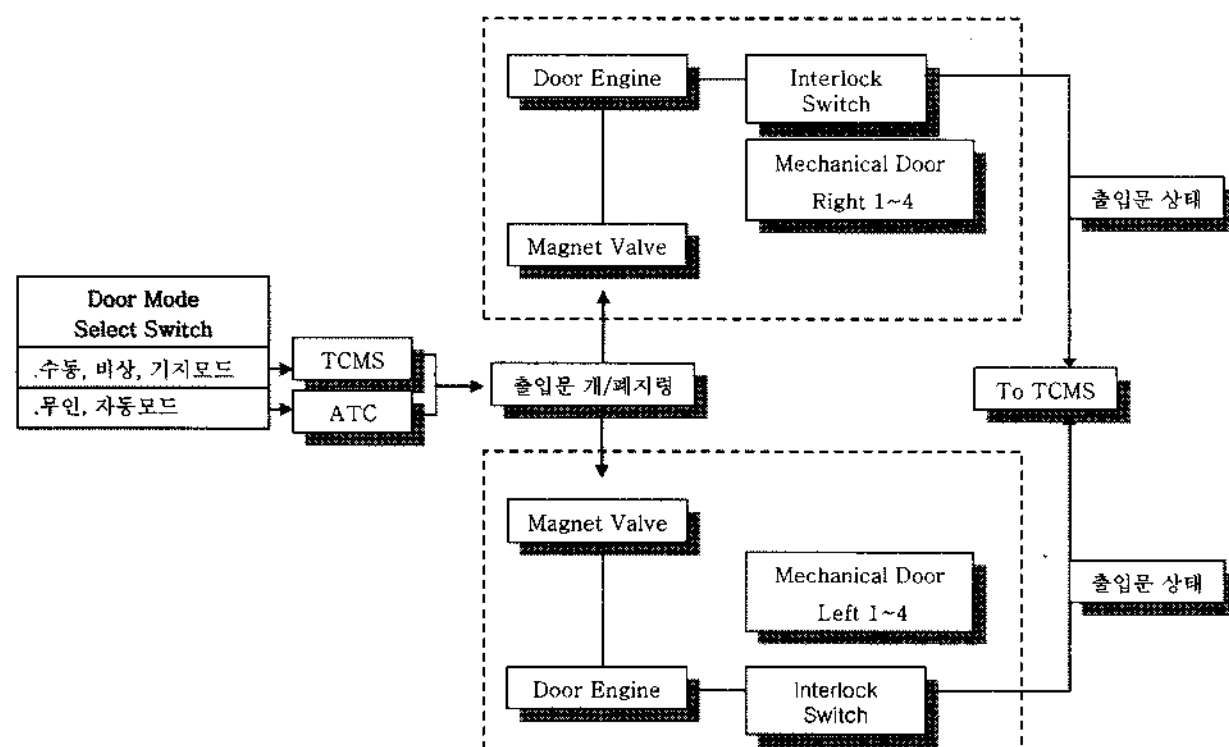


Fig. 3. Door and Door Control Block Diagram

“전자변”은 기관사가 출입문을 열고 닫고자 할 때 열림 또는 닫힘 스위치를 취급하면 전기가 공급 또는 차단 되면서 마그네틱 밸브를 열고 닫아 5kg/cm²의 공기를 도어엔진에 공급차단하는 역할을 한다.

“인터록스위치”는 출입문이 완전히 닫혔는지를 기계적으로 확인하여 전기적인 신호로 운전실의 도어램프를 점소등시키는 역할을 하며 도어시스템은 Fig. 4에 나타내었다.

SMRT의 정기적인 예방정비 활동은 Table 2와 같으며 도어시스템에 대해서도 같은 활동을 수행한다. 도어시스템의 3년 및 6년 검수는 거의 동일한 검수활동이 수행되고 있다.

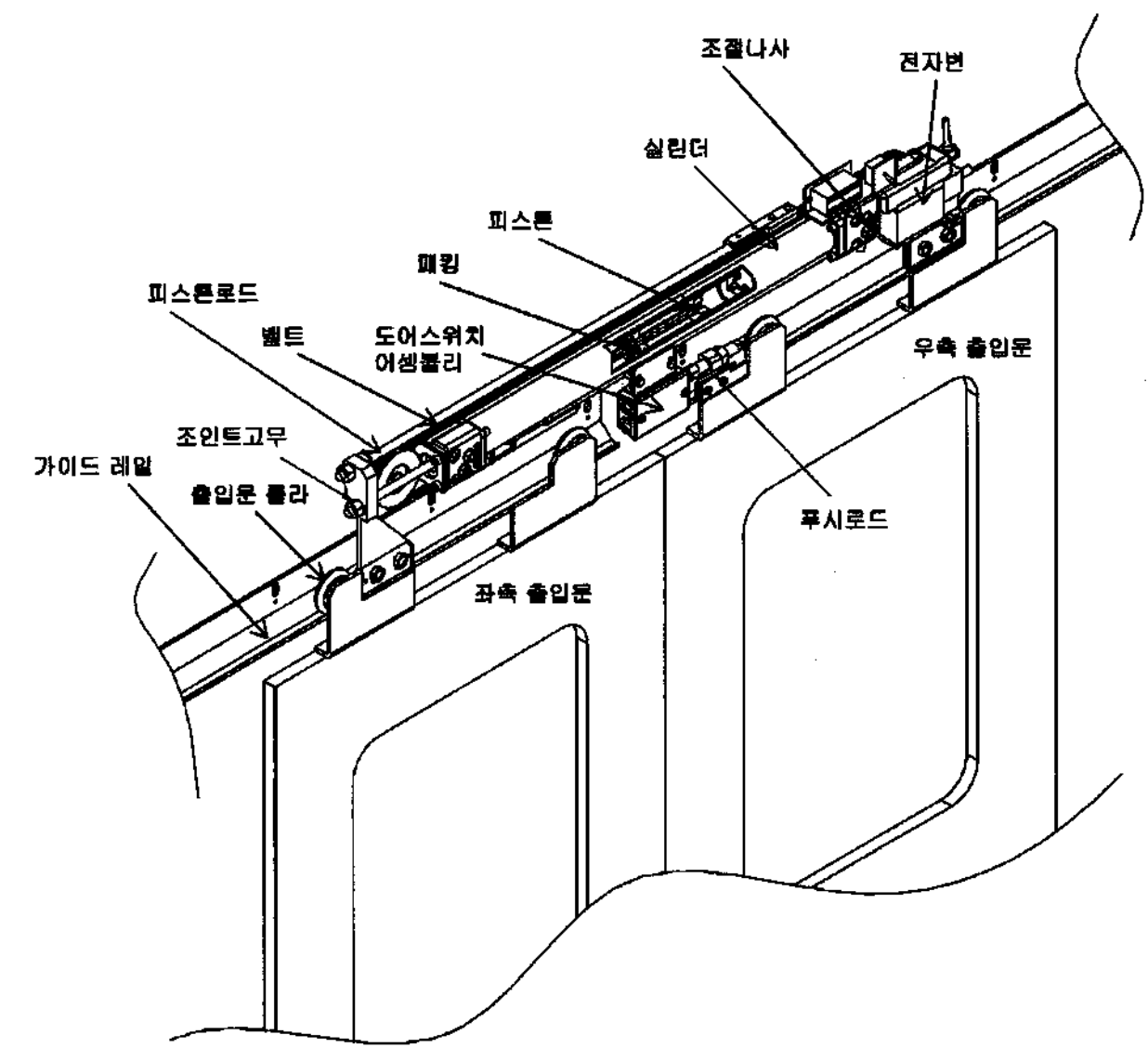


Fig. 4. Door system

2.2 분석의 방향

도어시스템은 Table 2와 같이 지속적인 유지보수 활동이 수행되고 고장 발생시에도 수리 후 계속 사용하는 수리 가능한 시스템이다. 수리 가능한 시스템의 신뢰성은 식 (1)의 고장 강도(Intensity)의 정의에 의해 설명할 수 있다.

$$\lambda(t|H_t) = \lim_{\delta \rightarrow 0^+} \delta^{-1} \Pr[N(t + \delta|H_t) - N(t|H_t) > 0] \quad (1)$$

H_t 는 t 연령까지의 고장과정을 나타내고 $N(t|H_t)$ 는 H_t 의 조건하에서의 t 연령까지의 고장 개수를 나타낸다.

따라서 도어시스템의 신뢰성 분석을 위해서는 각 수리 및 예방정비 시점에서의 식 (1)의 고장강도가 어떻게 변하는지를 정의하여야 한다. 본 연구에서는 도어시스템의 3일 및 3월 검수는 고장강도에 영향을 주지 않고 3년 및 6년 검수는 고장강도를 새것으로 회복(as good as new)시킨다고 가정한다.

그 이유는 도어시스템의 3일 및 3월 검수는 상태 및 기능의 점검과 주요부 조정 및 청소에 초점을 맞추고 있기 때문에 고장강도에 영향을 주는 검수 활동은 미미하기 때문이다.

Table 2. SMRT EMU Maintenance Task Classification

종류	주기	검수내용
정기검수	3일검수	72시간 이내 - 상태 및 기능
	3월검수	3개월(4만km) - 상태 및 기능 - 주요부 조정, 청소, 급유 - 마모부 교환
	3년검수	3년(40만km) - 주요부 분해검사, 수선 및 시험
	6년검수	6년(80만km) - 전반적인 분해검사 수선 및 시험

또한 3년 및 6년 검수는 도어시스템에 대해서는 가장 규모가 큰 예방정비 활동으로 전반적인 분해 검사를 수행하여 수선하기 때문이다. 3장에서 수행하는 오버홀 주기의 선정은 시스템의 상태를 새것으로 만들 수 있는 정도의 유지보수 활동에 대한 주기를 선정하는 것으로, 시스템의 지속적인 신뢰성 보장을 위해서는 완전 유지보수(Perfect Maintenance)활동이 필요하며, 이 도어시스템의 완전 유지보수 주기를 결정하는 측면에서 위의 가정은 적합하다.

2.3 고장데이터 수집

도어엔진, 전자변, 인터록스위치의 고장사례를 전동차정보 시스템에 축적된 5호선 자료를 조사하였다. 2000년 이래로 현재까지 수집된 데이터 중에서 지난 6년간 발생한 고장 중에서 승객들에게 직접적으로 불편을 초래한 본선 운행고장을 선택하였다. 그 결과 Table 3과 같이 30개의 완전데이터 형태를 얻었다. Table 3의 주행거리 및 고장시간은 편성별 중정비 수행 후 첫 번째 운행고장이 발생한 주행거리 및 시간이다.

2.4 신뢰도 분석

지수분포, 와이블분포, 대수정규분포, 대수로지스틱분포는 확률변수의 범위가 0보다 큰 실수값을 가지기 때문에 시간 및 주행거리에 대한 적합도 검증의 대상 분포로 선택하였다.

수집된 자료를 활용하여 발생시간(t)과 누적고장발생확률 F(t)자료에 대한 분석이 가능한 소프트웨어를 이용하여 X,Y 좌표에 (t, F(t))의 값을 지수분포, 와이블분포, 대수정규분포, 대수로지스틱 분포의 확률용지표를 사용하여 타점을 실시한 결과에 대해서 확률용지상에서 직선관계가 뚜렷하게 규명되면 고장분포가 해당 분포를 따른다고 결정할 수 있다.

통계분석 소프트웨어인 Minitab을 이용하여 적합도 검증을 수행하였다. Fig. 5는 시간(hour)에 대한 검증 결과이며

Table 3. Failure data of door

번호	주행(고장)거리(km)	고장시간(hour)	고장내용	조치내용
1	450,506	16,560	전자변 불량	교환
2	697,554	24,870	도어엔진 불량	교환
3	172,471	6,350	인터록스위치 불량	교환
4	573,073	21,320	인터록스위치 불량	교환
5	559,522	19,660	인터록스위치 불량	교환
6	139,927	4,740	도어엔진 불량	교환
7	423,176	16,880	도어엔진 불량	교환
8	542,915	17,940	도어엔진 불량	교환
9	496,174	17,590	인터록스위치 불량	교환
10	70,564	17,160	도어엔진 불량	교환
11	187,030	6,460	인터록스위치 불량	교정
12	215,185	6,770	인터록스위치 불량	교환
13	124,748	4,360	인터록스위치 불량	교환
14	559,541	18,600	인터록스위치 불량	교환
15	671,701	23,820	전자변 불량	교환
16	346,425	12,460	도어엔진 불량	교환
17	562,824	19,610	도어엔진 불량	교환
18	554,458	19,710	전자변 불량	교환
19	359,387	12,770	인터록스위치 불량	교환
20	318,089	13,470	도어엔진 불량	교환
21	461,940	16,040	도어엔진 불량	교환
22	437,440	14,570	전자변 불량	교환
23	458,981	16,690	도어엔진 불량	교환
24	291,694	9,750	인터록스위치 불량	교환
25	219,112	6,780	전자변 불량	교환
26	100,370	3,330	인터록스위치 불량	교환
27	164,028	5,180	전자변 불량	교환
28	275,809	10,400	인터록스위치 불량	교환
29	120,488	4,900	도어엔진 불량	교환
30	499,158	17,140	도어엔진 불량	교환

Fig. 6는 주행거리(km)에 대한 결과이다.

Fig. 5 및 6의 확률용지상의 타점의 선형 특성 및 Anderson-Darling 통계량을 비추어볼 때 와이블 분포가 고장시간 및 주행거리에 대한 분포로서 가장 적합한 것으로 판단된다.

식 (2), (3)은 와이블분포의 확률밀도함수 및 분포함수이다.

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta^\beta} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2)$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (3)$$

$$\beta, \eta > 0, t \geq 0$$

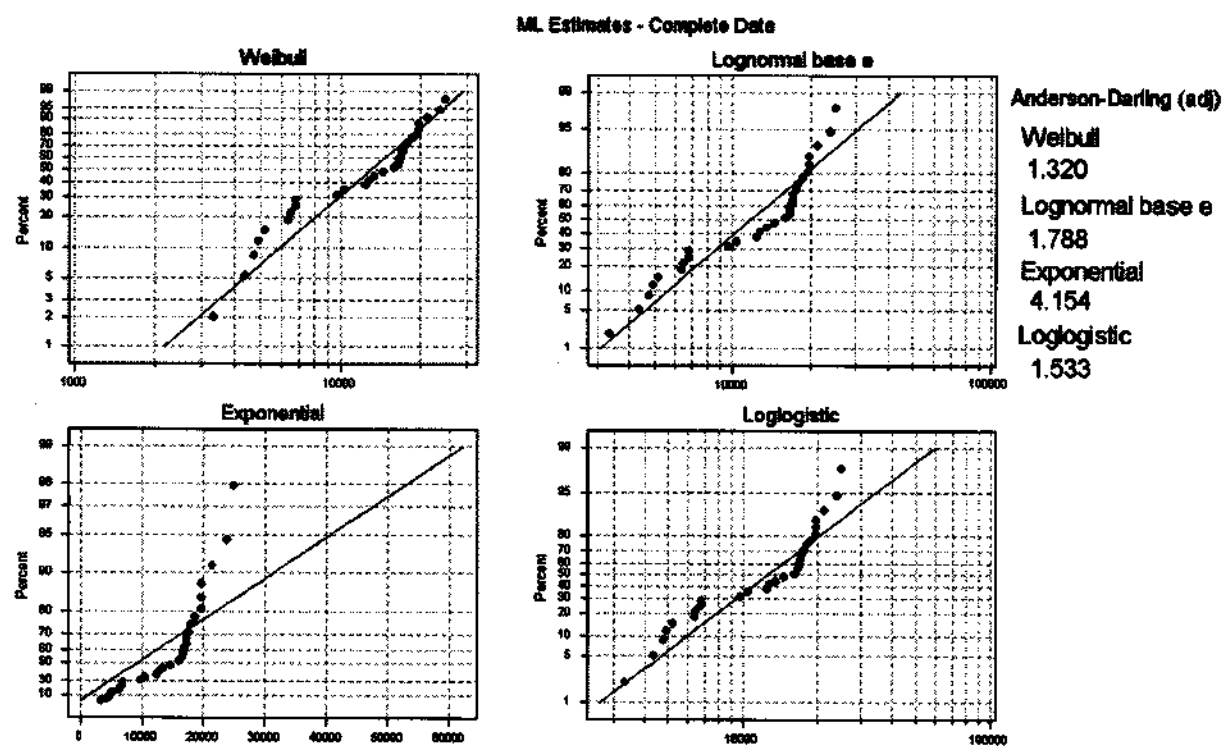


Fig. 5. Probability plot for time (hour)

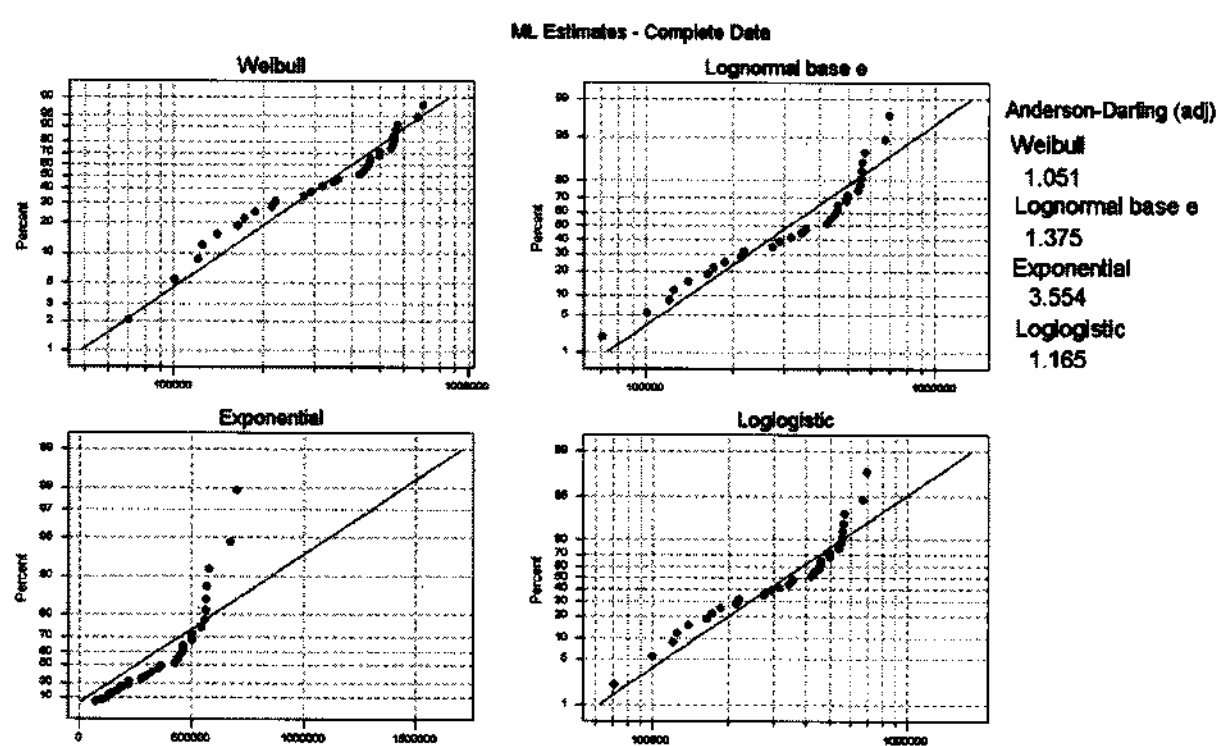


Fig. 6. Probability plot for distance (km)

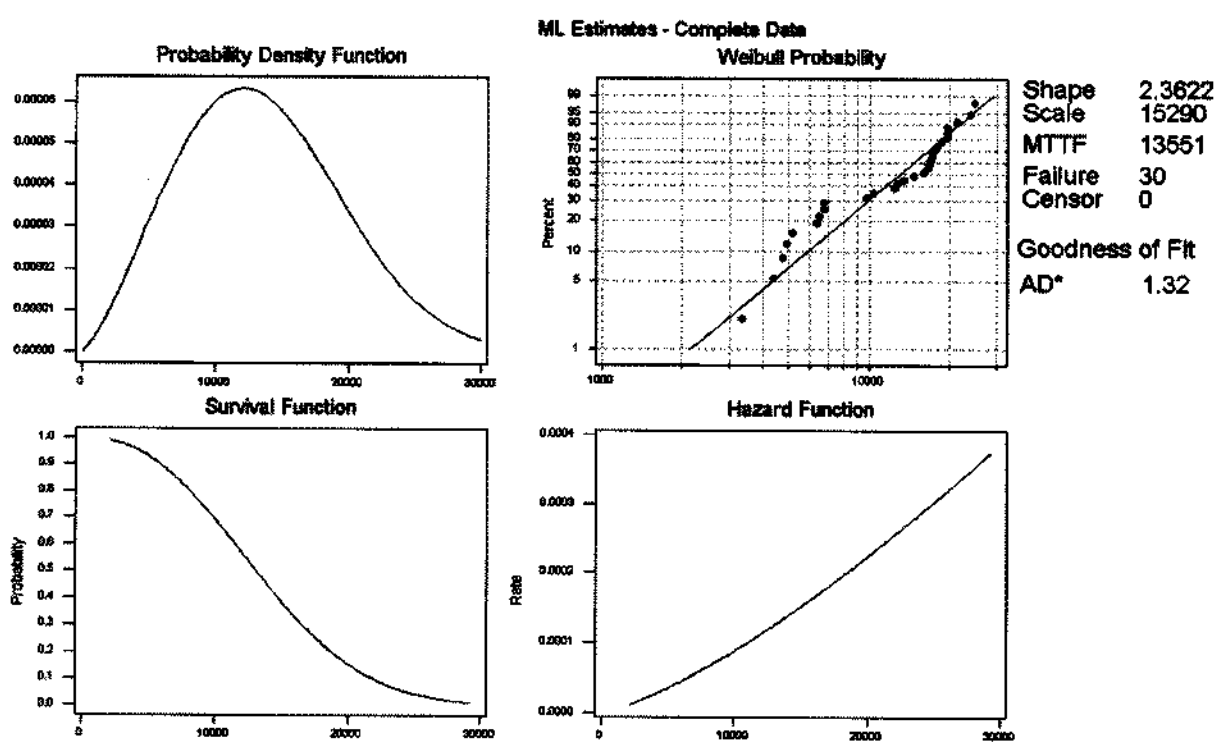


Fig. 7. Overview plot for time (hour)

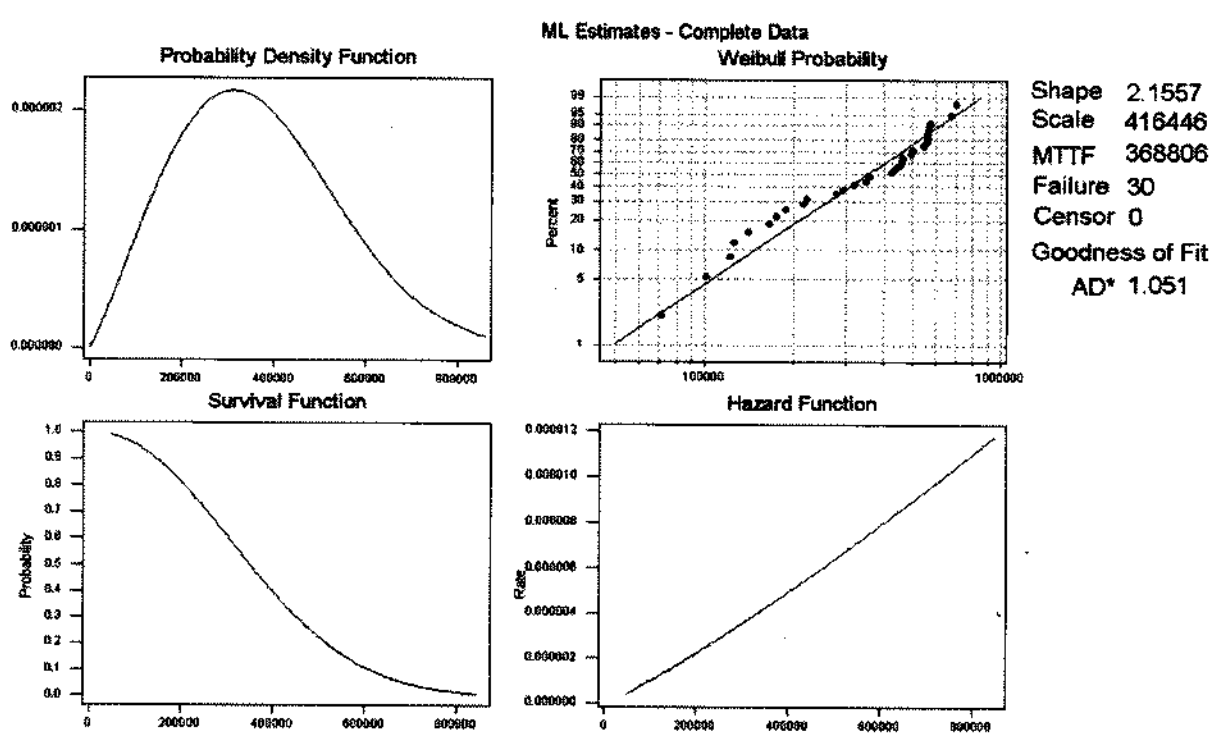


Fig. 8. Overview plot for distance (km)

본 연구에서는 최우추정법에 의해 와이블분포의 형상모수 (β) 및 척도모수(η)를 추정하였으며, 그 결과는 Table 4와 같으며 Fig. 7 및 8은 해당 분포의 특성을 나타낸다. 시간 및 주행거리에 대한 확률지 타점 및 Anderson-Darling 통계량을 볼 때에는 도어장치의 고장은 운행시간보다 주행 거리에 더욱 의존적이라는 사실을 알 수 있다.

Table 4. The estimation results for Weibull distribution

확률변수	형상모수	척도모수	MTTF	AD*
시간(hr)	2.3622	15,290	13,551	1.32
주행거리(km)	2.1557	416,446	368,606	1.051

AD* Anderson-Darling 통계량

3. 오버홀 주기의 선정

3.1 오버홀 주기 선정 문제의 개요

본 장에서는 도어엔진, 전자변, 인터록스위치에 대한 오버홀 주기를 결정한다. 각 장치의 오버홀은 도어시스템의 전체적 분해를 요구하기 때문에 별도의 주기로 수행하는 것은 현실적이지 않다. 따라서 각 장치의 오버홀 주기는 동일해야 하고, 이는 도어시스템의 오버홀 주기가 된다. 2.2 장에서 제시한 바와 같이 오버홀은 도어시스템의 상태를 신뢰성 측면에서 새 것과 같이 회복시킨다고 가정한다.

Fig. 7 및 8과 같이 도어시스템은 운영 시간 및 주행거리가 증가됨에 따라 고장률이 증가된다. 따라서 완전정비 효과를 가지는 오버홀은 운행고장 신뢰도가 증가하고 운행고장에 의해 발생하는 비용을 감소시키는 장점을 가지고 있다. 운행고장에 의해 발생하는 비용은 운행고장의 보수정비 비용과 운행고장에 따른 승객손실비용 두 가지로 구분할 수 있다. 반면에 오버홀은 오버홀의 수행에 소요되는 비용이 소요되어 예방정비비용이 증가하게 한다.

본 연구에서는 전동차가 정해진 내용수명동안 운행 할 때 발생 할 운행고장의 보수정비비용과 승객손실비용 및 오버홀 비용의 총 비용의 기대값이 최소가 되는 오버홀 주기를 결정한다. 오버홀 주기는 주행거리 및 시간, 두 가지 척도에 대해서 제시된다. 총 비용(오버홀비용 + 보수비용 + 승객손실비용)의 최소가 되는 오버홀 주기를 찾기 위해 몬테칼로(Monte Carlo) 시뮬레이션을 사용하였으며, 상용 시뮬레이션 도구인 Isograph사에서 개발한 Availability Workbench의 AvSim 모듈을 사용하였다.

3.2 시뮬레이션 입력 정보

시뮬레이션을 수행하기 위해 다음의 사항과 같은 정보를 입력하였다.

3.2.1 고장 분포 및 내용수명

도어장치의 고장 분포는 2장의 분석 결과인 Table 4를 사용하였다.

3.2.2 운행고장시 보수정비 시간, 비용, 효과

각 장치별 보수정비 시간 및 비용은 Table 5와 같다. 도어시스템의 평균 보수정비 시간과 비용을 산출하기 위해 각 장치별 고장횟수를 살펴보면 Table 3과 같이 도어엔진 : 12건 전자변 : 6건 인터록스위치 : 12건이다. 따라서 전체 고장회수 30회에 대한 각 장치의 고장횟수의 비율은 도어엔진 : 0.4 전자변 : 0.2, 인터록스위치 : 0.4 이다. 따라서 보수정비 시간 및 비용을 산출하면 다음과 같다.

- 보수정비 시간 : $0.4 \times 2\text{시간} + 0.2 \times 0.417\text{시간} + 0.4 \times 0.417\text{시간} = 1.05\text{시간}$
- 보수정비 비용 : $0.4 \times 755,000\text{원} + 0.2 \times 280,800\text{원} + 0.4 \times 41,800\text{원} = 374,880\text{원}$
- 보수정비 효과 : 도어시스템의 보수정비는 한 편성 8량의 전체(64개) 도어시스템중 중 고장난 도어시스템의 하부 장치에 대해서 이루어진다. 현재의 분석은 편성 단위로 이루어지기 때문에 보수정비에 의해 도어시스템의 고장률은 변화가 없다고 가정한다.

Table 5. Corrective maintenance cost

고장 구분	필요 인원	교환 시간	비용 (단위: 원)		
			인건비 (18,750/시간)	재료비	총합
도어엔진	2명	2시간	75,000	680,000	755,000
전자변	1명	25분	7,800	273,000	280,800
인터록스위치	1명	25분	7,800	34,000	41,800

3.2.3 오버홀(3년, 6년 검수) 비용, 시간 및 효과

오버홀에 대한 비용 및 시간은 도어시스템의 중정비 업무를 기준으로 선정하였다. 도어시스템의 중정비 소요시간은 Table 6과 같으며, 이에 의해 예방정비 비용을 산출하면 다음과 같다.

- 오버홀 비용 : 인건비 : 5,160,000원 + 재료비 : 2,090,000원 = 7,250,000원
- 오버홀 효과 : 2.2장의 가정에 따라 도어시스템의 상태를 새것으로 회복시키는 완전정비의 효과를 가진다고 가정한다.

3.2.4 운행고장에 따른 손실비용(승객손실비용)

보수정비비용 외에 운행고장에 의해 발생하는 비용을 산정하여야 한다. 본 연구에서는 운행지연에 따른 승객의 손

Table 6. Preventive maintenance time and cost

구분	계	비고
시간	504시간	9명×7일×8시간
비용	인건비	5,160,000원
	재료비	2,090,000원
		정기교환품 교환

실 비용을 오버홀 주기를 결정하기 위한 총비용 요소로 고려하였다. 1회 운행고장에 따른 승객 손실 비용은 아래와 같은 기본적 정보로부터 계산하였다(관련근거 : 지하철 이용고객 통행특성분석, 2007년 정기 교통량조사 결과).

- 출근시간대 기준 1편성당 승차인원(최대) : 2,198명
- 승차인원의 경제인구 비율(20~40대 기준) : 71.7%
- 승차인원의 경제인구 소득 수준(20~40대) : 200~350만원 - 평균 275만원/20일 8시간근무 기준 1시간당 비용 : 약17,000원

운행고장이 발생 할 경우 평균 5분의 지연이 발생한다고 가정하면 승객손실비용은 위의 기본정보로부터 다음과 같이 간단히 계산 될 수 있다.

- 5분지연시 : $(17,000\text{원} \times 5/60) \times (2,198\text{명} \times 0.71) = 221\text{만원}$

3.2.5 전동차량의 운용 프로파일 정보

시뮬레이션을 수행하기 위해 필요한 전동차량의 운용 프로파일은 아래와 같이 적용하였다.

- 내용수명: 25년(도시철도법 또는 철도안전법상 사용내구연한)
- 일일 운행시간: 10시간(1개편성 1일 평균 운행시간)
- 표정속도: 30km/hr(실제 운행 표정속도)

3.3 시뮬레이션 분석 결과

도어시스템의 오버홀 주기에 따른 전동차의 총 운행기간(사용내용연한 25년)동안의 오버홀 비용, 보수정비 비용, 승객손실 비용 및 이들 비용의 합인 총 비용은 Table 7 및 8과 같다.

Table 7 및 8에서 오버홀 주기가 길어짐에 따라 오버홀 비용은 같거나 적어지고 보수정비 비용 및 승객손실비용은 증가하는 것을 알 수 있다. 오버홀 주기가 길어지더라도 오버홀 비용이 같아지는 경우는 주어진 내용수명동안만 전동차량이 운행되기 때문에 그 기간 안에서는 오버홀의 횟수가 같기 때문이다. 오버홀 주기가 길어짐에 따라 평균 운행고장 횟수가 증가하게 되고, 이에 의해 보수정비 비용 및 승객손실 비용은 증가하게 된다.

Table 7 및 8에서 총 비용을 최소로 하는 오버홀 주기는 시간 단위로는 5년, 주행거리 단위로는 700,000km이다. Table 7과 8은 오버홀 주기를 시간 단위로는 1년, 주행거

리 단위로는 100,000km씩 증가시키면서 분석한 결과이다. 만약 분석하고자 하는 오버홀 주기 단위를 현재의 1년, 100,000km보다 작게 한다면 총 비용이 더욱 낮은 오버홀 주기를 얻을 수도 있다. 이때에는 총비용을 가장 작게 하는 오버홀 주기를 찾기 위해 최적화 기법이 사용될 수 있지만 본 연구에서는 다루지 않는다.

실제 현장에서는 도어시스템의 오버홀은 전동차 전체 유

Table 7. Simulation results for time

(비용단위: 천원)

오버홀 주기	오버홀 비용	보수정비 비용	승객손실 비용	총비용
1년	174,000	281	1,658	175,939
2년	87,000	735	4,332	92,067
3년	58,000	1,346	7,934	67,280
4년	43,500	2,122	12,510	58,132
5년	29,000	2,684	15,820	47,504
6년	29,000	3,588	21,150	53,738
7년	21,750	3,940	23,230	48,920
8년	21,750	4,933	29,080	55,763
9년	14,500	5,664	33,390	53,554
10년	14,500	6,238	36,770	57,508
11년	14,500	7,434	43,820	65,754
12년	14,500	8,828	52,050	75,378
13년	7,250	9,829	57,950	75,029
오버홀 없음	0	25,004	147,400	172,404

Table 8. Simulation results for distance

(비용단위: 천원)

오버홀주기 (km)	오버홀 비용	보수정비 비용	승객손실 비용	총비용
100,000	188,500	457	2,696	191,653
200,000	94,250	945	5,569	100,764
300,000	65,250	1,679	9,902	76,831
400,000	43,500	2,231	13,150	58,881
500,000	36,250	2,733	16,110	55,093
600,000	29,000	3,501	20,640	53,141
700,000	21,750	4,270	25,170	51,190
800,000	21,750	4,757	28,040	54,547
900,000	21,750	5,769	34,010	61,529
1,000,000	14,500	6,141	36,200	56,841
1,100,000	14,500	6,755	39,820	61,075
1,200,000	14,500	7,434	43,820	65,754
1,300,000	14,500	8,813	51,960	75,273
1,400,000	7,250	9,451	55,710	72,411
오버홀 없음	0	21,844	128,800	150,644

지보수 주기 및 보유 자원을 고려하여 그 주기가 결정되어야 하기 때문에 고려되는 오버홀 주기 단위는 1년, 100,000 km에 비해 크게 작아지지는 않으며, 이와 같은 경우에는 복잡한 최적화 기법은 필요치 않다.

4. 맺음말

본 연구에서는 SMRT 전동차량의 도어시스템의 주요 아 이템에 대해 신뢰성을 시간 및 주행거리 기준으로 평가하고 오버홀 주기를 결정하는 문제를 다루었다.

그 결과 출입문 주요 장치(전자변, 인터록스위치, 도어엔진)의 고장데이터는 와이블분포가 적합한 것으로 판단되며 주행거리 기준이 도어시스템의 고장 현상을 더욱 잘 설명하는 것으로 나타났다. 도어시스템의 오버홀 주기는 전동차가 정해진 사용내구연한 동안 운행 할 때 발생 할 서비스 고장(도중입고고장)의 보수정비비용과 승객손실비용 및 오버홀 비용을 합한 총 비용의 기대값이 최소가 되는 값을 선정하였다.

오버홀 주기에 따른 각 비용은 몬테칼로 시뮬레이션에 의해 산출하였으며, 이를 위하여 상용 시뮬레이션 도구인 Availability Workbench의 AvSim을 이용하였다. 그 결과 도어시스템의 오버홀주기는 700,000km(5년)가 총비용을 가장 작게 하는 것으로 나타났다.

그러나 이 결과는 도어시스템의 주요 장치 고장만을 대상으로 하였고, 서비스고장만을 분석하였으며, 3년 및 6년 유지보수의 효과는 완전정비(Perfect Maintenance)의 효과가 있는 것으로 가정한 조건이다.

따라서, 본 연구를 통하여 효율적인 유지보수주기를 찾는 기법을 확인하였고, 동일한 방법으로 운영자가 다른 장치에 유용하게 확대적용 할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Nowlan, F.S. and Heap, H.F. (1978), "Reliability centered maintenance", DoD.
2. MIL-STD-2173 (1986), "Handbook for reliability-centered maintenance requirements for naval aircraft, weapons systems and support equipment".
3. OPNAVINST 4790.16, "Condition based maintenance (CBM) policy".
4. Maintainability Technique No. PM-4 (1994), "Preventative maintenance strategies using reliability centered maintenance (RCM)", NASA Lesson Learned No. 0891, NASA Engineering Network, December 1.
5. Moubray, J. (1997), "RCM", Industrial Press Inc.
6. NAVAIR Instruction 4790.20A AIR-3.2 (1999), "RCM program".

7. IEC 60300-3-11 (1999), "Application guide-reliability centered maintenance".
8. SAE JA1011 (1999), "Evaluation criteria for reliability-centered maintenance process".
9. SAE JA1012 (2002), "A guide to the reliability-centered maintenance standard".
10. NAVAIR 00-25-403 (2001), "Guidelines for the naval aviation reliability-centered maintenance process".
11. TM-5-698-2 (2003), "Reliability-centered maintenance for command, control, communications, computer, intelligence, surveillance, and reconnaissance facilities".
12. 김종운, 박준서, 이호용, 김재훈 (2008) "철도시스템의 RAMS 중심의 유지보수 정책 결정을 위한 개념적 절차", 한국철도학회 논문집, 제11권, 제1호, pp.19-25.
13. 이호용, 한석윤, 박기준, 배철호, 서명원 (2004), "도시철도 유지보수 예방정비체계 구축 방법론에 관한 연구", 한국철도학회 논문집, 제7권, 제3호, pp.245-250.
14. 임병옥, 윤덕균 (2005), "고속철도차량(KTX) RCM 적용에 관한 연구", 한국철도학회논문집, 제8권, 제5호, pp.470-476.
15. 손영진, 이강원 (2007), "전동차 유지보수 정보화체계 관리시스템 실증적 운영결과 분석", 한국철도학회논문집, 제10권, 제3호, pp.284-289.

접수일(2008년 3월 17일), 수정일(2008년 6월 19일), 게재확정일(2008년 6월 19일)