

불완전 유지보수 모형을 통한 전동차 도어장치 예방 유지보수 주기 산정에 관한 연구

A study on determining imperfect preventive maintenance intervals for the doors in Metro EMU

이덕규*
LEE, Duk Gyu

김중운**
KIM, Jong Woon

이희성***
LEE, Hi Sung

ABSTRACT

An important problem in reliability analysis for repairable systems is to model the maintenance effect. The most of researches have assumed two extreme cases; one is perfect maintenance and the other is minimal maintenance. However, there are many cases in real situations that the maintenance effect are between both of two extreme cases. This article deals with the problem determining the imperfect preventive maintenance intervals for the doors in Metro EMU

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라 지하철은 1974. 8. 15 서울시 1호선이 개통된 이래 6개도시에서 건설 운행되고 있다. 지하철에서 운행하는 전동차량 조성은 1편성당 4~10량으로하여 운영목적과 노선 환경에 따라 다르다. 지하철에서 전동차량은 이용고객과 최접점에서 맞닿는 시스템으로서 최우선적으로 안전이 확보되어야 한다. 전동차량의 안전은 지속적이고 체계화된 유지보수를 통하여 확보 할 수 있으며, 유지보수체계는 지하철 운영기관들이 자체적으로 설정하여 운영하고 있다.

유지보수는 주로 경정비와 중정비로 구분시행하며 경정비는 일상, 월간검수로 중정비는 연간검수(현재는 3년, 6년)로 나누어 시행한다. 각 운영기관별 검수주기 기준은 표1과 같다 전동차량은 컴퓨터, 전기·전자 기계 등이 복잡하게 구성된 시스템으로 현재의 기간 기준 정기검수 방식으로 유지보수 할 경우 유지보수영향을 받지 않는 장치가 많다는 것이다. 이것은 완전한 유지보수가 이루어지지 않고 있다는 것을 반증하는 것이다. 그림1과 같이 1,2,3세대를 거치면서 변화된 고장발생 유형은 그림 2와 같이 제1,2 세대의 유지보수 방법으로는 유지보수효과를 얻기 힘들고 오히려 현재의 시스템에는 역효과가 발생하여 다양한 유지보수의 필요성이 부각되게 되었다.

시스템의 유지보수정책 중 가장 이상적인 상태는 ‘고장이 발생하지 않아 유지보수가 필요 없는 상태’이다. 하지만 이것은 항상 가능한 것은 아니므로 많은 고장유형들을 미리 감지하고 예방하는 유지보수 (PM, Preventive maintenance)로 대처하여야 한다.

일반적으로 수명과 관련된 고장패턴은 직접적인 마모환경에서 발견되는 유형으로 피로(fatigue), 부식(corrosion), 산화(oxidation), 탈수(evaporation) 등과도 관련되어 있다.

* 서울도시철도공사, 팀장, 한국철도학회정회원, 서울산업대학교철도전문대학원 박사과정

E-mail : ldg0115@hanmail.net

TEL : 02) 6311-2341 FAX : 02) 6311-2150

** 한국철도기술연구원

*** 서울산업대학교 철도전문대학원

이러한 특정 환경에서 고장유형의 발생을 줄이기 위한 방법으로 새것과 똑같은 기능을 발휘하기 위한 완전유지보수(Perfect Maintenance), 고장발생시마다 고장부품만을 교체하는 최소유지보수(Minimal Maintenance), 수십가지의 부품중 고장을 최소화하기 위한 최소한의 부품만을 교체하는 불완전유지보수(Imperfect Maintenance)로 구분한다.

현재 각 운영기관에서 적용하고 있는 중정비는 운행중 발생하는 고장을 토대로 판단해 볼 때 결함을 완전히 해결 할 수 있는 완전유지보수(Perfect Maintenance)의 효과를 가지고 있지 못한 것으로 판단된다. 이는 중정비가 불안정한유지보수 형태로 이루어지고 있다는 것을 반증하는 것이다.

따라서, 본 논문에서는 서울시철도에서 운행하고 있는 전동차량이 한개 구간에서 개통초기부터 2007년도 말까지 전체 전동차량을 대상으로 중정비(3년, 6년검수) 시점을 기준으로 1,2,3구간(1구간:개통부터 3년검수까지, 2구간:3년검수부터 6년검수까지, 3구간:6년검수부터 2007년말까지)으로 구분하여 각 구간에서 발생한 도어장치 결함을 유지보수자의 입장에서 조치한 것과 운행중에 고장으로 기록된 데이터를 모두 포함하여 도어장치의 신뢰성 함수와 예방유지보수 효과를 추정하고, 현재 시행하는 중정비(현재의 3년, 6년검수)가 불완전유지보수(Imperfect Maintenance)로 이루어지고 있다는 것을 보여주고, 이러한 사례를 바탕으로 향후 전동차량을 경제적으로 유지보수하는 정책에 반영 할 수 있는 토대를 마련하고자 한다.

도표 1 지하철 운영기관별 유지보수주기 비교

기관명	경정비		중정비	
	일상검수	월간검수	년간검수	
서울도시철도공사	3	3	3	6
서울메트로	3	2	2	4
부산교통공사	2	2	2	4
	3	3	3	6
대구지하철	3	3	3	6
인천지하철	7	3	3	6
광주지하철	3	3	3	6
한국철도공사	2	1,3,6	1.5	3
	3	3	3	6

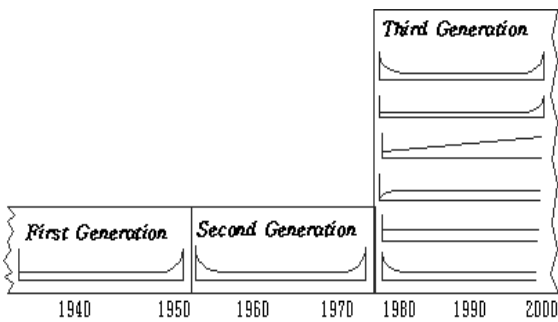


그림 1. 시스템 고장에 대한 관점의 변화

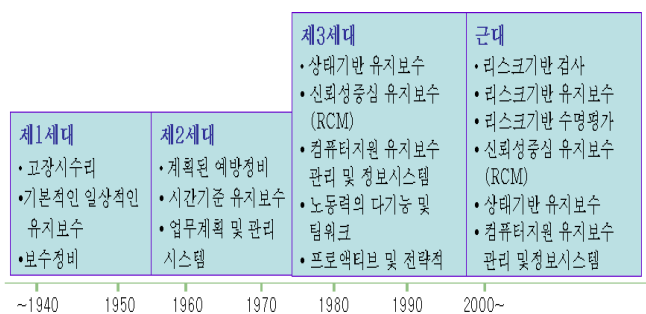


그림 2. 유지보수기술의 변화(Arunraj & Maiti, 2007)

1.2 불완전유지보수 모형

수리 가능한 시스템의 신뢰성 분석에 중요한 문제 중의 하나는 유지보수의 효과를 모델링하는 것이다. 현재까지 많은 연구들은 유지보수 후 시스템의 상태가 새것과 같이 된다(as good as new: GAN)는 완전유지보수 또는 유지보수 바로 직전의 상태로 된다(as bad as old: BAO)는 최소유지보수 모형을 사용하였다. 그러나 몇 연구는 유지보수가 시스템을 GAN과 BAO의 사이의 한 상태로 복구시킨다는 불완전유지보수 모형을 사용하였다. 이와 같은 불완전유지보수는 Kijima(1989)가 제안한 두 가지 실질 상태 나이(Virtual Age) 모형으로 설명될 수 있다.

Kijima 모형 1

A_k 는 $[0,1]$ 사이의 일항분포를 따르는 독립인 확률변수라고 하자. 모든 k 에 대하여 A_k 는 T_k 와 독립이라 가정한다. 이 때 $V(T_n)=V(T_{n-1})+A_nX_n$, $X_n=T_n-T_{n-1}$, $T_0=0$, $A_0=0$ 이다. $T_n \leq t < T_{n+1}$ 에서의 고장강도함수는 다음과 같다.

$$\lambda_{n+1}(t)=\lambda(t-T_n+A_nX_n+\dots+A_1X_1) \quad (1)$$

만약 A_k 가 일정하다면 Malik(1979)이 제안한 모형과 같다.

Kijima 모형 2

Kijima의 두 번째 모형은 $V(T_n)=A_n[V(T_{n-1})+X_n]$ 이라 가정한다. 이 때 $T_n \leq t < T_{n+1}$ 에서의 고장강도함수는 다음과 같다.

$$\lambda_{n+1}(t)=\lambda(t-T_n+A_nX_n+A_nA_{n-1}X_{n-1}+\dots+A_nA_{n-1}\dots A_1X_1) \quad (2)$$

만약 A_k 가 일정하다면 Brown, Mahoney & Sivazlian(1983)이 제안한 모형과 같다.

위의 Kijima 모형 1 중 A_k 가 ρ 로 일정한 모델인 Malik의 모형은 다음과 같다. T_1 을 시스템이 첫 번째 유지보수되는 시점이라 하자. T_1 시점에서 시스템은 수명감소인자 ρ 에 비례하여 유지보수 된다. 수명감소인자 ρ 는 0과 1사이이며, 0은 최소유지보수 1은 완전유지보수에 해당한다. 아이템의 나이(Age)는 $(1-\rho)T_1$ 으로 감소하며 이것을 T_1 에서의 실질 상태 나이(Virtual Age)라고 하고 V_1 으로 표시한다. 다음 유지보수까지의 고장강도는 $\lambda_2(t)=\lambda(t-T_1+V_1)$ 을 따른다. T_n 을 시스템이 n 번째 유지보수되는 시점이라 하자. 이때 n 번째 유지보수 이후부터 $n+1$ 번째 유지보수까지의 고장강도는 다음과 같다.

$$\lambda_{n+1}(t)=\lambda(t-T_n+V_n) \quad T_n \leq t < T_{n+1}, n \geq 0 \quad (3)$$

$$V_n=(1-\rho)(V_{n-1}+T_n-T_{n-1}), V_0=0, T_0=0 \quad (4)$$

2. 도어장치의 고장 사례

2.1 도어장치 구성 요소 및 BOM

전동차량 도어장치는 크게 5개 장치로 소분류하였다. 각각의 기능에 차이가 있으나 운전자 입장에서 볼때 객실 출입문이 열리고 닫히는 것은 도어엔진, 출입문, 전자변, 도어스위치, 푸시로드 5개장치가 유기적인 동작으로 완성되는 것이다.

도어엔진은 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 제어공기에 의하여 동작되는 것으로 도어엔진 피스톤 및 로드엔 출입문을 메달아 출입문이 열리고 닫히게 하는 기능을 수행한다

전자변은 기관사에 의하여 또는 자동프로그램의 개폐신호에 따라 DC100V전원 밸브를 동작시켜 도어엔진에 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 제어공기를 공급 또는 배출하는 기능을 수행한다.

도어스witch는 on접점과 off접점으로 이루어져 있으며 출입문이 열리면 스프링의 힘에 의하여 off접점이 붙어 출입문이 열렸다는 차측등을 점등시키고, 출입문이 닫히면 on접점이 붙어 운전실에 설치된 도어램프를 점등하여 기관사에게 출입문이 닫혔다는 전기적인 신호를 전달하는 기능을 수행하며

푸시로드는 출입문이 열리고 닫힘에 따라 도어스witch를 on/off 되도록 동작하는 기능을 갖고 있다.

그림3은 도어장치 구성를 나타내고, 그림4는 도어장치의 5개 소분류 BOM을 나타낸 것이다.

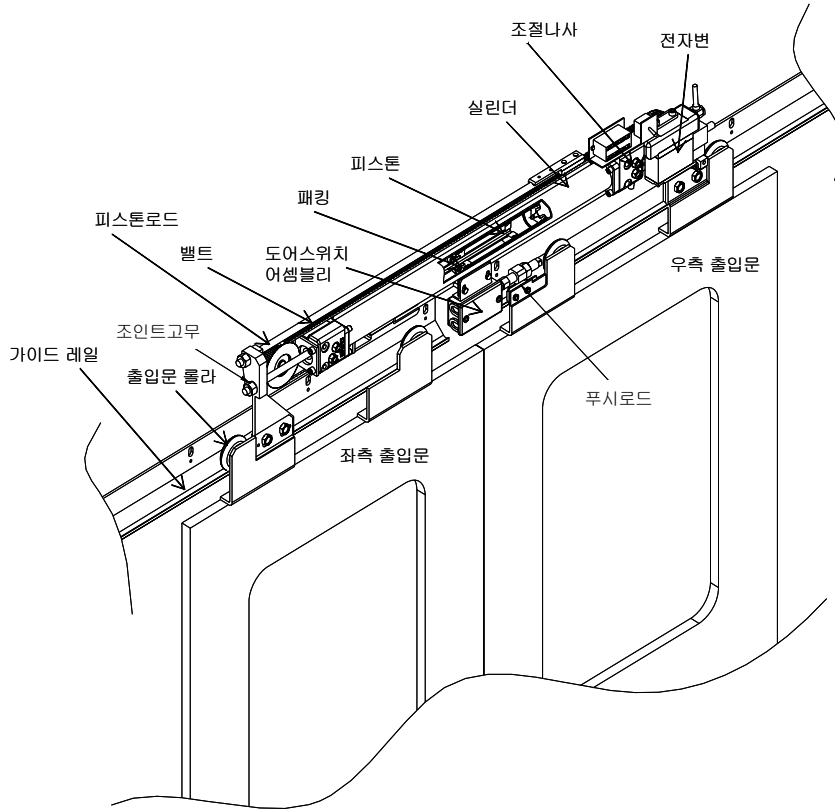


그림 3. 도어장치 구성

도어엔진	- 메인 헤드 실린더 - 실린더 - 피스톤 - 피스톤로드 - 로드오픈	- 조절나사 - 벨트 - 벨트플리 - 롤러 - 스페셜와셔	- C형스페셜와셔 - 조인트고무 - 스페이스파이프 - 벨트브라켓 - 인터록스위치브라켓	- 렉스너트 - 볼나사체크어셈블리 - 벨트가이드 - 메인브라켓어셈블리 - 가이드벨트 스톱퍼
출입문	- 내,외장 판넬 - 프레임 - 고정유리 - 그레이징러버	- 패킹 - 스톱러버 - 라이너	- 방풍물딩 - 방풍고무 - 도어쿠션	- 가이드레일 - 도어유리 - 도어롤러어셈블리
전자변	- 마그네터 - 서브플레이트 - 펠터	- O-링 - 고정벨브 - 소음기	- 가스켓	
도어스위치	- 인터록스위치박스 - 박스커버 - 리미트스위치	- 가이드케이블 - 톨클스위치 - 리셉터클러क्टर	- 커넥터플러그 - 터미널플러그 - 기타부속품	
푸시로드	- 스페셜볼트 - 스프링 - 샤프트	- 시트 - 나사 - 로크너트	- 스프링핀 - 기타부속품	

그림 4. 도어장치 BOM

2.2 도어장치 결함 분석

표2는 3년검수 및 6년검수를 시점으로 1,2,3구간으로 구분하였고, 각 구간에서 시행된 예방정비조치 및 운행중 발생한 고장을 모두 조사내용에 포함 하였다. 결함내용 중 각 구간별 결함 건수가 현저한 차이를 보이는 도어엔진 조인트고무, 도어엔진 패킹, 도어엔진 벨트, 푸시로드 어셈블리, 전자변에 대하여 원인과 조치내용을 확인하였다.

도표 2 도어장치 결함 사례 조사

결함내용	조치회수		
	구간1	구간2	구간3
도어엔진-어셈블리	85	175	66
도어엔진-피스톤로드	6	16	6
도어엔진-조인트고무	106	20	2
도어엔진-조절나사	24	42	4
도어엔진-패킹	125	50	5
도어엔진-벨트	240	735	170
출입문-가이드 레일	17	67	16
전자변-어셈블리	148	1,613	258
도어스위치-어셈블리	32	31	9
도어스위치-리미트스위치	20	14	5
도어스위치-인터록스위치박스	11	14	2
도어스위치-토글스위치	17	40	23
푸시로드-어셈블리	263	1,315	342
기타	36	81	14
총결함조치수	1,130	4,213	922
단위거리당 결함조치수	1.03	2.87	2.22

1) 도어엔진 조인트고무 결함은 제1구간에서 많이 발생하였다가 제2,3구간에서 감소한 것으로 확인되었다. 조인트고무는 도어엔진의 피스톤로드에 출입문을 메다는 부분에 완충용으로 사용하는 고무로써 스페이서파이프내에서 헥스너트로 고정된다. 조인트고무에 결함이 발생하면 출입문과 도어엔진 피스톤로드가 견고하게 결합되지 않아 출입문 작동이 원활하지 않다. 이것은 개통 초기에 발생한 현상으로서 조인트고무의 경도가 낮고 치수가 작게 제작된 문제가 확인 되어 조치된 것이다.

2) 도어엔진 패킹은 실린더와 피스톤 사이에서 작동공기 및 구리스의 기밀을 유지하기 위하여 사용하는 것으로 결함이 발생하면 작용공기가 누기되는 현상이 발생한다. 도어엔진 패킹 결함은 고무(패킹)와 금속(피스톤)간의 습동부에 사용된 구리스가 고무와 플라스틱 성분의 습동부에 사용하는 구리스로 잘못 선택된 것이며 확인된 즉시 구리스와 패킹을 모두 교체 하였다.

3) 도어엔진벨트는 도어엔진 패킹등의 결함에 의하여 구리스가 누기되어 도어엔진벨트가 오염되어 3일검수 또는 3월검수 과정에서 청소를 실시한 것으로 확인하였다.

4) 푸시로드어셈블리는 출입문이 열리고 닫힐 때 도어스위치를 작동시키는 역할을 한다. 출입문이 닫힐때 출입문에 의해서 압축되었던 샤프트가 출입문이 열리면 압축이 풀리면서 스프링에 의해 원상복귀되어 다음 동작에 대비하여야 하나 샤프트외경과 스페셜볼트 내경간의 치수공차가 일률적이지 않고 매끈하게 가공되지 않아 이물질이 유입되거나 윤활작용이 원활치 않을 경우 스프링 복원력보다 마찰력이 커지는 현상으로 샤프트가 작동하지 않는 것이다. 3일검수 또는 3월검수시에 정밀하게 가공된 제품으로 교환하였다.

5) 전자변은 오링(O-Ring)과 가스켓의 결함(마모, 탄성 등)으로 인해 공기가 누기되는 현상이다. 특히 기온이 낮아지는 9월부터 다음해 5월까지 많이 발생하는 것으로 확인 하였다. 이것은 3년검수시에 오링과 가스켓을 교체하지 않아 발생한 것이다. 고무, 가스켓류는 중정비시에 신제품으로 모두 교환하는 것이 필요하고, 낮은 온도에서도 고무의 특성이 변하지 않는 양질의 제품을 사용해야 한다.

3. 고장 및 유지보수 모형

3.1 모형 및 가정

수리 가능한 시스템의 신뢰성은 식 (5)의 고장 강도(Intensity)의 정의에 의해 설명되어 진다.

$$\lambda(t|H_t) = \lim_{\delta \rightarrow 0^+} \delta^{-1} \Pr [N(t+\delta|H_t) - N(t|H_t) > 0] \quad (5)$$

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

수리 가능한 시스템의 고장강도 함수로 가장 일반적으로 사용되는 것이 아래의 Power-law 및 Log-linear 고장강도 함수이다.

•Power-law 고장강도 함수

$$\lambda(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta^\beta}, \beta, \eta > 0, t \geq 0 \quad (6)$$

•Log-linear 고장강도 함수

$$\lambda(t) = \beta \exp\left(\frac{t}{\eta}\right), \beta, \eta > 0, t \geq 0 \quad (7)$$

Log-linear 고장강도 함수는 고장강도가 매우 빨리 증가하는 상황을 나타내는 반면에 Power-law 고장강도 함수는 고장강도가 매우 빨리 증가하는 경우를 제외한 넓은 범위의 고장 프로세스에 적용 될 수 있다.[Shin, Lim & Lie, 1996] 도어장치는 단품이 아니기 때문에 특정 시점 이후로 고장강도가 급격히 증가하지는 않는다. 따라서 본 연구에서는 도어장치의 고장강도는 Power-law 함수를 따른다고 가정한다. 도어장치의 신뢰성 분석을 위해서는 각 수리 및 예방유지보수 시점에서의 식(1)의 고장강도가 어떻게 변하는지를 정의하여야 한다. 본 연구에서는 도어장치의 보수유지보수 및 3일, 3월 검수는 고장강도에 영향을 주지 않고 3년 및 6년 중정비는 불완전유지보수의 효과를 가진다고 가정한다.

그 이유는 도어장치의 3일 및 3월검수는 상태 및 기능의 점검과 주요부 조정 및 청소에 초점을 맞추고 있기 때문에 고장강도에 영향을 주는 검수 활동은 미미하기 때문이다. 또한 보수유지보수는 전체 도어장치 중 고장 난 일부 구성품만 수리되기 때문에 보수유지보수의 효과는 최소유지보수의 효과를 가진다고 가정한다. 표 3의 각 구간당 단위거리당 결함조치개수를 보면 구간 1보다 구간 2에서 증가하고 구간 3에서는 운행거리가 짧은 부분에서는 다시 감소하는 현상으로 보아 3년 및 6년검수의 효과는 최소 유지보수와 완전 유지보수의 사이인 것으로 판단된다.

본 연구에서는 도어장치의 중정비효과를 모형화하기 위해 Kijima(1989) 모형 1에서 유지보수가 일정한 Malik(1979)이 제안한 모형을 사용한다.

3.2 모수 추정

Power-law 함수의 모수 β , η 와 수명감소인자 ρ 를 최우추정법에 의해 추정한다. 관측된 고장 및 유지보수 데이터의 기호는 다음과 같다.

기 호

n : 관측 아이템의 개수

m_i : i 번째 아이텍의 예방유지보수 횟수

r_{ij} : i 번째 아이텍의 j 번째 구간에서의 고장 횟수

t_{ijk} : i 번째 아이텍의 j 번째 구간의 k 번째 고장 시점에서의 운영시간 (또는 거리)

τ_{ij} : i 번째 아이텍의 j 번째 예방유지보수 시점에서의 운영시간 (또는 거리)

t_i^* : i 번째 아이텍의 관측 시점에서의 운영시간 (또는 거리)

Shin, Lim & Lie(1996)는 Malik 모형의 모수를 추정하기 위한 방법을 제안하였다. Shin, Lim & Lie(1996)에서 제시된 로그우도함수와 동일한 결과를 나타내는 우도함수와 로그우도함수는 각각 다음과 같다.

$$L(\eta, \beta, \rho) = \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^{m_i+1} \prod_{k=1}^{r_{ij}} \frac{\beta}{\eta} (t_{ijk} - \rho\tau_{i(j-1)})^{\beta-1} \times \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^{m_i+1} \exp[A_{ij}] \quad (8)$$

$$\ln L(\eta, \beta, \rho) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i+1} \sum_{k=1}^{r_{ij}} [\ln \beta - \beta \ln \eta + (\beta - 1) \times \ln(t_{ijk} - \rho\tau_{i(j-1)})] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i+1} A_{ij} \quad (9)$$

$$A_{ij} = \left(\frac{\tau_{i(j-1)} - \rho\tau_{i(j-1)}}{\eta} \right)^\beta - \left(\frac{\tau_{ij} - \rho\tau_{i(j-1)}}{\eta} \right)^\beta$$

$$\tau_{i0} = 0, \quad \tau_{i(m_i+1)} = t_i^*$$

본 연구에서는 위의 우도함수 또는 로그우도함수를 최대화 하는 모수값들을 구하기 위해 각 모수의 영역을 이산화하여 전체 가능 영역의 조합에 대해 로그우도함수를 계산하였다.

4장의 유지보수주기 분석에서 사용 할 고장 및 유지보수 모형을 선정하기 위해 표 2의 결함내용 중 일 부편성의 데이터를 선택하였다. 또한 운영기관의 정보보호를 위해 선택된 데이터를 임의로 변경하여 모 수를 추정하였다. 이와 같은 방법에 의해 모수 β , η 와 수명감소인자 ρ 를 추정한 결과는 다음과 같다.

도표 3 모수 추정 결과

모수	η	β	ρ
추정값	39,500	1.7	0.49

4. 유지보수주기 분석

본 장에서는 유지보수 주기 및 효과에 따른 도어장치의 신뢰성의 변화를 살펴본다. 고장 및 유지보수 모형은 표 3의 모수 추정결과를 사용하였고, 상용 시뮬레이션 프로그램인 AvSim을 사용하여 신뢰성을 분석하였다. 시뮬레이션을 수행하기 위해 필요한 전동차량의 운용 프로파일은 아래와 같이 가정하였다.

- 내용수명: 25년
- 일일 운행시간: 10시간
- 표정속도: 30km/hr

표4는 표3의 입력 정보하에서 유지보수(중정비) 주기를 1년에서 6년까지 변함에 따른 25년 동안의 고장횟수 및 평균고장거리를 보여준다. 표3의 보수추정결과는 앞에서 언급한 바와 같이 표2의 결함 내용 중에서 일부 편성을 대상으로 임의로 조정된 데이터를 바탕으로 하였다. 따라서 표4의 고장횟수는 서비스고장에 대한 횟수가 아니라 유지보수를 야기하는 로지스틱 고장에 대한 횟수를 뜻한다. 표4에서와 같이 유지보수 주기가 짧을수록 신뢰성이 높아짐을 알 수 있다.

표5는 유지보수 주기가 3년일 때 유지보수의 효과를 나타내는 ρ 가 커짐에 따른 신뢰성의 변화를 나타낸다. 표5에서는 유지보수 효과가 커짐에 따라 신뢰성이 높아짐을 알 수 있다. 표6은 유지보수 효과 ρ 가 1일 때 즉 중정비가 완전 유지보수의 효과를 가질 때 유지보수 주기에 따른 신뢰성을 나타낸다.

표3과 같은 고장 및 유지보수 모형하에서 현재의 도어장치의 중정비 주기 3년을 적용하면 현재의 도어장치의 로지스틱 신뢰성은 25년간 총 결함횟수는 1편성당 407.5건 평균고장거리는 6,718km이다. 도어장치의 신뢰성을 향상시키기 위해 유지보수주기를 3년에서 2년으로 줄이면 표5에서와 같이 고장횟수는 310.3건으로 감소하고 평균고장거리는 8,823km로 증가하게 된다. 만약 유지보수 효과를 높여 ρ 를 1로 하면 표6과 같이 유지보수주기를 4년으로 하여도 현재의 3년의 주기보다 높은 신뢰성을 달성할 수 있게 된다.

도표 4 불완전 유지보수의 주기에 따른 신뢰성 변화 ($\rho = 0.49$)

유지보수 주기	1년	2년	3년(현재)	4년	5년	6년
고장횟수	190	310.3	407.5	494.3	571	634
평균고장거리(km)	14,400	8,823	6,718	5,538	4,794	4,316

도표 5 유지보수 효과에 따른 신뢰성 변화

유지보수 효과(ρ)	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
고장횟수	407.4	387.6	367.7	347.4	326.6	297
평균고장거리(km)	6,720	7,063	7,446	7,881	8,381	9,217

도표 6 완전 유지보수의 주기에 따른 신뢰성 변화

유지보수 주기	1년	2년	3년	4년	5년	6년
고장횟수	141.1	226	297	362.2	439.3	477.7
평균고장거리(km)	19,400	12,110	9,217	7,558	6,232	5,731

5. 맺음말

수리 가능한 시스템의 신뢰성 분석에 중요한 문제 중의 하나는 유지보수의 효과를 모델링하는 것이다. 현재까지 많은 연구들은 유지보수 후 시스템의 상태가 새것과 같이 된다는 완전유지보수 또는 유지보수 바로 직전의 상태로 된다는 최소유지보수 모형을 사용하였다. 그러나 현실적인 상황에서는 유지보수는 완전유지보수와 최소유지보수의 사이의 효과를 가지는 불완전유지보수인 경우가 많다. 본 연구에서는 전동차 도어장치의 중정비 효과를 분석하기 위해 서울시철도에서 운행하고 있는 전동차의 한개 구간에서 개통초기부터 2007년도 말까지 운행하면서 정기 검수시(3D, 3M)에 고장이 발생 할 것으로 판단하고 미리 조치한 도어장치 결함과 본선 운행중에 고장으로 기록된 내용을 모두 분석하였다. 이러한 결함과 고장내용 결과로 판단해 볼 때 현재 적용하고 있는 중정비(3년, 6년검수)는 도어장치의 결함을 완전히 해결 할 수 있는 완전유지보수의 효과를 가지고 있지 못한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 이와 같이 불완전 유지보수가 수행되는 전동차 도어장치의 신뢰성을 분석하고 불완전 유지보수 주기를 결정하는 문제를 다루었다.

Shin, Lim & Lie(1996)이 제한한 방법에 의하여 고장강도함수 및 유지보수 효과를 추정하였고, 유지

보수주기 및 효과에 따른 도어장치의 신뢰성의 변화를 시뮬레이션에 의해 분석하였다. 그 결과 유지보수주기를 짧게 할수록 유지보수의 효과가 증가할수록 신뢰성이 높아짐을 알 수 있었다. 따라서 유지보수의 주기를 결정할 때에는 장치의 고장분포 뿐 아니라 유지보수의 효과 또한 고려해야 함을 알 수 있다. 추후 연구 내용으로는 유지보수의 효과가 불완전 할 경우에 최적 유지보수주기를 결정하는 문제를 다룰 예정이다.

참고문헌

1. N. S. Arunraj and J. Maiti(2007) "Risk-based maintenance-Techniques and applications", Journal of Hazardous Materails, Vol.142, pp.653-661.
2. J.F. Brown, J.F. Mahoney and B.D. Sivazlian(1983), "Hysteresis Repair in Discounted Replacement Problems" IIE Transactions, Vol.15, pp.156-165
3. M. Kijima(1989), "Some Results for Repairable Systems with General Repair", Journal of Applied Probability, Vol.26, pp.89-102.
4. M.A.K. Malik(1979), "Reliable Preventive Maintenance Scheduling" AIIE Transactions, Vol.11, pp.221-228.
5. I. Shin, T.J. Lim and C.H. Lie(1996), "Estimating Parameters of Intensity Function and Maintenance Effect for Repairable Unit", Reliability Engineering & System Safety, Vol.54, pp.1-10 .