시뮬레이션을 통한 불완전 유지보수하에서의 유지보수 정책의 효율성 평가에 관한 사례 연구

A case study on evaluating the effectiveness of maintenance policies under imperfect maintenance

이덕규*　　이희성**

Duk Gyu Lee　　Hi Sung Lee

ABSTRACT

There is a existing study dealing with the case that the effect of preventive maintenances to restore the door system is imperfect. When the effect of the preventive maintenance is imperfect, we need to consider the maintenance effect for making reliable and economical maintenance policies. The maintenance policies applicable for imperfect maintenance cases are considered and their effectiveness are evaluated through simulation in cases of passenger door system:PDS.

국문요약

기존 연구에서 도어시스템에 대한 중정비가 완전 유지보수가 아닌 불완전 유지보수인 사례가 발표되었다. 불완전 유지보수인 경우에는 유지보수 효과를 고려하여 적절한 유지보수 정책을 수립하여야만 시스템의 신뢰성을 확보하면서 경제적인 유지보수를 수행할 수 있다. 본 연구에서는 전동차량의 승객용도어시스템(passenger door system:PDS)을 대상으로 중정비의 효과가 불완전할 경우 고려할 수 있는 유지보수 정책의 효율성을 시뮬레이션을 통해 평가함으로써 유지보수 정책을 결정하는데 도움을 주고자 한다.

---

* 서울도시철도공사, 차량지원팀 팀장, 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원 박사과정
E-mail : ldg0115@hanmail.net
TEL : 02) 6311-2341 FAX : 02) 6311-2150
** 서울산업대학교 철도전문대학원

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

전동차량의 유지보수계획이란 전동차량 효율화, 유지보수 품질향상, 저비용 유지보수를 토대로 신뢰성을 먼저 확보하는 계획이라고 말할 수 있다. 그런데 유지보수에 투자되는 시간, 비용에 있어서는 지금까지 많은 운영기관들이 유지보수영역에 있어 정량적인 평가없이 일정한 기간을 기준으로 주기적인 단순반복업무임을 이유로 유지보수계획에 대한 개선을 획기적으로 이루어 내지 못함에 따라 운영기관간 우열을 가리기 어려운 상태이다.

유지보수는 주로 예방정비 차원에서 경정비와 중정비(overhaul)로 구분시행하며 경정비는 일상, 월간검수로 구분하여 시행하고, 중정비(overhaul)는 년간검수(현재는 3년, 6년)로 나누어 시행한다. 각 운영기관별 유지보수주기는 따로 정하여 시행하고 있다.

예방정비 차원에서 이루어지고 있는 중정비가 불완전유지보수(imperfect maintenance)로 이루어지고 있다면 현재의 중정비 수준에서 예방정비의 효과를 분석하고, 그 결과를 토대로 중정비 수준을 높이거나, 낮추었을 때 고장률은 얼마나 높아지며 비용은 어느정도 소요되는지?. 에 의문을 갖지 않을 수 가 없다. 이를 위하여 전동차량의 승객용도어시스템(passenger door system:PDS)을 모델로하여 현재 시행하고 있는 중정비 업무 수준, 중정비 비용을 분석하여 최적의 중정비 주기를 도출하여 중정비 정책을 모델별로 제시하므로서 전동차량을 구성하는 인버터, 컴퓨터, 견인전동기, 제동장치 등 전동차량의 주요 구성장치에 PDS의 분석모델을 적용가능 할 수 있게 하였다.

2. 불완전 유지보수 하에서의 유지보수 정책

2.1 정책1:주기적 불완전 예방 정비

현재 시행하는 유지보수 방법중의하나로서 정비방법, 정비절차, 정비항목이 일정한 패턴으로 이루어지는 유형으로서 비용이 수반되는 최소의 부품만 교환하고 타 부품에 대하여는 청소하고, 조이고, 윤활유를 교환하는 형태로서 사용내구년한 동안 Fig. 1.의 정책1과 같이 t_1, t_2, t_3의 주기가 일정하게 이루어지는 것이 특징이다.

2.2 정책2:최대 고장률에 따른 불완전 예방 정비

운영경험에서 획득한 고장률 정보 또는 제작시 제시한 고장률을 정비주기 기준으로 정한 다음 고장률이 일정기준에 도달하는 시점에서 예방정비를 시행하는 유형이다. 이 방법은 전동차량이 신규로 제작되어 운행을 시작한 후 처음 맞이하는 중정비는 t_1까지는 기간이 길고, t_2, t_3... 지나는 동안 정비주기는 줄어드는 특징을 나타낸다. 이 모형은 Fig. 1.의 정책2와 같이 표현 할 수 있다.

2.3 정책3:주기적 예방정비 및 완전 예방정비

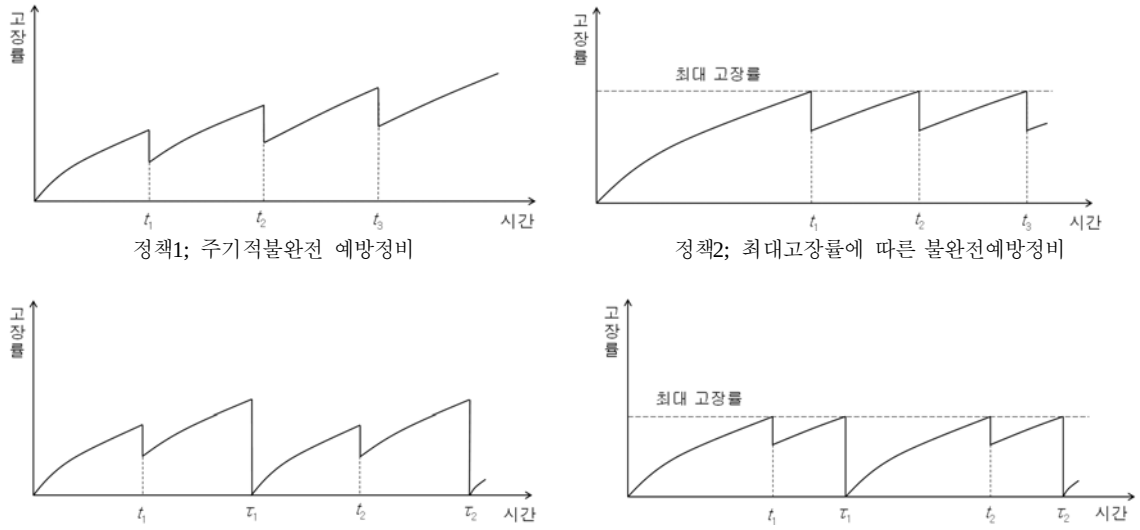
불완전예방정비를 주기적으로 시행하다다 τ_1, τ_2 시점에서 완전예방정비로 대체 시행하는 유형이다. 이 방법은 τ_1, τ_2 시점에서 완전 예방정비를 시행하여 고장률을 현저히 감소 시킬 수 있는 방법이다. 하지만, τ_1, τ_2 시점에서 완전예방정비를 시행함에 따라 정비비용이 증가하게 되며 모형은 Fig. 1.의 정책3과 같이 표현 할 수 있다.

2.4 정책4:최대 고장률에 따른 불완전 예방정비 및 주기적 완전정비

최대고장률에 따라 불완전예방정비와 완전예방정비를 조합하여 시행하는 방법이다.

불완전 예방정비 t_1, t_2 사이에 τ_1, τ_2의 완전 예방정비를 주기적으로 시행하면 일정한 고장률에 맞춰 예방정비를 할 수있다는 특징이 있으나 τ_1, τ_2 시점에서 완전 예방정비를 시행하므로서 정비비용이 증가하게 된다.

t_i : **i번째 불완전 예방정비 수행 시점,** τ_i : **i번째 완전 예방정비 수행 시점**



정책1; 주기적불완전 예방정비

정책2; 최대고장률에 따른 불완전예방정비

정책1; 주기적불완전 예방정비

정책4; 최대고장류레 따른 불완전예방정비 및 주기적 완전예방정비

Fig. 1. 예방정비 정책 모델

3. 시뮬레이션에 의한 유지보수 정책 결정

3.1 유지보수 정책 결정 문제의 개요

본 연구에서는 유지보수 정책 및 주기에 영향을 받는 비용의 합을 최소로 하는 유지보수 정책 및 주기를 시뮬레이션에 의해 결정한다. 중정비 주기를 찾기 위해 몬테갈로(Monte Carlo) 시뮬레이션을 사용하였으며, 상용시뮬레이션 도구인 Isograph사에서 개발한 Availability Workbench의 AvSim 모듈을 사용하였고 유지보수 정책 및 주기에 따른 총 비용은 아래와 같다.

•총 비용=보수정비비용 + 예방정비비용 + 다운시간에 대한 손실비용 + 서비스고장에 대한 손실비용

다운시간에 대한 손실비용은 1편성당 40억*10%/년 = 4억/년간, 년간 운행시간: 3650시간,

시간당 편성운영가치 = 4억/3650 = 109589원

3.2 시뮬레이션 입력 정보

시뮬레이션을 수행하기 사용하는 입력정보로서 고장강도 함수, 서비스고장에 따른 손실비용은 이덕규, 이희성 [1] 2008년도 추계학술대회 발표논문의 모수추정결과와 1회 서비스 고장의 손실비용을 221만원으로 가정하였고, Table 2.는 중정비시 소요되는 부품 품목을 나타낸 것이다.

Table 1. 시뮬레이션을 위한 정보 입력 사항

1)고장강도 함수	2) 보수정비 시간, 비용, 효과	3) 중수선 시간, 비용, 효과	4) 대수선 시간, 비용, 효과	5) 서비스 고장에 따른 손실비용	6) 전동차의 운용 프로파일 정보
• 모수값 η=39,500 β=1.7 ρ=0.49	• 보수정비 시간: 1.05시간 • 보수정비 비용: 374,880원 • 보수정비 효과: 보수정비에의해 출입문장치의 고장률은 변화가 없다고 가정한다.	• 중정비 소요 시간: 7일 • 중정비 비용: 7,250,000원 • 중정비 효과: ρ = 0.49 (불완전 예방정비)	• 대수선 소요 시간: 7일 • 대수선 비용: 30,000,000원 • 대수선 효과: ρ = 1(완전 유지 보수)	• 221만원	• 내용수명: 25년 • 일일 운행시간: 10시간 • 표정속도: 30km/hr

Table 2. 불완전예방정비 대상 부품 및 완전예방정비 교환대상 부품

품목	고장시교체품		기존 중정비 교환 대상품				완전예방정비를 위한 교환 확대 품목			
	품명	금액	품명	수량	평균단가	금액	품명	수량(개)	평균단가	금액
총계										**24,874,041 (완전정비비용)**
계						2,090,841				22,783,200
도어 엔진	조립체	680,000	고무류	128	700	89,600				
			패킹	512	1,760	901,120				
			링	64	1,600	102,400				
			오링	832	24	19,968				
			그리스	0.3kg	71,109	21,333				
							조절나사	128	600	768,000
							롤러	128	12,000	1,536,000
							벨트	64	22,000	1,408,000
							조인트고무	126	800	102,400
전자변	조립체	273,000	패킹류	448	807	361,408				
			오링류	640	32	20,480				
			그리스	0.3kg	99,000	29,700				
			플런저	64	75,000	480,000				
			가스켓	64	733	46,912				
			스톱퍼	64	280	17,920				
							서브플레이트	64	52,000	3,328,000
							필터	64	15,000	960,000
							고정밸브	64	76,000	4,864,000
							소음기	64	3,100	198,400
인터록 스위치	조립체	200,000					리미트스위치	64	20,000	1,280,000
							토글스위치	64	4,275	273,600
							리셉터클커넥터	64	1,000	64,000
							커넥터플러그	64	400	25,600
푸시 로드	조립체	100,000					스프링	64	5,500	352,000
출입문	가이드레일	30,000					가이드레일	256	22,000	5,632,000
	롤러조립체	150,000					롤러	256	7,700	1,991,200

3.3 시뮬레이션 분석 결과

3.3.1 정책1; 주기적 불완전 예방정비

현재 시행하는 중정비 형태로서 logistic failure을 적용하였다. 일정한 기간을 기준으로 반복하여 불완전예방정비를 시행하는 모형으로로 시간이 지남에 따라 고장률은 높아지고 신뢰성은 떨어지는 것으로 확인하였고 불완전예방정비 주기는 2년으로 하는 것이 비용측면에서 최소가 되는 것으로 확인 되었다. 분석 결과는 Table 7-8.과 Fig. 7-7.과 같다.

Table 3. Simulation results for policy 1 (비용단위: 천원)

정비 주기	다운손실 비용	보수정비 비용	예방정비 비용	서비스고 장비용	총비용
1년	217095	112300	174000	33094	536489
2년	143378	174700	87000	51481	456559
3년	126283	220900	58000	65117	470300
4년	121716	257600	43500	75924	498740
5년	116164	291000	29000	85759	521923
6년	122045	310900	29000	91648	553593
7년	119342	327900	21750	96665	565657
8년	125625	349300	21750	102952	599627
9년	121862	362500	14500	106864	605726
10년	123835	369300	14500	108853	616488
11년	127853	383000	14500	112931	638284
12년	132785	399700	14500	117793	664778
13년	127780	408900	7250	120555	664485

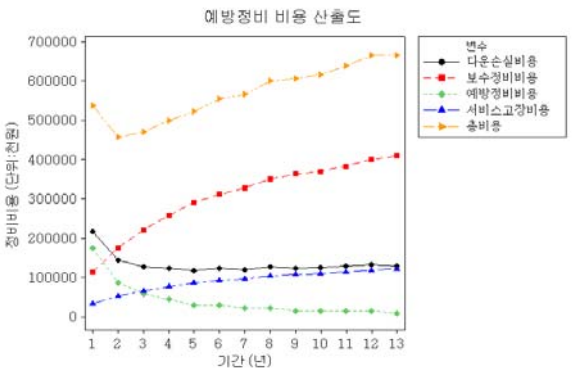


Fig. 2. Simulation results for policy 1 graph

3.3.2 정책2; 최대 고장률에 따른 불완전 예방정비

현재 시행하는 불완전 예방정비 모형에 최대 고장률을 적용한 형태이다. 분석한 결과는 Table 7-9와 Fig. 7-8.과 같고, 중정비주기를 4년으로 할 때 비용이 최소화 되는 것으로 나타났다.

Table 4. Simulation results for policy 2 (비용단위: 천원)

정비주기	다운손실비용	보수정비비용	예방정비비용	서비스고장비용	총비용
1년	387579	69030	348000	20354	824963
2년	210264	115200	166800	33945	526209
3년	159305	150500	108800	44376	462981
4년	137607	181100	79750	53382	451839
5년	131141	211400	65250	62310	470101
6년	122922	235600	50750	69438	478710
7년	122666	260800	43500	76885	503851
8년	121059	281500	36250	82985	521794
9년	118904	300300	29000	88510	536714
10년	120401	322000	27260	94919	564580
11년	121899	336600	21750	99206	579455
12년	126794	353200	21750	104124	605868
13년	123470	368100	14500	108499	614569

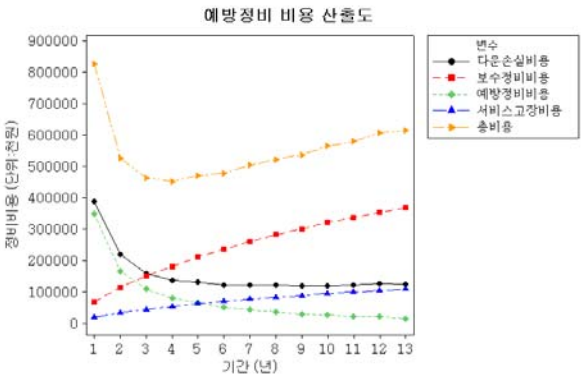


Fig. 6. Simulation results for policy 2 graph

3.3.3 정책3; 주기적 불완전예방정비 및 완전예방정비

불완전예방정비 주기 t_1을 기본으로하고 완전예방정비를 시행하고자 하는 어느 시점(τ_1)에 완전예방정비를 시행하는 것으로써, 총 7가지 모형으로 분석한 결과 Table 7-15.의 결과와 같이 불완전예방정비주기를 7년으로하고 완전예방정비를 9년으로 시행하는 모형이 가장 유리한 것으로 확인 되었다.

Table 5. Simulation results when the imperfect maintenance interval is 7 year for policy 3(단위: 천원)

완전정비주기	다운손실비용	보수정비비용	예방정비비용		서비스고장비용	총비용
			불완전예방정비	완전예방정비		
9년	**95780**	**197600**	**21750**	**60000**	**58255**	**433385**
13년	104438	249800	21750	30000	73626	479614

3.3.4 정책4; 최대고장률에 따른 불완전 예방정비 및 주기적 완전예방정비

Police3과는 달리 Police4는 전동차량 내구연한 25년 동안 완전예방정비 회수를 정하고 완전예방정비까지 불완전예방정비를 회수를 달리하는 모형으로 시뮬레이션을 분석하였다. 완전예방정비를 10시행시부터 1회까지 시행하는 방법에 완전예방정비 기간중에 불완전예방정비를 1회부터 24회까지를 조합해서 시뮬레이션을 시행하는 모형을 6가지 모형 24가지 방안으로 분석한 결과 Table 7-22.와 같이 완전예방정비를 3회 실시하고 완전예방정비까지 불완전예방정비를 1회 실시하는 경우가 비용이 최소화 되는 것으로 나타났다.

Table 6. Simulation results when the imperfect maintenance interval is 5 year for policy 5(단위: 천원)

A	B	다운손실비용	보수정비비용	예방정비비용		서비스고장비용	총비용
				불완전예방정비	완전예방정비		
3	1	75251	173600	21750	90000	51183	411784
2	2	92639	186000	36250	60000	54830	429719
1	4	111707	197500	50750	30000	58222	448179

4. 맺음말

본 연구에서는 전동차 PDS의 중정비 효과를 분석하기 위해 한개 구간을운행하면서 발생한 모든 결함(logistic failure)과 본선 운행중에 발생한 도중입고고장(service failure)을 대상으로 신뢰성으로 분석하여 불완전예방정비 주기를 찾아내어 이를 예방정비 정책에 반영하므로서 운영비용을 최소화하는 방안에 대하여 연구 하였다.

첫째, 중정비는 PDS의 거의 모든 부품을 새것으로 교체한다고 하더라도 logistic failure을 완전히 해결 할 수 있는 완전예방정비 효과를 가지고 있지 못한 것으로 확인하였다.

둘째, 도중입고고장(service failure) 해결을 위주로 시행하는 중정비 소요비용과 결함(logistic failure)을 완전히 해결하기 위하여 시행하는 완전예방정비 소요 비용을 비교한다면 최고 8~9배 이상 차이가 나는 것으로 나타났다. 즉, 도중입고고장(service failure)예방을 위한 중정비 정책이 효과적이라는 것을 의미한다.

셋째, 전동차량의 중정비주기는 불완전예방정비 또는 완전예방정비를 각각 독립적으로 일정하게 시행하는 것 보다는 불완전예방정비와 완전예방정비를 회수를 일정 비율로 조합하여 시행하는 것이 비용측면에서 효과적이라고 판단하였다.

본 연구에서는 위와 같은 분석 결과를 통하여 효율적인 중정비주기를 찾는 기법을 확인하였고 전동차량의 주요 장치인 인버터장치, 컴퓨터장치, 제동장치 등 다른 장치에도 예방정비 정책 입안시 PDS와 동일한 방법으로 확대 적용 할 수 있을 것으로 기대 한다.

참 고 문 헌

1. 이덕규, 이희성(2008) “전동차량 승객용도어시스템의 유지보수 효과를 고려한 예방정비 주기 산정에 관한 연구” 춘계학술대회 논문집 P159
2. 이덕규, 김종운, 이희성 (2008) “도시철도 전동차량의 운행고장 데이터 분석을 통한 도어시스템 유지보수주기 결정 사례 연구”, 한국철도학회논문집, 제11권, 제3호, pp.240-247.
3. 김종운, 박준서, 이호용, 김재훈 (2008) “철도시스템의 RAMS 중심의 유지보수 정책 결정을 위한 개념적 절차”, 한국철도학회논문집, 제11권, 제1호, pp.19-25.