신뢰성응용연구
제17권, 제4호. pp.316-324, 2017

철도차량 접촉기의 신뢰성 분석 및 교환주기 결정에 대한 연구

박민흥[1] · 이세헌[2†]

[1]한양대학교 대학원, [2]한양대학교 기계공학과

A Study on Reliability Analysis & Determination of Replacement Cycle of the Railway Vehicle Contactor

Minheung Park[1] · Sehun Rhee[2†]

[1]Graduate School of Hanyang University
[2]School of Mechanical Engineering, Hanyang University

Purpose: The purpose of this study is to determine the replacement cycle applied age replacement policy by reliability analysis based on railway vehicle contactor's failure history data.
Method: We performed reliability analysis based on railway vehicle contactor's failure history data. We found a suitable distribution by goodness of fit test and predicted the reliability through estimation of scale & shape parameter. Considering cost information we determined the replacement cycle that minimize the opportunity cost.
Result: Suitable distribution was the Weibull and scale parameter & shape parameter are estimated by reliability analysis. The replacement cycle was predicted and MTTF, B_6 percentile life were suggested additionally.
Conclusion: We confirmed that failure rate type of railway vehicle contactor is degradation model having a time dependent characteristic and examined the replacement cycle in our country's operating environment. We expect that this study result contribute to railway operation agency for maintenance policy decision.

Keywords: Reliability Analysis, Replacement Cycle, Age Replacement Policy, Railway Vehicle Contactor

1. 서 론

일반적으로 철도차량의 수명은 차량이 제작되어 운행에 투입된 시점부터 폐차되는 시점까지의 기간으로 정의할 수 있다. 정비는 크게 예방정비와 사후정비로 구분되는데, 예방정비는 차량을 정상상태로 유지하기 위해 차량 각 부품의 수명을 정하고 수명주기가 도래할 때 미리 교체하는 것이고, 사후정비는 고장이 발생하면 고장이 발생한 부품을 교체하는 것을 의미한다. 사후 정비의 경우 관련 부품의 손상 우려가 크며 많은

† 교신저자 srhee@hanyang.ac.kr
2017년 8월 18일 접수; 2017년 9월 6일 수정본 접수; 2017년 9월 28일 게재 확정.

인력이 소요되어 열차 운행에 지장을 주는 경우가 많이 발생하므로 철도 운영에서는 예방정비 위주로 보전업무가 수행되고 있는 실정이다. 예방정비를 위해서는 각 부품의 수명을 토대로 보전 비용을 최소화 할 수 있는 교환주기의 산정이 필수적이다. 주요부품의 교환 주기는 차량의 운용과 성능확보 측면에서 적정한 시점을 고려하여 결정해야 하고 현재 시행중인 차량의 검수주기와도 직접적으로 연계해야 한다. 이를 통해 산정된 부품의 교환주기는 효율적이고 경제적인 차량 관리를 가능하게 한다. 보전업무 차원에서 현재 RAMS(Reliability Availability Maintainability Safety) 분석을 위한 기초자료로서 고장분석에 대한 관리코드는 존재하나 고장 시점 및 고장 기준의 불명확함으로 부품의 신뢰도 예측이 부정확하기 때문에 정확한 신뢰성 분석을 토대로 부품의 신뢰도 재평가가 필요하며 우리나라의 지리적 특성과 철도운영기관의 운행방식, 차량 보전방식 등이 면밀히 고려된 우리의 실정 및 환경을 반영한 새로운 기준의 교환주기 산정이 필요하다.

필드데이터의 신뢰도 분석에 대한 선행연구로 권영일은 필드데이터를 유형별로 구분하고 보증기간동안 고장 난 제품의 실 가동시간을 알 수 있는 자동차 제품을 대상으로 필드데이터 분석방법을 제시하고 실제 데이터를 사용한 분석 사례를 제시하였고[1], 백재진 등은 실제 자동차 운전 중 발생한 정시중단 고장자료를 이용한 신뢰성 예측에 대하여 연구하였다[2]. 김종환 등은 수집된 트랙터의 A/S 데이터에 근거하여 신뢰성 분석을 수행하였고 고장발생 확률을 기반으로 B_{10} 수명을 평가하고 목표 수명 이상으로 B_{10} 수명을 유지하기 위해 개선해야 할 부품을 규명하였고[3] 정원은 QFD(Quality Function Deployment), FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), 필드 고장 데이터 분석을 통해 농기계 부품에 대한 정확한 신뢰성 평가 프로세스를 제안하였으며[4] 박준서 등은 현장 데이터를 사용하여 철도차량 갱웨이 벨로우즈의 신뢰성을 분석하였다[5]. 교환주기 결정에 대한 선행연구로 김종운 등은 교환과 고정시간 업무의 주기를 결정하기 위한 개념적 모형을 제안하였고 이 모형을 바탕으로 공조장치의 배기모터의 교환주기 결정 시 RAMS 영향평가 결과를 바탕으로 관련 교환주기를 조정할 수 있음을 밝혔다[6-7]. 김철수 등은 가속수명시험을 통해 철도차량 단식제동표시기의 고장원인을 규명하고 부품의 적정 교체수명주기를 산정하는 방안을 제시하였다[8]. 대부분의 연구는 자동차 및 철도차량 부품의 필드 고장 데이터를 활용한 신뢰성 분석과 예측에 관한 것이고 부품의 교환주기 결정까지 확대 논의된 연구는 부족한 실정이며 신뢰성 분석 결과와 함께 경제성 측면의 검토가 고려된 부품의 교환주기 결정에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 철도차량 접촉기(Railway Vehicle Contactor)의 고장이력 자료에 근거한 신뢰성분석을 수행하여 적합한 분포를 결정하고 모수 추정을 통해 철도차량 접촉기의 신뢰도를 예측한다. 또한 신뢰성 분석 결과를 바탕으로 수명교체정책(Age Replacement Policy)을 적용하여 고장 시 발생하는 비용과 예방보전 교체 시 발생하는 비용이 고려된 단위시간 당 기회비용을 최소화 하는 교환주기를 결정하고 제작사에서 제시한 교환주기와의 비교를 통해 우리나라의 운영환경 및 실정이 반영된 교환주기의 필요성에 대하여 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 철도차량 접촉기의 신뢰성 분석

2.1.1 철도차량 접촉기의 구조와 특징

연구모델인 철도차량 접촉기는 정상적으로 열려있는 접점을 닫거나 또는 정상적으로 닫혀있는 접점을 여는 힘이 전자석에 의해 제공되는 전자기 접촉기로 직류전원(DC-72V)으로 코일에 전류를 흐르게 하여 자속을 발생시키고 이때 발생되는 전자기력에 의해 가동부를 통해 접점을 접촉시키는 장치이다.

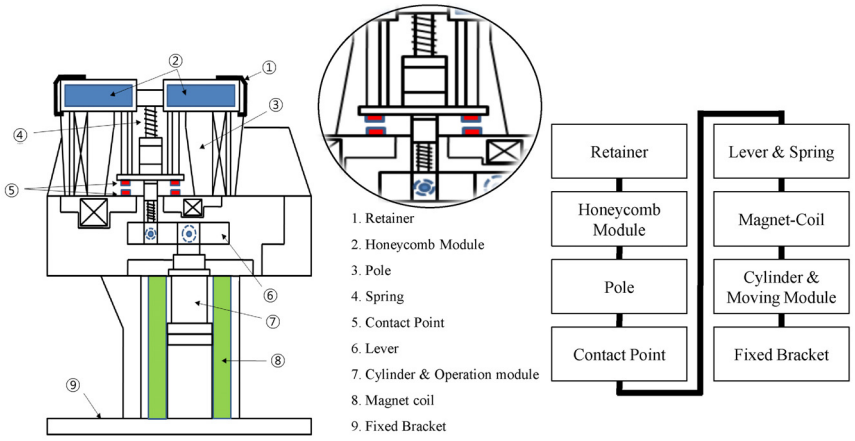
2.1.2 고장 특성 및 유형 분석

제품의 필드 고장모드 및 고장 메커니즘 파악을 위해 고장이력자료와 FMEA 자료를 조사 분석하였다. 이를 통해 접촉기의 고장은 크게 접점부와 전자변 코어가 내장되어 있는 실린더 및 가동부에서 발생함을 알 수 있었다. 접점부에서는 주 접점 및 보조접점 변형에 따른 작동불량이 주로 발생하였다. 그리고 실린더 및 가동부에서는 운행 중 고온의 영향에 따른 코일의 열팽창에 의한 코일 특성 변화와 윤활제 감소에 의한 실린더 및 가동부의 작동 불량이 주로 발생함을 알 수 있었다. 장시간 반복 운동으로 인해 발생할 수 있

는 본 접촉기의 고장 모드와 메커니즘을 분석한 결과를 <Table 2>에 나타냈다.

2.1.3 고장이력 자료 분석

<Fig. 1>에서와 같이 접촉기를 구성하는 서브시스템의 고장이 시스템의 고장을 의미하고 고장을 유발하는 원인들이 직렬구조를 이루고 있으나 고장 시 새로운 부품으로 교체하는 보전정책이 적용되는 철도차량 접촉기의 유지보수를 고려하여 본 시스템은 비수리계로 가정하였으며 접촉기 서브시스템의 고장건수를 접촉기의 고장에 의한 부품 교환 건수로 검토하였다. 제작사의 결함에 의한 초기고장, 설치나 운반



(a) Structure (b) Series structure of system

Fig. 1 Structure of railway vehicle contactor

Table 1 Specification of railway vehicle contactor

Characteristics	Values
System temperature operating limits(℃)	-25～60
Temperature in use condition(℃)	35
Number of poles(EA)	2 independents
Standard supply control voltage(V)	72
Primary contacts(EA)	2
Auxiliary contacts(EA)	4
Magnet coil resistance range(Ω)	120～141
Mechanical life(Cycle)	500 Mil.

Table 2 Failure mode/mechanisms analysis for railway vehicle contactor

Primary components	Function	Failure mode	Failure mechanism
Contacts (Primary/Auxiliary)	Connecting other system & Delivery current	Deformation, Arcing & Breakage	Fracture & Degradation
Cylinder & Operation module	Contacting	Leakage	Degradation, Fatigue & Decrease lubrication characteristic by temperature
Magnet coil	Magnetization of coil & Occurrence of electromotive force	Thermal expansion & Short/Open	Degradation by temperature

미숙에 따른 품질관리 미흡 및 운영기관의 기술변경 등에 의한 교환 건수는 신뢰성 분석에 필요한 데이터에서 제외하고 주요 고장 모드인 고온의 영향에 따른 실린더 가동부 윤활제 감소에 의한 접점 불량을 기준으로 고장이력 자료를 정리하여 분석하였다. 신뢰성 분석을 위해 먼저 차량번호, 위수(Position number), 철거일을 기준으로 정렬하고 고장여부, 개수를 생성한 후 편성별 총 주행거리를 이용하여 고장 시 순 주행거리 및 현재까지 고장 없이 가동 중인 부품의 주행거리를 산출하여 <Fig. 2>와 같이 정리하였다. 분석에 사용한 기초 자료는 운영기관의 정보 보호를 위하여 본 논문에서는 제시하지 않는다. 신뢰성 분석에는 고장자료(Failure data)와 관측중단자료(Censored data)가 함께 사용되었으며 분석 도구로는 상용 소프트웨어인 Minitab이 사용되었다.

2.1.4 적합도 검증 및 적합 분포 선정

본 연구에서는 통계적 우월성(일반적으로 최우추정법이 최소제곱법보다 더 정확히 추정할 가능성이 있음)을 고려하여 최우추정법(Maximum Likelihood

1AA0001 Railway vehicle Failure logging data & Total milage

1AA0002 Railway vehicle Failure logging data & Total milage

Railway vehicle number	Net milage (Km)	Quantity (EA)	Failure/Censored	Failure date	Maintenance date	Analysis standard date	Remark
1AA0001	1,819,664	1	f	A day	A' day		Failure on A day
1AA0001	299,475	1	c			X day	After replacement on A' day Operating on X day
1AA0001	2,022,136	1	f	B day	B' day		Failure on B day
1AA0001	97,003	1	c			X day	After replacement on B' day Operating on X day
1AA0001	2,025,634	1	f	C day	C' day		Failure on C day
1AA0001	93,505	1	c			X day	After replacement on C' day Operating on X day
1AA0001	2,119,139	33	c			X day	33 EA (Operating on X day)
1AA0002	837,309	1	f	D day	D' day		Failure on D day
1AA0002	1,254,053	1	c			Y day	After replacement on D' day Operating on Y day
1AA0002	1,562,725	1	f	E day	E' day		Failure on E day
1AA0002	528,637	1	c			Y day	After replacement on E' day Operating on Y day
1AA0002	2,091,362	34	c			Y day	34 EA (Operating on Y day)

⋮

Fig. 2 Example of failure history data for reliability analysis

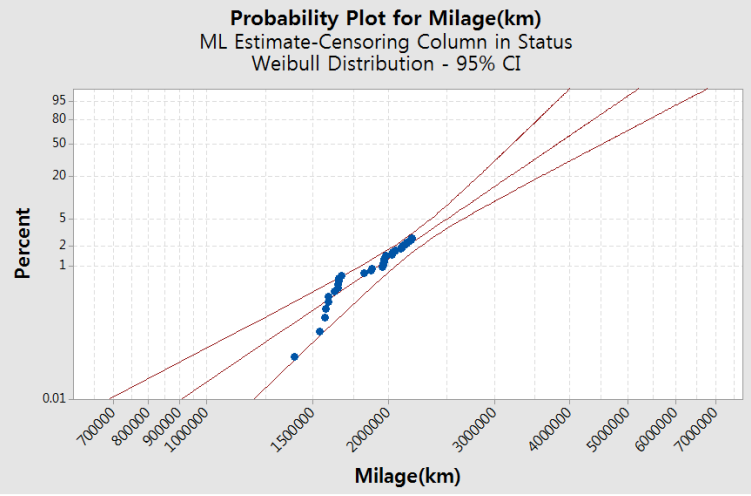


Fig. 3 Goodness of fit test in Weibull distribution based on failure history data

Estimation)으로 관측중단 데이터를 포함하는 고장이력 데이터의 적합 분포를 선정하였다[9]. 주요 고장모드에 의한 고장 이력 데이터를 토대로 와이블분포, 지수분포, 정규분포, 대수정규분포 모형에 대한 분포 적합을 진행하였다. <Fig. 3>에 와비블 분포의 와이블 분포의 확률지 타점이 완벽한 직선 형태는 아니지만 95% 신뢰구간 내에 위치하므로 직선에 가깝다고 판단했으며 접촉기의 열화에 의한 고장률 증가 메커니즘을 고려하고 이러한 현상 분석에 널리 사용되며 기계공학 분야의 신뢰성 분석에 많이 사용되는 와이블 분포를 가장 적합한 분포로 선정 하였다.

2.1.5 고장분포의 모수 추정 및 분포 특성 분석

적합도 검증으로 선정된 와이블분포에 대하여 최우추정법(MLE)을 사용하여 모수를 추정하였다. 모수 추정에 사용된 확률밀도 함수는 아래 식과 같다[10].

$$f(t)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}\exp\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta},\ (t\geq 0) \qquad (1)$$

여기서, β는 형상모수, η는 척도모수를 나타내고 운행거리(또는 고장시간)를 나타내는 t와 함께 모두 양수이다. <Table 3>에 Minitab을 사용하여 모수 추정 결과를 나타냈다. 척도모수(η)는 4.055×10^{6}, 형상모수(β)는 6.155로 추정되었다. 척도모수(η)는 언제나 누적분포함수 $F(t)$ 즉 고장확률이 0.632인 t값을 나타내는 특성수명을 의미하며, 일반적으로 값이 크면 전체적인 수명이 길고, 작으면 전체적인 수명이 짧은 것으로 판단한다. 형상모수(β)는 무차원의 수로 값의 크기가 분포의 형태를 결정한다. 추정된 형상모수(β) 값은 6.155로 고장률이 증가하는 형태라는 것을 직관적으로 알 수 있다.

분포특성을 나타내는 누적분포함수, 고장률함수, 신뢰도 함수는 아래 식(2)~식 (4)로 표현되며[10], <Fig. 4>에 추정된 모수 값을 적용한 와이블 분포에서의 분포특성을 나타냈다.

$$F(t)=1-\exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right],\ (t>0) \qquad (2)$$

Table 3 The estimation result of parameter in weibull distribution

Parameter	Value	Remark
Scale parameter (η)	4.055×10^{6} km	Weibull Distribution
Shape parameter (β)	6.155	

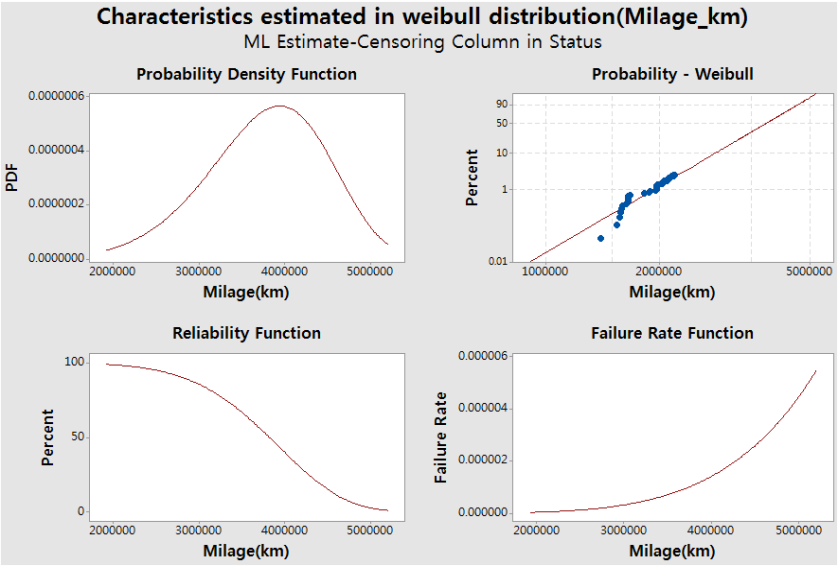


Fig. 4 Characteristics estimated in Weibull distribution

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} (t > 0) \quad (3)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right],\ (t > 0) \quad (4)$$

Graph를 통해 고장시간에 따른 Weibull 확률지에서의 누적확률분포를 확인할 수 있고 운행거리에 따른 신뢰도와 고장밀도함수 및 고장률의 추이를 확인할 수 있다. 특히 고장률의 형태를 살펴보면 접촉기의 차량 운행거리(사용 시간)가 증가함에 따라 고장의 열화현상, 즉 사용 시간에 비례하여 고장 발생 확률이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 일반적으로 고장률이 증가하는 형태를 갖는 부품은 교환주기 산출이 가능한데 본 고장률함수는 증가하는 경향을 보이므로 본 접촉기의 교환주기 산출이 가능함을 알 수 있다.

2.2 철도차량 접촉기의 적정 교환주기 결정

2.2.1 교환주기 모형

교환주기는 시스템의 신뢰성 분석 결과를 기초로 부품교체정책을 적용하여 유지보수비용을 최소화 하는 방향으로 산출한다. 본 연구에서는 부품교체정책 중 부품이 고장 나거나, 고장 나지 않았더라도 설치 후 T시간(또는 운행거리)이 경과했을 때 부품을 교체해주는 수명교체정책(Age Replacement Policy)을 고려하여 교환주기를 결정하였다.

일반적으로 부품 제작사에서는 부품이 어떤 값, 즉 누적운행거리 또는 누적시간에 도달할 때 시스템적으로 교체하는 시점을 교환주기라 하고 이 값은 신뢰성 분석과 경험을 통해 정의된다고 언급하고 있다. 교환주기의 결정은 샘플 조사를 통해 주어진 시간(운행거리)에서 결함이 있는 부품의 비율과 관련이 있으며 이는 서비스 시간(운행거리)에 대한 고장률이 증가한다는 가정을 기초로 한다.

교환주기는 최소기대비용을 나타내는 시점이 최적 기회교체 시점이 되므로 고장부품을 교체할 때마다 소요되는 비용과 예방보전계획에 의해서 고장 나지 않은 부품을 교체할 때 소요되는 비용을 고려하여 단위시간당 기대비용을 최소화하는 교체시간(운행거리) T_0를 산출한다. 단위시간당 교체비용 식은 아래와 같으며, 해당 보수품의 사후보전 시 소요되는 비용과 예방보전 시 소요되는 비용을 합하여 교체 시 소요되는 총비용을 나타냈고, 이 총비용을 평균수명으로 나누어 결과적으로 단위시간당 기대비용을 나타냈다[11].

$$C(T_0) = \frac{C_f F(T_0) + C_p R(T_0)}{\int_0^{T_0} R(t)dt} \quad (5)$$

위 식에서 $F(T_0)$는 누적분포함수를 $R(T_0)$는 신뢰도함수를 나타내고 C_f는 고장부품을 교체할 때마다 소요되는 비용을 C_p는 예방보전계획에 의해서 고장 나지 않은 부품을 교체할 때 소요되는 비용을 의미한다. 식 (5)에 와이블 분포에서의 누적분포 함수 식 (2)와 신뢰도 함수 식(4)에 추정된 형상모수β와 척도모수 η를 적용하여 정리하면 아래와 같다.

$$C(T_0) = \frac{C_f\left\{1 - \exp\left[-\left(\frac{T_0}{4.055 \times 10^6}\right)^{6.155}\right]\right\} + C_p\left\{\exp\left[-\left(\frac{T_0}{4.055 \times 10^6}\right)^{6.155}\right]\right\}}{\int_0^{T_0} \exp\left[-\left(\frac{t}{4.055 \times 10^6}\right)^{6.155}\right]dt} \quad (6)$$

2.2.2 정비 비용의 추산

교체를 위한 총비용을 산출하기 위해서는 자원과 고장기간(운행거리)이 비용단위로 환산되어야 한다. 이에 박경수는 사용 중 고장이나 계획교체의 경우 단위 비가용기간당 기회비용을 알 수 있다고 가정하면서 계획교체에 소요되는 총비용(C_p)과 비 계획교체에 소요되는 총비용(C_f)을 식 (7)과 식 (8)과 같이 제시하였다[11].

$$C_p = O_p \cdot t_p + W_p \quad (7)$$

$$C_f = O_f \cdot t_f + W_f \quad (8)$$

여기서, O_p는 계획교체에 따르는 단위 비가용 기간당 기회비용, O_f는 비 계획교체에 따르는 단위 비가용 기간 당 기회비용, t_p는 계획교체에 따르는 장비 비가용 기간, t_f는 비 계획교체에 따르는 장비 비가용 기간, W_p는 계획교체에 직접 소요되는 비용, W_f는 비 계획교체에 직접 소요되는 비용을 나타낸다. C_p는 고

Table 4 Example of calculation of cost information

Division	C_f Failure maintenance		C_p Preventive maintenance	
Opportunity cost in unavailable time(won/hr)	O_f	728,875	O_p	-
Unavailable time(hr)	t_f	6	t_p	-
Material cost(won)	W_f	720,000	W_p	720,000
Labor cost/hr(won/hr)		18,750		18,750
Number of workers		4		2
Working hour(hr)		6		1
Cost(won)	5,543,250		757,500	

장이 발생하기 이전에 미리 부품을 교체하는데 소요되는 비용인 예방 보전비용을 의미하고 C_f는 주행 중 고장이 발생하여 부품을 교체하는데 소요되는 비용인 사후 보전비용을 의미한다. 또한 고장발생 시 보전활동은 즉각 대비의 어려움, 타 제품과의 연관성 확인 여부, 정비 소요시간 등에 의해 오랜 시간과 높은 비용이 소요되며, 운행 중에 발생한 고장에 대해서는 별도의 자원을 필요로 하므로 부품의 고장이 마모(고장률 증가)로부터 발생한다면 사후 보전비용이 예방 보전비용보다 크다.

고장 발생 시 단위 비가용 기간 당 기회비용은 검수별 표준 작업 목록을 참고하여 고장 시 장비 비가용 시간, 인원 수, 편도 운행비용, 하루 편도 운행 횟수 등을 가정하고 차량 시스템에서 추진시스템, 모터블럭이 차지하는 비중 등을 고려하여 도출하였다. 예방보전 시 단위 비가용 기간 당 기회비용은 계획된 예방정비를 실시하므로 본 계산에서는 고려하지 않았다. 직접비를 구성하는 인건비, 재료비, 고장발생 시 정비 소요시간 및 예방보전 시 정비 소요시간 등은 조사를 토대로 적용하였다. 이를 토대로 식 (7)과 식 (8)을 이용하여 추산한 정비 비용을 <Table 4>에 나타냈다.

2.2.3 교환주기 산출

교환주기 선정 시 시스템의 가용도와 신뢰도가 보장되는 전제하에 유지보수 비용이 최소가 되는 시점을 교환주기로 선택한다. 신뢰성 분석 결과 고장률이 증가하는 형태로 교환주기 결정이 가능한 철도차량 접촉기의 교환주기는 예방 보전비용(C_p)과 사후 보전비용(C_f)을 식 (6)에 적용하여 유지보수 시 소요되는 단위 주행거리(시간)당 교체비용인 식 (6)을 최소화 하는 거리(T_0)를 MATLAB을 활용하여 산출하였다. 결과는 <Fig. 5>와 같으며 적정 교환주기는2.306×10^6 km로 예측 되었다.

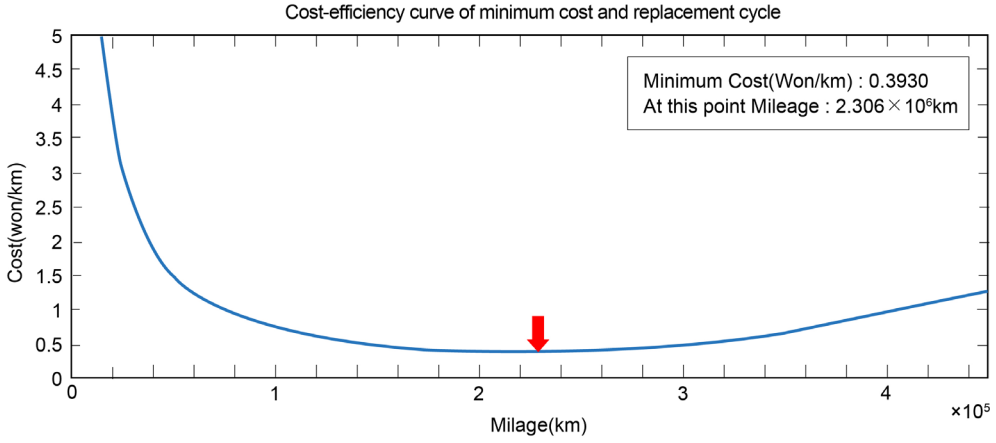


Fig. 5 Cost-efficiency curve of minimum cost and replacement cycle

Table 5 Result of replacement cycle & comparison with manufacturer

Division	Replacement cycle (km)	MTTF (km)	Percentile life(B_6) (km)
Manufacturer	3.0×10^6	-	-
Predicted value based on failure history data	2.306×10^6	3.767×10^6	2.580×10^6

제작사에서 제시한 교환주기 3.0×10^6 km는 허용고장률을 감안한 백분위수명에 근거한 것인지 운영환경을 고려한 신뢰성 자료에 기인한 것인지 산출근거를 명확히 알 수 없으나 본 연구에서 예측한 교환주기는 우리나라의 운영환경 및 실정이 반영된 고장이력 자료의 신뢰성 분석을 토대로 경제적인 측면을 고려한 수명교체정책을 적용하여 예측한 교환주기로 큰 의미를 갖는다.

<Table 5>에 예측된 철도차량 접촉기의 교환주기를 제시하였다. 제작사에서 권고하고 있는 교환주기보다 작은 값이 예측되었는데 우리나라의 지리적 특성과 철도 운영기관의 운행방식, 차량 보전방식의 차이가 반영된 결과로 판단된다. 예측된 교환주기와 함께 신뢰성 분석 결과에 의해 예측된MTTF(Mean Time To Failure)와 B_6 수명을 추가로 제시하였다. 이는 철도운영에 있어 교환주기, 평균수명, 백분위 수명에 대한 수치를 비교하여 안전, 신뢰성(정시성) 등이 함께 고려된 교환주기를 정책적으로 결정해야 할 필요성이 있기 때문이다 참고로 본 접촉기는 정시운행관련 부품이고, B_6 수명은 철도차량 운영에서 정시운행과 관련된 부품의 초기 교환주기의 연장 또는 확정을 위한 기준으로 활용되므로 철도운영 측면에서 효율적이고 경제적인 교환주기를 결정하여 계획된 유지보수가 이루어 져야 할 것이다.

3. 결 론

본 연구에서는 철도차량 접촉기의 고장이력 자료에 근거한 신뢰성분석을 수행하여 모수 추정을 통해 철도차량 접촉기의 신뢰도를 예측하였다. 신뢰성 분석 결과를 바탕으로 수명교체정책을 적용하여 적정 교환주기를 결정하고 제작사에서 제시한 교환주기와의 비교를 통해 우리나라의 운영환경 및 실정이 반영된 교환주기의 필요성에 대하여 검토하였다. 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 우리나라의 지리적 특성과 운영환경이 반영된 고장이력 자료에 근거한 신뢰성 분석을 수행하여 적합도 검증을 실시한 결과 와이블 분포로 적합 되었고, 적합 분포에서 척도 모수(η)는 4.055×10^6, 형상모수(β)는 6.155로 추정 되었으며, 분포 특성을 통해 철도 차량 접촉기의 고장률 유형은 시간 의존적 열화모형인 고장률 증가형임을 확인하였다.

(2) 고장률이 증가하는 형태로 교환주기 결정이 가능한 본 부품에 대하여 정비 비용정보를 고려한 수명교체정책을 적용하여 유지보수 시 소요되는 단위 주행거리(시간)당 교체 비용을 최소화하는 교환주기를 수치해석을 통해 결정하였다 예측된 교환주기는 2.306×10^6 km로서 제작사에서 권고한 교환주기 3.0×10^6 km와 비교하였고 신뢰성 분석을 토대로 예측한 MTTF 3.767×10^6 km 및 B_6 백분위 수명 2.580×10^6 km을 제시하며 철도차량 접촉기가 정시운행과 관련된 부품인 점을 고려하여 교환주기 결정에 있어 정책적 결정이 필요함을 제시하였다.

본 연구에서 예측한 교환주기는 우리나라의 지리적 특성과 운영환경 및 실정이 반영된 고장이력자료의 신뢰성 분석을 토대로 경제적인 측면을 고려한 수명교체정책을 적용하여 예측한 교환주기로 의미를 갖으며 신뢰성 분석을 토대로 예측된 수명 정보들과 함께 운영기관의 주요 부품 유지보수에 대한 정책 결정 시 기초자료로서 활용될 것으로 기대된다.

References

[1] Kwon, Y. I. (2008). “Collection and Analysis of Automotive Field Reliability Data”. Journal of the Applied Reliability, Vol. 8, No. 1, pp. 1-13.

[2] Baek, J. J., Rhie, K. W., and Meyna, A. (2010). "A Study on a Reliability Prognosis based on Censored Failure Data". Transactions of the Korean Society of Automotive Engineering, Vol. 18, No. 1, pp. 31-36.

[3] Kim, J. H. and Jung, W. (2011). "Field Data Collection and Failure Analysis for Durability Improvement". Journal of the Korea Industrial Information System Research, Vol. 16, No. 5, pp. 107-114.

[4] Jung, W. (2010). "Reliability Estimation of Agricultural Machinery Components Based on QFD and Failure Mechanism Analysis". Journal of society Korea industrial and system engineering, Vol. 33, No. 4, pp. 209-217.

[5] Park, J. S., Kim, J. W., Kim, J. H., and Lee, Y. Y. (2010). "Reliability Analysis for the Gangway Bellows Failure in the Railway Rolling Stock". Proceedings of the 2010 spring annual meeting for KSME Reliability Div., pp. 148-149.

[6] Kim, J. W., Park, J. S., Lee, H. Y., Kim, J. H. (2008). "A Conceptual Procedure of RAMS Centered Maintenance for Railway Systems". Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 11, No. 1, pp. 19-25.

[7] Kim, J. W., Park, J. S., Shin, B. C., and Kim, J. H. (2008). "A Case Study on Determining the Replacement Interval for the Component in the Rolling Stock". Proceedings of the 2008 spring annual meeting for KSR, pp. 713-720.

[8] Kim, C. S., Shin, M. J., Park, M. H., and Choi, D. H. (2009). "A Case Study on Determining the Replacement Interval for the Brake Display Equipment using Accelerated Life Test". Proceedings of the 2009 fall annual meeting for KSR, pp. 440-445.

[9] Seo, S. K. (2009). "Minitab Reliability Analysis". Eretec.

[10] Meeker, W. Q. and Escobar, L. A. (1998). "Statistical methods for reliability data". John Wiley & Sons New Jersey.

[11] Park, K. S. (2000). "Reliability and Maintenance". Yong-Ji Munhwasa.