

8200호대 전기기관차 보조전원장치 개발품의 신뢰도 기반 수명주기비용 분석

Life Cycle Cost Analysis of Auxiliary Power Unit Developments for 8200 Series Electric Locomotive Based on Reliability

이 계 승* · 김 완 일** · 창 윤 우** · 김 재 문†

(Kye-Seung Lee · Wan-il Kim · Yoon-Woo Chang · Jae-Moon Kim)

Abstract - Electric vehicles that are currently in operation are being produced domestically. Therefore, there is no great difficulty in receiving or repairing the failed parts or in the overall repair. On the other hand, most of the electric locomotives are manufactured by introducing the parts and technology of foreign vehicle manufacturers. In this paper, conducted a study about life cycle cost analysis of developed auxiliary power unit in 8200 series electric locomotive and suggested cost down method. This confirms the economic benefits of the developed products of the auxiliary power supply compared to the existing products. In addition, a sensitivity analysis of MTBF was conducted to suggest a life cycle cost down method.

Key Words : Life cycle cost, Maintenance cost, Auxiliary power unit, Reliability, Failure rate

1. 서 론

철도는 정시성이라는 큰 장점과 함께 높은 수송 효율성과 에너지 효율로 타 교통수단 대비 경쟁력이 높으며, 최근에는 환경친화적 이미지를 강조하여 사회적 비용의 절감 효과를 부각시키고 있다. 하지만 현재 국내에서 운행중인 철도차량의 일부는 노후화로 인해 부품 단종과 더불어 개발된 부품의 상호 호환이 어려워 유지보수에 많은 어려움이 있다. 일부 주요부품에 대해서는 고장이 발생할 경우 부품 수리가 불가능하여 부품 전체 폐기 및 교체가 이루어지고 있다. 이로 인해 유지보수 비용의 꾸준한 증가로 전체 운용비용이 증가하고 있어 비용 상승을 억제하기 위하여 주요부품에 대한 국산화 개발을 진행하고 있다.

8200호대 전기기관차 보조전원장치는 독일 지멘스사에서 개발한 것으로 현재 국내에서 확보하고 있는 원천기술이 없어 기술이전 분야도 극히 제한적이고 대부분의 주요 부품은 국외에서 조달하고 있는 실정이다. 특히 보조전원장치는 전기기관차의 송풍기 및 다른 보조전력 부하에 전원을 공급하는 장치로 기관차 운행에 있어 주요한 부품 중 하나이다. 이러한 보조전원장치에 요구되는

성능달성 및 총 소유비용 절감을 위해서는 정확한 수명주기비용의 모델 예측 및 정립을 통해 효율적인 유지보수 및 관리가 필요하다[1]. 본 논문에서는 8200호대 전기기관차의 보조전원장치 개발품에 대한 수명주기비용 분석을 통해 기존제품 대비 경제적 이익을 분석하고 효율적인 유지보수 및 비용절감 방안에 대한 합리적인 방법을 연구하고자 한다.

2. 본 론

2.1 8200호대 전기기관차 보조전원장치 구조 및 기능

그림 1은 8200호대 전기기관차의 전력변환 회로도를 나타낸 것으로 전력변환장치는 컨버터와 인버터로 구성된 전력변환부 및 유도전동기, 제어시스템으로 이루어진 추진시스템과 송풍기, 차량 내 조명 등 기타 부하에 전원을 공급하는 보조전원장치 등으로 구분할 수 있다. 보조전원장치는 주변압기에서 공급되는 단상 AC전원을 변환하여 전기기관차의 송풍기 및 다른 보조전력 부하에 가변전원을 공급하며 12량의 객차에 전원 공급이 가능하도록 설계하였다. 절연구간 진입 시에는 전차선으로부터 전원 공급이 차단되는 대신 기관차에 순간적으로 회생제동을 걸어 발생하는 전력으로 객차에 끊임없는 전원 공급이 가능하다. 내부에는 80[kVA] 정격출력을 갖는 두 개의 동일한 인버터가 내장된다. 따라서 한 개의 보조전원장치를 설치한 전기기관차는 160[kVA]의 보조전원 출력을 갖으며 한 개의 보조전원장치가 고장 시 나머지 보조전원장치로 연장급전이 가능하도록 2중계의 장치로 구성되어 있다. 개발품은 기존품 대비 용량을 20[kVA] 증가시켰으

† Corresponding Author : Dept. of Transportation System Engineering, Graduate School of Transportation, Korea National University of Transportation, Korea
E-mail: goldmoon@ut.ac.kr

* Dept. of Railway Vehicle & Operation System Engineering, Korea National University of Transportation

** Dept. of Transportation System Engineering, Korea National University of Transportation

Received : September 12, 2018; Accepted : October 28, 2018

며, 가장 큰 차이는 기존품의 경우 내부 부품이 단일구조로 이루어져 차상에서 분해하는 것이 매우 어려웠던 반면 개발품은 모듈구조의 단위부품 형식으로 설계되어 차상에서의 신속한 유지보수가 가능해졌다. 또한 장치 제어의 성능 향상을 위해 새로운 PWM 제어방식인 PLL(Phase locked loop) 제어기법을 개발 및 적용하였다.

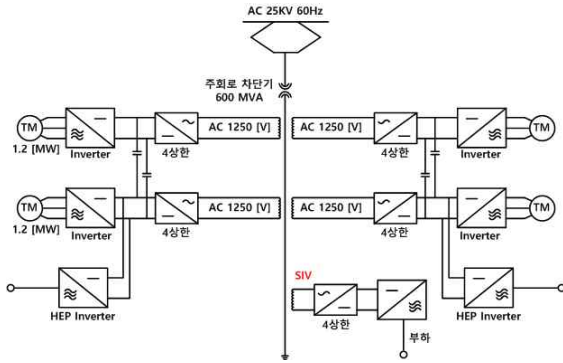


그림 1 8200호대 전기기관차 전력변환 회로도
 Fig. 1 8200 series electric locomotive power conversion circuit diagram

2.2 수명주기비용 평가모델 및 비용 산정 방법

본 논문에서 채택한 수명주기비용 분석 규격은 IEC 60300-3-3으로 수명주기비용의 개념에 대한 일반적인 내용을 담고 있으며, 분석 단계에 대한 구성이 체계적으로 기술되어 있어 적용하기에 가장 적합한 규격으로 판단하였다. 다만 직접적으로 적용하기에는 한계가 있어 보조전원장치의 특성에 맞게 식 (1)과 같이 평가모델을 작성하였으며, 각각 예방정비비(preventive maintenance), 고장정비비(corrective maintenance), 운영비(operation)를 나타낸다[2].

$$LCC = Cost_{preventive\ maintenance} + Cost_{corrective\ maintenance} + Cost_{operation} \quad (1)$$

수명주기비용 산정방법은 총 3가지로 단순합계법, 현재가치법, 연간비용환산법으로 나뉘는데 분석 대상에 따라 적용 방법에 차이가 있다. 단순합계법은 비용 계산 시 별도의 할인율을 적용하지 않아 분석 기간이 짧은 시스템에 적용하며, 현재가치법은 수명주기에 따라 발생하는 비용을 특정시점에 지불할 경우의 비용을 환산하는 방식이다. 연간비용환산법은 각 항목별 지출 비용에 할인율을 적용하여 현재 가치로 환산 후 전체 비용을 매년 같은 금액으로 균등 지불하는 방식이다. 철도차량 및 전장품의 경우 수명주기가 비교적 길며 비용에 대해 시간 변화에 따른 가치를 고려해야 하므로 현재가치법이 보조전원장치 수명주기비용 분석에 적합하다. 식 (2)는 현재가치법에 따른 비용 산정식을 나타낸다.

$$LCC = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+d)^t} \quad (2)$$

여기서 C_t 는 t 년 동안 발생한 모든 항목 비용을, N 은 총 분

석 기간을 나타내며, d 는 할인율을 의미한다[3].

2.3 보조전원장치 계층구조 분석

전기기관차 보조전원장치의 수명주기비용 모델을 개발하고 전기기관차의 수명주기 동안 유지보수 활동으로 인하여 발생하는 비용요소 부분을 분석하기 위해 각 시스템을 구성하고 있는 부품을 그림 2와 같이 기능적/공간적, 물리적/전기적 인터페이스를 고려하여 작성하였으며, 표 1은 분류체계 기반 LRU(Line Replacement Unit) 단위로 계층적 분류를 한 후 각 부품의 기능을 정리한 PBS 분석 결과이다[4].

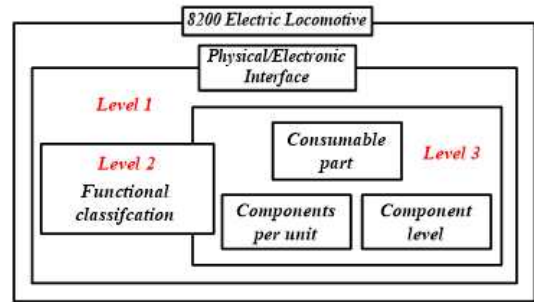


그림 2 PBS 분류체계
 Fig. 2 classification system of PBS

표 1 보조전원장치 PBS
 Table 1 PBS of auxiliary power unit

LEVEL	부품명 Item Description	기능 Function
1	보조전원장치	
1	SIBCOS (통신제어장치)	CCU 및 TCU와 통신을 통한 동작제어 및 상태정보 확인
2	PWM 전력모듈	AC 330V를 AC380V로 승압
1	제어장치	PWM제어 및 상태정보 수집
2	전력소자(IGBT)	스위칭을 통한 전압 조절
3	입력전류센서	입력 측 전류 감지를 위한 센서
4	출력전류센서	출력 측 전류 감지를 위한 센서
5	스너버 커패시터	서지전압 흡수
6	DC LINK 커패시터	
3	입력회로	입력 전력 차단 및 투입 회로
1	FUSE	과전류 차단
2	주접촉기	전력 공급 및 차단
3	보조접촉기	전력 공급 및 차단
4	조기충전저항	전력변환 스탭부 전압충전
5	입력필터 리액터	고조파 억제
4	출력회로	고조파 성분을 제거 회로
1	출력필터 리액터	고조파 억제
2	출력필터 커패시터	고조파 성분 억제
3	출력필터 저항	고조파 성분 억제
5	기타부품	
1	송풍기	장치 온도 상승 억제

2.4 비용평가모델 기반 관련자료 수집

2.2절에서 제시한 비용평가모델을 바탕으로 각 항목별 비용 산정방식을 표 2와 같이 정리하였다. 유지 보수비는 예방정비비 및 고장정비비의 합을 의미하며, 기타비용은 유지보수 시 소요되는 공구비 등으로 간접 운영비에 해당한다.

표 2 구성항목별 비용산정 방식

Table 2 Cost calculation method by configuration item

세부항목	비용 산정방식
운영비	- 편재 인원/설비 투입 MH에 의한 추정 - 차량 유지보수에 소비되는 전력사용 - 유지관리비 투입 MH에 의한 추정
유지보수비	- 부품별 정비주기 매뉴얼에 의한 추정 - 정기검수 투입 MH 정보에 의한 추정 - 고장관리정보에 의한 추정 - 부품별 RAMS 정보에 의한 추정 - 내용연수에 따른 교체비
기타비용	- 기타 운영과 유지보수에 따른 공구비 - 소요 인원/설비 투입 MH에 의한 추정

운영비 산정에 필요한 MH(Man-Hour)는 표 3의 최근 5년간 한국철도공사 직원평균보수에 근거하여 산정하였다. 1인당 연평균 보수 기준 평균 근무일수를 바탕으로 1인당 1일 임금을 계산하였다. 유지보수에 소요되는 전력의 경우 용산과 부산 전기기관차정비창의 5년간 전력소비량을 바탕으로 보조전원장치 및 관련 장비에 소요되는 전력량을 산출하였다.

표 3 한국철도공사 직원 평균 보수

Table 3 Average wage of Korea railroad corporation employee

단위 : 천원

구 분	2014	2015	2016	2017	2018
1인 평균 보수	62,338	68,149	67,766	67,292	66,168
기본급	36,733	38,160	37,141	39,615	40,645
고정수당	11,376	12,325	11,800	12,475	12,799
실적수당	8,014	7,479	9,041	6,389	6,556
복리후생	993	997	997	994	1,020
기 타	5,222	9,188	8,787	7,819	5,148
상시종업원 수	27,609	27,019	26,770	27,061	28,106
1일 임금	201.09	219.84	218.6	217.07	213.44

출처 : 공공기관 경영정보 공개시스템(www.alio.go.kr)

예방정비비 및 고장정비비는 차량 유지보수에 따라 발생하는 비용으로 부품 내구연한 도래 또는 고장으로 인한 부품 교체비와 정비에 필요한 노동력의 인건비, 정비종류에 따른 보조전원장치 검사항목 및 검수비율로 구성된다.

표 4 8200호대 전기기관차 정비 주기

Table 4 8200 series electric locomotive maintenance cycle

정비종류	약호	주기 및 회기		비고
		주행거리(km)	회기(회)	
반복정비	RS	-	2일1회	
기본정비	ES	5,000	-	
경정비 (Level 2)	LI-3	40,000	4개월	
	LI-8	240,000	22개월	
중정비 (Level 3~4)	GI-3	480,000	42개월	
	GI-6	960,000	7년	
	GI-9	1,920,000	14년	
	GI-10	2,880,000	22년	

전기기관차의 정비종류 및 주기는 표 4와 같이 크게 기본정비(ES), 경정비(LI), 중정비(GI)로 이루어져 있어 주행거리와 회기한도에 따라 유지보수가 이루어진다. 각 정비에 따른 설비별 검사항목은 표 5와 같으며, 전체 검사항목 중 보조전원장치에 해당하는 항목을 분류하여 정비종류별 보조전원장치 검수비율을 산출하였다[5].

표 5 유지보수지침서 내 설비별 점검항목

Table 5 Inspection item by facilities in maintenance guideline

부 품	검사 항목	ES	LI-3	LI-8	GI-3	GI-6	GI-9	GI-10
운전실	72	13	32	44	54	66	67	72
기계실	160	15	57	82	102	149	153	159
지붕장치	46	14	29	31	34	45	46	46
차체 및 대차	123	30	70	79	87	113	117	123
점검항목 총계	401	72	188	236	277	373	383	400
보조전원장치 (보조변환기함)	14	0	5	9	9	12	13	14
년간 검수횟수	회	182.5	3	0.5	1	0.15	0.07	0.45
검수기간	연/일	5/3	90/5	90/5	90/5	90/5	90/5	90/5

부품 수명 도래 또는 고장에 따른 교체주기를 산정하기 위해서는 실제 필드 데이터 상의 고장이력을 기반하여 통계적으로 추정을 하지만 본 논문과 같이 분석하고자 하는 대상의 고장이력이 없는 신규 개발 부품의 경우 고장데이터에 대한 취득이 어렵다. 따라서 보조전원장치 개발품의 계층구조를 기준으로 고장률 예측 및 고장수목 분석을 실시하여 부품의 수명을 예측하였다.

전자 부품 및 기계 부품의 정상상태 고장률은 Telcordia, MIL-HDBK-217, NSWC 등과 같은 기준서, EPRD, NPRD와 같은 데이터북 및 제조사에서 제공하는 수명자료를 적용하여 예측이 가능하다. 보조전원장치 개발품에 대해서는 Telcordia사의 SR-332를 기준으로 고장률 예측을 실시하였다. SR-332에서 제

시하는 고장률 계산식은 식 (3)과 같다[6].

$$\lambda_{SS} = \lambda_G \pi_Q \pi_S \pi_T N_i \quad (3)$$

각각 부품의 일반 정상상태 고장률, 품질 요소, 전기적 스트레스 백분율에 따른 부품 스트레스 요소, 정상상태에서 일반 동작 온도에 근거한 부품 온도 요소, 부품의 수량을 의미한다. 각 요소에 부합하는 조건과 값을 적용하여 부품 고장률을 산출하였으며, 기본적인 조건으로 품질수준은 II레벨을 적용하고 전기적 스트레스와 온도 스트레스는 각각 50%, 여름철 평균 외기온도 기준 40°C로 정하였다. 예측 결과는 표 6과 같다.

표 6 보조전원장치 고장률 예측 결과

Table 6 Failure rate prediction result of auxiliary power unit

장치명 Item Description	수량 Q'ty	고장률 (Failure/hour)	평균수명 (hours)
보조전원장치			
SIBCOS(통신제어장치)	2	1.08573E-05	92,104
PWM 전력모듈			
제어장치	2	5.25569E-07	1,902,698
전력소자(IGBT)	10	2.01204E-07	4,970,090
입력전류센서	2	2.01455E-07	4,963,881
출력전류센서	6	6.04366E-07	1,654,627
스너버 커패시터	10	5.0743E-07	1,970,717
DC LINK 커패시터	32	1.62377E-07	6,158,489
입력회로			
FUSE	2	6.34515E-07	1,576,009
주접촉기	2	5.41758E-07	1,845,843
보조접촉기	2	5.41758E-07	1,845,843
초기충전저항	2	2.00952E-08	49,763,066
입력필터 리액터	2	3.81237E-08	26,230,402
출력회로			
출력필터 리액터	2	3.81237E-08	26,230,402
출력필터저항	6	6.02857E-08	16,587,688
출력필터 커패시터	6	3.04458E-08	32,845,276
송풍기	1	1.50626E-06	663,894

2.5 RBD 및 FTA에 따른 시스템 고장률과 평균수명

신뢰성 블록도(Reliability Block Diagram, 이하 RBD)는 부품이 주어진 기능을 수행하기 위해 정상적으로 동작하여야 하는 내부 구성 하드웨어 간의 연결 관계도를 의미한다. 고장수목분석(Fault Tree Analysis, 이하 FTA)은 시스템 고장을 발생시키는 원인들과의 관계를 논리 기호(AND, OR 등)로 표현하고 이를 나뭇가지 형태(Fault Tree)로 모델링하여 시스템의 고장확률을 구하는 신뢰도 분석 방법이다. 일반적으로 시스템의 구성형태에 따라 계산식과 분석방법이 달라지며 직렬구조와 병렬구조의 두 가

지 형태로 구분된다. 부품 하나의 고장이 상위 부품 고장으로 연결될 경우 직렬구조, 2개 이상의 부품 고장이 발생 시 상위 부품 결함으로 연결될 경우 병렬구조라 하며, 보조전원장치는 직렬구조 형태를 가지고 있다. 분석은 PBS의 2 Level 기준으로 실시하였으며, 그림 3은 2 Level 구성품 중 하나인 PWM 전력모듈에 대한 RBD 및 FT를 나타낸다[7].

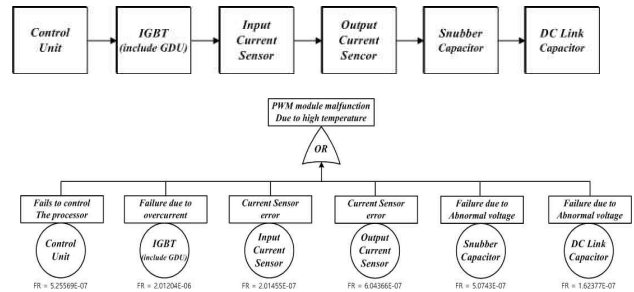


그림 3 PWM 전력모듈 RBD 및 FT

Fig. 3 RBD and FT of PWM power module

SR-332에서는 직렬구조로 구성된 시스템의 신뢰도 계산식을 제시하고 있으며, 각 부품의 수명이 지수분포를 따른 경우 직렬 시스템의 신뢰도($R_s(t)$)와 평균수명($MTBF_s$)은 각각 식 (4)와 (5)로 산출한다.

$$R_s(t) = R_1(t) + R_2(t) + R_3(t) + R_4(t) + \dots + R_n(t) \\ = \sum_{i=1}^n R_i(t) = e^{-\left(\prod_{i=1}^n \lambda_i\right)t} \quad (4)$$

$$MTBF_s = \int_0^{\infty} t \cdot f_s(t) dt = \int_0^{\infty} R_s(t) dt \\ = \int_0^{\infty} e^{-\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i\right)t} dt = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{1}{\lambda_s} \quad (5)$$

보조전원장치 계층구조 기준 Level-2 단위에서의 구성품에 대해 RBD 및 FT를 작성하여 각각의 고장률과 평균수명에 대해 분석한 결과를 정리해보면 표 7과 같다. 분석한 결과에 따르면 보조전원장치는 하루 16시간 운행하여 1년동안 5,840시간 운행할 경우 전체 시스템의 평균 수명은 92,104시간으로 약 15.7년으로 추정 가능하다.

표 7 보조전원장치 신뢰도 분석 결과

Table 7 Reliability analysis result of auxiliary power unit

장치명	Failure Rate(λ)	MTBF(hours)
SIBCOS (통신제어장치)	1.08573E-05	92,104
PWM 전력모듈	1.04743E-05	95,471
입력회로	1.06575E-05	93,831
출력회로	9.81069E-06	101,929

2.6 보조전원장치 수명주기비용 예측

수명주기비용 예측을 수행하기 위한 조건은 다음과 같다. 기본적으로 유지보수와 운영에 초점을 맞추어 분석을 수행하였으며 할인율은 철도가 공공재의 특성을 가짐에 따라 기획재정부에서 고시한 사회적 할인율을 적용하였다. 총 분석기간은 기관차 평균 내구연한을 고려하여 30년으로 설정하였고 기타 분석에 필요한 자료는 한국철도공사 직원평균보수 및 유지보수 매뉴얼을 참조하여 분석을 실시하였다.

그림 4는 보조전원장치 년도별 LCC 누적비용과 예방정비비의 누적비용을 보여준다. 15년에서 18년차 사이에 수명주기비용이 급격히 증가함을 확인할 수 있었는데 이는 내구연한에 따라 부품 교체가 이루어지며 유지보수 비용이 증가하기 때문이다. 이외에 물가 상승률에 따른 인건비 증가와 노후로 인한 고장정비비 증가로 전체적인 비용은 일정하게 증가하는 그래프를 보이고 있다. 그림 5는 보조전원장치 주요부품의 수명주기비용 예측 결과로 전반적으로 주기적인 정비에 따른 예방정비 비용과 부품 고장 및 내구연한에 의한 부품 교체로 재료비의 비중이 높았다.

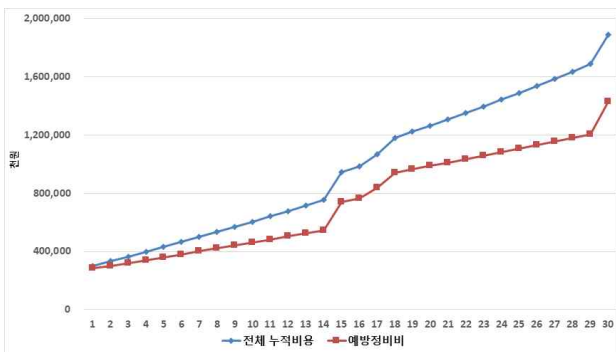


그림 4 년도별 LCC 누적비용과 예방정비비
Fig. 4 Cumulative LCC and preventive maintenance cost per year

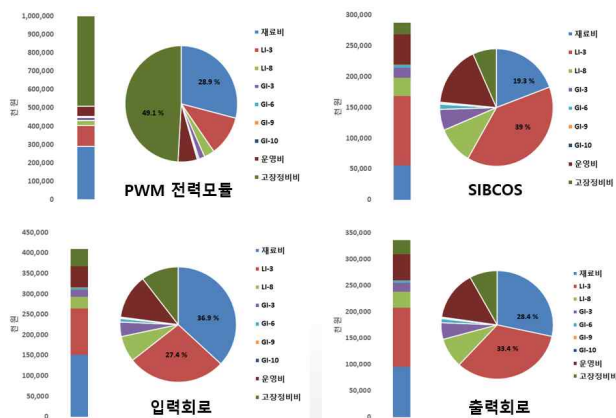


그림 5 주요부품 수명주기비용 예측 그래프
Fig. 5 Prediction graph of major parts life cycle cost

다만 예외적으로 PWM 전력모듈의 경우 고장정비 비용이 가장 높은 비중을 차지했는데 이는 정비를 통한 부품 교체수가 많기 때문이다.

2.7 기존품과의 LCC 비교분석 및 민감도 분석

도출한 보조전원장치 개발품 수명주기비용을 기준으로 기존품 대비 LCC 절감 비율에 대해 확인하고자 동일한 방법으로 기존품에 대한 수명주기비용 분석도 실시하였으며, 비교 결과는 그림 6과 같다.

초기 도입 비용에서는 개발품에 대한 도입비용 발생으로 기존품의 비용이 더 낮았으나 년 수가 증가할수록 기존품에 대한 유지보수비용이 증가하면서 평균 약 25%에서 38%까지의 차이를 보였으며, 최대비용 차이를 보이는 구간에서는 약 42%의 차이를 보였다. 최대차이를 보이는 구간은 기존품의 내구연한 도래에 의한 부품 교체 시기와 맞물려 기존품 유지보수 비용의 증가가 발생했기 때문이다. 30년까지 사용 시 수명주기비용 차이는 약 32%로 3.5억원의 비용 절감이 가능함을 확인하였다. 절감이 가능한 주원인은 부품 국산화로 인한 보수품 취득단가의 절감과 부품 신뢰성 개선으로 인한 고장률 및 부품 교체주기 감소로 볼 수 있다.

이 중에서도 교체주기의 감소가 비용 감소의 가장 큰 원인으로 꼽혀 부품의 고장 간 간격인 MTBF의 변화에 따라 얼마만큼 비용을 추가적으로 감소시킬 수 있는지에 대해 확인하고자 MTBF의 민감도 분석을 실시하였다. MTBF가 증가할 경우 물가 상승률에 의해 재료비는 상승할 수 있으나, 부품 사용 시간이 증대되어 미래 비용은 감소하게 된다. 분석을 위해 각 주요부품의 MTBF를 -50%에서 +50%까지 5% 단위별로 변화시켜 민감도 분석을 실시하였다. 분석 결과를 그래프로 나타냈으며 그림 7과 같다.

처음 기준값에서 10~15%까지는 비용이 감소하였으나 15%를 지나는 시점부터 감소폭이 급격히 낮아졌다. 이는 MTBF가 10~

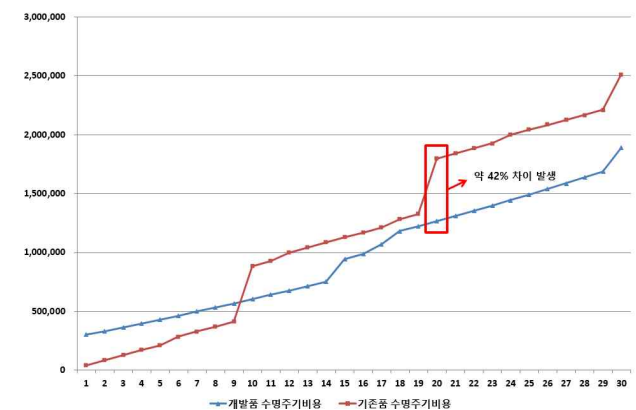


그림 6 보조전원장치 기존품 및 개발품 LCC 비교
Fig. 6 LCC comparison results of existing and developed auxiliary power unit

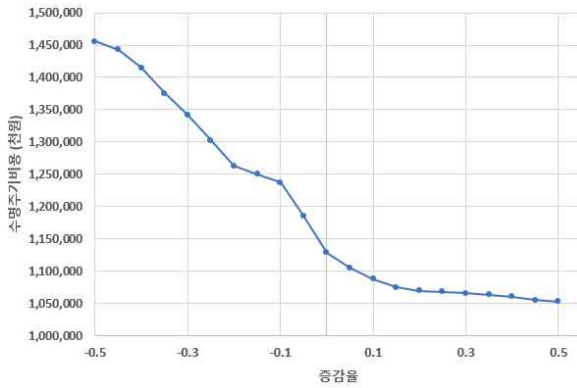


그림 7 MTBF 증감에 따른 수명주기비용 변화
Fig. 7 Life cycle cost changes according to MTBF increase and decrease

15% 가량 증가하는 것은 전체적인 비용 절감 효과를 볼 수 있으나, 그 이상의 증가는 높은 품질로 인하여 신뢰성은 증가하겠지만 비용 대비 효율이 매우 낮다는 것을 보여준다. 민감도 분석 결과를 바탕으로 추후 비용절감을 위한 부품 품질 개선 시 일정 수준에서의 품질관리가 필요함을 확인하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 8200호대 전기기관차 보조전원장치 개발품에 대한 합리적이고 경제적인 유지보수를 위해 규격서에 기반한 수명주기비용을 분석하였고 기존품 대비 개발품의 경제적 이익 및 수명주기비용 절감 방안을 분석하였다. 비용 분석 과정에서 부품의 수명에 따른 예방정비 비용을 명확히 산정하기 위해 시스템 하위 구성품별 신뢰도 분석을 실시하여 고장률 및 평균수명을 도출하였으며, 개발품 수명주기비용을 대상으로 MTBF에 대한 민감도 분석을 실시하여 비용 절감 방안을 제시하였다. 개발품 수명주기비용 분석과정을 기존품에 동일하게 적용하여 분석 및 비교한 결과 개발품이 기존품 대비 약 3.5억 원의 비용 절감이 가능하여 경제적인 면에서 개선되었음을 확인하였다. 개발품에 대한 MTBF 민감도 분석 결과는 약 10%~15%의 MTBF 개선은 비용 절감에 효율적이거나 그 이상의 개선은 부품 품질 대비 비용 효율이 떨어지는 것으로 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 국토교통과학기술진흥원에서 ‘전기기관차(8200호대) 보조전원장치 실용화 기술개발’ 과제의 지원을 받아 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] J. H. Jo, “Study on the maintenance management system by analyzing the Rolling stock Life Cycle Cost”, *master thesis*, 2010.
- [2] IEC 60300-3-3, “Dependability management - Part 3-3: Application guide - Life cycle costing”, 2005.
- [3] K. H. Kim, “An application of life cycle cost analysis to tunnel maintenance and management”, *master thesis*, 2013.
- [4] C. J. Yun, M. G. Noh, and J. M. Kim, “The Life Cycle Cost Estimation for Domestic Products Motor Block of KTX-1 Considering Periodic Maintenance”, *KIEE*, vol. 62, No. 2, pp.288-292, 2013.
- [5] Korea railroad corporation, “Electric locomotive(NEL) Maintenance Guideline”, Vol. 3~Vol. 5, 2008.
- [6] Reliability prediction of electric and electronic parts, Reliability innovation center, 2006.
- [7] Suwon university reliability innovation center, “Reliability prediction of electric and electronic parts”, 2009.

저 자 소 개



이 계 승 (Kye-Seung Lee)

2016년 한국철도대 철도차량전기와 졸업.
 2018년 한국교통대학교 일반대학원 철도차량운전시스템공학과 석사취득.



김 완 일 (Wan-il Kim)

2016년 한경대학교 전기전자제어공학과 졸업.
 2018년 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과 석사취득. 현재 동 대학원 교통정책교통시스템공학과 박사과정 재학.



창 윤 우 (Yoon-Woo Chang)

2017년 경기대학교 경영학부 졸업. 2018년 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과 석사과정 재학.



김재문 (Jae-Moon Kim)

1994년 성균관대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 동 대학원 졸업(공학). 2000년~2004년 현대모비스(주) 기술연구소 선임연구원. 2006년~현재 국토교통부 철도기술 전문위원, 2004년 3월~현재 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과/철도전기전자공학과 교수
E-mail : goldmoon@ut.ac.kr