ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 67, No. 2, pp. 331~336, 2018
http://doi.org/10.5370/KIEE.2018.67.2.331

8200호대 전기기관차용 기존품 보조전원장치의 수명주기비용 평가에 관한 연구

A Study on the Life Cycle Cost Evaluation of the Conventional Auxiliary Power Unit for 8200 Series Electric Locomotive

이 계 승* · 김 완 일** · 김 재 문†
(Kye-Seung Lee · Wan-il Kim · Jae-Moon Kim)

Abstract - In this paper, the life cycle cost of the auxiliary power unit in the conventional 8200 series electric locomotive is evaluated and an effective life cycle cost reduction method is sought. For this, a life cycle cost evaluation model was proposed using IEC 60300-3-3 standard. As a result of analysis, material cost which accounted for a large percentage of preventive maintenance cost, accounted for 64% of total cost, and breakdown maintenance cost was as high as 27%. Except for the cost of preventive maintenance, the breakdown maintenance cost ratio was the highest. In order to reduce the LCC of the auxiliary power unit(APU) of the 8200 series in the future, it is necessary to reduce the material cost in case of development and to secure the high reliability according to the parts manufacturing so as to minimize the maintenance cost.

Key Words : Auxiliary power unit, Life cycle cost, Evaluation model, Preventive maintenance cost, Electric locomotive

1. 서 론

현재 철도차량 중에 장기간 운영으로 인해 많은 수량이 노후화가 많이 진행되고 있으며, 이에 따른 유지보수 비용이 증가하고 있다. 유지보수 비용 증가 원인으로 개발 부품과 기존 부품간의 호환성 결여, 주요 부품에 대해 높은 해외 의존도로 인한 보수품 가격 상승 등이 있다. 그 중에서도 8200호대 전기기관차는 2003년 도입되어 약 15년간 운행되고 있으며, 해외로부터 차량 형태로 전량 수입하여 운영되고 있으나 부품 단종 및 보수품 확보가 어려워 유지보수에 어려운 실정이다. 이로 인해 전기기관차를 계속 운용할 경우 안전에 문제가 발생할 뿐만 아니라 유지보수비용 증가로 인해 외화낭비가 심각한 수준에 이르게 된다. 따라서 이러한 문제를 개선하고자 8200호대 전기기관차의 주요부품 중 보조전원장치에 대한 국산화 개발이 진행되고 있다. 이와 더불어 철도 산업분야에서는 철도시스템의 안정적인 운영과 경제적 유지보수를 위해 수명주기비용에 대한 연구도 이루어지고 있다. 해외의 경우 'IEC60300-3-3', 'SAE ARP 4293' 등 다양한 규격을 제정하여 수명주기비용 분석에 관한 연구를 활발히 진행하고 있으며, 유럽연합에서는 수명주기비용 계산모델을 개발, 프로그램화하여 수명주기비용을 계산하고 평가하고 있다. 여기서 수명주기비용(Life Cycle Cost, 이하 LCC)은 평가하고자 하는 시스템의 수명주기 동안 발생하는 총 비용을 추정, 평가하는 방법으로 운행 중인 8200호대 전기기관차 보조전원장치에 대한 각종 자료를 수집하여 수명주기 비용을 분석하고 운영의 주체 즉, 운영기관의 관점에서 유지보수 비용을 최소화할 수 있도록 해야 한다[1][2].

본 논문에서는 현재 운영하고 있는 8200호대 전기기관차용 보조전원장치에 대한 수명주기 비용 분석을 위해 관련 데이터 및 유지보수 매뉴얼 자료를 활용하여 제품분류체계(Product Breakdown Structure, 이하 PBS)를 분석하였다. 이를 통해 보조전원장치 수명주기비용 분석에 적합한 비용평가모델을 설정하여 전기기관차 운영에 따른 보조전원장치 유지보수비용을 예측하였다.

2. 본 론

2.1 보조전원장치 수명주기비용 평가모델 설정

시스템의 수명주기 동안 수명주기비용을 계산 및 분석하기 위해서는 비용평가모델 선정이 우선적으로 이루어져야 한다. 비용평가 모델 중 'SAE ARP 4293'은 미래 기술비용 예측 및 불확실성을 추정하기 위한 모델로 분석기간 동안 실질적인 지출 비용요소와 분석 시정에서의 예측 비용요소를 포함하고 있다. 'UNIFE LCC'는 가용성 성능지수를 이용하여 TRS(Total Railway

† 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, Korea
** Dept. of Transportation System Engineering, Korea National University of Transportation, Korea
Received : January 3, 2018; Accepted : January 23, 2018

Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

System)내의 RAMS 및 LCC 적용방안을 제시하고 있다. 따라서 본 논문에서는 예방정비 비용과 고장정비 비용을 포함한 신인성 관련 비용을 주요인자로 하는 'IEC 60300-3-3' 규격을 준용하여 비용평가를 실시하였으며, 그림 1은 'IEC 60300-3-3' 규격의 비용평가 모델을 도식화한 것이다.

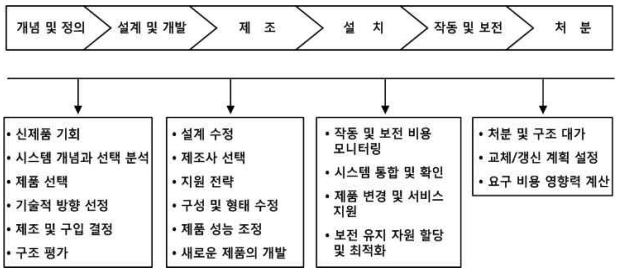


그림 1 IEC 60300-3-3 비용평가 모델

Fig. 1 Cost evaluation model of IEC 60300-3-3

'IEC 60300-3-3' 비용평가 모델은 제품의 수명주기 단계를 개념 및 정의, 설계 및 개발, 제조, 설치, 작동 및 보전, 처분의 6단계로 정의하고 있어 체계적인 분석이 가능하며, 타 분야에서도 수명주기비용 계산시 일반적으로 적용하고 있는 규격이다[3]. 기본적으로 수명주기비용(LCC) 예측에는 많은 양의 데이터가 요구되나, 현재 운영 중인 전기기관차의 경우 고장이력, 유지보수 체크리스트 등의 운행이력 관련 데이터 정립이 최근에 이루어져 데이터에 대한 신뢰도가 낮은 편이다. 또한 전기기관차 도입 당시 차량단위로 일괄 구매가 이루어져 각 서브시스템별 부품 단가가 제시되어 있지 않아 보조전원장치에 대한 취득가격이 불분명한 상태이다. 따라서 상기에서 언급한 'IEC 60300-3-3' 비용평가 모델을 그대로 적용하기에는 어려움이 있다.

본 논문에서는 수명주기비용 분석을 위해 8200호대 전기기관차 유지보수 매뉴얼, 기타 관련 도면 등의 다양한 자료를 수집하여 PBS 분류를 정립하였다. 이를 토대로 식 (1)과 같이 8200호대에 대한 수명주기비용 평가모델을 도출하였으며 크게 예방정비비, 고장정비비, 운영비로 구성된다.

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

2.2 8200호대 보조전원장치의 PBS

시스템에 대한 PBS는 수명주기비용 모델링 및 분석에 있어 핵심적인 요소로 시스템 구성품의 관계를 계층적으로 나타낸 구성도를 의미한다. 따라서 PBS는 시스템의 형상을 바탕으로 구성품이 장착 위치와 시스템 기능, 유지보수 활동에 따른 비용 요소의 발생 및 비용 범주를 정의하는 것이 중요하다. 그러므로 전기기관차 보조전원장치의 PBS는 각 장치의 기능을 중심으로 고려해야 하며, 추가적으로 기능을 수행하는 구성품이 장착되는 공간을 고려, 기능적/공간적 정보를 바탕으로 이루어져야 한다. 따라서 기능적/공간적 특성과 물리적/전기적 인터페이스 상관관계 등을 반영하여 Level-1 대분류를 정의하였다. 그리고 Level-2는 독립적으로 정의할 수 있는 개체 단위의 장치로 중분류 하였으며, Level-3~4는 소분류로 장치별 구성요소 또는 부품 수준 단위의 세부 하위품목으로 구성되어 있다.

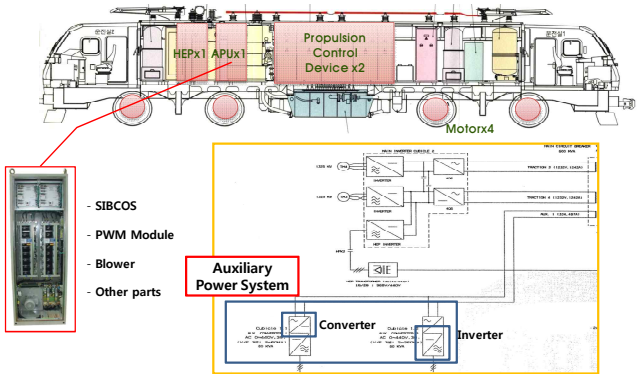


그림 2 8200호대 전기기관차 보조전원장치 구성도

Fig. 2 Configuration of APU for 8200 series electric Locomotive

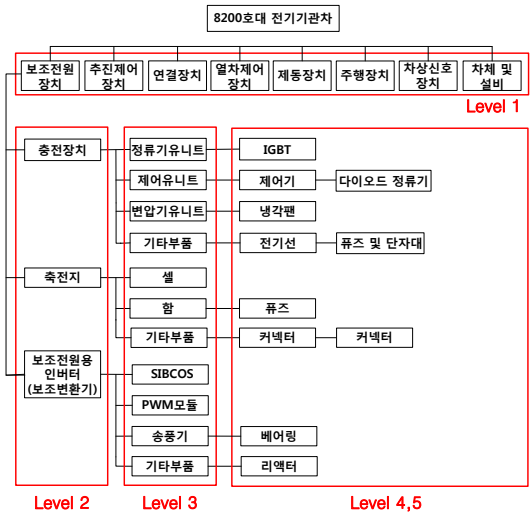


그림 3 8200호대 전기기관차용 보조전원장치의 PBS

Fig. 3 PBS of APU for 8200 series electric Locomotive

그림 2는 8200호대 전기기관차 보조전원장치의 구성을 보여준다. 그림 3은 8200호대 전기기관차 PBS 분류를 나타낸 것으로 기능적 분류를 통해 Level-1에서 차체 및 설비, 주행장치, 제동장치, 추진제어장치, 보조전원장치 등으로 분류하였으며, Level-2에서는 객체 단위로 충전장치, 축전지, 보조전원용 인버터로 중분류하였다. Level-3~4에서는 장치별 부품수준 단위의 소분류로 구분하였다.

2.3 보조전원장치 CBS 분석

비용분류구조(Cost Breakdown Structure, 이하 CBS)는 시스템의 PBS 도식화를 토대로 수명주기비용 평가를 위하여 각 계층

에 대해 비용평가 기준 설정이 필요하며 이에 대한 비용 요소들의 구조를 의미한다. CBS는 획득비용과 운영 유지비용으로 크게 구별되며, 각각 세부적인 비용 요소로 구성되어 있다[4]. 정확한 유지보수비용 산출을 위해서는 비용요소들이 명확하게 정의되거나 예측될 수 있도록 확인해야 한다[5]. 표 1은 전기기관차의 CBS를 나타낸 것으로 운영 유지비용은 전기기관차 운영 및 유지보수 비용으로 구분할 수 있다. 운영비는 전력 사용비용 및 열차 운영에 소요되는 인건비, 차량기지 운영비 등으로 구성되어 있다. 유지보수비용은 예방정비 및 고장정비에 대해 각각 계산한 후, 이를 종합하여 시스템에 대한 유지비용으로 계산한다. 또한 개량비용은 유지보수 비용의 많은 부분을 차지하고 있는 부분으로 실제 운영할 때는 고려하지 않는 사항이나 시스템 운영에 따른 수명주기비용 분석을 수행하기 위해서는 별도의 정의가 필요한 부분이다. 하지만 실제 개선에 따른 소요비용 데이터가 정확하지 않아 본 논문에서는 제외하였다.

표 1 8200호대 전기기관차 CBS
Table 1 CBS of 8200 series electric locomotive

비용요소			내 용
운영	운영비	전력비	차량 운행에 소비되는 전력사용
		차량기지 운영비	운영과 유지보수 이원화에 따른 기지 운영비
유지비용	예방정비비		가용상태 유지를 위한 유지 보수비
	고장정비비		가용상태로 회복을 위한 유지 보수비
	개량비용		차량 성능을 개선하기 위해 소요되는 비용

2.4 보조전원장치 고장이력 및 유지보수 주기 분석

식 (1)에서 언급한 수명주기비용 평가모델을 바탕으로 예방정비비와 고장정비비에 대한 비용 도출을 위해서는 전기기관차의 유지보수주기와 고장이력에 대한 분석이 필요하다.

표 2와 표 3은 각각 전기기관차의 정비 주기와 약호에 대한 의미를 나타낸 것이다. 유지보수 체계는 정비 범위 및 종류에 따라 4단계의 예방 작업 수준인 반복정비, 기본정비, 경정비 및 중정비로 구성된 하나의 사이클로 이루어진다. 각 유지보수는 주행거리와 회기한도에 따라 나누어지며, 두 개 기준 중에 우선 도달하는 것에 맞춰 정비를 실시하게 된다. 반복정비는 운행 중 정기적으로 실시하는 검사로 불규칙하고 우발적인 고장을 찾아내는 검수단계이다. 기본정비는 예정된 검수 주기에 도달할 경우 전기기관차의 신뢰성 수준을 유지하기 위하여 전문 인력을 통해 차량 또는 부품에 대한 정기 검수를 실시하는 단계이다.

경정비는 정기 예방 유지보수 단계로 부품이 사용수명에 도달하였을 경우 부품 교환검수를 실시한다. 그리고 중정비는 부품 또는 차체를 완전히 분해하여 점검하는 작업(Overhaul)으로 종합적인 분해검사 및 복원수리를 실시한다. 최근 5년간 운행 중인 전기기관차의 계통별 고장현황을 살펴보면, 표 4에서 볼 수 있듯

표 2 전기기관차 정비주기
Table 2 Electric locomotive maintenance cycle

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

표 3 전기기관차 정비종류별 의미
Table 3 Maintenance types meaning of electric locomotive

약호	원어	정비명	비고
RS	Return Service	반복정비	일반차량
ES	Examination Service	일상정비	
LI	Limited Inspection	제한정비	경정비
GI	General Inspection	일반정비	중정비

표 4 전기기관차 계통별 고장현황
Table 4 Fault status on conventional electric locomotive system

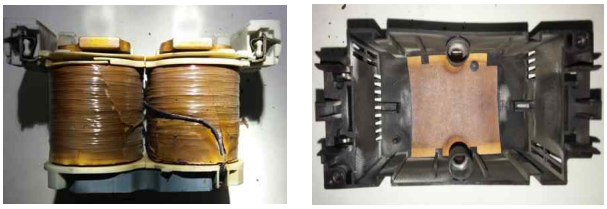
구 분	계	전력변환	전기계통	공기제동	차체주행	기타
`11년	27	5	8	5	8	1
`12년	24	2	9	2	11	-
`13년	26	5	12	2	3	4
`14년	27	9	9	1	5	3
`15년	18	3	10	1	4	-
소계	122	24	48	11	31	8
년 평균	24.1	4.8	9.6	2.2	6.2	1.6
고장률	100%	19.6%	39.3%	9.0%	25.4%	6.5%

이 보조전원장치가 포함된 전기계통에서 전체 122건 중 48건 발생하여 고장비율이 39.3%로 가장 많이 발생하였으며, 추진제어장치인 전력변환 19.7%, 공기제동계통 9.0%, 차체 주행계통 25.4%, 기타 6.6% 순으로 발생하였다.

2.5 보조전원장치 주요 고장원인

고장현황을 바탕으로 보조전원장치 주요 고장원인을 분석해본 결과 부품별로는 회로차단기, 감지기 및 카드류, 계전기류, 공기계통 동결에 의한 고장이 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 최근 고장발생 경향은 계전기, 접촉기, 축전지, 제작사 작업불량 등에 의한 고장이 증가하고 있는 추세이다. 몇 가지 고장현황을 살

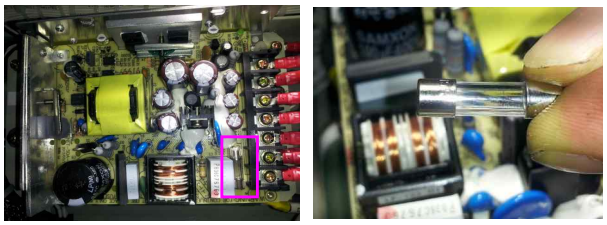
펴보면 그림 4와 같이 축전지 충전전원 계전기 불량으로 인한 고장이다. 충전전원 계전기 여자용 전원은 정상 공급되었으나, 계전기 코일 저항 값의 불량으로 여자되지 못하여 코일 열화가 발생한 사례이다.



충전전원계전기 코일 열화　　충전전원계전기 커버 열화

그림 4 충전전원 계전기 고장
Fig. 4 Fault of Relay for charging power

그림 5는 충전장치 제어전원 공급기 퓨즈 용손으로 인한 고장 사례이다. 축전지 충전장치 제어유니트 내부 제어전원 공급기(Power Supply)의 퓨즈 용손에 의해 충전장치 제어용 공급전원이 차단되어 충전전압을 발생시키지 못해 축전지 전압이 강하하여 열차 운행이 중지되었다.



제어유니트 제어전원 공급기　　퓨즈 용단

그림 5 충전장치 퓨즈 용단
Fig. 5 Fuse Fusing of charger

2.6 보조전원장치 LCC 분석

식 (1)에서 제시한 수명주기비용 평가모델을 통한 비용 분석을 실시하기 위해 기본적인 조건을 설정하였다. 표 5는 비용평가 구성항목별 비용 산정방식을 나타낸 것이다. 우선적으로 운영 유지비용에 대한 운영비, 예방 및 고장정비비에 소요되는 인건비는 코레일 직원 평균임금 자료를 인용하여 인당 1일 임율을 산정하였다. 수명주기 비용 산출은 1편성 기준으로 하였으며, 환경비용의 대부분은 해체, 폐기 시 비용이 발생되고 국내에서는 관련 기준이 정립 단계이므로 환경비용은 제외했다. 수명주기 비용항목은 2.3절의 CBS를 바탕으로 초기 도입비용, 해체 및 폐기 비용을 제외한 유지관리 비용(운영, 고장정비, 예방정비비)으로 한정한다. 부품별 내용년수는 코레일 고정자산 회계지침에 의거하였으며 [6], 불분명한 것은 제조사 제품특성을 적용하여 산정했다. 분석기간은 수명주기비용 산출 시 품목별 내용년수가 다르므로 30년으로 가정하였다.

표 5 구성항목별 비용산출 방식
Table 5 Cost estimation method by configuration item

구 분	세부 항목	비용 산출방식
유지 관리비	운영 비용	- 편재 인원/설비 투입 MH(Man- Hour; 1인 노동시간)에 의한 추정 - 차량 유지보수에 소비되는 전력사용 - 유지관리비 투입 MH에 의한 추정
	유지 보수 비용	- 부품별 정비주기 매뉴얼에 의한 추정 - 정기검수 투입 MH 정보에 의한 추정 - 고장관리정보에 의한 추정 - 부품별 RAMS 정보에 의한 추정 - 내용연수에 따른 교체비
	기타 비용	- 기타 운영과 유지보수에 따른 공구비 - 소요 인원/설비 투입 MH에 의한 추정

2.6.1 비용평가 항목별 비용 산정

예방정비 비용은 표 6과 같이 코레일 유지보수 매뉴얼을 참고하여 작성하였다. 설비별로 점검항목을 비율 환산 및 점검종별에 대하여 표 7 및 표 8과 같이 분석방법을 설정하였다. 운영비는 식 (2)와 같이 설정하였으며 차량 유지보수에 소요되는 전력비와 차량기지 운영에 따른 비용으로 구성된다. 그리고 식 (3)은 고장정비 비용으로 전기기관차 도입 이후 보조전원장치의 부품당 사용량 분석 자료 및 유지보수지침서 내 정기 소요량을 비교하여 정기 소요량 외에 사용된 부품 수량을 파악하여 금액을 산정하였다.

$$\text{운 영 비} = \text{예방정비비} \times 0.03(\text{운영비/차량기지 운영비}) \quad (2)$$

$$\text{고장정비비} = (\text{부품당 교체수} / \text{사용년도}) \times \text{단가} \quad (3)$$

표 6 유지보수지침서의 설비별 점검항목
Table 6 Inspection items for each facility in the maintenance manual

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

표 7 점검주기 당 점검항목 비율
Table 7 Inspection item rate per inspection cycle

부 품	주 기	ES	LI	GI	비 고
	비 율	점검항목/72	점검항목/424	점검항목/1433	부품당

표 8 점검종별 분석방법
Table 8 Analysis method of inspection type

점검 종별	분석 방법	점검 종별	분석 방법
ES	5인 × 2일	LI	20인 × 5일
LI	20인 × 5일	GI	20인 × 10일

예방정비 비용에 따른 각 항목에 대한 계산방식은 점검종별, 점검종목, 점검일수, 부품단가를 통해 보조전원장치의 각 부품별 예방정비비 및 정비에 따른 운영비를 산출할 수 있다. 식 (4)는 연간 예방 정비비용을 의미한다. 그리고 내용연수에 따른 교체비용은 식 (5)로 설정하여 산정하였다. 임율은 코레일 직원 평균임금 자료를 인용하였으며, 나머지 항목은 표 6의 자료를 참고하였다. 교체비용은 지난 10년간 통계청 자료를 토대로 물가상승률을 고려하여 매년 1%의 비용상승을 누적 적용하였다.

$$\text{연간 예방정비비} = \text{임율} \times \text{점검종별 비율} \times \text{점검항목 비율} \times \text{점검횟수} + \text{교체비용} \quad (4)$$

$$\text{내용연수에 따른 교체비용} = \text{부품단가} \times 1.01^{(\text{내용연수}-1)} \quad (5)$$

2.6.2 보조전원장치 년도별 LCC 분석

수명주기비용 평가에 따른 30년 동안 누적단위로 년도별 분석결과를 보면, 그림 6에서 보듯이 10년, 12년, 20년, 24년, 30년 시점에서 각각 유지관리비가 증가되는 것을 알 수 있다. 이는 보조전원장치 내 부품들이 내용년수에 맞춰 예방정비 단위의 부품교체 작업이 이루어져 재료비가 반영된 결과이다. 특히 부품단가가 고가인 PWM 모듈의 경우 내용년수가 10년 주기로 송풍장치 및 기타장치의 부품과 함께 교체가 이루어지므로 PWM 부품 교체 시점에서 유지보수 비용이 크게 발생한다. 또한 유지보수비는 보조전원장치의 사용기간에 따라 증가하는 그래프를 보이는데 이는 물가상승률에 따른 보조전원장치 보수품 비용 및 인건비 상승에 의한 것이다.

한편 수명주기비용을 산정할 경우 물가상승률과 이자율을 고려하여 미래의 가치를 현재의 가치와 같게 하는 할인율을 적용해야 한다. 본 논문에서는 관련 자료를 통하여 할인율을 1%로 적용하였다. 그림 7은 기존품 보조전원장치에 대한 수명주기비용 평가결과를 나타낸 것이다.

기존품 보조전원장치의 수명주기비용 평가에서 전체 비용 중에 재료비가 차지하는 비율이 가장 높았으며, 고장정비 비용, LI-3 (경정비) 순으로 높은 비용을 차지했다. 여기서 재료비는 부품의

그림 6 년도별 LCC 분석결과
Fig. 6 LCC Analysis result by year

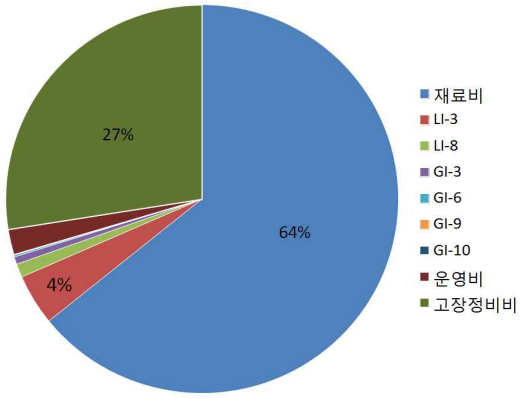


그림 7 기존품 보조전원장치의 LCC 평가
Fig. 7 LCC evaluation result on conventional APU

내구연한에 따라 소요되는 절대비용이므로 실질적으로 가장 높은 비용을 차지하는 것은 고장정비 비용으로 볼 수 있다. 표 4에서도 알 수 있듯이 보조전원장치가 포함된 전기계통의 고장이 가장 높은 비율을 차지하고 있으므로 고장정비 비용의 비율이 높음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 현재 운행되고 있는 8200호대 전기기관차용 기존품 보조전원장치의 수명주기 비용 평가를 위해 관련 데이터 수집 및 유지보수 매뉴얼을 활용하여 보조전원장치 PBS 및 CBS를 정립하고 분석하였다. 이를 위해 기존품 보조전원장치 자료를 바탕으로 수명주기비용 평가에 적합한 모델을 도출하였고, 비용평가에 필요한 항목도출 및 비용산정, 고장이력 및 유지보수 주기 분석을 통해 전기기관차 운영에 따른 보조전원장치 유지보수 비용을 예측하였다.

분석 결과 예방정비 비용에 큰 비율을 차지하는 재료비가 전

체 비율의 64%를 차지하여 월등히 높았으며, 고장정비 비용도 27%로 높게 나타났다. 예방정비 비용은 내구연한에 따라 소요되는 절대비용으로 이를 제외하면 고장정비비가 가장 높음을 알 수 있었다. 이와 관련하여 주요 고장원인은 계전기, 접촉기, 축전지에서 고장이 많이 발생하고 있으며, 정비 불량 및 부품 자체 불량도 원인으로 파악되었다.

향후 8200호대 보조전원장치 개발시 재료비를 낮추고 부품의 신뢰성을 높여 고장정비 비용을 줄일 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 2017년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음. 또한 2017년도 국토교통과학기술진흥원에서 '전기기관차(8200호대) 보조전원장치 실용화 기술개발' 과제의 지원을 받아 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

[1] J.M. Kim, C.J. Yun, Y.S. Kim, C.Y. Chang and J.S. Lee, "The Life Cycle Cost Estimation using the Maintenance Information of a Propulsion Control System in the High Speed Train(KTX-1)", JEET, Vol. 60, No. 11, pp. 2176-2181, 2011.
[2] 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", JEET, Vol. 62, No. 2, pp. 288-292, 2013.
[3] Y.S. Lee, J.O. Kim, H.C. Kim and D.U. Jang, "A Study on Modeling of Life Cycle Cost for Magnetic Levitation Train", JKSR, Vol. 12, No. 6, pp. 1076-1080, 2009.
[4] J.H. Kim, H.K. Jun, J.S. Park and H.Y. Jeong, "A Study on the Life Cycle Cost Calculation of the Railroad Vehicle Based on the Maintenance Information", JKSR, Vol. 12, No. 1, pp. 88-94, 2009.
[5] J.W. Kim, K.W. Chung, J.S. Park and J.D. Chung, "A Life Cycle Cost Model and Procedure for the Acquisition of Rolling Stocks", JKSR, Vol. 13, No. 3, pp. 257-263, 2010.
[6] Korea railway corporation fixed asset accounting guideline, Korea railway corporation, 2009.

저 자 소 개

이 계 승 (Kye-Seung Lee)
2016년 한국철도대 철도차량전기과 졸업. 2017년~현재 한국교통대학교 일반대학원 철도차량운전시스템공학과 재학

김 완 일 (Wan-il Kim)
2016년 한경대학교 전기전자제어공학과 졸업. 2017년~현재 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과 재학

김 재 문 (Jae-Moon Kim)
1994년 성균관대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 동 대학원 졸업(공박). 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