

유지보수정보 주기를 고려한 KTX-1 모터블럭 개발품의 수명주기비용 예측

The Life Cycle Cost Estimation for Domestic Products Motor Block of KTX-1 Considering Periodic Maintenance

윤 차 중* · 노 명 규** · 김 재 문†
(Cha-Jung Yun · Myoung-gyu Noh · Jae-Moon Kim)

Abstract - This paper presents the result of life-cycle cost (LCC) estimation for domestic products propulsion control system (motor block unit) of KTX-1 considering periodic maintenance. Life cycle costing is one of the most effective approaches for the cost analysis of long-life systems such as the KTX-1. Life cycle costing includes the cost of concept design, development, manufacture, operation, maintenance and disposal. To estimate LCC for domestic products motor block unit, it was analyzed physical breakdown structure (PBS) on motor unit in view of maintenance cost and unit cost etc. As a results, life cycle cost on motor block unit increased moderately expect for periodical time when major parts are replaced at the same time. hereafter this results will be reflected in the domestic products being developed.

Key Words : Motor Block unit, life cycle cost(LCC), PBS(Physical Breakdown Structure), KTX-1

1. 서 론

국내 고속철도 노선을 운영하고 있는 300 km/h급 고속철도 차량은 프랑스로부터 도입한 KTX-1과 국내 기술로 개발한 KTX-산천이 있으며, 추진제어시스템 (Motor Block, 이하 모터 블럭)을 비롯한 제동시스템, OBCS (On board computer system) 등 여러 시스템으로 구성되어 있다. '04년 개통 이후 모터 블럭의 주요 핵심부품들은 해외 의존도가 높고 부품 확보에 어려움이 있다. 모터 블럭 주요부품 교환수량 자료에 따르면 일부 부품의 단종 등으로 인해 유지보수 비용이 급격히 증가하는 실정이다. 따라서 국내 고속철도차량에 대한 기술축적을 바탕으로 KTX-1의 추진제어시스템 국산화 개발을 하고 있다[1][2].

한편 철도 산업분야에서는 철도시스템의 안정적인 운영과 경제적인 유지보수를 위해 정확한 수명주기비용을 예측하기 위한 'IEC60300-3-3' 규격을 유럽에서 제정하였다. 그리고 'ISO', 'UNIFE', 'NORSOK', 'REMAIN', 'PROMAIN' 등 다양한 연구 활동이 수행되고 있다[3-5]. 따라서 현재 운행되고 있는 고속철도차량용 추진제어시스템에 대한 수명주기비용 (Life Cycle Cost, 이하 LCC)을 적용한 결과 주요 핵심부품 교환주기에 맞춰 비용이 급격히 상승하고 있을 뿐만 아니라 지속적인 비용 상승이 예측되었다[6].

본 논문에서는 고속철도차량 (KTX-1)용 추진제어시스템 국산화 개발에 따른 수명주기비용(LCC) 분석을 통해 개발품에 대한 수명주기비용을 예측하고자 한다. 이를 위해서는 고장률 등 RAMS 정보가 필요하지만, 현재 개발 중이므로 개발품에 대한 주요부품 단가 인하, RAMS 분석 정보를 활용하여 유지보수정보 주기 (LI, GI, FGI)를 매개변수로 하여 수명주기비용을 예측한다. 이러한 결과를 바탕으로 향후 국산화된 추진제어시스템 운영에 적용함으로써 고속철도차량이 안전을 도모할 뿐만 아니라 운영비 절감 등을 극대화할 수 있다.

2. 본 론

2.1 모터 블럭(MBU) 개발품의 PBS

시스템 개발에 WBS (Work Breakdown Structure), CBS (Cost Breakdown Structure), PBS (Product Breakdown Structure)가 많이 사용된다. PBS는 다양한 구조로 해석될 수 있는데, PBS의 가장 간단한 구조는 제품의 구성품을 분류하는데 있어 품목의 설치 위치만을 고려하여 분류하는 공간 중심적인 PBS이다. 공간 중심적 PBS는 분류 작업이 간단하고 이해가 쉽다는 장점을 가지고 있으나, 동일 기능의 장치가 여러 번 반복되어 나타나는 불합리성이 존재한다. 또한 유지보수 활동에 대한 고려나 장치별 기능에 대한 고려가 반영되지 못하는 문제점을 갖고 있다.

시스템 혹은 제품의 PBS는 시스템(제품) 전체의 형상을 결정하고 각 구성품이 어떤 위치에 장착될 것인가를 고려하는 것도 중요하다. 그러나 무엇보다 시스템이 어떻게 쓰일 것인가를 생각하고 시스템이 갖추어야 할 기능이 무엇인가를 정의하는 것이 더 중요하며, 유지보수 활동에 따른 비용 요소의 발생 및 비용 범주를 정의하는 것이 중요하다.

* Dept. of Mechatronics Engineering, Chungnam National University, Korea. Doctor's Course

** Dept. of Mechatronics Engineering, Chungnam National University, Korea. Professor · Ph.D

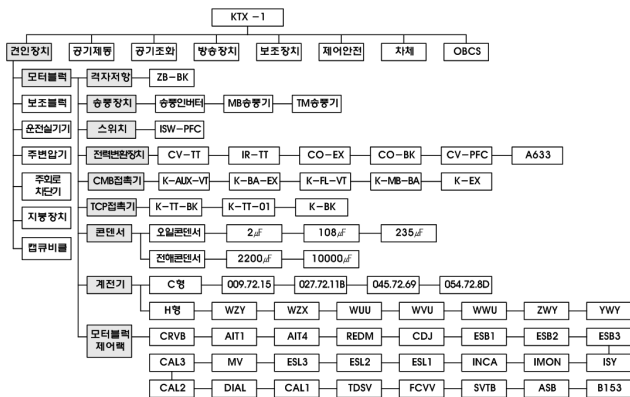
† Corresponding Author : Dept. of Railroad Electrical and Electronic Engineering, Korea National University of Transportation, Korea. Associate Professor · Ph.D

E-mail : goldmoon@ut.ac.kr

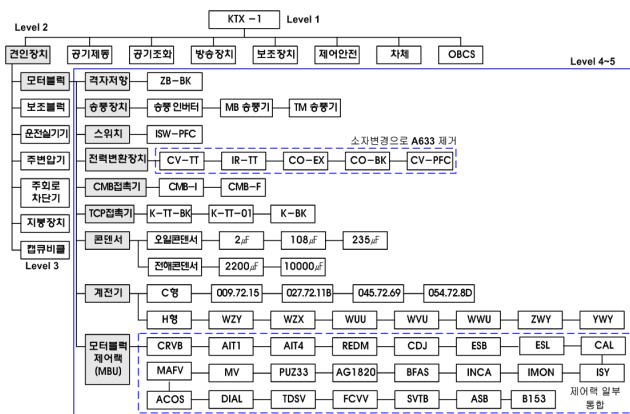
Received : January 3, 2012; Accepted : January 18, 2013

따라서 PBS는 수명주기비용 (LCC) 모델링 및 분석에 있어 핵심 요소이며, 유지보수 활동에도 많은 영향을 미친다. 그러므로 고속철도차량 (KTX-1)의 PBS는 각 장치의 기능을 중심으로 고려되어야 한다. 이를 기반으로 유지보수 활동을 정의하고 비용 발생의 범주와 요인을 정의하는 것이 바람직하다[1].

그림 1은 고속철도차량 (KTX-1) 추진제어시스템 개발품의 PBS 구조를 나타낸 것이다. 추진제어시스템의 PBS를 분석하면 Level-4~5에서 기존 MB의 PBS 차이점을 볼 수 있는데, 이는 전력변환장치의 소자변경으로 인해 A633이 제거되었으며, 모터블럭 제어랙 (MBU) 유지보수의 단순화를 위해 일부 통합시켰다.



(a) 모터블럭 기존품



(b) 모터블럭 개발품

그림 1 추진제어시스템 개발품의 PBS
Fig. 1 The PBS of domestic products Motor Block

2.2 모터블럭 개발품의 LCC 분석

고속철도차량 (KTX-1)의 추진제어시스템 개발품에 대한 수명주기 비용 (LCC)을 산출하기 위해 아래와 같이 기준을 설정하고 수행하였다[6][7].

- 1편성에 PBS의 3-Level을 기준으로 LCC 산출
- RAMS 자료를 근거로 고장정비비 산출
- LCC 비용항목 : 초기투자비 및 해체 폐기비를 제외하고 유지보수비용만 고려

- 유지관리비 : 운영비, 예방정비비, 고장정비비로 구분
- 할인율 : 최근 10년간 통계청 자료 기준인 3% 적용
- 비용가치 환산 : 현재의 가치 (NPV : Net Present Value)로 환산
- 내용연수 : 운영기관 고정자산 회계지침 (2009. 9)에 의한 내용연수
- 총 분석기간 30년

2.2.1 MB의 Fault Tree

모터블럭(MB)을 비롯하여 일반적인 철도차량인 경우도 고장발생확률과 장비의 수명시기와의 관계를 설명하는데 신뢰도 육조곡선을 많이 사용한다[8]. 즉 어떤 장비가 도입초기에 고장이 빈번하고 이러한 초기고장 (Infant mortality failures) 기간을 거쳐 점차적으로 운전조건에 적응(Burn-in) 되면 고장이 감소하여 안정기에 도달한다. 이후 기기의 수명이 다하면 다시 고장이 빈번하게 되어 기기의 폐기에 이르게 된다. 육조곡선은 시간(h) 또는 주행거리(km)에 대한 고장률로 나타나며, 수명분포는 지수분포와 Weibull 분포로 구분된다. 식 (1)은 고장률 함수를 표현한다.

$$\text{고장률 } \lambda(t) = f(t)/R(t) \tag{1}$$

여기서, $f(t)$ 는 어떤 제품수명에 대한 확률밀도함수, $R(t)$ 는 신뢰도 함수

일반적으로 고장시스템은 크게 직렬구조와 병렬구조로 나뉜다. 병렬구조는 AND 게이트 논리구조로 부품단위의 고장이 모두 발생하면 상위계층이 고장이 발생하게 된다. 반면 고속철도차량의 MB은 그림 1에서 보듯이 각각의 서브시스템이 독립적으로 이루어져 있지만, 서브시스템 중 하나라도 고장이 발생하면 전체적인 고장으로 이어지는 OR 게이트 논리 구조를 가진다. 각 부품의 고장률이 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 라고 하면, 시스템에 대한 신뢰도를 구할 수 있다[7].

$$\text{총 고장률} = \sum_{k=1}^n \lambda_k = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \tag{2}$$

$$\text{시스템 신뢰도} = e^{-\lambda t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t} \tag{3}$$

$$\text{평균수명(MTBF)} = \frac{1}{n \sum_{k=1}^n \lambda_k} \tag{4}$$

표 1은 RAMS 전용프로그램을 이용하여 모터블럭 제어랙 (MBU)내부의 BFAS, CDJ, ESB 등 일부 보드 (Board)에 대한 고장률(Failure rate)을 산출한 결과를 보여준다.

표 1 모터블럭 제어랙의 고장률
Table 1 Failure Rate of MBU

제어보드	고장률	MB 고장 대비 가중치(%)
MBU	41.437	14.94
BFAS	0.057	0.02
CDJ	4.466	1.61
ESB	3.204	1.16
ISY	5.059	1.83
IMON	3.039	1.09
ESL	8.701	3.13

표 1에서 MB 고장 대비 가중치는 모터블럭(MB)이 고장 날 확률을 100으로 가정하였을 때 제어랙 (MBU)로 인해 고장을 초래하는 경우 14.94%이고 BFAS 제어보드로 인한 경우는 0.02%임을 의미한다.

2.2.2 부품별 LCC 분석

고속철도차량의 검수는 고속으로 주행해야 하는 차량의 안전성과 신뢰성을 확보해야 하므로 제작업체에서 제공하는 정비 매뉴얼과 기존 철도차량의 정비 경험을 바탕으로 필요한 전략을 수립하고 목표를 달성하기 위한 실행계획 수립이 요구된다.

프랑스 TGV 차량과 유사한 고속철도차량 (KTX-1)은 그림 2와 같은 유지보수 주기로 운영되고 있다. KTX-1의 검수주기는 운행기간과 주행거리를 병행하는 방식을 채택하고 있다. 즉 운행기간 또는 정해진 주행거리 중 먼저 도달하는 기준을 적용하여 시행하는 방식이다. 일상검수 (ES)인 경우 검수횟수가 가장 많고 인력의존도가 높아 검수주기 연장에 따른 효과가 매우 크다. 따라서 MB 개발품은 고 신뢰성, 저 고장률이 되도록 설계하여 유지보수비용을 줄이도록 한다.

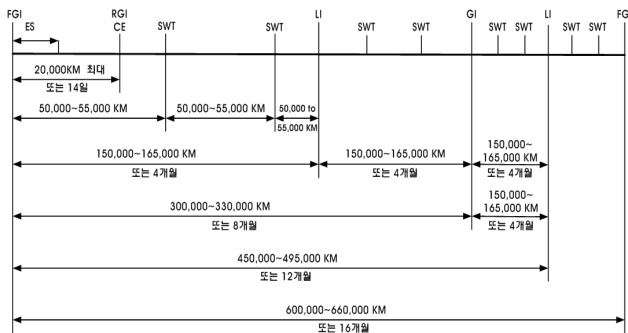


그림 2 추진제어시스템의 유지보수 주기
Fig. 2 The maintenance period of a Motor Block

여기서, ES는 일상검수, SWT는 체계검수, CE는 실내설비검수, RGI는 주행장치 검수, LI는 제한검수, GI는 일반검수, FGI는 전반검수

표 2 MB 개발품내의 전력변환장치에 대한 LCC
Table 2 LCC of Power Conversion in MB domestic products

I. 일반정보			
1. 편성당 수량	개	12	12
2. 내용연수	년	10	10
3. 할인율	%	3	3
II. LCC 정보			
1. 품 명		CV-TT	IR-TT
2. 단가	천원	354,450	393,179
3. LI	천원	0	0
4. GI	천원	6,055	6,055
5. FGI	천원	2,543	2,543
6. 운영비	천원	258	258
7. 고장정비 비용	천원	274,937	1,613,028
총생애주기비용	천원	2,203,085	3,750,887
NPV	천원	1,206,120	2,138,117

부품별 추진제어시스템 개발품의 LCC를 분석하기 위해 표 2와 표 3과 같이 PBS를 나타내면, 일반정보 부분에는 편성당 수량, 내용연수 및 할인율 정보가 포함되어 있다. 그리고 LCC정보 부분에는 품명, 단가, 유지보수비, 운영비 및 고장정비비 비용이 포함되어 있다. 또한 LI, GI 및 FGI에 대한 비용은 그림 2에서 제시된 예방정비비용에 해당된다.

운영비는 차량 유지보수에 소비되는 전력비와 운영과 유지보수에 따른 공구비로 나눌 수 있는데, 다른 방법으로 추진제어시스템의 운영비는 기존품과 마찬가지로 차량기지의 운영비의 3%에 불과하므로 예방정비 비용에 3%를 곱하여 운영비를 산출하였다.

한편 예방정비 비용은 추진제어시스템 기존품에 적용되고 있는 부품당 투입 인건비와 교체 단가비용을 합산하여 금액을 산정하였다.

$$\text{연간 예방정비비} = \text{임율} \times \text{점검종별 분석} \times \text{점검항목 비율} \times \text{점검횟수} + \text{교체 단가비용}$$

표에서 보듯이 편성당 수량 및 내용연수가 부품별로 상이하며 단가도 다양하다. 이를 토대로 추진제어시스템 개발품의 부품별(Level-3) LCC를 분석하였다.

표 3 MB 개발품내의 CBM 접촉기에 대한 LCC
Table 3 LCC of CBM Contacts in MB domestic products

I. 일반정보			
1. 편성당 수량	개	2	6
2. 내용연수	년	6	6
3. 할인율	%	3	3
II. LCC 정보			
1. 품 명		CMB-I 접촉기	CMP-P 접촉기
2. 단가	천원	2,100	7,200
3. LI	천원	0	0
4. GI	천원	1,101	3,303
5. FGI	천원	462	1,387
6. 운영비	천원	47	141
7. 고장정비 비용	천원	3,869	12,517
총생애주기비용	천원	23,385	78,738
NPV	천원	13,549	45,572

부품별(Level-3) 추진제어시스템 개발품의 LCC를 분석해보면 전력변환장치 (CV-TT, IR-TT)인 경우 예방정비비용(단가+LI+GI+FGI)이 고장정비 비용에 비해 상대적으로 큰 반면 CMB 접촉기(I형, P형)인 경우 예방정비비용보다 고장정비 비용이 상대적으로 크게 나타났다. 예방정비 비용은 고장에 대비하기 위해 고속철도차량 (KTX-1) 운영 가동율을 유지하기 위한 유지보수비용이므로 현재로서는 LCC를 절감하기 위한 요소항목으로 반영될 수 없는 부분이다.

유지관리비 중 예방정비 비용을 제외한 부분에서 가장 큰 비율을 차지하는 비용은 고장정비 비용이다. 고장정비 비용은 제작업체에서 제시된 추진제어시스템 개발품의 서비스 시스템별 RAMS 자료를 기준으로 분석된 비용으로 정기적으로

교체비용이 아닌 고장에 따른 추가 비용이다. 따라서 고속철도차량 (KTX-1) LCC의 절감을 위해서 가장 중요한 요소 항목으로 분석된다. 고장정비 비용의 비율을 낮춤으로 고속철도차량(KTX-1) 추진제어장치의 LCC를 절감할 수 있다.

표 4는 그림 1의 PBS를 기준으로 서브시스템별 LCC를 분석한 결과를 보여준다. 유지관리 비용 중 고장정비 비용의 비율이 가장 높은 부품은 TCP접촉기로 49.1%를 차지하고, 다음으로 CMB 접촉기 41.8%, 전력변환장치 39.4%이며 고장비용이 가장 낮은 부품은 송풍장치와 콘덴서로 각각 9.0%, 9.2%로 나타난다. 이것을 총수명주기비용 대비 금액으로 환산하여 볼 때 TCP접촉기의 고장정비 비용은 1,331,837천원, 전력변환장치 4,916,832천원, CMB접촉기 64,013, 제어랙 641,914천원으로 고속철도차량 (KTX-1) 추진제어시스템의 유지관리비의 많은 부분을 차지하는 것을 확인할 수 있다.

이를 통해 고속철도차량 (KTX-1) 추진제어시스템 개발품의 LCC절감 요소를 분석하면 고전압 대전류가 흐르면서 빈번한 스위칭 동작을 필요로 하는 TCP접촉기, CMB접촉기, 전력변환장치의 고장정비 비용을 감소시키는 것이 가장 효과가 크다는 것을 확인할 수 있다.

표 4 추진제어시스템 개발품의 서브시스템별 LCC
Table 4 LCC of subsystems on MB domestic products

(단위: 천원)

부품명	예방정비 비용		운영비		고장정비 비용		합 계
	금액	비율	금액	비율	금액	비율	
격자저항	154,871	63.2	1,032	0.42	89,069	36.4	244,972
송풍장치	212,385	90.8	305	0.13	21,032	9.0	233,722
스 위 치	150,198	89.0	1,095	0.65	17,420	10.3	168,713
전력변환장치	7,570,616	60.6	1,032	0.008	4,916,832	39.4	12,488,480
CMB접촉기	89,046	58.1	188	0.12	64,013	41.8	153,247
TCP접촉기	1,381,688	50.9	844	0.03	1,331,837	49.1	2,714,369
콘덴서	615,798	90.6	1,031	0.15	62,711	9.2	679,540
계전기	387,711	83.6	1,095	0.24	75,234	16.2	464,040
제어랙	5,008,212	88.6	1,091	0.02	641,914	11.3	5,651,217

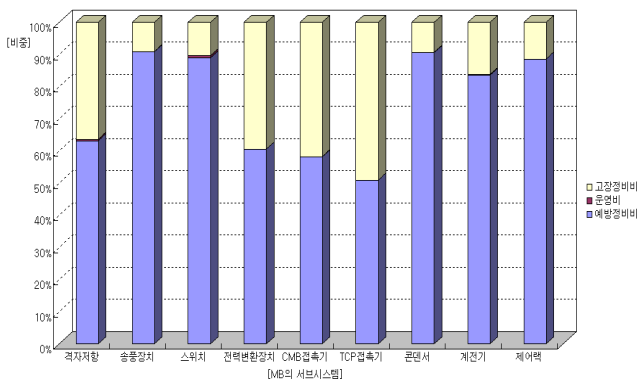


그림 3 모터블럭의 서브시스템별 수명주기비용 비중
Fig. 3 The LCC weight with respect to subsystems in a Motor Block

유지보수정보 주기를 고려한 KTX-1 모터블럭 개발품의 수명주기비용 예측

그림 3은 표 4에 대한 서브시스템별 LCC 비중을 나타낸 것으로 송풍장치, 스위치, 제어랙, 콘덴서, 계전기 등은 예방정비 비용이 80%~90%인 반면, 격자저항, 전력변환장치, TCP접촉기, CMB접촉기는 예방정비 비용이 50%~60%를 차지한다. 이는 격자저항, 전력변환장치 TCP접촉기, CMB접촉기 등은 고장이 상대적으로 많이 발생하여 소자교체 또는 인력투입이 수시로 이루어질 수 있음을 의미하며, 송풍장치를 비롯한 스위치, 콘덴서, 제어랙, 계전기 등은 고장이 상대적으로 적으며 주기별 유지보수를 위한 인력투입이 이루어지고 있음을 의미한다. 따라서 서브시스템별 특성을 분석하여 고장률이 낮은 개발품에 대한 유지보수 주기를 조정하여 예방정비 비용을 낮추고 고장 확률이 높은 부품에 대한 신뢰도를 향상시킬 필요성이 있다.

2.2.3 년차별 LCC 분석

표 5는 고속철도차량 (KTX-1) 추진제어시스템을 구성하고 있는 주요 서브시스템별 교환주기를 나타낸다. 빈번한 개폐동작이 이루어지는 CMB접촉기, TCP접촉기, 계전기 등은 5~6년을 주기로 교체가 이루어지고 있는데, 이는 사전고장으로 인한 고속철도차량이 운행에 지장을 주지 않기 위한 예방정비 차원에서 이루어진다. 그리고 제어카드 및 전력변환장치, 격자저항기, 콘덴서 등은 10~12년 주기로 교체가 이루어지도록 운영하고 있다.

표 5 추진제어시스템 개발품의 서브시스템별 교환주기
Table 5 The Change cycle with respect to subsystems on MB

부품	교환주기(년)	부품	교환주기(년)
제어카드	10	TCP접촉기	6
CMB접촉기	6	콘덴서	12
계전기	5	전력변환장치	10
격자저항기	12	송풍기	6

그림 4는 고속철도차량 (KTX-1) 연한 30년 동안 추진제어시스템 개발품을 지속적으로 사용한다고 가정하였을 때 서브시스템별 유지보수 및 운영에 따른 LCC를 분석한 그래프를 보여준다. 추진제어시스템 개발품을 사용하여 6년, 10년, 12년, 18년, 20년, 24년, 30년을 제외하고 완만하게 증가하고 있음을 보여준다.

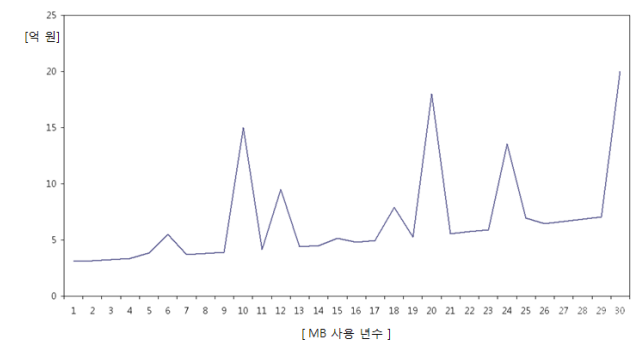


그림 4 추진제어시스템 개발품의 년차별 LCC 추이
Fig. 4 LCC trace graph per year of Motor Block domestic products

그리고 특정기간에서 급속한 상승을 보여주는 이유는 표 5에서 보듯이 추진제어시스템의 서브시스템들이 내용 년수에 따라 유지관리비 중 가장 많은 비용을 차지하는 교체비, 즉 재료비가 포함되어 있기 때문이다. 특히 부품단가가 고가인 전력변환장치의 내용 년한이 10년 주기이고 송풍장치, 스위치 및 제어카드의 교체가 같이 이루어지기 때문에 내용 년수 주기로 유지관리비가 크게 변화됨을 확인 할 수 있다. 또한, 유지관리비는 추진 제어장치 사용 연수에 따라 증가 추이를 보이고 있는데 이는 추진 제어장치의 부품비 물가 상승 및 인건비 상승에 따른 것이다.

3. 결 론

본 논문은 고속철도차량 (KTX-1) 추진제어시스템 국산화 개발에 따른 추진제어시스템 개발품에 대한 LCC 분석을 하였다. 이를 위해 고속철도차량 (KTX-1)을 운영하고 있는 운영기관의 유지보수정보 주기를 활용하여 추진제어시스템 개발품에 대한 PBS를 체계화하였다. 그리고 유지보수 점검종별 분석을 하여 유지보수비용을 분석하였으며, 고속철도차량 (KTX-1) 추진제어시스템 개발품에 대한 RAMS 분석정보를 이용하여 고장정비 비용 등을 추정하였다. 고장정비 비용을 분석한 결과 격자저항, TCP접촉기, CMB접촉기, 전력변환장치 등은 36.4%~49.1%인 반면 콘덴서, 계전기, 제어랙 등은 9.0%~16.2%로 대전류가 흐르고 고전압이 인가된 시스템을 수시로 스위칭을 하는 경우 고장정비 비용이 상대적으로 매우 크다는 것을 확인할 수 있었다.

향후 지속적으로 고장정비 비용을 절감하기 위해 개발품에 대한 신뢰도를 향상시켜 비용절감을 꾀하고 예방정비 비용이 상대적으로 큰 송풍장치, 제어랙, 콘덴서, 계전기 등은 유지보수 정비 주기를 조정할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임. 또한 이 논문은 한국건설교통기술평가원으로부터 일부 지원을 받아 수행한 연구임을 밝힙니다.

References

- [1] Korail et, "A Technical Development Report for Propulsion Control System of High Speed Rail Vehicles Using IGBT Device, 2nd", MLTM, 2011
- [2] Journal of KSR, A Study on the Supply and Quality Management Counterplans for the KTX Spare Parts, 2005
- [3] Rafael Enparantza et al., "A Life Cycle Cost Calculation and Management System for Machine Tools", Proceedings of LCE2006, pp.717-722, 2006
- [4] Gil-hyun Kang, Maintenance of High Speed Rail Vehicles : Theory and Practice, Samsungbooks, 2009
- [5] MOASOFT, A Guide Book for Reliability Prediction,

Kyowoo, 2002

- [6] Jae-moon Kim et 4, "The Life Cycle Cost Estimation using the Maintenance Information of a Propulsion Control System in the High Speed Train(KTX-1)", KIEE v60, no 11, pp.2176-2181, 2011
- [7] KoRTS, System Life Cycle management, 2009

저 자 소 개



윤 차 중 (尹次重)

2007년 한밭대 전자공학과 졸업. 2009년 충남대 대학원 기계시스템공학과 졸업(석사), 1995년~현재 한국철도공사 차장(책임연구원), 충남대 메카트로닉스공학과 박사과정

Tel : 042-615-4701

Fax : 02-361-8542

E-mail : korea@korail.com



노 명 규 (魯明圭)

1986년 서울대 기계설계공학과 졸업. 1988년 동 대학원 졸업(석사). 1996년 미국 버지니아주립대학교 졸업(공학박사). 1996년 9월~1999년 8월 미국 아이오와주립대 대학병원 연구원. 1999년 9월~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 교수.

Tel : 042-821-6877

Fax : 042-823-4919

E-mail : mnoh@cnu.ac.kr



김 재 문 (金才文)

1994년 성균관대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 동 대학원 졸업(공학박사). 2000년~2004년 현대모비스(주) 기술연구소 선임연구원. 2006년 ~현재 국토해양부 철도기술 전문위원, 2004년 3월~현재 한국교통대학교 철도전기전자공학과 부교수.

Tel : 070-8855-1664

Fax : 031-462-2944

E-mail : goldmoon@ut.ac.kr