

AHP 를 활용한 철도차량 주요안전부품 우선순위 선정방법 연구

A study of method of selecting the priorities of the major safety components of the railway vehicle utilizing the AHP

김시화⁺, 유영준^{*}, 정해진^{*}, 김종운^{**}, 이원영^{***}

Si Hwa Kim^{*}, Yoynng Jun Yoo^{*}, Hai Jin Jung^{*}, Jong Woon Kim^{**}, Won Young Lee^{***}

Abstract Railway vehicle is composed of many parts as a convenient transportation of transporting many passengers. Railway vehicle components for these roles are separate, organically operated, high safety is demanded. However, accidents due to component failure is constantly generated. Ministry of Land, Infrastructure and Transport has established the approval and inspection implementation guidelines of railway safety management system with the revision of the Railway Safety Act, and notice, railway operating agency is adapted to manage the selection of key components related to safe driving There, most of the railway vehicle operating agency, at the time of the major safety components selection, but not in a systematic way, based on the failure history of parts, has selected the main parts. In this paper, we try to present a hierarchical decision-making methods (Analytic Hierarchy Process, AHP) method of selecting the priorities of the major safety components of the weighting scheme parts another important degree of leverage

Keywords : AHP, Railway vehicle, Key components, weight, Priority

초 특 철도차량은 많은 승객을 수송하는 편리한 교통수단으로서 수많은 부품으로 구성되어 있다. 이러한 역할을 하기 위한 철도차량 부품은 개별적, 유기적으로 동작하면서 높은 안전성이 요구되고 있다. 하지만 부품 고장으로 인한 안전사고는 끊임없이 발생하고 있다. 국토교통부는 철도안전법 개정에 따른 철도안전 관리체계 승인 및 검사 시행 지침을 제정, 고시하여, 철도 운영기관은 안전운행과 관련한 주요부품을 선정하여 관리하도록 되어 있으나, 대부분의 철도차량 운영 기관은 주요안전부품 선정 시 체계적인 방법 보다는 부품 고장 이력을 바탕으로 주요부품을 선정하고 있다. 본 논문에서는 계층적 의사결정 방법 (Analytic Hierarchy Process, AHP)을 활용한 부품별 중요도와 가중치 부여 방식의 주요 안전부품 우선순위 선정방법을 제시하고자 한다.

주요어 : AHP, 철도차량, 주요부품, 가중치, 우선순위

1. 서 론

철도차량은 많은 승객을 수송하는 편리한 대용량 교통수단으로서 수많은 부품으로 구성되어 있다. 이러한 역할을 하기 위한 철도차량 부품은 개별적, 유기적으로 동작하면서 높은 안전성이 요구되고 있다. 하지만 부품 고장으로 인한 안전사고는 끊임없이 발생하고 있다.

*† 교신저자 : 서울메트로 군자자량사업소 (shihwa1052@hanmail.net)

** 네모시스(주)

*** 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과

국토교통부는 철도안전법 개정에 따른 철도안전 관리체계 승인 및 검사 시행 지침을 제정·고시하여, 철도 운영기관은 안전운행과 관련한 주요부품을 선정하여 관리하도록 되어 있으나, 대부분의 철도차량 운영 기관은 주요안전부품 선정 시 체계적인 방법 보다는 부품 고장 이력을 바탕으로 주요부품을 선정하고 있다. 2016년 1월, 도시철도차량의 주회로장치 고장으로 많은 승객들이 불편을 겪는 사고가 발생하였다. 이에 따라 감사원에서는 해당사고 관련 부품의 관리실태 및 전동차 부품관리 전반에 대하여 체계적인 부품관리가 필요하다는 권고사항이 있었다. 따라서 본 논문에서는 계층적 의사결정 방법(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 활용하여, 부품(장치별) 중요도에 따른 가중치를 부여하고, 우선순위에 따른 주요안전부품을 선정하여 체계적인 부품관리에 도움이 되고자 한다.

2. 본 론

2.1 AHP 모형

2.1.1 계층분석기법

AHP기법은 다수 대안에 대한 다면적 평가 기준을 통한 의사 결정 지원 방법의 하나로, Thomas Saaty에 의해 개발되었으며 의사결정 프로세스를 체계적으로 분석하고, 여러 평가기준의 가치를 쌍대 비교 (pairwise comparison)에 의하여 단계적으로 도출함으로써 대안들에 대한 합리적 평가를 지원 한다. AHP 방법론은 복잡한 의사 결정 문제를 계층으로 구조화하여, 단계적으로 접근하여 종합판단하여 의사결정을 도출하는 방법이다. AHP 방법론의 개발자인 Thomas Saaty는 이러한 일관성비율의 값은 일반적으로 0.1(10%) 이하가 되어야 판단의 일관성이 있고, 각 기준별 가중치가 의미 있는 것으로 간주한다고 하였다. 일부 사회과학 분야의 연구 조사에서는 설문 문항의 특성상 각 상·하 기간의 독립성 확보가 어렵다는 점을 감안하여 일관성비율이 0.2(20%) 이내 까지를 허용 범위로 하고 있다.[1-4]

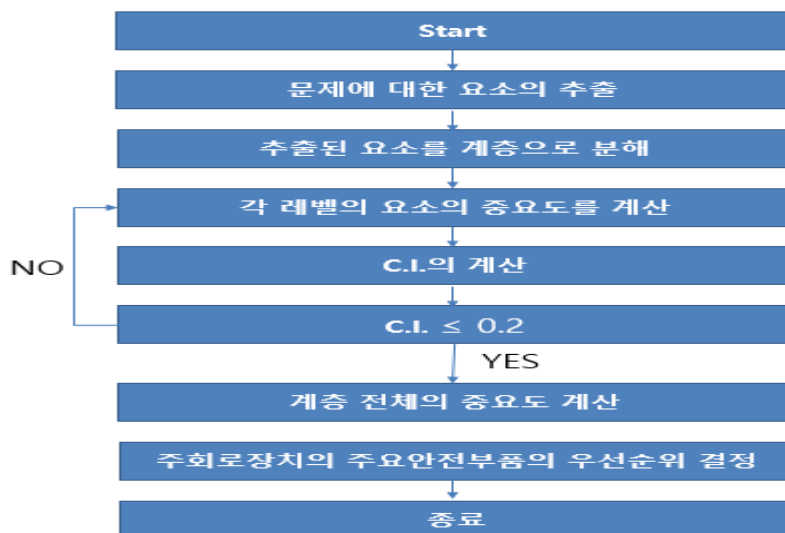


Fig. 1 AHP Execution sequence [5]

2.1.2 모형설정

본 연구모형 설정의 목적은 철도차량 주요 안전부품 선정 시 고려해야 하는 기준과 선정 대상부품에 대한 최적의 의사결정을 돕기 위한 것이다. 상위 및 하위 계층은 신뢰성 평가(RAMS) 기준을 근거로 설정하였으며, 대안으로는 고장분류체계 1,2레벨을 기준으로 설정하였다.

2.1.3 평가기준

본 연구모형에서는 서울메트로 2호선 200량 발주사양서, IEC 62278, EN50126, 철도안전관리체계 등에서 도출된 기준들을 재분류 및 정리하여 평가기준을 도출하였다.

Table 1 Evaluation items of research model

상위계층 기준	하위계층 기준	기준 설명
고장발생빈도 (R)	교환	본선운행 중 고장으로 해당장치 부품을 교환한 실적
	교환 + 점검	본선운행 중 고장으로 해당장치 부품을 교환 또는 점검 이력을 포함한 실적
가용도 (A)	운행 가용도	전동차 계획운행거리에 대한 실제 운행거리의 비
	가용성	전동차가 DIA를 통해 운행한 시간과 기지에 대기(유지보수 포함)하고 있는 시간과의 비율
유지보수 소요시간(M)	고장	본선운행 중 해당장치 부품 고장으로 인한 조치 소요시간
	예방	정기검사 계획에 의한 해당장치 부품 사전 예방점검에 걸린 시간
고장영향 (S)	서비스	해당장치 부품 고장으로 기지교체 또는 본선운행차량과 운용변경을 통해 본선운행이 정상적으로 이루어지지 못하는 영향
	안전	해당장치 부품 고장으로 파손, 사상사고 등 고장의 영향(치명도)이 허용수준을 넘어 안전사고에 영향을 미침.

상위계층 평가기준은 ‘고장발생빈도(R)’, ‘가용도(A)’, ‘유지보수 소요시간(M)’ 과 ‘고장 영향(S)’ 4가지로 범주화 하였다. ‘고장발생빈도(R)’ 는 전동차의 MTBF(고장 간 평균 시간), MKBF(고장 간 평균 거리) 산출을 통한 전동차의 신뢰성(Reliability) 평가에 초점을 맞춘 평가기준이다. ‘가용도(Availability)’ 는 전동차의 운행 능력 평가기준이고 ‘유지보수 소요시간(Maintenance)’ 은 고장 발생 시 수리 시간과 예방점검시간에 소요된 시간을 산출하는 방식으로 유지보수방법을 결정할 수 있는 평가기준이며 ‘고장영향(Safety)’ 은 서비스와 안전에 미치는 영향 정도에 맞춘 평가기준이다.

하위 계층 평가기준은 ‘고장발생빈도(R)’ 의 교환과 교환을 포함한 점검, ‘가용도(A)’ 의 운행가용도와 가용성, ‘유지보수 소요시간(M)’의 고장과 예방, ‘고장영향(S)’ 으로는 서비스와 안전으로 제시하였다.

2.1.4 대안설정

대안은 서울메트로 1,4호선에서 운용중인 VVVF 현대ADV 전동차 고장분류 12개 장치 중 주회로장치 하위레벨 10개 품목으로 설정하였다.

Table 2 An alternative evaluation of the research model (Main circuit device)

평가 대안	정의
판타그래프	전차선으로 부터 전력을 공급받기 위해 사용되는 장치
피뢰기	외부 서지 전압에 대한 보호 기기
컨버터/인버터	컨버터/인버터 제어장치는 견인전동기 4대의 전원 제어장치
고속도차단기	사고 전류를 검출/차단하는 주회로 기기 보호 장치로 평상시에는 Unit Switch로 사용
교직절환기	교류/직류 구간 운행 시 전환 장치
교류제어기박스	교류 구간과 직류 구간에 각기 적합한 회로를 구성하여 주는 교직 전환기(ADCm)
주변압기	교류차량에서 전차선으로 부터 받은 교류 고압을 견인 전동기 회로 전압으로 변환하는 장치
필터리액터(FL)	DC 1,500V 가선 전압을 받는 DC 구간에서 입력 전압의 고조파 전압 성분 제거
주퓨즈	전동차가 교류 구간의 회로 상태로 직류 구간 모진 시 대전류에 의한 주 변압기 소손 방지
견인전동기	철도차량 견인용 구동장치

2.2 AHP 분석

이 절에서는 연구모형으로 VVVF 현대ADV 전동차를 운용하는 부서의 전문가를 대상으로 실시한 설문결과를 분석하고자 한다. 본 모형은 제 1계층에 최종목표(GOAL), 제 2계층에 4개의 상위평가 기준(Criteria), 제 3계층에 8개의 하위평가 기준(Criteria), 최하위단 4계층에 10개의 대안(Alternative)으로 계층을 구성하였고 전동차 운용부서의 전문가 대상 설문조사를 실시하여 기준간 중요도를 산출하였다. 설문조사는 관련분야 20년 이상의 풍부한 현장경험과 전동차 운용 부서 노하우를 가지고 있는 전문가 13인을 대상으로 2016년 8월 ~ 9월까지 실시하였다. AHP 분석기법에서는 개개인의 판단 오차를 일관성 비율로 산출한다. 본 연구에서는 총 13인의 응답 결과지 중 AHP 일관성비율 0.2이상인 4부를 제외하고, 유효한 설문 9부를 가지고 판단하였다. 본 연구는 AHP분석 TOOL인 Expert Choice 11을 이용하여 분석하였으며 일관성비율 분석결과 C.I (Consistency Index) = 0.02로 유의한 수준의 응답 결과를 얻을 수 있었다.

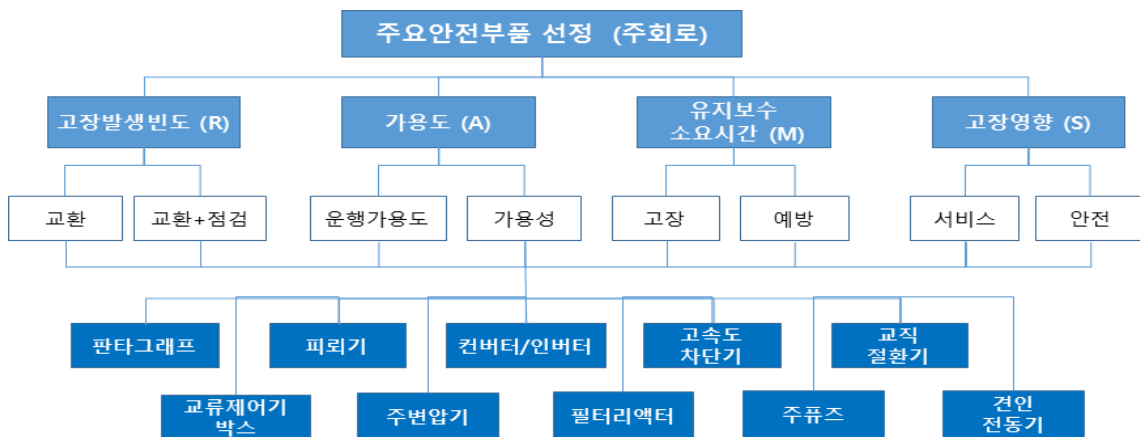


Fig. 2 Hierarchy for priority selection of the major safety components (Main circuit device)

AHP 분석결과, 4개의 상위계층기준 간 상대적 중요도는 고장영향이 51.8%로 가장 높게 나타났고, 전체 하위계층 간 상대적 중요도는 고장영향(S)의 하위계층인 '안전'이 37.8%를 차지하여 1순위로 도출되었다.

Table 3 Priority analysis between hierarchy

상위계층기준	상위계층 간 상대적 중요도	하위계층기준	하위계층 간 상대적 중요도	전체 하위계층 간 상대적 중요도	하위기준 우선순위
고장발생빈도 (R)	0.252 (2순위)	교환	0.302 (2)	0.080 (5순위)	5
		교환 + 점검	0.698 (1)	0.184 (2순위)	2
가용도 (A)	0.156 (3순위)	운행 가용도	0.754 (1)	0.114 (3순위)	3
		가용성	0.246 (2)	0.037 (8순위)	8
유지보수 소요시간 (M)	0.074 (4순위)	고장	0.509 (1)	0.054 (6순위)	6
		예방	0.491 (2)	0.052 (7순위)	7
고장영향 (S)	0.518 (1순위)	서비스	0.213 (2)	0.102 (4순위)	4
		안전	0.787 (1)	0.378 (1순위)	1

상위계층기준 및 하위계층 기준별로 대안간 상대적 중요도 적용 결과, 전체순위 중 1순위는 14.7%를 차지한 판타그래프, 2순위는 13.8%의 컨버터/인버터, 3순위로는 13.1%를 차지한 고속도차단기 순으로 나타났다.

Table 4 A result of sub-standard different priorities analysis between alternative

대안	고장발생빈도 (R)		가용도 (A)		유지보수소요시간(M)		고장영향(S)		전체 순위
	교환	교환 + 점검	운행 가용도	가용성	고장	예방	서비스	안전	
판타그래프	0.053(8)	0.058(7)	0.139(1)	0.063(8)	0.058(8)	0.068(8)	0.138(1)	0.244(1)	0.147(1)
피뢰기	0.041(10)	0.043(10)	0.066(10)	0.031(10)	0.025(10)	0.039(9)	0.058(10)	0.106(3)	0.069(8)
컨버터/인버터	0.209(1)	0.225(1)	0.130(2)	0.208(1)	0.194(1)	0.208(1)	0.130(2)	0.068(7)	0.138(2)
고속도차단기	0.167(2)	0.134(3)	0.127(3)	0.100(5)	0.09(7)	0.111(4)	0.125(3)	0.136(2)	0.131(3)
교직절환기	0.102(5)	0.107(5)	0.096(5)	0.089(6)	0.095(4)	0.122(3)	0.125(3)	0.085(5)	0.100(5)
교류제어기박스	0.108(4)	0.137(2)	0.087(7)	0.126(3)	0.094(5)	0.139(2)	0.091(7)	0.057(10)	0.091(7)
주변압기	0.075(6)	0.068(6)	0.096(5)	0.121(4)	0.172(2)	0.107(5)	0.098(6)	0.088(4)	0.092(6)
필터리액터(FL)	0.070(7)	0.057(8)	0.072(8)	0.079(7)	0.094(5)	0.069(7)	0.062(9)	0.067(9)	0.067(9)
주퓨즈	0.052(9)	0.052(9)	0.07(9)	0.044(9)	0.033(9)	0.034(10)	0.069(8)	0.068(7)	0.061(10)
견인전동기	0.123(3)	0.119(4)	0.118(4)	0.138(2)	0.144(3)	0.103(6)	0.103(5)	0.081(6)	0.105(4)

상위계층별 상대적 중요도와 민감도 성능 종합 결과는 Fig. 2와 Fig. 3과 같은 결과를 얻었다.

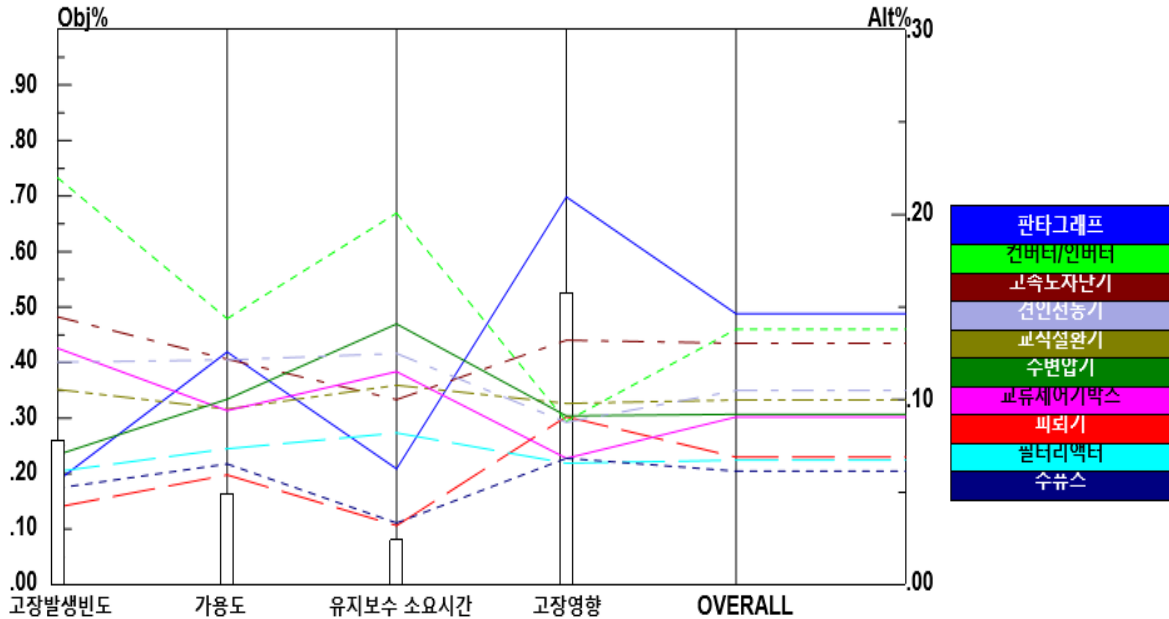


Fig. 2 Performance Sensitivity for nodes below : Goal : Selection of the main safety components (Main circuit device)

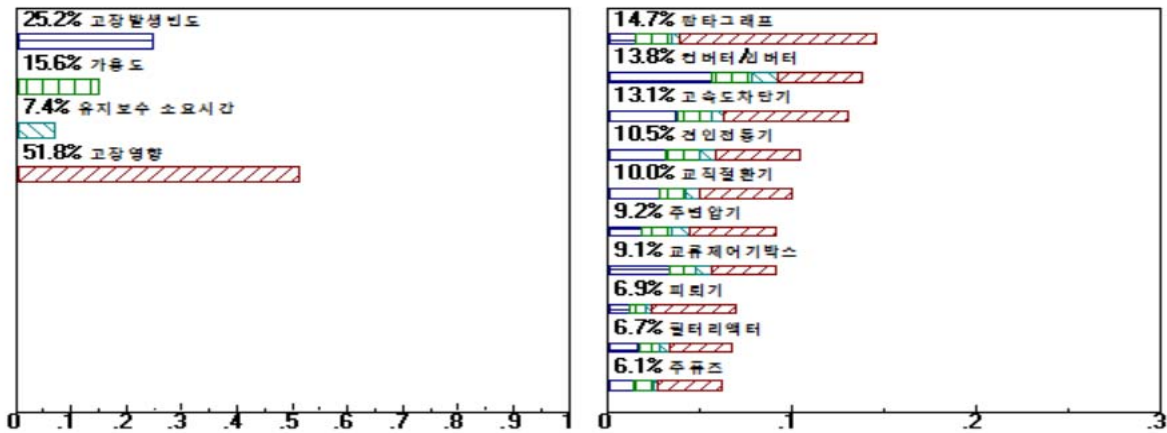


Fig. 3 Dynamic Sensitivity for nodes below : Goal : Selection of the main safety components (Main circuit device)

2. 결론

본 연구는 철도차량의 수많은 부품 중 주요안전부품(장치별) 선정 최적의 의사결정을 돕기 위하여 AHP기법을 활용한 VVVF 현대ADV 전동차 주회로장치 안전부품(장치별) 우선순위 선정 결과, 판타그래프, 컨버터/인버터, 고속도차단기 순으로 우선순위가 도출되었다.

연구과정에서 제시한 요인별 가중치 부여 방법을 활용, 철도차량 모든 장치 부품 대상으로 연구를 진행하여 주요안전부품으로 선정된 품목들은 해당품목 예비품관리방법, 유지보수체계 재정립 및 예산책정 시 최적의 우선순위 의사결정에 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Saaty, T. L., The Analytic Hierarchy Process, McGraw Hill, New York, 1980.
- [2] Saaty, T. L., “How to Make a Decision : The Analytic Hierarchy Process” , Euro pean Journal of Operation Research, Vol. 48, 1990, pp. 9-26.
- [3] Saaty, T. L. and Luis, G. V., “Diagnosis with Dependent Symptoms : Bayes Theorem and the Analytic Hierarchy Process” , Operations Research, Vol. 46, No. 4, 1998, pp. 491-502.
- [4] 공희경, 전효정, 김태성 (2008), ‘AHP를 이용한 정보보호투자 의사결정에 대한 연구’, JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY APPLICATIONS & MANAGEMEN, 제15권 1호, pp.139-152.
- [5] 키노시타 에이조, 오오야 타카오 (2012), ‘전략적 의사결정기법 AHP’ , 청람출판, pp. 17.