

RCM에서 상관관계 계수를 이용한 치명도 분석에 관한 연구*

윤덕수¹ · 정광우^{2†}

¹공항철도(주), ²한국교통대학교

A Study on the Criticality Analysis using Correlation Coefficient in Reliability Centered Maintenance*

Duksu Yun¹ · Kwangwoo Chung^{2†}

¹Korea Airport Railroad Co., ²Korea National University of Transportation

Purpose: The occurrence ranks of failure modes can come from the real failure but the severity ranks of failure modes require a highly subjective point of view of users. The severity ranks have to find more objective and scientific values.

Methods: We found the optimal values by using the correlation analysis between failure mode effects and the criticality number like RPN (Risk Priority Number) in RCM.

Result: This paper shows the result that verified whether the weighted values on each failure effect in criticality number calculation is suitable to the actual failures or not. To get the verification, it used the 5 year data and correlation analysis. Based on the analyzed result, We proposed the more suitable values.

Conclusion: This correlation analysis approach can provide guidance of RCM analysis across many industries and situations.

Keywords: RCM, Failure Mode, Correlation Analysis, Critical Analysis

1. 서론

공항철도(AREX: Airport Express)는 대한민국의 관문인 인천국제공항과 수도 서울의 철도교통관문인 서울역을 연결하는 국내 유일의 특화된 철도 운영기관으로서 철도와 항공의 편리한 연계시스템을 갖추어 고객의 이용편의 증진에 기여하고 있다. 또한 철도 운행의 안전 확보를 위해 공항철도는 전동차 고장데

이터의 통계관리 및 분석, RCM(Reliability Centered Maintenance) 전산 시스템을 구축하여 운영하고 있다.

전산 시스템을 통하여 매월 정기적인 신뢰성 분석을 실시하여 장치별, 편성별 특별점검 대상을 도출하고 있으며, 또한 연간 누적 고장데이터를 활용하여 장치별 치명도를 산출한 후 개선이 요구되는 장치를 선별하여 유지보수 주기·방법·수준 등에 대한 적정성을 평가하고 설계적 보완 필요여부를 검증하여 개

* 이 논문은 2016년도 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.

† 교신저자 ckw1201@ut.ac.kr

2016년 11월 28일 접수; 2017년 1월 13일 수정본 접수; 2017년 1월 24일 게재 확정.

선이 요구될 경우 차기 연도 개선과제로 선정하여 개선업무를 진행하고 있다. 그러나 이러한 신뢰성 기반 유지보수 활동의 첫 번째 단계라고 할 수 있는 신뢰성 분석 대상장치 선정 절차에서 선정의 기준이 되는 고장데이터 영향성 분류체계의 치명도 가중치가 사용자의 경험적 판단에 근거하여 부여되어 있어 이에 대한 객관적 판단기준을 마련할 필요가 있다.

본 논문에서는 2011년부터 2015년까지 5년간의 공항철도 운영 기간 동안의 고장데이터를 분석하여 시스템 구축 시 제시되었던 고장영향별 치명도 가중치가 실제 고장과 얼마나 일치성을 나타내는지를 통계학의 상관분석을 통하여 확인하였다. 분석한 결과를 토대로 상관관계를 높이기 위한 여러 가지 가중치 조합을 통하여 가장 적절하다고 분석한 고장영향별 치명도 가중치를 제시하고, 연도별 고장발생 현황과 연도별 신뢰성 개선활동의 결과를 비교하여 제시된 치명도 가중치의 타당함을 입증하고자 한다. 또한 RCM 업무에서 담당자의 주관적 판단을 최소화하기 위하여 신뢰성 분석 대상장치 선정시 치명도에 따라서 우선순위를 정하고, 어떤 치명도 값부터 반드시 신뢰성 분석 및 개선 대상으로 삼아야 하는지에 대한 기준을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 RCM 시스템 운영 현황

2.1.1 검수정보시스템 구성

공항철도는 RCM를 위하여 검수정보시스템 내에 분석시스템을 구축하여 운영하고 있다. 검수정보시스템은 검수계획에서부터 검수내역 및 이력을 체계적으로 통합 관리하여 예측 가능한 검수, 업무 절차를 정립하여 효율적인 검수 관리를 지원하고, 보다 신속하고 안정된 검수업무를 지원한다. 검수정보시스템은 <Fig. >1과 같이 차량분야의 유지보수업무를 위한 시스템으로 5개 업무(유지보수작업시스템, 유지보수지원시스템, 차량운행정보수신, 기술자료지원시스템, 유지보수응용시스템)로 구성되어있으며, RAMS 및 RCM 업무는 유지보수응용시스템에 해당된다.

2.1.2 RAMS 업무범위

RAMS가 적용되는 시스템의 범위는 차량, 신호, 통신, 송변전, 전차선, 플랫폼 스크린도어에 한하며, 관리되는 고장의 범위는 시스템의 고장 발생 시 유지보수 자원 즉, 인적 자원 및 물적 자원이 투입되어 실적 관리되는 항목에 한하며, 본 고장은 예방정비 시에 받

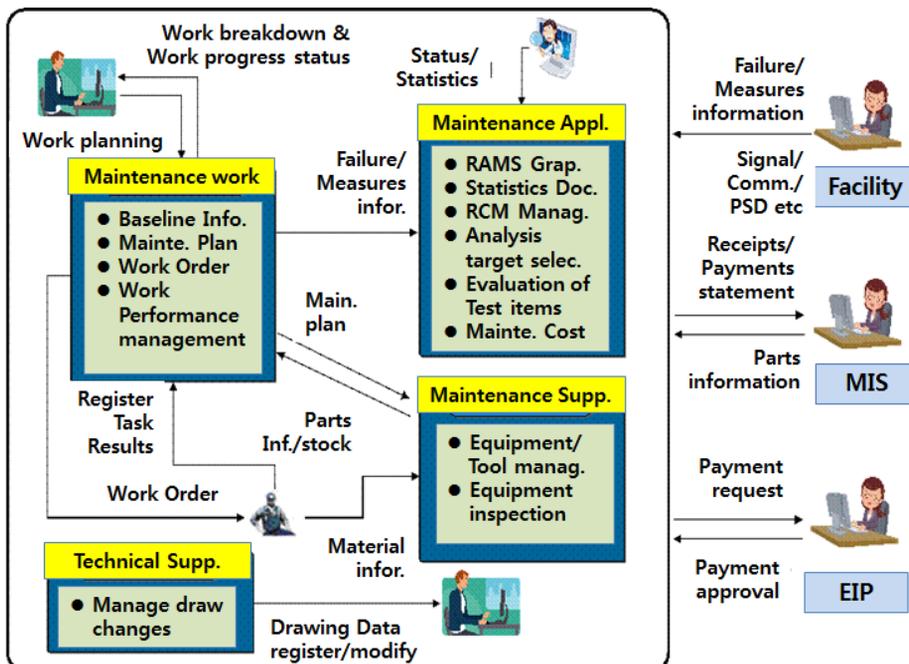


Fig. 1 Configuration diagram of inspection information system in AREX

견되는 고장 또는 교정정비 시 접수되는 장애 및 사고가 포함된다.

전동차에 고장이 발생하면 기동검수원, 승무원, 검수원이 유지보수 작업시스템에 고장내역을 등록하고 검수원이 고장을 접수한 후 조치를 행하게 된다. 고장에 대한 조치가 완료되면 검수원이 해당 조치결과를 등록하며, 신뢰성 기반 유지보수 업무담당자는 접수된 고장내역과 조치내역을 확인하고 고장결과를 등록한 후 RAMS 시스템과 연계한다. 고장데이터가 RAMS 시스템과 연계되면 취합된 고장정보를 확인하고 상세 분석할 수 있는 FRACAS(Failure Reporting Analysis and Corrective Action System)데이터가 양식에 맞게 생성이 되고 RAMS 지표 데이터로 연결된다.

공항철도 RAMS에서 관리되는 고장은 영향도에 따라 다음과 같이 4가지의 ‘고장영향’으로 분류된다. 이 분류 기준은 철도 운영에 미치는 치명도의 정도에 따른다.

(1) 단순고장

시스템의 성능상 경미한 수준의 고장에 해당되며, 교정정비 영역에서는 열차운행에 영향을 주지 않는 경우에 해당되고, 고장조치로 부품교체 및 수리가 실시된다.

(2) 기능장애

시스템의 성능상 주요한 기능상 장애사항으로 교

정정비 영역에서 보면 전동차 기준으로 차량교환이 요구되는 고장으로서, 고장조치로 부품교체 및 수리가 실시된다.

(3) 운행지연

영업 운영 시간 중 장애 접수 및 보고된 시스템의 오동작 및 고장으로서, 본 장애는 열차운행에 5분 이상 지연을 초래한 경우에 해당되며, 고장조치로 부품교체 및 수리가 실시된다. 여기서, 열차운행 지연시간의 관리기준은 운행 도중 고장의 영향을 받은 첫 번째 열차가 최종 종착역 기준으로 계획 도착시간 대비 지연 도착시간으로 정의한다.

(4) 위험 고장

사전 점검활동(계획점검 및 비계획점검) 및 영업 운영 시간 중 시스템의 오동작 및 고장으로 인하여 유발되는 사고 즉, 인명사고(승객/역무원/취급자/유지보수자/제3자), 대물사고, 환경사고 등을 초래할 것으로 예상되는 경우에 해당되며, 고장조치로 부품교체 및 수리가 실시된다.

2.1.3 RCM 분석업무

RCM 분석업무는 <Fig. 2>와 같이 기관사 또는 기동검수원에 의하여 등록된 고장(교정정비 고장)과 정비 도중 발견된 고장(예방정비 고장)은 RAMS 시스템에

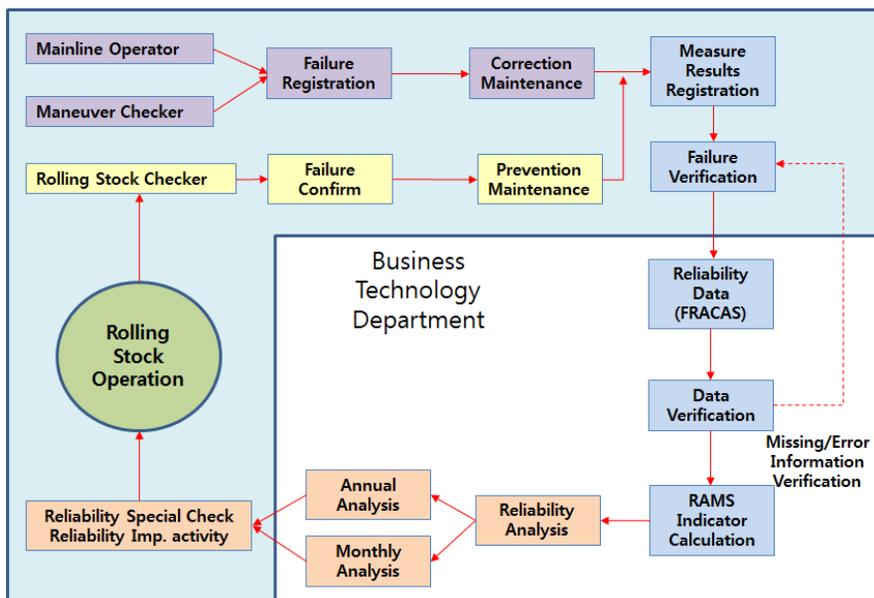


Fig. 2 Work flow of failure data generation, RCM and RCM

Table 1 Allocation of the unit criticality weights

Failure mode	Sign	Weight
DF(Dangerous Failure)	α	20
SD(Service Delay)	β	10
FD(Functional Disorder)	γ	5
SF(Simple Failure)	δ	1

연계되어 관리되고 신뢰성 기반 유지보수(RCM)를 위하여 활용된다.

공항철도는 월단위의 RAMS지표결과에 따라 전동차 편성별, 장치별 특별정비를 실시하고, 연단위의 신뢰성 분석업무를 실시한다. 연단위 신뢰성 분석업무에서는 분석대상 장치 선정을 위하여 LBS(Logistic Break-down Structure)별 RAMS 데이터를 분석하고 치명도를 산출한다. 치명도 값이 산출되면 값에 따라 우선순위가 부여되며, 우선순위에 따라 신뢰성 분석 대상장치를 선정 후 고장영향성 분석 및 검사항목 평가를 통하여 개선방안을 수립하고 이를 시행하고 있다.

(1) 치명도 산출

① 단위 치명도 가중치 할당

치명도 분석을 위한 단위 치명도 가중치는 <Table 1>과 같이 고장영향별로 할당되며, 단위 치명도 가중치는 고장영향별 치명도의 정도에 따라 결정된다.

② 치명도 지수 산출

치명도 지수는 하부장치, 서브시스템, 시스템 순으로 산출해 나간다. 첫째로, 다음의 식 (1)과 같이 하부

장치에 대한 고장 실적을 토대로 고장영향별 횟수에 치명도 단위값을 곱하여 산출된다.

$$\begin{aligned} & \text{하부장치 치명도 지수} & (1) \\ & = [A \times \alpha] + [B \times \beta] + [C \times \gamma] + [D \times \delta] \end{aligned}$$

여기서, A 는 연간 위험고장 횟수, B 는 연간 운행지연 횟수, C 는 연간 기능장애 횟수, D 는 연간 단순고장 횟수이다.

(2) 분석대상 장치 선정

장치별 치명도 값이 산출되면 신뢰성 분석 대상장치 선정을 위한 우선순위가 정해지며, 우선순위에 따라서 <Fig. 3>의 로직을 통하여 RCM 분석 대상(FSI : Functionally Significant Item)을 선정한다.

(3) 고장영향분류 로직

RCM 분석대상으로 선정된 LBS 장치는 고장 발견의 용이성, 안전과 열차운행에 미치는 영향 등을 고려하여 다음의 5가지 고장영향 중 하나로 분류되고, 분류된 고장영향에 따라 적합한 정비업무 또는 개선업무 계획을 수립한다.

- ① 안전상 명백 고장: 안전성을 확보하기 위한 정비업무가 요구됨.
- ② 운영상 명백 고장: 허용수준의 운영성능을 확보하기 위한 정비업무가 요구됨.
- ③ 비용상 명백 고장: 고장 후 발생비용보다 적은 비용의 정비업무가 요구됨.
- ④ 안전상 잠재 고장: 다중 고장으로 인한 안전상의

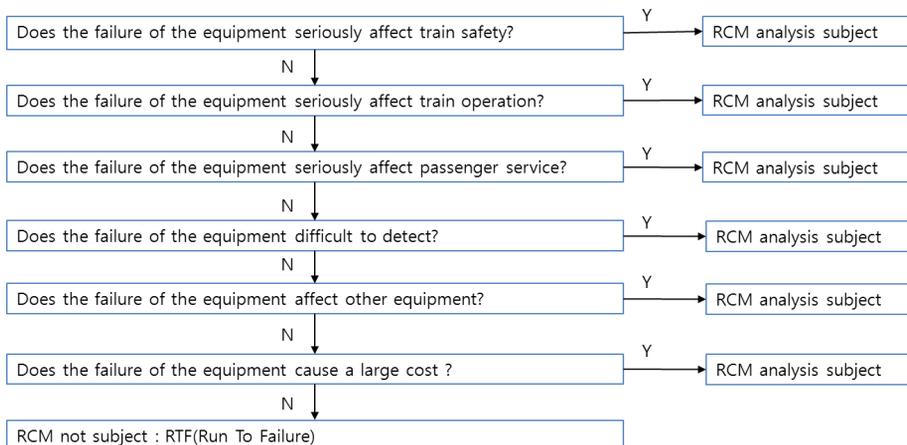


Fig. 3 Selection logic of the RCM analysis subject

악영향을 막기 위한 요구가용성을 확보하기 위한 정비업무가 요구됨.

- ⑤ 비용상 잠재고장: 다중고장으로 인한 비용상의 악영향을 막기 위한 요구가용성을 확보하기 위한 정비업무가 요구됨.

2.2 치명도 지표 분석

2.2.1 기존 치명도 지표 분석

공항철도는 고장데이터의 고장영향별 치명도 할당값을 부여하여 치명도 값을 산출하고 있다. 그러나 RCM을 위한 전산시스템 초기 구축단계에서 철도차량 유지보수 경험이 풍부한 일부 전문가들의 경험적 지식에 근거하여 그 할당값이 정해졌다. 따라서 ‘위험고장’, ‘운행지연’, ‘기능장애’, ‘단순고장’의 치명도 할당값에 대하여 객관성을 확보하고 과학적으로 접근하기 위하여 먼저 과거 5년간의 데이터를 분석하였다. 과거 고장데이터 분석으로부터 ‘운행지연’, ‘기능장애’, ‘단순고장’으로 구분되는 고장영향과 치명도 값 사이의 상관관계계수를 산출하였으며, 분석에 이용된 고장데이터는 2011년 1월 1일부터 2015년 12월 31일까지 5년간의 고장데이터를 사용하였다.

<Table 2>는 분석된 5년간의 고장데이터를 근거하여 치명도가 높은 상위 10개 장치를 보여준다.

공항철도는 매년 1년간의 고장데이터를 분석하여 <Table 2>과 같은 방식으로 치명도 값에 근거한 우선순위에 따라 신뢰성 기반 유지보수를 시행하고 있다. 이것은 현실적으로 모든 장치에 대하여 개선행위를 하는 것은 불가능하기 때문이고, 따라서 우선순위가

높은 장치부터 개선업무를 시행하게 된다. 본 연구에서는 치명도 가중치가 적정하게 부여되었는가를 객관적이고 과학적으로 입증하기 위하여 먼저 통계학의 상관관계분석법을 이용하였으며, 상관관계분석은 고장영향 즉, ‘위험고장’, ‘운행지연’, ‘기능장애’, ‘단순고장’의 치명도 할당값이 실제 고장통계에 의하여 산출된 ‘치명도’ 결과값과 어느 정도의 상관관계가 있는지를 수치적으로 보여줄 수 있다.

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x \times S_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{(n-1) \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

여기서

S_{xy} : 변수 x와 변수 y간의 공분산으로 운행지연과 치명도 간, 기능장애와 치명도 간, 단순고장과 치명도 간의 공분산

S_x : 변수 x의 표준편차로 각 장치별 운행지연, 기능장애, 단순고장의 표준편차

S_y : 변수 y의 표준편차로 각 장치의 치명도의 표준편차

x_i : i번째 장치의 운행지연, 기능장애, 단순고장 발생건수

\bar{x} : 변수 x의 평균으로 운행지연, 기능장애, 단순고장 발생건수 평균

n : 표본 갯수

Table 2 Five-year Criticality value(Top 10 Unit)

system/sub-system/unit	DF	SD	FD	SF	Criticality value
Train Door/Door Control Unit(DCU)	0	4	34	115	325
Air Conditioning Unit(ACU)/Air Conditioner	0	0	6	139	169
Train Control Computer(TC)/TC	0	4	14	37	147
Switchboard/Switchboard	0	3	6	85	145
Broadcast System(BS)/Center Operation Box(COB)	0	0	0	144	144
Converter_Inverter Unit(C_I)/Control Unit	0	0	17	27	112
Brake Operating Unit(BOU)/Electronic Control Unit(ECU)	0	1	10	29	89
Center Pivot Unit(CPU)/Lateral Damper	0	0	0	88	88
Tread Brake Unit(TBU)/Cylinder Unit	0	1	0	70	80
Operation Facilities(OF)/Cabin Switchboard	0	4	4	18	78

Table 3 Correlation coefficient between failure mode and criticality value

Classification	Correlation coefficient	Remarks
SD vs Criticality value	0.646	high correlation
FD vs Criticality value	0.823	very high correlation
SF vs Criticality value	0.848	very high correlation

다음은 고장영향별 발생건수와 치명도 간의 상관관계수이며, 고장영향 중 위험고장은 공항철도에서 관리하는 기준에 의거 5년간 발생한 적이 없어 제외하였다.

상관관계분석의 관점에서 볼 때 ‘기능장애’와 ‘단순고장’은 치명도와 매우 높은 상관관계를 보이고 있으며, ‘운행지연’은 일반적으로 높은 상관관계에 해당된다. 즉 철도차량 유지보수 경험자들에 의하여 시스템 구축단계에서 정한 고장영향별 가중치가 전반적으로 타당하게 설정되었음을 객관적으로 입증할 수 있다.

그러나 본 연구에서는 ‘운행지연’ 고장과 ‘치명도 값’ 간의 상관관계가 다른 고장영향에 비하여 상대적으로 떨어지는 것을 보완하고자 하며, 더욱이 철도운영자 입장에서는 ‘위험고장’은 말할 것도 없이 가장 정성을 들여 예방하여야 할 고장형태가 ‘운행지연’이라고 할 수 있다.

Table 4 Percentage of failure mode compared to SF(Top 10)

system/sub-system/unit	DF	SD	FD	SF	Criticality value	SF compare	
						SD rate	FD rate
Train Door/DCU	0	4	34	115	325	3.5%	29.6%
ACU/Air Conditioner	0	0	6	139	169	0.0%	4.3%
TC/TC	0	4	14	37	147	10.8%	37.8%
Switchboard/Switchboard	0	3	6	85	145	3.5%	7.1%
BS/COB	0	0	0	144	144	0.0%	0.0%
C_I/Control Unit	0	0	17	27	112	0.00%	63.0%
BOU/ECU	0	1	10	29	89	3.5%	34.5%
CPU/Lateral Damper	0	0	0	88	88	0.0%	0.0%
TBU/Cylinder Unit	0	1	0	70	80	1.4%	0.0%
OF/Cabin Switchboard	0	4	4	18	78	22.2%	22.2%

Table 5 Approximate value of the criticality weight

SF compare	Average	Approximate value of criticality weight
Average of SD occurrence rate	3.3%	30
Average of FD occurrence rate	16.8%	6

2.2.2 상관계수를 이용한 치명도 지표 개선

‘운행지연’에 대하여 적정 치명도 가중치를 찾기 위하여 5년간 발생한 전체 고장 건수에 대하여 고장영향별 비율을 분석하였다. 비율분석에서 장치별로 ‘단순고장’ 발생건수에 대비하여 ‘운행지연’과 ‘기능장애’가 어떤 비율로 발생하는지를 산출한 후 전체 장치에 대하여 평균값을 도출하였다.

<Table 5>에서 얻어진 치명도 가중치를 적용하였을 때, 고장영향별 치명도와의 상관관계를 다시 분석해 보면 다음과 같다.

<Table 6>의 변경된 상관관계계수에서 알 수 있듯이, 운행지연의 치명도 할당값을 “30”, 기능장애의 치명도 할당값을 “6”으로 했을 때, 각각의 상관관계계수가 “0.800”, “0.847”로 이전의 치명도 할당값을 적용하였을 때 보다 상관관계가 높아진 것을 알 수 있다. 다만 운행지연과 기능장애의 치명도와의 상관관계가 높아진 반면 단순고장의 치명도와의 상관관계는 상대적으로 낮아지게 되는데, 이는 철도운영 측면에서 기능장애 및 운행지연의 상관관계를 단순고장과 비교하여 높이는 것이 더 바람직한 방향으로 생각해 볼 수 있다.

앞에서 구한 치명도 가중치의 최적값을 찾기 위해 근사한 여러 가지 수치를 대입함으로써 치명도 할당값의 민감도 분석을 수행한 결과를 <Table 7>에 나타내었다.

<Table 7>의 치명도 할당값별로 치명도와 각 고장영향별 상관관계를 분석해 본 결과 단순고장의 상관관계를 조금 낮추고 상대적으로 중요하다고 할 수 있는 운행지연의 치명도와 상관관계를 높일 수 있는 운행지연 35, 기능장애 7의 치명도 할당값을 선정하였다. 이 할당값을 선정함에 따라 다음과 같은 상관관계의 변화를 볼 수 있다.

2.3 개선된 치명도 가중치 검증

기존 경험적 판단근거에 기반한 치명도 우선순위와

비교하여 본 논문에서 제시한 상관관계분석법에 의해 새로이 산출된 치명도 할당값을 적용한 우선순위의 변화가 유의미한 변화인지를 검증하였다. 또한 이 변화된 우선순위가 유지보수 개선대상의 우선순위로써 얼마나 효과적인가를 분석하여 적절한 변화인지를 판단하였다. 그러기 위하여 연도별 치명도 우선순위 변화와 그 다음해의 고장발생 현황을 비교하였다. 분석되는 기간은 본 연구에서 5년간의 통계데이터를 활용하였으므로 해당 기간 내의 고장통계 데이터를 활용하였다.

<Table 9>에서 추진제어장치의 ‘제어장치’가 기존 방식에서는 6번째 우선순위를 보인 반면 제안한 방식에서는 3번째의 우선순위를 나타냈으며, 특히 ‘답면제동장치실린더유니트’의 경우 기존 방식에서는 10번째의 우선순위였으나 제안한 방식에서는 4번째의 우선순위를 보였다.

Table 6 Change in correlation coefficient after adjusting criticality weight

Classification	Correlation coefficient		Remarks
	Existing	Adjustment	
SD vs Criticality value	0.646	0.800	very high correlation
FD vs Criticality value	0.823	0.847	very high correlation
SF vs Criticality value	0.848	0.736	high correlation

Table 7 Correlation coefficient by criticality weight

Adjusting criticality weight	Classification	Correlation coefficient
SD: 20 FD: 5	SD vs Criticality value	0.740
	FD vs Criticality value	0.831
	SF vs Criticality value	0.798
SD: 35 FD: 7	SD vs Criticality value	0.819
	FD vs Criticality value	0.859
	SF vs Criticality value	0.705
SD: 40 FD: 7	SD vs Criticality value	0.838
	FD vs Criticality value	0.853
	SF vs Criticality value	0.688

Table 8 Correlation coefficient change after adjustment of criticality weights

Classification	Correlation coefficient		Remarks
	$\beta = 30, \gamma = 6$	$\beta = 35, \gamma = 7$	
SD vs Criticality value	0.800	0.819	very high correlation
FD vs Criticality value	0.847	0.859	very high correlation
SF vs Criticality value	0.736	0.705	high correlation

공항철도에서는 2011년도 고장통계로 분석된 <Table 9>의 기존 치명도 할당값 결과를 토대로 2012년도 유지보수 개선업무를 시행하였으며, 산출된 결과를 그대로 따르기 보다는 신뢰성 기반 유지보수 담당자의 경험적 판단에 따라 그 중요도가 상대적으로 높다고 판단되는 장치들을 추가로 선정하여 개선업무를 시행하였다. 추가 대상장치는 추진제어장치 제어기, 출입문 ASS'Y였다. 센터피봇장치 '횡댐퍼'의 경우 신뢰성 기반 유지보수 분석 전 이미 설계적 결함이 있는 것으로 판정되어 제작사에서 개선이 시행 중이었음을 감안할 때, 분석자의 주관적 판단이 <Table 9>의 상관관계를 고려한 치명도 할당값 결과와 일치함을 알 수 있다. 이

것은 분석업무 담당자의 주관적 해석을 완전히 배제할 수 없다하더라도 시스템적으로 산출된 유지보수 우선 순위와는 다르게 분석업무 담당자의 주관적 견해에 따라 유지보수 개선 대상 장치의 우선순위를 변경하는 모순된 업무절차를 줄일 수 있음을 의미하기도 한다.

그렇다면 분석자의 주관적 판단과 새로이 도출된 치명도 할당값이 일치한 것이 실질적으로 다음 년도의 고장발생에 어떤 변화를 주었는가를 살펴볼 필요가 있다. <Table 10>은 2012년도의 고장발생 현황과 기존의 치명도 가중치에 의해 산출된 치명도 우선순위와 상관관계를 고려한 치명도 가중치에 의해 산출된 우선순위를 나타내고 있다.

Table 9 Failure statistics and Criticality Value(2011)

Existing criticality weight			Correlation-based criticality weights		
Priority	system/sub-system/units	criticality value	Priority	system/sub-system/units	criticality value
1	Train Door/Door ASSY	54	1	Train Door/Door ASSY	110
2	CPU/Lateral Damper	52	2	CPU/Lateral Damper	52
3	ACU/Air Conditioner	42	3	C_I/Control Unit	49
4	BS/COB	40	4	TBU/Cylinder Unit	49
5	Static InVerter(SIV)/ Auxiliary Rectifier(ARF)	38	5	OF/Cabin Switchboard	49
6	C_I/Control unit	37	6	BOU/ECU	43
7	Train Door/DCU	35	7	ACU/Air Conditioner	42
8	BOU/ECU	33	8	Jumper Coupler/74P	42
9	Switchboard/Switchboard	25	9	Train Door/Door Panel	41
10	TBU/Cylinder Unit	24	10	BS/COB	40

Table 10 Failure statistics and Criticality Value(2012)

Existing criticality weight			Correlation-based criticality weights		
Priority	system/sub-system/units	criticality value	Priority	system/sub-system/units	criticality value
1	Train Door/DCU	60	1	TBU/Break Shoe	140
2	TBU/Break Shoe	55	2	Train Door/DCU	78
3	Switchboard/Switchboard	31	3	BOU/ECU	61
4	BOU/ECU	30	4	Switchboard/Switchboard	60
5	BS/COB	30	5	TC/TC	36
6	TC/TC	28	6	Train Door/Door Engine	35
7	CPU/Lateral Damper	26	7	BS/COB	30
8	TBU/Cylinder unit	25	8	CPU/Lateral Damper	26
9	ACU/Air conditioner	22	9	C_I/Control unit	26
10	C_I/Control unit	20	10	TBU/Cylinder unit	25

<Table 10>에서 보듯 추진제어장치의 ‘제어장치’는 2011년 RCM 분석 결과 유지보수 개선 대상장치로 선정하여 집중적인 유지보수 관리가 진행되어 기존의 치명도 할당값을 적용한 상태에서 우선순위가 10 번째로 낮아졌다. 2012년도에 해당 장치는 “센서보드의 하드웨어적 설계개선”과 “일상 정기검수에 기능 점검 정비항목을 추가”함으로써 신뢰성 기반 유지보수 개선을 시행하였으며, 그 결과 다음 해에 상대적으로 고장 치명도가 높은 기능장에 고장을 감소시킬 수 있었다.

<Table 10>에서 상관관계를 고려한 치명도 할당값에 따라 산출된 치명도 우선순위를 또한 나타내고 있으며, 2012년도의 경우 기존 치명도 할당값에 따른 우선순위와 상관관계를 고려한 치명도 할당값에 따른 우선순위가 다소 변화하고 있으며, 주로 운행 안전에 관련된 제동장치의 우선순위가 상위에 랭크되고 있음을 알 수 있다.

<Table 11>에는 5년간의 전체 고장통계 데이터에 적용한 치명도 우선순위의 변동을 나타내었다.

<Table 11>에서 보듯 기존 치명도 할당값에서 2번째 우선순위였던 ‘에어컨’ 장치는 상관관계를 고려한 치명도 할당값에서는 5번째로, 5번째 우선순위였던 ‘방송장치의 중앙제어기’는 9번째 우선순위로 내려갔으며, 이전 치명도로 10번째 우선순위였던 ‘운전실 배전반’은 5번째 우선순위로, 표 상에서는 보이지 않았던 12번째 우선순위였던 ‘담면제동 장치의 브레이크 슈’는 변경된 치명도에서 6번째 우선순위로 나

타나는 현상을 보였다. 이런 순위 변동을 살펴보면 변경된 치명도 할당값에 따른 치명도 우선순위가 열차 운행에 더 밀접한 관련이 있는 장치들에서 높아지는 것을 철도운영 경험적으로도 좀 더 타당성 있게 보여진다. 즉, 에어컨과 방송장치의 경우 승객서비스 측면에서는 중요하지만 정시운영 측면에서는 그 치명도가 상대적으로 떨어지며, 반면 공항철도 검수정보 시스템에서 전기회로와 계전기를 포함하는 것으로 정의된 ‘운전실 배전반’과 ‘제동장치의 브레이크 슈’가 우선순위가 높아진 것을 보았을 때, 이런 우선순위의 변화에 대한 과학적인 타당성을 검증하기에 앞서 철도운영 경험상 타당성이 있음은 분명할 것이다.

2.4 유지보수 개선 대상 장치 선정 기준

개선된 치명도 가중치에 따른 치명도 우선순위에 서 또 하나 눈여겨 볼만한 것은 이전 치명도 우선순위에 비하여 변경된 치명도가 변별력이 높다는 것이다. 2011년 2단계 개통 초기의 데이터는 다양한 고장이 많이 발생하였음을 감안하여 제외하고, 안정화시기부터 관찰해 보면 이전 치명도의 경우 특정한 개 또는 두 개 장치에서 확인한 값의 차이가 나타나고 그 장치 밑으로는 비슷한 치명도 값이 분포됨을 알 수 있다. 이것은 분석업무 담당자로 하여금 선택의 문제를 가져올 수 있다. 치명도 값의 차이가 분명하지 않다는 것은 결국 그들 간의 중요성이 유사하다고 판단할 수 있기 때문이다. 반면, 개선된 치명도의 경우, 변경 치

Table 11 5-year failure statistics and criticality value

Existing criticality weight			Correlation-based criticality weights		
Priority	system/sub-system/units	criticality value	Priority	system/sub-system/units	criticality value
1	Train Door/DCU	325	1	Train Door/DCU	493
2	ACU/Air Conditioner	169	2	TC/TC	275
3	TC/TC	147	3	Switchboard/Switchboard	232
4	Switchboard/Switchboard	145	4	OF/Cabin Switchboard	186
5	BS/COB	144	5	ACU/Air Conditioner	181
6	C_I/Control Unit	112	6	TBU/Brake Shoe	162
7	BOU/ECU	89	7	Train Door/Door ASSY	148
8	CPB/Lateral Damper	88	8	C_I/Control Unit	146
9	TBU/Cylinder Unit	80	9	BS/COB	144
10	OF/Cabin switch board	78	10	BOU/EP100	135

Table 12 Before and after change of criticality value by year

Priority	2011		2012		2013		2014		2015	
	Before(B)	After(A)	B	A	B	A	B	A	B	A
1	54	110	60	140	74	182	63	81	93	152
2	52	52	55	78	35	89	36	77	67	117
3	42	49	31	61	32	54	29	52	55	70
4	40	49	30	60	27	38	27	38	41	59
5	38	49	30	36	23	37	23	37	27	27
6	37	43	28	35	21	36	21	36	21	27
7	35	42	26	30	20	32	18	36	17	20
8	33	42	25	26	19	27	15	35	16	17
9	25	41	22	26	18	24	15	33	14	16
10	24	40	20	25	17	23	14	21	14	15
11	23	39	17	24	15	23	13	18	13	15
12	22	38	16	21	14	19	13	17	13	14
13	19	37	15	18	14	18	12	17	11	11
14	17	27	13	17	13	17	11	15	10	10
15	16	25	13	17	13	16	10	14	9	10

명도 값의 차이가 상대적으로 크게 나타나고 있어 장치별 중요성을 쉽게 구분할 수 있어 변별력을 높일 수 있다. 따라서 공항철도에서는 향후 매년 신뢰성 분석에 근거한 유지보수 개선계획 수립 시 개선 대상으로 선정하는 장치를 변경된 치명도로 산출된 ‘치명도 50’ 이상으로 제안하고자 한다.

3. 결론

본 연구에서는 공항철도에서 시행하고 있는 신뢰성 기반 유지보수업무를 전반적으로 검토하였으며, 이론의 정립에 머물지 않고 지속적으로 현업과의 괴리감을 줄이기 위한 노력의 일환으로 치명도 산출과정에서 미흡했던 객관성을 확보하기 위한 연구를 진행하였다. 일부 전문가의 주관적 견해가 아닌 실제 발생한 5년간의 고장데이터를 토대로 현재 공항철도에서 적용하고 있는 고장모드의 영향별 치명도 가중치가 신뢰성 개선 대상으로 선정되기 위한 최종적 치명도값과 얼마나 상관관계를 가지고 있는지 분석을 진행되었다. 이 분석을 위하여 통계학에서 사용하는 변수 간의 상관관계를 수치적으로 표현해주는 상관분석법을 이용하여 새로운 치명도 가중치를 제시하였다.

본 논문에서 새로이 제시된 고장영향별 할당값(치명도 가중치)은 ‘위험고장’ 고장영향이 “20”에서 “50”으로 ‘운행지연’ 고장영향이 “10”에서 “35”로, ‘기능장애’ 고장영향이 “5”에서 “7”로 상향되는 형태를 보였으며, 이것은 열차운행과 밀접한 관련이 있는 고장 유형에 대하여 치명도와 상관관계를 높이는 결과를 가져왔다. 또한 기존의 치명도 가중치와 비교하였을 때, 신뢰성 개선이 필요한 우선순위 결정 시 장치간 변별력을 높일 수 있는 결과를 가져왔다. 다시 말해 치명도 수치상 장치간 변별력이 부족한 경우 신뢰성 분석업무 담당자의 주관적 견해가 개입되는 현상을 최소화할 수 있었으며, 일반적인 신뢰성 기반 유지보수 절차에서 RPN(위험도 우선순위)산출 시 문제점으로 제기된 심각도와 발생도 각각의 등급에 따라 원하지 않는 우선순위로 변질되는 현상을 줄이는 효과가 있다고 할 수 있겠다.

지금까지 본 논문을 통하여 연구되고 제시된 ‘고장영향별 치명도 할당값’을 향후 실제 유지보수에 활용하여 봄으로써 그 효과에 대한 검증 및 개선여부 파악이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단하며, 무엇보다 철도분야에 확산되고 있는 ‘신뢰성 기반 유지보수’의 보급을 위해서도 이론과 현실에서 발생할 수 있는 괴리를 줄이기 위한 노력은 지속되어야 할 것이다.

References

- [1] MIL-STD-1629A (1980). "Procedure for Performing a Failure Mode, Effect and Criticality Analysis". Department of Defense.
- [2] MIL-STD-2173(AS) (1986). "Reliability-Centered Maintenance Requirements for NAVAL Aircraft, Weapons System and Support Equipment". Department of Defense.
- [3] Headquarters, United States Department of the Army (2013). "Failure Modes, Effects and Critical Analysis (FMECA) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance Facilities".
- [4] Kim, H. Y. (2014). "A Study on Improvement of Reliability in the Operation of Urban Rail System Based on Burn-in and FMECA", PHD thesis, Kyungil University, pp. 7-11, 51-52.
- [5] Park, B. N., Joo, H. J., Lee, C. H., and Lim, S. S. (2009). "A Study on FMEA for Railway Vehicle". Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp. 162-168.
- [6] Kim, H. Y. and Lee, J. C. (2012). "A Case Study on Improving for Operating ATC/ATO System and Driving Environment Using FMECA". Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 15, No 6, pp. 550-557.
- [7] Park, B. N., Joo, H. J., Lee, C. H., and Lim, S. S. (2008). "A Study on Implementation of RCM for Railway Vehicle". Autumn Conference of the Korean Society for Railway, pp. 1487-1493.
- [8] Lee, C. H., Song, M. O., Park, B. N., and Lee, J. M. (2010). "Procedure for Maintenance Improvement by RCM Criticality Analysis". Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp. 2209-2214.
- [9] Kim, K. W. and Shin, K. S. (2013). "A Study on the Application Reliability Centered Maintenance of Aircraft Structure based on the Risk Assessment". Journal of the Aviation Management Society of Korea, Vol. 11, No. 1, pp. 61-74.
- [10] Yu, Y. H. and Lee, N. Y. (2013). "A Study on Reliability Centered Rolling Stock Maintenance Methods". Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 16, No. 3, pp. 183-188.
- [11] Roh, B. T. and Chung, K. W. (2015). "Study on Improvement of Reliability for Passenger Service Equipment". Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp. 1199-1204.
- [12] Kim, S. Y., Yun, W. Y., and Kim H. K. (2007). "Reestablishment of RPN Evaluation Method in FMEA Procedure for Motors in Household Appliances". Journal of the Korean Society for Quality Management, Vol. 35, No. 1, pp. 1-9.
- [13] Lee, Y. S., Kwon, K. R., Kim, J. O., and Kim, H. C. (2009). "Estimation for Failure Rate of Railway Power Facility and Determination of Maintenance Priority Order using Fuzzy Theory and Expert System". Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp. 495-504.
- [14] Lim, M. H. (2011). "Reliability allocation method considering cost and failure criticality". Master thesis, Konkuk University, pp. 34-35.