

도시철도차량 신뢰도/가용도 관리시스템 개발에 관한 연구 (I)

A Study for the Development of the Reliability/Availability Management System of the Urban Transit Vehicles (I)

박기준* · 정종덕

Kee-Jun Park · Jong Duk Chung

Abstract The maintenance of an urban transit vehicle accounts for 60-70% of total costs over its entire life cycle, so it is critical to reduce maintenance costs and extend the life times of urban transit EMUs (electric multiple units) through research. For these researches, the reliability and availability data management system was constructed through the case study of several industries in the domestic and international in the field of reliability centered maintenance system. And we created a system to manage reliability and availability data for use in urban-EMU maintenance. In this work, we identified the major functions needed to successfully develop the system. Here we report the successful development of a reliability and availability data management system for maintenance of urban transit vehicles.

Keywords : Reliability, Availability, Urban Transit Vehicles, Maintenance

초 록 장기간 수명주기(Life Cycle)을 갖는 도시철도차량은 초기 도입비용보다 유지보수비용이 많은 비중(60%~70%)을 점유하고 있으므로 효율적인 유지보수 연구를 통하여 유지보수 비용의 절감과 대형시스템의 수명 연장을 추구하는 일이 무엇보다 시급하다. 이를 위해 신뢰성기반의 유지보수체계에 대해 여러 산업분야의 국내·외 사례 조사·분석을 통해 도시철도차량 신뢰도/가용도 관리시스템을 구성하였다. 본 연구에서는 이 시스템이 가져야 할 주요 기능을 상세히 정하고 성공적인 시스템 개발이 될 수 있도록 관련 시스템을 개발하였다. 본 논문은 성공적으로 개발이 완료된 도시철도차량 신뢰도/가용도 관리시스템에 관한 내용을 기술한 것이다.

주요어 : 신뢰도, 가용도, 도시철도차량, 유지보수

1. 서 론

장기간 수명주기(Life Cycle)을 갖는 도시철도차량은 초기 도입비용보다 유지보수비용이 많은 비중(60%~70%)을 점유하고 있으므로 효율적인 유지보수 연구를 통하여 유지보수 비용의 절감과 대형시스템의 수명 연장을 추구하는 일이 무엇보다 시급하다. 또한, 유지보수 결함으로 인한 대형사고 발생은 인명피해 및 막대한 재산 손실로 사회 안전과 환경에 큰 영향을 미치는 것으로 평가되고 있으며, 도시철도차량의 유지보수에 있어서 검수 주기 마련과 반복적 사고/고장의 원인 규명이 필요하게 되었다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 도시철도차량의 신뢰성 평가를 통해 주어진 운영조건에서 각 물리적 시스템들이 기능을 안전하게 유지할 수 있도록 보전 계획을 수립하는 것이며 이러한 보전계획 수립을 위해서 체계적인 신뢰성 기반의 유지보수 절차 및 방법의 확립이 필요하다.

도시철도차량 시스템을 운영하는 선진국의 경우 장치의 고장특성과 발생확률을 고려하여 정비검수주기를 수립하고 있

으나, 국내의 정비검수주기는 제작사에서 제공한 자료에 따라 그 주기를 결정하여 정비검수 하도록 되어있다. 그러나 거대하고 복잡한 장치의 검수주기를 고장특성에 따르지 않고 제작사로부터 제공된 데이터만을 기준으로 정비주기를 결정하는 것은 도시철도차량 시스템 전체에 대한 가용성 향상 및 고장 예방에 효과적이지 못하다.

따라서 도시철도차량의 신뢰도 및 LCC(Life Cycle Cost) 기준을 정하고 신뢰성기반의 유지보수체계를 도시철도차량 유지보수에 적용함으로써 정성적인 고장 분석을 정량화 및 시스템화 하고, 시스템의 신뢰도를 구하고 이를 기반으로 고장 발생을 확실적인 방법으로 예측하며, 시스템 가용성 및 예방정비 주기를 결정하는 것이 도시철도차량의 효율적인 운영 및 안전성 향상에 필요하다.

최근 신뢰성기반의 유지보수 시스템에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있으나 철도분야에서는 국내외 관련 연구 사례가 미흡하고 또한 도시철도차량과 같은 대형 복잡시스템의 사고/고장 발생 시 대책수립과 개선을 위한 체계가 미흡한 실정이다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 도시철도차량과 같이 복잡한 시스템에서 효율적으로 사용할 수 있는 시스템을 개발하여 도시철도차량의 유지보수체계를 신뢰성 기반 유지보수체제로 전환될 수 있는 기반을 마련하고자 하였다. 이를 위하여 신뢰성의 개념을 유지보수 과정에 도입

*Corresponding author.

Tel.: +82-31- 460- 5712, E-mail : kjpark@krii.re.kr

©The Korean Society for Railway 2013

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2013.16.3.163>

하고 도시철도차량의 각 물리적 시스템의 기능을 유지할 수 있도록 현재 운용조건에 적합한 정비검수계획을 수립하는데 필요한 Data를 축적 할 수 있는 도시철도차량의 가용도 및 신뢰도 관리시스템 개발을 위해 국내외 사례 조사와 분석을 통하여 시스템의 개발 방향을 수립하였고[1,2], 이를 기초로 시스템을 구성하고 있는 각 서브시스템들의 기능을 정의하여 시스템을 개발하고자 하는 목적을 충실히 달성할 수 있도록 하여 성공적으로 시스템 개발을 완료하였다. 본 논문은 성공적으로 개발이 완료된 도시철도차량 신뢰도/가용도 관리시스템에 적용된 주요 기법 및 방법론에 대한 내용을 기술한 것이다.

2. 본 론

2.1 도시철도차량 신뢰도/가용도 관리시스템 구성

국내·외 신뢰성 기반 유지보수체계에 대한 사례를 조사 분석한 결과와 도시철도차량의 유지보수정책의 의사결정에 반드시 필요하다고 판단되는 기능을 바탕으로 하여 Fig. 1 과 같은 도시철도차량 신뢰도/가용도 관리시스템 개발하였다. 본 연구에서 제시하는 신뢰도/가용도 관리시스템은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 신뢰성 정보관리시스템, 유지보수주기 최적화시스템, 품질향상시스템, 실시간 진단시스템, 고장 전문가 시스템 및 작업관리시스템 등 총 6가지 단위시스템으로 구성되어 있다.

현재까지 국내에서 사용되고 있는 시스템은 작업관리 시스템으로부터 고장에 관한 Data를 생성하고 이를 기반으로 하여 신뢰성 정보관리시스템에서 고장률을 계산하고 이로부터 부품 또는 장치에 대한 신뢰도를 계산하는 방법을 사용하고 있다. 또한 시스템의 신뢰도 개선은 일부 도시철도 운영기관에서 FMEA 또는 FMECA 분석을 통해 이루어지고 있다.

본 연구에서는 해외에서 개발되어 운영하고 있는 RCM 시

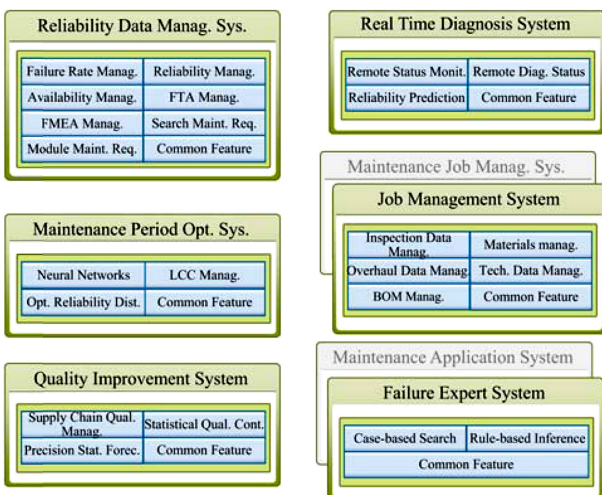


Fig. 1 Configuration diagram of reliability and availability data management system

스템에 각 부품 또는 장치의 LCC는 최소화하면서 신뢰도는 높일 수 있는 유지보수 주기 최적화 시스템과 유지보수 단계에서 도시철도차량의 품질을 지속적으로 향상시킬 수 있는 품질향상시스템을 추가하여 시스템을 개발함으로써 효율성과 경제성을 높일 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 지면관계상 신뢰성 정보관리시스템과 유지보수주기 최적화시스템에 대해서만 기술하고, 다음 기회에 나머지 시스템에 대해 기술하도록 하겠다.

2.2 신뢰도 정보관리시스템

신뢰성 정보관리시스템은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 도시철도차량을 구성하고 있는 부품, 장치들에 대한 신뢰도, 가용도 관련 정보를 관리하는 시스템이며, 고장률관리, 신뢰도관리, 가용도관리, FTA(Fault Tree Analysis)관리, FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)관리, 정비요청검색, 정비요청모듈로 구성되어 있다.

고장률관리시스템은 작업관리시스템으로부터 생성된 고장 Data Set으로부터 지수분포, Weibull분포, Normal분포, Log-Normal분포에 대해 단위 부품, 장치에 대한 고장률을 계산하고, 노선별, 동일 차종별, 편성별, 차량별 모집단을 이용하여 각각의 경우에 대한 고장률을 계산한다. 이때, 고장률 계산시 각각의 분포함수에 해당하는 모수를 도시철도차량에 맞도록 최적의 방법을 사용해 추정한다. 신뢰도 관리시스템은 FBD(Function Block Diagram) 관리, RBD(Reliability Block Diagram) 관리, MTBF(Mean Time Between Failure) 관리, 신뢰도 관리시스템으로 구성된다. FBD 관리시스템은 FBD를 GUI(Graphic User Interface)환경으로 관리할 수 있

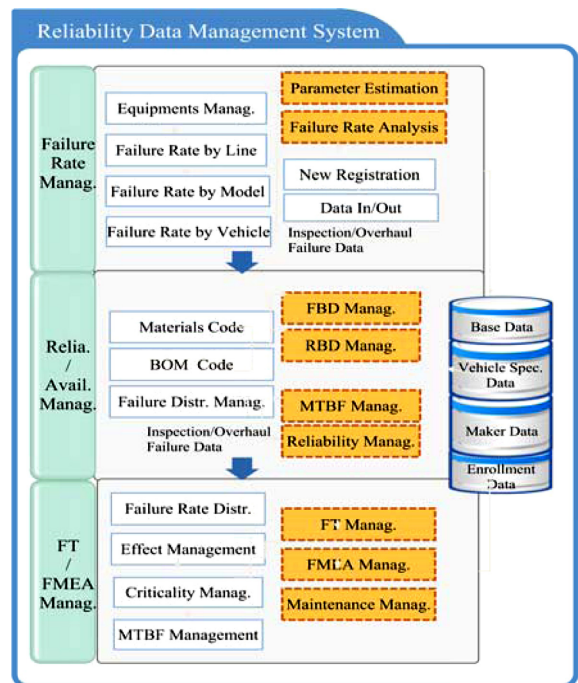


Fig. 2 Configuration diagram of reliability data management system

으며, FBD를 구성시 자재코드 및 BOM(Bill of Material) 정보를 활용하여 시스템의 연계성을 높일 수 있도록 하였다. RBD 관리시스템은 RBD를 GUI환경으로 관리할 수 있으며, RBD를 구성시 자재코드 및 BOM 정보를 활용하여 시스템의 연계성을 높일 수 있도록 하였으며, 시뮬레이션 기법을 이용하여 신뢰도를 계산하는 기능과, 시간 변화에 따른 신뢰도 추정이 가능한 기능을 가지고 있다.

MTBF 관리시스템은 Weibull 분포, Normal 분포, Log-Normal분포, 지수분포로 추정된 MTBF, MKBF(Mean Kilometer Between Failure) 중 최적의 값을 찾아 그 값을 부품 또는 장치의 MTBF, MKBF로 설정하는 기능을 가진다. 신뢰도 관리시스템은 Weibull 분포, Normal 분포, Log-Normal분포, 지수분포로 추정된 신뢰도 중 최적의 값을 찾아 그 값을 부품 또는 장치의 신뢰도로 설정할 수 있도록 개발하였다.

2.2.1 시스템의 신뢰도 계산방법

신뢰성 정보관리시스템에서 시스템의 신뢰도를 계산하기 위해 적용한 신뢰도 계산방법은 고장열거 기법을 이용한 신뢰도 계산방법이다. 시스템의 신뢰도를 계산하는 기존의 방법으로는 신뢰도를 등가로 유지하면서 그래프의 전체 가치를 소거하여 신뢰도를 구하는 방법[3], 그래프의 전체 연결 경로를 열거하여 부울(Boole) 연산에 의해서 처리하는 방법[4]과 배반사상을 이론적으로 얻어서 부울 연산을 행하지 않는 방법, 신뢰도 행렬을 만들고 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용하여 복잡한 구조의 신뢰도를 계산하는 방법[5]이 있다.

본 연구에서는 복잡하게 구성된 시스템의 신뢰도를 고장 열거 기법을 이용한 것으로, Fig. 3에 나타난 바와 같이 RBD를 구성하고 이를 바탕으로 RBD행렬을 생성하고 신뢰도 경로행렬을 생성한 후 고장판정행렬을 생성하고 시스템 고장 여부를 판별하는 방법으로 신뢰도를 구한다.

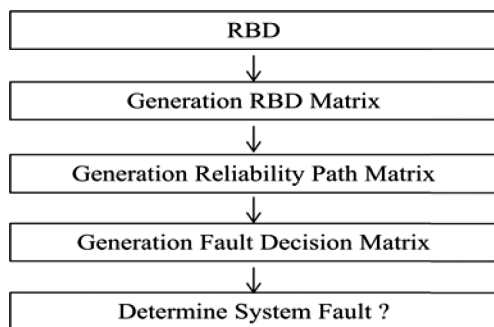


Fig. 3 Flow-chart for method to calculate system reliability

2.2.2 RBD(Reliability Block Diagram) 행렬

RBD 행렬은 공간과 공간의 연결 관계를 직접적으로 표현하는 방법으로서, 이 행렬의 성분은 기본적으로 '1'과 '0'의 두 값을 갖는다. 예를 들어, 행렬 A의 i행 j열의 성분이라 한다면, 는 노드 i와 노드 j가 하나의 경로로 연결되어 있으면 '1', 그렇지 않으면 '0'으로 정의한다. 따라서 행렬 A는 n차 정사각 행렬이 된다. 그리고 노드 i와 노드 i자신과

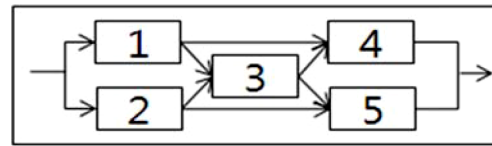


Fig. 4 Example of RBD

Table 1 Example of RBD array

	Start0	Part1	Part2	Part3	Part4	Part5	End9
Start0	0	1	1	0	0	0	0
Part 1	0	0	0	1	1	0	0
Part 2	0	0	0	1	0	1	0
Part 3	0	0	0	0	1	1	0
Part 4	0	0	0	0	0	0	1
Part 5	0	0	0	0	0	0	1
Part 9	0	0	0	0	0	0	0

의 연결 관계는 '0'으로 표현한다. Fig. 4와 같은 RBD가 존재한다고 가정하면, Fig. 4의 RBD를 갖는 시스템은 총 5개의 서브시스템으로 구성되므로 각각의 서브시스템은 1에서 5까지의 인덱스를 부여 받고 시작 노드는 0, 종료 노드는 9의 인덱스를 부여 받는다. 이 인덱스를 이용하여 Fig. 4의 RBD를 행렬화한 RBD 행렬은 Table 1과 같이 나타낼 수 있다.

2.2.3 신뢰도 경로 행렬

신뢰도 경로 행렬이란 어떠한 시스템을 RBD로 나타내었을 때 시스템이 구성하고 있는 모든 경로를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 초기 시스템의 신뢰도 경로 행렬은 오직 시작 노드로 구성되는 1x1 행렬로 구성된 후 RBD 행렬을 이용하여 신뢰도 경로 행렬을 전개하여 신뢰도 경로 행렬의 모든 행 성분에 종료 노드가 발생할 때까지 전개해 나가는 방식으로 시스템의 RBD에 대한 모든 신뢰도 경로 행렬을 구하는 알고리즘을 구상하였다.

2.2.4 고장 판정 행렬

고장 판정 행렬이란 시스템을 구성하는 모든 서브시스템들에 대하여 어떤 상황 하에서 시스템의 고장 여부를 나타내는 행렬로 정의한다. 고장열거 기법을 이용한 신뢰도 계산방법의 고장판정 행렬은 다음과 같다. 서브시스템은 정상(S, Success) 또는 고장(F, Failure)에 해당하는 상황만 가진다. 시스템을 구성하는 모든 서브시스템들이 서로 다른 경우의 조합으로 가질 수 있는 경우의 수는 서브시스템의 수를 n이라고 할 때 2ⁿ가 된다. 이 경우의 수 조합을 가지고 신뢰도 경로 행렬에 적용하여 시스템이 정상인 경우 1, 고장일 경우 0으로 나타내어 행렬화 할 수 있고, 이 행렬을 고장 판정 행렬이라고 정의한다.

2.2.5 시스템 신뢰도 계산 방법

고장열거 기법을 이용한 신뢰도 계산방법의 경우 시스템을 구성하는 모든 서브시스템들이 서로 다른 경우의 조합으로

로 가질 수 있는 경우의 수 조합을 구하고, 고장 판정 행렬에 의해 전체 시스템의 신뢰도 경로 중 에서 하나라도 정상이면 시스템은 정상이고 신뢰도 경로 행렬의 여러 경로들 중에서 하나도 만족하지 못할 경우 시스템은 고장으로 판정한다.

시스템이 정상으로 판정된 경로 행렬을 대상으로 시스템을 구성하는 부품 또는 서브시스템이 S(정상)인 경우 신뢰도 값을 넣고 F(고장)인 경우 불신뢰도 값을 넣고 그 값들을 곱한 값을 그 경로 행렬의 신뢰도 값으로 하고, 이와 같은 방식으로 모든 경로 행렬에 대한 신뢰도 값을 구한 후 모두 더 하면 그 값이 우리가 구하고자 하는 시스템의 신뢰도 값이 된다.

2.2.6 시스템 신뢰도 값 비교

Fig. 4에서 나타난 것과 같은 시스템의 RBD와 각 서브시스템의 고정신뢰도가 Table 2와 같은 값을 갖는다고 가정하자.

Table 2 Reliability values of the subsystems

Subsystem No.	1	2	3	4	5
Reliability values	0.9	0.9	0.8	0.95	0.95

이 시스템에 대한 해석 해를 구하면 식 (1)과 같다.

$$R_s = R_3R_{(b)} + (1-R_3)R_{(c)} \tag{1}$$

여기서,

$$R_{(b)} = [1-(1-R_1)(1-R_2)][1-(1-R_4)(1-R_4)]$$

$$R_{(b)} = [1-(1-0.9)(1-0.9)][1-(1-0.95)(1-0.95)]$$

만약,

$$R_1 = R_2 = 0.90, R_4 = R_5 = 0.95, R_3 = 0.80$$

$$R_{(b)} = [1-(1-0.9)^2][1-(1-0.95)^2] = 0.9875$$

$$R_{(c)} = 1-[1-(1-0.9)(0.95)^2] = 0.978975$$

$$R_{(s)} = 0.8(0.9875) + 0.2(0.978975) = 0.9858$$

고장열거 기법을 이용한 신뢰도 계산방법의 경우 Fig. 4와 같은 RBD를 갖는 시스템의 신뢰도를 계산하면 Table 3과 같이 된다.

본 연구에서 개발한 시스템 신뢰도 계산방법인 고장열거

Table 3 Result of the system reliability simulation

1	2	3	4	5	System	Probability
S	S	S	S	S	S	0.584820
F	S	S	S	S	S	0.064980
S	F	S	S	S	S	0.064980
S	S	F	S	S	S	0.146205
S	S	S	F	S	S	0.030780
S	S	S	S	F	S	0.030780
.
Total						0.985815

방법에서 구한 시스템의 고정 신뢰도 값은 0.985815이고 해석에 의해 구한 시스템의 고정 신뢰도 값은 0.9858이다. 따라서 본 연구에서 제안한 시스템의 신뢰도 계산 방법이 매우 신빙성이 있는 값을 얻는 것을 알 수 있다. 또한, 이 기법을 프로그래밍 하여 자동으로 시스템의 신뢰도를 계산할 수 있도록 시스템을 개발하였다.

2.3 유지보수주기 최적화 시스템

유지보수주기 최적화 시스템은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 도시철도차량을 구성하는 부품 또는 장치들에 대한 LCC는 최소화하면서 신뢰도는 최대화하여 유지보수 주기를 최적화할 수 있는 기능을 가진 시스템이며, 이는 인공지능망, LCC관리, 최적신뢰도분배 시스템으로 구성되어 있다.

LCC관리 시스템은 구입비용 관리, 관리비용관리, 수리비용 관리 시스템으로 구성되어 있다. 최적신뢰도분배 시스템은 시스템의 FBD에 따라 각 부품의 신뢰도 함수를 기반으로 전체 시스템의 신뢰도 함수를 구성하고,중요도가 낮은 부품에 필요 이상으로 높은 신뢰도가 할당되어 전체 시스템의 비용이 증가하는 것을 막을 수 있도록 목적함수를 구성하였다. Case by Case로 시스템의 각각의 목표 신뢰도에 따라 최적화 알고리즘을 적용, 각 부품별로 최적 목표 신뢰도를 주기적으로 할당하는 기능과, 인공지능망 알고리즘 또는 신뢰도 계산을 통해 도출한 MTBF및 MKBF를 이용하여 구한 각 부품의 신뢰도가 최적화를 통해 도출한 신뢰도 충족 여부 판별하여 불충족시 다른 부품 대안을 선택하여 충족시킬 수 있도록 하였다. 최적화 알고리즘은 진화알고리즘을 사용하여 개발하고 신뢰도 최적분배 시스템에 사용되는 엔진은 모두 개발하였다.

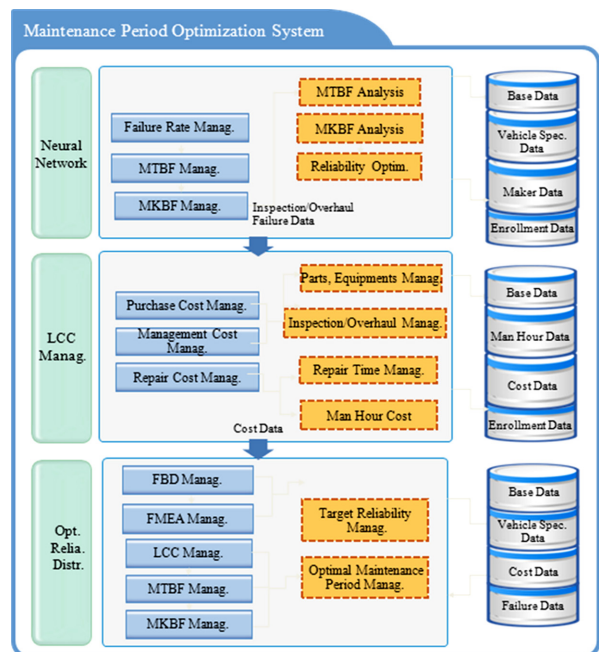


Fig. 5 Configuration diagram of maintenance period optimization system

2.3.1 유지보수주기 비용모델

예방정비주기 최적화에 있어 시스템의 유지보수 활동은 시스템이 고장이 나기 전에 미리 교체하는 예방정비(Preventive Maintenance)와 고장 발생 후 교체하는 고장정비(Corrective Maintenance)정책이 있다[6]. 이러한 경우 교체 시간을 결정하는 기준은 여러 가지가 있다. 주로 총비용을 최소로 하거나 목표신뢰도를 최대로 하는 교체 정책이 이용된다. 도시철도차량의 교체 정책은 2년 또는 3년 주기로 점검하여 교체하는 연령교체(Age Replacement)를 사용하고 있다. Fig. 6은 연령교체 정책을 나타내며, 시스템이 유지보수주기인 T_p 시점까지 고장이 나지 않으면 그 시점에서 예방정비를 하고, T_p 이전에 고장이 나면 즉시 고장정비를 하는 교체방법으로 교체 후, 시스템은 다시 초기 상태의 고장률을 갖는다. 본 논문에서는 도시철도 차량의 교체정책은 교체 후, 시스템이 수리를 포함하지 않는 단순 교체로 최신의 상태로 회복되는 것으로 정의한다. 따라서 도시철도 차량의 최적 예방정비주기 산출은 연령교체 비용모델을 적용한다.

도시철도 차량에 적용되는 연령교체 비용모델은 예방정비주기가 T_p 일 때, 한 사이클의 기대 수명(Expected Cycle Length; 평균교체시간)에 대한 총 기대비용(Total Expected Replacement Cost per Cycle)으로, 단위시간 당 총 기대 비용으로 정의하며 Fig. 7에 이를 보여주고 있다. 유지보수주기의 연령교체 비용모델은 식 (2)와 같다[7].

$$C(t_p) = \frac{C_p \cdot R(t_p) + C_f \cdot F(t_p)}{\int_0^{t_p} f(t) dt + t_p \cdot R(t_p)} \quad (2)$$

여기에서 $f(t)$, $R(t)$, $F(t)$ 는 각각 시스템의 수명에 대한 확률 밀도 함수, 신뢰도, 불신뢰도 함수이며, C_p 와 C_f 는 예방정비 비용과 고장정비비용을 나타낸다. 예방정비비용은 해당 부

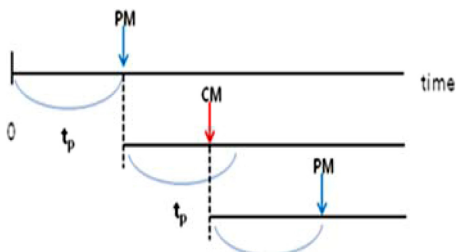


Fig. 6 Age replacement policy

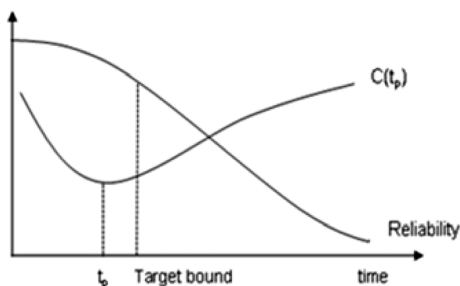


Fig. 7 Optimal interval of preventive maintenance

품의 재료비와 정비 인원수 곱하기 정비시간에 대한 인건비이며, 고장정비 비용은 해당부품의 재료비 및 정비 인원 수 곱하기 정비시간에 대한 인건비와 운행고장에 따른 서비스 지연비용으로써 승객손실비용을 포함한다.

예방정비주기가 T_p 일 때, 한 사이클의 기대 수명(Expected Cycle Length)은 식 (3)과 같이 전개될 수 있다.

$$\int_0^{t_p} f(t) dt + t_p \cdot R(t_p) = -t \cdot R(t_p) \Big|_0^{t_p} + \int_0^{t_p} R(t) dt + t_p \cdot R(t_p) = \int_0^{t_p} R(t) dt \quad (3)$$

따라서 유지보수주기의 연령교체 비용모델은 식 (4)와 같이 표현될 수 있다.

$$C(t_p) = \frac{C_p \cdot R(t_p) + C_f \cdot F(t_p)}{\int_0^{t_p} R(t) dt} \quad (4)$$

2.3.2 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)

유전자 알고리즘(GA)은 집단 유전학의 개체 진화 원리를 이용하는 확률적인 탐색 기법으로써 탐색 영역이 매우 넓고 복잡한 문제에 대한 최적화에 널리 쓰이는 기법이다. 유전자 알고리즘은 Holland에 의해 소개되었으며, Goldberg에 의해 더욱더 발전되었다[8,9].

그 기본적인 알고리즘은 Fig. 8과 같다. 전통적인 유전자 알고리즘에서는 크로모솜(Chromosome)의 각 유전인자(Gene)들이 0 또는 1의 값을 갖는 이진 인코딩 방법이 많이 사용되며, 초기에 정해진 수의 해집단은 이러한 이진 인코딩을 거치게 된다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 먼저 해집단의 해의 수 n 개의 해를 임의로 생성한 후, 이 해집단으로부터 k 개의 새로운 해를 만들어 내는데 각각의 해는 선택(Selection), 교차(Crossover), 돌연변이(Mutation), 대체(Replacement)의 단계를 거쳐 만들어진다[10].

유전 알고리즘이 정지하기 위한 대표적인 두 가지는 알고리즘의 repeat-until 루프를 일정 횟수만큼 수행한 다음 정지시키는 방법과 해집단에 있는 해들이 다양성이 어느 정도 이하로 떨어지는 시점에 정지시키는 방법이 있다. 다양성이 떨어지는 것을 판단하기 위해서는 해집단 내의 염색체들 중 대부분이(예를 들면 70%) 똑같은지를 확인하는 경우가 일반

```

create initial population (a given number of initial solutions)
repeat
  for i = 1 to k
    selection2solution parenti, parentj from the population
    offspringz = crossover(parenti, parentj)
    offspringz = mutation(offspringz)
  replace population with offspring1, ..., offspringk
    
```

Fig. 8 Flow of genetic algorithm

적이다. Repeat-until 루프를 일정 횟수만큼 수행한 다음 정지하도록 설계된 경우라도 그 정도면 해들이 수렴할 것이라는 경험적 짐작이 있어야 한다. 본 연구에서는 repeat-until 루프를 300회 만큼 수행한 다음 정지시키는 방법을 사용하였다.

3. 결 론

장기간 수명주기(Life Cycle)을 갖는 도시철도차량은 초기 도입비용보다 유지보수비용이 많은 비중(60%~70%)을 점유하고 있으므로 효율적인 유지보수 연구를 통하여 유지보수비용의 절감과 대형시스템의 수명 연장을 추구하는 일이 무엇보다 시급하다. 현재까지 개발된 가장 효율적인 유지보수 기법은 신뢰성기반의 유지보수체계이다. 신뢰성기반의 유지보수체계는 매우 복잡하고 어려우며 단편적인 기능만으로 그 효과를 달성할 수 없다.

본 연구에서는 신뢰성 기반 유지보수체계를 구축하는데 근간이 되는 신뢰도를 단위 부품부터 서브시스템, 단위 시스템 및 차량 단위까지 계산할 수 있도록 하였다. 특히 시스템의 신뢰도 계산시 RBD를 구성하고 이를 바탕으로, 본 연구에는 고장열거기법을 이용한 신뢰도 계산방법을 제안하였고, 이는 동일한 시스템을 해석에 의해 구한 신뢰도 값과 매우 근접한 값을 알 수 있었다. 또한, 이 기법을 프로그래밍하여 자동으로 시스템의 신뢰도를 계산할 수 있도록 알고리즘을 제안하였고 이를 바탕으로 시스템을 개발하였다.

또한, 본 연구에서는 유지보수주기 비용모델을 매우 단순화하여 제안하였고, 이는 유지보수 현장에서 바로 적용하여 사용할 수 있도록 하였다. 이 비용모델을 사용하여 유전자 기법을 적용한 유지보수 주기 최적화 시스템을 개발하여 비용은 최소화 하면서도 차량의 신뢰성은 향상시킬 수 있는 유지보수 주기를 정할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 제안한 이와 같은 방법을 사용하여 도시철도차량 신뢰도/가용도 관리시스템을 성공적으로 개발하였고, 현재 서울메트로에서 시범운영 되고 있다.

후 기

본 연구는 국토해양부 도시철도표준화 2단계연구(도시철도차량 표준화 유지발전 연구)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- [1] K.J. Park, J.D. Chung, S.Y. Han, M.W. Suh (2009) A study to the development of reliability/availability management system of the urban transit EMU' maintenance, *Spring Conference of the Korean Society for Railway*, Kyeongju, pp. 619-627.
- [2] KRRI (2009) A Study of Domestic and Foreign Survey and Analysis for the Reliability and Availability of Urban Transit Vehicle.
- [3] L. Fratta, U.G. Montanari (1973) A boolean algebra method for computing the terminal reliability in communication Network, *IEEE trans. Circuit Theory*, CT-20(3), pp. 203-211.
- [4] K.K. Aggarwal, K.B. Misra, J.S. Gupta (1975) A Fast Algorithm for Reliability Evaluation, *IEEE Trans. Reliability*, R-24(1), pp. 83-85.
- [5] K.J. Park, J.D. Chung, Y.T. Son, M.W. Suh (2009) A study on a reliability calculation method for the urban transit vehicles, *Autumn Conference of KSPE*, Daegu.
- [6] K.M. Lee, D.H. Shin, J.H. Lee (2008) Study on the Maintenance period allocation method for railway signal equipment, *Spring Conference of the Korean Society for Railway*, Daegu, pp. 621-646.
- [7] Chaichan Chareonsuk, Nagen Nagarur, Mario T. Tabucanon (1998) A multicriteria approach to the selection of preventive maintenance intervals, *Industrial Systems Engineering*, Asian Institute of Technology.
- [8] D.E. Goldberg (1989) Genetic algorithms in search, Optimization and machine learning, Addison-Wesley, New York.
- [9] J.H. Holland (1975) Adaptation in natural and artificial systems, Ann Arbor University of Michigan, USA.
- [10] B.R. Moon (2008) Easy learning genetic algorithm, Hanvit Media, Korea, pp.21-40.

접수일(2012년 6월 12일), 수정일(2013년 1월 9일),
게재확정일(2013년 4월 29일)

Kee Jun Park : kjpark@krri.re.kr

Near-surface Transit&LRT system Research Team, Metropolitan Railroad Systems Research Center, Korea Railroad Research Institute, 176 Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea

Jong Duk Chung : jdchung@krri.re.kr

Future Monorail Research Team, Metropolitan Railroad Systems Research Center, Korea Railroad Research Institute, 176 Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea