

시뮬레이션 기법을 이용한 도시철도차량 신뢰도 계산방법 연구 Study on a Reliability Calculation Method using Simulation for the Urban Transit Vehicle.

*박기준¹, 정종덕², 손영탁³, 서명원⁴

*K. J. Park¹, J. D. Chung², S. Y. Han², #M. W. Suh³(suhmw@skku.edu)

¹한국철도기술연구원 도시철도표준화연구단, ²한국철도기술연구원, ³성균관대학교 기계공학과 박사과정, ⁴성균관대학교 기계공학과

Key words : Reliability, Simulation method, Urban Transit Vehicle

1. 서론

도시철도차량은 전기, 기계적으로 결합된 매우 복잡한 구조를 가진 대형시스템이며 정시성과 대량수송의 장점을 가진 시스템이므로 이에 따른 안전성의 확보가 필수적이다. 이러한 안전성 확보를 위해 도시철도차량은 철저한 유지보수 계획을 수립하며 시행하고 있다. 이렇게 시행하는 도시철도차량 유지보수의 소요되는 비용은 전체 운영비의 60~70% 정도를 차지할 정도로 그 영향력이 크다. 따라서 도시철도차량의 안전성 확보와 경제적 제약에 대응하는 합리적인 유지보수의 기준 마련이 절실한 실정이다.

제품이나 장치의 수명만을 고려한 기존의 유지보수 개념에서 탈피하여, 고장 분석의 시스템화를 통해 장치의 고유수명과 관계없이 발생 가능한 우발고장도 대처할 수 있는 방안을 수립하여 도시철도차량의 안전성을 확보하고 동시에 경제성도 제고할 수 있는 신뢰성기반의 도시철도차량 유지보수체계를 연구하기 위해 본 연구에서는 선행연구로 필요한 복잡하게 구성된 시스템의 신뢰도를 시뮬레이션 기법을 이용하여 계산할 수 있는 방법에 대한 연구이다.

1940년대 초반기에도 고장을 적게 하기 위한 과학적 관리기술은 있었으나 아직 신뢰성이라고 하는 이름은 없었다. 그러나 발전은 서서히 진행되어 1950년대에 들어와서 신뢰성은 전자기기 신뢰도 고문단, 즉 AGREE (Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment) [1]에 의해 기초 개념이 명확히 잡혔다. 1960년대에는 1959년에 시작된 마일 보증이 계기가 되어 1년 보증 등 내구성 보증에 대한 관심이 높아졌다. 또 1962년에 시작된 소비자주의도 신뢰성을 더욱 발전시키는 계기가 되었다. 한편, 고장분석의 방법인 FMEA나 FTA 등의 신뢰성 수법이 점차로 개발되었고, 와이불(Weibull) 분포나 지수분포 등에 관한 통계적인 연구도 진행되었으며, 이것들이 점차 실무에 응용되어 신뢰성의 이론적 측면도 충실해져 갔다. 1970년대에는 완전히 체계화되어 인공위성산업, 자동차공업 및 전자공업에 응용되어 큰 성과를 이루게 되었다. 더욱이 신뢰성은 품질관리 기법으로도 대대적으로 채용되어, 품질보증의 품질이 협의의 품질과 신뢰성으로 이루어진다고 말할 수 있게 되었다.

이러한 신뢰성에 대한 기본이 부품, 서브시스템, 시스템에 대한 신뢰도를 계산하는 것인데, 신뢰도를 계산하는 기존의 방법으로는 신뢰도를 등가로 유지하면서 그래프의 전체 가치를 소거하여 신뢰도를 구하는 방법[2], 그래프의 전체 연결경로를 열거하여 부울(Boole) 연산에 의해서 처리하는 방법[3]과 배반사상을 이론적으로 얻어서 부울 연산을 행하지 않는 방법, 신뢰도 행렬을 만들고 몬테카를로시뮬레이션 기법을 이용하여 복잡한 구조의 신뢰도를 계산하는 방법[4]이 있다. 본 연구에서는 복잡하게 구성된 시스템의 신뢰도를 시뮬레이션 기법을 이용하여 계산할 수 있는 방법에 대한 연구이다.

2. 본론

2.1 RBD(Reliability Block Diagram) 행렬

본 연구에서는 RBD를 행렬로 표현하였다. 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 성분을 a_{ij} 라 한다면, a_{ij} 는 노드 i와 노드 j가 하나의 경로

로 연결되어 있으면 '1', 그렇지 않으면 '0'으로 정의한다. 따라서 행렬 A는 n차 정사각행렬이 된다. 그리고 노드 i와 노드 j 자신과의 연결 관계는 '0'으로 표현한다. RBD를 행렬화 할 경우 후에 신뢰도 경로 행렬의 전개에 시작 노드와 종료 노드를 지정하여야 한다. 전체 시스템을 구성하는 서브시스템의 인덱스는 1,2,3,...이며 시작 노드의 인덱스는 '0', 종료 노드의 인덱스는 '9'로 규정한다. <Fig.1>과 같은 RBD가 존재한다고 가정하면, <Fig.1>의 RBD를 갖는 시스템은 총 5개의 서브시스템으로 구성되므로 각각의 서브시스템은 1에서 5까지의 인덱스를 부여받고 시작 노드는 0, 종료 노드는 9의 인덱스를 부여받는다. 이 인덱스를 이용하여 <Fig.1>의 RBD를 행렬화한 RBD 행렬은 <Table 1>과 같이 나타낼 수 있다.

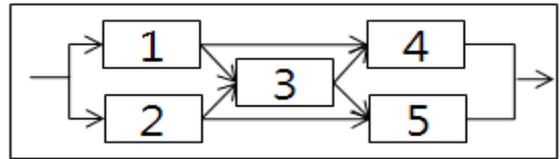


Fig. 1. Example of RBD

Table 1. Example of RBD array

	시작0	부품1	부품2	부품3	부품4	부품5	종료9
시작0		1	1				
부품1				1	1		
부품2				1		1	
부품3					1	1	
부품4							1
부품5							1
종료9							

2.2 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 성분은 종료 노드가 발생할 때까지 전개해 나가는 방식으로 시스템의 RBD에 대한 모든 신뢰도 경로 행렬을 구하는 알고리즘을 구상하였다. 알고리즘에 대한 도식적인 다이어그램은 <Fig. 2>에 나타내었다.

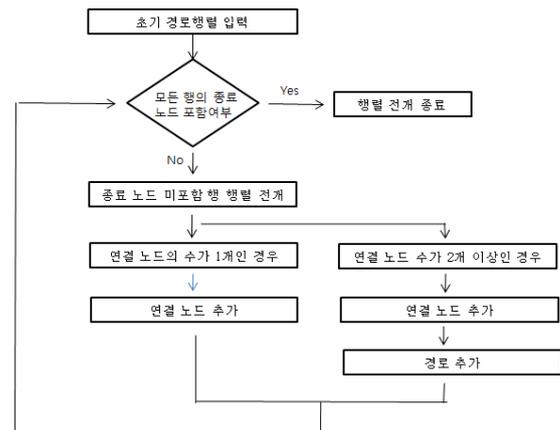


Fig. 2. The flow chart for the reliability path array making algorithm

2.3 고장 판정 행렬

고장 판정 행렬이란 시스템을 구성하는 모든 서브시스템들에 대하여 어떤 상황 하에서 시스템의 고장 여부를 나타내는 행렬로 정의한다. 서브시스템은 정상(S, Success) 또는 고장(F, Failure)에 해당되는 상황만 가진다. 시스템을 구성하는 모든 서브시스템들이 서로 다른 경우의 조합으로 가질 수 있는 경우의 수는 서브시스템의 수를 n이라고 할 때 2^n가 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. 예를 들어 <Fig. 1>의 RBD와 같이 5개의 서브시스템으로 구성된 시스템이 존재할 때, 이 시스템이 가질 수 있는 경우의 수는 2^5 즉 32개이고 앞의 절에서 나타난 바와 같이 6개의 신뢰도 경로 행렬을 가지고 있다. 6개의 신뢰도 경로 행렬 중 [0 1 3 4 9]의 경우, 고장 판정 행렬을 생성하기 위하여 위의 경우의 수 조합 중 1개를 선택하여 대입하면 정상 또는 고장 여부를 알 수 있다. 예를 들어 서브시스템의 상황이 "F S S F S"인 경우 [0 1 0]의 행렬을 얻을 수 있고, 이는 그 신뢰도 경로 행렬이 고장임을 나타낸다.

2.4 시스템 신뢰도 계산 방법

시스템을 구성하는 모든 서브시스템들이 서로 다른 경우의 조합으로 가질 수 있는 경우의 수 조합을 구하고, 고장 판정 행렬에 의해 전체 시스템의 신뢰도 경로 행렬 중에서 하나라도 정상이면 전체 시스템은 정상이고 신뢰도 경로 행렬의 여러 경로들 중에서 하나도 만족하지 못할 경우 시스템은 고장으로 판정한다. 고장 판정 행렬이 신뢰도 경로 행렬에 대하여 정상 여부 판정은 신뢰도 경로 행렬상의 모든 성분 노드들에 대한 곱이 1인 경우이다. 시스템이 정상인 모든 경우에 대한 확률을 다 더한 값 또는 시스템이 고장인 모든 경우에 대한 확률을 다 더한 값에 1을 빼 값이 시스템의 신뢰도가 된다. 이러한 신뢰도 경로 행렬 전개 방식기반의 시뮬레이션 기법을 이용하면 어떠한 시스템에 대해서도 서브시스템의 신뢰도를 알 때 전체시스템의 신뢰도를 추정할 수 있다. 시스템 신뢰도 계산 방법에 대한 전체 흐름도는 <Fig. 3>에 나타내었다.



Fig. 3. The flow chart for a reliability calculation method of a system

2.5 시스템 신뢰도 값 비교

<Fig. 1>에서 나타낸 것과 같은 시스템의 RBD와 각 서브시스템의 고정신뢰도가 <Table 2>와 같은 값을 갖는다고 가정하자.

Table 2. The reliability values of the subsystems

서브시스템 번호	1	2	3	4	5
신뢰도 값	0.9	0.9	0.8	0.95	0.95

이 시스템에 대한 해석 해를 구하면 다음과 같다.

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

where

$$R_{(b)} = [1 - (1 - R_1)(1 - R_2)][1 - (1 - R_4)(1 - R_5)]$$

$$R_{(c)} = 1 - [1 - (1 - R_1R_4)(1 - R_2R_5)]$$

$$\text{If } R_1 = R_2 = 0.9, R_4 = R_5 = 0.95, R_3 = 0.80$$

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

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

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

본 연구에서 제안한 시뮬레이션 기법에 의거하여 <Fig. 1>과 같

은 RBD를 갖는 시스템의 신뢰도를 계산하면 <Table 2>와 같이 된다. <Fig. 1>과 같은 RBD를 갖는 시스템에 대한 해석 해는 0.9858이며 시뮬레이션을 통해 구한 값은 0.985815이다. 따라서 본 연구에서 제안한 시스템의 신뢰도 계산 방법이 매우 신빙성이 있는 값을 얻는 것을 알 수 있다.

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
S	F	S	F	S	S	0.003420
S	S	F	S	F	S	0.007695
F	S	S	F	S	S	0.003420
F	S	S	S	F	S	0.003420
F	S	F	S	S	S	0.016245
S	F	S	S	F	S	0.003420
S	F	F	S	S	S	0.016245
S	S	F	F	S	S	0.007695
S	F	F	S	F	S	0.000855
F	S	F	F	S	S	0.000855
Total						0.985815

3. 결론

본 연구에서는 해석 해를 구하기 어려운 시스템의 신뢰도를 신뢰도 경로 행렬 전개 방식기반의 시뮬레이션 기법을 이용하여 해를 구하는 일반적인 방법을 고안하였다. 시스템의 RBD를 행렬화하고 행렬 전개 알고리즘을 이용하여 모든 경로 행렬을 구한다. 이후 시스템을 구성하는 모든 서브시스템들이 서로 다른 경우의 조합으로 가질 수 있는 경우의 수 조합을 이용하여 고장 판정 행렬의 값을 구하고 이를 기반으로 시스템의 고장 여부를 판정한다. 시스템이 정상인 경우에 대한 모든 확률 값을 더한 것이 시스템의 신뢰도 값이 된다. 본 연구에서 제안한 신뢰도 계산 기법은 고정 신뢰도, 와이불 분포를 가지는 신뢰도, 지수분포를 가지는 신뢰도 등에도 충분히 사용할 수 있다. 다만, 이 기법은 시스템을 구성하는 서브시스템의 수가 비교적 적을 때 사용할 수 있다.

참고문헌

1. 김재주, 백재욱 “신뢰성 공학” 한국방송대학교출판부
2. L. Fratta, U. G. Montanari, "A Boolean Algebra Method for Computing the Terminal Reliability in Communication Network", IEEE Trans. Circuit Theory, Vol. CT-20, No. 3, pp. 203-211, May 1973.
3. K. K. Aggarwal, K. B. Misra, J. S. Gupta, "A Fast Algorithm for Reliability Evaluation", IEEE Trans. Reliability, Vol. R-24, No. 1, pp. 83-85, April 1975.
4. 박기준, 정종덕, 손영탁, 서명원 “도시철도차량 신뢰도 계산을 위한 기법 연구”, 한국정밀공학회, 춘계학술대회, 2009
5. Charles E. Ebeling "An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering" 2005 Waveland Press Inc.