복잡한 구조를 가지는 시스템의 신뢰도 계산방법 비교 연구
Study on the Comparison of System Reliability Calculation Methods with Complex Structure.

*박기준[1], #서명원[2], 정종덕[1]
*K. J. Park[1], #M. W. Suh[2](suhmw@skku.edu), J. D. Chung[1]
[1]한국철도기술연구원 도시철도표준화연구단, [2]성균관대학교 기계공학과

Key words : Reliability, Complex Structure, Monte-Carlo Simulation

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.

도시철도차량의 안전성을 확보하고 동시에 경제성도 제고할 수 있는 신뢰성기반의 도시철도차량 유지보수체계를 연구하기 위해 본 연구에서는 선행연구로 필요한 복잡하게 구성된 시스템의 신뢰도를 고장열거방법을 이용한 계산방법과 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용한 계산방법에 비교 연구이다.

신뢰도를 계산하는 기존의 방법으로는 신뢰도를 등가로 유지하면서 그래프의 전체 가지를 소거하여 신뢰도를 구하는 방법[1], 그래프의 전체 연결경로를 열거하여 부울(Boole) 연산에 의해서 처리하는 방법[2]과 배반사상을 이론적으로 얻어서 부울 연산을 행하지 않는 방법, 신뢰도 행렬을 만들고 몬테카를로시뮬레이션 기법을 이용하여 복잡한 구조의 신뢰도를 계한하는 방법[3]이 있다.

2. 본론

2.1 RBD(Reliability Block Diagram) 행렬

두 가지 방법 모두 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 경로로 연결되어 있으면 '1', 그렇지 않으면 '0'으로 정의한다. 따라서 행렬 A는 n차 정사각행렬이 된다. 그리고 노드 i와 노드 i자신과의 연결 관계는 '0'으로 표현한다. <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.

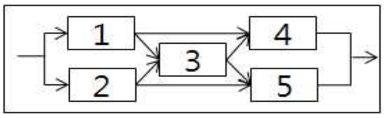

Fig. 1. Example of RBD

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 구성한 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.

2.3 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 고장판전 행렬은 다음과 같다. 서브시스템은 정상(S, Sucess) 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.

몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용한 신뢰도 계산방법의 고장판전 행렬은 다음과 같다. 만약 특정 서브시스템에 대하여 0과 1사이의 난수를 발생시켰을 때 발생된 난수가 특정 서브시스템의 신뢰도 값보다 작은 경우 서브시스템은 정상으로 판정하고 서브시스템의 신뢰도 값보다 클 경우 서브시스템은 고장으로 판정한다. 이때 각 서브시스템들의 정상, 고장 여부를 정상일 경우 1, 고장일 경우 0으로 나타내어 행렬화 할 수 있고 이 행렬을 고장 판정 행렬이라고 정의한다.

2.4 시스템 신뢰도 계산 방법

고장열거 기법을 이용한 신뢰도 계산방법의 경우 시스템을 구성하는 모든 서브시스템들이 서로 다른 경우의 조합으로 가질 수 있는 경우의 수 조합을 구하고, 고장 판정 행렬에 의해 전체 시스템의 신뢰도 경로 중 에서 하나라도 정상이면 전체 시스템은 정상이고 신뢰도 경로 행렬의 여러 경로들 중에서 하나도 만족하지 못할 경우 시스템은 고장으로 판정한다.

몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용한 신뢰도 계산방법의 경우 난수를 발생시켜 고장 판정 행렬을 구하고, 고장 판정 행렬에 의해 전체 시스템의 신뢰도 경로 중 에서 하나라도 정상이면 전체 시스템은 정상이고 신뢰도 경로 행렬의 여러 경로들 중에서 하나도 만족하지 못할 경우 시스템은 고장으로 판정한다.

2.5 시스템 신뢰도 값 비교

<Fig. 1>에서 나타낸 것과 같은 시스템 의 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.

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

where

$$R_{(b)} = [1 - (1 - R_1)(1 - R_2)][1 - (1 - R_4)(1 - R_4)]$$
$$R_{(c)} = 1 - (1 - R_1 R_4)(1 - R_2 R_5)$$
$$\text{If } R_1 = R_2 = 0.9,\ R_4 = R_5 = 0.95,\ R_3 = 0.80$$
$$R_{(b)} = [1 - (1 - 0.9)^2][1 - (1 - 0.95)^2] = 0.9875$$
$$R_{(c)} = 1 - [1 - (0.9)(0.95)]^2 = 0.978975$$
$$R_{(s)} = 0.8(0.9875) + 0.2(0.978975) = 0.9858$$

고장열거 기법을 이용한 신뢰도 계산방법의 경우 <Fig. 1>과 같은 RBD를 갖는 시스템의 신뢰도를 계산하면 <Table 3>과 같이 된다.

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

몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용한 신뢰도 계산방법의 경우 시스템의 신뢰도를 계산하면 Fig. 2의 그래프 형태로 시간에 따른 전체시스템의 신뢰도 그래프가 출력되고 전체시스템의 평균 신뢰도 값이 계산되며, 계산된 값은 0.9856이다.

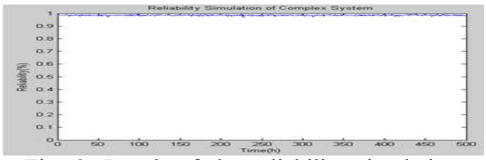

Fig. 2. Result of the reliability simulation

3. 결론

본 연구에서는 해석 해를 구하기 어려운 시스템의 신뢰도를 신뢰도 경로 행렬 전개방식 기반의 시뮬레이션 기법을 이용하여 해를 구하는 일반적인 방법을 고안하였다. 고장열거 기법을 이용한 신뢰도 계산방법의 경우는 계산된 결과가 해석 해의 값과 동일하고, 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용한 신뢰도 계산방법의 경우는 해석 해의 값과 0.02%의 오차를 보이고 있다.

본 연구에서 제안한 신뢰도 계산 기법은 고정 신뢰도, 와이블 분포를 가지는 신뢰도, 지수분포를 가지는 신뢰도 등에도 충분히 사용할 수 있다.

참고문헌

1 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.

2 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.

3 박기준, 정종덕, 손영탁, 서명원 "도시철도차량 신뢰도 계산을 위한 기법 연구", 한국정밀공학회, 추계학술대회, 2009