

# 철도차량 유지보수 장비의 Discrete Event Simulation 기반 기초 성능평가 및 적용방안 연구

문형석\* (한국철도기술연구원 선임연구원), 장창두 (서울대학교 조선해양공학과 교수),  
하윤석(서울대학교 조선해양공학과 박사과정), 조영천(서울대학교 조선해양공학과 박사과정),

## Discrete Event Simulation and Its Application to Railway Maintenance Evaluation System

### ABSTRACT

A lot of manufacturing knowledge and method have applied to increase manufacturing efficiency in industry field. DES(Discrete Event Simulation) is one of solution to deal with manufacturing problems in factory.

Beginning of research, old maintenance system of KNR ( Korea National Railroad) and its technical problems are basically investigated. KNR has maintained railway vehicle with their own solution based on experience. Very advanced railway vehicles such as KTX (Korea Train Express) and TTX(Tilting Train Express) will be difficult to maintain with their old maintenance method.

In order to apply knowledge of DES, maintenance field of railway must be considered. Imaginary maintenance machine are selected to variable of DES. Maintenance capability of each machine will be evaluated base on imaginary data from imaginary machine. The machine could be very expensive as well as difficult to replace.

Target of research is minimization of number of machine in railway workshop. So basic knowledge of discrete event simulation is introduced. Then five essential stages of discrete event simulation are provided. Each maintenance case defined as event. Each event is discrete and simulated base on different case such as one maintenance line with one machine and one maintenance line with two machines in railway workshop. simple maintenance method, discrete event simulation, will be come out very powerful in complicate maintenance system and will be helpful to reduce maintenance cost as well as maintenance labor.

Key Words : 철도유지보수(Railway Maintenance), Discrete Event Simulation,

### 1. 서론

Discrete Event Simulation 은 기존에 생산 분야에서 적용되어지는 이론중의 하나로 생산에서 발생하는 작업을 Event 기반으로 분류하고 각각의 경우를 기초로 Simulation 하여 평가하는 기법이다. 철도차량의 중정비는 핵심부품의 정비를 단계별로 세분화하여 이루어지는데 틸팅차량을 포함하는 신형 철도차량의 경우 주요 정비부품이 많은 제어장치와 전자장치로 구성되어 있다. 대차의

경우 많은 주요부품이 중복되어 이것을 체계적이며 효율적으로 유지 보수하는 것이 절실한 것이다. 이러한 부품의 상태를 점검하고 평가하는 것은 유지보수에 관련된 인력이 아닌 이와 관련된 분석기계일 것이고 틸팅 차량의 경우 다량의 주요 부품에 대한 유지보수기계의 성능의 평가가 요구될 것이다. 본 논문은 이러한 필요성에 기초하여 작성되었다. 우선 Discrete Event Simulation 의 개념을 간략히 소개하였고 Discrete Event Simulation 의

5 단계 알고리즘을 철도차량 유지보수기계 기반으로 수정하였다. 그리고 유지보수 요구 조건에 기초하여 Simulation 알고리즘을 적용하였다. 본 논문은 Discrete Event Simulation 의 이론을 이전에 적용된 사례가 없는 철도차량유지보수 분야에 소개하여 유지보수 효율의 극대화를 위한 기법을 적용하였으며 향후 철도차량 유지보수관련 기계의 성능 평가 및 적용에 있어 도움이 될 수 있는 참고 자료로 활용 가능할 것이다.

## 2. 기존철도 유지보수 체계

기존의 철도차량의 정비 기계검수능력 판단은 이래의 산출 기초식에 의거하여 작성되어지는데 기존의 방법은 철도운영의 현장 경험과 지식으로 만들어져서 널리 사용되어지고 있다.

□ 연간 기계별 환산 검수대수  

$$P_i = P_i \cdot \{ (r_{ai} \times e_{ai}) + (r_{b'i} \times e_{bi}) \}$$

□ 연간 기계 총 환산 검수대수  

$$P' = \sum P_i$$

- P<sub>i</sub> : 기계보유대수
- r<sub>ai</sub> : 기계별 연간검수회수(정기검수)
- e<sub>ai</sub> : 기계별 환산검수비(정기검수)
- r<sub>b'i</sub> : 기계별 연간검수회수(임시검수)
- e<sub>bi</sub> : 기계별 환산검수비
- Y : 연간 작업 가동일수(288 일)
- H : 일간 표준작업시간(8 시간)
- N : 출근율(0.9)

## 3. Discrete-Event Simulation 의 개념

철도차량 정비기계의 검수 능력 판단식은 철도 운영처에서 사용되어지는 검증된 방법이며 본 논문에서는 생산분야에서 적용되어지는 “Discrete - Event Simulation” 기반으로 새로운 유지보수 알고리즘을 소개하고자 한다. Discrete-Event Simulation 의 철도차량 유지보수적용의 기본 개념은 철도차량의 부품 또는 완성품 정비하는 2 개 이상의 정비기계를 기반으로 하고 있다. 차량의 정비는 분야별로 이루어지고 있고 정비에

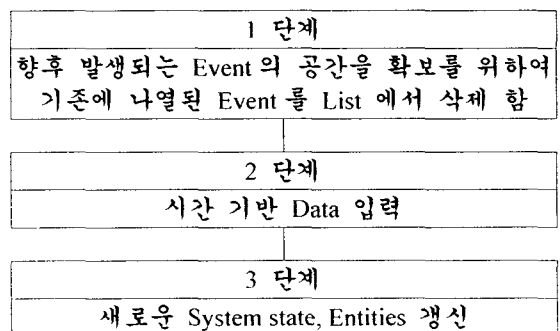
필요한 동일한 정비기계가 동일한 업무를 수행한다 하여도 기계의 사용연한, 제조사, 고장 횟수 등에 따라 그 성능이 틀리기 때문에 이러한 각각의 유지보수와 관련된 정비기계의 특성 및 상황을 분류하고 시뮬레이션을 통한 기계의 성능평가가 이루어져야 할 것이다.

DES 에 필요한 철도 정비장에서 발생 될 수 있는 항목과 세부요소는 다음과 같이 정의하였다.

- System state : 정비장에서 발생할 수 있는 시간기반 유지보수의 상태
- Entities : 정비부품, 정비기계
- Event : 유지보수 관련 발생할 수 있는 사건
  - 정비장에 정비할 부품의 도착상황
  - 부품의 정비가 1 번 기계에서 이루어지는 상황
  - 부품의 정비가 2 번 기계에서 이루어지는 상황
- Activity : 시간기반 정비요소
  - 차량부품간의 정비소요 시간
  - 1 번기계 정비에 소요되는 시간
  - 2 번기계 정비에 소요되는 시간
- Delay : 새로운 부품이 정비장에 도착한 후 1 번 기계 또는 2 번기계로부터 정비를 받을 때 걸리는 시간

## 4. Discrete-Event Simulation 기본 5단계 Process

Discrete-Event Simulation 은 유지보수 현장에서 발생할 수 있는 상황을 Event 별로 설정하고 각각의 상황에 적합한 상태에 따라 5 개의 단계로 구성되어진다.



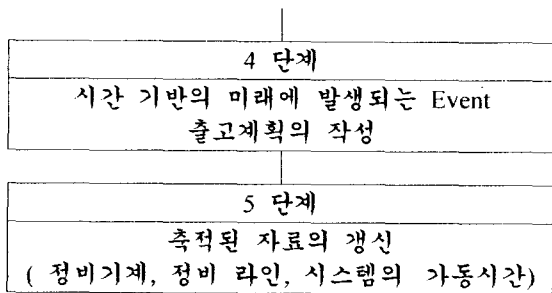
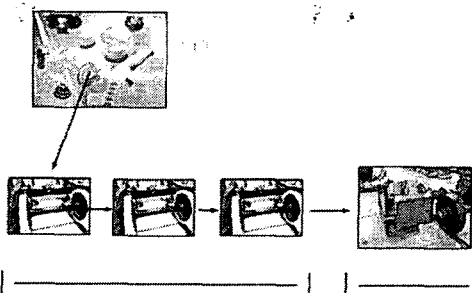


Fig.1 Discrete-Event Simulation 기본 5단계 기본 알고리즘

5. 시간에 따른 Discrete-Event Simulation 알고리즘 적용 (한개의 정비기계기반)



- [1] 유지보수를 위한 핵심부품의 분해
- [2] 유지보수 대기라인 및 대기중인 부품들
- [3] 하나의 정비 기계를 사용한 유지보수 작업

Fig.2 한 개의 라인을 가지는 유지보수 시스템 구성도

유지보수 시간	시스템 상태정보		미래에 발생하는 유지보수 Event의 list 항목	유지보수 시스템상태 설명	정비기계 가동시간 W
	P(w)	P(r)			
0	0	1	(D,4)(A,8)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 첫 번째 부품 입고</li> <li>1 다음 도착을 위한 계획 A=8</li> <li>1 다음 출고부품 계획 S=4</li> </ul>	0
4	0	0	(A,8)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 첫 번째 부품 출고 발생 (D,4)</li> </ul>	4
8	0	1	(D,9)(A,14)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 두 번째 부품 입고 (A,8)</li> <li>1 다음 도착을 위한 계획 A=6</li> <li>1 다음 출고부품 계획 S=1</li> </ul>	4
9	0	0	(A,14)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 두 번째 부품 출고 발생 (D,9)</li> </ul>	5

14	0	1	(A15),(D,18)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 세 번째 부품 입고 (A,14)</li> <li>1 다음 출고부품 계획 S=4</li> </ul>	5
15	1	1	(D,18)(A,23)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 네 번째 부품 입고 (A,15)</li> <li>1 정비 부품의 지연 발생</li> </ul>	5
18	0	1	(D21),(A,23)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 세 번째 부품 출고 발생 (D,18)</li> <li>1 다음 출고부품 계획 S=3</li> </ul>	9
21	0	0	(A,23)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 네 번째 부품 출고 (A,21)</li> </ul>	12

Table 1 Event Simulation

Table 1 은 한 개의 유지보수 장비 또는 검측진단 장비와 관련 정비 부품들의 상관관계를 기반으로 작성되었다. 전체 유지보수를 하기위하여 관련장비의 투입시간(유지보수시간), 시스템의 상태정보, 미래에 발생하는 유지보수 Event 의 List 항목, 각 항목에 대한 시간별 상태의 설명 그리고 전체 기계의 가동 시간을 체계적으로 설명하고 있다. 시스템은 차량부품이 시간 0 에서 도착하여 정비가 시작됨을 전제로 하고 있다.

① Lq : Part in waiting line	
0	유지보수 라인에 대기부품이 없음
1	정비부품이 유지보수 라인에 대기중
② Ls : Part in repairing	
1	유지보수 라인이 정비작업 중임
0	유지보수 라인이 정비작업 중 아님
③ 미래에 발생하는 유지보수 Event 의 list 항목	
(D, 4)	유지보수를 위한 부품이 정비를 완료하여 시간 4 에서 방출 발생
(A, 8)	차량 부품이 시간 8 에서 정비를 받기위해 도착
④ 유지보수의 상태표현 Variable	
W	정비기계가동시간

Table 2 Variable 의 설명

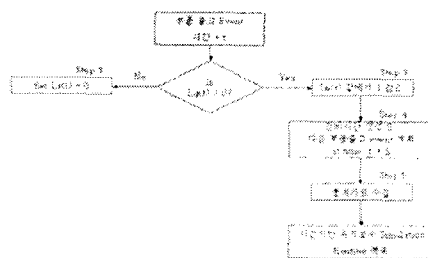


Fig.3 부품 출고 Event 기반 알고리즘

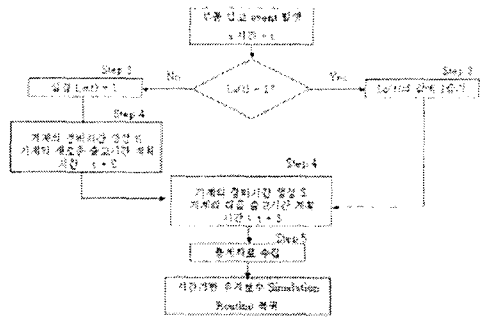


Fig.4 부품 입고 Event 기반 알고리즘

6. 2개의 정비기계 또는 정비라인을 가지는 시스템의 최적유지보수 구축을 위한 Discrete-Event Simulation 기반 알고리즘의 소개

6.1 2개의 정비기계사용 유지보수 Event Simulation

5에서는 시간기반으로 하나의 정비기계에 필요한 부품이 입고 출고 될 때에 Event 를 simulation 하여 유지보수 최적 알고리즘을 소개하고 시뮬레이션 하였다. 그러나 이러한 조건은 매우 일반적인 상황이고 6 장에서는 보다 복잡한 상황을 기초로 유지보수 최적 알고리즘을 소개하고자 한다. 5 장에서는 2 개의 정비기계가 정비장에서 입고 또는 출고되는 부품을 처리한다는 전제하에 유지보수 알고리즘 작성되었다.

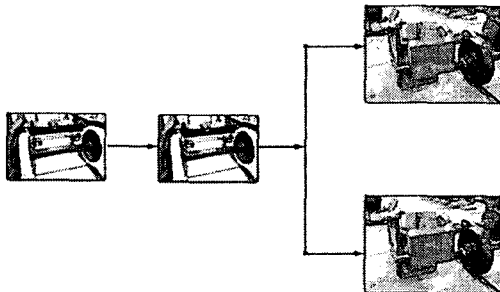


Fig.5 두 개의 라인을 가지는 유지보수 시스템 구성도

Event Simulation 을 위한 Variable 는 System state, Entities, Event, Event notice, Activity, Delay 등으로 선정하였다. 시스템의 상태는 A\_기계의 정비여부, B\_기계의 정비여부, 대기라인의 상태등으로 요약되어진다. Event notice 는 기계의 입고와 출고에 관련된 상황을 표현해 준다.

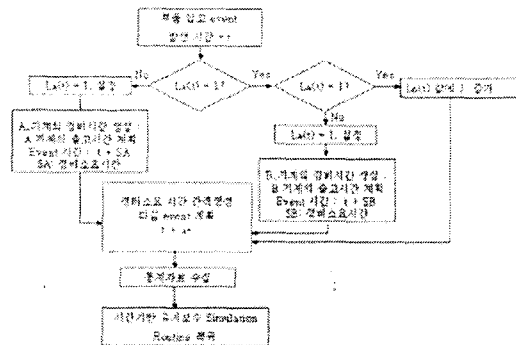


Fig.6 두 개의 라인을 가지는 유지보수 시스템 부품 입고 기반 알고리즘

System state		
①	$L_q$	유지보수 라인에 대기중인 부품 수
②	$L_a$	A 기계에서 정비중인 부품 수
③	$L_b$	B 기계에서 정비중인 부품 수
Entities		
①	정비 부품	
②	A_정비기계	
③	B_정비기계	
Event		
①	(A)	정비를 위한 부품 입고
②	(DA)	A_정비기계에 정비를 마치고 출고
③	(DB)	B_정비기계에 정비를 마치고 출고
Event notice		
①	(A, t)	정비를 위한 부품 입고, 시간

②	(DA,t)	A_정비기계에 정비를 마친 출고시간
③	(DB,t)	B_정비기계에 정비를 마친 출고시간
<b>Activity</b>		
①	정비시간 간격	
②	A_정비기계의 정비시간	
③	B_정비기계의 정비시간	
<b>Delay</b>		
부품이 유지보수를 위해 대기하는 경우		Lq=1

Table 3 Variable 의 설명

### 6.2 입고기반 유지보수 Event Simulation (2개의 정비기계사용)

2 개의 정비 기계를 사용한 유지보수 부품 입고기반 알고리즘은 Fig.6 에서와 같이 보여주는데 아래의 6 가지 Case 로 정리 분류하였다. “ Case I- Case III”까지는  $L_Q$  의 값이 0 으로 정비를 위한 대기부품 수가 없는 경우로서 A 정비기계와 B 정비기계 사이에 발생 할 수 있는 시간 기반 Event Simulation 에 필요한 사항을 나타내어 준다.

- ◆ Case I :  $L_A(t)=1, L_B(t)=0, L_Q(t)=0$  ;  
DA event 발생 -  $L_A(t)=0$  설정
- ◆ Case II :  $L_A(t)=0, L_B(t)=1, L_Q(t)=0$  ;  
DB event 발생 -  $L_B(t)=0$  설정
- ◆ Case III:  $L_A(t)=1, L_B(t)=1, L_Q(t)=0$   
DA event 발생 -  $L_A(t)=0$  설정  
DB event 발생 -  $L_B(t)=0$  설정  
DA and DB event 발생 -  
 $L_A(t)=0, L_B(t)=0$  설정

그리고 “Case IV- Case VI”까지는  $L_Q$  의 값이 0 이상인 경우로 Case IV, Case V는 A 정비기계 또는 B 정비기계가 고장인 경우를 발생할 수 없는 Event 이다.

- ◆ Case IV :  $L_A(t)=1, L_B(t)=0, L_Q(t)>0$  ;(불가)
- ◆ Case V :  $L_A(t)=0, L_B(t)=1, L_Q(t)>0$  ;(불가)
- ◆ Case VI :  $L_A(t)=1, L_B(t)=1, L_Q(t)>0$

- DA event 발생 -  $L_Q(t)$  값 1 감소
- DB event 발생 -  $L_Q(t)$  값 1 감소
- DA and DB event 발생 -  
If  $L_Q(t)=1$  경우  
 $L_Q(t)$  값 1 감소,  $L_B(t)=0$  설정  
If  $L_Q(t)>1$  경우  
 $L_Q(t)$  값에서 2 감소

### 6.3 A 정비기계 출고기반 유지보수 Event Simulation

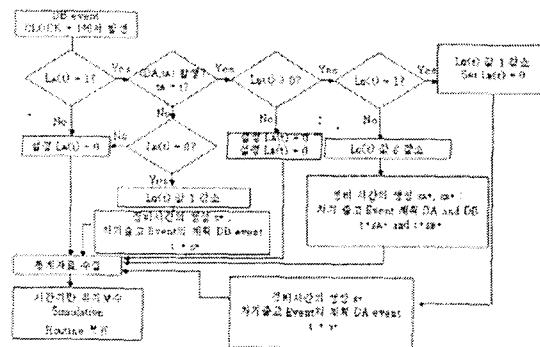


Fig.7 A 정비기계 출고기반 유지보수 Event Simulation 알고리즘

Case I 과 Case III의 경우는  $L_Q(t)=0$  이므로  $L_A(t)$ 가 0 으로 설정이 가능하다. 그러나 Case VI의 경우는  $L_Q(t)$ 가 이미 0 보다 큰 상태이므로 DA event 발생하였어도  $L_A(t)$ 은 1로 설정 되게된다.

- ◆ Case I :  $L_A(t)=1, L_B(t)=0, L_Q(t)=0$  ;  
DA event 발생  
 $L_A(t)=0$  으로 설정
- ◆ Case III :  $L_A(t)=1, L_B(t)=1, L_Q(t)=0$  ;  
DA event 발생  
 $L_A(t)=0$  으로 설정
- ◆ Case VI :  $L_A(t)=1, L_B(t)=1, L_Q(t)>0$  ;  
DA event 발생  
 $L_Q(t)$ 의 값 1 감소  
 $L_A(t)=1$  설정

6.4 B 정비기계 출고기반 유지보수 Event Simulation

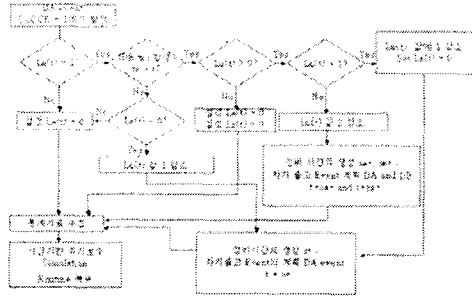


Fig.8 B 정비기계 출고기반 유지보수 Event Simulation Process

- ◆ Case II :  $L_A(t)=0, L_B(t)=1, L_Q(t)=0$  ;  
DB event 발생  
 $L_B(t)=0$  으로 설정
- ◆ Case III :  $L_A(t)=1, L_B(t)=1, L_Q(t)=0$  ;  
DB event 발생  
 $L_B(t)=0$  으로 설정
- ◆ Case VI :  $L_A(t)=1, L_B(t)=1, L_Q(t)>0$  ;  
DB event 발생  
 $L_Q(t)$  값 1 감소  
Check  $L_Q(t)$  :  
 $L_Q(t)=0$  경우  $L_B(t)=0$  으로 설정 또는  
 $L_Q(t)$  값은 1 감소

6.5 A & B 정비기계 출고기반 유지보수 Event Simulation

- ◆ Case III :  $L_A(t)=1, L_B(t)=1, L_Q(t)=0$   
DA and DB event 발생  
 $L_A(t)=0, L_B(t)=0$  으로 설정
- ◆ Case VI :  $L_A(t)=1, L_B(t)=1, L_Q(t)>0$   
DA and DB event 발생  
 $L_Q(t)=1$  경우  
 $L_Q(t)$  값은 1 감소  $L_A(t)=1, L_B(t)=0$  설정  
  
 $L_Q(t)>1$  경우

7. 결론 및 향후계획

Discrete-Event Simulation 은 여러 분야에 적용되어 활용되어 질 수 있는 알고리즘으로 이전에는 생산 분야에서 주로 소개되어졌다. 본 논문에서는 이러한 이론을 철도차량 유지보수 분야에 적용하여 소개하였다. 특히 유지보수 측면에서 Discrete-Event Simulation 적용시 고려되어야 하는 요소 및 적용방법이 연구되었다. 현장 적용성과 신뢰성이 높은 프로그램은 유지보수 공장에서 근무하는 작업자의 의견과 가상의 Data 가 아닌 현장에서 발생하는 자료를 근거로 보다 세밀한 Event 를 설정하고 Event 를 Group 하여 Group 의 조합과 Interface 를 통한 유지보수 기반 Discrete-Event Simulation 에 기초하여야 할 것이다. 프로그램의 개발시 Queueing system 의 적용과 시스템의 성능 검증을 위한 Verification 과 Validation 의 알고리즘의 적용도 요구되며 이를 기반으로 보다 고급화된 프로그램의 제작 추진이 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

(1) Banks, Jerry, Discrete-Event Simulation, Prentice-Hall, PP 10-40  
 (2) 박현준 외 7 인, September, 2002, " 전동차 정비 검수업무의 외주화 방안에 관한 연구", 한국철도기술연구원, pp. 91-101