

# 시뮬레이션을 이용한 철도 정비 시설의 최적 설계 방법

## The Optimal Design Method of the Train Repair Facility based on the Simulation

엄인섭\* · 이홍철† · 천현재\*\*

In-Sup Um · Hong-Chul Lee · Hyeon-Jae Cheon

### Abstract

This paper presents the optimal design method of the train repair facility based on the simulation analysis. The train is divided into the power car, motorized car and passenger car for the simulation process analysis and train repair facility is composed of each subsystems such as a blast, dry and wash workshop. In simulation analysis, we consider the critical (dependent) factors and design (independent) factors for the optimal design. Therefore, a simulation optimization uses Evolution Strategy (ES) in order to find the optimal design factors. Experimental results indicate that simulation design factors are sufficient to satisfy the conditions of dependent variables. The proposed analysis method demonstrates that simulation design factors determined by the simulation optimization are appropriate for real design factors in a real situation and the accuracy and confidence for the simulation results are increased.

**Keywords** : Simulation Optimization, Evolution Strategy, Train Repair System

시뮬레이션 최적화, 진화 전략, 철도 정비 시설

## 1. 서론

우리나라의 운송 시스템 중에서 철도가 차지하는 비중은 자동차, 항공기의 보편화로 다소 줄어들었으나, 고속 철도 도입, 도로의 정체성, 항공 수송의 대량 수송 부재 등으로 철도가 차지하는 부분이 점차 증가하고 있는 추세에 있다[3]. 2004년 고속철도의 도입으로 여객 운송 부분에서의 철도 시스템은 큰 성장을 가져왔으며, 향후 추가적인 고속 철도 시스템의 확대를 통하여 지속적인 발전을 거듭할 것으로 생각되어진다. 또한 철도 시스템의 가장 중요한 문제 중에 하나인 안전을 고려한 최적의 시스템 제공에 대하여 지속적인 연구와 개발이 이루어지고 있는 실정이다. 그 중에서 철도 정비 시설은 철도 시스템의 안전을 위하여 가장 중요한 설비로서, 대부분의 나라에서는 자체적인 노하우를 가지고 운영하고 있으며, 특히 신 설비인 고속 철도를 도입한 상황에서 향후 유지 보수 및 정비를 위하여 정비 시설의 설치 및 최적운용

에 관하여 지속적인 연구와 개발이 요구되어 진다.

철도 정비 시설은 열차 1 편성을 동력차, 동력객차, 객차, 대차, 엔진 등으로 구분하여 운용하여야 하며, 또한 각 차량별 정비 프로세스가 상이하여 수리적 모형으로 분석을 하는데 어려움이 있다[2]. 따라서 본 논문에서는 철도 정비 시설의 최적 설계 방법 및 운용에 관하여 시뮬레이션 분석 방법을 제시하려고 한다.

일반적으로 시스템의 분석은 분석적 기법(Analytic Method)과 시뮬레이션 기반 분석(Simulation based Method)으로 나누어진다[12]. 분석적 기법은 시스템을 수리적 모형으로 설계하여 최적의 설계(독립) 변수 및 중요(종속) 변수의 분석에 사용되어지며, 이와 같은 기법으로는 회귀분석(Regression Analysis), Goal Programming, MOLP (Multi-Objective Linear Programming), Compromising Programming 등이 사용되고 있다.

시뮬레이션 기반 분석은 시스템을 시뮬레이션으로 모형화한 후, 통계 분석을 통하여 분석을 하는데, 일반적인 범용 시뮬레이션 프로그램인 SLAM II[7], SIMAN[8] 등을 이용하는 경우와 SIMPLE++, AutoMod II, ProModel 등 시스템의 특성을 고려한 시뮬레이션 전용 프로그램, 그리고 C, FORTRAN,

\* 고려대학교 정보경영공학부 박사과정

† 책임저자 : 고려대학교 정보경영공학부 교수

E-mail : hclee@korea.ac.kr

Tel : (02)3290-3389

\*\* 고려대학교 BK21 유비쿼터스 정보보호사업단 연구전임 강사

BASIC 등 일반 프로그램 언어를 이용하여 시뮬레이션 소프트웨어를 만들어서 이용하는 것이 가능하다[5,6]. 본 논문에서는 시뮬레이션 전용 소프트웨어인 AutoMod II를 이용하여 철도 정비 시설을 모형화 한 후, 시뮬레이션 최적화 기법인 진화전략(Evolution Strategy)을 이용하여 설계 최적화를 수행하였다[1].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 철도 정비 시설의 프로세스 분석을 제시하고, 3장에서는 시뮬레이션 모형 및 운용 룰을 제시한다. 그리고 4장에서는 분석을 위한 설계 변수 및 종속 변수를 선정하고 5장에서는 시뮬레이션 최적화를 통하여 결과를 분석 할 것이고 마지막으로 결론으로 구성되어 있다.

## 2. 철도 정비 시설의 프로세스 분석

열차 1편성은 그림 1과 같이 동력차 2량, 동력객차 2량, 객차 16량으로 구성되어 있다. 철도 정비 시설은 1편성 전체에 관한 정비와 각 차량 별 정비로 크게 나눌 수 있다. 따라서 본 논문에서는 프로세스 분석을 위하여 철도 정비 시설 운용 프로세스와 각 차량 별 시설 운용 프로세스로 구분하여, 프로세스 분석을 실시하였다. 설비 및 운용 프로세스가 너무 복잡하여서 이와 같은 프로세스 정의 및 분석을 선행 한 후에 시스템 설계를 위한 시뮬레이션 설계 및 분석을 수행 하는 것이 시스템의 충분한 이해를 도모하는 방법이 될 것이다.

### 2.1 철도 정비 시설 운용 프로세스

철도 정비 시설 운용 프로세스는 1편성의 열차에 관한 프로세스 분석을 나타낸다. 각 편성은 정비 시설 인입 전에 운행 이상 코드를 다운 받고, 시설에 인입되며, 각 차량 별 분해가 이루어진다. 각 차량이 분해 된 후, 정비 시설에 의하여 정

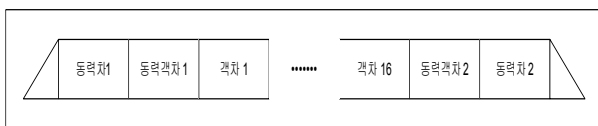


그림 1. 열차 1 편성의 구성

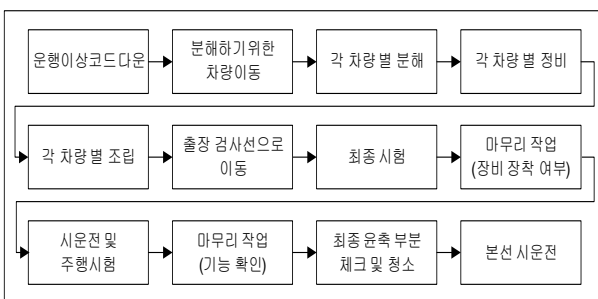


그림 2. 열차 1 편성의 운용 프로세스

비가 이루어지고 : 2.2절 참조, 정비가 완료가 되면, 조립, 최종 테스트, 마무리 작업, 시운전, 최종 운속 부분 체크 및 청소, 그리고 본선 시운전의 프로세스로 운용이 된다. 그림 2는 1편성에 관한 철도 정비 운용 프로세스를 나타낸다.

### 2.2 각 차량 별 정비 시설 운용 프로세스

그림 1에서와 같이 3종류의 각 차량은 대차에 의하여 움직이게 되는데, 정비 시설에서는 대차 대신에 가대차에 상차하여, 트레버서 또는 소형 견인차로 이동을 하여 정비를 실시하게 된다.

각 차량은 선 작업장, 객차 작업장, 세척장, 마스킹 장, 도장 및 건조 작업장, 스틸 작업장, 블라스트 장, 전처리 작업장 그리고 시험장을 정해진 순서에 의하여 작업을 실시하게 된다. 동력차와 동력객차의 경우에는 지붕 및 모터 등이 있으므로 추가 작업이 요구되어 진다. 또한 운용 프로세스의 특이점은 동력차의 경우 객차, 동력객차보다 먼저 처리되어지는 것이 고려되어지므로 우선 순위를 두어 작업을 실시하게 된다. 그림 3은 객차에 관한 작업 순서를 나타내고 있다.

## 3. 시뮬레이션 모형 및 운용 룰

### 3.1 철도 정비 시설 시뮬레이션 가정

철도 정비 시설의 시뮬레이션 모형을 설계하기 위하여 본 논문에서는 다음과 같은 가정을 전제로 시뮬레이션 분석을 수행하였다.

- (1) 시뮬레이션 수행 시간은 1일 8시간으로 한다.
- (2) 차량의 도장 작업과 건조 작업은 같은 날에 해야 한다.
- (3) 전처리작업장에서의 건조는 24시간 언제든지 작업이 가능하다.

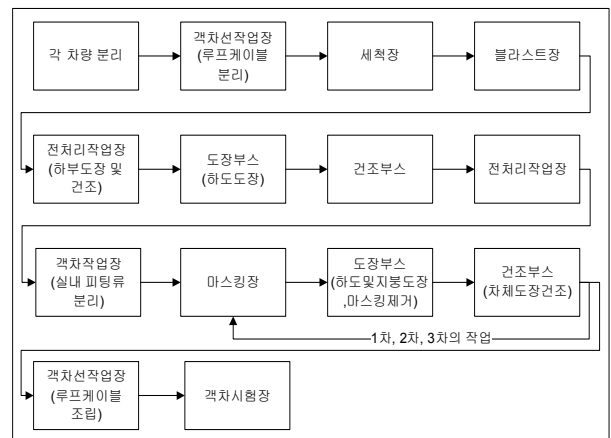


그림 3. 객차 운용 프로세스

- (4) 주요작업 중 모든 작업장이 가용 중 일 때에는 동력차 작업장(동력차), 객차작업장(동력객차, 객차)에 대기한다.
- (5) 도장작업은 업무 시간부터 시작하여 당일 업무 종료 시간과 무관하게 Booth 당 1일 2회 작업을 한다.
- (6) 차량 분해 시 마다 안쪽으로, 차량 연결 시 마다 바깥쪽으로 1량 길이만큼 씩 이동 한다.
- (7) 차량 조립 시는 분해 시의 위치에서 조립되어야 한다.
- (8) 각 작업장의 설비는 고장상태를 고려하지 않으며 언제나 가동이 가능하다.
- (9) 트레버서의 고장상태는 고려하지 않으며, 한번에 하나의 Train만 운행이 가능하며, Loaded Train과 Unloaded Train의 속도는 일정하다.

### 3.2 철도 정비 시설 시뮬레이션 모형

시뮬레이션 설계를 위하여 본 논문에서는 AutoMod II를 이용하여 설계를 하였다[4]. 열차 1편성이 정비 시설에 입출장선으로 입고가 되면, 동력차, 동력객차 그리고 객차가 각각의 프로세스로 이동하여 작업이 이루어진다. 각 차량은 가대차에 상차되어서 전 작업장을 이동하게 되며, 작업장 사이의 이동은 트레버서(Traverser)에 의하여 이동이 된다. 트레버서

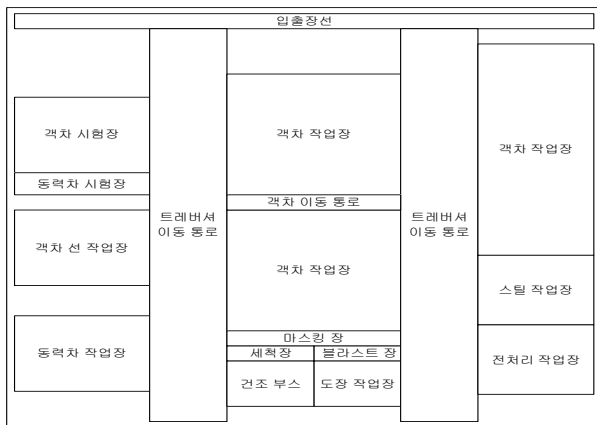


그림 4. 철도 정비 시설 배치도

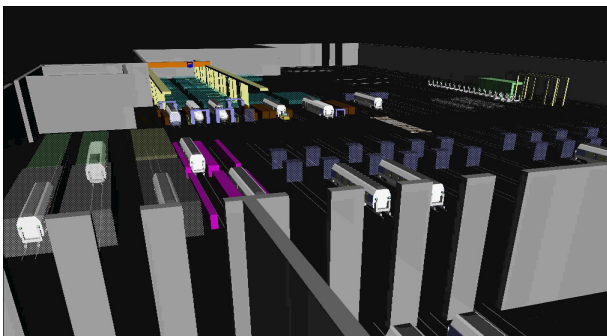


그림 5. 3차원 시뮬레이션 모델

는 2대가 활용되어지며, 트레버서 상차를 위해서는 소형 견인차가 사용 된다. 입출장선에서는 리프트와 동력차 작업장에서는 크레인이 작업을 수행하게 된다. 동력차는 각 작업장에서 작업 우선순위를 두어서 가장 빨리 작업이 완료 될 수 있

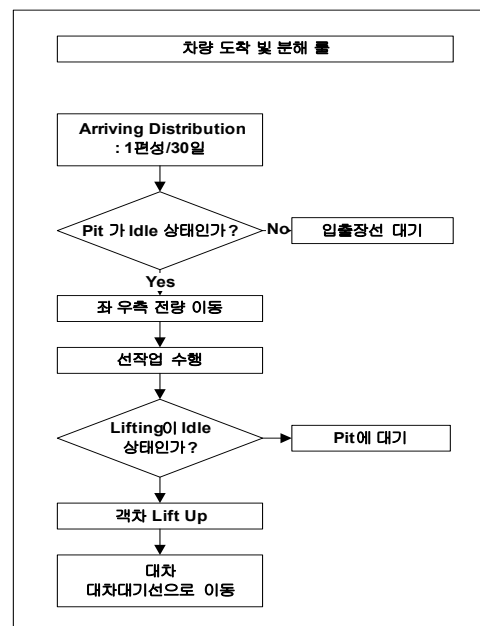
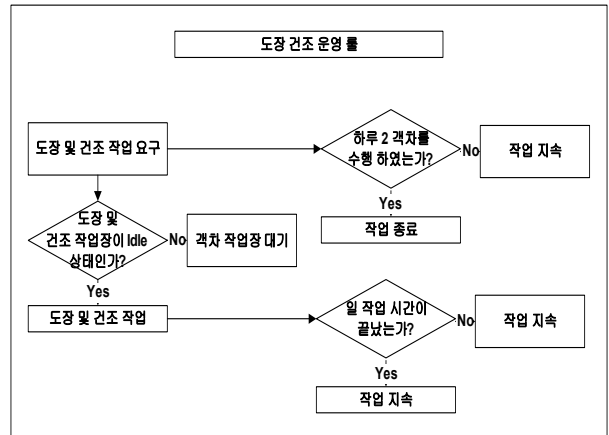
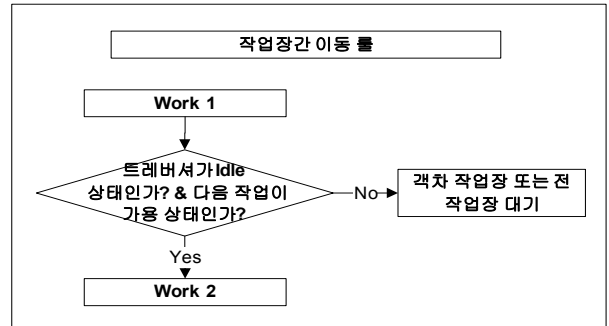


그림 6. 시뮬레이션 운용 룰

도록 시스템의 설계를 하였다. 모든 작업이 완료가 되면, 그림 2의 프로세스와 같이 1편성 전체에 관한 작업이 이루어지게 된다. 그림 4는 철도 정비 시설의 배치 안을 나타내고 있으며, 그림 5는 3차원 시물레이션 모델을 보여 준다.

### 3.3 철도 정비 시설 시물레이션 운용 룰

시물레이션 운용 룰은 가정과 프로세스에 정의 된 내용을 시물레이션 설계 시 적용하여야 하는 룰이다. 이 내용을 기준으로 시물레이션 설계를 함으로써, 좀 더 현실적인 모형의 구현이 가능 할 것이다. 본 논문에서는 시물레이션 운용 룰 중에서 핵심 부분인 작업장 간 이동 룰, 도장 및 건조 운용 룰 그리고 차량 도착 및 분해 룰을 그림 6에 나타내었다.

## 4. 시물레이션 설계 변수 및 종속 변수 선정

시물레이션 설계 변수 및 종속 변수의 선정은 현 시스템을 가장 잘 반영할 수 있는 변수를 선정하였다. 종속 변수로는

표 1. 시물레이션 종속 변수

시물레이션 종속 변수	
종속 변수	단위
트레버서 이용률	%
각 작업장 별 이용률	%
각 차량 및 1편성 Cycle time (차량 : 분해 시부터 작업 완료 시까지 객차 1편성 : 분해 시부터 조립 완료 시까지)	Day

표 2. 시물레이션 설계 변수

시물레이션 설계 변수		
설계 변수	변수 값	단위
트레버서 속도	Normal (30, 5)	m/min
소형 견인차 속도	Normal (20, 2)	m/min
작업자의 견인 속도	Normal (10, 2)	m/min
차체 Lift Up 시간	Normal (10, 2)	min
차체 Lift Down 시간	Normal (20, 2)	min
차체 블라스트 작업 시간	Normal (3.5, 0.5)	hour
차체 스틸 작업 시간	Normal (3.5, 0.5)	hour
하도 도장 시간	Normal (1.7, 0.2)	hour
도장 건조 시간	Normal (2, 0.2)	hour
전처리 작업 시간	Normal (28, 2)	hour
마스킹 작업 시간	Normal (2, 0.2)	hour
하도 및 지붕 도장, 마스킹 제거 시간	Normal (2, 0.2)	hour
차체 도장 견저 시간	Normal (2, 0.2)	hour

트레버서 이용률, 각 작업장 별 이용률, 그리고 각 차량별 Cycle Time 및 1편성 Cycle time으로 선정하였다. 시물레이션 종속 변수는 표 1과 같다.

트레버서 이용률은 시스템의 설계 전 가장 우선 하여 고려 하였다. 작업장 간의 이동에 있어서, 트레버서가 이용률이 높아 병목구간이 발생 한다면, 전체 시스템에 큰 영향을 주기 때문에 종속변수로 선정을 하였다. 또한 적정 이용률을 산출 함으로서 예방 정비 및 교체를 예측하여 설계에 적용이 가능 할 것이다. 각 작업장 별 이용률은 각 설비 별 이용률로서, 동일한 작업을 처리하는데 있어서 낮은 이용률로 처리가 가능 하다면 더 좋은 방법이지만, 적정 수준의 이용률을 가지는 것이 좋은 시스템이라고 할 수 있다. 각 차량 및 1편성 Cycle Time은 1편성이 60일 이내에 정비가 완료되는 지를 판단하는 지표로 사용 될 것이다. 즉, 현 정비 시설은 2편성을 동시에 작업 할 수 있는 시스템으로 적정 시스템인지를 판단하는 기준으로 사용된다.

설계 변수는 종속 변수에 가장 큰 영향을 주는 변수를 선정 하였다. 설계 변수는 시물레이션 최적화 분석에서 각각의 하나의 독립 변수로 이용되고, 즉 독립 변수의 역할을 하게 되고, 시물레이션 분석 후 실제 시스템에 적용되는 변수가 된다. 시물레이션 설계 변수는 표 2와 같다.

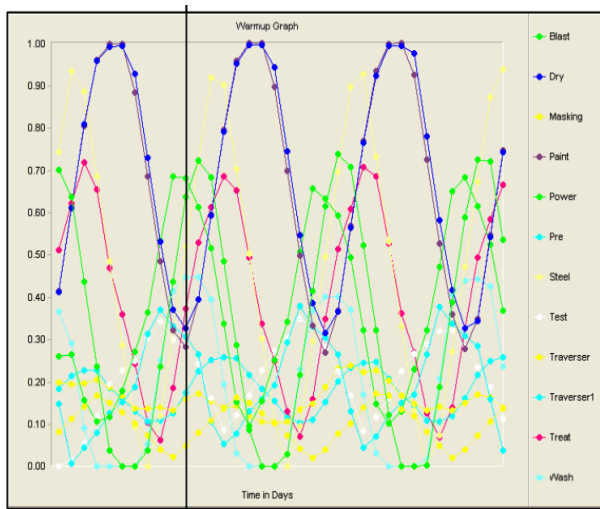
## 5. 시물레이션 최적화

본 논문에서는 시물레이션 최적화를 위해서 진화전략 (Evolution Strategy)을 사용하였다. 진화 전략을 이용하면, 시물레이션의 종속 변수 및 설계 변수의 최적 변수 집합을 산출 할 수 있다.

### 5.1 Warm-Up 분석

Warm-up 분석은 시물레이션시스템의 분석에 가장 기본이 되는 분석 방법이다. 시물레이션은 초기 상태에서부터 시물레이션이 수행되기 때문에 초기 상태를 포함하여 분석하는데 무리가 있다. 따라서 Warm-up 분석을 통하여 시스템이 안정화 상태(Steady State)에 도달하는 시간을 제외하고 분석하여 적용을 하여야 한다. Warm-up 분석에 관한 결과는 그림 7과 같다.

Warm-up 분석 결과 시스템이 안정화 상태에 도달하는 시간을 40.45 일로 추정하였다. 또한, 각 편성에 대하여 시스템 내의 작업장 및 트레버서의 이용률이 주기적으로 변화가 있음을 알 수 있다. Cycle Time 분석을 통하여 같이 분석 할 수 있지만, Warm-Up분석의 결과만을 보면, 각 편성 당 작업장의 이용은 다음 편성에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다.



40.45

그림 7. Warm-Up 분석 결과

도장 및 건조 작업장의 이용률은 1편성의 작업이 20일 정도 되었을 때, 100%를 나타냄으로서 시스템의 병목 구간으로 생각되어 질 수 있으며, 전처리 작업과 스틸 작업은 어느 정도 여유를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 마스크 장은 시스템 초기에 가장 이용률이 높으며 점차 감소하면서 시스템 peak 시간 때에는 이용률이 낮은 것으로 판단되어 진다. 따라서 본 논문에서는 시뮬레이션 분석을 Steady State 상태 이후, 시스템이 복잡한 Peak 시간 때(75~90일)에 실시하였다.

### 5.2 진화 전략 (Evolution Strategy)

진화 전략은 자연 진화의 원리를 묘사한 최적화 기법이다. 초기 진화 전략은 돌연변이만을 재조합하는 방법으로 적용하여, 유동점을 최적화 시키는 진화 프로그램으로 받아 들여졌다. 그리고 연속형 가변 모수를 최적화하는 기법으로 다양하게 사용 되어졌다. 최근에 들어서 이산 형 모수에도 적용 되어졌으며, 함수 최적화 문제에 매우 효과적이어서 수리 모형의 최적화 좋은 기법으로 제시가 되었다[10]. 진화전략은 일반적으로 다음과 같이 표현이 되어 진다.

$$ES = (\mu, \lambda, R, \Phi, X, \Delta\sigma, \tau)$$

$\mu$  : the population size

$\lambda$  : the number of children produced in each generation

$R$  : the replacement policy

$\Phi$  : the fitness function

$X$  : a recombination operator

$\Delta\sigma$  : the increment/decrement value for modifying the standard deviation  $\sigma$  of each individual

$\tau$  : a termination criterion [11]

표 3. 시뮬레이션 최적화 조건

시뮬레이션 최적화 조건			
Simulation Parameters		Termination Criteria	
Max. Replication / Solution	5 Times	Improvement of 50 Generation Results	< 5 %
Number of Parents / Generation	3 EA	Maximum Generation	100 Generation

본 논문에서는 아래와 같은 진화 전략 절차를 사용하였다.

#### ES Procedure

Step1 : Generate the first simulation run

Step2 : Randomly create the first generation of children

Step3 : Make the runs for each child

Step4 : Select the parents based on the fitness score [fitness function]

Step5 : Combine them

Step6 : Mutate the factor value

Step7 : Repeat step 3-6 until the termination criteria are met 9)

본 논문에서는  $\mu = 3$ ,  $\lambda = 7\mu$  그리고  $R$ 은  $(\mu + \lambda)$ 로 설정하였다. 그리고 아래의 Fitness Functions을 최적화 모수로 선정하였다.

Fitness Functions : MAX 트레버서 이용률

MAX 각 작업장 별 이용률

MIN 각 차량 및 1편성의 Cycle Time

표 3은 시뮬레이션 파라미터와 종료 조건을 포함하는 시뮬레이션 최적화 조건을 나타낸다.

### 5.2 시뮬레이션 최적화 결과

5.1절의 진화전략 방법은 AutoMod에서 제공하는 통계 분석 전용 소프트웨어인 AutoStat 4.0을 이용하여 분석을 하였다[4]. 트레버서 이용률의 최적화 분석의 결과 약 34%의 이용률을 나타내었다. 트레버서 이용률이 생각보다 적게 나온 것은 각 작업 시간이 너무 길어서 트레버서의 실질적인 이용이 그렇게 크지 않은 결과라고 분석을 할 수 있을 것이다. 트레버서 이용률의 진화 그래프는 아래 그림 8과 같다.

각 작업장 이용률을 분석한 결과는 표 4와 같다. 표 4를 분석하여보면, 각 작업장은 1편성이 정비 시설에 입고 된 후, 작업 별로 어느 시점에 이용률이 높게 나타나고, 그 뒤로는 이

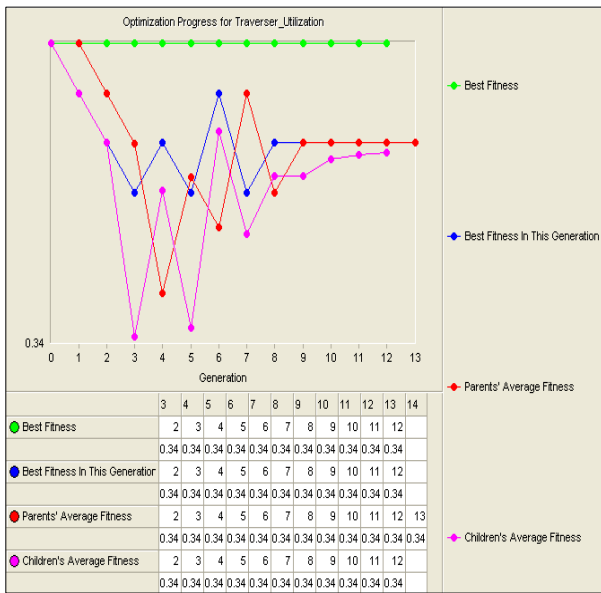


그림 8. 트레버서 이용률 최적화 그래프

표 4. 각 작업장 별 이용률

작업장	이용률 (%)
블라스트 작업장	33
건조 작업장	70
마스킹 작업장	10
도장 작업장	68
동력차 작업장	39
선 작업장	21
스틸 작업장	46
객차 시험장	23
전처리 작업장	39
세척장	19

용률이 높지 않아서 전체적으로는 높은 이용률을 나타내지 않고 있다. 그러나 Warm-Up 분석에서의 이용률의 주기적인 변화를 인지하고 있는 상황이므로, 전체 분석에서는 조금 낮은 수치를 보인다고 분석하는 것은 무리가 있을 것이다.

본 논문에서 제시한 정비 시설은, 1편성의 도착 시간이 30 일(그림 6 참조)로 전체 작업 시간은 약 60일 정도로 추산하였다. 하지만, 현 시스템의 총 처리 시간이 60일을 넘게 되면, 3편성이 현 시설에 공존하게 됨으로서, 작업을 하지 못하게 된다. 따라서 1편성이 60일 안에 작업을 끝마치는 것을 확인 하는 것이 더 중요한 종속 변수로 인식 되어 질 것이다. 시스템이 안정화 상태 이후 인 60일부터 3편성에 관한 Cycle Time 과 각 차량 별 Cycle Time을 산출하여 표 5, 표 6에 나

표 5. 각 편성 별 Cycle Time

편성	Cycle Time (Day)
3	51.96
4	52.43
5	49.1
평균	51.2

표 6. 각 차량 별 Cycle Time

차량	3편성 (Day)	4편성 (Day)	5편성 (Day)	평균 (Day)
동력차 1	23.2	21.5	22.2	22.3
동력객차1	35.7	35.7	33	34.8
객차 1	33.5	33.4	32.8	33.2
객차 2	31.6	32.1	31.3	31.6
객차 3	30.9	30.9	30.6	30.8
객차 4	27.7	28.6	26.8	27.7
객차 5	24.8	24.9	25.2	25
객차 6	23.2	23.1	23.4	23.3
객차 7	20.8	20	20.8	20.5
객차 8	18.5	19.7	18.4	18.9
객차 9	16.4	17.5	16.7	16.8
객차 10	19.3	20.1	19.5	19.6
객차 11	22.4	22.5	21.9	22.3
객차 12	24.5	24.4	24.2	24.4
객차 13	26.9	27.6	28.1	27.6
객차 14	28.8	28.9	29.1	28.9
객차 15	31.4	31.3	31.1	31.3
객차 16	32.2	33.1	33.4	32.9
동력객차2	33.2	33.3	33.2	33.2
동력차 2	24	23.3	24.2	23.8

타내었다.

표 5와 표 6의 결과를 분석하여 보면, 안정 상태 이후의 3 편성에 관한 전체 Cycle Time은 평균 51.2 일로 정비 시설의 큰 문제가 없는 한 60일 안에 처리가 되는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 각 차량 별 Cycle Time을 분석한 결과, 객차 9가 제일 먼저 시스템에 인입 되어 가장 빠른 Cycle Time이 나온 것을 확인 할 수 있었고, 그 뒤 정비 시설에 입고되는 순으로 증가하다가 동력차가 우선순위를 가짐으로 더 빠른 시간 안에 작업이 끝나는 것을 확인 할 수 있었다.

### 5.3 시뮬레이션 설계 변수 적용

본 논문에서 제시한 진화 전략 방법을 적용하여 설계 변수

표 7. 최적 설계 변수

시뮬레이션 최적 설계 변수		
설계 변수	변수 값	단위
트레버서 속도	30.2	m/min
소형 견인차 속도	19.025	m/min
작업자의 견인 속도	11.23	m/min
차체 Lift Up 시간	9.722	min
차체 Lift Down 시간	10.56	min
차체 블라스트 작업 시간	3.45	hour
차체 스틸 작업 시간	3.5	hour
하도 도장 시간	1.675	hour
도장 건조 시간	1.983	hour
전처리 작업 시간	28.03	hour
마스킹 작업 시간	2.032	hour
하도 및 지붕 도장, 마스킹 제거 시간	1.903	hour
차체 도장 건조 시간	2.156	hour

와 종속변수의 최적 변수 집합(Optimal Variables Set)의 산출이 가능하다. 이 설계 변수를 현 시스템(Real System)에 적용하여할 것이다. 종속 변수에 따른 최적 설계 변수는 표 7과 같다.

## 6. 결론

본 논문에서는 철도 정비 시설의 시뮬레이션 설계를 통한 최적 설계 방법 및 운용을 제시하였다. 정비 시설의 경우 대부분 노동 집약적인 시스템이어서, 시뮬레이션으로 정형화한 모형화가 불가능 하였으나, 작업자의 작업 시간을 이동 시간으로 간주하고, 전체 작업에 관한 자재 흐름(Material Handling) 관점에서 설계함으로써, 철도 정비 시설의 시뮬레이션 분석을 실시하고, 최적 설계 변수를 산출하였다.

열차의 경우, 동력차, 동력객차, 객차로 프로세스를 정의하여 분석하였고, 정비 시설을 시뮬레이션 모형을 통하여 설계를 하였다. 각 객차의 작업을 객차의 프로세스 순서에 따라 (Train-Driven) 시뮬레이션에서 이동하고 작업이 이루어지게 함으로서, 세부 시스템의 시뮬레이션 보다 전체 운용 프로세스에 관점을 두고 시뮬레이션 설계가 이루어졌으며, 이에 대한 최종 시뮬레이션 분석 결과는 다음과 같다.

(1) 설계 된 차량 정비 시스템은 주기적으로 (편성 별) 도장 및 건조 시스템에 병목 구간이며, 마스킹 장은 낮은 이용률을 나타내고 있다.

(2) 트레버서 이용률은 시뮬레이션 최적화를 통하여 분석을 실시하게 되면, 최대 34%임을 확인 할 수 있었으며, 편성 별 Cycle Time 평균이 약 51.2일 이므로 시스템의 목적인 60일 내의 처리에 부합하는 것을 확인 할 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 2007년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었음.

## 참 고 문 헌

1. 강정운, 이홍철, 엄인섭 (2006), “시뮬레이션과 메타모델을 이용한 자동 물류 센터 설계 최적화”, 한국 시뮬레이션 학회지, 제 15권, 제5호, pp.103-114.
2. 엄인섭, 이홍철, 강정운 (2004), “진화전략과 DEA를 이용한 통합 물류 시스템 분석 방법”, 한국 시뮬레이션 학회지, 제13권, 제 4호, pp.17-29.
3. 이상설, 안도만, 강희정(1999), “철도차량 정비공장의 설비배치 개선에 관한 연구”, 공업 경영 학회지, 제22권, 제49호, 공업 경영학회, pp.89-98.
4. Brooks Automation, Inc. AutoSimulation Division (2001), “AutoMod User’s Manual”, Brooks Automation, Inc.
5. Dewsnup, M. C. (1995), “How to model AGVS using Promodel for Windows”, Proceeding of 1995 Winter Simulation Conference, pp.703-708.
6. Jayaraman, A. (1993), “Use of simulation-animation techniques in the design of an AGV system. M. Sc. Thesis”, Department of Industrial and Systems Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University.
7. King, R.E. and Kim, K.S. (1995), “AgvTalk : An objective-oriented simulator for AGV system”, Computer and Industrial Engineering, Vol.28, No. 3, pp.575-592.
8. Lee, J. (1996), “Composite dispatching rules for multiple-vehicle AGV systems”, Simulation, Vol. 66, No 2, pp.121-130.
9. Moriarty, D. E., Schultz, A. C. and Grefenstette, J. J. (1999), “Evolutionary Algorithms for Reinforcement Learning”, Journal of Artificial Intelligence Research, Vol. 11, pp.241-276.
10. Michalewicz, Z. (1996), “Genetic Algorithms + Data Structures =Evolution Programs 3rd Edition”, Springer-Verlag.
11. Schwefel, H. P. (1991), “Evolution and Optimum Seeking”, NewYork, John Wiley & Sons.
12. Tanchoco, J. M. A. (1994), “Material Flow system in Manufacturing”, Chapman & Hall.

(2007년 4월 18일 논문접수, 2007년 5월 23일 심사완료)