

## 시뮬레이션을 이용한 전동차사무소 수행도 평가<sup>†</sup>

### Performance Analysis of Electric Rail Car Office Using Computer Simulation<sup>†</sup>

이춘우<sup>\*</sup>, 김원영<sup>\*</sup>, 권용주<sup>\*</sup>, 김소영<sup>\*</sup>, 윤초희<sup>\*</sup>, 오세진<sup>\*</sup>, 전태보<sup>\*\*</sup>  
Lee, C.W. Kim, W.Y. Kwon, Y.J. Kim, S.Y. Yun, C.H. Oh, S.J. Jeon, T.B

#### Abstract

A performance analysis for newly being considered electric rail car office has been made in this study. The major purpose is to examine a proposed design in terms of its capacity and the proposed number of travels (82-84) per day. For this study we first examined the overall system configuration with detailed operational processes of cleaning and inspection. We then developed a simulation model using ARENA and designed input data from 12 selected factors and their interaction effects. A simulation run for each treatment combination of  $L_{16}(2^{15})$  orthogonal array was run and 20 batch means were obtained. Through careful analyses of the results obtained, we drew a diversity of suggestions including the best factor level combination. Our confirmation experiments at the optimal level combination further validate the possibility of 82 runs and the consistency in the results.

**키워드:** 망소특성, 선형그래프, S/N비, 평균반응

**Keywords:** *Smaller the Better Characteristic, Linear Graph, Signal-to-Noise Ratio, Average Response*

#### 1. 서론

수도권 주변의 개발·발전에 부응한 새로운 전철(가칭 과선선)의 시발역으로 과천역이, 신도시 중각역으로는 신수역이 고려되고 있다. 신수역에는 전동차의 청소, 검수(정비) 등을 위한 전동차 사무소 건설을 고려중이며 이를 위한 설계안이 마련되

었다. 철도청에서는 이 설계안에 대하여 검토를 수행하였으며 검토 결과 설비 용량과 운행에 확신을 갖지 못하고 있는 실정으로 이에 대한 보다 구체적인 확신을 갖고자 한다.

본 연구의 주된 목적은 신수역내 전동차 사무소의 운영을 시뮬레이션을 통하여 수행도를 측정하고자 하는 것이다. 특별히, 1일 운행횟수가 총 82-84회를 만족함이 중요하며 제안된 설계안을 바탕으로 이를 만족할 수 있는 답을 찾고자 한다. 즉, 전동차 사무소의 설비용량 및 기본 운영 계획이 정상적으로 작동 가능한 지 포괄적인 분석 수행과 결론을 도출하고자 한다.

연구수행을 위하여 다음절에서는 과선선 및 신수역내 전동차 사무소에 대한 전반적인 내용을 고찰하였으며 이 과정에서 보다 구체적인 문제를 도

<sup>†</sup> 본 논문은 2003년 12월 시뮬레이션학회 주관 시뮬레이션 경진대회 문제를 대상으로 연구를 수행한 결과임.

<sup>\*</sup> 강원대학교 산업공학과 학부과정

<sup>\*\*</sup> 강원대학교 산업공학과 교수, 공학박사

출한다. 제 3절에서는 전체시스템을 대상으로 ARENA[1,2,6]를 이용한 시뮬레이션 모형을 수립 하였다. 제 4절에서는 결과분석을 위한 입력데이터 설계를 수행하였고, 제 5절에서는 수립된 프로그램 과 입력데이터 설계에 따라 시뮬레이션을 수행한 뒤 얻어진 결과데이터를 바탕으로 다양한 분석을 수행하였다.

## 2. 대상시스템 개요

본 연구에서 대상으로하는 과천역-신수역의 전 반적인 개요는 다음과 같다.

### 2.1 노선 개요

과천역-신수역 간 총 운행거리는 60km이며 중 간역과 정차시간 등을 고려하여 평균 60km/hr의 속도를 가정하며 1시간이 소요된다. 그러나, 신수 역 전동차 사무소 내의 평균 운행속도는 20km/hr 이고 가·감속은 무시한다. 편성이란 전동차의 운 행단위를 말하며 1편성은 10량의 차량으로 구성되 어 있고 1편성의 길이는 약 200m 정도이다. 이 구 간에는 총 22편성의 전동차가 운행에 투입될 예정 이다.

차량은 과천역과 신수역 각각 5시 40분부터 23 시 32분까지 운행된다. 신수역의 경우 오전 7-9시 그리고 과천역의 경우는 오후 6-8시 사이의 rush hour로 8분 간격으로 출발하며 나머지 시간대에는 14분 간격으로 출발한다. 따라서, 1일 운행회수는 출발시간 간격을 고려하여 각 역에서 84회가 출발 하도록 설계되어 있다. 그러나, 상황에 따라 운행을 하지 못하는 경우를 고려하여 1일 최소운행회

수를 82편성으로 하고자 한다. 또한, 과천역에는 하루 운행종료 후 다음날 운행을 위해 최대 6편성 까지의 주박차량이 야간에 대기한다. 주박차량이 4 대 이하 일 경우 출발시간에 맞추어 전동차가 출 발하지 못하는 문제가 발생한다. 주박차량을 제외 한 모든 차량은 신수역내의 전동차사무소에서 밤 에 대기한다.

### 2.2 검수, 청소의 유형 및 운영

본 연구의 핵심 부분인 전동차 사무소는 그림 1 과 같다.

차량이 신수역에 도착하면 일단 전동차 사무소 의 유치선으로 들어간다. 유치선에 들어간 차량이 검수/청소 작업 대상 차량이면 해당 작업을 실시 하고, 그렇지 않은 경우에는 유치선에서 대기하다 가 출발시간에 맞추어 과천역으로 출발한다. 이 경 우 유치선에서 신수역 출발지점까지 이동하는데 걸리는 시간이 고려된다.

검수 또는 청소의 유형은 표 1의 도시와 같이 크게 검수, 청소, 그리고 전삭등으로 나뉜다. 검수는 6개월, 3개월, 그리고 3일 검수 등으로 분류되 며, 청소는 전반청소와 일상청소로 구분된다. 모든 검수 또는 청소는 편성(10량) 단위로 진행된다. 특 정 편성(열차)은 1일 1회에 한해 반드시 검수 또는 청소 작업을 수행한다. 즉, 특정 검수와 청소 또는 전반청소와 일상청소 등을 하루에 함께 받는 일은 없다. 검수(6개월, 3개월, 3일)를 받는 차량은 해당 검수선에서 일상청소를 실시하므로 추가로 받을 필요는 없기 때문이다. 전삭작업은 전동차 바퀴의 마모로 인하여 연마를 수행하는 작업으로 검수 및 청소와 달리 개별 기차(량) 단위로 진행된다. 전삭 작업은 수시로 발생하며 1편성(10량)에 대해 매회 입고시 최대 1량의 차량에 대해서만 전삭작업이 가능하다. 따라서, 표 1의 전삭작업 소요시간은 1

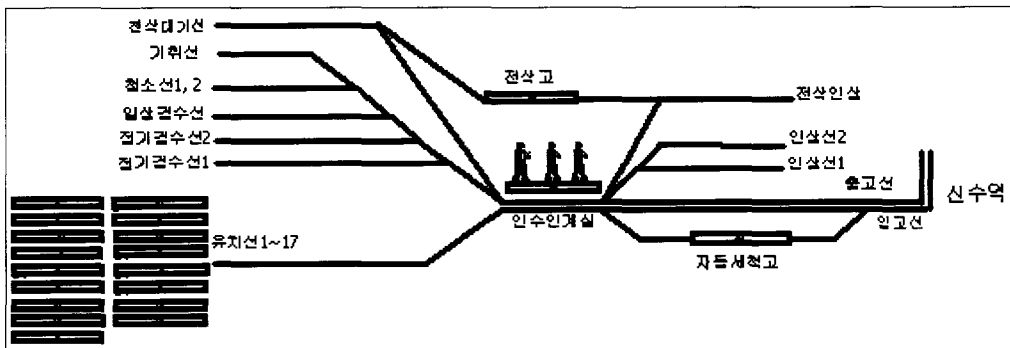


그림 1 전동차사무소 배치도

량에 대한 작업시간을 나타낸다. 기타 해당 작업의 발생 주기, 작업에 소요되는 시간, 그리고 해당 작업의 설비 등이 표에 요약되었다. 표 하반부의 자동세척, 기취작업, 자동검사 등은 검사나 청소작업의 일부요소 작업들이다.

표 1 검수/청소의 유형별 자료

항 목	소요시간(분)	평균 발생주기	설비
검 수	6개월 T(900.960.1020)	6개월	정기검수선 1, 2
	3개월 T(420.480.540)	3개월	정기검수선 1, 2
	3일 T(90.120.150)	3일	일상검수선
청 소	전반 청소 T(420.480.540)	2개월	청소선 1, 2
	일상 청소 30	1일	청소선 1, 2
전 사	T(120.150.180)	연간 운행차량 (220량)의 약 30%	전삭고
자동세척	10	검수, 청소, 전삭 등 모든 차량	자동세척고
기 취	U(90.100)	3, 6개월 검수차량	기취고
자동검사	240	3, 6개월 검수차량	정기검수선 1

표 1의 검수 및 청소와 관련한 업무 흐름은 그림 2와 같이 요약된다. 참고로, 3개월, 6개월 검수 과정은 다음과 같다. 6개월 검수대상 차량이 입고선으로 들어오면 자동세척고에서 세척작업을 받은 후, 인수인계실로 이동한다. 인수인계실에서 승무원이 구내운전원으로 교체된 (인수인계 소요시간 1분) 후 유치선으로 이동한다. 유치선에서 대기하다가 기취작업(먼지 제거 작업)을 받기 위해 인상선 1을 경유하여 기취고로 이동하여 기취작업을 받은 후, 인상선 1을 경유하여 정기검사선(1 혹은 2)으로 이동한 후 6개월 검수를 실시한다. 정기검사선 1에서 검수를 마친 차량은 동일 장소에서 자동검사를 실시한다. 정기검사선 2에서 검수를 마친 차량은 인상선 1을 경유하여 다시 정기검사선 1로 이동한 후 자동검사를 실시한다. 자동검사를 마친 차량은 인상선 2를 경유하여 유치선으로 이동한 후 대기한다. 출발 순서가 된 차량은 유치선을 출발하여 인수인계실에서 구내 운전원이 승무원으로 교체된 후 차량 운행시각에 맞추어 출고선을 통해 출고된다. 기타 검수 및 청소 작업들도 비슷한 방법으로 진행되며 자세한 설명을 생략한다. 그림 2에서 박스 속은 주요 작업들이고 흐름도상 화살표 위의 표시 선로들은 특정 작업을 수행하기 위하여 선행적으로 할당되어야 하는 선로들이다.

표 2에는 검수 및 청소와 관련한 설비들의 세부 내용들로 용량과 운영시간들이 요약되었다.

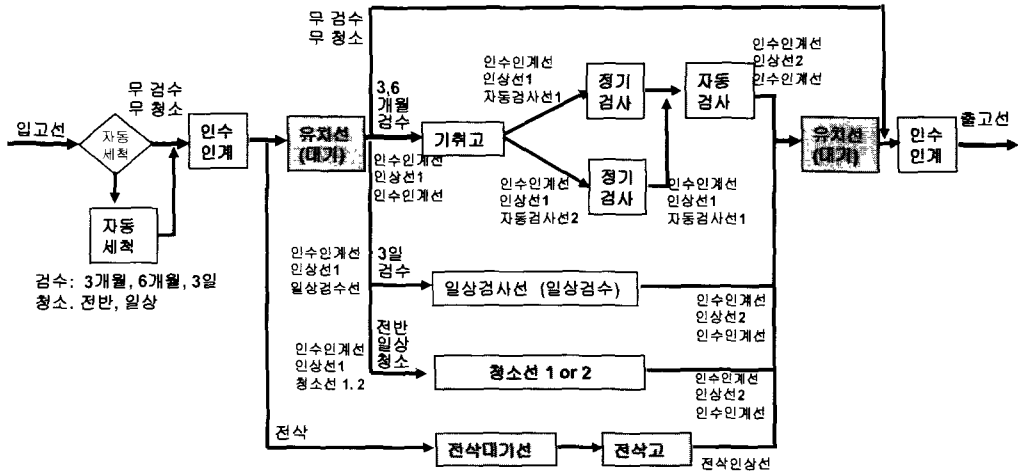


그림 2 검수 및 청소작업 흐름도

표 2 설비 및 선로의 용량과 운영시간

설비	용량	운영시간
정기검수선 1 (자동검사선)	1	09:00 ~ 18:00
정기검수선 2	1	09:00 ~ 18:00
일상검수선	1	24시간
청소선 1	1	06:00~익일02:00
청소선 2	1	06:00~익일02:00
자동세척고	1	24시간
전삭고 (전삭대기선) (전삭인상선)	1 (1) (1)	09:00 ~ 18:00 (24시간) (24시간)
기궤고	1	09:00 ~ 18:00
유치선	17	24시간
인상선 1	1	24시간
인상선 2	1	24시간
입고선	1	24시간
출고선	1	24시간
구내운전원	3명/교대	3교대 24시간

현 단계에서 전동차사무소의 운영은 구체적으로 확정되지 않은 상태이며, 사무소의 설비용량 및 기본 운영 계획이 정상적으로 작동 가능한지 알고 싶다. 따라서 시뮬레이션 모델 수립에 차량 검수/청소 대상 선정방법 및 투입에 대한 논리를 개발하고자 한다 또한 정기검사선1, 2와 같이 6개월, 3개월 검수차량이 동시에 이용할 수 있는 경우에는 작업할당을 어떻게 하는 것이 효과적인지 할당방법을 알고 싶다. 청소선 1, 2의 경우에도 전반청소와 일상청소에 대한 전용선로를 지정할 것인지, 두 선로 모두 공용선로로 할 것인지에 대한 할당방법도 알고싶다. 1일 운행횟수가 최소 목표치에 도달하는지 검토하고 만일 목표치에 도달하지 못한다면 어떠한 이유 때문에 그런 현상이 발생하는지 규명하자 한다.

### 3. 시뮬레이션 모형화

본 시뮬레이션에 있어서 첫 번째 목적은 전동차사무소에서 모든 편성에 대하여 정해진 검수/청소작업을 수행할 수 있는지에 대한 용량 분석이며 두 번째 목적은 모든 작업을 수행하면서 일일 요구 운행량(최소 82회, 최대 84회)의 운행이 가능함에 대한 검증에 있다

### 3.1 모형 설정을 위한 가정

프로그램 작성을 위한 가정들은 다음과 같이 요약된다.

#### 일반적인 가정

- 전동차사무소 내 설비/선로들간 거리는 설계 도면의 축척을 고려하여 결정한다.
- 전동차 및 제반 검수/청소 설비들의 고장은 발생하지 않는 것으로 한다.
- 구내운전원은 차량을 목적지에 이동시킨 후 다음 작업을 위한 이동시간은 고려하지 않는다.
- 각 검수/청소 작업장의 인력은 고려하지 않는다.
- 과천과 신수역간 운행 소요시간은 상수(1시간)를 가정한다.

#### 전동차사무소 운영상의 가정

- 하루의 운행완료 후 과천역의 주차차량이 특정 수량(5 또는 6) 보다 적을 경우 부족 차량 수 만큼 야간에 충족시켜 놓는다. 이 경우 운행시간과 횟수는 분석대상에서 제외한다.
- 전삭작업은 긴급성을 요하는 작업으로 작업 할 당시 반드시 작업을 받은 후 운행한다.
- 신수역에서의 출발시 지연은 인정하지 않는다.
- 인수인계선 근처의 선로 교차 지점은 두 대의 차량이 동시에 교차 이동할 수 없으므로, 이를 자원(resource)으로 간주하여 교대로 점유하도록 한다
- 특정 편성은 반드시 1일 1회 검수 또는 청소작업을 수행해야 하므로 가능한 하루 일과중 일찍부터 할당되도록 한다.
- 특정 편성을 기준으로 검수와 청소작업이 같은 시점에 스케줄링 될 경우 소요시간에 관계없이 검수작업을 우선적으로 수행하도록 한다. 단, 동일 유형(검수 또는 청소) 내에서 두 작업이 같은 시점에 스케줄링 될 경우 작업 소요 시간이 큰 상위 작업을 우선으로 하고 하위 작업은 생략한다
- 특정 편성은 정해진 날짜에 6개월/3개월 검수를 받아야 하지만, 검수를 받아야 하는 날에 정기 검수선 1, 2가 모두 busy 상태라면 검수를 받아야 하는 날을 다음날로 미루고, 당일에는 1일 1회의 검수/청소 작업의 조건을 만족시키기 위하여 일상청소를 받도록 한다.

### 3.2 시뮬레이션 모형 수립

모델의 구현은 시뮬레이션 언어인 ARENA5

[1.2.6]를 통하여 수립하였다 시스템 운영의 묘사를 위해 전동차와 선로를 그림 3과 같이 표현하였다

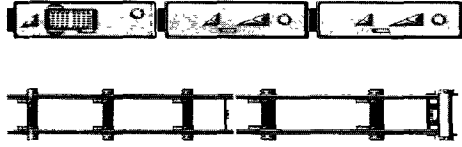


그림 3 전동차 및 선로의 형태

먼저 시점 0에 시스템에 대한 초기화로 신수역의 유치선에 16대 그리고 과천역의 주박차량으로 5대가 생성되어 대기한다 첫 운행시각인 05시 40분을 기하여 신수역과 과천역에서 열차 운행이 시작된다

과천역에서 출발한 전동차가 신수역을 통하여 전동차 사무소로 들어오는 순간에 검수 또는 청소 작업을 할당한다 특정 작업이 할당된 후 각각의 지정된 일들은 표 3에 정의된 순서(sequence)에 따라 수행된다 본 연구에서는 편의상 특정 검수 또는 청소에 요구되는 일들을 여러 형태(work type)로 분할하고 각각 순서를 할당하였다.

이하 주요 부분별 logic 및 처리방법은 다음과 같이 요약된다

1) 전삭작업

전 차량 220대를 기준으로 연간 약 30%가 작업을 받으므로, 먼저 연간 수행될 작업회수를 난수를 이용하여 생성한다. 다음으로, 생성된 작업회수 만큼 작업 수행일들을 확률분포 Uniform(1,366)을 이용하여 날짜와 시간을 생성한 뒤 이들을 오름차순으로 정렬한다. 특정 날짜/시간을 지난 후 가장먼저 신수역에 들어오는 열차는 전삭작업을 배정받는다. (1편성이 년중 다수 회의 전삭작업을 받을 수 있다.)

2) 정기검수

초기 검수를 3개월내에 받도록 Uniform(1.91)을 이용하여 검수일을 그리고 검수 유형(3개월 또는 6개월)을 random하게 22편성에 대하여 생성·배정한다 특정 편성이 해당일에 검수를 받은 후 다음 검수 일을 Triangular 확률변수를 이용하여 배정한다 6개월 검수와 3개월 검수는 내용이 동일하고 검수 소요시간만 다르므로 약 3개월 단위로 교대로 배정한다. 3일 검수도 3개월, 6개월 검수와 독

표 3 Work Type별 작업 Sequence

1	2	3	4	5
자동세척 인수인계 유치선 인상선 기휘선	자동세척 인수인계 유치선 인상선 1 기휘선	자동세척 유치선 인상선 1 일상점검선 1 2 인상선 2 유치선 인수인계 (출고) 신수역 과천역	자동세척 인수인계 유치선 인상선 1 청소선 인상선 2 유치선 인수인계 (출고) 신수역 과천역	인수인계 유치선 인상선 1 청소선 일상점검선 2 인상선 2 유치선 인수인계 (출고) 신수역 과천역
6	7	8	9	10
자동세척 인수인계	인수인계 유치선 인수인계 (출고) 신수역 과천역	인상선 1 정기검수선 1 인상선 2 유치선 인수인계 (출고) 신수역 과천역	인상선 1 정기검수선 2 인상선 1 자동검수선 인상선 2 유치선 인수인계 (출고) 신수역 과천역	유치선 인상선 1 전삭대기선 유치선 인수인계 (출고) 신수역 과천역
12	15	16	17	
첫 생성 인수인계 (출고) 신수역 과천역	건삭고 유치선 인수인계 (출고) 신수역 과천역	전삭고 유치선 인수인계 (출고) 신수역 과천역	인수인계	

립적으로 매 평균 3일마다 생성되도록 한다 특별히, 3일 검수 작업시점에서 다음 날 3/6개월 검수 작업이 예정되어 있다면 3일 검수를 수행하지 않고 다음 날의 6 또는 3개월 검수로 대처한다

3) 전반청소와 일상청소

모든 편성은 검수 또는 청소를 1일 1회 반드시 받아야 한다 이의 해결책으로 검수나 전반청소가 예정되어 있지 않은 편성은 일상청소를 받도록 계획하였다. 다만 청소선 2개가 모두 busy일 때는 다음 신수역 진입시 받도록 한다. 이때 다시 검수나 전반청소가 배정될 경우 예정된 일상청소는 취소된다.

4) 초기 전동차 편성

신수역에 처음 생성된 16 편성의 차량들이 work type 12를 배정받는다. 그 이후로는 더 이상 work type 12를 배정 받는 차량은 존재하지 않는다 기타 여러 검수나 청소 작업 수행상의 추가적인 logic은 다음과 같다

검수나 청소를 위하여 해당 작업 설비로 이동시 목적지까지의 해당 자원(resource)들을 모두 잡고 이동을 한 뒤 자원들을 놓아(release)준다. 작업을 마친 뒤 유치선으로 돌아오는 경우도 동일한 방법으로 진행된다. 또한 과천역으로 정시에 출발하기

위하여 신수역에서 한 편성이 출발한 후 다음 출발 예정 차량이 곧바로 출고선에 나와 대기하도록 설계하였다. (이로인한 수행 평가상의 차이는 거의 미미하였다.) 출발 예정 차량이 유치선을 떠나 출고선으로 가는 데 있어 선로들의 사용으로 정시에 준비하지 못하여 출발시간을 놓친 경우 결행 처리하고 이 편성은 다음 출발시각에 출발시킨다. (검토에 의하면 유치선-출발대기선까지 이동에 걸리는 시간이 3-13분까지 소요되었다.)

그림 4에 이상의 전반적인 시스템 형태와 진행 중인 animation을 도시한다.

#### 4. 시스템 수행도 분석

본 연구에서는 앞 절의 시뮬레이션 프로그램을 중심으로 분석을 수행하되 실험계획법을 활용하여 분석하고자 한다.

##### 4.1 수행평가, 입력변수 및 실험설계

전동차 사무실에 대한 가장 중요한 수행 평가기준은 일간 84회 또는 최소 82회의 운행회수를 만족하는가 이다. 그러나 개략실험을 통한 분석에 따르면 조건이 다소 변하여도 일일 운행회수가 약간만 변할

뿐 현격히 떨어지지는 않으며, 종합적인 제안을 유도하기에 근소한 차이를 보인다. 따라서, 82회를 최대한 보장하는 방법으로 벌칙함수(penalty function)를 정의하여 사용하였다. 즉, 84회를 만족할 경우는 벌칙이 없되 이에 미치지 못할 경우, 특히 82회 미만일 경우 매우 큰 벌점을 부과하도록 한다. 본 연구에서의 벌칙함수는 다음과 같다. (이의 정의는 다소 임의적이나 82회 미만의 운행회수에 큰 벌점을 부과함으로써 목적을 달성하고자 한다.)

일간 운행회수	벌점
84	0
83	$2^0$
82	$2^1$
81	$2^{10}$
이하 x	$2^{(84-x)+7}$

이제 우리의 목적은 목적함수인 벌점함수 값을 최소화 함이며 이는 망소특성(STB: smaller the better characteristic)에 해당된다.

주요 변수들로 총 6개가 선정되었으며 이들 및 고려 영역은 표 4와 같다. 이들 인자들에 추가로 AB, AC, AD, AF, BC, 그리고 DE 등 6개의 교호작용들이 고려되었다.

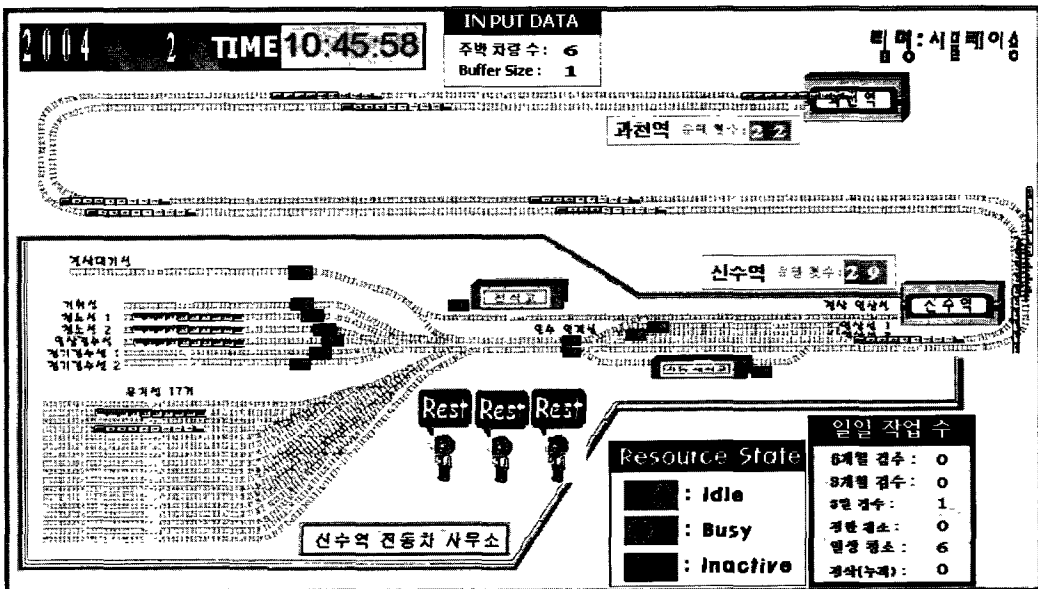
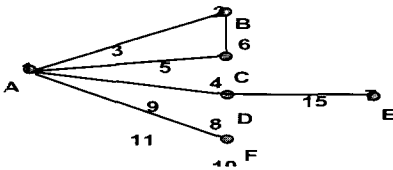


그림 4 과선선의 시뮬레이션 수행

표 4 인자들 및 고려영역

기호	인자	level 1	level 2
A	편성 수	22	23
B	청소선 Buffer 크기	0	1
C	청소선 사용방법	공용사용	전용사용 (1-전반청소) (2-일상청소)
D	정기검수선 운영방법	현행방법	전용사용 (1-3개월검수) (2-6개월검수)
E	인상선 사용방법	현행 (인상선 1,2의 역할 구분)	공용 (인상선 1,2를 혼용 사용)
F	일상검수선 버퍼크기	0	1

고려되는 6인자들과 교호작용들을 이용하여 시뮬레이션 실험을 설계하였다. Full factorial design에 요구되는  $64(=2^6)$  실험조합이 너무 커 이의 1/4 실험법, 특별히,  $L_{16}(2^{15})$  직교배열(orthogonal array)[3.4.7]을 이용하여 분석하기로 하였다. 다음 그림은 인자들간의 교호작용을 고려한 선형그래프(linear graph)를 도시한 것이다. 이 그림의 문자와 번호들은 인자들과 직교배열표상에 배치한 열 번호를 나타낸다



#### 4.2 실험결과 및 분석

이제 시뮬레이션을 통한 실험의 수행을 통한 결과 수집 및 분석을 수행하자. 우리가 알고자하는 결과치는 일간 (평균)운행횟수이며 tally변수[6]의 특성을 갖는다 또한 매일 운행에 관한 종료 조건(terminating condition)을 가지므로 종료 시뮬레이션(terminating simulation)의 특성을 가지나, 일과 후 전동차 운행은 종료되더라도 전동차 사무실의 운영은 계속되며 또한 이 시간 동안의 검수와 청소 상황은 다음 날의 운행횟수에 영향을 미치므로 비종료 시뮬레이션(non-terminating simulation)으로 분류된다.

본 연구에서는 비종료 시뮬레이션의 배치평균(batch mean) 방법에 의한 결과분석을 수행한다. ARENA에서 요구하는 최소한의 배치는 20이며 각

배치당 관측치 수는 16개로 최소 320개의 관측치가 필요하다. 본 연구에서 제시하는 시뮬레이션의 수행 길이는 1년임에 비추어 각 배치당 최대 18개의 관측치까지 가능한 셈이다. 그러나 배치당 18개의 데이터에 의한 배치평균치들은 상관관계를 배제하기에 충분하다 보기가 어렵다. 이의 해결책으로 자동상관(autocorrelation)을 조사함이 요구되나 본 연구에서는 배치당 30개 (즉, 1개월)의 결과치를 이용하므로써 대안으로 삼고자 한다. 이로 인해 20개월간의 시뮬레이션 길이가 요구된다 최종적으로, 6개월간의 warm-up 기간으로 고려한 뒤의 20개월간의 실행을 통하여 얻은 600개의 관측치를 얻었다.

표 5는 각 조합당 20회의 시뮬레이션 실험결과와 S/N비(signal-to-noise ratio)을 도시한다 이 분석을 위해 statistical[5]를 이용하였다.

표 6, 그림 5, 그리고 표 7은 앞의 결과를 바탕으로 계산된 ANOVA(analysis of variance) 결과와 인자수준별 평균반응(average response) 결과를 표와 그래프로 도시한 것이다. 이들 결과에서 보듯이 인자들 중 B와 C가 운행회수에 매우 큰 영향을 미치고, D와 F가 상대적으로 다소 약한 영향을 미치며, A와 E는 그 영향이 미미함을 알 수 있다. 흥미로운 것은 모든 교호작용들의 영향이 매우 미미하다는 점이다. 이는 분석 과정상 문제를 단순화시켜 궁극적으로 주효과(main effect)들만으로 모형화함이 가능함을 반영한다

이들 결과를 바탕으로 분석한 내용을 종합할 경우 다음과 같이 요약된다.

- 편성대수 22 또는 23은 운행회수에 전혀 영향을 미치지 않는다. 따라서, 현 문제 범주에서는 22대로 유지하여도 별 문제가 없겠다. 다만, 향후 운행상의 고장이나 다른 변화를 고려할 때 문제가 예상되면 23대도 가능하겠다.
- 인상선 1.2에 대하여 역할을 현재와 같이 전용선으로 설계하던 공용선으로 설계하던 운행회수에 전혀 영향을 미치지 않는다 따라서, 운영상 관리가 편한 방법으로 활용함이 좋겠다
- 청소선 2개를 각각 일상과 전반청소 용으로 한 개씩 고정 배경함이 운행회수에 결정적으로 기여할 것으로 기대된다
- 동시에 청소를 위해 대기 허용하는 경우보다는 대기해야 하는 경우 다음 기회에 청소를 받도록 스케줄링 함이 매우 중요하다. 청소/검수 작업의 대기를 허락할수록 모든 편성이 빠짐없이 검수/청소 작업을 받을 수는 있지만 운행에는 큰 차질이 예상된다.

표 5 시뮬레이션 실행 결과

번 호	실험 조합	실험 결과 치									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	(1)	3113	43	7209	5159	8234	3115	5165	5162	4141	14359
2	df	4134	1063	23570	16419	7207	22558	8229	12327	20502	15395
3	ce	23	22	1065	1068	37	43	3109	1068	1067	37
4	cdef	1053	20	4131	5151	2089	4129	7194	4130	2083	5154
5	bef	16412	21533	40972	39946	41998	56327	45068	64520	34834	76804
6	bde	28696	30738	61442	47114	53250	54278	72704	62466	50180	50182
7	bcf	8235	3120	14374	14374	12325	10281	22562	9258	16416	13349
8	bcd	6194	1080	7216	11306	12326	14374	11304	8236	10282	9258
9	ae	45	2095	10276	13344	13345	6189	5167	15391	6187	17436
10	adef	3113	4136	19478	20506	20507	17440	12313	22552	18460	23580
11	ac	25	32	1061	42	1064	41	39	1060	44	31
12	acdf	34	1054	2089	5156	1060	3113	8222	3105	3113	8222
13	abf	10283	19483	47112	51206	57350	48134	56331	38930	54279	40975
14	abd	21524	30731	53257	56322	40970	58370	61444	64516	58370	53252
15	abcef	8235	6192	15394	17443	21533	20506	25622	19487	13354	21532
16	abcde	12326	4147	6192	15390	9258	6192	13350	12328	13354	9258

표 5 - 계속

번 호	실험 조합	실험 결과 치										S/N비
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	(1)	7211	6182	5163	9251	7212	10277	12326	10278	8233	6192	-77.6575
2	df	19487	16413	20504	25620	18462	17432	18460	16407	24604	19484	-84.9462
3	ce	42	47	40	1057	1057	41	42	1066	41	1066	-59.7182
4	cdef	5153	4133	3109	4132	4131	3108	5154	9246	4138	2083	-72.9715
5	bef	54278	62472	67593	45060	47117	41994	53254	47120	59402	50185	-94.0471
6	bde	59396	49756	57348	56323	48134	51204	55302	59396	57352	62464	-94.6901
7	bcf	13348	15394	22556	16414	13352	14376	15398	21530	8236	17446	-83.4654
8	bcd	14378	10282	10279	7214	12324	10282	10283	7214	8237	8236	-79.9700
9	ae	9249	23570	12324	13348	10279	12328	10278	7214	10276	11298	-81.3514
10	adef	19480	23580	24604	18459	19482	14365	23579	14363	32795	22550	-85.9781
11	ac	41	46	1061	42	35	42	38	37	1064	42	-54.5193
12	acdf	1061	5151	1063	5153	2080	3111	1059	3105	5159	3106	-71.9560
13	abf	60424	43023	49170	49159	40964	53258	50186	60424	63490	49161	-93.7763
14	abd	64512	59400	74752	57348	51202	67591	49164	61447	65544	52229	-95.0281
15	abcef	17438	19486	15394	13348	14372	16418	15397	20514	21542	14368	-84.8524
16	abcde	7216	16418	7214	5170	10279	8237	12326	14370	9260	15396	-80.8238



표 6 ANOVA 결과

source	SS	df	MS	F
A	0.0419	1	0.0419	0.00220
B	863.6974	1	863.6974	45.31236
AB	0.9009	1	0.9009	0.04726
C	888.0131	1	888.0131	46.58825
AC	4.8034	1	4.8034	0.25200
EC	31.1871	1	31.1871	1.63618
E	10.7483	1	10.7483	0.56389
D	85.4537	1	85.4537	4.48320
AD	0.1594	1	0.1594	0.00836
F	145.4118	1	145.4118	7.62881
AF	0.1306	1	0.1306	0.00685
DE	3.9873	1	3.9873	0.20919
Error	57.1827	3	19.0609	-
Total	2,091.3176	15	-	-

표 7 인자수준별 평균반응표

수준	A	B	C	E	D	F
1	-80.93	-73.64	-88.43	-80.16	-78.67	-77.97
2	-81.04	-88.33	-73.53	-81.80	-83.30	-84.00

• 일상검수선의 경우 작업대기를 허용할 경우 작업 받기 위해 대기하는 편성의 수가 증가하므로 운행 편성 수 감소의 원인이 되므로 대기를 허용하지 않음이 좋다

• 정기검수선의 경우 현행과 같이 검수선 1에서만 자동검수를 받도록 운영함이 6개월 또는 3개월 검수에 전용화 시킴보다 좋다 이들의 역할을 구분할 경우 작업 받는 차량 수의 증가하여 운행편수를 감소시킨다는 예상이다 즉, 6개월 검수가 3개월 검수에 비하여 작업 시간이 길기 때문에 검수선 1을 점유하고 있는 경우 3개월 검수 작업을 끝마칠 수가 없다 따라서 검수선 1의 사용 시간이 적은 3개월 검수를 1에 우선 할당하고 6개월 검수는 검수선 2에 할당하는 것이 전체 검수 시간을 줄이는데 효과적이다

이상의 검토를 토대로 인자 및 교호작용들 중의 A와 E는 최적인자 수준 결정에서 제외해도 좋다는 결론이며, 궁극적으로 S/N비를 최대화하는 인자들 및 이들의 최적 수준은

$$B_1, C_2, D_1, F_2$$

으로 결정하였다 여기서 검자들은 해당 인자의 수준을 의미한다.

우리의 마지막 고려는 최적조건하에서 기대되는 일간 평균운행 회수의 예측과 실험을 통한 검증이다 먼저, 최적조건하에서 기대되는 평균운행 회수의 예측값은 다음과 같이 추정된다

평균 운행회수

$$\begin{aligned}
 &= \widehat{B}_1 + \widehat{C}_2 - \widehat{D}_1 + \widehat{F}_2 - 3\widehat{\mu} \\
 &= 82.21 + 82.11 + 81.69 + 81.67 - 3(81.63) \\
 &= 82.77
 \end{aligned}$$

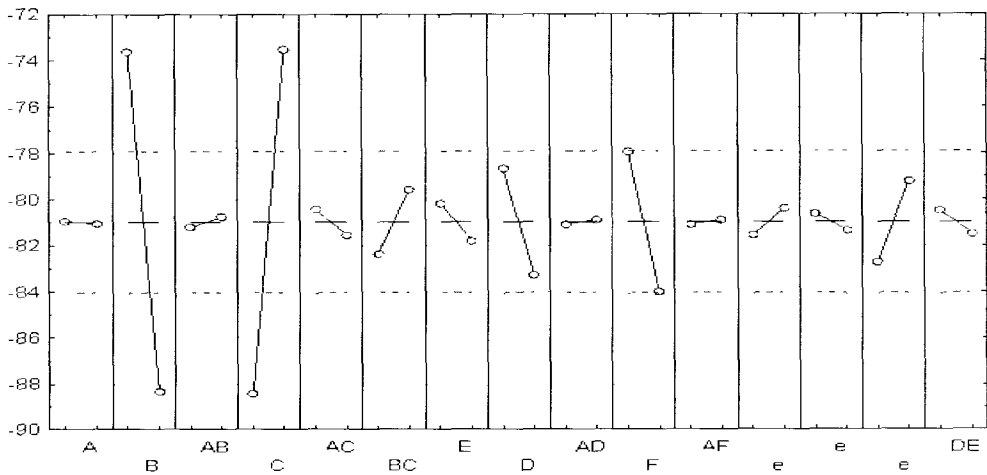


그림 5 인자수준별 평균반응 그래프

평균 운행회수

$$\begin{aligned}
 &= \widehat{B}_1 + \widehat{C}_2 + \widehat{D}_1 + \widehat{F}_2 - 3\widehat{\mu} \\
 &= 82.21 + 82.11 + 81.69 + 81.67 - 3(81.63) \\
 &= 82.77
 \end{aligned}$$

이 예측치에 대한 검증을 위하여 인자들을 최적 수준으로 유지한 뒤 1년간의 실험을 수행하였다. 총 365일간의 실험을 통하여 평균운행 회수는 82.69회, 표준편차는 0.61회로 얻어졌으며, 세부적인 결과는 그림 6에 히스토그램 형태로 도시하였다. 그림에서 보듯이 일년의 운행중 7일간의 81회를 제외하고는 모두 82회 이상을 만족하였다. 이를 통하여 본 연구를 통하여 결정된 최적 수준에서의 운행이 원하는 결과를 보장함이 증명되었다. 참고로, 표 8은 검수/청소 작업별 건당 평균, 최대, 최소소요시간 등을 나타낸다.

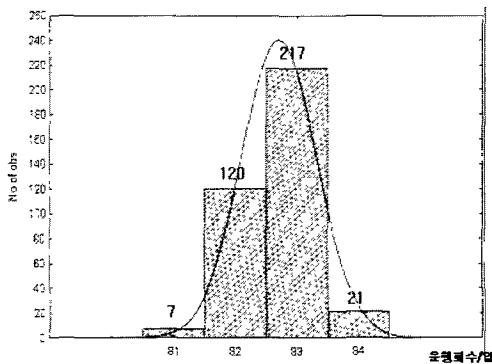


그림 6 운행 회수에 대한 히스토그램

표 8 작업별 체류시간 결과 (단위: 시간)

	6개월 검수	3개월 검수	3일 검수	전반 청소	일상 청소
평균	57.24	34.72	2.29	8.91	0.77
최소	50.89	28.10	1.75	7.29	0.72
최대	145.34	68.68	16.12	12.82	15.42

## 5. 결론

본 연구에서는 신설 예정인 과선전중 신수역 전동차 사무소에 대한 포괄적인 수행도 평가를 수행하였다. 시뮬레이션을 통한 평가가 문제에 효과적인 해답의 제시 도구로서 가능하고 비슷한 타 사무소에서도 적용이 가능할 것으로 판단된다. 개선인들의 실제 적용을 위한 보완 노력은 추후에도 계속되어야 할 것이나, 제안들이 전동차 사무실의 설비 용량 및 수행도 제고에의 기여가 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] *ARENA User's Guide*, Rockwell Software, 2000.
- [2] Kelton, W. D., Sadowski, R. P., Sadowski, D. A., *Simulation With Arena*, McGraw-Hill, 1998.
- [3] Peace, G. S., *Taguchi Methods*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1993.
- [4] Phadke, M. S., *Quality Engineering using Robust Design*, Prentice Hall, 1989.
- [5] *Statistica System Reference*, StatSoft.
- [6] 문일경, 윤원영, 조규갑, 최원준. *ARENA를 이용한 시뮬레이션 2nd Ed.*, 교보문고, 2002.
- [7] 박성현, *현대실험계획법*, 민영사, 2003.