

시물레이션 기법을 이용한 철도차량 중정비 공장 설계검증 - 디젤동차 및 발전차 중정비 공장을 중심으로 -

전병학¹ · 장성용^{2†} · 이원영² · 오정현³

An Evaluation of Development Plans for Rolling Stock Maintenance Shop Using Computer Simulation - Emphasizing CDC and Generator Car -

Byoung-Hack Jeon · Seong Yong Jang · Won Young Lee · Jeong Heon Oh

ABSTRACT

In the railroad rolling stock depot, long-term maintenance tasks is done regularly every two or four year basis to maintain the functionality of equipments and rolling stock body or for the repair operation of the heavily damaged rolling stocks by fatal accidents. This paper addresses the computer simulation model building for the rolling stock maintenance shop for the CDC(Commuter Diesel Car) and Generator Car planned to be constructed at Daejeon Rolling Stock Depot, which will be moved from Yongsan Rolling Stock Depot. We evaluated the processing capacity of two layout design alternatives based on the maintenance process chart through the developed simulation models. The performance measures are the number of processed cars per year, the cycle time, shop utilization, work in process and the average number waiting car for input. The simulation result shows that one design alternative outperforms another design alternative in every aspect and superior design alternative can process total 340 number of trains per year 15% more than the proposed target within the current average cycle time.

Key words : CDC, Generator Car, Train Overhaul Maintenance, Rolling Stock Depot, Simulation

요약

철도차량기지에서는 철도차량의 안전한 운행을 위해 연간검수 이상의 기기보전(지정보전, 장치보전), 차체 보전을 위한 장기계획에 의해 종합적인 유지보수 혹은 중대사고에 의한 차량의 파손으로 인한 차량의 보수작업이 이루어지는 중수선 작업을 수행한다. 본 연구에서는 용산기지 이전과 관련하여 대전철도차량관리단 부지 내에 계획 중인 CDC(Commuter Diesel Car)와 발전차를 정비하는 중수선 시설의 설계안에 대한 검증을 위한 시물레이션 모델을 개발하고 시물레이션 실험을 통하여 중수선 시설의 용량을 검증하였다. 시물레이션 모델은 철도공사의 중정비 검수공정도를 바탕으로 2가지 설계안의 설계용량을 검증하였다. 2가지 설계안을 평가하기 위하여 검수 완료 차량, 재장일, 작업장 점유율, 공정진행 차량 수 및 입장검사 대기차량 수 등 5가지를 분석하여 연간 검수용량이 충분한 설계안을 선정 하였다. 또한 우수한 결과를 보인 설계안의 연간 최대 검수 가능한 차량 수는 현재 연간 검수량 보다 약 15% 많은 총 340량임을 확인할 수 있었다.

주요어 : 디젤동차, 발전차, 열차중정비, 차량기지, 시물레이션

2009년 4월 8일 접수, 2009년 9월 4일 채택

¹⁾ 서울산업대학교 철도전문대학원 철도경영정책학과

²⁾ 서울산업대학교 산업정보시스템공학과

³⁾ (주) 삼안

주 저 자 : 전병학

교신저자 : 장성용

E-mail; syjang@snut.ac.kr

1. 서 론

철도의 역할은 선로, 차량, 전기등의 많은 설비를 사용하여 승객, 화물 등을 안전하고 정확하게 수송하는 업무로서, 안정된 수송을 확보하기 위해서는 이들 서비스가 항상 정상적으로 가동하는 것이 중요하다. 특히 차량은 수송에 직접 관계하는 설비로서, 고장이 발생하면 즉각 수송에 영향을 미치게 되므로, 승객에 대한 서비스 저하를 방지하기 위해서는 차량의 높은 신뢰성이 요구 된다.

용산에 위치한 철도공사의 수도권철도차량관리단 이전과 관련하여 CDC 및 발전차의 중수선 시설을 대전철도차량관리단 부지 내에 건설을 계획 하고 있다. 시설물 건설 이전에 설계를 바탕으로 중수선 시설의 용량을 시뮬레이션 기법을 통하여 검증함과 동시에 보다 효율적인 운영 방법을 탐구하고자 하였다. 시뮬레이션 모델의 애니메이션의 구현을 통하여 실제 공정 내 검수 흐름을 파악하여 결과를 쉽게 이해할 수 있도록 하였다.

대안 검증을 위해 시뮬레이션 모델링을 개발하여 설계안에 맞는 검수 공정도의 적용을 통해 시뮬레이션을 실행하였다. 검수공정을 2D 애니메이션을 통한 시뮬레이션 결과의 이해를 도왔으며, 평가 요소 별 정량적 분석을 통하여 대안을 평가하였다.

본 연구에서 시뮬레이션 모델링을 구축하기 위하여 이산사건 시뮬레이션 기법을 활용하였고, 시뮬레이션 모델링 도구로써 ARENA 11.0을 이용하였다(문경일 등, 2007).

2. 기존연구 검토

김동민, 안재경(2005)은 전동차는 운행 중에 높은 신뢰성을 유지하기 위하여 그 기능을 항상 정상적인 동작 상태를 유지시키기 위하여 특별한 대책이 필요하다고 하였으며, “전동차 유지보수의 목적은 최적의 사용조건을 만들어 고객에게 안전하고 정시에 쾌적하게 이용할 수 있는 서비스수단이 되도록 하며 전동차 차량상태를 최적화하여 운영의 효율화를 극대화함으로써 경영상 운영비를 최소화하는 데 그 목적이 있다”고 하였다.

문형석 등(2005)은 차량 유지보수체계에 이산사건 시뮬레이션(Discrete Event Simulation) 방법을 적용하여 유지보수 효율향상에 대하여 연구하였다. 특히 철도차량의 다량의 주요 부품을 유지보수하는 기계의 성능 평가에 참고 자료로 활용 할 수 있다고 하였다.

Greasley, Andrew(2000)는 이산사건 시뮬레이션 모델을 구축하여 새로 건설되는 차량기지의 여러 가지 전략들

을 묘사하여 요구되는 수요와 맞는 서비스 수준을 평가하였다.

최성환 등(2008)은 정형화되어 있는 검수 프로세스를 BPR기법을 적용하여 Modeling하고, 실제 국내 철도 차량기지의 중수선공장의 검수공정 Layout을 토대로 공정 분석 및 시뮬레이션 기법을 통하여 검수 용량을 검증하고자 하였다. 또한, 이 자료를 기반으로 한 시뮬레이션 결과를 기존에 사용하였던 여유율(파동율)의 적정수준 및 적용방향을 제시하였다.

본 연구의 저자들은 철도차량기지 연구로 ‘광역철도 열차 차량기지의 중정비 검수 용량 시뮬레이션 분석’이 있으며 이 연구에서 전동차 중정비 검수를 철도공사의 검수 공정도를 바탕으로 연구하였다(전병학, 2005).

기존 연구는 효율적인 철도차량정비 위한 시스템의 필요성을 제시하며, 효율적인 운영방법 개발과 시스템의 성능 평가를 위한 기법을 이산사건 시뮬레이션을 제시하고 있다. 그러나 기존 연구는 이산사건 시뮬레이션 기법을 단위 공정별로 연구하였고, 실제 설계안의 레이아웃을 바탕으로 전체 공정을 연구한 경우는 찾아볼 수 없었다. 따라서 이번 연구에서는 디젤동차 및 발전차의 중정비 공정을 철도공사에서 제공한 공정도의 작업시간과 설계안으로 제시된 도면의 레이아웃을 바탕으로 검수 능력을 평가하여 설계 대안을 비교하고 우수한 설계 대안을 선정하고자 한다.

3. 중정비 시뮬레이션 개요

본 연구의 중정비 시뮬레이션 분석 대상으로 철도공사의 대전철도차량 사업소를 선정하였다. 그 이유는 앞으로 건설될 디젤동차 및 발전차의 중수선 설비가 있으며, 건설 이전 단계에서 설계안들을 바탕으로 시뮬레이션 평가를 통하여 검수 능력을 할 필요성이 있기 때문이다. 또한 보다 우수한 설계안으로 효율적인 운영방법을 제시하고자 한다.

3.1 대안A 중수선 시설 공정도

대안A의 공장 외부 경로는 그림 1에서와 같이 진입선, 유치선, 인상선, 입장검사고의 순서로 이루어진다. 검사를 위한 입환 차량은 유치선으로 이동하여 입장검사고의 작업유무를 판단하고 작업 차량이 없으면 바로 입장검사고로 이동하여 작업을 시작하고, 작업 중인 차량이 있으면 유치선에 대기한 후 기존 작업 차량 검사가 끝나면 입장검사고로 이동하는 흐름을 갖는다. 입장검사고의 이동은

우측 인상선을 통하여 우측의 입장검사장으로 이동하여 중정비 공정이 시작된다. 출장검사 후 시운전선까지의 출장경로는 출장검사고, 진입선, 시운전선의 순으로 이루어진다.

대안A의 공장 내부의 공정 흐름도 그림 2는 공장 설계도와 그 위에 차량과 부품이 이동하는 동선을 화살표로 표시하였다. 우측 상단부의 차체 도장공장 아래의 입장선을 통하여 입장하게 되며 차체/대차 분리 후 차체는 차체수선장으로 대차는 대차수선장으로 이동하여 각각 중정비를 마친 후 차체/대차 조립장에서 조립을 하여 디젤동차는 좌측 상부 편성 조립라인에서 편성 연결 후 출장 검

사를 한다. 발전차는 중정비를 마친 후 차체/대차 조립장에서 차체와 대차를 조립하여 바로 출장 검사를 시행하고 시운전 선으로 이동하여 시운전을 하게 된다.

그림 3은 대안A의 디젤동차와 발전차의 검수 공정도이다. 검수 차량의 발생부터 검수 후 출장검사 및 시운전까지를 설계 도면의 차량 및 부품의 이동 경로를 바탕으로 도식화하였다. 대안A의 검수 공정도를 보면 차체와 대차를 분해하고 난 후 차체의 하부를 세척하고 에어건, 방열기, 발전기, 엔진, 변속기 등 중요 부품을 분해하여 각각의 부품별로 검수 공정을 거치게 된다. 그리고 대차와 윤축도 단계별 분해, 검수, 조립의 단계를 거치게 된다.

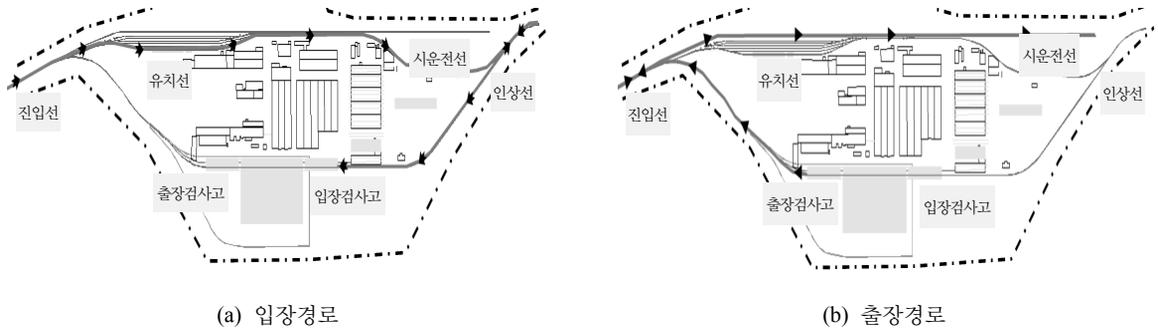


그림 1. 대안A 공장 외부 경로

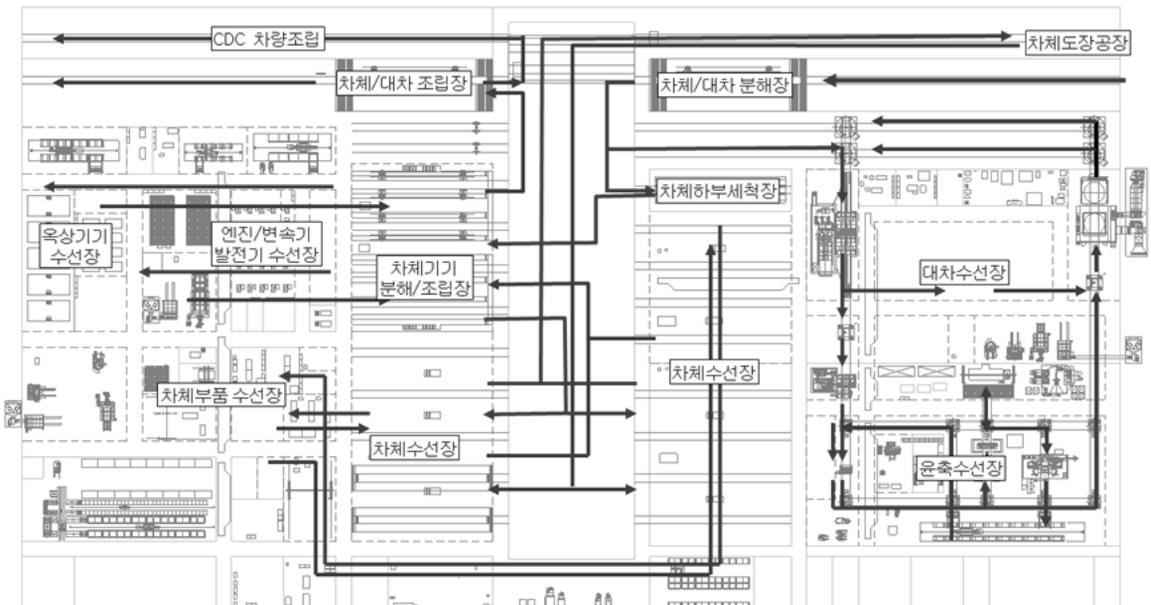


그림 2. 대안A 공장 내 공정 흐름도

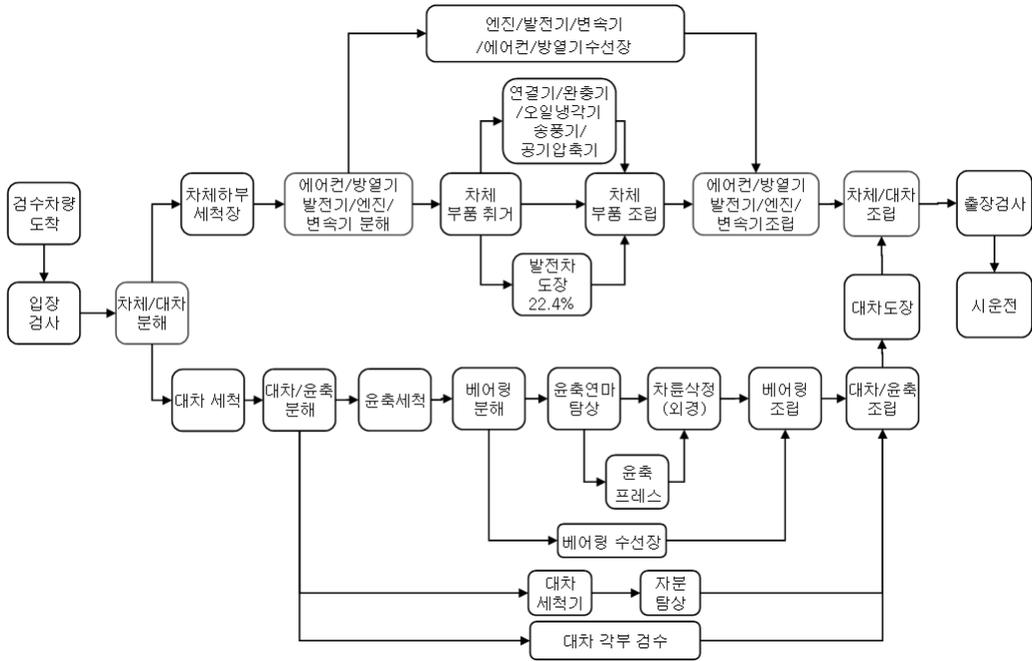
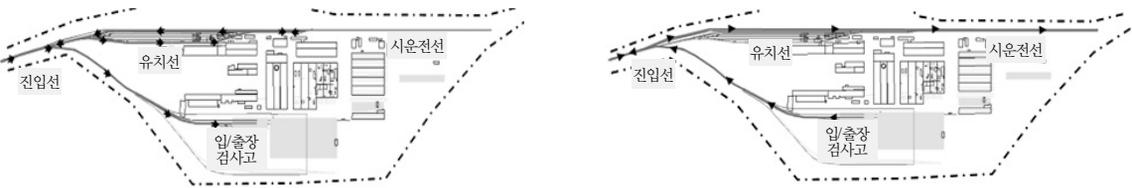


그림 3. 대안A 공정도



(a) 입장경로

(b) 출장경로

그림 4. 대안B 공장 외부 경로

3.2. 대안B 중수선 시설 공정도

대안B 공장 외부 경로는 그림 4와 같이 입장검사고로 바로 입장 할 경우에 진입선, 입장검사고 순으로 경로를 거치며, 유치선에서 대기 후 입장 할 경우 진입선, 유치선, 진입선, 입장검사고 순으로 경로를 따른다. 입장검사고에 차량의 검수 작업 유무를 판단하여 유치선에 유치하거나, 입장검사고에 입고되어 중정비가 시작된다.

유치선에서 유치하고 있는 차량이 입장검사고에 차량 검수의 마침을 확인하고 유치선에서 진입선으로 이동 후 입장검사장으로 이동 한다. 출장검사 후 시운전까지의 경로는 출장검사고, 진입선, 시운전선 순으로 행하며, 시운전을 위한 차량의 경로는 입장검사고에서 진입선을 통해 시운전선으로 이동한다.

대안B 공장 내 공정 흐름도 그림 5와 같다. 공장 내 공정은 대안A와 다른 차량 2량이 한 작업선에서 정비를 할 수 있는 차체수선장을 가진다. 또한 검사고 입고 방법도 대안A와 달리 좌측 상단 쪽으로 입장과 출장을 하며, 또한 차량 분해와 조립도 같은 크레인을 사용하는 것이 특징이다.

그림 6은 대안B의 공정도로 검수 차량은 옥상기기를 분해한 후 대차/엔진/발전기/변속기 분해 작업을 하고, 차체 하부 체척까지 마치면 대차와 차체로 분리되어 차체수선장과 대차작업장으로 각각 이동하여 차체는 차체세부 부품 수선을 하게 된다. 대차는 대차와 윤축으로 분해되며 각각의 부품은 대차수선장과 윤축수선장에서 세부 부품으로 분해되고 정비되는 과정을 행한다.

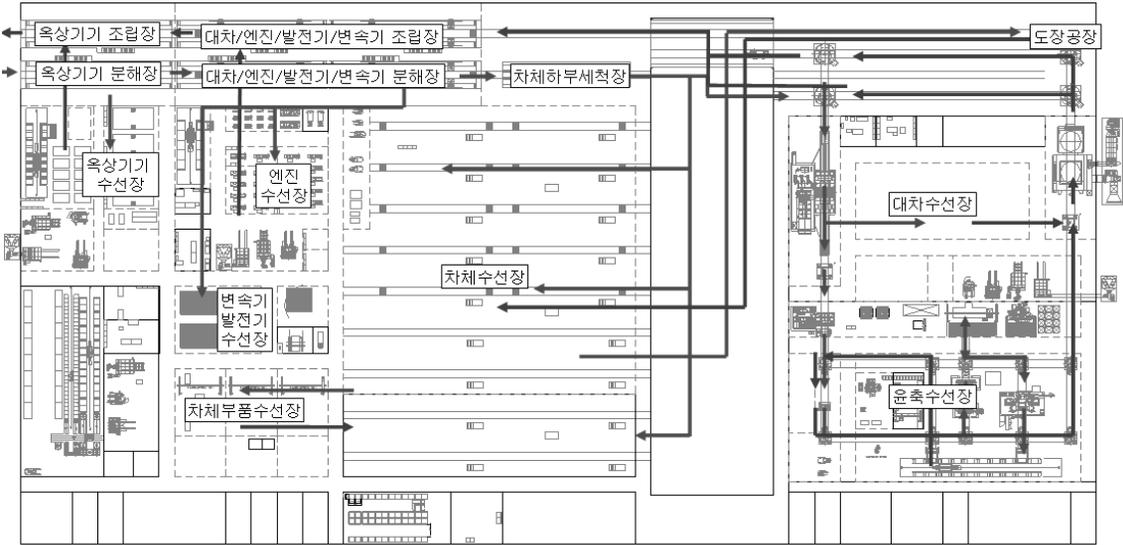


그림 5. 대안B 공장 내 공정 흐름도

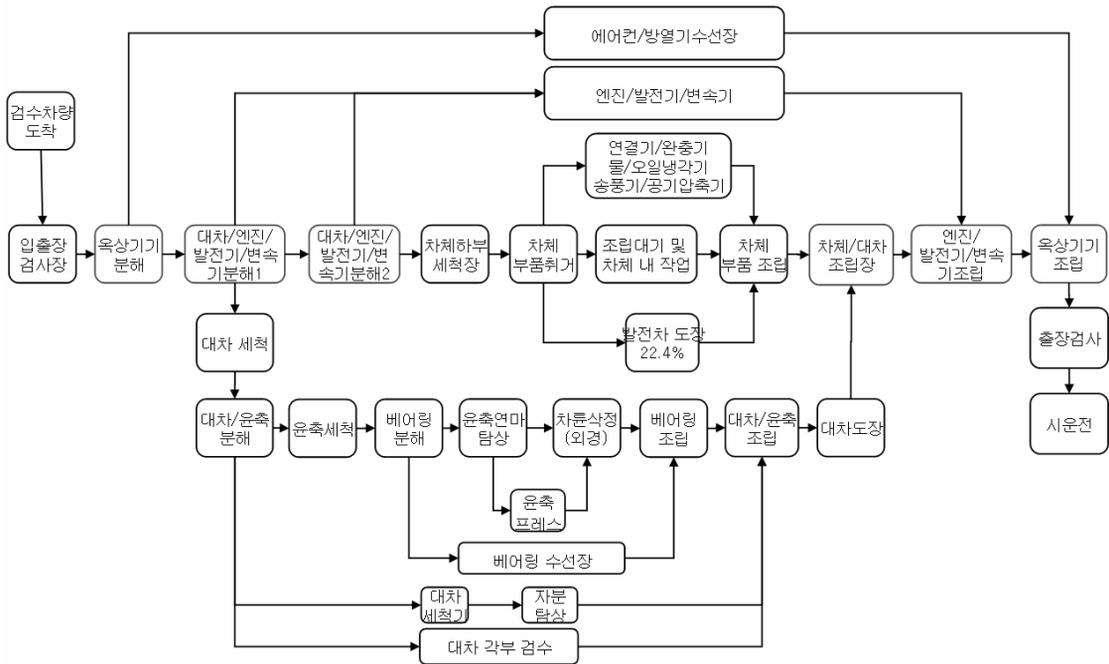


그림 6. 대안B 공정도

3.3. 대안A와 대안B의 차이점

대안A의 특징을 살펴보면 검수 차량의 차량기지 도착 후 중수선의 입장검사가 가능하면 유치선을 경유하여 우측 인상선을 통해 우측 입장검사장으로 입장한다. 유치선에

서 대기 차량의 입장은 우측 인상선을 통해 우측 입장검사장으로 입장한다. 입장검사 후 차체 대차를 분리하고 주요기기(엔진/발전기/변속기/육상기기) 분해 조립 작업장에서 주요 기기를 분해한다. 또한 차체 부품 조립 및 대기

표 1. 대안A과 대안B의 차이점

구분	대안A	대안B	비고
외부	입장 경로 진입선 → 유치선 → 인상선 → 입장검사고	진입선 → 유치선 → 진입선 → 입장검사고	대안B의 경우 중수선 입장이 진입선을 2회 진입함
	시운전 경로 출장검사고 → 진입선 → 시운전선	출장검사고 → 진입선 → 시운전선	
내부	옥상기기 분해/조립 엔진/발전기/변속기/옥상기기 공용 작업장	옥상기기 분해/조립의 독립 작업장	대안A의 경우 주요 장비를 분해/조립하는 공간은 4량을 수용하며 공용으로 사용함
	엔진/발전기/변속기 분해조립 엔진/발전기/변속기/옥상기기 공용 작업장	분해 작업장 2개, 조립 작업장 2개의 독립 작업장	
	대차 대차 분해 작업장	엔진/발전기/변속기 분해 조립 작업장에서 작업	
	차체부품 수선장 13량 작업가능	18차량 작업가능	

장의 용량은 13량이며 2열이 트레버서를 중심으로 구분되어 있다.

대안B의 특징을 살펴보면 검수 차량의 차량기지 도착 후 중수선의 입장검사가 가능하면 입장검사장으로 즉시 입장 가능하다. 입장검사가 가능하지 않으면 유치선에 대기 후 입장검사장으로 이동한다. 시운전선 좌측 출장검사고에서 좌측 진입선을 통해 시운전선으로 이동하는 경로를 따른다. 입장검사 후 공장 내 입고 시 첫 작업은 옥상기기 취거 작업을 한다. 차체 부품 조립 및 대기 장의 용량은 18량이며 2열이 붙어 있다. 출장검사 종료 후 시운전선까지의 이동은 입장시의 이동경로의 역순으로 이동한다.

4. 시뮬레이션 모델링

4.1. 모델링 개발

대안의 모델링은 설계도면을 바탕으로 차량 및 부품의 이동과 설비의 움직임에 바탕으로 공정도를 작성하였다. 공정도를 작성하는 과정에서 철도공사에서 보유하고 있는 디젤동차와 발전차의 공정도를 참고 하였으며, 세부 작업 시간도 철도공사의 공정도 상의 값으로 설계 대안에

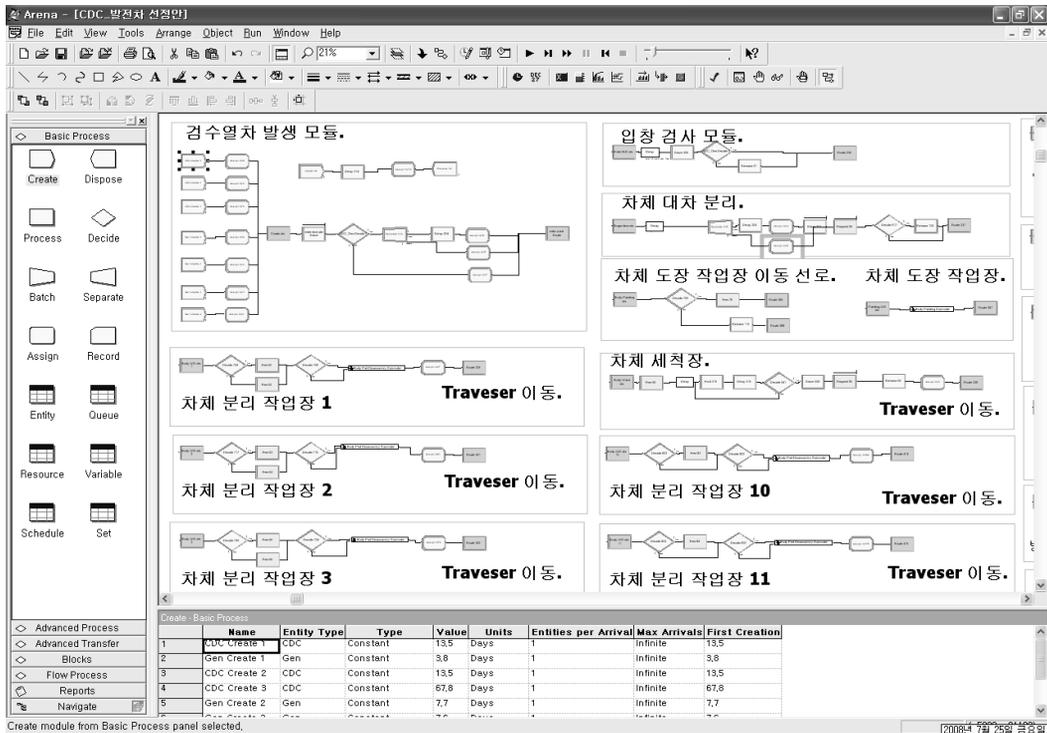


그림 7. 대안A 시뮬레이션 모델링

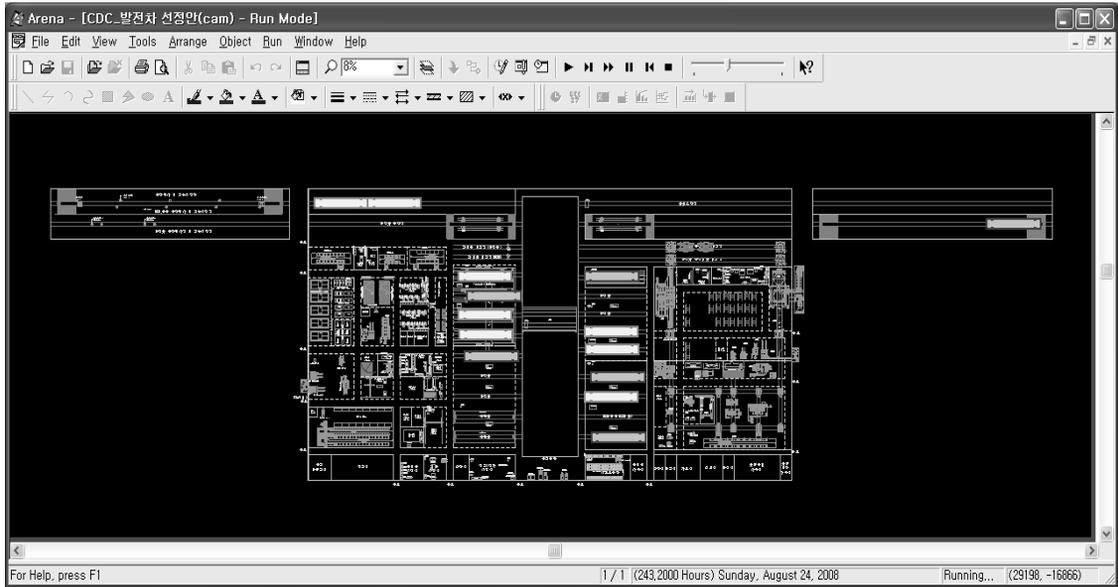


그림 8. 대안A 애니메이션

맞게 추정하였고, 설비 또는 장비의 경우에는 설계능력치를 사용하여 모델링하였다. 대안의 시스템 흐름은 논리적으로 실제 차량이 왔을 경우를 고려하여 시뮬레이션을 최대한 현실성이 있게 설계되도록 개발하였다.

대안A의 모델링은 검수차량 발생, 입장검사, 차체/대차분해 작업장, 차체기기/분해 조립 작업장, 차체하부 세척장, 엔진 수선장, 차체기기 수선장, 차체 수선장, 차체부품 수선장, 발전차 도장, 대차/윤축 작업장, 대차 수선장, 차체/대차조립 작업장, 출장검사장 및 시운전 등 크게 14개의 로직으로 구현되었다.

대안B의 모델링은 검수차량 발생, 입장검사, 옥상기기 분해 작업장, 엔진 분해 작업장, 엔진 수선장, 차체하부 세척장, 차체기기 수선장, 차체 수선장, 차체부품 수선장, 발전차 도장, 대차/윤축작업장, 대차 수선장, 차체/대차 조립 작업장, 엔진 조립 작업장, 옥상기기 조립 작업장, 출장검사장 및 시운전 등 크게 16개의 로직으로 구현되었다.

그리고 로직 모델링은 애니메이션 모듈과 연동되어 2D 애니메이션을 구현하였다. 2D 애니메이션은 논리적 오류의 확인으로 모델링의 신뢰성을 높인다. 또한 2D 애니메이션을 통하여 공정의 흐름을 파악할 수 있으며, 공정의 흐름을 시각적으로 표현하여, 쉽게 공정을 이해 할 수 있다.

그림 7은 대안A의 로직 모델링을 어플리케이션(Arena 11.0) 상에서 개발하였음을 보여주며, 그림 8은 시뮬레이션 실험 중인 대안A의 애니메이션 부분을 보여주고 있다.

표 2. 검수 차량 발생

구분	CDC			발전차			
	1Y	2Y	임시	1Y	2Y	4Y	임시
도착간격(일)	13.5	13.5	67.8	3.8	7.7	7.6	14.1
년간 검수량	72	72량	3.7	64	32	32	17
편성	18	18	1	64	32	32	17

4.2. 입력데이터

검수 대상 차량의 발생의 경우 철도공사의 수도권철도차량관리단에서 현재 정비 대상이 되는 검수 량을 기준으로 입력하였으며, 철도 공사에서도 연간 계획에 의해 검수를 실시하고 있다. 따라서 검수 차량의 발생은 동일한 시간 간격의 지수분포를 가정하여 발생하도록 표 2의 ‘도착간격(일)’과 같이 하였다.

시설 및 이동장비는 각 공정의 장비 및 시설은 도면상의 장비를 바탕으로 모델링을 하였으며, 차량의 각 부품을 모두 표현하기에는 제약이 있어 중요 부품을 기반으로 모델링 로직을 구현하였다. 주요 이동 장비로는 트레버서와 크레인으로 하였으며, 지게차와 견인전동기는 항상 가용함을 전제로 하였다. 시설 및 장비의 작업능력은 설계능력을 바탕으로 하였다.

공정 작업시간은 철도공사의 검수 공정도의 작업시간을 기초로 하여 세부 작업시간을 추정하여 입력하였다. 이 세부작업시간은 정확한 변동확률 분포를 추정하기 어

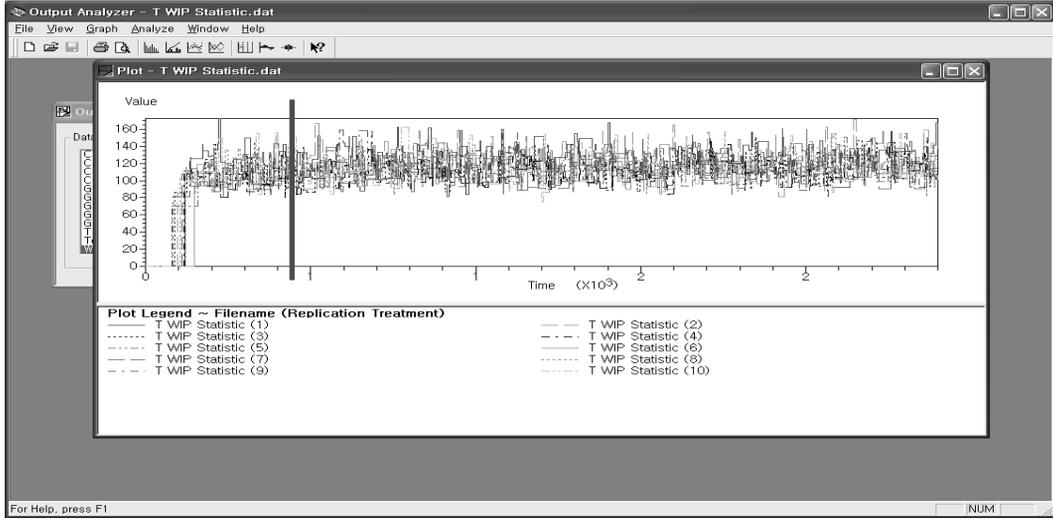


그림 9. 시뮬레이션 시간적 범위 설정

려워서 이산적인 시간을 가정하였다. 또한 공정 내 이동 시간은 도면상의 거리와 공장 내 이동속도 5Km/h로 규정하여 이동 모델링을 구현하였다.

그러나 작업장의 인력에 대한 부분은 모델링에 반영하지 못하였다. 그 이유는 공정도 상의 작업시간과 작업인원과의 상관관계를 실제 현장에서 조사함에 있어 매우 어려움이 있고, 설계상의 장비에 대한 필요 인원과 철도공사에서 제시하고 있는 작업인원의 차이가 발생하기에 시뮬레이션 모델링에서 인력부분을 제외시켰다.

공정 작업시간 및 이동시간은 시뮬레이션 작업을 위해 1일 작업시간은 8시간으로 가정하였고, 작업 중 장비의 고장은 고려하지 않았다.

시뮬레이션 시간 설정

- 시뮬레이션 총 시간 : 300일(1일 8시간 기준)
- 시뮬레이션 Warmup-Time : 56일
- 시뮬레이션 결과 분석 시간 : 244일(년 평균 근무일)

시뮬레이션 분석은 연간 검수량 분석을 위하여 분석기준을 1년을 설정하였다. 모든 작업의 계획이 1년 단위로 작업량을 계획함을 근거로 1년으로 설정하였다.

중수선 시뮬레이션의 분석 기준을 1년으로 설정함에 있어 초기 빈 공정의 상황은 분석 대상에서 제외시키고자 Warmup-Time을 설정하였다. 시뮬레이션 실험을 위하여 초기 1년을 10회 반복 실험하고 공정 평균 재장시간을 분석하였다. 공정 평균 재장시간을 dat(데이터파일)로 저장

하여 Output Analyzer을 이용하여 그림 9과 같은 결과를 얻었다. 분석결과 초기 200시간 후면 중수선 공정은 안정화를 찾으나 충분한 여유를 주기 위하여 분석 결과의 분석의 편이를 위하여 448시간 즉 1일 8시간 기준 56일을 Warmup-Time으로 설정하였다.

5. 중수선 검수시설 시뮬레이션 결과 분석

대안의 선택과 함께 대안의 효율적인 사용 방안을 위한 평가요소별 분석과 선택된 대안의 효율적 사용 방안에 대해서 알고자 한다. 시뮬레이션 실행 후 검수 완료 차량을 통해 각각의 대안의 총 검수 완료 차량 분석, 재장일 분석, 작업장 가동률 분석, 공정진행 차량 수 및 입장검사 대기차량 수 분석을 통해 대안을 선정과 함께 각각의 최대 능력을 검증하였다.

5.1. 검수 완료 차량 분석

각각의 시뮬레이션 실행 결과 검수 완료 차량의 결과는 대안A가 평균 검수차량 303.2량이 발생하여 이 중 303.1량을 완료 하였으며, 나머지의 경우 중수선 공정의 작업 중인 차량 이외에는 유치된 차량은 거의 볼 수가 없었다. 대안B는 평균 검수차량 303.2이 발생하여 대안A와 같았으나 완료차량 수는 270.6량으로 대안A보다 적게 완료하였다. 또한 분산 값의 결과도 대안A의 총 검수 차량의 분산 값에서 알 수 있듯이 주어진 검수 량을 모두 검수 하거나 마지막 작업 중에 있는 것으로 나타나며, 대안B의

경우는 검수량을 처리 하지 못할 뿐만 아니라 반복 실험 할 때마다 그 검수량이 달라지고 있음을 알 수 있다.

5.2. 재장일 분석

표 4의 결과 재장일에서 대안B는 공정 완료 시까지 평균 재장일 수는 평균 18.6일이 소요가 되고, 대안A의 경우 공정 완료 시까지 평균 재장일 수는 평균 15.29일이 소요가 된다. 또한 분산 값에 서 알 수 있듯이 대안B의 경우 공정 상황에 따라 검수 시간이 많이 차이나는 결과로 분산의 크기가 대안A 보다 두세 배 큰 것으로 나타나고 있다. 이 결과 추정할 수 있는 결과로 대안A는 공정 내에서 타 차량의 검수 작업의 영향을 적게 받아 대기 시간이 적으며, 차량의 재장일의 대부분의 시간은 실제 작업시간으로 구성되는 것을 알 수 있었다. 그러나 대안B안의 경우 검수 차량 발생과 검수완료 차량의 수에서 유치차량 및 공정진행 차량이 많고, 작업대기 및 이동대기를 위한

표 3. 검수 완료 차량

검수 종류		대안A		대안B	
		평균	분산(σ^2)	평균	분산(σ^2)
CDC	1Y	18편성	0.24	16편성	0.47
	2Y	18편성	0.23	15.8편성	0.35
	임시	3.3편성	0.01	3.0편성	0.01
발전차	1Y	64.1량	1.31	56.8량	3.20
	2Y	31.9량	0.64	28.0량	2.89
	4Y	32.1량	0.62	28.7량	2.42
	임시	17.2량	0.37	15.6량	1.33
총 검수차량		303.1량	1.48	270.6량	10.36

표 4. 재장일 결과

검수종류		대안A		대안B	
		평균(일)	분산(σ^2)	평균(일)	분산(σ^2)
CDC	1Y	14.38	2.31	22.85	7.98
	2Y	14.83	2.26	23.99	8.05
	임시	10.78	1.74	19.72	4.86
	차체	10.16	0.86	19.42	4.23
발전차	대차	7.74	0.31	8.12	3.95
	1Y	14.08	0.82	15.00	3.98
	2Y	15.99	0.79	16.79	3.42
	4Y	16.42	0.83	17.36	3.76
	임시	12.28	1.21	13.79	2.11
	차체	12.27	0.96	12.11	1.35
	대차	7.02	0.66	8.45	1.82
	검수 평균		15.29	2.14	18.60

시간이 많은 것을 알 수 있으며, 재장일에 상당한 영향을 미치는 것을 미리 알 수 있었다.

5.3. 작업장 가동률 분석

대안B의 경우 작업장 가동률의 결과는 입장검사와 옥상기기 분해 작업장의 가동률은 90%를 넘고, 대차/엔진/변속기/발전기 분해 작업장은 79.62%이며 차체하부세척장의 차량 점유 상태는 86.58%로 상당히 높은 가동률을 보였다. 이는 차체 수선장의 차량 수용 능력은 크나 차체의 수선을 마치고 난 후 대차/엔진/변속기/발전기 조립 작업장으로 이동 전 대기하는 시간이 길어 수선장의 가동률이 큰 것으로 나타났다. 이 결과는 대차/엔진/변속기/발전기 조립 작업장의 능력이 부족하여 발생하는 대기가 아니며, 차체수선장의 구조의 문제에 의해 발생하는 대기임을 알아냈다.

그림 10과 같은 결과로 대안A의 경우 전체 작업장의 평균 점유율 약 50% 정도의 가동률을 보였다. 차체 수선장의 차량 수용 능력은 대안B와 비교하여 5량이 적고 낮은 가동률을 보였다. 또한 대안A가 검수 차량 공정도의 재장일 보다 약 2일 정도 앞당길 수 있는 결과로 이어 졌다.

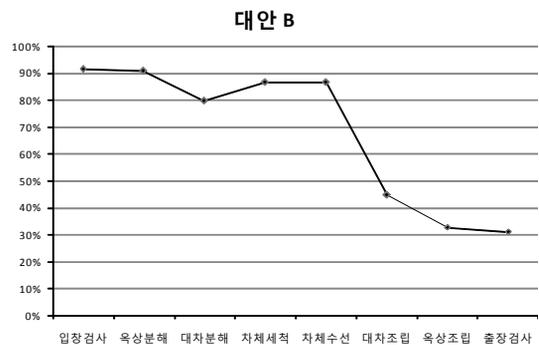
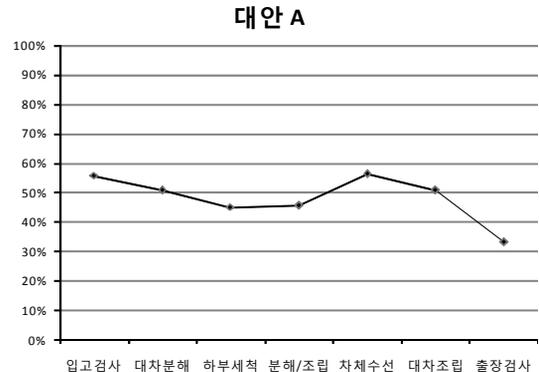


그림 10. 작업장 점유율

대안B의 경우 가동률 분석 결과와 차체 수선장의 가동률 점유 상황을 분석한 결과를 통하여 알 수 있듯이 차체 수선장의 대기 발생을 확인 했으며 또한 애니메이션 상향으로도 왼쪽 수선장의 차량이 우선 작업 후 이동 시 오른쪽 작업 차량에 의해 대기하는 것으로 파악 되었다.

5.4. 재장차량 수 및 입장검사 대기차량 수 분석

표 5에서처럼 대안A의 경우 공정진행 차량 수는 16.9량이며, 유치차량은 평균 0.15량이었다. 이는 거의 유치하지 않고 바로 입장검사소에 입고되어 검수를 즉시 시행할 수 있음을 말해 주는 것이고, 재장일의 감소에 영향을 준다.

대안B의 경우 공정진행 차량 수를 분석한 결과 재장차량수가 평균 27.46량이었다. 유치차량은 13.36량으로 많은 차량들이 바로 입고되지 못하고 유치되었다. 이는 작업 이외의 대기 시간이 재장일에 상당한 영향을 끼쳤음을 알 수 있다. 또한 재장일 증가에 원인이 됨을 알 수 있다.

5.5 CDC 및 발전차의 중수선 시설 대안 중 A 선택

대안B의 설계의 문제점은 차체 수선장의 용량은 충분하나 한 라인에 2량의 차량이 작업함에 있어 우측의 차량이 좌측의 차량의 이동에 많은 영향을 끼치게 되어 많은 대기가 발생하므로 부적절한 설계라고 판단된다. 또한 검수 차량 발생 및 검수 완료 차량 분석, 재장일 분석, 작업장 가동률 분석, 공정진행 차량 수 및 입장검사 대기차량 수 분석의 모든 결과가 대안A의 설계가 우수한 것으로 나타났다.

대전철도차량관리단의 CDC 및 발전차의 중수선 시설 시뮬레이션 수행 결과를 바탕으로 대안A의 설계용량이 적정하다는 것으로 판단하여 대안A로 선택하였다.

5.6 대안A의 최대 능력 검증

최대 능력 검증을 위해 검수 차량 발생을 1년의 작업량에 5%씩 증가시켜 발생하여 시뮬레이션 실험을 하였다. 시

표 5. 공정진행 차량 및 입장검사 대기 차량 분석

작업장		대안A	대안B	
WIP	합계(량)	16.19	27.46	
	CDC (편성)	1Y	1.12	1.82
		2Y	1.15	1.96
		임시	0.24	0.37
	발전차 (량)	1Y	2.55	3.86
		2Y	1.40	2.16
		4Y	1.51	2.26
		임시	0.65	0.86
	유치 차량(량)		0.15	13.36

나리오별 결과 현 연간 검수량의 20%를 더 발생 하였을 경우부터 유치차량이 급격히 증가 하며 25%이상이 될 경우 유치 차량은 15량 이상이 된다. 유치 차량의 수와 공정진행 차량의 수도 20량 이상이며 급격하게 재장일이 증가 하게 되므로 대안A의 용량은 현 검수량 보다 약 15% 더 많은 차량 즉 340량이 적정 검수 용량으로 추정 할 수 있다.

시나리오 별 결과 데이터 즉, 검수차량 발생량, 검수 완료 차량, 공정진행 차량(WIP) 결과를 다음의 표 6과 표 7에 정리하였다.

표 6. 시나리오별 결과(검수차량발생/검수완료차량)

구분	증가율	현재	5%	10%	15%	20%	25%	
		검수 차량 발생량						
검수 차량 발생량	CDC (편성)	1Y	12.28	19	20	21	22	23
		2Y	12.27	19	20	21	22	23
		임시	7.02	4	4	5	5	5
	발전차 (량)	1Y	15.29	66	69.7	73	76	83
		2Y	32.6	33	34	36	38	41
		4Y	32	34	35	37	39	42
		임시	17.5	18	19	20	21	22
	합계(량)		303.2	319	333.7	354	370	388
	검수 완료 차량	CDC (편성)	1Y	18	19	20	20.6	20.5
2Y			18	18	19.8	19.8	20.3	21
임시			3.3	4	4	4	4	4
발전차 (량)		1Y	64.1	66	69.1	70	71.8	73
		2Y	31.9	33.7	35	35.8	36.1	37
		4Y	32.1	34	35	36.4	36.6	37
		임시	17.2	18	19	19.8	20.4	21
합계(량)		303.1	318	334.1	341	345	351	

표 7. 시나리오별 결과(재장일/공정진행 차량/유치차량)

구분	증가율	현재	5%	10%	15%	20%	25%		
		재장일 (일)							
재장일 (일)	C	1Y	13.38	14.54	15.31	16.18	17.29	24.67	
		2Y	14.83	15.90	16.24	17.39	18.62	26.04	
		임시	10.78	10.93	10.25	11.46	12.07	20.24	
	발전차	1Y	10.16	10.01	9.63	10.55	11.44	19.21	
		2Y	10.74	10.89	11.00	12.34	12.92	19.21	
		4Y	14.08	11.58	11.77	12.93	13.51	19.16	
		임시	15.99	7.41	7.67	9.61	9.93	17.05	
	WIP	CDC (편성)	1Y	1.12	1.25	1.37	1.50	1.61	1.73
			2Y	1.15	1.31	1.41	1.55	1.66	1.77
			임시	0.24	0.26	0.17	0.29	0.28	0.30
발전차 (량)		1Y	2.55	2.62	2.93	3.27	3.57	3.6	
		2Y	1.40	1.56	1.64	1.91	2.00	2.10	
		4Y	1.51	1.66	1.77	2	2.09	2.18	
		임시	0.65	0.66	0.71	0.82	0.86	0.90	
평균 WIP		16.19	17.82	18.87	21.35	22.75	23.66		
유치 차량		0.15	0.96	0.97	2.09	5.23	15.44		

6. 결 론

본 연구에서 실시한 시뮬레이션 대상인 중수선 시설 설계 대안A와 대안B를 가지고 4가지 평가요소별로 시뮬레이션 하였고 대안A의 최대 능력을 검증하였다.

첫 번째로 검수차량 발생 및 완료결과를 분석하여 대안A, B 모두 303.2량의 검수차량이 발생했지만 대안A가 303.1량을 완료하여 대안B의 270.6량보다 더 많은 검수 완료 결과를 나타내었다.

두 번째로 두 대안의 재장일 분석을 하였다. 그 결과 한 량을 검수하는데 걸리는 시간이 대안A가 18.6일 대안B가 15.29일 걸려 대안A가 시간이 더 적게 걸리는 결과를 보였다.

세 번째로 두 대안의 핵심 공정의 가동률을 분석하였다. 대안B는 각 공정이 대안A의 평균 50% 가동률 보다 훨씬 높게 나와 부품이 중간에 대기하는 경우가 나와 대안A가 공정 밸런스가 더 나은 것으로 나왔다.

네 번째로 공정진행 차량 작업 차량 수 및 입장검사 대기차량 수 분석을 하였다. 대안A는 작업 차량 16.9량, 유치차량 평균 0.15량이 나와 대안B 작업 차량 27.46량, 유치차량 평균 13.36량보다 거의 유치하지 않고 바로 작업하여 재장일 감소에 영향을 준 것을 알게 되었다.

본 연구는 주어진 두 설계안을 평가하기 위해 주어진 설계 및 운영 상의 주어진 자료를 토대로 시뮬레이션 기법을 통해 대안 A가 우수함을 입증하였으나 차량기지 설계 및 운영과 관련하여 보다 일반화된 상황 및 자료에 기반한 시뮬레이션 분석 모델에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김동민, 안재경, “전동차 유지보수에 개선방안에 관한 연구” 서울산업대학교, 2005.
2. 전병학, “광역철도 열차 차량기지의 중정비 검수 용량 시뮬레이션 분석”, 서울산업대학교 석사학위논문, 2007.
3. 문형석, 장창우, 하윤석, 조영천, “Discrete Event Simulation의 차량 유지보수체계의 적용을 통한 유지보수 효율향상 연구”, 한국철도학회 2005년도 춘계학술대회 논문집, 2005.
4. 최성환, 홍용기, 이희성, 김승환, “시뮬레이션과 BPR을 응용한 Layout 기반의 철도차량기지 중정비 검수 여유율 검증”, 한국철도학회 추계논문집 2008.
5. 문일경, 조규갑, 조면식, 최원준, Arena를 이용한 시뮬레이션, 4판, McGraw-Hill Korea, 2007.
6. Greasley, Andrew, “Using simulation to assess the service reliability of a train maintenance depot”, Wiley, Quality and reliability engineering international, Research Article 2000.



전 병 학 (byounghack.jeon@seoul9.co.kr)

2004 서울산업대학교 산업정보시스템공학과 학사
2007 서울산업대학교 철도전문대학원 철도경영정책학과 석사
2007~현재 서울9호선운영 주식회사 재직

관심분야 : 산업공학, 생산관리, 철도운영, 모델링&시뮬레이션, 스케줄링



장 성 용 (syjang@snut.ac.kr)

1980 서울대학교 산업공학과 학사
1982 서울대학교 대학원 산업공학 석사
1991 서울대학교 산업공학과 공학박사
1987~현재 서울산업대학교 산업정보시스템공학과 교수

관심분야 : 생산 및 물류시스템 운영 및 설계, 시뮬레이션, e-비즈니스, 제약이론(TOC)



이 원 영 (wonylee@snut.ac.kr)

1978 서울대학교 공과대학 산업공학과 졸업 (B.S.)
1983 미국 오하이오주립대학교 산업공학과 졸업 (M.S.)
1990 미국 루이빌 대학교 산업공학과 졸업 (Ph.D.)
1991~현재 국립 서울산업대학교 산업정보시스템공학과 교수

관심분야 : 데이터베이스, 전문가시스템



오 정 현 (jhoh1@samaneng.com)

1995 서울산업대학교 기계공학과 학사
1995~2003 동아엔지니어링(주), (주)유니백 근무
2003~현재 (주)삼안 이사 재직
2005 PMP(Project Management Professional) 취득

관심분야 : 철도시스템, SE(System Engineering), 철도차량, 철도 운전/운영 & 유지보수