

열차 차량기지의 중정비 검수 용량 시뮬레이션 분석

Simulation Analysis of the Train Overhaul Maintenance Capacity for Rolling Stock Depot

전병학* · 이원영** · 장성용** · 유재균***

Byoung Hack Jeon* · Won Young Lee** · Seong Young Jang** · Jae Kyun Yoo***

ABSTRACT

As railroad industry face the new Renaissance era, effective and efficient maintenance methods for rolling stock operation are required with advanced railroad technology. All kinds of railroad systems such as high speed long distance train, metropolitan mass transit and light rail require systematic maintenance technology in order to maintain the safe railroad operation.

Simulation models for detailed operations of the sample maintenance center are developed. In this study, standard maintenance procedures, layout, equipments and number of workers of Siheung Metropolitan Railroad Maintenance Rolling Stock Depot are considered. The proposed simulation models are developed using simulation package ARENA.

Three simulation analysis using the developed simulation model are done. First, the bottleneck operation is identified. Second, the relationship between maintenance center size, number of workers and cycle time is analyzed. Lastly, the scheduling performances between PERT/CPM and Critical Chain Project Management(CCPM) are compared.

1. 서론

1.1. 연구의 목적

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. 검수업무는 고장의 발생정도(신뢰성) 외에, 고장의 검사방식, 검사설비, 기술력(경험, 교육, 훈련)등 관련범위가 광범위하여, 정책 계획 시에는 이들을 종합적으로 검토하여 가장 효과적인 정책을 수립하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 철도차량 유지보수의 운영개선에 관한 기존연구를 검토하고, 철도 차량 유지보수의 검수절차를 시뮬레이션 모델링으로 구축하여 공정의 가동률과 공정주기 그리고 조립공정 앞의 대기시간을 분석하여 현 상황에서의 철도차량기지의 용량을 검증해 보고, 중정비를 실시하는 시설의 규모가 작업자와 공정에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 마지막으로 검수 절차의 전통적인 프로젝트 관리 방법인 PERT/CPM(Program Evaluation and Review Technique/ Critical Path Method)의 방법과 제약이론의 CCPM(Critical Chain Project Management)의 방법 적용하여 각각의 관리 방법을 평가 하고자 한다.

1.2. 연구의 필요성

이제 철도의 기술은 첨단 기술은 물론, 이를 활용한 운영시스템의 유지보수 기술을 아울러 요구하는 시대이며, 국내외에서 철도 산업은 새로운 르네상스 시대를 맞고 있다. 원거리 고속철도는 물론 도심 을 가로지르는 전동차와 경전철 등 철도가 대중교통의 총아로 자리 잡아가고 있는 현 시점에서 철도유지보수 기술 확보는 필수적이며, 대량 수송 수단으로서의 철도는 안전이 최우선이어야 할 것이다.

또한 근간에 이르러 수도권 신도시 건설, 기존선의 전철화 사업 등 수송능력의 확충에 따라 전동차 검수를 위한 전동차 사무소의 건설과 이에 따른 검수업무가 급속히 증가하고 있다. 따라서 이러한 상황에 대비하여 검수 인력의 저변확대, 검수비용의 절감을 도모하고 외부업체와의 상호 경쟁을 통하여 기술력을 향상시키고 동시에 경영의 효율화를 도모하기 위해서는 전동차 검수업무의 과학적인 분석이 필요하며, 전동차 검수업무 운영에 대한 관리방법을 연구할 필요가 있다.

2. 기존연구 검토 및 연구의 방향

2.1. 기존연구의 검토

국내에도 철도차량의 유지보수에 대한 중요성과 검수 업무의 효율화를 통하여 비용절감을 하기 위한 많은 연구가 진행 중에 있다.

철도청의 연구과제로 한국철도기술연구원에서 연구한 “전동차 중정비 업무의 외주화 방안에 대한 연구(2000년)” 보고서에서는 철도운영의 기업적 경영마인드로 검수업무를 외주화 함으로써 외부업체의 상호경쟁을 유도하여 기술력을 향상시키고 경영의 효율화를 도모함으로써 중수선 유지보수에 대한 운영비용을 감소시키는 방안으로 검토하였다.

김동민, 안재경은 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.

한국 철도기술연구원의 김동희, 홍순흠은 ‘유지보수를 고려한 철도차량 운용계획에 관한 연구’를 통하여 철도시스템은 거대·복잡한 시스템으로 고가의 인프라와 차량, 그리고 인력자원을 활용함에 있어 철도자원을 효율적으로 활용함으로써 많은 비용이 절감 가능할 것이라고 하였다. 열차 운영계획과 경수선 업무를 중심으로 동력차(engine)/객차(car) 개념이 아닌 차량 편성(trainset) 단위의 차량자원계획으로 하여 차량편성 단위의 차량할당 혹은 로스터링 문제를 위한 개념모델을 수립하고, 실시간으로 해를 산출할 수 있는 휴리스틱 알고리즘을 개발하여 개념적 모델을 제시하였다.

또한 김동희는 거대·복잡한 인프라와 고가의 열차로 구성된 철도수송시스템의 경우, 수리모형에 근거한 최적화 개념의 도입은 한계를 보이고 있으며, 시뮬레이션을 이용한 시스템의 계획 및 평가가 효율적인 것을 강조하였다.

문형석, 장창두, 하운석, 조영천은 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.

2.2. 연구의 방향

철도 운영에 있어 유지보수의 중요성이 대두되고 있는 시점에서 검수업무에 관련한 연구를 검토한 결과 철도의 경영을 개선하고 고품질의 수송서비스를 제공하기 위해서는 철도차량의 효율적인 정비업무가 필요함을 알 수 있었다. 철도차량의 효율적인 정비업무를 통하여 철도차량의 사용내구연한을 증가시킬 수 있음은 철도운영사의 큰 비용절감이 기대되며, 평상시 검수시설의 효율적인 운영을 통하여 검수업무에 필요한 자원을 최소화 시키는 것이 중요할 것이다.

따라서 철도 차량 유지보수의 검수절차를 시뮬레이션 모델링으로 구축하여 공정의 가동률과 공정주기 그리고 조립공정 앞의 대기시간을 분석하여 현 상황에서의 철도차량기지의 용량을 검증해 보고, 중정비를 실시하는 시설의 규모가 작업자와 공정에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 마지막으로 검수 절차의 전통적인 프로젝트 관리 방법인 PERT/CPM의 방법과 제약이론의 CCPM의 방법 적용하여 각각의 관리 방법을 평가 하고자 한다.

3. 전동차 중정비 시뮬레이션 모델링

3.1. 중정비 시뮬레이션 분석 대상

본 연구의 중정비 시뮬레이션 분석 대상으로 철도공사의 시흥전동차 사무소를 선택하였다. 그 이유는 최근에 건설된 전동차 사무소이며, 전동차 유지보수를 위한 최신 설비와 규모의 차량기지로 전동차 사무소의 역할을 하고 있기 때문이다. 전동차사무소는 전동차를 수용, 조성, 검사, 정비, 검수 등 차량에 관한 것과 복합적인 목적으로 설계되었다. 차량에 관한 유지보수 업무로는 구내작업, 정비작업, 검수작업, 차량운용, 기술관리 등을 담당하게 된다. 표 3-1은 전동차 검사의 종류에 대한 검수 주요내용과 검수 장소를 나타낸 표이며, 본 연구에 시뮬레이션 분석의 초점은 정기검사 중 주공장에서 이루어지는 중간검사와 전반검사를 중심으로 연구하였다.

표 3-1. 전동차검수 종류

검사종류		주요 검수내용	검수장소
정기 검사	도착점검	주요부품상태 및 기능점검	검사고
	일상검사	주요부품상태 및 기능점검	검사고
	월상검사	각부분 상태 및 주요부품상태 및 기능 점검, 급유	검사고
	중간검사	주요부품 분해검사, 수선, 시험	주공장
	전반검사	전 부분 부품 분해검사, 수선, 시험	주공장
비정기 검사	임시검사	사고, 고장시 일부 또는 전반에 대한 수선 및 검사	검사고, 주공장
	차륜전삭, 갱환	차륜 균열 파손등에 대한 갱환, 삭정	전삭고, 주공장
	인수검사	신규제작 도입차량의 상태 및 기능 확인 검사	검사고
	특별검사	노후차량 성능 보장, 유지목적 검사	검사고, 주공장

3.2. 전동차 중정비 시뮬레이션 분석 입력 데이터

3.2.1 전동차 차량별 검수 항목 및 소요인공

전동차 중정비 검수작업에 따른 소요시간 산출은 전동차 검수 규정에 의한 검수 시행 항목과 차량별 주요 검수 항목을 분석하였다. 검수 항목은 최근 개정된 인버터 제어방식 전동차의 검수 규정을 기준으로 하였으며 검수 공정 및 공정별 소요시간은 철도공사(구 철도청)의 ‘전동차 중정비 외주화 방안 보고서’의 자료와 현장 조사(철도공사 용산차량기지, 서울메트로 군자차량기지)를 바탕으로 하였다.

전동차 중정비 검수작업에 검수 항목을 전동차 검수 규정(철도공사 사규)에 의하여 검수 시행 항목과 차량별 주요 검수 항목을 인버터 제어방식 전동차의 검수 규정을 기준으로 정리하였다. 즉 시흥차량기지 중정비 검수대상이 되는 VVVF인버터 제어방식 전동차의 차종별 검수 항목은 표 3-2와 같다.

표 3-2. 차종별 검수 항목

차종	검수 항목	비고
TC차	<ul style="list-style-type: none"> 냉난방장치, 연결기 및 완충장치, 차체 및 차내 설비 출입문 장치, 보안장치(ATC, ATS등), 속도센서, 주간제어기 모니터장치, 운전실, SIV, 축전지, 점퍼연결기, CMSB 디스크라이닝 제동(PB), 주차제동(PBF), 도유기 제습기, 유분리기, 자동배수변, 압력계, 조압기, 안전변, CM 차축, 축상검수, 차륜삭정 및 교환 	
T1차	<ul style="list-style-type: none"> 냉난방장치, 연결기 및 완충장치, 차체 및 차내 설비 출입문 장치, 속도센서, 운전실, SIV, 축전기, 점퍼연결기 CMSB, 제습기, 유분리기, 자동배수변, 조압기, 안전변, CM 차축, 축상검수, 차륜삭정 및 교환 	
T차	<ul style="list-style-type: none"> 냉난방장치, 연결기 및 완충장치, 차체 및 차내 설비 출입문 장치, 점퍼연결기, 차축, 축상검수, 차륜삭정 및 교환 	
M'차	<ul style="list-style-type: none"> 냉난방장치, 연결기 및 완충장치, 차체 및 차내 설비 출입문 장치, 점퍼연결기, 특고압기기 및 부속장치 판타그래프, MCB, ADCG 등 C/I, 차단기, 필터리액터 제륜자, 치차장치, 제동통(BFC), 조압기, 안전변 TMr, MTBM, CIBM, ACM, FLBM, 차축, 축상검수, 차륜삭정 및 교환 	
M차	<ul style="list-style-type: none"> 냉난방장치, 연결기 및 완충장치, 차체 및 차내 설비 출입문 장치, 점퍼연결기, C/I, 차단기, 필터리액터 제륜자, 치차장치, 제동통(BFC), TM, CIBM, FLBM 차축, 축상검수, 차륜삭정 및 교환 	

3.2.2 중정비 기본공정

중정비시 전동차는 편성단위 입고되어 주요부분 또는 전반적인 기기에 대한 해체, 수선, 시험을 실시하게 된다. 중정비 정기검사는 입창검사부터 검수 완료까지의 주요 공정은 아래의 그림 3-1.과 같다.



그림 3-1. 전동차 유지보수 주요공정 흐름도

3.2.3. 전동차 검수 항목의 소요인공

각 공장별 전동차 10량 1편성의 작업 소요인공을 조사한 결과 다음과 같이 직접 소요인원에 대한 소요인공 및 작업소요인원 수는 표3-3.과 같다.

표 3-3. 전동차 검수 공정별 검수 항목의 소요인공

구분	항목	인원 (명)	평균소요시간 (H)	소요인공 (M·H)	비고
입/출창	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 객실 냉난방 장치 검사 및 수선 ▪ 입/출창검사/자동검사 ▪ 차량분리/조립 ▪ 시운전 및 기타 	6	83	500	
차체 공장	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 도어엔진 검사 및 수선 ▪ 출입문 장치 기능 시험 ▪ 밀착연결기 검사 및 수선 ▪ 차체분리 및 조립 ▪ 기타 차체관련 수선 	13	91	1,186	
대차 공장	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 윤축 분리, 검사 및 수선 ▪ 대차부품분리, 검사 및 수선 ▪ 드라이빙 기어 분리, 검사 및 수선 ▪ 대차세척 및 도장 ▪ 기타 대차관련 수선 	13	90	1,174	
기계 공장	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 축상분해 및 수선, 조립 ▪ 윤축탐상, 차륜삭정 ▪ 베어링 세척 및 수선 ▪ 기타 기계관련 수선 	10	98	981	
제동기 공장	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 제동기기 분해 및 세척 ▪ 각종 제동밸브류 분해, 조립 ▪ 각종 제동밸브류 시험 	14	95	1,336	
전기부품 공장	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 보안장치점검 및 수선 ▪ 각종 상하기기 검사 및 수선 ▪ 기타 부품류 검사 및 수선 	20	92	1,842	
회전기 공장	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 견인전동기 분해, 수선, 교환, 조립, 도장, 시험 등 ▪ 각 냉각용 팬 및 모터분해, 검사, 수선, 교환, 시험 등 ▪ 주변압기 분해, 수선, 교환, 조립, 시험 등 ▪ 주변압기 절연유 특성시험(수분측정) 및 유전정점 측정 	16	90	1,446	
합계		92	639	8,465	

3.3 전동차 중정비 시뮬레이션의 가정

3.3.1 연간 작업일 수

주 5일 근무 기준 : 작업일수 261일/년

연간 작업 일수는 주 5일 근무를 가정하고 금요일까지의 작업이 월요일에 같은 상황에서 작업한다는 것으로 하였다. 그러나 명절이나 법정 휴일은 포함시키지 않았으며, 따라서 연간 작업일수는 261일로 하였다.

3.3.2 중정비 유지보수 운영시간

일일 근무시간 : 오전 9시 ~ 오후 6시

점심시간: 오후 12시 ~ 오후 1시

휴식시간: 오전 10시 30분 ~ 오전 10시 45분, 오후 4시 ~ 오후 4시 15분

3.3.3 전동차의 업무 제한

전동차 중정비의 검수 종류는 정기검사인 중간검사(3년)와 전반검사(6년)가 있고, 비정기 검사로는 임시검사, 인수검사 그리고 특별검사가 있다. 그러나 본 시뮬레이션에서는 많은 검사의 종류별 검수 체계를 파악하지 못하여 중간검사의 공정을 반영하여 모델링을 구축하였다. 따라서 전반검사는 중간 검사와 많은 차이를 두지 않고 있기에 같은 업무를 한다고 가정하였으며, 비정기 검사인 임시검사와 인수검사 그리고 특별검사는 제외하기로 하였다.

3.3.4. 작업업무의 차량별 처리가정

전동차의 차량별로 많은 종류의 부품들이 있다. 또한 같은 종류의 부품들이 한 차량에 한 개 또는 그 이상으로 구성되어 있을 것이다. 이러한 많은 종류의 부품들의 개별처리는 전체 시스템을 표현하는데 부분에는 많은 제약이 따르기 때문에 각 차량의 검수 목록에 나와 있는 것을 차량별로 한 번에 검수하는 것으로 가정하였다. 예를 들어 한 차량에 대차는 2개가 있으며 또한 윤축은 4개가 있다. 그러나 각각의 부품 하나하나 검수하는 것을 표현하는 것은 상당히 어려움이 따르기에 4개의 윤축을 한꺼번에 작업하는 것으로 모델링을 구성하였다.

3.3.5. 작업인원에 대한 가정

표 3-3.에서 제시된 작업 인원은 사무직과 관리직을 제외한 순수 중정비 검수 업무를 담당하는 작업자의 작업을 말하는 것이다. 또한 작업자가 직접 해야 하는 기록 및 사무 업무를 포함한 시간으로 가정한다.

4. 전동차 중정비 시뮬레이션 시나리오

중정비 업무에 있어 중요한 운영에 영향을 미치는 3가지에 요인에 대하여 실험하였다. 운영에 영향을 미치는 3가지 요인은 작업장별 작업자 수, 중정비 공장의 동시 검수 열차편성 수 그리고 스케줄링 방법이며, 시뮬레이션의 변동 요소를 반영하여 시나리오를 설정 하였다. 납기율과 공정 리드타임을 비교할 것이다. 이러한 대안 중 실시설계의 전동차 사무소의 중정비 공정능력을 확인 할 것이며, 이에 따른 각 작업장별로 최적의 작업자를 할당하였다.

4.1. 애로공정 발견과 작업자 할당 시나리오.

PERT/CPM 기법을 통하여 가장 높은 가동률을 보이고 있는 애로공정과 낮은 가동률을 보이고 있는 공정을 찾아서 낮은 가동률을 보이는 공정의 작업자를 애로공정으로 투입한다. 즉 이것은 현재의 시스템의 최대 용량을 파악하게 된다.

4.2. 중정비 공장 내 동시작업 열차 편성 수 시나리오.

애로공정 발견과 작업자 할당 시나리오를 바탕으로 중정비 공장 내 동시 작업 열차 편성 수는 공장의 규모와 관련 있는 것이다. 그러나 열차의 동시 작업 열차의 편성 수에 따라 작업자의 작업 효율이 달라짐을 파악하기 위하여 운영시나리오에 반영하였다. 또한 각 동시작업 열차 편성 수에 맞는 작업자 비율을 설정하여 시험하였다.

표 4-1. 중정비 공정 규모에 따른 시나리오

동시작업 열차편성 수	대안	설 명
1편성	대안1	공장 내 1편성만 작업이 가능함.
2편성(현재)	초기대안	공장 내 동시 2편성 작업이 가능함.
3편성	대안2	공장 내 동시 3편성 작업이 가능함.
4편성	대안3	공장 내 동시 4편성 작업이 가능함.

4.3 스케줄링 방법 적용시나리오.

4.3.1 PERT/CPM과 CCPM

대규모 사업이나 신제품 개발을 위한 프로젝트는 주문생산이나 흐름생산과는 다른 특성을 지닌다. 정해진 기간에, 주어진 예산을 사용하여 프로젝트를 완수하고, 고객을 기쁘게 해야 한다. 비용, 스케줄, 그리고 성과가 주요 관심사이다. 프로젝트의 성과를 높이려면 불확실성을 잘 관리하여, 가능한 빨리, 그리고 약속한 납기를 지키는 것이 필요하다. 즉, 프로젝트관리는 서로 갈등관계에 있는 빠른 납기와 납기 준수의 2가지를 동시에 해결해야 한다.

PERT(Program Evaluation and Review Technique)는 프로젝트의 공정을 관리하기 위해 시간을 파라미터로 하여 작업순서의 최적 스케줄을 작성하는 네트워크 기법을 말한다. 프로젝트 계획에 있어서 일정과 비용을 계획하고 통제하는데 필요한 정보를 관리자에게 제공하도록 설계된 종합적 관리기법으로서 어떤 확정된 목표를 최단기간 내에 최소비용으로 완성할 필요가 있는 사업에는 모두 이용될 수 있는 이 기법은 프로젝트 전체의 상호관계를 네트워크로 도시하여 문제점을 이론적으로 검토할 수 있게 해준다. 이 관리기법은 미 해군 폴라리스 미사일과 잠수함의 개발에 이용되었었다.

CPM(Critical Pass Method)은 네트워크를 중심으로 한 논리구성으로 프로젝트를 일정 기일 내에 완성시키고 해당 계획이 원가의 최소값에 의해 보증되는 최적 스케줄을 구하는 관리 방법을 말한다. James E. Kelley와 Morgan R. Walker를 중심으로 한 연구 집단이 1957년 Project Planning and Schedule System으로 개발하여 건설 및 설계를 포함하는 복잡한 작업에 이용하여 그 효과를 발휘했다. 보통은 PERT/CPM이라 부르고 PERT원리와 병용한다.

프로젝트 각 요소작업은 미래에 발생할 사건이므로 소요시간은 확률적으로 예측되는 값이다. PERT/CPM은 이 작업소요시간이 세 가지 추정치(a, m, b) 기준의 베타분포라 가정하였으며, 평균 μ 와 분산 σ^2 이 식 1.과 같이 계산된다.

식 4-1. 프로젝트 작업 소요시간 추정

$$\mu = \frac{(a + 4m + b)}{6}$$

$$\sigma^2 = \frac{(b - a)^2}{6^2}$$

a: 낙관적 추정치
m: 최빈 추정치
b: 비관적 추정치

따라서 PERT/CPM은 업무에 있어 최대의 납기률을 위해 업무별 여유시간을 정한다. 그러나 업무별 여유시간을 정하더라도 현실적으로는 여러 가지 이유로 여유시간 마저 넘겨버리는 경우가 비일비재하다. 현실적으로 과업을 실행함에 있어 과업의 완료율은 다음 그림. 4-1.과 같은 분포를 따른다.

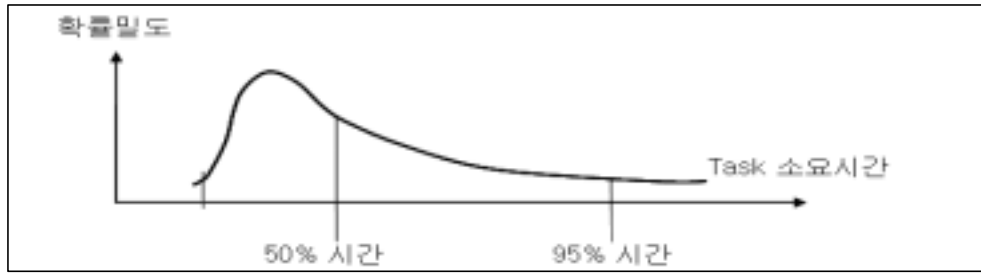


그림. 4-1. 현실적 과업수행완료 분포곡선

그림. 3-3과 같은 상황을 위해 PERT/CPM의 기법에서는 그림. 4-2와 같이 개별 과업에 대한 여유시간을 두어 프로젝트의 스케줄을 설정하고 있다. 즉 개별과업 각각이 정확하게 납기를 맞추게 되면 전체 프로젝트가 납기를 맞출 수 있도록 스케줄을 정하는 것이다.

그러나 이러한 PERT/CPM 기법으로 스케줄링 한 프로젝트의 납기 만족은 매우 낮은 것으로 알려져 있다.

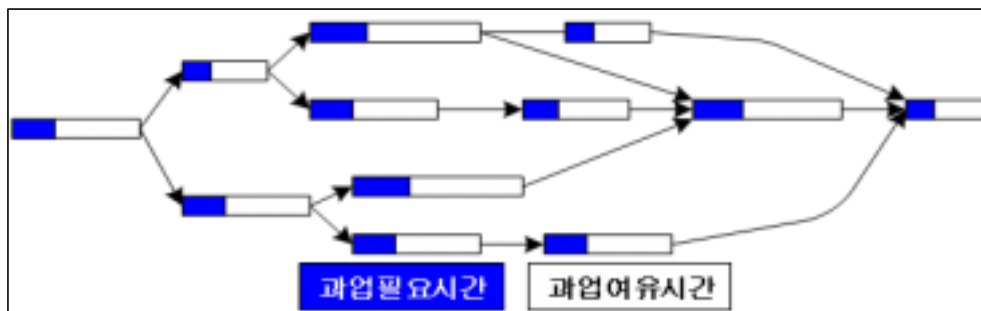


그림. 4-2. PERT/CPM 스케줄링 방법

이러한 원인은 잘 알려진 세 가지 법칙인 머피의 법칙(Murphy's Laws)과 파킨슨의 법칙(Parkinson's Law) 그리고 학생증후군(Student Syndrome) 등이 있다.

머피의 법칙은 “잘못될 여지가 있는 일은 꼭 그렇게 되고 만다.”는 것이고, 파킨슨의 법칙은 “실제 작업시간은 배정된 시간을 매우도록 늘어난다.”고 말하고 있다. 마지막의 학생증후군은 시작가능시점에 과업의 예상소요시간을 추정하고 다른 일을 하다가 납기가 가까이 오면 예상소요시간 전에 과업을 시작하지만 과업수행 중에 예상치 못한 문제(Murphy)를 만나면 납기를 못 맞추는 것을 설명한다.

앞에서 설명한 것과 같이 프로젝트 관리는 PERT/CPM 기법이 주로 사용되었지만 그 결과는 만족스럽지 못하다. 납기를 못 지키는 것이 당연한 것으로 여겨지고, 막판 일에 쫓기는 것은 다반사이다. 그 이유는 PERT/CPM이 자원의 능력을 감안하지 못하고, 작업의 순서(애로공정)에만 의존하여 스케줄링하기 때문이다. 이것은 비현실적인 계획이 되고, 실행할 때 많은 문제를 야기한다.

최근 TOC(Theory Of Constraints)기반의 애로사슬(Critical Chain) 프로젝트 일정관리는 PERT/CPM과 다르다. 애로공정(Critical Path) 대신 애로사슬이 정의되는데, 작업순서를 만족하며 자원을 중복사용하지 않는 공정들로 구성된다. 그리고 여러 가지 버퍼 시간을 준비해 둬으로써 실행도중 발생하는 예기치 않은 일이 납기에 영향을 미치지 않도록 설계되었다.

애로사슬 프로젝트 관리는 TOC를 개발한 Goldratt이 1997년에 ‘Critical Chain’이라는 기업 소설을 출간함으로써 탄생되었다. 이 기법도 TOC의 기본 원리인 5단계 집중개선 프로세스(focusing improvement process)에 근거하고 있다.

즉

- 단계 1: 시스템 제약을 찾아낸다. 시스템 성과에 결정적 영향을 미치는 제약을 찾는다.
- 단계 2: 시스템 제약을 철저히 활용한다. 이 제약이 낭비되지 않도록 최대한 활용하는 것이다.

- 단계 3: 비(非)제약의 활동을 제약의 능력에 맞춘다. 제약이 아닌 대부분의 자원은 제약의 진행 속도에 맞춘다.
- 단계 4: 제약의 능력을 향상시킨다. 제약을 개선시켜 없애고, 이 결과 시스템 성과를 높일 수 있는 방안을 찾는다.
- 단계 5: 위 과정에서 제약이 없어졌으면, 단계 1로 가고, 이제 타성이 시스템제약이 되지 않게 한다. 다시 단계 1로 가서 새 제약에 대해 단계 2, 3, 4를 반복한다.

따라서 본 시뮬레이션에서는 시간적 측면에서의 PERT/CPM 네트워크 다이어그램을 작성하여, 집중 개선 프로세스에서 제시한 단계 1과 같이 실험을 하였다. 이 과정에서 애로사슬을 을 발견하였다. 단계 2와 단계 3과 같이 애로사슬 공정에 자원을 좀 더 추가하여 실험하였다. 단 여기서는 작업자 가동률을 고려하여 가장 낮은 가동률을 보이고 있는 공정의 작업자를 이동하여 애로사슬 공정에 투입하여 실험하였다. 또한 스케줄링 계획을 위하여 PERT/CPM 스케줄링 기법과 CCPM 스케줄링 기법을 적용하여 실험하였다.

여기서 CCPM 기법은 우선 작업시간은 PERT/CPM 다이어그램 상의 시간에 10%에서 50%까지 줄이고 나머지 시간을 일양분포(Uniform Distribution)로 설정하여 실험하였다. 즉 아래의 그림. 3-5과 같이 작업에 주어진 시간은 최소한의 시간으로 하고 과업지연은 어쩔 수 없이 발생할 것을 예상하지만 여유시간은 아닌 것으로 설정하였다. 마지막으로 과업의 여유시간을 프로젝트관리상에 일정한 여유시간을 설정하는 것이다.

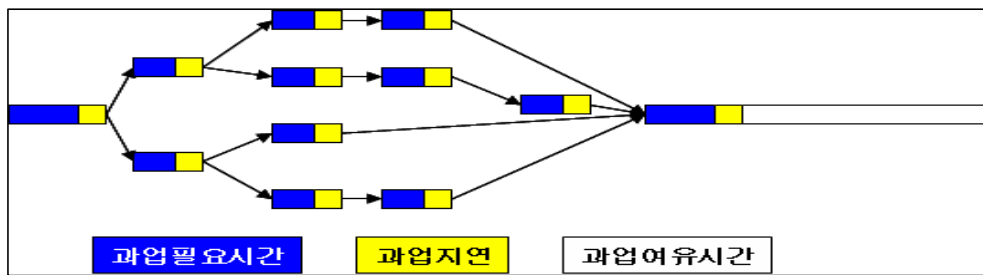


그림. 4-3. CCPM 스케줄링 방법

4.3.2 스케줄링 방법 적용 시나리오.

중정비 공장 내 동시작업 열차 편성 수 시나리오를 바탕으로 CCPM 스케줄링 기법을 적용하였다. 우선 CCPM방법은 앞에서 설명한 것과 같이 공정의 작업시간에 일정한 시간으로 다음 표와 같이 설정하고, 기존의 PERT/CPM 기법과 각각의 시나리오를 실험하여 비교 분석하였다.

표 4-2. 스케줄링 방법 적용시나리오.

대안	CCPM 작업조건	설 명
초기대안	PERT/CPM	작업시간을 최대 작업시간을 반영
대안1	90%	90%의 작업시간을 최소 작업시간으로 설정하고 나머지 10%의 작업시간을 일양분포로 작업지연 표현
대안2	80%	80%의 작업시간을 최소 작업시간으로 설정하고 나머지 20%의 작업시간을 일양분포로 작업지연 표현
대안3	70%	70%의 작업시간을 최소 작업시간으로 설정하고 나머지 30%의 작업시간을 일양분포로 작업지연 표현
대안4	60%	60%의 작업시간을 최소 작업시간으로 설정하고 나머지 40%의 작업시간을 일양분포로 작업지연 표현
대안5	50%	50%의 작업시간을 최소 작업시간으로 설정하고 나머지 10%의 작업시간을 일양분포로 작업지연 표현

5. 중정비 운영 시뮬레이션 모델링

5.1 모델링 구현 기법

철도차량 정비기계의 검수능력 판단식은 철도운영처에서 사용되어지는 방식이며, 이와 달리 본 논문에서는 생산 분야에서 적용되는 이산사건 시뮬레이션 기반으로 전동차 유지보수 업무 프로세스에 적용하여 모델링을 구축하였다. 이산사건 시뮬레이션은 전동차 유지보수에 있어 부품 또는 완제품을 정비하는 수많은 정비작업을 기반으로 하고 있다. 차량의 정비는 분야별로 이루어지고 있고, 정비에 필요한 동일한 정비기계가 동일한 업무를 수행한다 하여도 기계의 사용연한, 제조사, 고장횟수 등에 따라 그 성능이 다르기 때문에 이러한 각각의 유지보수와 관련된 정비기계의 특성 및 상황을 분류하고 시뮬레이션을 통한 자원의 능력평가가 이루어져야 하기에 본 연구에서는 시뮬레이션의 모델링의 기본 기법을 이산사건 시뮬레이션 기법을 아래나 7.0을 이용하여 구현하였다.

5.2. 모델링 표현

전동차 사무소의 업무프로세스를 반영하여 열차발생 및 입차검사, 차체검수, 대차검수 및 전동기검수 그리고 열차조립 및 출장검사로 크게 4가지로 구분할 수 있다. 아래의 그림. 3-6과 같이 열차가 발생하여 순차적인 단계들을 거치면서 각 검수 공정의 업무를 수행하게 되며, 검수 공정을 실시 할 때는 각 부분별로 병렬 수행한다. 즉 차체공정은 도어엔진검수, 차체검수, 냉/난방기 검수, 전기부품검수 등을 병렬수행하며, 대차검수 및 전동기 검수에서는 제동기기 검수, 대차검수, 회전기검수 등 각 검수 공정은 병렬 수행된다.

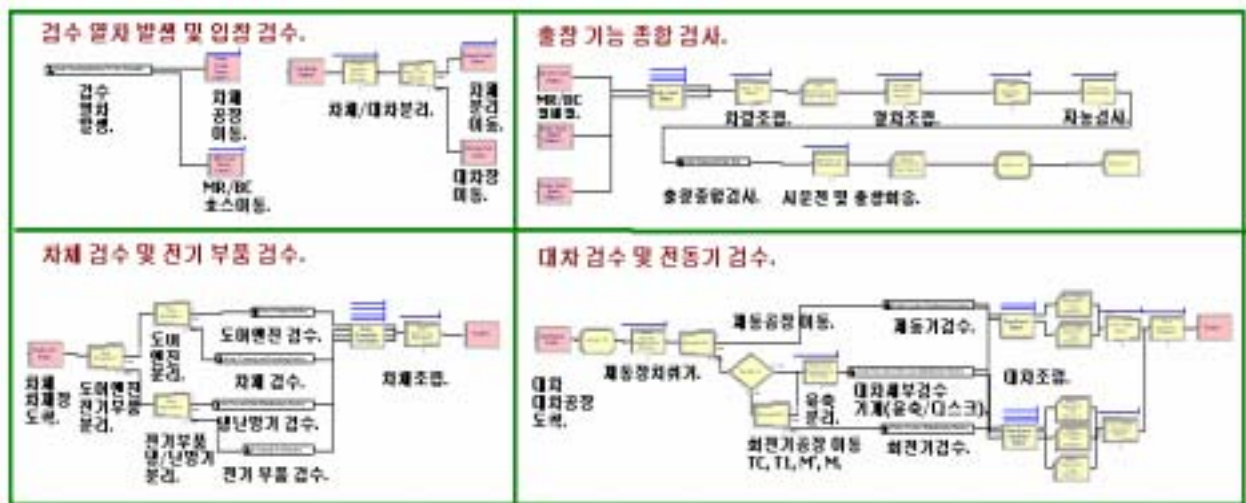


그림. 5-1. 전동차 사무소의 업무프로세스 모델링 반영

5.3. 중정비 운영 시뮬레이션 모델링 검증

5.3.1. 준비시간 설정

중정비 유지보수 시스템은 안정 상태 시뮬레이션을 실시하여 그 결과를 반영하였다. 그러나 시뮬레이션 모델링을 시작하게 되면 일정한 시간 내에 시스템이 안정화 상태까지 도달하는 준비시간이 필요하며, 이러한 준비시간은 분석 단계에선 제외해야 한다. 따라서 준비시간을 제거하기 위하여 Arena 10.0에서 지원하는 출력 분석(Output Analysis)을 이용하여 “Warm-up Period”를 설정하였다.

준비시간을 설정하기 위하여 중정비 유지보수 주기를 분석하였다. 초기 시뮬레이션 시간은 1년으로 하였으며, 1일 작업시간 8시간을 기준으로 실험을 하였다. 그 결과 약 110일이 경화 하게 되면 시뮬레이션 모델링은 안정 상태로 되는 것을 알 수 있었다. 따라서 시스템의 안정 상태를 충분히 만족할 수 있도록 120일을 시스템이 안정화 되는 기간으로 보고 모델링의 "Warm-up Period"를 120일로 설정하였다.

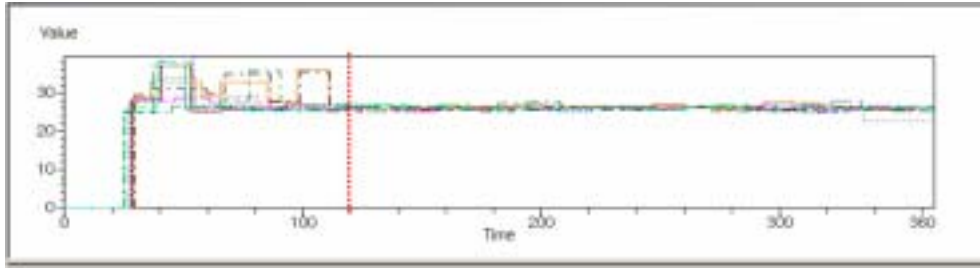


그림. 6-1. 준비시간 설정

5.3.2. 시뮬레이션 실험 기간 설정

실험 기간을 설정은 1년간의 작업을 분석을 목적으로 설정하였다. 즉 주 5일 근무로 실시하는 것으로 보고 1년의 작업일수를 261일로 설정하였다. 따라서 시뮬레이션 실험 기간은 준비시간 120일과 작업일수 261일을 더하여 381일로 하였고, 반복횟수를 10회 실시하였다. 이를 분석하기 위하여 유지보수 검수 주기 결과 데이터를 가지고 출력 분석을 이용하여 반복횟수 값이 유효 한지를 검토 하였다. 그 결과 신뢰구간 95%의 범위 25.7일에서 26.5일을 만족하는 25.8일에서 26.4일이었으며, 이때의 평균 26.1일 표준 편차 s 는 0.268의 결과로 반복횟수 10회는 충분히 타당한 것으로 검증 되었다.

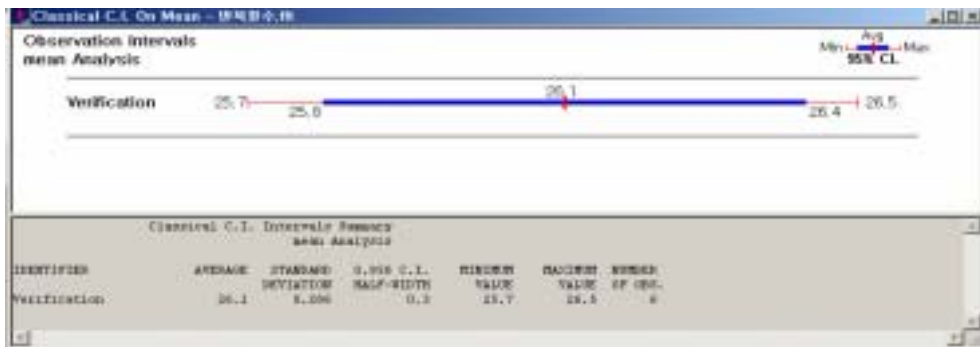


그림. 6-2. 반복횟수 유효성 검증

6. 전동차 증정비 시뮬레이션 실행 및 결과 분석

6.1. 최대 용량 검증

초기 시뮬레이션 실행 조건은 앞에서 기술한 것을 반영하였으며, 추가적으로 설정한 것은 공장의 규모를 우선 초기 값으로 열차 2편성을 작업 할 수 있는 규모로 설정하고 실험하였고, 검수 열차 발생량은 초기 지수분포 10일로 하였다. 이것은 1년에 평균 약 26편성의 검수 열차의 발생을 의미한다.

6.1.1 애로공정 발견

애로공정 발견과 작업자 할당 시나리오에서 초기 PERT/CPM 기법으로 초기 작업자의 가동률 결과를 분석하였다. 초기 데이터를 반영한 결과 전기부품공장 작업자의 가동률이 88.06%로 가장 높게 나왔고, 다음으로는 제동기기 공장 작업자의 가동률이 87.52%가 되었다. 가장 낮은 가동률을 보이고 있는 곳은 기계공장 작업자로 가동률 65.12%였다. 또한 검수열차 발생은 총 31편성이 발생하였으며, 검수 완료된 차량은 21편성이었다.

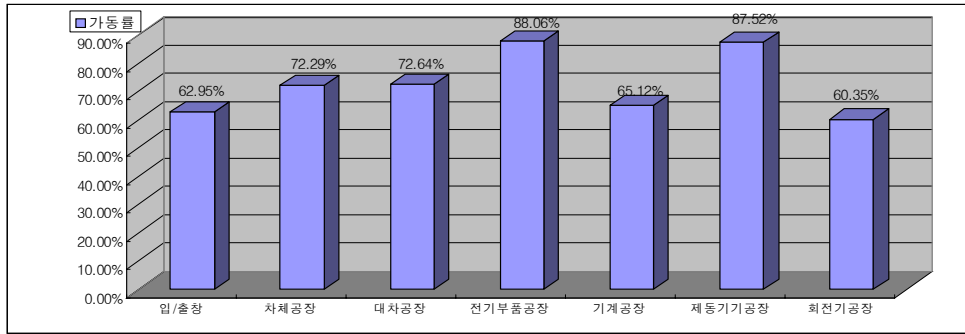


그림. 6-3. 각 작업장별 작업자 가동률

작업자의 가동률만으로 전기 부품 공장이 제약 공정이라고 판단하기 어려워 중정비 각 공정별 검수주기를 결과를 분석하였다. 검수주기 결과 열차의 입창부터 출창까지의 총 유지보수 주기는 26.5일이었으며, 그리고 각 공정 전체가 차량 조립을 위한 모든 준비가 완료되는 검수완료 주기는 13.92일이었으며, 이 중 각 공장별 검수주기의 가장 많은 시간을 차지하는 것은 역시 전기부품 공장이었다. 또한 제동기기 공장의 검수주기 또한 8.26일로 많은 비중을 차지하고 있는 것을 나타냈다.

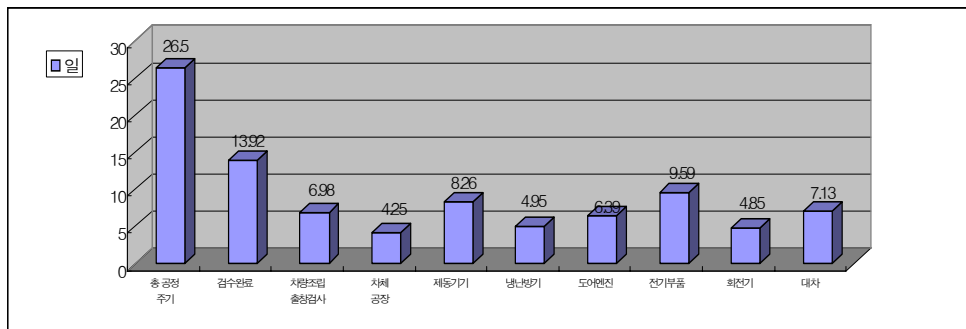


그림. 6-4. 중정비 공정별 검수주기

애로공정을 찾아내기 위하여 주요 조립전의 대기시간의 결과 표 7-1과 같은 결과를 얻었다. 차체와 대차 조립에 있어 차체의 대기시간은 1.07이고, 대차가 1.24일이 되었다. 따라서 차체와 대차의 주요 공정에 각각의 애로공정이 존재한다고 볼 수 있다. 또한 전기 부품 공장은 0.09일로 전기부품이 완료되기 전까지 다른 주요 차체조립을 위한 부품들은 모두 준비가 완료된 상황이었다. 대차조립에 있어 제동기기의 검수가 늦게 완료되는 것으로 결과를 확인 할 수 있었다.

표 6-1. 주요공정별 조립대기 시간

단위: 일

차체/대차 조립		차체조립				대차조립				
						TC, T1, M, M'			T	
차체	대차	도어엔진	차체	냉/난방기	전기부품	제동기	대차	회전기	제동기	대차
1.07	1.24	3.28	5.43	4.72	0.09	0.2	2.44	4.4	0.13	2.35

6.1.2. 작업자 할당

각 작업자를 추가 하지 않고 가동률을 바탕으로 가장 낮은 가동률을 보이고 있는 작업장의 인원을 가동률이 높은 작업장으로 할당하여 작업을 실험을 하였다. 이것은 CCPM기법의 단계 1, 2, 3에서 제시한 것으로 제약 자원에 모든 것을 집중하게하고 제약 자원에 집중하는 것을 말한다. 따라서 실험을 통

하여 각각의 작업자의 수를 조정하여 실험을 하였다. 실험한 작업자 수의 설정은 다음과 같다.

표 6-2. 공정별 작업자 할당

단위: 인원

대안	검수열차 발생	검수완료 열차	입/출창	차체공장	대차공장	전기부품 공장	기계공장	제동기 공장	회전기 공장
초기대안	31	21	6	13	13	20	10	14	16
대안1	31	22	6	13	13	21	9	15	15
대안2	31	22	6	13	13	22	8	16	14
대안3	29	21	5	13	13	23	9	15	13
대안4	34	24	6	12	13	24	9	16	12

작업자의 가동률과 공정주기를 비교 분석하여 표 6-2과 같은 순서로 실험한 결과를 비교 분석해 보면 그림 6-5와 같은 결과를 도출하였다. 작업자 할당시나리오 대안2에서 입/출창 작업자의 가동률은 62.8%로 낮아 시나리오 대안3에서는 전기부품 공장의 작업자로 배치하였고, 회전기 공장 작업자를 다시 기계공장 작업자로 배치하였다. 그 결과 입/출창 작업자와 회전기 공장의 가동률이 올라가면서 다른 모든 작업자의 가동률은 낮아지게 되었고 검수완료 열차 편성 수도 1편성 낮아지면서 총 검수 주기도 증가하게 되었다.

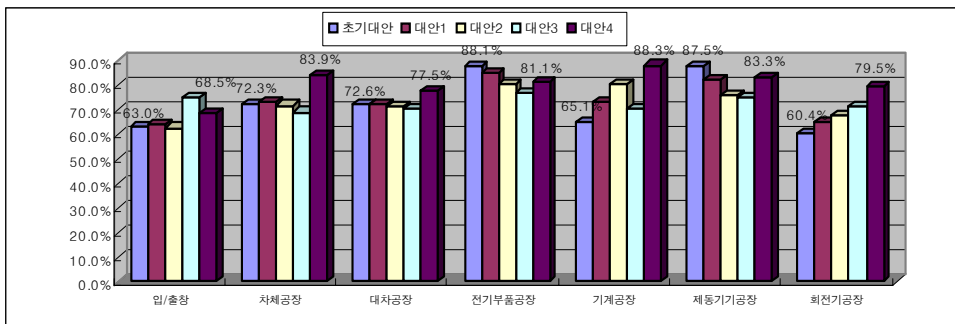


그림 6-5. 중정비 공정 작업자 할당 가동률 분석

작업자 할당 후 결과 최종 결과를 분석해 보면 전체적인 작업자의 가동률은 상향평준화 되었다. 그 결과로 총 공정주기는 26.5일에서 24.5일로 감소하였다. 이중 가장 크게 좋아진 공정은 가장 작업자가 많이 증가한 전기부품 검수주기로 초기 검수주기 9.59일에서 6.86일로 감소하였다. 그러나 반면에 대차공정의 검수주기는 7.13일에서 9.88일로 증가하는 것을 알 수 있다. 이 결과의 원인은 대차공정의 일부인 기계공장의 작업자가 줄어들어 검수주기가 증가한 것으로 파악 되었다.

표 6-3. 중정비 공정 작업자 할당 검수주기 분석

단위: 일

대안	총 공정주기	검수완료	차량조립 출창검사	차체 공장	제동기	냉/난방기	도어 엔진	전기 부품	회전기	대차
초기대안	26.50	13.92	6.98	4.25	8.26	4.95	6.39	9.59	4.85	7.13
대안1	25.31	13.33	6.91	4.08	6.75	4.64	6.15	8.68	5.01	8.16
대안2	24.95	14.66	6.51	4.11	6.34	4.78	6.14	8.12	5.22	10.02
대안3	26.39	15.34	6.79	4.15	6.11	6.30	6.24	7.21	5.53	7.58
대안4	24.56	14.05	6.94	4.61	6.22	4.61	6.81	6.86	5.91	9.88

중정비 공정 작업자 할당 후 주요공정별 조립대기 시간을 비교해 보면 가동률과는 반대로 하향평준화 되었다. 이것은 각 병렬작업이 검수 작업이 완료된 후 조립하는데 까지 공정 주기가 유사해 진 것을 알 수 있다. 그러나 대차공정을 보게 되면 현저하게 증가한 것을 알 수 있는데 이것은 앞에서 설명한 검수주기와 같이 대차공정의 일부인 기계공정의 작업자의 이동으로 검수 주기가 증가한 결과이다.

표 6-4. 중정비 공정 작업자 할당 후 주요공정별 조립대기 시간

단위: 일

대안	차체/대차 조립		차체조립				대차조립				
	차체	대차	도어엔진	차체	냉/난방기	전기부품	TC, T1, M, M'			T	
							제동기	대차	회전기	제동기	대차
초기대안	1.07	1.24	3.28	5.43	4.72	0.09	0.2	2.44	4.4	0.13	2.35
대안1	1.28	0.96	2.66	4.75	4.17	0.14	0.71	1.09	3.51	0.0	4.4
대안2	2.78	0.49	2.23	4.29	3.61	0.26	0.25	2.93	4.67	0.0	6.45
대안3	1.17	0.78	1.86	3.97	1.81	0.90	0.69	2.45	1.25	0.0	4.08
대안4	2.99	0.33	1.17	3.40	3.38	1.13	0.36	3.05	3.97	0.0	6.26

6.1.3. 최대 용량 검증을 통한 운영기관에 대한 제안

설비 또는 공정의 용량 검증에 대한 분석에서 애로공정 발견과 작업자 할당은 대분의 중정비 공정뿐만 아니라 생산 및 물류 등등 많은 분야에서 기본적으로 분석하여야 하는 것이며, 이로 인해 사업계획 및 사업전략을 수립하는데 기초가 되고 있는 것이다. 따라서 본 연구에서도 기본적인 중정비 최대 용량 검증에 대한 분석을 가장 먼저 실시하여 애로공정과 이에 따른 작업자 할당에 대한 시뮬레이션 실험을 하였으며, 결과 전기부품공정이 애로공정임을 알 수 있었으며, 작업자 할당은 동시 작업 편성 수가 2편성인 경우의 중정비 공정의 작업자 할당에 대하여 “대안4”와 같이 제시한다.

6.2. 중정비 공장 내 동시작업 열차 편성 수 시나리오 실험 및 결과 분석

6.2.1. 중정비 공장 내 동시작업 열차 편성 수 시나리오.

앞서 실험한 각 공정의 작업자를 할당할 결과를 바탕으로 하여 전동차의 중정비를 할 경우 공장의 규모가 검수 주기와 작업자의 가동률에 미치는 영향을 분석하였다.

그 결과 현재의 인력으로는 중정비 공장의 규모가 2편성 동시 작업을 할 수 있는 규모로 나타났다. 이때의 가동률의 평균은 80%이며, 총 공정주기 24.57일과 검수 완료 편성 수는 23.5편성이다. 동시 작업 가능한 열차 편성 수가 1일때는 열차 편성 수가 너무 적게 들어와 작업자의 업무가 주어지지 않는 현상이 발생하며, 동시 작업 가능한 열차 편성 수가 3편성과 4편성일 경우에는 가동률과 검수 완료 편성 수는 동시 작업 편성 수가 2편성일 때와 비슷하나, 총 공정주기가 30일 이상으로 비현실적으로 나와 의미가 없음을 알 수 있다.

표 6-5. 중정비 공장 규모에 따른 검수주기 및 작업자 가동률 분석

대안	동시작업 편성 수	총 공정주기 (일)	차량 입/출 편성 수		작업자 가동률(단위: %)							
			검수 완료	입고 열차	입/출 창	차체	전기 부품	대차	기계	제동기	회전기	평균
대안1	1편성	20.72	14	30.1	41.6	50.9	51.1	48.5	53.4	51.6	48.1	49.3
현재	2편성	24.57	23.5	31.7	68.5	83.9	81.1	77.5	88.3	83.3	79.5	80.3
대안2	3편성	31.63	23.1	31.8	68.7	84.0	80.9	77.3	88.1	83.4	79.4	80.3
대안3	4편성	39.67	23.9	29.9	70.4	85.9	82.6	78.8	89.6	85.2	81.1	81.9

6.2.2. 동시작업 열차 편성 수에 대한 적정 작업자 할당.

동시작업 열차 편성 수에 대하여 적정 작업자를 할당하기 위하여 작업자 수를 20%비율로 증가 하면서 시뮬레이션 실험을 하였다. 또한 동시작업 편성 수와 작업자의 능력이 증가하여 작업자의 능력이 여유를 보이게 되는 것을 막기 위해 대안2와 대안3에서 작업자 수의 비율이 160%이상 증가하였을 경우 차량발생을 초기 지수분포 10일에서 지수분포 5일로 발생량을 2배 증가시켜 실험을 실행하였다.

그 결과를 살펴보게 되면 표 6-6과 같이 동시작업 열차 편성 수가 1편성일 경우 작업자 비율은 70%가 되며, 2편성일 경우 100%, 3편성일 경우 160%, 4편성일 경우 200%가 적당한 것을 나타냈다. 여기서 1편성일 경우 작업자 가동률이 평균 50%의 결과가 되었으며, 이것은 각 작업에 있어 동시 작업자 수가 일정 수 이상이어야만 작업이 가능하기 때문에 일부작업을 처리하지 못하게 되어있는 모델링의 제약에 의한 결과로 나타났다.

표 6-6. 중정비 공장 규모에 따른 검수주기 및 작업자 가동률 분석

대안	작업자 비율 (%)	총 공정주기 (일)	차량 입/출 편성 수		작업자 가동률(단위: %)							
			검수 완료	입고 열차	입/출 창	차체	전기 부품	대차	기계	제동기	회전기	평균
대안1	70	29.86	10	31.8	44.2	52.4	49.5	47.2	55.5	51.6	49.7	50.0
현재	100	24.57	23.5	31.7	68.5	83.9	81.1	77.5	88.3	83.3	79.5	80.3
대안2	160	22.44	38.4	59.4	68.2	84.8	82.5	78.2	89.2	84.4	80.3	81.1
대안3	200	26.83	40.8	57.8	59.1	73.3	72.8	69.2	78.1	73.6	69.9	70.9

6.2.3. 중정비 공장 규모에 따른 검수용량에 대한 운영기관에 대한 제안

중정비 공장내 동시작업 열차 편성 수 시나리오에 대한 시뮬레이션 분석의 의미는 현 공장의 규모에 대하여 적정 작업자 수를 결정하기 위함이다. 철도 운영기관에서 운영하고 있는 중정비 공장에 대하여 현재의 작업자 수(작업자 총수 92명)에 대하여 적당한 동시 작업 열차 편성 수는 2편성이 적당하다는 것을 알 수 있다. 또한 열차 동시 작업 열차 편성 수와 작업자의 비율에 맞게 적정 작업자 수를 제시하였다. 철도 운영기관에서는 이와 같이 운영하고 있는 열차 수에 따라 중정비 공장의 규모와 작업자의 수 등을 고려하여 유지보수 계획을 수립하여 효율적이고 낭비 없는 중정비 업무를 고려하여야 할 것이다.

6.3. 스케줄링 방법 적용시나리오 실행 및 결과 분석

6.3.1. 스케줄링 방법 적용시나리오 가동률 결과 분석

중정비 주기 단축에 대한 운영방법으로 본 연구에서 제시하는 CCPM 스케줄링 기법과 PERT/CPM 스케줄링 기법을 적용하여 실험하고 비교 분석하였다.

기본이 되는 모델링은 앞 절에서 분석한 내용을 바탕으로 동시작업 가능한 열차 편성 수가 2편성을 검수할 수 있는 공장의 규모로 하였고, 검수열차 발생 분포는 지수분포 5일로 하여 검수열차 발생량의 부족으로 검수가 늦어지는 경우를 배제하였다.

먼저 작업자의 가동률의 결과를 살펴보면, PERT/CPM 스케줄링 기법과 여러 가지 적용한 CCPM 스케줄링 기법을 비교하면 다음 그림. 6-6.에서 확인할 수 있듯이 조금씩 낮아지는 것을 알 수 있다.

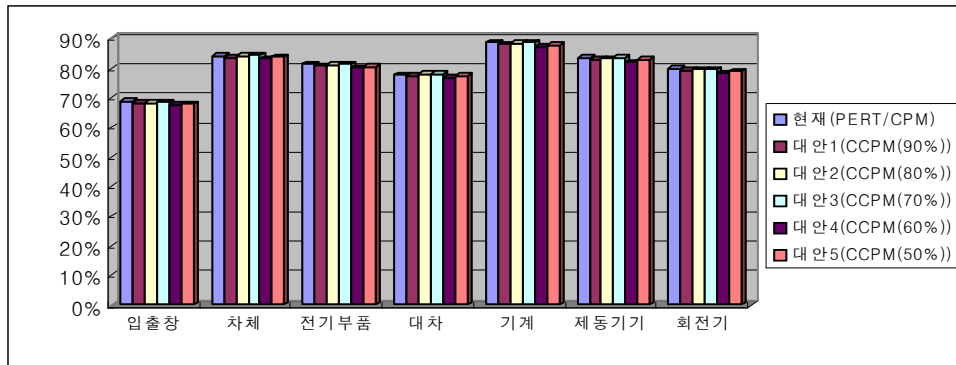


그림. 6-6. PERT/CPM과 CCPM 가동률 분석

6.3.2. 스케줄링 방법 적용시나리오 공정주기 및 검수완료 편성 수 결과 분석

총공정주기와 검수완료 편성 수를 비교 분석하였다. 위의 작업자의 가동률은 약간의 차를 만들 보였지만, 총 공정주기와 검수완료 편성 수에서는 많은 차이를 보이고 있다. 총공정주기는 약 6.2일 줄어들었으며, 검수완료 편성 수는 8.2편성이 증가한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 프로젝트 진행에 CCPM의 스케줄링을 적용한 프로그램 개발 프로젝트와 제품 개발 프로젝트에 적용하여 프로젝트 납기일 준수 또는 조기 프로젝트 완료의 결과로 나타나고 있다.

표 6-7. PERT/CPM과 CCPM의 공정주기 및 검수 완료 편성 수

시나리오	현재	대안1	대안2	대안3	대안4	대안5
	PERT/CPM	CCPM(90%)	CCPM(80%)	CCPM(70%)	CCPM(60%)	CCPM(50%)
총 공정주기	24.9	23.7	22.4	21.1	20.2	18.7
검수완료 편성 수	23.3	24.7	26.1	27.8	29.1	31.5
검수열차 발생 수	67.6	60.2	61.1	57.0	59.8	59.4

6.3.3. 스케줄링 방법 적용시나리오 결과를 통한 운영기관에 대한 제안

스케줄링 방법 적용 시나리오의 결과를 통하여 알 수 있듯이 공장의 용량과 작업자 할당만큼 계획과 운영 방법에 대한 영향도 막대하다는 것을 알 수 있었다. 즉 관리기법에서 제약이론에서 제시하고 있는 프로젝트 관리 방법을 적용은 동등한 투자를 바탕으로 중정비 공장의 운영에 혁신적인 효과를 기대할 수 있다. 대안5(CCPM 50%)의 시나리오의 적용은 제약이론의 CCPM이론에서 프로젝트의 지연, 즉 중정비 검수주기의 지연에 대한 중요한 원인인 세 가지 법칙 머피의 법칙(Murphy's Laws), 파킨슨의 법칙(Parkinson's Law), 학생증후군(Student Syndrome)등을 최소화 할 수 있는 방법으로 제시하며, 이러한 결과는 열차 검수완료 편성 수의 증가의 결과를 가져올 것을 예상한다.

7. 결론 및 향후 과제

7.1. 결론

본 연구에서는 전동차 유지보수에 대한 국내의 법규 및 자료를 검토하여 보았고, 전동차 사무소의 중정비 유지보수에 대한 시뮬레이션 분석을 실시하였다.

전동차 유지보수에 대한 국내 관련 법규로는 철도 안전법과 도시철도법을 기반으로 철도차량의 안전성을 평가하는 근간이 되고 있으며, 최하의 규정으로는 각 철도차량 운영기간의 세부적인 작업에 대한

사규를 두고 있었다.

본 연구에서 실시한 시물레이션 대상으로 하는 시흥차량사무소의 중정비 공장의 현 상황을 반영하여 크게 3가지의 대안을 가지고 시물레이션 하였다.

첫 번째로 시물레이션을 통하여 애로공정을 가동률과 공정주기 그리고 조립공정 앞의 대기시간을 분석하여 전기부품공장과 제동기 공장이라는 것을 알 수 있었다. 또한 애로사슬 공정의 능력을 증가시키기 위하여 여유가 있는 작업공정의 작업자를 애로사슬 공정에 할당하여 실험한 결과 검수완료 열차편성을 3편성 증가하였고, 검수 주기는 2일이나 앞당길 수 있었다. 또한 이러한 분석은 시물레이션 기법뿐만 아니라 다른 여러 가지 기법을 통하여 반듯이 이루어 져야 한다.

두 번째로 중정비 공장의 규모가 작업자와 검수 주기에 미치는 영향을 분석하기 위한 시물레이션 분석을 하였다. 그 결과 동시작업 열차 편성 수에 대한 작업자 수를 제시하였다. 동시작업 열차 1편성일 때 65명, 2편성일 때 92명, 3편성일 때 148명, 4편성일 때 184명 등이 가장 적합한 것으로 결과가 나왔다. 즉 운영기관에서는 운영하고 있는 열차 편성 수를 중정비 고려하여 효율적인 작업자 할당과 공장의 규모를 결정해야 한다.

세 번째로 PERT/CPM 스케줄링 기법과 CCPM 스케줄링 기법을 적용하여 시물레이션 실험을 하고 그 결과를 제시하였다. 그 결과는 CCPM의 적용단계 중 CCPM 적용 다섯 번째인 CCPM 50%를 실시하였을 때 PERT/CPM 보다는 검수 주기에서 6.2일 앞당길 수 있었고, 검수 완료 열차 편성 수에서 7.2편성을 더 처리할 수 있는 것으로 그 결과가 확실히 그 값이 우수하였다. 이것은 철도 중정비 공장 운영에 있어 CCPM 스케줄링 방법은 매우 좋은 관리기법으로 제시 하였다.

7.2. 향후과제

철도 시스템은 복합적인 여러 분야의 시스템의 집합체라고 할 수 있다. 본 연구에서는 시물레이션을 통하여 중정비 유지보수에 대한 정량적인 분석을 하였다. 그러나 철도 시스템의 유지보수 분야는 중정비 유지보수뿐만 아니라 경수선 업무 및 철도 시설 등 여러분야가 있다. 그리고 유지보수 측면에서 이산사건 또한 최근에는 상기한 내용들을 보다 체계적이고, 정량화 시킨 관리기법 등이 도입되고 있다. RAMS(신뢰성 Reliability, 가용성 Availability, 유지보수성 Maintainability, 안전성 Safety) 및 RCM(신뢰성 중심의 유지보수 Reliability Centered Maintenance)등이 그 예인데 RAMS 기법을 활용한 제품의 설계 및 제작, RCM기법을 도입한 효과적인 유지보수 체계의 구축 등이 보편화 되고 있는 추세이다. 또한 LCC기법을 폭 넓게 적용하여 제품의 개발, 운용, 폐기 전 단계에 걸쳐 수명주기 비용을 고려한 정책들이 연구 되어야 할 것이다. 이미 철도 선진국에서는 유지보수의 효율성 및 관심증가로 그 효과 및 신뢰도를 향상시키는 각종 방법들이 적용되고 있으며 상당한 효과를 얻고 있다. 이에 우리나라도 철도 유지보수에 깊은 관심이 필요하며 가능한 부분부터 개선이 필요한 사항을 적용하여 경제적이며, 신뢰도 높은 유지보수체계를 구축해야 하겠다.

참고문헌

1. 김동민, 안재경(2005), “전동차 유지보수에 개선방안에 관한 연구”, 서울산업대학교
2. 건설교통부(구 철도청)(2002), “전동차 정비 검수업무의 외주화 방안에 관한 연구 보고서”, 한국철도기술연구원.
3. 건설교통부(구 철도청)(2000), “전동차 중정비 외주화 방안에 대한 연구 보고서”, 한국철도기술연구원.
4. 김동희, 홍순흠(2003), “유지보수를 고려한 철도차량 운용계획에 관한 연구”, 한국철도학회 2003 춘계학술대회 논문집.
5. 정남기(1999), “TOC 기반의 애로사슬(Critical Chain) 프로젝트 관리”, 한국정보통신진흥연구원.
6. 문형석, 장창우, 하윤석, 조영천(2005), “Discrete Event Simulation의 차량 유지보수체계의 적용

을 통한 유지보수 효율향상 연구”, 한국철도학회 2005년도 춘계학술대회 논문집.

7. Jon, W., Mike M.(2003), “A DISCRETE EVENT SIMULATION FOR THE CREW ASSIGNMENT PROCESS IN NORTH AMERICAN FREIGHT RAILROADS”, Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference.
8. Harald, K., Eric V., et. al.(2000), "SIMULATION WITHIN THE RAILROAD ENVIRONMENT", Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference.
9. Marcelo, M, F., Naguissa Y.(2005), "RAILROAD INFRASTRUCTURE SIMULATOR", Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference.
10. Elisangela, M, K.(2005), "A DISTRIBUTED MULTI-FORMALISM SIMULATION TO SUPPORT RAIL INFRASTRUCTURE CONTROL DESIGN", Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference.