

전면정비방식의 무기체계 정비공장에 대한 시물레이션 연구

신경욱¹ · 이근현¹ · 문덕희^{1†}

A Simulation Study on the Overhaul Repair Shop of Weapon System

Kyeong Wook Shin · Geun Hyun Lee · Dug Hee Moon

ABSTRACT

Overhaul and repair service means the sequential processes of disassembly, repair and reassembly for a product which has been used for a long time. Overhaul is required for the companies producing airplanes, ships, trains, military weapons and heavy industrial equipments which are very expensive and have a long life cycle. The most important performance measure of the overhaul repair shop is usually the lead time. Thus, how to design the manufacturing system to meet the delivery date is a major concern in overhaul repair shop. This paper introduces the case study of an overhaul repair shop producing military weapon systems with the 3D simulation tool, QUESTTM. At first, the characteristics of overhaul shop and what should be considered for simulation modeling are explained. Then, various simulation scenarios including two types of disassembly systems, one is flow line system and the other is cell system, are discussed with the results of simulation experiments.

Key words : Weapon system, Overhaul and repair, Manufacturing system design, Simulation

요약

전면정비란 일정기간동안 사용한 장비(기계, 설비 등)를 부품 단위로 분해하여 부품별로 수리를 한 후 재조립하는 과정을 의미한다. 전면정비는 주로 항공기, 선박, 철도차량, 무기체계, 중장비 등과 같이 수명이 길고 고가인 장비를 운영하는 과정에서 발생한다. 이러한 정비 사업에서는 리드타임(Lead Time)을 단축시키는 것이 중요하며, 납기에 맞추어 정비를 완료할 수 있도록 생산시스템을 설계하는 것이 주요 관심사이다. 본 논문에서는 전면정비를 하는 정비 공장을 대상으로 3D시물레이션 도구인 QUESTTM를 이용하여 시물레이션을 수행한 사례를 소개한다. 먼저 전면정비 공장의 공정특성과 시물레이션 모델 구축시 고려해야 하는 사항들을 중점적으로 설명하였다. 그리고 흐름생산방식과 셀생산방식 등 두 가지 해체작업 방식을 포함한 다양한 시물레이션 시나리오에 대해 시물레이션 실험을 통한 분석결과를 제시하였다.

주요어 : 무기체계, 전면정비, 생산시스템설계, 시물레이션

1. 서론

전면정비(Overhaul)란 일정기간동안 사용한 장비(기계, 설비 등)를 다시 분해하여 부품별로 수리를 한 후 재조립하는 과정을 의미한다. 일반적으로 자동차, 가전제품 등은

일부분의 교체 및 수리(Minimal Repair)로 전면정비라는 개념이 없다. 반면에 전면정비사업의 주요 대상이 되는 제품은 수명주기(Life Cycle)가 20년 이상인 매우 긴 제품들로서 기능 중심의 건설 중장비나 철도차량, 항공기, 무기체계 등 고가의 제품이다. 특히 이러한 제품들은 운영 조건이 가혹한 경우가 많다. 즉 연속 운영시간이 매우 길다든지, 아니면 운영시간은 길지 않지만 비포장도로와 같은 험한 환경에서 작업을 주로 하는 경우다. 따라서 정비 상태가 불량하여 제품성능에 이상이 발생할 경우 막대한 인명 피해는 물론 사회적 손실을 가져오는 경우가 많다. 이러한 전면정비는 그림 1과 같이 해체-정비-조립의 세 단계를 거치게 된다. 일반적으로 해체작업과 조립작업은 제

*이 논문은 2009년~2010년 창원대학교 연구비의 일부 지원에 의해 연구되었음.

접수일(2011년 5월 16일), 심사일(1차 : 2011년 8월 30일, 2차 : 2011년 9월 27일), 게재 확정일(2011년 9월 28일)

¹⁾ 창원대학교 산업시스템공학과

주 저 자 : 신경욱

교신저자 : 문덕희

E-mail: dhmoon@changwon.ac.kr

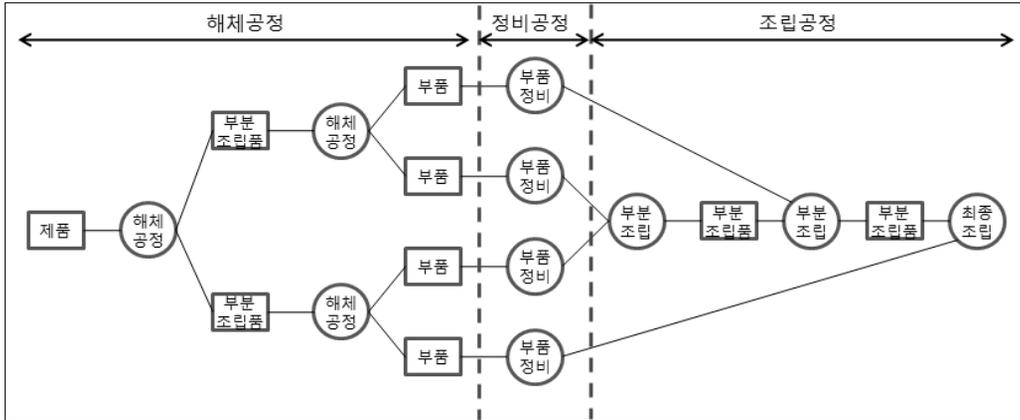


그림 1. 일반적인 전면정비의 절차

품의 특성상 대부분 작업자의 수작업에 의존하고 있다. 해체과정에서 분해된 부품(혹은 부분조립품)들은 부품별로 각각 정비과정이 다르다. 예를 들어 엔진은 분해되어 엔진 전문 업체에 보내서 정비를 한 후 입고되며, 어떤 부품은 사내에서 정비를 하게 된다. 사내에서 정비를 마친 부품의 일부는 또 다른 공정을 위해 다시 다른 정비업체로 보내지기도 한다. 이와 같이 정비를 마친 모든 부품은 조립라인으로 재투입되어 조립공정을 마친 후 검사를 하고 납품된다. 정비 사업의 경우에는 주요 공정이 설비를 이용해 수행되기 보다는 작업자에 의해 수행되는 경우가 대부분이다. 따라서 공정소요시간의 변동 폭이 크기 때문에 납기 관리가 매우 중요하다. 반면에 무기체계 등 해당 장비를 사용하는 고객 입장에서 납기 준수는 필수적이며 가급적 빠른 시간 내에 정비를 완료하여 돌려받길 원한다. 따라서 사업장의 생산능력을 고려하여 각 장비의 정비에 소요되는 시간인 리드타임(LT: Lead Time)을 예측하고, 납기에 맞추어 정비를 완료할 수 있도록 관리하는 방법이 가장 중요하다.

정비사업을 다룬 연구들은 내용면에서 크게 몇 가지 분야로 구분된다. 첫 번째는 최적 정비주기를 결정하는 문제다. 이 분야는 장비측면에서 고려하기 보다는 주요 부품단위에서 연구가 수행되었거나¹⁶⁾, 정비 비용을 최소화 시키는 정비 주기 정책에 대한 연구가^{13,15)} 주요 주제다. 두 번째는 정비 부품의 적정 재고 결정 및 아웃소싱에 대한 연구다. 정비사업의 경우 해체 후 검사결과에 따라 부품을 정비해서 재사용할 지 아니면 신제품으로 교체할 지 결정된다. 따라서 부품별로 적정 재고를 어느 정도 유지하느냐가 주요 관심사다^{2,10,11)}. 또한 모든 부품의 정비를 자체적으로 수행하는 것은 막대한 시설 과 인력을 필요로

하기 때문에 적절히 외주를 이용해야 하며, 이때 외주화 수준을 어느 정도 유지하느냐가 중요한 의사 결정사항이다⁵⁾.

마지막으로 정비사업 시스템에 대한 연구 분야다. 이 분야에서는 정비사업을 위해 생산용량 분석을 한다든지 아니면 스케줄링 관점에서 접근을 한 것이다. 이 분야의 논문은 크게 시물레이션을 활용한 연구와^{1,3,8)} 수리모형을 활용한 연구로⁹⁾ 구분이 된다. Moon 등¹⁴⁾, 장성용 등⁶⁾, 전병학 등⁷⁾은 철도차량기지의 설계과정에서 시물레이션을 활용한 사례를, 신동혁⁴⁾은 시물레이션을 활용한 정비시스템 최적화에 대한 연구를 발표하였다. 하지만 이 연구들은 철도차량기지에 대한 것으로 본 연구의 대상인 정비사업과는 공정내용에 다소 차이가 있다.

본 논문에서는 무기체계를 생산하는 한 업체의 공장을 대상으로 시물레이션 모델링 방법과 연구를 수행한 결과를 소개하고자 한다. 이 회사의 경우 향후 수년 간 정비사업의 대상 기종이 현재 2 종류에서 4 종류로 늘어나며, 동시에 정비사업 대상 물량도 현재에 비해 3배 수준으로 증가 할 것이므로 공장에 대한 대대적인 개편이 요구되고 있다. 특히 이 공장은 양산과 전면정비를 동시에 수행하기 때문에 조립라인 및 가공라인을 비롯한 일부 라인에서는 동일한 자원을 이용한 혼류생산을 하고 있다. 그 결과 물류의 흐름이 복잡하고, 관리가 어려우며, 해체부터 조립까지의 LT가 긴 문제점을 가지고 있다. 따라서 이 회사에서는 새로운 공장에 대한 설계가 진행되고 있었으며, 이에 대응하는 시물레이션 연구를 통하여 새로운 생산시스템의 설계안을 확정하기로 하였다.

본 논문에서는 새로운 생산시스템 설계를 위해 시물레이션을 도입한 과정에 대해서 설명하도록 한다. 특히 전면정비사업이 가지는 특징과 이를 시물레이션 모델로 개

발할 때 주의해야 할 사항들을 집중적으로 설명하였다. 2절에서는 연구대상의 특징과 시뮬레이션을 위한 기본적인 입력자료에 대해 설명하였으며, 3절에서는 시뮬레이션 모델에 대한 설명과 실험결과를 제시하였다.

2. 대상 시스템의 특성

2.1 대상제품

본 논문에서 고려하고 있는 무기체계는 두 종류다. 제품 A는 이미 양산은 종료되어 정비수요만 있는 제품이며, 제품 B는 양산을 하면서 정비수요도 존재하는 제품이다. 이와 같은 제품의 경우 연간 정비 수요는 현장에서 운영하고 있는 제품의 수량과 사용기간을 고려하면 어느 정도 확정적으로 사전 예측이 가능하다. 또한 고객과 회사의 협의에 의해 투입시점과 납품시기가 어느 정도 사전에 결정되고 있다. 그 이유는 앞서 설명하였듯이 정비소요기간이 고객의 입장에서는 매우 중요하기 때문이다. 또한 이 무기체계는 대형 장비이므로 작업공간의 제약이 많으며, 재공품 및 완성품 재고 공간이 많이 필요하다. 제품에 대한 상세한 자료는 보안 관계로 밝힐 수 없음을 양해하기 바란다.

표 1에 제시된 바와 같이 확정된 계획에 의해 공장으로 입고되는 무기체계는 해체를 하기 위해 근무일 기준 일정 시간 간격(x)으로 해체장에 입고된다. 해체장에 들어가는 제품 A와 제품 B의 비율은 생산량에 따라 사전에 정해져 있다. 추가적으로 제품 B 양산의 경우에는 일정한 시간간격(y)으로 조립 라인에 부품을 투입시켜 조립이 이루어지는 프로세스(Process)를 가지고 있다. 이는 조립라인에서는 정비제품과 양산제품이 같이 조립되기 때문에 조립라인에서 생산해야 하는 물량은 정비물량과 양산물량을 합해야 하기 때문이다.

2.2 공정소요시간

전면정비에 소요되는 공정소요시간은 표준공수(Standard Man Hour)로 관리된다. 총 공수는 장비의 분해, 정비, 조립에 소요되는 총 시간의 합이다. 정비대상 장비는 해체 공정에서 BOM 구조에 의해 수천 개의 부품으로 분해되

표 1. 제품의 종류와 연간 생산량

	제품 A	제품 B	계
정비대수	00 대	00 대	00 대
양산대수		00 대	00 대

어 각각 별도의 정비과정을 거친다. 하지만 시뮬레이션 모델에서 수천 개의 부품을 모두 고려하는 것이 시뮬레이션 모델을 지나치게 복잡하게 만들기 때문에 200여개 수준의 대표부품들을 선정하여 전체를 묘사할 수 있도록 하였다. 이 과정에서 총 공수를 대표부품에 대한 공수로 재분배 해 주는 공수의 배분이 반드시 필요하다. 그 이유는 대표 품목만의 공수를 반영하면 대표품목의 총 공수와 실제 총 공수가 일치하지 않기 때문에 LT 및 자원의 가동률이 축소되는 결과를 가져오기 때문이다. 대표품목은 다음과 같은 사항을 고려하여 결정하였다.

- 주요 부품
- 정비공정 경로의 다양성
- 정비 소요기간이 긴 품목
- 공용 주요자원을 필요로 하는 부품
- 정비 후 부품단위 검사유무 등

만일 어느 특정 공정에 할당된 공수가 10시간이고, 그 공정을 2명의 작업자가 같이 수행하면 공정소요시간(CT: Cycle Time)은 5시간이 된다. 해체와 조립공정의 경우 수작업을 하기 때문에 장비의 노후상태에 따라 해당 공정의 CT 변동 폭이 크다. 따라서 표 2와 같이 해체 공정 CT의 경우 관측기법을 사용 하여 데이터를 수집하였으며, 사내정비와 조립공정의 경우 ERP상에 있는 실적공수를 활용하였다. 제품 A의 외주정비의 경우 부품별로 반출 후 납품할 때까지의 기간을 과거의 실적자료를 이용하여 각각 분포를 추정하였다. 하지만 제품 B의 경우 외주 정비 시간의 자료수가 적어 공수 추정이 어렵기 때문에 제품 A의 외주 정비시간을 기준으로 설정하였다. 외주를 뺀 모든 공정은 변동성을 주기 위해서 삼각분포를 사용하였으며 ± 10%의 변동을 주어 시뮬레이션에 적용하였다.

표 2. 공정소요시간 측정 데이터

	제품 A	제품 B	비고
해체	관측자료	관측자료	3회 측정
정비	ERP 실적공수 실측자료	ERP 실적공수 실측자료	담당자 검토
외주 정비	ERP 실적공수	ERP 실적공수 제품 A 기준	담당자 검토
조립	ERP 실적공수	ERP 실적공수	담당자 검토

2.3 작업자

정비작업은 대부분 작업자의 수작업에 의해 진행된다. 특히 중장비라는 무기체계의 특성상 동시에 여러 명의 작업자가 하나의 공정을 수행하는 경우도 많다. 더욱이 특정 작업은 그 작업을 수행할 수 있는 작업자가 지정되어 있는 경우도 있다. 표 3은 공정과 해당 공정을 수행하는 작업자의 할당 사례를 보여준다. 만일 표준공수가 240분인 공정은 작업자 A 혹은 B가 담당할 수 있는데, 혼자 작업을 수행하면 240분이 소요되며, 두 명이 동시에 작업을 하면 120분이 소요된다는 의미다.

실제 생산현장에서 작업자 공정은 다양한 작업방법이 있는 만큼 실제 상황을 있는 그대로 시뮬레이션 한다는 것은 어렵다. 따라서 시뮬레이션 모델을 개발하기 위해 적절한 가정을 해야 한다. 이를 위해 회사와 협의를 하여 기준을 설정한 후 모델에 반영하였다. 또한 작업자의 이동속도는 표준속도인 609.6 mm/sec로 설정하였으며, 1일 근무시간은 8시간으로 하였다. 물론 공정에 따라서는 1일 2교대, 3교대 작업이 존재한다.

2.4 차수 운영 방식

전면 정비를 위해 정비공장에 후송되는 무기체계는 제품에 따라 1대씩 입고되고 1대씩 납품되는 경우도 있고, n대만큼 동시에 입고되어 동시에 그 n대가 납품되는 경우도 있는데 이것을 차수운영이라고 한다.

차수운영은 후송과, 납품 이외에 검사공정에서도 영향을 미친다. 특히 해체 후 부품의 폐기여부를 결정하는 검사는 외부기관에 의해 수행되기 때문에 외부기관의 일정상 n대의 해체가 완료된 이후에 묶어서 검사를 수행한다. 즉 제품이 한 대씩 해체장에 들어와 해체가 되면 많은 수의 크고 작은 부품들이 로트(Lot) 단위로 묶여서 정비와 조립라인으로 이동단위로 바뀌게 된다. 따라서 해체되어 나온 부품은 n대의 장비가 해체 완료되어 차수별 로트가 형성되어 질 때까지 버퍼(Buffer)에서 대기해야 한다. 이 과정에서 항상 차수가 n대로 구성되는 것이 아니라 n대에서 신품으로 교체가 확정된 부품의 수만큼을 제외하

표 3. 작업자의 공정할당 사례

공정명	표준공수	담당 작업자	Cycle Time
OP100	240분	작업자 A 또는 B	240분 (120분)
OP150	30분	작업자 A	30분
OP200	150분	작업자 A, C, D	50분

고 다음 공정으로 보내는 로트를 형성해야 한다. 따라서 검사 후에 새로운 부품으로 교체되는 것을 확률적으로 고려하여 매번 일정하지 않은 로트를 만들었다. 이 논리는 QUEST™에서 제공하는 SCL(Simulation Control Language)에서 구현하였다. 로트를 구성하는 논리는 아래와 같다.

- ① 해체완료 되는 장비를 Count 한다.
- ② n번째 해체 완료 때 특정 Signal을 보낸다.
- ③ Signal을 받은 특정 Source는 Dummy Part를 해체장 부품 제공 버퍼로 수량만큼 생성한 후 보낸다.
- ④ Dummy를 받은 각각의 버퍼는 전 까지 쌓여 있는 부품수를 Count 한다.
- ⑤ 제공된 부품을 하나만 남기고 제거하고 Count 된 수를 속성으로 남긴다.
- ⑥ 부품을 버퍼에서 다음 공정으로 보낸다.

그림 2는 차수 운영방식이 협력업체 정비에 미치는 영향의 예를 보여준다. 장비의 해체는 4일 단위로 이루어지고, 조립은 다른 제품과의 혼류조립 때문에 3일 간격으로 수행된다고 가정하자. 또한 해체부품이 협력업체에 운송되는 것은 차수 단위로 운송되며, 협력업체에서는 3일 간격인 조립일정에 맞추어 정비 완료 된 부품을 공급하는 상황이다.

2.5 조립라인의 혼류운영

조립라인은 1개가 있으며, 이 라인에서 제품 A, 제품 B(양산), 제품 B(정비)가 모두 혼류방식으로 조립된다. 따라서 앞에서 언급한 차수방식이 전체 정비작업의 LT에 영향을 미치게 되며, 조립라인의 투입순서 조절이 필요하다. 조립라인은 m개의 조립작업장이 직렬로 연결된 구조로 구성되어 있다. 또한 부분조립을 위한 작업장이 별도의 병렬구조 형태로 설치되어 있다.

조립작업장 사이에 재공품 저장을 위한 버퍼공간은 별



그림 2. 차수형성 이동방식의 영향

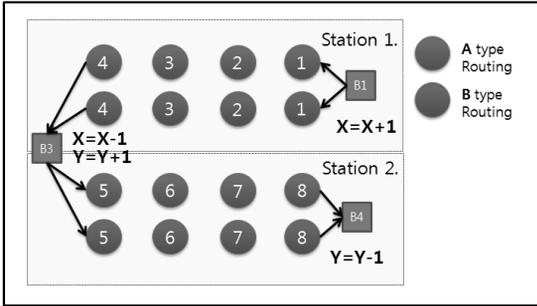


그림 3. 조립라인 작업장의 구조

도로 존재하지 않으며, 각 조립작업장에서 수행하는 공정 내용 및 소요 부품의 종류는 제품 A와 B에 따라 서로 다르다. 따라서 현실적으로는 동일한 작업장에서 두 제품의 조립이 수행되지만 시뮬레이션 모델에서는 그림 3과 같이 별도의 작업장이 존재하는 것과 같이 모델링 하였다. 대신에 한 작업장에는 하나의 제품만 투입될 수 있기 때문에 별도로 모델링 한 제품A 작업장과 제품B 작업장을 연동시켰다. 즉 1번 작업장에 제품A가 들어가면 광역변수(X)에 +1을 시키고, 작업이 종료되면 -1을 시키는 방법을 적용하여 광역변수의 값이 0이 아니면 연동된 두 개의 1번 작업장에는 어떠한 제품도 들어갈 수 없게 적용하였다. 물론 2번 작업장이 빈 경우에만 1번 작업장의 제품이 빠져 나갈 수 있다.

2.6 조립순서 임시 변경

조립작업은 조립공정도에서 규정된 순서로 진행된다. 즉 조립순서가 된 시점까지 정비가 완료된 부품이 도착하지 않으면 조립작업은 중단된다. 하지만 실제 현장에서는 해당 부품이 준비되지 않았더라도 중요한 부품이 아니면 다음 부품을 먼저 조립한다. 그 후 부품이 준비되면 빠뜨린 부품을 조립하는데, 지연된 부품의 조립순서 임시 변경은 정해진 위치까지만 가능하다.

그림 4는 이런 방식을 시뮬레이션에 어떻게 적용 하였는지를 보여준다. 1번 작업장의 공정2는 지연되는 부품이 들어와서 조립되어지는 공정이며 이 부품은 2번 작업장의 공정3이 수행되기 전 까지는 조립완료 되어야 한다. 조립 되어질 제품이 공정1을 끝내면 가상버퍼(Dummy Buffer)로 이동하게 된다. 가상버퍼에서는 지연되는 공정2의 부품의 재고 유무와 공정2 완수 여부를 확인하는데, 만일 부품이 있고 공정2를 수행하지 않았을 경우 제품은 가상버퍼에서 공정2의 CT 만큼 조립을 수행하며, 대신 작업자는 공정 2로 가서 작업을 하는 것으로 한다. 이와 같은 방법을

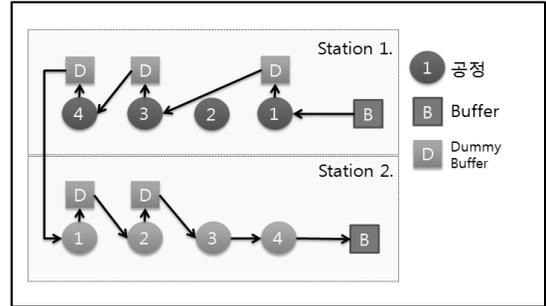


그림 4. 조립순서 임시변경 논리

사용한 이유는 QUEST™라는 도구의 특성 때문이다. 반면에 공정 2에서 조립할 부품의 재고가 없으면 제품은 공정 1의 가상버퍼에서 공정 3으로 넘어가서 다음 부품을 조립한 후 공정3의 가상버퍼로 가서 공정2의 부품이 도착했는지 확인한다. 이런 상황이 반드시 고려되어야 하는 이유는 조립라인이 공공간 버퍼가 없는 직렬라인이기 때문에 결품이 생겼다고 조립작업을 중단하면 생산량을 달성하지 못하고, 동시에 정비사업의 가장 큰 관리지표인 LT가 증가하기 때문이다.

2.7 NCR(Non Conformance Report)

엔진과 미션은 중요한 구성요소이며 전면정비의 정비 품목에 들어간다. 이 부품들의 정비는 매우 섬세하며 높은 정비기술을 필요로 하여 최종 조립 후 성능 검사를 하기 전까지는 정비 불량인지를 판별하기가 어렵다. 불량 판별이 나면 해당 제품은 해체하여 다시 정비를 수행한다. 이 경우에 조립장에 정비가 완료된 후속 호기의 부품재고가 다행이 있으면 먼저 가져다가 조립을 한다. 이를 동류 전환이라고 한다. 동류전환을 할 부품이 없으면 대기하게 된다. 실제로 본 연구 배경이 되는 공장의 경우에도 엔진 또는 미션의 정비 불량이 빈번히 일어나고 있으며 같은 제품이 여러 번의 불량을 일으키기도 한다. 이는 LT가 늘어나는 하나의 중요 원인이 되고 있기 때문에 시뮬레이션으로 구현할 필요가 있었다. 시뮬레이션에서는 과거 실적 데이터를 바탕으로 불량의 확률을 구했으며 같은 제품 기준으로 재 불량이 일어나는 확률을 고려하여 입력하였다.

3. 시뮬레이션 모델링 결과

3.1 시뮬레이션 모델 개발

시뮬레이션 모델은 Dassault Systemes™사에서 개발한 QUEST™를 사용하였다. 그림 5는 개발된 시뮬레이션

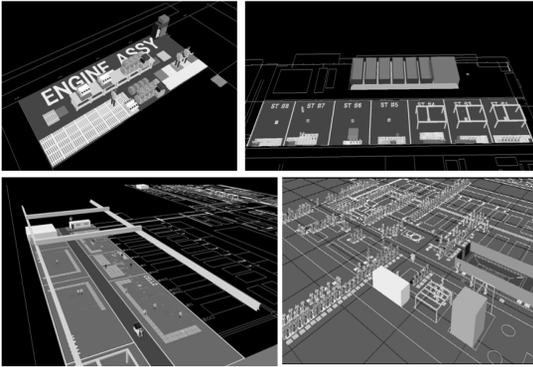


그림 5. 시뮬레이션 모델 화면

모델의 화면이다. 이 도구의 특징은 완전한 3차원(3D) 디지털 공장 환경을 만들 수 있게 도와주며, 기본적으로 지원하지 않는 논리를 SCL로 프로그래밍 해서 사용할 수 있기 때문에 자유로운 모델 개발이 가능하다. 또한 일반적으로 사용하는 3D CAD 모델을 활용함으로써 실제 작업장의 공간적 제약, 크레인이나 대차를 이용하여 제품을 운반할 때 발생하는 물리적 간섭 등을 사전에 검증할 수 있는 장점이 있으며, 비전문가들의 모델 이해도를 높일 수 있다. 물론 시뮬레이션 모델 개발에 소요되는 시간은 2D 용 도구에 길어지는 단점도 있다.

3.2 실험 시나리오

실험은 현재 상황에서 문제점을 도출하여 개선안을 작성하기 위한 단계로 그림 6과 같이 구성하였다. 주요한 검토사항은 ① 차수방식이 미치는 영향을 분석하는 것과, ② 향후 생산물량이 증가될 경우에 현재 자원의 규모로 가능할 것인 지를 분석하고 적정 규모를 예측하는 것이며, ③ 마지막으로 해체작업장을 직렬방식과 병렬방식의 두 가지에 대해 검토하는 것이다. 그리고 이러한 결과를 토대로 향후 운영해야 할 사업장의 모습을 설계하는 것이다.

개발된 As-Is 모델은 실험결과를 과거의 생산실적 지표자료들과 비교하여 검증하는 절차를 거쳤다. 각 시나리오에 대해 주요한 평가지표는 다음과 같다.

- 생산량
- 총 정비 소요기간(LT)
- 작업자를 포함한 각 자원의 가동률
- 재공품 재고수준
- 납기준수율 등

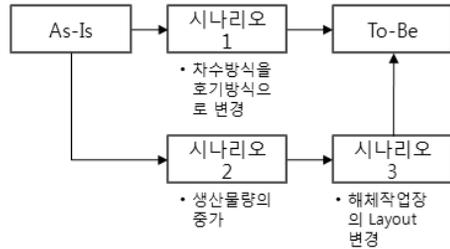


그림 6. 시뮬레이션 시나리오

3.3 실험 결과 및 분석

시뮬레이션은 Warmup Period 6개월을 포함하여 총 1년 6개월간 수행하였으며, 1일 작업시간은 8시간, 1년 256일을 기준으로 하였다. 각 모델에 대해 반복실험 횟수는 5회로 하였다.

1) As-Is 모형

As-Is 실험결과 시뮬레이션 모델은 현실 상황을 잘 반영한 것으로 검증되었다. 생산량은 목표대로 달성되었으며, 평균 LT도 과거실적과 유사한 값을 얻었다. 하지만 분석과정에서 전체 정비 LT에 영향을 주는 요인이 외주 협력업체의 정비 LT 때문이라는 점이 파악되었다. 즉 사내정비 소요시간은 전체 LT에 영향을 미치지 않는다는 것이다. 따라서 외주정비 LT의 평균과 분산이 큰 품목을 선정하여 관리를 하면 약 5% 정도의 정비 LT 감축이 가능하다는 결론을 얻었다.

2) 시나리오 1(차수방식의 변경)

차수방식으로 운영되는 제품 A를 호기방식으로 바꾸는 경우 어떠한 영향을 미치는 지를 분석하였다. 현재 해체 후 4대 단위로 차수가 형성되는 것을 1대 단위로 변경하였다. 그 결과 평균 정비 LT가 24%정도 감소하는 것으로 분석되었다. 그 이유는 해체 후 불출, 검사, 납품에서 차수대기로 인하여 길어졌던 LT가 단축되었기 때문이다.

생산량은 투입된 모든 호기가 완료되었으며, 해체장의 재공품 재고는 60% 이상 감소하여 해체장 면적의 절감이 가능할 것으로 분석되었다. 향후 물량 증가시 해체장 면적의 부족현상이 예상되었는데 이를 해결하기 위해서는 차수방식을 호기방식으로 전환해야 한다는 결론을 얻었다.

반면에 해체 후 검사에서 폐기된 고품 및 관급품 재고가 쌓이는 야적장의 면적은 큰 변화가 없었다. 그 이유는 대상제품이 무기체제이기 때문에 고품 및 관급품 처리도 외부규정에 의해 관리되고, 재고를 줄이기 위해서는 규정

을 변경해야 하기 때문이다. 이 문제는 향후 생산량이 증가될 때 심각한 야적장 부족현상을 가져올 수 있다.

3) 시나리오 2(생산물량의 증가)

As-Is의 분석 결과 작업자 사이에 업무 불균형이 있는 것으로 분석되었다. 따라서 작업자의 작업할당 변경을 통하여 생산량의 증가분을 일부 흡수할 수 있을 것으로 분석되었다. 하지만 대폭적인 생산물량의 증가가 계획되어 있기 때문에 생산라인의 전면적 개편이 필요하다. 실제로 As-Is 상태에서 2012년 생산 계획된 수량인 000대로 생산량을 2배 증가시켰을 때 자원 부족으로 인하여 조립 완료율이 34%에 지나지 않아 정상적인 생산이 불가능하다는 분석 결과가 나왔다.

4) 시나리오 3(해체방식의 변화)

시나리오2에서의 생산물량 증가를 해결하기 위해서는 우선적으로 해체장의 라인증설이 필수적이다. 해체장 라인 증설은 병렬구조를 가지는 셀(Cell) 방식과 3개의 작업장이 직렬로 연결된 흐름방식 등 두 가지를 검토하였다. 예를 들어 택트시간(Takt Time 혹은 Tact Time)이 2일인 경우 흐름방식에는 해체를 위해 2일에 1대씩 제품이 투입되지만 셀방식에서는 두 개의 병렬 셀에 각각 4일에 한 대씩 투입되면 된다. 두 방식 모두 작업자 총 정원은 동일하다.

분석결과 셀방식의 해체소요시간이 흐름방식에 비해 15% 정도 줄어드는 것으로 분석되었으며, 해체장 재공품재고면적도 15% 정도 감소하는 것으로 분석되었다. 반면에 셀방식을 사용하는 경우에 물류가 복잡해진다는 단점이 있다. 대상품목이 중량물이기 때문에 물류는 크레인과 지게차를 이용하여 수행이 되는데 크레인의 경우 운반을 위한 제약조건이 존재한다. 하지만 분석결과 셀 방식을 적용할 때 크레인의 가동률이 흐름방식에 비해 2배 정도 증가하는 것으로 예측되었지만 추가로 크레인을 설치하지 않고도 작업이 가능할 것으로 판명되었다. 셀 방식의 또 다른 단점은 해체를 위한 지그(Jig)가 두벌씩 필요하기 때문에 추가적인 투자비용이 발생한다는 점이다.

5) To-Be 모형

위와 같은 과정을 거쳐 최종 To-Be 모델을 확정하였다. To-Be 모델에서 해체방식은 셀방식을 적용하였으며, 조립라인은 흐름방식으로 하되 작업장 수를 4개에서 7개로 75% 증가시키고 작업 할당을 다시 하였다. To-Be의 경우 As-Is에 비해 생산량이 대폭 증가하기 때문에 해체,

조립라인을 제외한 다른 모든 자원들도 추가적으로 투입되어야 한다. 하지만 이 회사의 경우 장기적 관점에서 내부 작업자 수의 증가를 우려하고 있었으며, 또한 프라노 밀러 등 고가의 특수 설비들을 추가로 설치하는 것은 불가능하다고 판단하였다. 따라서 해체 부품을 모듈화시켜 정비공정을 모듈단위로 위주처리 하는 것으로 전환시켰고, 추가적인 내부 작업자 증원은 최소화시켰다.

이러한 라인 재편성의 결과 생산물량이 200% 이상 증가했음에도 불구하고 제품 A의 LT는 As-Is에 비해 31% 감소되었으며, 제품 B의 경우는 LT가 10% 정도 감소되는 것으로 예측되었다. 사내 재고면적의 경우 As-Is에 비해 10% 정도 증가 하였으며, 해체-정비-조립을 수행하는 작업자의 수는 As-Is에 비해 34% 정도 증가하였다.

4. 결 론

이 논문에서는 무기체계를 전면정비하는 작업장에 대한 시뮬레이션 연구에 대해 소개하였다. 전면정비공장은 제품이 입고되면 부품단위로 해체하여 각각의 부품을 다른 절차에 의해 정비하고, 다시 조립라인에서 분해의 역순으로 조립해야 하므로 일반적인 생산라인에 비해 매우 복잡하고, 시뮬레이션 모델링의 난이도도 매우 높다. 따라서 2절에서는 전면정비 사업장이 가지는 특징과 시뮬레이션 모델 방법에 대해 집중적으로 설명하였다.

다음으로 향후에 생산물량이 200% 이상 대폭 증가됨에도 불구하고 인력, 장비, 공간의 제약을 고려하면서 정비 LT까지 감축시켜야 하는 상황을 소개하였다. 전면정비의 경우 장비를 운영하는 고객 입장에서 볼 때 LT를 최소화 시키는 것이 중요하다. 따라서 외부요인에 의한 차수방식은 즉시 개선되어야 할 것으로 분석되었다. 또한 생산제품의 증가하였을 때 생산라인 증설은 불가피 하며 LT와 해체장 내 재공품 관점에서 병렬구조를 사용하는 것이 효율적인 것으로 분석되었다. 시뮬레이션 실험결과 LT를 줄이기 위해 차수 형성을 호기로 바꾸는 방법도 중요하지만 엔진과 미션등 주요 부품의 정비불량을 줄이는 문제도 개선해야 할 것으로 분석되었다. 또한 조립 공정에서 부품 결품현상을 줄이기 위해 해체부품에 대한 검사불합격율을 고려한 부품 안전 재고 확보와 부품 재고 현황을 협력업체와 공유 가능한 데이터베이스 구축도 고려해 볼 사안이다.

본 연구는 8개월여에 걸쳐 수행되었으며, 진행과정에서 해체공정도, 조립공정도를 전면적으로 재정비하였다. 그리고 주요 부품의 안전재고 수량이 시스템에 미치는 영

항 등 많은 분석과 실험을 수행하였지만 지면의 제약 때문에 모두 소개하지 못하였다. 또한 업체의 보안 사항 때문에 상세한 제품정보, 공정자료를 논문에 공개하지 못하였음을 양해하기 바란다.

참 고 문 헌

1. 김대운, 해병대 K-체계 정비공정 모의를 위한 TPNSIM ++ 와 SLAMII 모델링 비교연구, 석사학위논문, 국방대학원, 1997.
2. 박영택, 정비정책의 경제적 수행을 위한 최적 재고 체계, 박사학위논문, 한국과학기술원, 1986.
3. 석종진, 정비창의 전차정비능력 판단에 관한 연구, 석사학위논문, 국방대학원, 1994.
4. 신동혁, 철도차량 정비시스템 구축 최적화 및 효율적인 운영방안에 관한 연구, 석사학위논문, 충남대학교 산업대학원, 2004.
5. 손민기, 항공기 정비업무의 서비스 품질 제고를 위한 효과적인 아웃소싱 전략-국내 B사 인력 도급업체를 중심으로-, 석사학위논문, 인하대학교, 2006.
6. 장성용, 전병학, 이원영, 유재균, “시뮬레이션 기법을 활용한 열차 차량기지의 중정비 검수용량 평가,” 한국철도학회 논문집, 10(2), pp. 231-242, 2007.
7. 전병학, 장성용, 이원영, 오정, “시뮬레이션 기법을 이용한 철도차량 중정비 공장 설계검증 :디젤동차 및 발전차 중 정비 공장을 중심으로,” 한국시뮬레이션학회논문지, 18(3), pp. 23-34, 2009.
8. 전진문, 군 정비창의 Jobshop simulation model에 관한 연구, 석사학위논문, 국방대학원, 1995.
9. 지금용, 새로운 체계의 최소비용 오버홀(Overhaul)정비정책 결정에 관한 연구 :K체계를 중심으로, 석사학위논문, 창원대학교 산업대학원, 1999.
10. 함범식, “미 육군의 정비/재고관리 변화 고찰,” 전투발전, 87, pp. 231-246, 1998.
11. 홍사영, “정비부서 현장재고의 적정수준 설정에 관한 연구 :검사중대 인가품목을 중심으로,” 공군평론, 50, pp. 172-200, 1979.
12. R. Cobb, “Modeling aircraft repair turn time: Simulation supports maintenance marketing efforts,” Journal of Air Transport Management, vol. 2, no. 1, pp. 25-32, 1995.
13. K. Mohandas, D. Chaudhurri, and B.V.A. Rao, “Optimal periodic replacement for a deteriorating production system with inspection and minimal repair,” Reliability Engineering & System Safety, vol. 37, no. 1, pp. 73-77, 1992.
14. D.H. Moon, K.K. Chang and S.G. Baek, “A simulation study for the design of a train maintenance depot,” Proceedings of 2004 International Mediterranean Modeling Multiconference (MAS2004), pp. 358-364, Bergeggi, Italy, 2004.
15. J.H. Seo and D.S. Bai, “An optimal maintenance policy for a system under periodic overhaul,” Mathematical and Computer Modelling, vol. 39, no. 4-5, pp. 373-380, 2004.
16. F. Zhang and A.K.S. Jardine, “Optimal maintenance model with minimal repair, periodic overhaul and complete renewal,” IIE Transactions, vol. 30, no. 12, pp. 1109-1119, 1998.



신 경 옥 (tlsruddnr155@naver.com)

2009 창원대학교 산업시스템공학과 공학사
2011 창원대학교 산업시스템공학과 공학석사
2011~현재 삼성테크윈 근무

관심분야 : 물류체계설계, 스케줄러 개발, 시뮬레이션 응용



이 근 현 (kkulyut@naver.com)

2010 창원대학교 산업시스템공학과 공학사
2010~현재 창원대학교 산업시스템공학과 석사과정

관심분야 : 자동화설비 및 생산라인 3D 시뮬레이션 응용



문 덕 희 (dhmoon@changwon.ac.kr)

1984 한양대학교 산업공학과 공학사
1986 한국과학기술원 산업공학과 공학석사
1991 한국과학기술원 산업공학과 공학박사
1990~현재 창원대학교 산업시스템공학과 교수

관심분야 : Facilities Planning, 시뮬레이션 응용, Scheduling