

시뮬레이션을 이용한 기어드모터 생산시스템 분석

Analysis of Geared-Motor Manufacturing System Using Simulation

이 영 해*, 박 경 종*
Young-Hae Lee, Kyoung-Jong Park

Abstract

Simulation is generally used for the performance analysis and optimization of manufacturing systems. Therefore in this paper using the simulation techniques we obtain the information about the efficiency improvement and the optimization.

Because simulation optimization method is subjected to the applied field and environment the general simulation optimization method does not exist. So we do not take the fixed optimization procedure but suggest the alternative one which is modified for applied field. This procedure supplies the optimized simulation information and helps improve the productivity of Geared-Motor assembly line.

In order to optimize the manufacturing system we use two simulation languages, FACTOR/AIM and SLAMSYSTEM. The former gives the abundant output information. The latter gives the flexibility in simulation modeling.

1. 서 론

생산시스템을 새로 설계하거나 현 시스템 운영의 최적화를 위하여 시뮬레이션의 활용이 많이 행해지고 있다. 생산시스템에서 시뮬레이션을 이용하게 되는 가장 큰 이유는 시스템에서의 국지적인 변화에 대한 시스템 전체에 미치는 영향을 엔지니어나 관리자가 쉽게 이해할 수 있기 때문에 결과를 미리 예측하여 대비할 수 있다는 것이다 [9].

생산 시스템의 시뮬레이션에 대한 대표적인 기존 연구

를 살펴보면, AGV와 컨베이어에 대한 시뮬레이션이 Davis [11], Henriksen과 Schriber[12]에 의해 연구되었으며, Conway et al.[10]에 의해 재고 버퍼의 위치와 크기에 대한 연구가 수행되었다. Law와 Haider[16]는 20개 이상의 제품에 대한 생산 시뮬레이션을 수행하였으며, Law와 McComas[15]에 의해 보관소 시뮬레이션이 연구되었다. 국내의 연구를 살펴보면, 김과 이[1]에 의해 다층 PCB 공정 에 대한 시뮬레이션이 연구되었으며, 가장 최근에는 최와 서[8]에 의해 염색 공장의 시뮬레이션이 연구되었다.

본 연구에서 다루고자 하는 D사의 D.S.K. 공장은 기어

* 한양대학교 산업공학과

드모터, 즉 기어와 모터의 조립제품을 생산하는 공장이다. 기어와 모터의 부분품들이 생산라인에 도달하면 각각의 부분품들을 조립하여 기어드모터라는 완제품을 만든다.

D.S.K 공장의 기어드모터 생산 시스템은 현재 경험에 의한 판단이 지배적이므로 체계적인 관리가 안되고 있으며, 불량이나 예러가 발생할 경우 그 원인을 규명하여 해결해 내기가 어렵다. 그러므로 공정 분석이 필수적이며, 앞으로 공장확장과 자동화 및 전산화를 위해서도 체계적이고 객관적인 공정분석과 관리가 필요하다. 따라서 D.S.K 공장 기어드모터 생산시스템의 설비배치와 운용의 최적화를 위해서는 시물레이션에 의한 분석이 치열한 국제 경쟁력에서 살아남 수 있는 적절한 대책이라고 생각된다 [2, 3, 7].

현재의 생산 시스템에 대한 설비 배치는 처음에는 모터와 감속기의 단순 조립에 근거를 두고 시작했으나, 최근 전 공정의 자체 조립과 생산 요구량의 증가와 수출 물량에 대비한 생산방식과 현재 진행중인 기어 가공 작업설비의 입고시기가 압박함에 따라 현 생산 시스템의 제반 조건을 분석하여 최적운영 방안을 도출하여 기어드모터 생산의 극대화가 필요하게 되었다.

시물레이션을 이용한 생산 시스템의 최적화는 지금까지 많은 현장에서 적용되어 그 성과가 보고되고 있다. 그러나 이러한 시스템 최적화 방법은 적용하는 장소와 시간에 따라 수행척도가 다르고 많은 영향을 받기 때문에 정형화된 시물레이션 최적화 기법은 존재하지 않고 있다. 따라서 본 논문에서도 기존 최적화 절차를 따르기 보다는 D.S.K. 공장의 현 상황을 분석하고, 최적화 방안을 도출하여 분석하고자 한다[18].

본 논문의 구성은 2장에서는 대상 시스템을 분석하고, 시물레이션을 수행하여 현황을 분석한다. 3장에서는 시물레이션 모델을 개발하기 위한 방법을 제시하고, 4장에서는 최적 작업자 및 설비 선정에 관한 시물레이션을 수행하여 각 대안을 신뢰구간을 이용하여 비교하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 시스템 분석

본 장에서는 먼저 D.S.K. 공장의 공정을 설명하고 현 상황을 명확하게 분석, 진단한다. 또한 D.S.K. 공장을 최적화하기 위해서는 어떤 방법이 적절한 지를 제시한다.

2.1 공정분석

본 절에서는 D.S.K. 공장의 공정을 자세하게 설명한다. D.S.K. 공장의 기어드모터 생산라인은 전체 공정이 단계 1에서 단계 8로 나누어진다. 각각의 공정을 설명하면 <Table 2.1>과 같으며, 각 공정별로 이동하는 시간은 <Table 2.1>에 명시되지 않는 경우에 10초가 걸린다.

<Table 2.1> 공정별 작업 내용 및 작업시간

| 단계 | 명 칭 | 검 사 내 용 | 작업시간/ 작업자수 | 대기용량 |
|----|-----------------|--|----------------------|------|
| 1 | 부품 입고, 수입검사 | 부품의 수량검사, 수입검사 성적서 및 기준서 검사 | | |
| 2 | 세척검사 | 10개의 배치단위로 세척후 하나씩 풀어줌 | UNIFORM (2,7,3,7)/1 | 10 |
| 3 | 프레스 작업 | H-Bearing , 1단 기어, 2단 Pinion, L-Bearing, 저속축, Spacer 조립 | UNIFORM (4,2,5,4)/1 | 10 |
| 4 | 조립 및 AIR 누설검사 | 모터-고속링 합체, 기어 Unit 합체, Case 조립, 공기압력 조사. 불량이 5%로 발생하여, 단계 4로 이동시간이 30분 | UNIFORM (4,0,4,7)/3 | 20 |
| 5 | 시운전 및 Grease 충전 | 이상음, 진동, 소음, 회전수, 전류, 전력 확인. 불량이 5%로 발생하여, 단계 4로 이동시간이 30분 | UNIFORM (5,.,7,.) /1 | 8 |
| 6 | 견출지 부착 | 캠, 터미널 박스 조립, 주유 플러그 조립, 견출지 Taping. Overhead conveyor를 사용하여 단계 7로 이동(이동시간 2분) | UNIFORM (2,5,3,5)/1 | 6 |
| 7 | 도장 (페인 트)작업 | 페인트 작업. Overhead conveyor를 사용하여 단계 8로 이동(이동시간 40분) | UNIFORM (2,8,3,2)/1 | |
| 8 | 포장 및 창고로 이동 | 이상 유무를 확인하여 포장. 10개단위로 지게차를 사용하여 창고로 운송 | UNIFORM (6,5,7,2)/3 | 15 |

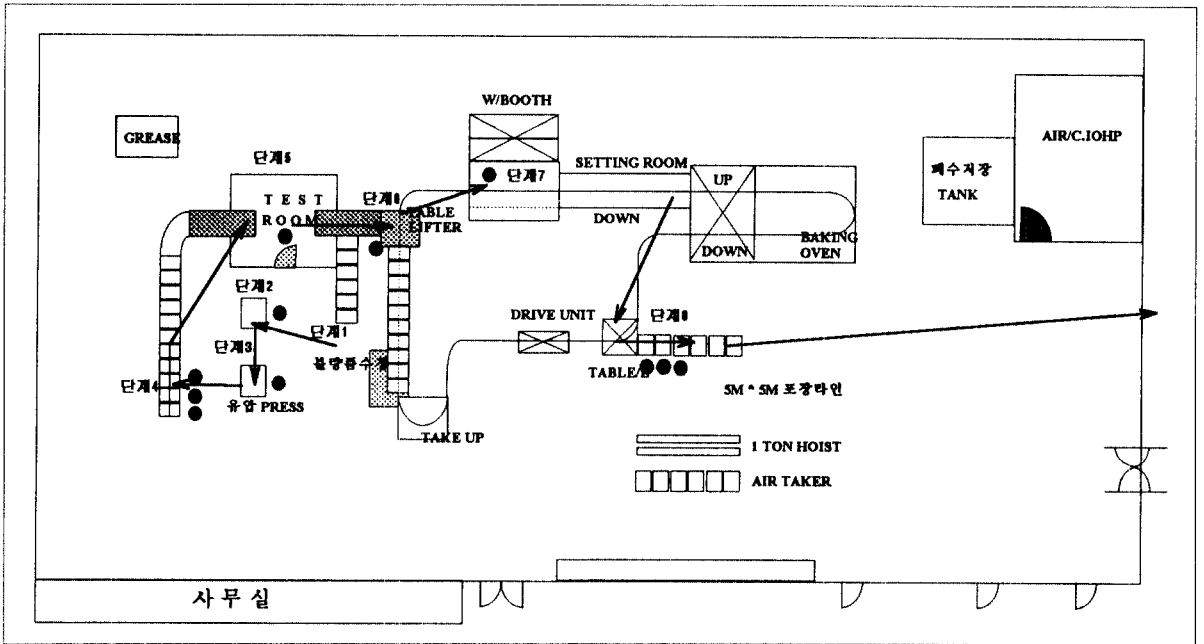
2.2 생산 라인 현황 및 분석

D사의 D.S.K. 공장의 현 상황은 다품종 소량생산 체제로 전체 생산 항목 수가 64기종인 기어드모터를 생산하

며, <Figure 2.1>에 D.S.K. 공장의 설비배치도가 있다. 현재의 생산 방식은 영업부 요청 및 생산계획에 의거 생산하고 있으나 64기종이 상황에 따라 생산 모델이 매일 다르기 때문에 생산계획을 수립하고 체계화하기가 힘들다. 즉, 각 기종에 따라서 일간 생산요구량이 다르고, 매일 생산되는 제품의 종류가 바뀌기 때문에 작업시간 전에 주어진 생산 요구량이 정규 작업시간에 끝날지, 아니면 잔업을 해야 하는지를 판단하기가 무척 어렵게 된다.

벨 작업의 후공정으로 이동해서 작업을 수행한다. 전 단계의 작업이 끝난 후, 작업자들은 페인트 작업과 포장 작업대에서 작업을 수행하는 방식을 택하고 있기 때문에 현재의 라인 운영 방식은 계획된 방법에 근거하여 수립되지 않고, 현장 작업자들의 경험에 의존하고 있으며, 정해진 생산 방식이 없기 때문에 일을 하는 작업자들의 기분과 작업 환경에 많은 영향을 받는다.

이러한 작업 환경에서 나온 작업 정보들은 너무 유동적



<Figure 2.1> D. S. K. 공장의 설비배치도

또한 현재의 생산 방식은 생산수량이 그다지 많지 않아 2.1절에서 설명한 각각의 공정별로 인원배치를 하지 않고 7명의 작업자가 상황을 판단하여 부족한 곳을 보충하며 조립 생산하고 있다. 전체 8개의 공정 중 먼저 작업자들이 라벨 작업을 하기 전 단계까지 작업을 수행하는 데, 주어진 상황에 따라서 작업자들이 유동적으로 배치된다. 즉, 작업자들의 작업 위치가 고정되어 안 되고 작업량이 많은 곳으로 작업자들이 이동을 해서 작업을 한다. 세척 작업, 프레스 작업, 조립 작업과 검사 작업을 거친 재공품들은 라벨 작업을 수행한 후 라벨 작업대 옆에 있는 임시 대기 버퍼에 저장된다. 만약, 이 대기 버퍼의 수량이 30개가 되면 현재 작업을 하고 있던 작업 위치에서 작업자들이 라

이서 생산계획을 수립할 때의 기초 자료로 사용하기에는 신빙성이 부족하며, 각 공정과 작업자들에 관한 자세한 정보를 추출하기도 어렵다. 그러므로 D.S.K. 공장의 체계적인 관리를 위해서는 시물레이션 기법의 도입이 필수적이다.

2.3 현 생산 라인의 시물레이션

시물레이션 최적화를 수행하기 위해서는 무엇보다도 먼저 현재 생산라인의 기본 자료를 분석해야 하고 정확한 시물레이션이 필요하다. 현재의 생산라인을 분석하기 위해서는 생산라인에 대한 기본 정보들이 존재하여야 하나

일반적으로 현장에서는 이러한 정보들이 문서화되어서 보관되어 있지 않다. 결국 시물레이션을 수행하기 위해서는 기초 데이터를 직접 분석자가 수집하여야 하나, 현장 작업자들과의 보이지 않는 마찰로 인하여 데이터 수집에 어려움이 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 본 연구에서는 현장 책임자의 도움을 받아 현장 책임자가 수집한 데이터를 기본 입력자료로 사용한다[5, 6, 18].

현장 책임자로부터 기초 자료를 받아서 현재 생산라인에 대한 시물레이션을 수행하기 위한 시물레이션 언어로는 AIM 과 SLAMSYSTEM을 선택한다. AIM은 유연하고 사용하기가 쉬우며, 물류 처리 모듈을 가지고 있으며 제조 시물레이션에 적당하다. 또한 AIM은 애니메이션 및 결과의 통계적 분석에 대한 자동적인 수행이 가능하다. 실제로 D.S.K. 공장의 시물레이션 최적화를 위해서는 AIM 만으로도 가능하나 AIM의 시스템 환경을 고려하여 현장에서 사용이 가능하도록 하기 위해서 SLAMSYSTEM언어로도 모델링을 하여 현장에 제공한다[4].

현재 7명의 작업자가 작업을 하고 있는 생산라인을 전체 64모델에 대해서 시물레이션을 수행한 결과 평균적으로 하루에 약 40개의 기어드모터가 생산되었다. 이러한 생산량은 공장에서 현재 생산되는 양 40개와 같은 결과를 보여주므로 시물레이션 모델의 타당성은 검증된 것으로 가정한다. 기본 모델에 대한 더 이상의 토론은 언급하지 않는데, 그 이유는 생산라인이 연속 생산 라인을 목표로 하고 있기 때문에 현재의 생산 라인의 운영방식과는 다르므로 비교 대상이 되지 않는다.

3. 모델 개발

본 장에서는 연속생산 라인으로 변환시 시물레이션 최적화를 위한 기본적인 모델 범위와 시물레이션 방법을 제시한다.

시물레이션 모델 구성시, 전체 64개의 모델을 가지고 구성하여야 하나 모델을 단순화 시키기 위해서 각 모델의 대표모델을 선정하여 시물레이션을 수행한다. 다음의 [Table 3.1]은 대표모델에 대한 기어드모터의 공정간 작업 시간 비율이다. 공정간 작업 시간 비율은 기본 모델인 0.75KW 1/60을 기준인 100으로 놓고 다른 모델에 대한 비율로 사용한다.

위와 같은 작업 시간 데이터를 수집하는 방법은 앞에서

(Table 3.1) 기어드모터의 공정간 작업 시간 비율

(단위 : %)

| 용량 (KW) | 구 분 감속비 | 세 척 공 정 | 프레스 공 정 | 조 립 공 정 | 검 사 공 정 | 견 출 지 부착공정 | 페인트 공 정 | 포 장 공 정 |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|
| 0.4 | 1/30 | 60 | 70 | 85 | 90 | 100 | 95 | 95 |
| | 1/75 | 80 | 95 | 95 | 95 | 100 | 95 | 100 |
| | 1/200 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 80 |
| 0.75 | 1/30 | 80 | 75 | 95 | 95 | 100 | 95 | 95 |
| | 1/75 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 1/200 | 120 | 120 | 105 | 105 | 100 | 120 | 85 |
| 1.5 | 1/30 | 110 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 85 |
| | 1/75 | 150 | 120 | 105 | 105 | 105 | 130 | 90 |
| | 1/200 | 200 | 140 | 110 | 110 | 105 | 150 | 95 |
| 2.2 | 1/30 | 150 | 120 | 105 | 105 | 100 | 120 | 90 |
| | 1/60 | 200 | 140 | 120 | 120 | 105 | 150 | 95 |
| | 1/200 | 300 | 160 | 150 | 150 | 105 | 200 | 100 |
| 3.7 | 1/30 | 200 | 140 | 120 | 120 | 100 | 150 | 95 |
| | 1/60 | 300 | 160 | 150 | 150 | 105 | 200 | 100 |
| | 1/150 | 400 | 200 | 200 | 200 | 110 | 250 | 110 |

도 언급했듯이 시물레이션 분석가가 데이터를 수집하지 않고, 실제 생산 담당자가 작업시간을 측정하였다. 따라서 작업시간에 대한 확률분포 추정, 평균과 표준편차의 관계 도출에 의해서 나타난 신뢰구간을 벗어난 공정 데이터의 수정없이 현장에서 보내온 데이터를 그대로 시물레이션 입력자료로 활용하였으며 작업시간은 작업자의 숙련도와 작업시간 여유율을 고려하지 않았다.

앞에서 설명한 단계 1부터 단계 8까지의 공정에 관한 시물레이션 모델을 구성하는 데 시물레이션 모델은 586-60 IBM 호환기종에서 개발한다. 또한 D.S.K. 공장의 기어드모터 생산 시스템의 시물레이션 언어로서 FACTOR/AIM 5.3.04와 SLAMSYSTEM을 사용한다. 각각의 단일 모델에 관한 분석을 할 경우에는 출력 정보가 풍부한 FACTOR/AIM을 사용하고 시물레이션 최적화 방안을 도출할 때는 모델링을 하는데 유연성이 있는 SLAMSYSTEM을 사용한다.

시물레이션되는 시간은 일간 작업시간인 7시간 50분 동안 작업을 수행한다. 작업이 종료되면 작업자들은 현 작업상태를 유지하고 다음날 다시 그 상태에서 작업을 시작한다. 전체 시물레이션 시간은 한달간의 정상 근무 시간을 25일로 산정하여, 30일간을 시물레이션한 후 5일 동안

은 안정상태에 도달하지 못하는 구간으로 간주하여 제거한다[17].

본 시뮬레이션 최적화를 통하여 연속 생산 라인에 있어서의 최대 생산량 분석 후 생산계획 등을 작성하기 위한 정보 제공 자료로 활용하고, 생산량 증가와 연속생산에 대비하여 각 공정별 시간 분석 후 적재적소에 적정 인원을 배치하기 위한 자료로 사용하고, 최대 효율을 얻기 위하여 생산라인의 부분변경이 필요한지 여부를 판단하기 위한 자료를 얻기 위해서 제안된 공정에 대한 시뮬레이션, 일간 최대 생산량, 최소 생산시간과 최적 작업자 배치 방법 등을 제시한다. 다음의 <Table 3.2>는 AIM을 사용하여 시뮬레이션 모델 구성시 생산시스템의 구성요소이다.

<Table 3.2> D.S.K. 생산라인 시스템의 구성요소 분석

| 개체(Entities) | 64종류의 기어드모터 |
|----------------------------|--|
| 자원(Resources) : 사람, 기계, 버퍼 | 단계 2: 세척 작업자, 세척 기계 단계 3: 프레스 작업자, 프레스 기계 단계 4: 조립 작업자(복수용량 자원), 조립 기계 단계 5: 검사 작업자, 검사 기계 단계 6: 견출지 작업자, 견출지 부착 기계 단계 7: 페인트 작업자, 페인트 기계 단계 8: 포장 작업자(복수용량 자원), 포장 기계 |
| 풀(Pool) | 단계 4: 조립 작업 후 불량품이 적재 단계 5: 검사 작업 후 불량품이 적재 단계 8: 최종 완제품이 적재 |
| 이동수단(Conveyor) | 단계 6: 견출지 부착 작업 후 Overhead conveyor 사용 단계 7: 페인트 작업 후 Overhead conveyor 사용 |

<Figure 3.1>은 현장에서 시뮬레이션 모델을 사용할 수 있도록 SLAMSYSTEM으로 구성된 모델이다. 각각의 모델별로 ATRIB 속성을 부여하여 작업 노드에 도착하면 FORTRAN 서브 루틴에서 들어 온 모델에 맞는 작업시간을 선택한 후 작업을 수행한다. 동시에 시스템에 체제할 수 있는 개체의 수를 최대로 보장해 주기 위해 최소한의 ATRIB를 구성하였다.

4. 시뮬레이션 및 결과 분석

본 장에서는 지금까지 설명한 모델을 시뮬레이션한 후 그 결과를 분석하고 대안을 제시한다. 본 장에서는 상황에 맞는 여러 대안들을 만들어 각각의 대안을 시뮬레이션한 후, 신뢰구간을 비교하는 방법으로 최적의 작업자 및 설비 배치 방안을 제시한다.

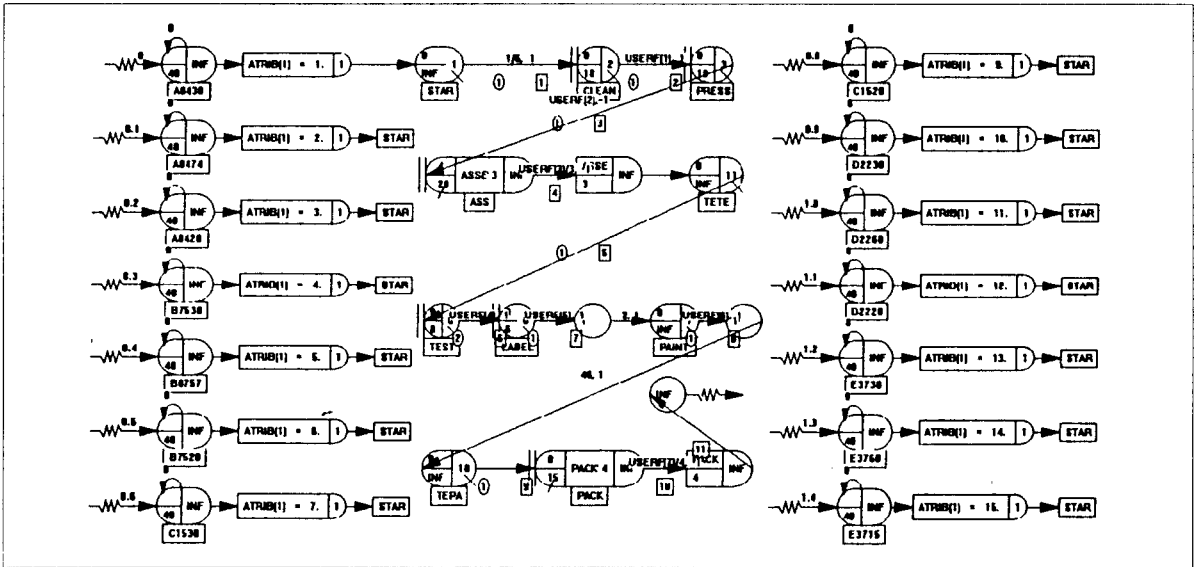
4.1 최적 작업자 및 설비 배치

본 절에서는 연속 생산라인으로 개선한 모델에서 최소 작업시간을 필요로 하는 작업자의 최적 작업위치를 제시한다. 연속 생산라인에서 작업자를 추가로 배치할 수 있는 공정은 공장의 물리적이고 논리적인 구조상 조립 라인 과 포장라인으로 제한한다. 또한 D.S.K. 공장에 새로운 설비를 추가할 수 있는 공정은 프레스 공정으로 한정한다.

최적 작업자 배치를 위해서 설정한 모델은 대표적인 15개의 전 모델을 포함하고 각각의 모델에 대해서 각 공정마다 <Table 3.1>에서 제시한 기어드모터의 공정간 시간 비율을 갖도록 시뮬레이터를 구성한다. 15개의 모델의 입력량은 각 모델별로 동일하게 40개씩으로 한정한다. 따라서 전체 개수인 600개의 개체가 시스템을 빠져나가는 시간을 비교대상으로 간주하여 작업자를 배치하는 기준에 따라서 최소 작업시간을 갖는 최적 작업 대안을 제시한다. <Table 4.1>은 앞에서 제시한 기본모델의 결과치이다.

<Table 4.1>에서의 전체 시뮬레이션 시간은 4357분으로 시간으로 환산하면 72시간 37분이 된다. 하루의 작업시간을 7시간 50분으로 기준으로 9일 2시간 7분 동안 작업을 수행하면, 600개의 제품을 만들어낼 수 있다는 결론이 도출된다. 따라서 일간 64~65개의 제품을 만들 수 있다. 작업자 정보 중, 최대 휴지 시간/사람의 정보를 살펴보면 이 용률에 따라서 휴지 시간이 반비례한다. 즉, 세척작업자의 경우, 이용률이 0.098로 매우 작으므로 최대휴지 시간이 824.08로 가장 크다.

먼저, 최적 작업자 정보를 얻기 위해 생산라인에 새로운 설비를 추가하지 않고 기존의 라인에 작업자를 투입하는 경우를 살펴본다. 기존의 라인에서 작업자를 투입할 수 있는 공정은 조립라인과 포장라인이므로 이 두 공정에 작업자를 배치하는 방법을 고려한다. <Table 4.2>는 이 두라



<Figure 3.1> SLAMSYSTEM 네트워크

<Table 4.1> 기본 모델의 시물레이션 결과치

| 자원 | 이용률 | 대기열의 길이 | | | 작업자 정보 | | |
|--------|-------|---------|-------|----|------------|------------|-----|
| | | 평균 | 표준편차 | 최대 | 최대휴지 시간/사람 | 최대작업 시간/사람 | 개체수 |
| 세척작업자 | 0.098 | 7.978 | 3.968 | 10 | 824.08 | 4.65 | 600 |
| 프레스작업자 | 0.835 | 8.227 | 3.767 | 10 | 717.03 | 3639.20 | 600 |
| 조립작업자 | 2.59 | 3.944 | 5.477 | 20 | - | - | 600 |
| 검사작업자 | 0.985 | 7.694 | 1.376 | 8 | 59.77 | 4289.31 | 600 |
| 라벨작업자 | 0.423 | 0.000 | 0.000 | 0 | 56.60 | 3.81 | 600 |
| 페인트작업자 | 0.566 | 0.000 | 0.000 | 0 | 47.58 | 7.79 | 600 |
| 포장작업자 | 2.67 | 5.388 | 5.323 | 15 | - | - | 600 |

<Table 4.2> 조립라인과 포장라인의 인원 투입 결과

(단위 : 분)

| 조립라인(명) \ 포장라인(명) | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| 3 | 4357 | 4352 | 4345 | 4353 | 4342 |
| 4 | 4348 | 4355 | 4346 | 4349 | 4345 |
| 5 | 4368 | 4371 | 4333 | 4339 | 4336 |
| 6 | 4352 | 4349 | - | - | - |
| 7 | 4349 | 4355 | - | - | - |

<Table 4.3> 프레스 설비의 추가시 결과

| 프레스 작업자 | 시 간 |
|----------|------|
| 1(기본 방법) | 4357 |
| 2 | 4358 |
| 3 | 4341 |
| 4 | 4366 |
| 5 | 4359 |
| 6 | 4381 |
| 7 | 4347 |

인에 작업자를 배치한 경우의 결과를 보여준다.

<Table 4.2>의 결과를 보면 연속생산라인에 작업자를 투입하는 방안이 가능해도 기존의 생산공정에 작업자를 투입하는 것은 전체 작업시간에 전혀 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 따라서 기존의 생산라인에 인원을 투입하는 것은 무의미하다는 결론을 내릴 수 있다.

두번째의 방법은 새로운 설비를 시스템에 추가하는 방법이다. 즉 프레스 공정에 프레스 설비를 추가할 때, 작업 시간이 줄어드는지 살펴본다.

<Table 4.3>의 프레스 설비를 추가할 때의 결과를 분석

해 보면 프레스 설비를 추가해도 실제 시스템의 수행도에 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 따라서 설비를 추가 배치한다는 대안은 좋지 않다. 세번째 방법은 프레스 설비를 추가하는 경우와 기존의 라인에 작업자를 투입하는 복합적인 경우를 분석해 본다. 이러한 결과가 [Table 4.4]에 나타난다.

〈Table 4.4〉 기존 라인에 인원 투입과 새로운 설비를 추가시 결과

| 프레스 설비 조립라인(명) | 프레스 설비 | | |
|-------------------|--------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| 3 | 4357 | - | - |
| 4 | 4342 | 4352 | 4350 |
| 5 | 4345 | 4341 | 4352 |
| 6 | 4353 | 4356 | 4354 |
| 7 | 4342 | 4337 | 4340 |

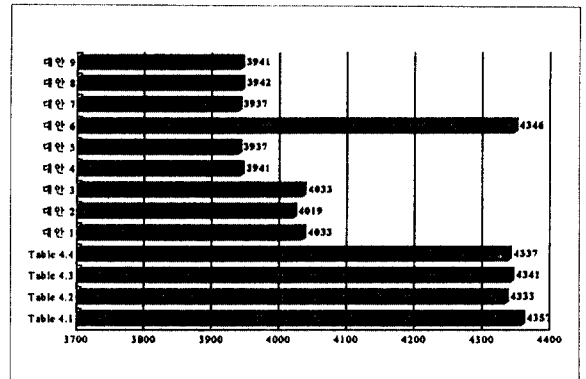
위의 〈Table 4.4〉에서 나타난 조립라인에 작업자를 추가로 투입하는 경우와 새로운 프레스 설비를 추가하는 복합적인 경우를 살펴봐도 시스템의 수행도는 전혀 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 포장라인에 작업자를 추가로 투입하는 경우와 새로운 프레스 설비를 추가하는 복합적인 경우에도 마찬가지로 결과를 보여주므로 여기서는 결과를 생략한다. 따라서, 실제로 우리가 D.S.K. 공장에서 다룰 수 있는 설비 투입 방법과 추가 작업자 투입 방법들은 전혀 시스템 수행도에 영향을 미치지 못한다는 결론을 내릴 수 있다.

마지막 방법은 지금까지 논한 대안들과 〈Table 4.1〉의 기본 모델의 시물레이션 결과치를 참고로 하여 작업자의 이용률이 0.985로 가장 높은 검사작업자를 추가할 때를 같이 고려한 대안을 분석하여 작업 시간이 감소하는지 살펴본다. 이러한 대안이 〈Table 4.5〉에서 보여진다.

〈Table 4.5〉의 복합적인 대안들의 결과를 살펴보면 몇 개의 대안에 대해서는 좋은 결과치를 제공하고 있다. 따라서 〈Table 4.1〉부터 〈Table 4.4〉까지는 각각의 테이블로 부터 가장 좋은 결과치를 선정하고 〈Table 4.5〉의 대안 1부터 9까지를 같이 그래프로 표시하면 다음의 〈Figure 4.1〉과 같이 그려진다.

〈Table 4.5〉 대안들의 조합에 따른 결과치

| 대안 | 방 법 | 시 간 |
|----|--|-------|
| 1 | 기본라인+검사작업자 1명 추가 | 4033분 |
| 2 | 포장작업자 1명 추가+검사작업자 1명 추가 | 4019분 |
| 3 | 검사작업자 2명 추가 | 4033분 |
| 4 | 검사작업자 1명 추가+프레스 작업자 1명 추가 | 3941분 |
| 5 | 검사작업자 1명 추가+프레스 작업자 2명 추가 | 3937분 |
| 6 | 프레스작업자 1명 추가+조립작업자 1명 추가 + 검사작업자 1명 추가 | 4346분 |
| 7 | 검사작업자 2명 추가+프레스 작업자 2명 추가 | 3937분 |
| 8 | 검사작업자 1명 추가+프레스 작업자 3명 추가 | 3942분 |
| 9 | 검사작업자 2명 추가+프레스 작업자 1명 추가 | 3941분 |



〈Figure 4.1〉 각 대안들의 결과치 비교

4.2 신뢰구간을 이용한 대안 비교

본 절에서는 〈Figure 4.1〉의 결과를 토대로 하여 기본모델과 각 대안들을 비교 분석하여 최적화된 대안을 제시한다. 본 연구에서는 가설 검정 방법을 사용하지 않고, 신뢰구간을 이용하여 시스템을 비교하며 접근 방법은 파라메터(parametric : normal-theory) 방법을 사용한다.

일반적으로, k개의 대안 시스템을 비교하는 방법에는 기준치와 비교(comparison with a standard), 모든 조합 비교(all pairwise comparison) 방법 등 여러가지가 있지만, 본 연구에서는 기준치와 비교 방법을 사용한다[14].

신뢰구간을 비교하는 방법에는 Paired-t 방법과 Welch 방법이 많이 사용되고 있다. X_{ij} 가 j번째 반복에서 i번째

대안의 관측치, n_i 가 i 번째 대안의 관측치의 개수이고 $Z_i = X_{1i} - X_{2i}$ 라고 정의하자. 만약 X_{1i} 와 X_{2i} 가 독립이고, $n_1 = n_2$ 이면 위의 두가지 방법이 사용될 수 있으며, $n_1 = n_2$ 이고 X_{1i} 와 X_{2i} 가 서로 독립이 아니어도 되는 경우에 Paired-t 방법을 사용하면 분산 $\text{Var}(Z_i)$ 가 많이 줄어들어 신뢰구간이 작아진다. 반면, $n_1 \neq n_2$ 경우에는 Welch 방법을 사용한다.

k 개의 대안 시스템 비교에서 기준 시스템을 1이라 하고 다른 시스템을 2,3,4,..., k 시스템이라고 한다면 모든 시스템에서 대해서 신뢰수준 $1-\alpha$ 로 $k-1$ 개, 즉 $\mu_2 - \mu_1, \mu_3 - \mu_1, \dots, \mu_k - \mu_1$ 의 신뢰구간을 구하는 것이 목적이 된다. $k-1$ 개의 개별 구간에 대한 신뢰구간을 얻으려면, 각 대안 시스템에 대해서 신뢰수준 $1-\alpha/(k-1)$ 로 신뢰구간을 얻어야 한다. 만약 $k=5$ 라고 할때, 모든 대안에 대해서 90%의 신뢰수준을 만족시키기 위해서는 $k-1$ 이 4이므로 각각의 대안에 대해서 97.5%의 신뢰수준을 만족시켜야 한다. 여기에서 구해진 $\mu_i - \mu_1$ 의 신뢰구간이 0에서 벗어나면 기준 시스템과 다르다는 결론을 내릴 수 있고, 신뢰구간에 0을 포함하면 기준 시스템과 차이가 없다고 볼 수 있다.

본 연구의 대안 분석에서는 위에서 나타난 결과의 수행 척도를 동일한 생산량을 달성하기 위해 들어가는 비용으로 판단하므로 다음과 같이 비용모형을 구성한다. 비용모형을 구성할 때 월간 추가 투입 비용과 생산량에 대한 모델을 구성하여 시스템 변화에 따른 비용계산을 수행한다. 다음은 기본적인 비용체계와 변수에 대한 설명이다.

모터 1단위당 판매이익: 40,000원/개

노동력 1단위 비용: 800,000원/월

설비 1단위 비용: 17,000,000원/10년

N: 추가되는 작업자 수

L: 추가되는 설비 수

따라서 이익 함수식 $P = [470 / (\text{작업시간} / 600) * 25 * 40,000] - [800,000N + 141,667L]$ 로 구성된다. 이익 함수식 P는 하루의 작업시간 470분(7시간 50분)을 600개의 개체를 만드는 총 시간을 구한 후, 이 시간을 가지고 한 개의 개체를 만드는 시간을 구한 후에 나누면 하루의 생산량을 구할 수 있다. 이 값에 작업일수 25일과 판매이익 40,000원을 곱한다. 이렇게 계산된 값에서 소비된 노동력 비용과 추가된 설비 비용의 합을 빼서 구성된다.

각각의 대안에 대해서 5번의 시물레이션 런을 수행하여 얻은 정보를 비용으로 환산한 데이터가 <Table 4.6>에 나타난다.

<Table 4.6>을 참고하여 주어진 조건들이 Paired-t 방법을 만족시킨다는 가정하여 Paired-t 방법을 사용하여 결과를 <Table 4.7>에 나타낸다. 전체적으로 90%의 신뢰수준을 만족시키기 위해서는 k 가 13이므로 각각에 대해서 99.17%의 신뢰수준을 만족시켜야 한다. <Table 4.6>에서 기준이 되는 대안은 Table 4.1이 된다.

위의 <Table 4.7>의 결과를 살펴보면 각각의 대안에 대해서 기준 대안 Table 4.1을 평가한 결과이므로 신뢰구간의 상한과 하한값이 모두 0이하로 나온 대안은 작업자나 새로운 설비를 추가한 경우에 기존의 생산라인보다 손해가 되는 경우이다. 반대로 신뢰구간의 상한과 하한값들이 모두 양수인 구간은 기준라인보다 작업자나 설비를 추가하면 이익이 생기는 경우이다. 앞에서 설명한 것 처럼 신뢰구간에 0을 포함한 경우에는 두 대안에 차이가 없다는 결론을 내릴 수 있으나 본 문제에서는 이러한 대안은 없는 것으로 나타났다. <Table 4.7>에서 가장 좋은 대안을 선정하면 대안 4로 기본라인에 검사작업자와 프레스 작업자를 1명씩 추가한 경우에 가장 좋은 결과를 보여준다[9].

본 연구에서 다루어지는 문제가 Paired-t 방법을 만족한다는 가정하에 Paired-t 방법을 적용하였으나 Welch 방법을 만족하는 문제는 Welch 방법을 적용하면 된다. 실제로 같은 문제를 두 가지 방법으로 풀면 결과가 약간씩은 다르게 나타난다.

대안 비교시에는 기준치와 비교 방법을 사용하였으나 모든 대안들 간의 관계를 알아보고자 하는 경우에는 모든 조합 비교 방법을 사용하면 된다.

5. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 D.S.K. 공장을 연속 생산라인으로 개선 시 상황을 고려하여 시물레이션을 수행하고, 그 결과를 분석하여 대안을 제시하였으며, 연속 생산라인에 있어서의 생산능력 분석, 각 공정별 작업자 가동률에 대한 분석을 통한 적정인원의 배치 및 운영 방법, 최적의 작업자 배치 방법, 현장에서 실시간 처리가 가능한 시물레이터 등을 제공한다.

위와 같은 출력 정보를 실제 생산 시스템에 적용하면

〈Table 4.6〉 각각의 대안의 비용

| 반복수(j) | Table 4.1 | Table 4.2 | Table 4.3 | Table 4.4 | 대안 1 | 대안 2 | 대안 3 | 대안 4 | 대안 5 | 대안 6 | 대안 7 | 대안 8 | 대안 9 |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 64723400 | 63198600 | 63078700 | 60880200 | 68981500 | 68425000 | 68039800 | 69672100 | 68803100 | 62203900 | 67861500 | 67770600 | 68730400 |
| 2 | 64383600 | 62840100 | 62706700 | 60805400 | 68585000 | 68250900 | 67901400 | 69581400 | 68712300 | 62129400 | 67643800 | 67661900 | 68676000 |
| 3 | 64693700 | 62974100 | 62825200 | 60656100 | 68791300 | 68146800 | 67987800 | 69509100 | 68766800 | 61980700 | 67843300 | 67734300 | 68567400 |
| 4 | 65112000 | 63063700 | 62989000 | 60685900 | 68670800 | 67511800 | 67763500 | 69617700 | 68676000 | 62189000 | 67607700 | 67517500 | 68495200 |
| 5 | 64590000 | 63108600 | 62485500 | 60835300 | 68619300 | 68407600 | 67729100 | 69491000 | 68603600 | 61906700 | 67770600 | 67481400 | 68603600 |
| 평균 | 64700540 | 63037020 | 62817020 | 60732580 | 68729580 | 68148420 | 67884320 | 69574260 | 68712360 | 62081940 | 67743380 | 67633140 | 68614520 |
| 표준편차 | 265771.9 | 136638.0 | 234625.5 | 118897.0 | 161084.7 | 373985.5 | 135890.2 | 75313.8 | 78019.6 | 131858.8 | 115089.3 | 128795.7 | 91903.2 |

〈Table 4.7〉 기준 시스템에 대한 각각의 대안의 99.17% 신뢰구간

| 대안 | $\bar{x}_j - \bar{x}_{Table4.1}$ | Paired-t Method | |
|-----------|----------------------------------|-----------------|----------------------------|
| | | Half-length | Confidence Interval |
| Table 4.2 | -1663520 | 480689.74 | [-2144209.74, -1182830.27] |
| Table 4.3 | -1883520 | 467340.30 | [-2350860.30, -1416179.70] |
| Table 4.4 | -3967960 | 673270.82 | [-4641230.82, -3294689.18] |
| 대안 1 | 4029040 | 571343.83 | [3457696.17, 4600383.83] |
| 대안 2 | 3447880 | 1874206.59 | [1573673.41, 5322086.59] |
| 대안 3 | 3183780 | 672441.13 | [2511338.87, 3856221.13] |
| 대안 4 | 4873720 | 514983.69 | [4358736.31, 5388703.69] |
| 대안 5 | 4011820 | 621972.78 | [3389847.22, 4633792.78] |
| 대안 6 | -2618600 | 276546.81 | [-2895146.81, -2342053.19] |
| 대안 7 | 3042840 | 639655.77 | [2403184.23, 3682495.77] |
| 대안 8 | 2932600 | 670224.03 | [2262375.97, 3602824.03] |
| 대안 9 | 3913980 | 686851.75 | [3227128.26, 4600831.75] |

참고문헌

- [1] 김만식, 이영해, “시물레이션을 이용한 다층 PCB 생산 공정의 운영 분석”, 한국시물레이션학회, pp. 17 - 24, 1, 1, 1992.
- [2] 안치호, 물류코스트, 갑진출판사, 1991.
- [3] 옥선중, 물류관리론, 기술사, 1993.
- [4] 이영해, 백두권, 시스템 시물레이션, 경문사, 1990.
- [5] 이영해, 김성식, “FMS 최적설계를 위한 시물레이션 지원 시스템”, 산업공학, 제1권 2호, pp.25-34, 대한산 업공학회, 1988.
- [6] 이영해, 김성식, 이충수, “자동생산시스템의 최적설계를 위한 시물레이터 개발”, 경영과학, 제6권 1호, pp. 85-95, 1989.
- [7] KMAC 생산시스템혁신 1본부, 혼류생산시스템, 한국 능률협회컨설팅, 1993
- [8] 최성훈, 서대석, AIM을 이용한 염색/가공 설비 투자 분석 시물레이션, 한국시물레이션학회, 4, 1, pp. 87-97, 1995.
- [9] 한국시물레이션학회, 생산·물류 시스템 시물레이션, 한국시물레이션학회, 1993
- [10] Conway, R., W. L. Maxwell, J. O., McClain, and L. J. Thmos, “The Role of Work-in-Process Inventory in Serial Production Lines”, *O. R.*, 36, pp. 229-241, 1988.
- [11] Davis, D. A., “Modeling AGV Systems”, *Proc. 1986 W.S.C.*, pp 568-574. 1986.
- [12] Henriksen, J. O., and T. J. Schriber, “Simplified Approaches to Modeling Accumulating and Nonaccumulating Conveyor Systems:”, *Proc. 1986 W.S.C.*, pp.

생산 계획을 작성하기가 쉽고 최적화된 생산 시스템을 구축할 것이라고 기대가 된다.

또한, 본 연구와 병행해서 앞으로 개선해야 하는 방향은, 연속 생산으로 개선 시 기초 자료가 미비하고 생산 시스템에 대한 제약 조건들이 구체적으로 제시되지 못했기 때문에 현장 시스템을 정확히 모델링하는 데 문제점이 있었다. 따라서 시스템을 연속 생산라인으로 개선 후 공장을 가동하여 필요한 데이터를 수집하고 제약 조건들을 찾아내서 시물레이션을 수행하면 최적화된 작업 정보가 도출될 것이다.

- 575-593, 1986.
- [13] Hoover, S. V. and Perry, R. F., *Simulation*, Addison Wesley, 1990.
- [14] Law, A. M., and Kelton, W. D., *Simulation Modeling & Analysis*, McGraw-Hill, 1991.
- [15] Law, A. M., and M. G. McComas, "How Simulation Pays Off", *Manuf. Eng.*, 100, pp. 37-39, 1988.
- [16] Law, A. M., and S. W. Haider, "Selecting Simulation Software for Manufacturing Applications: Practical Guidelines & Software Survey," *Ind. Eng.*, 31, pp. 33-46, 1989.
- [17] Lee, Y. H., Park, K. J. and Moon, K. S., "Simulation Output Analysis Using Procrustes Analysis Method", *Proceedings of New Directions in Simulation for Manufacturing and Communications*, pp. 390-396, Waseda Univ., Tokyo, Japan, Aug. 1-2, 1994.
- [18] Tompson, M. B., "Simulation Based Scheduling" Technical Report #MS90-348, *Society of Manufacturing Engineers, presented at the International Manufacturing Technology Conference(Chicago, Illinois, Sep. 7)*, 1990.

● 저자소개 ●

**이영해**

1977년 고려대학교 산업공학 학사

1983년 미국 Univ.of Illinois, 산업공학 석사

1986년 미국 Univ.of Illinois, 산업공학 박사

일본 오사카대학 전자제어기계공학과 객원교수

대한산업공학회 이사

현재 한국시뮬레이션학회 부회장

현재 한양대학교 산업공학과 교수

관심분야 : Simulation in Manufacturing, Intelligent manufacturing System

**박경중**

1992년 한양대학교 산업공학 학사

1994년 한양대학교 산업공학 석사

1995년 현재, 한양대학교 산업공학과 박사과정

관심분야 : Real-time and Intelligent Simulation, Simulation Optimization, Virtual Reality Simulation