

# 전자레인지 조립라인의 생산물류 분석 시뮬레이션

조규갑<sup>1</sup> · 문일경<sup>1\*</sup> · 윤원영<sup>1</sup> · 김영규<sup>2</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 공과대학 산업공학과 · 기계기술연구소 / <sup>2</sup>부산대학교 대학원 산업공학

## A Simulation Study to Analyze Production and Material Flow of a Microwave Oven Assembly Line

Kyu-Kab Cho · Il-Kyeong Moon · Won-Young Yun · Young-Kyu Kim

In this article, a simulation model of a microwave oven assembly line is developed to identify system parameters to improve the system performances such as work-in-process inventories, production lead time, mean earliness, mean tardiness and in-time completion rate. System parameters investigated include dispatching rules, lot sizing, setup time reduction, demand increase, productivity improvement, production scheduling, hardware characteristics, etc. The model has been developed using SIMAN simulation language which has been demonstrated to be a powerful tool to simulate complex manufacturing systems. We have suggested the results obtained to improve the system performances of an existing production line.

### 1. 서 론

최근 기업간의 경쟁이 심화되고 있고, 특히 제조업분야는 기업간의 경쟁에서 살아남기 위해 생산성 향상에 대한 노력이 지대하다. 납기의 준수, 재고의 감소, 노동력의 감소, 제품의 품질개선 등에 관심을 가지며 JIT 시스템이나 MRP, ERP 등의 생산관리기법의 도입, 공장라인의 자동화나 유연화를 추구하고 있다. 생산성 향상을 위해서는 시스템의 문제점이나 상황의 변화에 따른 시스템의 대응을 분석하고 시스템의 분석에서 밝혀진 문제점을 해결하기 위한 대안의 평가 등이 요구된다. 이러한 시스템의 분석과 평가를 실제로 시스템을 구축하여 수행한다는 것은 현실적으로 거의 불가능하므로 실제로 시스템을 구축하지 않고 모델을 만들어 시스템의 분석 및 평가를 할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션

방법이 필요하다[3].

본 연구는 전자레인지 조립라인을 대상으로 하여 기존 시스템의 수행도를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 문제점을 파악하고 대안들을 평가하여 새로운 환경의 변화에 적용할 수 있는 최선의 대안을 선정하고자 한다. 이를 위하여 전체 전자레인지 조립라인 중에서 용접라인, 도장라인, 조립라인을 연구영역으로 하고 전자레인지의 주부품인 외부케이스(Out Case)<sup>1)</sup>와 오븐캐비티(Oven Cavity)<sup>2)</sup>를 주대상으로 하여 시뮬레이션을 수행하고자 한다. 전자레인지의 경우 소비자의 기호가 다양하고 시기별로 물량이 달라지는 등 생산계획에 변동요인이 많고 또 각 라인간 부하의 균형화가 이루어지지 않아 과잉재고의 문제가 발생하고 있다. 본 논문에서는 전자레인지 조립라인의 효율적인 운용을 위하여 공정을 분석하고, 용접규칙에 따른 용접생산계획 작성을

\*문일경 교수의 연구는 교육부가 주관한 제11차 IBRD 교육차관의 신진 교수 연구기자재 연구비에 의해 지원 받았음.

<sup>1)</sup>외부케이스(Our Case): 전자레인지의 외부골격을 유지하는 철판프레임

<sup>2)</sup>오븐캐비티(Oven Cavity): 전자레인지 내부박스도 음식물을 넣는 공간

전산화하고, 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 통하여 예상되는 문제점을 도출하여 각 라인(용접, 도장, 조립라인)의 동기화를 이루어 재공품 재고의 감축을 목적으로 한다. 또한 납기관리를 위해 체류시간(Flow Time)을 구하고 용접계획과 조립생산계획에 관한 여러 가지 대안을 비교하여 최적대안을 제안함을 목적으로 한다. 본 연구를 통하여 효율적인 생산계획의 작성방법, 각 라인의 운영규칙 및 과잉재고의 처리에 대안을 선정하고자 한다.

## 2. 전자레인지 제조공정 및 문제점

본 사례연구의 대상이 된 전자레인지 조립라인은 크게 가공과 조립으로 구성되어 있고 가공에는 용접라인과 도장라인으로 구성되어 있으며 주부품은 외부케이스와 오븐캐비티이다. 전자레인지의 생산은 계획 생산으로 각 수출국별 시장의 수요를 예측하여 생산계획을 수립하여 생산을 실시하며, 생산되는 종류는 크기, 색상, 기능(전압 등)에 따라 다양하게 나누어진다. 전자레인지 조립라인의 전반적인 제조공정도를 <그림 1>에 나타내었다. <그림 1>에서 보듯이 전자레인지의 제조공정을 살펴보면 먼저 용접라인에서 오븐캐비티의 종류가 정해져 있다. 용접이 된 오븐캐비티와 외부에서 입고된 외부케이스 중 도장이 필요한 모델은 도장라인에서 도장을 하게 된다. 2개의 도장라인이 있는데, 도장1라인에서는 여러 색의 도장이 가능하고 모든 외부케이스와 일부 모델의 오븐캐비티를 도장한다. 도장이 완료된 부품은 생산계획서 정해진 조립라인으로 투입된다. 조립라인의 경우 크게 조립1부(5개의 라인으로 구성)와 조립2부(4개의 라인으로 구성)로 나누어지는데 조립1부의 경우 현재 트롤리 컨베이어를 통해 오븐캐비티를 공급하고 있다. 조립2부는 오븐캐비티를 대차를 이용하여 공급하고 있다.

현재의 전체 시스템에서의 문제점으로는 가공(용접 및 도장) 부분의 준비교체시간(Setup Time), 작업시간 등을 고려하지 않은 조립 위주의 생산계획이 운영되므로 가공과 조립이 효율적으로 연계되지 않고 있다. 현장에서는 조립의 원활한 납기 준수를 위하여 용접을 미리 진행시키며(선행생산), 도장공정의 준비교체시간의 과다로 도장공정의 로트크기를 매우 크게 유지(대로트 생산)하므로, 도장 후 재공품 재고가 많고 가공의 리드타임이 길어 조립계획 변경에 대한 대응력이 낮다. 특히 조립생산 계획자와 용접 및 도장생산 계획자 간의 정보교환이 제대로 되지 않는 문제점이 있다. 한편 물류적 측면에서 오븐캐비티와 외부케이스의 공급방법이 부적절하고 생산경로가 복잡함에 따라 자재 취급이 많아 생산계획과 운영, 재공품 과다로 인한 공간 확보문제로 인하여 전체공장 레이아웃에 많은

문제점을 내포하고 있다.

## 3. 시뮬레이션 모델링

2절에서 나타난 문제점을 시뮬레이션을 이용하여 해결하기 위해 다음과 같은 수행절차 및 방법을 따라 연구를 진행한다.

① 시뮬레이션 개념모델의 개발: 시뮬레이션을 수행하기 위한 개념모델은 생산흐름을 중심으로 개발한다. 실제의 생산라인을 분석함으로써 기초 모델을 개발하고, 이에 따라 모델의 구성요소, 변수 및 시스템 구성논리를 정의한다.

② 기본 데이터 수집 및 분석: 시뮬레이션 모델의 개발 및 시뮬레이션 수행에 요구되는 조립 생산계획, 표준작업시간, 각 라인의 모델 투입규칙, 도장라인의 트롤리 이동속도, 조립라인의 OT 공급트롤리의 이동속도, 오븐캐비티 공급트롤리의 모델 투입규칙 등과 같은 기본 데이터 및 라인 운용규칙은 현장에서 제시한 관련자료를 분석하여 적용한다.

③ 시뮬레이션 모델의 개발: 제공된 기본 데이터를 근거로 하여 시뮬레이션 모델을 개발하며, 제시된 운용규칙 대안에 대하여 실험조건을 다양하게 변화시켜 시뮬레이션을 수행하고, 그 결과를 분석한다. 사용된 시뮬레이션 전용언어는 SIMAN이며, 1982년 Pegden에 의하여 개발된 후 제조 및 물류시스템 등에 성공적으로 적용되어지고 있다. GPSS 등의 시뮬레이션 언어와는 달리 SIMAN은 컨베이어, AGV 등 제조상황을 손쉽게 묘사할 수 있으며, 모델링 부분과 실험부분이 분리되어 있어서, 다양한 실험조건 등의 변경을 보다 용이하게 실험할 수 있는 장점이 있다 [1]. 용접라인 투입규칙은 대단히 복잡하므로 Turbo-C를 사용하여 SIMAN과 연계하여 사용할 수 있도록 하였다.

④ 최적 운용규칙 대안 선정: 당해년도 3개월의 생산계획에 대하여 수행된 시뮬레이션 결과를 비교 분석하여 공정간의 재공품 재고, 설비가동률, 조립준비율(용접에서 도장까지 10시간 이전에 완성된 비율) 등의 요소를 고려하여 최적의 대안을 선정하고, 그에 따른 라인 운용규칙을 개발한다.

### 3.1 시뮬레이션 모델의 가정

본 논문에서 사용한 시뮬레이션 모델링의 기본 가정들은 아래와 같다.

① 생산계획 및 라인/설비 운영방법은 현장에서 제시한

표 1. 용접라인 현황(Tact Time, 표준생산시간, 준비교체시간)

라인명	표준생산시간(분)	Tact Time(분)	준비교체시간(분)
용접1라인	18	5	18
용접2라인	15~23	10	10
용접3라인	15	8	10
용접4라인	15	8	20
용접5라인	10	6	22
비고	모델간 상호 준비교체가 일어나지 않는 그룹도 존재함		

주) Flow Time = 용접시작에서 완료되기까지의 세부용접작업의 총 소요시간

Tact Time = 한 단위를 생산하고 다음 단위를 생산할 때까지의 시간간격

표 2. 도장2라인 준비교체시간 및 방법

ITEM	O/C→O/V							O/C→O/V		O/V→O/V		O/V→O/V	
	○							○	×	○	×		
색상변경	유→유						×	유→백	백→백	백→유	백→백	×	
	유→유		유→백		백→유			유→백	백→백	백→유	백→백		
BOOTH 변경	○	×	○	○	○	○	○	×	○	×	×		
RESETTING	○	×	○	×	○	×	×	×	○	×	×		
트롤리 JIG 간격	15	15	15 <sup>③</sup>	15 <sup>②</sup>	15 <sup>④</sup>	15 <sup>④</sup>	5	30	15	30	30	15	2
LINE STOP (단위: 분)	30 <sup>①</sup>	5	30	-	30	5	-	-	5	-	-	5	-

□) - O/C: 외부케이스, O/V: 오픈캐비티

- ○: 변경

- ×: 변경 안 됨

- RESETTING: 변경된 BOOTH의 기존 색상 변경

예외) ① C→B로 BOOTH 변경할 때 작업중인 COLOR가 BROWN계와 BLACK의 경우: 30 트롤리 JIG

동일 GROUP COLOR 1: BROWN계와 BLACK

동일 GROUP COLOR 2: B BOOTH내 나머지 COLOR

② B→A로 BOOTH 변경할 때 작업중인 COLOR가 BROWN계와 BLACK의 경우: 30 트롤리 JIG

③ B→B일 경우 GROUP간 COLOR 변경은: 30 트롤리 JIG

④ A→B로 BOOTH 변경할 때 작업할 COLOR가 BROWN계나 BLACK일 경우: 30 트롤리 JIG

생산계획자료를 기준으로 한다.

- ② 제품불량, 설비고장, 자재 품질현상 등으로 인한 설비가동시간의 지연이나 제작업 등의 요인은 포괄적인 가동률로 반영한다.
- ③ 용접라인 투입규칙은 제시된 조립 생산계획에 따라 C언어를 이용하여 외부프로그램으로 개발, SIMAN과 연계하여 사용한다.
- ④ 시뮬레이션 수행에 사용된 생산계획 데이터는 3개월 동안의 실적 생산계획 및 향후 4년 간의 장기물량 변동비율을 적용한 생산계획자료를 기준으로 한다.

생산되는 모델의 분류는 현재 생산되고 있는 전자레인지의 전체 제품모델을 대상으로 하여 시뮬레이션의 효과적인 수행을 위해 공정순서, 공정흐름, 준비시간 필요유무 등을 고려하여 재분류하였다.

시뮬레이션에 사용된 입력자료를 정리하면 다음과 같다.

- ① 생산계획자료: 생산계획은 현장에서 제시한 자료를 기준으로 하였다. 3개월의 생산계획과 향후 4개년의 장기물량에 의한 생산계획에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 현장의 실제 생산계획 데이터는 제품모델명과 수량만 가지고 있는데, 시뮬레이션을 수행하기 위해 C언어로 용접 규칙을 실행시켜 본 시뮬레이션용 입력데이터 파일로 변환하여 사용하였다. 변환된 생산계획 입력자

3.2 입력데이터의 내용과 분석

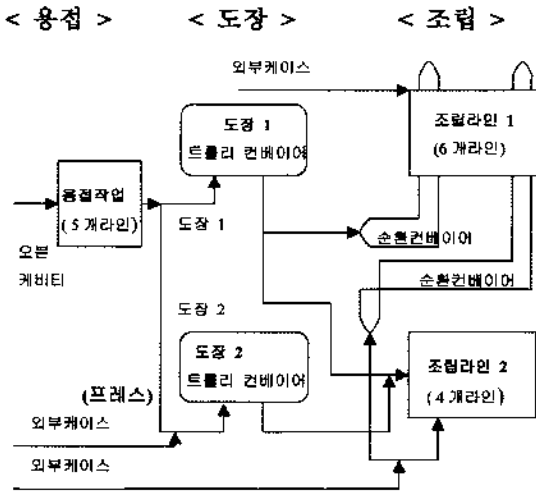


그림 1. 전자레인지 생산라인의 공정도.

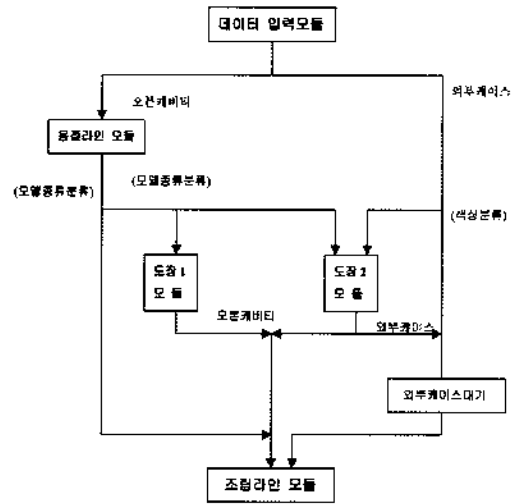


그림 2. 전체 시스템의 시뮬레이션 모델구성.

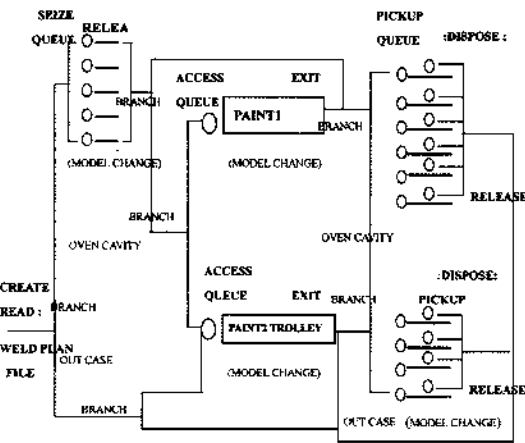


그림 3. SIMAN을 위한 전자레인지 생산라인의 공정도.

표 3. 조립라인의 표준생산시간과 Tact Time (단위: 분)

조립라인	표준생산시간 (MIN, MAX)	Tact Time (MIN, MAX)
조립1부 1라인	(28, 32)	(10, 30)
조립2부 2라인	(29, 31)	(5, 10)
노립1부 3라인	(30, 36)	(5, 15)
조립1부 4라인	(28, 32)	(10, 15)
조립1부 5라인	(30, 34)	(10, 25)
조립1부 6라인	(27, 31)	(5, 10)
조립2부 1라인	(25, 29)	(2, 10)
조립2부 2라인	(35, 41)	(5, 10)
조립2부 3라인	(40, 46)	(10, 10)
조립2부 4라인	(38, 46)	(5, 5)

료는 현장에서 사용되는 모델명 그리고 수량(로트크기)과 함께, 부품의 종류, 색상, 용접라인, 조립라인에 대한 정보, 외부케이스의 도장유무와 납기, 조립라인별 조립순서, 분할된 로트의 수에 대한 정보가 다음과 같이 포함된다.

(현장 모델번호)(부품의 종류 + 수량)(색상 + 용접 가능라인 + 조립 가능라인)(납기)(조립라인별 조립순서)(분할된 로트의 수)

- ② 라인별 입력정보(Tact Time, 생산소요시간, 준비교체시간): 현장에서 제시한 모델과 라인에 따른 표준작업시간자료에 각 라인에 할당된 모델과 물량을 고려하여 각 라인의 표준작업시간을 결정하였다. 각 라인별 Tact Time(T/T)과 표준생산시간(Production Time) 및 준비교체시간(Setup Time)의 현황은 다음과 같다.

**용접라인:** 용접라인에서 5개 라인 중 4개는 표준생산시간이 일정하지만 하나의 라인은 모델별로 생산시간이 다르다. 준비교체시간이나 Tact Time은 라인별로 일정하다 (<표 1> 참조).

**도장라인:** 도장라인은 트롤리 컨베이어로 작업이 진행되는데 2개 라인이 있다. 도장1라인은 백색만 도장하기 때문에 준비교체시 트롤리 JIG를 2칸을 비우고 트롤리 컨베이어의 길이는 384m이고 속도는 5m/분이다. 도장2라인은 색상에 따라 준비교체시간이 달라진다. 도장2라인에서의 준비교체시간 및 방법은 상당히 복잡하며 요약하면 <표 2>와 같다. 예를 들어 백색의 외부케이스를 도장하다가 유색의 오븐캐비티를 도장하며, Booth 변경이 필요하고 변경된 booth의 기존 색상을 변경해야 되는 경우에는 트

롤리 JIG 간격을 15칸 띄우고 Line을 30분 정지하는 만큼 준비교체시간이 필요하다는 것이다. 도장2라인의 트롤리의 길이는 512m이고 속도는 5m/분이다.

조립라인: 조립라인은 Tact Time과 표준생산시간은 공장에서 제시된 자료에 근거하여 다음의 <표 3>과 같이 입력하였다 (현장에서는 최소, 최대, 평균의 자료가 가용하고, 그 구간의 값이 발생할 가능성을 거의 균등하게 생각

하고 있으므로 일양분포(Uniform Distribution)를 가정함).

### 3.3 모델링 및 프로그래밍

본 논문에서는 크게 두 가지의 측면에서 시스템을 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였다. 첫째는 용접라인, 도장라인, 조립라인을 포함하는 전체 시스템을 대상으로 한 시뮬레이션

```

STATION 26: painting 1
QUEUE, 72:
SCAN: nq(43)=0
DUPLICATE: (amod(a(2),10000))-1:
BRANCH, 1:
    if, all(aint((amod(a(2),10000))/3), comb1:
    else, comb2:
comb1 ASSIGN: a(4)=a(4)+3
    QUEUE, 41:
    COMBINE: (amod(a(4),10)): NEXT(inc):
comb2 ASSIGN: a(4)=a(4) + amod((amod(a(2),10000)),3)
    QUEUE, 42:
    COMBINE: (amod(a(4),10)): NEXT(rel):
inc ASSIGN: all=all+1:
    bat26=bat26 + (amod(a(2),10000),rel:
BRANCH, 1:
    if, bat26==(amod(a(2),10000)), rel:
    else, inc2:
rel ASSIGN: bat26=0: all=0:
inc2 BRANCH, 1:
    if, aint(a(1)/1000)<modeltype, setup:
    else, direct1:
setup DUPLICATE: 1, direct1: NEXT(dummy1):
direct1 ASSIGN: modeltype=aint(a(1)/1000): NEXT(direct4):
dummy ASSIGN: a(1)=0:
    DUPLICATE: unit(1)-1:
direct4 QUEUE 43:
ACCESS: trolley1, cellsize:
CONVEY: trolley1, 28:
    
```

그림 4. SIMAN 프로그램의 예 (Model Frame 중 도장라인 앞)

```

begin, no:
PROJECT, add1, LG_OBU2, LG_Team
ATTRIBUTES: 1, model: 2, oc_ov_batch: 3, color_weld_assm: 4, due-hanger: 5, arrtime: 6, sss:
VARIABLES: cellsize, 1: bat26: bat27:
    attime1(10), 28, 29, 30, 28, 30, 24, 25, 22, 40, 38:
    attime2(10), 32, 31, 36, 32, 34, 28, 29, 26, 46, 46:
...
RESOURCES: assembler(10), sched(1): temp(3): weld(5), sched(1):
STATIONS: 1, al: ..., 26, painting1: ...
SEGMENTS: 1, painting1, endpoint1-362:
    2, painting2, endpoint2-483:
CONVEYORS: 1, trolley1, 1, 4.06, . . . ,:
    2, trolley2, 2, 4.01, . . . ,:
COUNTERS: 1, part1: ...
DSTATS: nq(31), OC_Q1: ...
FILES: 1, data, "/user1/siman/LG/r1.dat", seq, fre, dis: ...
REPLICATE, 1, 0, 13200, . . 1200:
    
```

그림 5. SIMAN 프로그램의 예 (Experiment Frame 중 일부)

이며 들체는 도장공정 후 조립라인에의 외부케이스 투입방법에 따라 재공품 재고, 리드타임이 영향을 받을 것으로 간주되므로 설비의 효율, 재공품 재고, 리드타임 등에 관한 정확한 정보를 도출하기 위해 공급방법을 트롤리 컨베이어(Trolley Conveyor)를 이용한 모델과 슈트 컨베이어(Chute Conveyor)를 이용한 모델로 조립라인을 묘사한 시뮬레이션 모델이다. 각 제품모델은 미리 결정된 가공순서에 따라야 한다. 본 논문에서의 모델링조건으로는 라인운영 및 설비 선택방법을 현재의 방식을 그대로 사용하며 입력자료는 담당부서에서 제시한 자료를 기준으로 하고 시뮬레이션 모델의 수행범위는 용접에서 조립까지이며 설비고장률, 불량률, 자재품절은 가동률로 반영하였으며 생산물량은 3개월 동안의 실제 물량을 사용한다. 개발된 시뮬레이션 프로그램을 구성하는 모듈들을 도식적으로 요약한 것이 <그림 2>이며, SIMAN으로 시뮬레이션 프로그램을 작성하기 위하여 상세히 설명한 것이 <그림 3>에 나타나 있다. SIMAN에 의한 시뮬레이션 모델의 Model Frame과

Experimental Frame의 일부를 <그림 4>와 <그림 5>에 나타내었다.

### 4. 시뮬레이션 실험결과

#### 4.1 기존 상황 시뮬레이션 결과분석 (실험 1)

현상황의 실험조건은 용접, 도장, 조립라인을 모두 일일 10시간 가동하고 조립계획에 따라 조립라인에서 생산하도록 하였다. 한 달 동안의 생산계획에 대하여 실험하였으며, 초기 2일의 자료를 warm-up 기간으로 설정하였다. 실험결과를 보면 도장 후 평균 재공량은 9,330개로 약 10시간의 과잉재고를 가지고 있으면서도 도장 2설의 조립준비율은 약 90% 정도이고 조립완료까지의 생산리드타임은 약 2일이 소요된다. 초기 물량 투입 및 부적절한 생산순서가 조립전의 재공품 재공량의 증가를 가져오고 있다. 이 결과를 기준하여 볼 때 과잉재고와 생산리드

표 4. 실험 1의 결과값

	재공량			조립공급 통계량			Flow Time
	평균	90% 상한값	95% 상한값	조립 준비율	지연시간 평균	조기완료시간 평균	
용접 후 도장 전	1,487	2,792	3,151				
도장	1라인			96.7%	2분	203분	400분
	2라인			91.1%	14분	174분	440분
도장 후 조립 전	9,330	13,490	14,635				
조립	1부						1,186분
	2부						1,933분

1. 재공량은 오픈캐비티를 기준으로 산출된 것임
2. 90%, 95% 상한값 : 재공량 통계값에 대한 90%, 95% 신뢰구간의 상한값
3. 조립준비율 : 용접에서 도장까지 10시간 이전에 완성된 비율
4. 지연시간 평균 : 10시간 이전에 완성된 로트의 지연시간의 평균
5. 조기완료시간 평균 : 10시간 이전에 완성된 로트의 조기완료시간의 평균
6. Flow Time : 용접시작 시점부터 도장완료 또는 조립완료까지의 로트의 생산리드타임
7. 생산량은 실제자료를 가공한 가상의 자료임
8. 공란은 해당 사항 없음

표 5. 실험 2의 결과값

	재공량			조립공급 통계량			FLOW TIME
	평균	90% 상한값	95% 상한값	조립준비율	지연시간 평균	조기완료시간 평균	
용접 후 도장 전	1,672	3,787	4,369				
도장	오픈캐비티						
	외부케이스						
	도장1라인			99.2%	0.2분	355분	247분
	도장2라인			83.7%	68분	277분	393분
도장 후 조립 전	6,586	10,508	11,587				
조립	1부						784분
	2부						1,207분

표 6. 실험 3의 결과값

	재공량			조립공급 통계량			FLOW TIME
	평균	90% 상한값	95% 상한값	조립준비율	지연시간 평균	조기완료 시간 평균	
용접 후 도장 전	1,672	3,787	4,369				
도장	오븐캐비티						
	외부케이스						
	도장1라인			99.2%	0.2분	355분	247분
	도장2라인			83.7%	68분	277분	393분
도장 후 조립 전	5,291	8,858	9,840				
조립	1부						734분
	2부						986분

타임을 줄일 수 있는 방안을 강구해야 하며, 추후 실험에 이를 반영하였다(<표 4> 참조).

4.2 소로트화의 효과분석 (실험 2)

소로트화의 실험조건은 평균 로트의 크기만 100, 200, 400으로 도장라인에 따라 분할하고 다른 조건은 실험 1과 같다. 평균 재공량은 용접 후에는 다소 증가하나 도장 후에서 상당히 감소하여 전체적으로 약 20%의 감소효과가 있으며 생산리드타임도 단축된다. 특히 조립완료까지의 생산리드타임을 급격한 감소를 보이고 있다. 그러나 도장2라인의 10시간 이전 생산완료분이 83.7%로 소로트화로 인하여 도장2라인의 준비교체횟수를 증가시켜 소로트화를 위해서는 도장2라인의 준비교체시간 단축활동이 절실히 요구된다(<표 5> 참조).

4.3 준비교체시간 단축효과분석 (실험 3)

실험 2의 실험조건에서 용접의 준비교체시간을 10% ~ 15%, 도장2실의 준비교체시간은 정지시간을 30분에서 25분으로 줄

여 실험하였다. 실험 2의 실험과 비교하여 미미한 정도의 향상을 보이고 있다. 용접의 준비교체시간 단축의 효과보다는 도장2실의 단축효과가 결과에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 따라서 도장2실의 준비교체시간 단축활동이 절실히 요구된다. 참고로 일본 자동차공장, 가전업체, 중공업현장 등에서 준비교체시간 단축사례는 Shingo[2]를 참조하기 바란다. 도장2라인의 준비교체시간 단축이 기술적으로 불가능하거나, 미미하다면 용접의 준비교체시간 단축효과는 작다.

4.4 조립 Tact Time 단축효과분석 (실험 4)

조립작업자의 생산성 향상, 조립방법 및 공구의 개선 등으로 조립작업시간을 단축하게 되면, Tact Time이 줄어들 수 있기 때문에 실험 2의 실험조건에서 조립의 Tact Time을 10% 단축하여 실험하였다. 실험 2의 결과와 비교해서 조립완료까지의 생산리드타임을 감소와 도장 후 재공의 감소효과가 나타났다.

4.5 트롤러 컨베이어 길이단축효과 분석 (실험 5)

표 7. 실험 4의 결과값

	재공량			조립공급 통계량			FLOW TIME
	평균	90% 상한값	95% 상한값	조립준비율	지연시간 평균	조기완료 시간 평균	
용접 후 도장 전	1,672	3,787	4,369				
도장	오븐캐비티						
	외부케이스						
	도장1라인			99.2%	0.2분	355분	247분
	도장2라인			83.7%	68분	277분	393분
도장 후 조립 전	5,291	8,858	9,840				
조립	1부						734분
	2부						986분

컨베이어 길이의 단축은 단축된 컨베이어의 길이에 해당되는 평균 재공량의 단축 정도의 효과밖에 없을 것으로 예측하였다. 이를 확인하기 위하여 실험 2의 실험조건에서 도장2라인의 트롤러 컨베이어의 길이를 512m에서 400m로 단축하여 실험하였으며, 400m라는 조건은 임의로 선택되었다. 실험 2의 결과와 비교해서 도장2실과 조립2부의 생산리드타임 단축의 효과와 작지만 (감축된 JIG수에 타고 있는 평균 재공량만큼 감소) 도장2실의 조립준비율의 향상효과가 있으나, 전체적으로는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

4.6 용접라인 운영규칙 효과분석 I (실험 6)

실험 1의 실험조건에서 입력데이터를 조립라인에 대한 전용 용접라인 배정 후 조립계획순서로 용접라인에 투입하도록 하며 조립라인에서는 조립 생산계획대로 생산한다. 그리고 로트의 크기는 도장1라인은 100개 도장2라인은 400개로 하여 실험하였다. 평균 재공량은 실험 1과 비교해서 감소효과가 있고 도장 및 조립까지의 생산리드타임의 감소 및 조립준비율 100%

달성의 결과가 나온다. 하지만 기존의 각 용접라인은 생산할 수 있는 모델이 한정되어 있기 때문에 각 용접라인을 조립라인에 대응시킴으로써 해당 조립라인에서 생산 가능한 모든 모델들을 용접 가능하게 하기 위해서는 용접라인의 유연성을 높이기 위한 tool의 추가 투자가 필요하거나, 조립라인의 생산 가능 모델 한정 등의 제약이 따른다.

4.7 용접라인 운영규칙 효과분석 II (실험 7)

실험 1의 실험조건에서 용접을 고려한 조립 생산계획으로 운영하며 로트의 크기를 도장1라인은 100개 도장2라인은 400개로 하여 실험하였다. 용접을 고려한 조립 생산계획이란 주어진 일일 조립물량하에서 용접의 생산성을 향상시킬 수 있는 투입순서를 구하여 조립의 순서계획을 지정하는 방법이다. 평균 재공량은 실험 1과 비교해서 50% 정도의 감소효과가 있고 도장 및 조립까지의 생산리드타임의 감소 및 조립준비율 95% 달성의 좋은 결과가 나왔다. 생산계획 작성시 각 조립라인별 1일 생산계획을 수립하여 운영하면 현실적으로 가능하리라고

표 8. 실험 5의 결과값

	재공량			조립공급 통계량			FLOW TIME
	평균	90% 상한값	95% 상한값	조립준비율	지연시간 평균	조기완료 시간 평균	
용접 후 도장 전	1,672	3,787	4,369				
도장	오븐캐비티						
	외부케이스						
	도장1라인			99.2%	0.2분	355분	247분
	도장2라인			84.3%	62분	302분	363분
도장 후 조립 전	6,582	10,491	11,566				
조립	1부						781분
	2부						1,191분

표 9. 실험 6의 결과값

	재공량			조립공급 통계량			FLOW TIME
	평균	90% 상한값	95% 상한값	조립준비율	지연시간 평균	조기완료시간 평균	
용접 후 도장 전	1,421	2,955	3,378				
도장	오븐캐비티						
	외부케이스						
	도장1라인			100%	0분	367분	234분
	도장2라인			99.6%	0.1분	264분	335분
도장 후 조립 전	2,472	3,313	3,545				
조립	1부						509분
	2부						761분



판단된다.

4.8 설비 고장정지가 미치는 영향분석 (실험 8)

실험 7의 실험조건에서 도장1라인의 설비가 한 달에 60분씩 고장이나 정지하는 것을 묘사하여 실험하였다. 설비고장이 미치는 영향은 실험7을 기준으로 비교해볼 때 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

4.9 장기물량 변동의 영향분석 (실험 9)

실험 7의 실험조건에서 향후 3년후 증가 예상물량을 고려한 생산계획을 입력데이터로 하여 수행하였다. 결과를 보면 도장 전의 재공량은 증가 예상물량으로 인하여 재공품 재고가 적지만 도장 후 조립 전의 재고량은 상당히 증가한다. 그리고 도장2라인의 가동률이 떨어지므로 도장1라인과 도장2라인간의 라인균형을 향상시킬 수 있는 도장 운영규칙의 개선방안이 필

표 10. 실험 7의 결과값

	재공량			조립공급 통계량			FLOW TIME
	평균	90% 상한값	95% 상한값	조립준비율	지연시간 평균	조기완료시간 평균	
용접 후 도장 전	1,627	3,718	4,293				
도장	오븐캐비티						
	외부케이스						
	도장1라인			95.9%	2분	342분	263분
	도장2라인			96.7%	0.8분	297분	304분
도장 후 조립 전	3,689	4,934	5,276				
조립	1부						512분
	2부						1,021분

표 11. 실험 8의 결과값

	재공량			조립공급 통계량			FLOW TIME
	평균	90% 상한값	95% 상한값	조립준비율	지연시간 평균	조기완료시간 평균	
용접 후 도장 전	1,745	4,017	4,642				
도장	오븐캐비티						
	외부케이스						
	도장1라인			93.4%	5분	333분	257분
	도장2라인			96.8%	8분	297분	304분
도장 후 조립 전	3,674	4,889	5,223				
조립	1부						525분
	2부						1,022분

표 12. 실험 9의 결과값

	재공량			조립공급 통계량			FLOW TIME
	평균	90% 상한값	95% 상한값	조립준비율	지연시간 평균	조기완료시간 평균	
용접 후 도장 전	1,341	3,355	3,909				
도장	오븐캐비티						
	외부케이스						
	도장1라인			99.5%	0.1분	366분	236분
	도장2라인			100%	0분	341분	260분
도장 후 조립 전	6,436	9,625	10,503				
조립	1부						593분
	2부						1,137분

표 13. 실험 10의 결과값

	제공량			라인	시간가동률	FLOW TIME	생산실적
	평균	90%상한값	95%상한값				
Trolley	3,784	5,258	5,748	조립1부1라인	92.8%	412분	2,543
				조립1부2라인	93.8%	367분	2,673
				조립1부3라인	83.9%	236분	2,133
				조립1부4라인	95.4%	314분	2,690
				조립1부5라인	97.3%	830분	2,567
				조립1부6라인	93.7%	404분	2,742
				합 계			15,348
Chute	3,164	4,472	4,845	조립1부1라인	93.1%	235분	2,556
				조립1부2라인	93.9%	281분	2,680
				조립1부3라인	84.7%	224분	2,146
				조립1부4라인	95.6%	279분	2,699
				조립1부5라인	97.9%	659분	2,579
				조립1부6라인	93.9%	395분	2,746
				합 계			15,406

요하다

4.10 물류 Hardware 공급방법 비교실험 (실험 10)

본 실험은 슈트 컨베이어와 트롤리 컨베이어의 비교를 위하여 앞에서 사용한 시뮬레이션 모델과는 별도로 조립라인만을 분리하여 만든 시뮬레이션 모델로 실험한다. 조립품질의 영향을 분석하기 위해 조립라인은 1일 8시간 가동하였다. 트롤리 컨베이어는 조립작업자의 머리 위로 순환하는 컨베이어이며, 해당작업물이 빼내어지지 않아도 다시 한 바퀴를 순환해서 오는 컨베이어이다. 따라서 공간은 효율적으로 사용하지만, 작업자가 속도를 못 맞추는 경우 다시 해당 작업물이 올 때까지 기다려야 하는 특성을 가지고 있다. 슈트 컨베이어는 해당물이 순서대로 쌓인 후 작업장 앞에서 기다리게 만들며, 조립작업자의 속도에 맞추는 효과가 있다. 슈트 컨베이어가 트롤리 컨베이어보다 제공, Flow Time, 조립 품질확률 감소의 효과가 있음을 시뮬레이션 결과는 보여주고 있다.

5. 결론

본 논문은 전자레인저 생산라인과 관련하여 용접라인, 도장라인 및 조립라인으로 구성된 전체시스템 및 도장 후 조립라인에의 공급방법 (트롤리 컨베이어, 슈트 컨베이어, 대차 등이 가능)에 대하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과를 분석하여 효율적인 용접라인 투입운용 규칙과 오픈캐비티 공급방법 등을 제시하였다. 로트를 도장라인에 따라 소로트로 분할한 경우 재

공품 재고가 감소하는 효과를 볼 수 있었다. 또한 용접라인을 고려한 조립 생산계획을 편성함으로써 재공품 재고의 감소 및 조립준비율의 개선이 윤택함을 알 수 있다. 또한 조립라인에 따른 용접라인의 정류화(용접라인들의 생산용량의 균형화)에 따라 용접라인과 조립라인의 동기화가 재공품 재고와 조립준비율 등에 중요한 영향을 미친다는 점을 알 수 있다. 그리고 전용화에 따라 제품이 생산되므로 그때그때의 현황을 파악하고 관리생산성이 향상될 것으로 판단된다. 또한 조립라인 앞의 선행시간을 지나치게 설정하는 것이 조립 전의 재공품 재고에 나쁜 영향을 준다는 것도 알 수 있다. 한편, 장기물량 변동에 따른 영향을 알아내기 위해 추가의 시뮬레이션을 수행한 결과에서 도장라인간의 생산용량 및 부하의 불균형이 일어남을 알 수 있다. 이 결과는 장기물량 변동에 따라 전체 물량은 증가했지만 외부케이스에서 도장을 하지 않는 물량이 증가하므로 인하여 도장2라인에 여유가 발생했기 때문이다. 그러므로 도장라인간의 생산용량 및 부하의 불균형을 해소하기 위해서는 도장1라인의 물량 중 일부를 도장2라인에서 도장 가능하도록 해야 한다. 도장 후 조립라인에의 오픈캐비티의 공급방법에 대하여 현재의 트롤리 컨베이어를 사용하는 방법보다는 슈트 컨베이어로 오픈캐비티를 공급하는 것이 조립 전의 재공품 재고가 줄어든다는 사실을 알 수 있다.

이상과 같이 현실조건을 반영한 시뮬레이션 모델에 의해 현재 및 미래의 예상되는 생산조건의 변화에 따른 실험결과를 분석함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다. 첫째, 효율적인 라인 운영을 위해 생산계획의 편성방법의 개선 및 도장 후 조립라인에의 트롤리를 이용한 공급방법의 개선의 필요성이 있

다. 둘째, 향후 물량의 변화로 인해 도장라인간의 생산용량 및 부하의 불균형문제가 발생함을 예측할 수 있다. 그러나 도장라인의 생산용량 및 부하의 불균형은 도장1라인의 오픈캐비티 중 일부 물량을 도장2라인에서 도장하도록 하면 해결될 것으로 판단된다. 제안된 여러 대안들을 비교 검토한 결과, 용접라인의 운영규칙에 따라 재공품의 수나 리드타임 등에 영향이 큰 것으로 나타났다. 용접라인을 전용화하고 생산계획시에 있어 용접라인을 고려하여 조립계획을 편성함으로써 재공품 재고는 50% 정도의 감소가 예상된다. 이 결과는 용접라인과 조립라인 간 동기화의 중요성을 잘 나타내고 있다. 그러므로 현 상황에서 본 공장의 차후 개선방향은 용접라인을 고려한 조립

생산계획의 수립 및 용접의 정류화가 필요하다고 판단된다.

**참고문헌**

1. 조규갑, 김갑환, 이영해, 윤원영, 문일경, *생산시스템 시뮬레이션*, 창현출판사, 1995.
2. Shingo, S., *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*, Productivity Press, Massachusetts, 1985.
3. Cho, K., Moon, I. and Yun, W., "System analysis of a multi-product small-lot-sized production by simulation: a korean motor factory case," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 30, No. 3, pp. 347-356, 1996.



**조규갑**

1966년 부산대학교 기계공학과 학사  
 1969년 부산대학교 대학원 기계공학과 석사  
 1973년 미국 Alabama 대학교 대학원 산업공학과 석사  
 1982년 미국 Pennsylvania 주립대학교 대학원 산업공학과 박사  
 현재: 부산대학교 산업공학과 교수  
 관심분야: 생산시스템 공학, 전문가 시스템의 응용, CAPP, CIM 등



**문일경**

1984년 서울대학교 산업공학과 학사  
 1986년 서울대학교 산업공학과 석사  
 1991년 미국 Columbia대학교 산업공학과 박사  
 현재: 부산대학교 산업공학과 부교수  
 관심분야: 생산관리(특히 JIT개념 및 방법론의 모델링 및 응용), Simulation을 이용한 제조시스템 분석, 경제성 분석개념의 생산관리에의 응용 등



**윤원영**

1982년 서울대학교 산업공학과 학사  
 1984년 KAIST 산업공학과 석사  
 1988년 KAIST 산업공학과 박사  
 현재: 부산대학교 산업공학과 교수  
 관심분야: 신뢰도/보전공학, 시뮬레이션 등



**김영규**

1983년 부산대 기계설계학과 학사  
 1993년 부산대 산업공학과 석사  
 1998년 부산대학교 산업공학과 박사과정 수료  
 현재: LG전자 책임 연구원  
 관심분야: 생산시스템 설계, 경제적 의사결정 등