

# 시뮬레이션을 이용한 혼합모델 조립라인밸런싱

임석진\*, 김경섭\*, 박면웅\*\*, 김승권\*\*\*

## Mixed Model Assembly Line-Balancing Using Simulation

Lim, Seok Jin, Kim, Kyung Sup, Park, Myon Woong, Kim, Sheung Kown

### Abstract

This study deals with the productivity improvement on a flow production system with the consideration of line-balancing. In a flow production system, similar product models are produced on a same assembly line, the predefined process order and the limitation of total worker number. The system can be increased the work-in-process(WIP) inventory and the worker's idle time.

In this study, the worker assignment model is developed to assign evenly workload of process to each product model in such a manner that each process has the different number of worker. This worker assignment model is the mathematical model that determines worker number in each process such that the idle time of processes is reduced and the utilization of worker is improved. We use a simulation technique to simulate the production line proposed by the mathematical model and apply real production line. With the result of simulation, this study analyzes the propriety of production line and proposes the alternatives of new production line

**Key Words:** flow production system, line-balancing, mathematical model, simulation

\* 연세대학교 컴퓨터·산업시스템공학과

\*\* 한국과학기술연구원 CAD/CAM연구센터

\*\*\* 고려대학교 산업시스템정보공학과

## 1. 서론

다품종 소량생산방식을 취하고 있는 우리나라 중소기업의 실정은 소비자의 요구에 맞는 제품을 개발하고 적시에 생산해야 한다. 적기에 제품을 공급하기 위해서는 고가의 장비를 구입하거나 고임금을 주고 작업자를 고용하여야 하지만 사실상 어려움이 많다. 따라서 기업에선 현재 보유하고 있는 자원을 효과적으로 운용하여 작업효율을 높이고 생산성의 향상을 통해 고객의 요구에 적절히 대응할 수 있는 여건을 조성하고 이를 통해 기업이 목표로 하는 경제적인 이익을 달성하고자 한다. 이를 위해선 현상황에 대한 정확한 분석을 통하여 현재 보유하고 있는 생산설비와 작업자를 최대한 효율적으로 활용하는 최적의 생산조건을 찾고 이를 적절히 이용하여야 하여야 한다.

본 연구는 혼합모델(mixed model) 전자부품을 조립 생산하는 흐름생산방식(flow production system)에서의 생산성향상을 위한 연구이다. 혼합모델 조립라인(mixed model assembly line)은 공장부지, 시설등의 투자에 따른 제약이나 시설등의 효율적인 이용을 위하여 한 라인에서 유사한 여러 모델의 제품을 생산하는 조립라인이다. 혼합모델 조립라인에서는 모델별로 생산량과 총작업시간이 다르고, 부분적으로 작업내용, 작업방법 및 작업시간, 자재, 이용하는 설비 및 치공구가 상이하여 작업자를 과잉투여하거나 공간, 설비 및 치공구의 낭비가 초래되는 경우가 흔히 발생한다(Kim, 1993). 이런 혼합모델 조립라인에서 재공품재고(WIP)와 작업자의 유휴시간 그리고 공정의 유휴시간을 감소시키기 위한 방법으로 조립라인의 라인밸런싱(line-balancing)이 필요하다. 조립라인에서의 라인밸런싱은 생산라인을 구성하는 각 공정(또는 작업자)의 능력을 전체적으로 균형되게 하는 것으로 각 공정 사이의 소요시간이 균형이 되도록 작업장이나 작업순서를 배열하는 것이다(Nkasu, 1995; Tsai, 1993).

라인밸런싱은 경험적기법(heuristic method), 최적화기법(optimizing method), 시물레이션(simulation method), 정수계획법(integer

programming), 선형계획법(linear programming), 동적계획법(dynamic programming), 목표계획법(goal programming), Network이론등의 기법으로 해를 구하며 이들 기법을 이용해 최적의 생산라인을 설계, 구성하고 평가한다(Baybars, 1986). 경험적기법은 주로 문제가 크고 복잡해 질 때 이용하는 해법으로 문제를 신속하게 해결을 할 수 있지만 반드시 최적해를 구한다고 볼 수는 없다.

라인밸런싱문제는 생산라인에 따라 단일모델 조립라인(single model assembly line)과 혼합모델 조립라인(mixed model assembly line)으로 구분하여 많은 연구가 이루어졌으며 단일모델 조립라인에 관해서는 다음과 같은 연구가 있다. Baybars(1986)는 기존의 단일모델 조립라인이고 작업시간이 확정된 조립라인의 라인밸런싱문제에 관한 여러 수리적 모형들의 연구현황에 대해 비교하였고 Talbot(1986)는 단일모델 조립라인의 라인밸런싱문제를 해결하기 위한 여러 경험적 기법들에 대해 비교 분석하였다.

혼합모델 조립라인에 관한 연구는 다음과 같다. Johnson(1983)은 Branch & Bound알고리즘을 이용하여 작업위치, 설비제약, 작업속련도등을 고려하여 작업장 수를 최소화 하는 문제에 관한 연구를 수행하였으나 모형의 유연성이 약하여 실제 적용에는 어려움이 있다.

Chakravarty(1985)는 작업장의 수와 각 작업장에 할당되는 작업 그리고 생산주기 시간을 결정하는 동적계획법과 경험적 기법을 제시하였다. Macaskill(1972)은 기존의 ranked positional weight method을 사용하여 작업을 할당하는 연구를 하였다. 그러나 이는 주어진 생산주기시간에 대해 작업자의 수가 반복적으로 계산이 되는 단점이 있다. Dessouky(1995)는 PCB(printed circuit board)를 생산하는 조립라인에서 idle time의 최소화로 생산량을 극대화 시키고 재공품 재고를 감소시키며 production flow를 평준화시키기 위한 작업장에서의 기계를 그룹화하는 경험적기법을 제시하였다.

Dar-El(1975)은 조립라인에서 제품모델의 수, 모델의 생산주기시간 변화(cycle time deviation),

각 도월에 대한 생산요구량 변화(production demand deviation), 작업자 작업시간 변화(operator time deviation), 작업장의 수와 관련된 작업자들 사이의 작업을 균형화시킴으로 작업자의 idle time을 최소화 시켜 결과적으로 라인의 길이를 감소시키는 라인밸런싱문제와 제품을 투입하는 순서를 결정하는 경험적 기법을 개발하였다.

본 연구의 목표는 제품 생산을 위한 생산설비와 작업공정순서 그리고 총작업자 수와 같은 자원이 미리 정해져 있는 흐름 생산방식에서 제한된 생산조건을 최대한 효과적으로 활용하고 또한 산출량을 극대화하는 것이다. 혼합모델 조립라인과 같이 여러 제품이 동시에 같은 조립라인을 따라 생산되지만 본 연구에서는 제품모델별로 생산주기시간과 공정별 작업자 수를 산출하므로 제품의 흐름은 단일제품이 연속적으로 흐르는 것으로 가정한다. 따라서 단일 제품의 조립라인에 대한 라인밸런싱의 문제로 볼 수 있다.

본 연구는 실제 조립라인에서 분석된 정보를 이용 생산주기시간을 산정하고 생산주기시간을 만족시키면서 각 공정에 적정수의 작업자를 할당하기 위한 수리적 모형을 제시한다. 수리적 모형의 적용에 의해 얻어진 작업자 할당 결과를 이용해 실제 현장에서 발생할 수 있는 기계나 작업자, 제품생산량 등과 같은 생산과 관련된 동적요

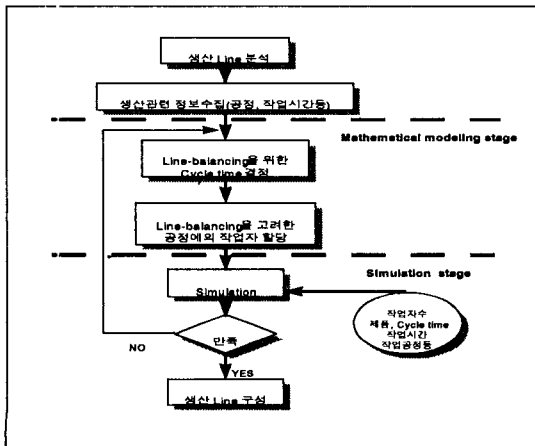
소의 변동에 따른 작업상황의 변화와 실제로 여러 제품이 동시에 혼재되어 생산되는 혼합모델 조립라인의 상황을 반영하기 위해 시뮬레이션 모델을 설계하고 이를 실행한다. 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과를 분석하여 본 연구에서 개발한 작업자 할당모형의 유용성을 검증할 것이다.

본 연구의 수행 내용을 그림으로 표현하면 <그림 1>과 같다.

## 2. 작업자 할당모형

### 2.1 대상업체에 대한 소개 및 분석

본 연구의 대상업체는 S.M.P.S(switched mode power supply), N.F(noise filter), semiconductor stack, S.S.R(solid state relay) 등의 통신기기, 전자부품을 조립생산하는 중소기업이다. 제품생산은 다품종 소량생산의 형태를 취하고 작업의 흐름이 정해진 작업공정순서에 따라 연속적으로 흐르는 흐름생산방식을 취하고 있다. 자동화공정은 삽입공정에서 자삽기(auto inserting)를 이용한 부품의 삽입만이 자동공정으로 수행되고 나머지 공정은 모두 수작업으로 이루어지고 있다. 즉, 전체 생산에서 작업자의 작업능력에 의존하는 비율이 상당히 크다고 할 수 있다. 조립라인은 제품의 특성과 수량에 맞게 A, B라인으로 구성되어 월 10,000 ~ 15,000개의 제품을 생산하도록 구성되어 운용중이다. A line은 50W급 미만 제품을 생산하는 본 대상업체의 main라인으로 월 약 9,000개의 제품을 생산하며 조립라인에서 제품의 생산을 위한 작업자의 배치는 생산되는 전 제품모델에 대해 제품모델별로 변동없이 미리 작업자를 작업공정에 고정시킨 상태에서 작업하고 있다. B line은 75W에서 200W까지의 제품을 생산하는 라인으로 월 4,500개의 제품을 생산하며 작업자 수는 투입되는 제품 모델에 따라 공정별 작업자 수가 유동적으로 운영되는 조립라인이다. 작업자의 변화로 발생하는 여유작업자는 준비작업등 다른 공정으로 파견하는 방식으로 운용하고 있다. 공정별 작업자

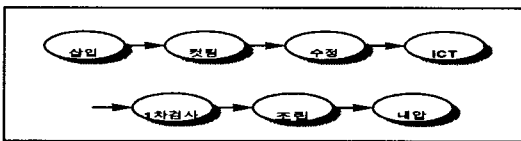


<그림 1> 본 연구의 수행내용

수를 구성하는 방법은 제품에 따라 작업자 수를 변화시켜 작업시간을 수집 분석하여 공정에 작업자를 할당하는 방식으로 운용한다. 공정별 작업자 수를 할당하기 위한 제품에 대한 공정별 평균작업시간(Standard Time, S/T)은 작업일보에서 발생하는 분당생산량을 기준으로 일별로 점검하여 산정한다. 대상업체에서는 생산을 지연시키는 원인으로는 검사지그(JIG)의 제작 지연, 검사지그의 불량제작에 따른 문제 발생과 새로운 제품모델의 투입에 따른 생산라인의 불균형 및 조정에 따른 문제가 가장 큰 비중을 차지하고 있다.

생산라인을 개선하는 방법으로는 공정에 투입되는 작업자 수를 변경하거나 지그의 제작, 검사(test)기구 개발을 통한 검사시간의 단축, 작업자 숙련도를 고려하여 공정에 투입되는 작업자의 변경 또한 생산설비의 자동화와 같은 장비보완을 통한 공정의 개선등을 생각 할 수 있다.

본 연구는 두 개의 생산라인중 main라인인 A 라인에 대한 연구이다. A라인에서는 <그림 2>와 같이 7개의 공정을 거쳐 제품을 생산한다. 또한 현재 작업상황은 1일 8시간 480분을 기준으로 12명의 작업자가 전 생산모델에 각 공정별로 고정되어 작업이 수행되고 있다.



<그림 2> 대상시스템의 공정흐름도

본 연구를 위해 분석한 대상시스템의 특징 및 가정사항은 다음과 같다.

- ① 생산설비의 변경이 어렵다(layout이나 기계대수가 고정)
- ② 작업공정은 7개이고 정해진 작업공정순서에 따라 작업이 이루어진다.
- ③ 작업의 흐름이 연속적인 흐름생산방식을 취하

는 조립생산을 하고 있다.

- ④ 공정간의 이동시간은 없다고 가정할 수 있을 만큼 미미하다.
- ⑤ 1개의 작업이 두개의 공정에서 분리되어 처리될 수 없다.
- ⑥ 한 작업자가 2개의 공정에 동시에 투입될 수 없다.
- ⑦ 전체조립라인은 순서대로 작업공정을 모두 거치는 직렬조립라인이다
- ⑧ 특정작업의 처리시간은 해당작업의 선행작업과 후행작업에 독립적이다.
- ⑨ 가용 총 작업자 수는 N명으로 제한된다.
- ⑩ 작업자의 직무능력은 동일한 것으로 가정한다.

2.2 작업자 할당을 위한 수리적 모형

$i$  : 작업자의 수,  $i = 1, 2, \dots, I$   
 $j$  : 공정명,  $j = 1, 2, \dots, J$

< 변수 >

$$X_{ij} : \begin{cases} 1, & i\text{명을 } j\text{공정에 배치하면} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Z_j$  :  $j$ 공정의 작업시간

$\bar{Z}$  : 공정평균시간

$Z_j^*$  :  $j$ 공정의 평균으로부터의 초과소요시간

$Z_j^-$  :  $j$ 공정의 평균으로부터의 여유시간

< 상수 >

$t_{ij}$  :  $i$ 명을  $j$ 공정에 배치시 단위당 작업시간

$P$  : 공정수

$w_1$  : 불균형공정에 대한 weight

$w_2$  : 작업자 수에 대한 weight

$N$  : 총작업자 수

IP[1]에서 상수, IP[2]에서 변수

C : Cycle Time

IP[1]에서 변수, IP[2]에서 상수

$$\frac{\sum_i \sum_j t_{ij} X_{ij}}{P} = \bar{Z} \tag{9}$$

2.2.1 Cycle time결정모형

$$Z_j - \bar{Z} - Z_j^+ + Z_j^- = 0, \text{for all } j \tag{10}$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \tag{11}$$

IP[1]

M/N C

$$\text{s.t. } \sum_i X_{ij} = 1, \text{for all } j \tag{1}$$

$$\sum_i \sum_j i \cdot X_{ij} \leq N \tag{2}$$

$$\sum_i t_{ij} X_{ij} \leq C, \text{for all } j \tag{3}$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \tag{4}$$

IP[1] 모형의 목적함수는 생산주기시간을 최소화 하는 것으로 각 공정별 작업시간중 최대작업 시간을 최소화(Min-Max)한다. 식 (1)은 각 공정에 작업자가 반드시 할당된다는 식이다. 식 (2)는 모든 공정에 할당된 작업자의 수는 총작업자 수 이내이어야 한다는 식이다. 식 (3)은 각 공정에서의 작업 수행 시간은 생산주기시간 이내이어야 한다는 식이다. 식 (4)는 이진정수임을 나타낸다.

2.2.2 작업자 할당 모형

IP[2]

$$\text{M/N } w_1 \left( \sum_j Z_j^+ + \sum_j Z_j^- \right) + w_2 N$$

$$\text{s.t. } \sum_i X_{ij} = 1, \text{for all } j \tag{5}$$

$$\sum_i \sum_j i \cdot X_{ij} \leq N \tag{6}$$

$$\sum_i t_{ij} X_{ij} \leq C, \text{for all } j \tag{7}$$

$$\sum_i t_{ij} X_{ij} = Z_j, \text{for all } j \tag{8}$$

IP[2] 모형의 목적함수는 각 공정의 단위당 생산시간을 평준화 시키면서 공정에 할당되는 총 작업자의 수를 최소화 한다.  $w_1$ 과  $w_2$ 는 주관적 가중치로 원하는 목적수준에 따라 임의로 값을 부여한다. 총 작업자 수의 감소에 목적이 있다면  $w_2$  ( $w_1 \ll w_2$ )에 큰 값을 부여한다. 식 (5),(6),(7),(11)은 IP[1]과 동일하다. 식 (8)은 할당된 단위당 작업자에 의해 수행되는 j공정에서의 작업시간을 구하는 식이고 식 (9)는 생산모델이 작업되는 전체 공정의 공정평균시간을 구하는 식이며 식 (10)은 공정별 작업시간 평준화를 위한 식이다.

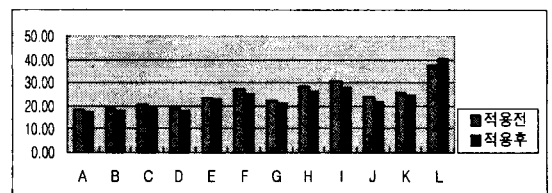
2.3 모형적용 및 결과 분석

2.3.1 제품별 작업공정 표준작업시간

수리적 모형 적용을 위한 모델, 공정, 각 모델에 대한 공정별 작업시간에 관련된 데이터는 <표 1>과 같고 이는 작업자 1명이 각 공정을 수행하는데 소요되는 표준작업시간(Standard Time)  $t_{ij}$ 에 해당한다.

2.3.2 작업자 할당모형에의 적용결과분석

다음은 제안한 수리적 모형과 기존 조립라인에 대한 모형 적용 결과이다.



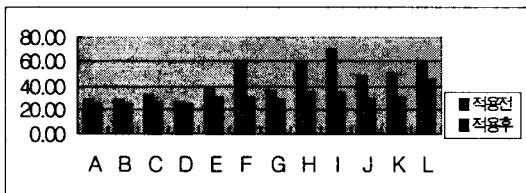
<그림 3> 모델에 대한 평균작업시간비교

<표 1> 공정별 표준작업시간 (초, ( ):명)

모델	공정명						
	삽입 (3)	커팅 (1)	수정 (2)	ICT (1)	1차 (1)	조립 (3)	내압 (1)
A	39.2	7.5	18.75	25	28	65	24
B	42.2	7.5	22.5	25	28	70	24
C	45	7.5	26.25	25	32	75	24
D	45.6	7.5	22.5	25	26	62.5	24
E	69.4	7.5	26.25	30	38	85	24
F	73	7.5	30	30	60	90	24
G	55.6	7.5	26.25	30	36	80	24
H	77.4	10	30	35	60	85	24
I	86	10	33.25	35	70	90	24
J	57.2	7.5	26.25	30	47	80	24
K	59.6	10	30	30	50	95	24
L	76.8	30	45	35	45	180	45

<표 2> 수리적 모형적용 결과비교

모델	모형적용전			모형적용후		
	평균 (초)	C/T (초)	Worker (명)	평균 (초)	C/T (초)	Worker (명)
A	18.37	28	12	16.86	24	12
B	19.02	28	12	17.85	24	12
C	20.23	32	12	19.02	25	12
D	18.54	26	12	17.59	24	12
E	23.44	38	12	22.6	30	12
F	27.26	60	12	25.12	30	12
G	22.26	36	12	20.75	27.8	12
H	28.3	60	12	26.16	35	12
I	30.61	70	12	27.99	35	12
J	23.91	47	12	21.65	28.6	12
K	25.79	50	12	24.65	30	12
L	37.59	60	12	40.49	45	11



<그림 4> 모델에 대한 생산주기시간 비교

<표 2>는 수리적모형적용전과 수리적모형적용 후에 대한 각 모델의 평균작업시간과 생산주기시간에 대한 결과이다.

<그림 3>에 의하면 각 모델을 생산하기 위한 평균작업시간은 전반적으로 감소하였고 모델 L 만 증가하였다. 이는 모델 L을 생산하기 위한 총 작업자 수가 12에서 11명으로 감소하였기 때문에 평균작업시간이 증가한 것이다. 또한, 생산주기시간에 대한 비교에서 보면 전 모델에 대해 생산주기시간이 감소한 것을 볼 수 있다. 특히 모델 I는 모형 적용전 생산주기시간이 70분에서 모형 적용 후에는 35분으로 50%가 감소하였다. 본 연구에서 작업자 할당을 위한 수리적 모형 적용시 주관적 가중치인  $w_1$  과  $w_2$  는 각각 0.00001 과 1 의

값을 부여하였다. 이는 우선적으로 작업자 수를 감소시켜 감소된 작업자를 유연성 있게 활용할 여지를 제공하며 최소의 요구되는 작업자 한도 내에서 공정간 균형적인 생산시간을 갖게 하는데 있다.

### 2.3.3 공정별 작업자 현황

모델별로 각 작업공정에 할당된 작업자의 수에 대한 결과는 <표 3>과 같다.

기존의 조립라인에선 전 모델에 대해 각 공정에 작업자 수를 일정하게 고정되어 있었으나 본 연구에서는 모델별로 각 공정의 작업자 수를 변화시켜 모델별 생산주기시간을 감소시키는 것이 목적이다. 실제 대단위 작업장과 같은 작업현장에선 모델에 따라 작업자 수를 변화시키지 않고 고정시켜 놓은 상태에서 작업을 수행한다. 그러나 중소기업에선 생산여건상 상황에 따라 작업자의 이동이 일어나는 경우가 빈번하다. 특히 특정 제품의 주문이 다량 요구되는 경우는 일정기간동안은 그 특정 주문을 위한 생산체제로 가동되어야 한다. 따라서 모델별로 투입인원수를 조정하는 것이 바람직하다.

모델L에서는 기존의 조립라인에선 12명의 작

<표 3> 공정별 작업자 할당 결과(단위:명)

구분	공정명								
	모델	삽입	커팅	수정	ICT	1차	조립	내압	총
적용 전	고정	3	1	2	1	1	3	1	12
적용 후	A	2	1	1	2	2	3	1	12
	B	2	1	1	2	2	3	1	12
	C	2	1	2	1	2	3	1	12
	D	2	1	1	2	2	3	1	12
	E	3	1	1	1	2	3	1	12
	F	3	1	1	1	2	3	1	12
	G	2	1	1	2	2	3	1	12
	H	3	1	1	1	2	3	1	12
	I	3	1	1	1	2	3	1	12
	J	2	1	1	2	2	3	1	12
	K	2	1	1	1	2	4	1	12
	L	2	1	1	1	1	4	1	11

업자가 필요하였으나 모형 적용의 결과에서 보면 11명의 작업자로 감소시키고도 더욱 짧은 생산주기시간을 가지고 모형을 생산할 수 있음을 알 수 있다. 이로서 기업의 입장에서선 공정간의 유휴시간이나 작업자의 유휴시간을 감소시켜 인력관리면에서 훨씬 유연성 있게 작업자를 운용할 수 있다.

### 3. 시뮬레이션 적용 및 결과분석

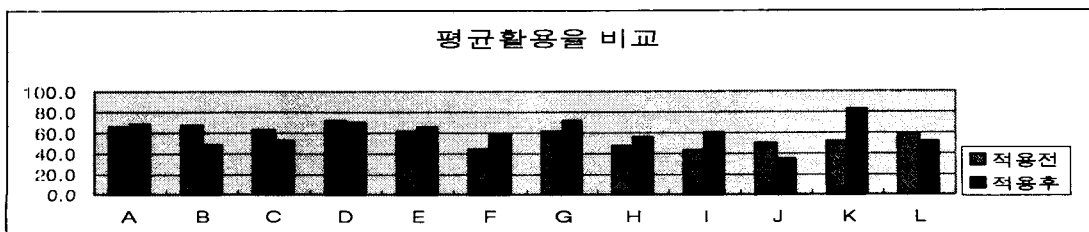
#### 3.1 시뮬레이션 적용

본 연구에서는 개발된 수리적 모형의 적용으로

언어진 해가 실제 생산현장에서 적용될 수 있도록 고려되어야 할 여러 사항을 추가하여 시뮬레이션을 이용하여 실험하고 결과를 분석하고자 한다. 시뮬레이션은 수리적 모형의 결과로 언어진 생산주기시간, 공정별 작업자 수와 같은 정보를 이용하여 시뮬레이션 모형을 설계하고 이를 시뮬레이션 도구인 FACTOR를 이용해 실험한다. 본 연구에서 개발한 수리적 모형은 단일모델 조립라인과 같이 단일제품이 연속적으로 흐르는 모형과 같다. 그러나 실제 작업현장은 여러 제품이 혼재된 상태에서 연속적으로 흐르기 때문에 이런 상황에 대한 수리적 모형의 문제점을 보완하기 위한 목적에서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 실험을 통해 기존의 운용중인 생산라인과 본 연구에서 제안하는 생산라인에 대해 각각의 수행도를 비교 분석하여 본 연구의 타당성 여부를 검토하고 또한 기존의 생산라인에 대해선 문제점의 발견과 이에 대한 개선안을 제시하는 순서로 구성되어 있다.

본 연구에서는 시뮬레이션 모형 설계시 미리 수립된 월생산계획에 의해 제품모델의 투입순서와 제품모델의 생산량 같은 정보를 이용하였고 시뮬레이션 시간은 1개월(24일)이고 12개의 제품모델을 12명의 작업자가 생산하는 작업을 시뮬레이션 하였다. 1일 작업은 09시에 시작해서 18시에 끝나는 8시간작업으로 하였다.

시뮬레이션한 결과는 <표 4>, <그림 5>, <그림 6>, <그림 7>와 같다. 이 결과에서 보면 공정에 있어서 공정활용을 편차는 전 모델에 대해서 감소하였음을 알 수 있다. 모델별 평균활용율도 적용 전의 기존 라인보다 적용 후의 개선된 라인이 향상되었음을 알 수 있다. 여기서 공정활



<그림 5> 모델별 평균 공정 활용율 비교

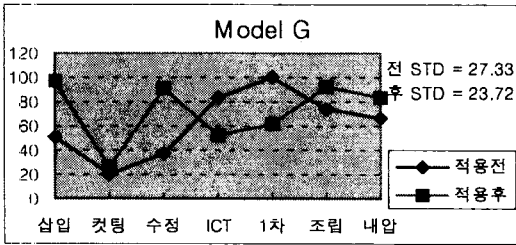
&lt;표 4&gt; 시물레이션 결과 공정활용율비교

모델	구분	공정명								
		삽입	컷팅	수정	ICT	1차	조립	내압	편차	평균활용율
A	적용전	46.5	26.7	33.4	89	99.7	77.2	85.5	29.31	65.43
	적용후	80.4	30.8	77	51.3	57.5	89.03	98.6	23.72	69.23
B	적용전	49.4	26.3	39.5	87.7	98.3	81.9	84.3	27.84	66.77
	적용후	57.8	20.5	61.6	34.2	38.4	63.93	65.8	23.72	48.89
C	적용전	46.1	23	40.4	76.8	98.4	76.9	73.9	26.29	62.21
	적용후	62.5	20.8	36.4	69.4	44.4	69.37	66.7	23.72	52.8
D	적용전	58.2	28.7	43.1	95.7	99.6	79.8	92	27.92	71.01
	적용후	90.4	29.7	89.2	49.5	51.5	82.6	95.2	25.71	69.73
E	적용전	60.3	19.5	34.2	78.2	99.1	73.9	62.6	26.95	61.11
	적용후	66.8	21.6	75.8	86.6	54.9	81.8	69.3	23.72	65.26
F	적용전	40	12.3	24.6	49.3	98.6	49.3	39.5	27.23	44.8
	적용후	56.7	17.4	69.8	69.8	69.9	69.8	55.9	19.2	58.47
G	적용전	51.2	20.7	36.3	82.9	99.5	73.7	66.4	27.33	61.53
	적용후	96.2	25.9	90.8	51.9	62.3	92.27	83.1	23.72	71.78
H	적용전	42.7	16.5	24.8	57.9	99.2	46.8	39.7	26.89	46.8
	적용후	55.6	21.6	64.6	75.4	64.6	61.03	51.7	23.72	56.36
I	적용전	40.7	14.2	18.5	49.7	99.4	42.6	34.1	28.11	42.74
	적용후	64.4	22.5	58.6	78.6	78.6	67.4	54	19.18	60.59
J	적용전	39.6	15.6	27.3	62.3	97.7	55.4	49.9	26.65	49.69
	적용후	45.5	11.9	41.8	23.9	37.4	42.47	38.2	23.72	34.45
K	적용전	39.6	19.9	29.9	59.7	99.6	63.1	47.8	26.25	51.37
	적용후	80.5	78	80.3	75.9	74.35	91.33	95.4	23.4	82.25
L	적용전	40	46.9	35.2	54.7	70.3	93.8	70.3	20.65	58.74
	적용후	52.5	41	61.5	47.9	30.75	61.5	61.5	11.92	50.95

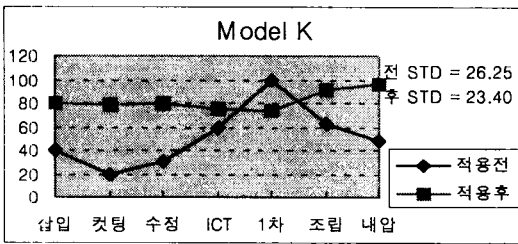
용율(utilization)은 각 공정에서의 유휴시간을 제외한 순 작업시간을 제품을 생산하는데 소요된 총작업시간으로 나누어 준 값을 말한다. 시물레이션 결과 모델별 공정활용율을 비교하여 보면 기존의 생산라인에서 보다 수리적 모형에 의해 작업자 수를 변화시켜 작업자를 공정에 할당한

생산라인이 전모델에 대해 편차가 적게 나왔으므로 생산라인의 균형이 이루어졌음을 알 수 있다. 또한 평균활용율도 기존라인이 56.85%이고 수리적모형에 적용한 생산라인이 60.06%로 더 향상되었음을 알 수 있다.





<그림 6> 모델G의 공정활용율



<그림 7> 모델K의 공정활용율

그러나 실제 작업현장에선 월 생산계획 수립의 어려움과 작업진행시의 작업자 운용의 복잡함, 작업자 개인간의 능력차 그리고 준비시간(Setup time), 작업기계의 고장등의 어려움으로 제품별로 작업자 수를 변화시켜 작업을 수행하는 데 따른 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본연구의 결과를 실제 현장에 적용하기 위한 방법으로 가중치에 의해 작업자를 고정시켜 수행하는 방법을 제안한다. 가중치에 의해 작업자를 고정시키는 방법은 1개월 동안 생산되는 제품모델의 생산수량과 공정별 작업시간 정보를 이용하여 총작업시간을 구한 후 이를 각 공정에서의 작업시간을 총작업시간으로 나누어 각 모델에 대한 작업자할당을 위한 가중치를 결정한다. 수리적 모형에서 얻어진 제품모델별 공정의 작업자 수를 이 가중치에 의해 각 공정에 작업자를 할당하는 방법으로 공정별 작업자 수를 재결정한다.

< 기호 정리 >

$k$  : 모델명

$P_{jk}$  : 모델 $k$ 를  $j$ 공정에서1개생산하는데 걸리는작업시간

$O_k$  : 제품 $k$ 의주문량

$I_{jk}$  : 모델 $k$ 를 생산하는데투입되는  $j$ 공정의작업자수

$W_{jk}$  : 제품 $k$ 가  $j$ 공정에서차지하는 시간의 weight

$F_j$  : weight가 고려된  $j$ 공정의작업자수

$$W_{jk} = \frac{P_{jk}O_k}{\sum_k P_{jk}O_k} \tag{1}$$

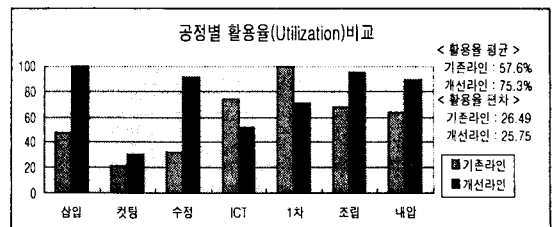
$$\sum_k W_{jk} = 1$$

$$\text{공정}j\text{의작업자수}(F_j) = \sum_k W_{jk}I_{jk} \tag{2}$$

식(1)은 가중치를 구하는 식이다. 식(2)는 구해진 가중치에 의해 공정에 할당하는 작업자를 산정하는 식이다. 본 연구에서는 작업자 수를 12명으로 고정하였기 때문에 각 공정별 작업자 수는 소수점이 있을 시 12명을 기준으로 반올림하거나 버리는 방법으로 각 공정에 작업자를 할당하였다.

3.2 시물레이션 결과 분석

실제 현장에의 적용을 위해 가중치를 이용해서 각 공정에 할당된 공정별 작업자 수는 <표 5>의 worker와 같다. 이를 이용해 월생산계획에 의해 수립된 일정에 의해 제품을 생산하는 시물레이션을 실행한 결과는 <표 5>, <그림 8>과 같다.



<그림 8> 월생산계획에 의한 공정별 활용율

&lt;표 5&gt; 월 생산계획에 의한 공정 활용율

공정	기존라인		개선라인		향상율
	Worker	Utilization	Worker	Utilization	
삽입	3	47.3	2	99.9	211.21
컷팅	1	21.7	1	30.6	141.01
수정	2	32.2	1	90.5	281.06
ICT	1	73.6	2	51.8	70.38
1차	1	99.9	2	70.4	70.47
조립	3	67.3	3	94.7	140.71
내압	1	63.3	1	89.1	140.76
Utilization 평균	57.9		75.29		150.8
Utilization편차	26.49		25.75		

<표 5>에서 작업자 및 공정의 유휴시간을 나타내는 공정별 공정활용율을 비교하여 보면 기존라인은 최대 공정활용율이 99.9% 최소 공정활용율은 21.7% 평균 공정활용율은 57.90%였으나 개선라인에서는 최대 공정활용율이 99.9% 최소 공정활용율은 30.6% 평균 공정활용율은 75.29%였다. 두 생산라인간의 공정활용율을 비교하면 개선라인이 기존라인보다 최대 281.06%의 향상을 보였고 평균은 150.80%의 성능향상을 보였다.

&lt;표 6&gt; 월 생산계획에 의한 수행도 결과

	기존라인	개선라인	결과비교	향상률
Completion Time	341.68	266.65	75.04	78.04%
월총직접 노무비	4,738,077	3,284,732	1,453,345	69.33%

시뮬레이션 실행결과 <표 6>에서의 결과와 같이 실험 결과를 종합적으로 분석하여 보면 기존 생산라인보다 본 연구에서 제안한 생산라인이 더욱 효과적으로 작업을 달성할 수 있음을 볼 수 있다. 계획된 전제품모형을 완성하는데 소요되는 시간을 나타내는 제조완성시간인 completion time이 개선라인이 266.65시간이고 기존라인이

341.68시간으로 개선라인이 기존라인보다 제조완성시간면에 있어 78.04%만에 제품을 생산한다. 또한 중소기업에서는 제품을 생산하는 제조원가 중 작업자의 임금(직접 노무비)이 큰 비중을 차지하므로 본 연구의 결과를 금액으로 환산하면 기존 생산라인에서는 4,738,077원 소요되는 반면에 제안한 생산라인에서는 3,284,732원이 소요된다. 제조경비면에서도 제안한 생산라인이 기존의 생산라인보다 69.33%만으로 제품을 생산할 수 있어 30.67%의 제조경비 절감효과를 가져올 수 있다. 여기서 생산공정에 투입되는 작업자 1인당 평균 분급은 65.36원이고 제품 생산에 투입되는 작업자가 12명이며 작업일수는 24일을 기준으로 하였다.

본 대상업체의 특징인 작업라인의 병렬화는 특히 검사공정등과 같은 작업공정에서의 발생하는 불필요한 작업자의 처리, 작업기계의 작업능력(capacity)에 따른 작업기계의 유휴시간발생과 같은 비효율적인 이용의 문제, 병렬라인에 의한 작업장의 협소화, Cutting공정 등에서 발생하는 유휴작업시간과 같은 문제점이 해결해야 할 과제이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 작업공정 수와 총 작업자 수가 미리 정해진 흐름생산방식에서 각 작업공정에 적절히 작업을 할당함으로써 공정이 균형을 이루는 최적생산라인을 구성하기 위한 연구이다. 이를 위하여 정수계획법을 이용해 생산주기시간을 계산하고 구해진 생산주기시간정보를 이용해 목표 계획법에 적용하여 각 작업공정에 적정 작업자를 할당한다. 본 연구에서 제안한 수리적 모형을 활용함으로써 각 모델을 생산하기 위한 평균작업시간과 생산주기시간은 감소되었다. 기존의 생산라인에선 제품모델의 변화에도 불구하고 공정별 작업자 수를 고정하였지만 본 연구에선 합리적인 근거에 의해 각 생산모델에 따른 작업자 수를 산정함으로써 현 생산라인의 작업자운용의 타당성을 검증할 수 있다. 또한, 현장에서 적용을 위한

타당성을 평가하기 위해 시뮬레이션을 설계하고 실험하였으며 결과를 분석하였다. 시뮬레이션결과 공정별 활용율을 비교하여 보면 전 제품모델에 대해 기존의 생산라인보다 수리적 모형을 적용하여 구성된 생산라인이 공정균형을 더 잘 이루어 줬음을 알 수 있다. 본 연구 결과로 기업에선 공정간의 유휴시간이나 작업자의 유휴시간을 감소시킬 수 있어 인력관리면에서 훨씬 유연성있게 작업자를 운용할 수 있을 것이다.

향후 연구과제는 본 연구에서 고려하지 않은 A, B 두 라인으로 운영되는데 따른 문제점의 발생과 이의 해결방안모색은 향후 연구과제로 추가할 계획이다. 또한 시뮬레이션 실행시 미리 계획된 제품투입순서에 따라 시뮬레이션을 수행하였으나 향후 제품투입순서를 변화시킴으로 해서 더욱 나은 생산성을 확보 할 수 있는 일정계획문제까지 고려할 계획이다.

## 참고문헌

- [1] Baybars, I., A survey of Exact Algorithms for the Simple Assembly Line Balancing Problem, *Management Science*, Vol.32, No.8(1986), pp.909-932.
- [2] Chakravarty, A. K. and A. Shtub., Balancing Mixed Model Lines With In-Process Inventory, *Management Science*, Vol.31, No.9(1985), pp.1161-1174.
- [3] Dar-El, E. M. and R. F. Cothor., Assembly Line Sequencing problems, *Int. J. Prod. Res*, Vol.13, No.8(1975), pp.463-477.
- [4] Dessouky. M. M., Adiga. S., Park. K., Design and scheduling of flexible assembly lines for printed circuit boards, *Int. J. Prod. Res*, Vol.33, No.3(1995), pp.757-775.
- [5] Johnson , R. V., A Branch and Bound Algorithm for Assembly Line Balancing Problems with formulation Irregularities, *Management Science*, Vol.29, No.11(1983), pp.1309-1324.
- [6] Kim. Y. K ., Kwak. J. S., Mixed Model Assembly Line Balancing With the Related Task Consideration, *Journal of The Korean OR/MS Society*, Vol. 18, No. 2(1993), pp. 1-22.
- [7] Macaskill, J. L. C., Production-Line Balances for Mixed Model Lines, *Management Science*, Vol.19, No.48(1972), pp.423-434.
- [8] Nkasu. M. M., Leung. K. H., A stochastic approach to assembly line balancing, *Int. J. Prod. Res*, Vol.33, No.4(1995), pp.975-991.
- [9] Talbot, F. B., J. H. Patterson and W. V. Gehrlein., A Comprehensive Evaluation of Heuristic Line balancing Technique, *Management Science*, Vol.32, No.4(1986), pp.430-454.
- [10] Tsai. D. M., Yao. M. J., A line-balance-based capacity planning procedure for series-type robotic assembly line, *Int. J. Prod. Res*, Vol.31 No.8(1993), pp.1901-1920.

## ● 저자소개 ●



## 임석진

1995 시립인천대학교 공과대학 산업공학과 학사  
 1997 고려대학교 공과대학 산업공학과 석사  
 1997~2001 동양시스템즈 ML사업부문  
 2001~현재 연세대학교 컴퓨터·산업시스템공학과 박사과정  
 관심분야: SCM, Simulation, Manufacturing System



## 김경섭

1982 연세대학교 공과대학 기계공학과 학사  
 1986 University of Nebraska-Lincoln 산업공학과 석사  
 1993 North Carolina State University 산업공학과 석사  
 1994~1995 삼성데이터시스템 선임연구원  
 1995~현재 연세대학교 컴퓨터·산업시스템공학과 부교수  
 관심분야: 물류시스템, 시물레이션 모델링 및 분석, SCM



## 박면웅

1977 서울대학교 공과대학 기계공학과 학사  
 1979 KAIST 생산공학과 석사  
 1987 University of Manchester Inst. of Sci. & Tech 기계공학과 박사  
 현재 KIST CAD/CAM연구센터 책임연구원  
 관심분야: CAPP, Knowledge Management, Machine Tool Design,  
 Manufacturing System



## 김승권

1972 서울대학교 공과대학 기계공학과 학사  
 1977 Stanford University Industrial Engineering 석사  
 1982 UCLA Systems Engineering 박사  
 현재 고려대학교 산업시스템정보공학과 교수  
 관심분야: Water Resources System Planning, Engineering Economic  
 Analysis, Mathematical Modeling, Production and Inventory  
 Control, Capital Investment Planning