

## 고정된 설비의 생산성 향상을 위한 시뮬레이션 적용 기법

Simulation-based Methods to Improve the  
Productivity Effectively of the Fixed Machines

김대성\*, 정범진\*, 박 범\*

Day-sung Kim, Peom-jin Jeong, Peom Park

### Abstract

In most dynamic manufacturing environments today, systems and processes are constantly changing. Simulation tools are required that can accurately model the system in detail, but still be easy to use, and allow rapid model redevelopment to react quickly for system changes.

In this paper, the dynamic manufacturing environment is discussed for the assembly line. It can be improved by an accurate layout of machines and by the material flow control between machines. Therefore, an application method of simulation tools is presented with the experimental data from the automobile manufacturing shop to improve the productivity effectively.

### 1. 서 론

본 연구는 자동차 시트 공장의 조립 라인 생산성을 향상시키고 이 조립 라인에 배치되어 있는 여러 가지 설비들, 작업자들과 서로 연결이 어려운 공정간의 효율적인 연

계를 위한 것이다. 이런 상황에서 작업자의 적정 인원 배치에 우선 초점을 맞추었다. 전체 공정을 몇 개의 Cell로써 구성을 하고 각 Cell에 적정 인원의 배치에 관한 문제를 중점적으로 연구했다. 일반생산조립 작업 중 실제 작업에 소요되는 시간은 전체 생산

\* 아주대학교 산업공학과

기간(원자재 투입에서 제품 완료 시까지의 시간)의 5%이내에 불과하고 나머지 95%에 해당하는 시간은 운반 혹은 대기시간에 해당한다[10]. 이런 운반이나 대기시간을 단축하여 생산을 최대화하는 배치를 우선적으로 고려했다.

결과 도출을 위해 어떤 시스템이나 주어진 환경을 잘 모델링하여 실험함으로써 어떤 현상인 시스템의 특성을 정량적으로 분석, 파악하는 시뮬레이션 기법을 적용하였다.[1]. 본 연구에서의 시뮬레이션 적용 목적은 주어진 기준 하에서 전체 조립 공정이 원활히 이루어지기 위한 각 작업대에서의 기계나 작업자의 적정 배치 계획을 수립하기 위함이다[3].

ProModel Simulation Package를 이용하여 동적인 상황들을 모델링하여 기존의 생산성과 비교하여 얼마나 향상이 되는지를 알아보았다.

## 2. Line 분석

### 2.1 공정별 라인 밸런싱

본 연구의 대상이 되는 실험 라인은 F/B, F/C, R/B와 R/C라는 4가지 종류의 제품을 만들어 낸다. 이들은 Frame, 미싱, 포장 공정을 거쳐서 완성이 되어 하나의 제품으로 납품된다. 그리고, 각 공정은 또 몇 개의 Sub 공정들로 이루어져 있다. 이런 공정들을 각각 몇 개의 Cell로 분할하고, 각 공정

의 라인 밸런싱을 하여 각 Cell간의 재공품을 제거하도록 한다.

공정간 라인밸런싱을 달성하기 위한 고려 요소는

- 생산량/기간
- 요소 작업간의 선후 관계
- 요소 작업의 표준시간
- Cycle time:흐름 라인에 속하는 모든 작업장의 작업 수행에 허용되는 시간, 곧 정미시간
- 구역 조건(Zoning Constraints) 등이 있다.

라인밸런싱을 달성하기 위한 접근방법은 생산주기가 이미 결정된 상황에서 작업장의 수를 최소화시키는 문제와 작업장의 수가 이미 결정된 상황에서 생산주기를 최소화하는 문제 두 가로 구분되며, 여기서는 전자의 문제에 대한 접근방법을 구체화시킨다. 본 라인의 생산주기는 1일 목표생산량인 400대를 기준으로 하여 66초로 설정되었다. 공정균형손실(Balancing Loss)이 없는 완전 공정균형(Perfect Line Balancing)의 조건을 이용하여 라인밸런싱을 실시한 결과는 아래 <표 1>와 같다.

&lt;표 1&gt; 각 공정별 라인밸런싱 효율

공정 \ 항목	생산 주기	유휴 시간	밸런스 효율	작업자 수
F/B	83.49	268.084	54.13 %	7
F/C	59.5	3.655	97.95 %	7
R/B 일체형	50.34	21.66	85.66 %	1
R/B 분리형	70.6	47.86	77.4 %	3

가장 기본적인 공정의 라인 밸런싱을 해 보면 알 수 있다. 예로 공정의 F/B의 라인 밸런스 효율을 계산하여 본 결과 공정의 밸런스 효율은 54.13(%)밖에 되지 않는다. 밸런스 효율의 기준치가 80(%)이상이 되어야 한다는 것에 상당히 미치지 못하는 것이다. 전체적인 흐름을 볼 때, F/B 공정이 인원 배치에 있어서 문제가 되고 있는 공정이다. 이 공정을 Frame 형성 Cell, Welding Cell, Final Cell로 구성한다. Cell 분할 원리는 고정된 기계 설비와 연계되어 있는 공정을 중심으로 나누었다. F/B 공정은 다른 공정에 비해서 작업자들도 많고, 작업의 분배, 인원 배치에 있어서 적절하지 못하게 판정되고 있기 때문에 가장 문제가 되고 있다. 여기서는 대기시간이나 운반 시간은 고려되지 않은 상태로, 순수하게 밸런스 효율만을 판정한 것이다.

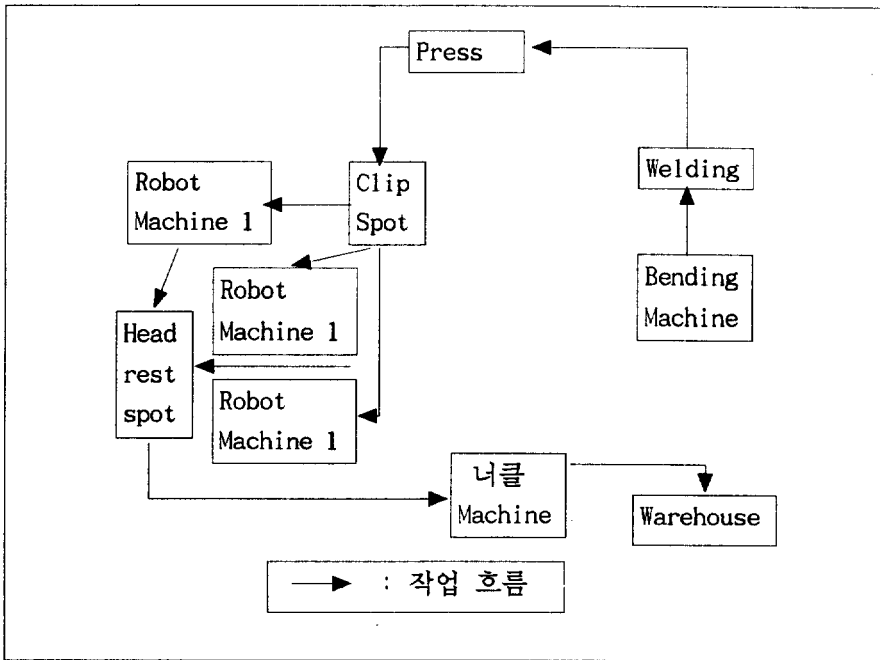
## 2.2 공정 흐름 분석

위의 <표 1>의 결과로 볼 때, F/B 공정이 가장 문제가 되고 있음이 발견되었다. 그러므로, 본 공정에 대한 흐름 분석을 하

여 공정 분석을 진행한다. <그림 1>은 F/B 공정 흐름을 도시화 한 것이다. 그림에서 보듯이 본 공정은 크게 7가지의 단위 작업으로 구성되어 있다.

본 라인의 F/B 공정의 생산과정에 대해 자세히 설명하면 아래와 같다.

- Bending machine - pipe를 직사각형 형태로 만들어 낸다.
- Welding machine - 형상을 만든 pipe의 두 접합 부분을 가스 용접을 통해서 용접한다.
- Press machine - 만든 형상을 압축 부분을 압축한다.
- Clip spot - 스프링을 걸기 위해서 Clip을 Frame에 spot 용접을 한다.
- Robot welding stations - 특정 부분에 대해 용접을 한다.
- Head rest spot - Head rest 부분을 보강 용접을 한다. 또한 검사 기능까지 함께 담당을 한다.
- 너클 machine - F/B의 각 부품들을 서로 고정시킬 부분을 서로 조립하는 작업을 한다.



<그림 1> F/B 흐름도

<표 2> F/B 요소 공정의 Cycle time

순서	공정명	Cycle Time
1	Bending Machine	47.22
2	Welding Machine	38.4
3	Press	16.02
4	Clip Spot	30.68
5	Robot Machine 1	155.78
6	Robot Machine 2	178.189
7	Robot Machine 3	152.724
8	Head rest Spot	50.546
9	너클 Machine	49.98

< 표 2 >은 F/B 요소 공정의 Cycle time 을 보여 주고 있다. 각각의 Cycle time은 1 대를 만드는데 걸리는 시간이다. 즉 정미 시간이다. 단, Robot 들에 의한 작업은 Welding Cell로 묶어서 처리한다. 이것은 같은 작업을 3 대가 한꺼번에 작업하는 것이다. Cell의 분할을 통해서 Frame 형성 Cell의 밸런스 효율을 측정해본 결과 60.56%로 나타났다. F/B 전체 공정 중에서도 특히 앞 공정인 Frame 형성 Cell의 효율이 가장 좋지 않게 나타났다. 이것은 작업이 주로 설비보다는 작업자에 의존하기 때문이라고 할 수 있다.

### 3. ProModel S/W에 의한 System의 모델화

시스템의 모델화를 위해서 사용한 방법은 바로 시뮬레이션이다. 시뮬레이션은 현실 상황을 최대한 고려하여 최적의 모델을 구축하여 적절한 의사결정을 내릴 수 있도록 하는데 도움이 된다. 또한, 본 연구에서 사용한 software는 ProModel이라는 패키지다. ProModel S/W에서는 각각의 Location operation에 확률 변수 값을 넣는다. 이는 Table-based 정보 입력과 Icon-based 모델링 등의 장점을 가지고 있어 아주 입력하기에 편리하다, 또한 2차원 그래픽을 제공하여 실제 시뮬레이션 상황을 눈으로 확인할 수 있어 특히, 제조 환경을 나타내는데 매우 적합하다[6].

ProModel 의 입력 요소는 크게 7가지로 나눌 수 있다. Routing, Part Scheduling, Capacities, Simulation Parameters, Static Symbols, Dynamic Symbols, Figures and Labels 등으로 전 시스템을 표현할 수 있다. <표 3>는 ProModel의 입력 요소들 중에서 가장 중요한 Routing의 입력 요소를 나타낸 것이다

본 System의 확률 변수들의 분포는 Bending machine의 Cycle time에 의해서 결정이 된다. 표를 설명하면, Storage에서의 Capacities는 원하는 최대 생산량이다. Operation은 각 작업의 운용시간을 뜻하고, Qty는 한번에 흐르는 양, Move time은 다음 Location으로 이동하는데 걸리는 시간을 의미한다. 표에서 Move time을 모두 0으로 준 것은 각 Operation time에 운반 시간을 포함시켰기 때문이다. 순수 운반 시간은 현 공정에서 다음 공정간의 보수를 이용하여 RWF법을 이용하여 운반 시간을 구한 후 각 여유율(정신적 여유, 육체적 여유, 단조감에 대한 여유 등)을 합하여 운반 시간에 곱하였다. 이것은 각 machine들간의 거리와 운반되는 부품의 무게 등을 고려한 것으로 앞에서도 언급했지만 실제 작업 시간에서 운반시간이 차지하는 비율이 상당히 높기 때문에 여유율을 cycle time의 약 5 - 15%로 설정한 것과 같다.

본 연구에서는 (V) 표를 한 부분의 총인원이 4명이지만 이 인원을 3명으로 줄이는 방법으로 시뮬레이션을 실시한다. 이 방법

은 기존의 라인 밸런싱을 역 이용한 것이다. Robots들의 작업은 이미 설비 자체의 Cycle time이 결정이 되어 있기 때문에 여기에 인원을 투입하는 방법보다는 역으로 이 작업으로 인해 Bottleneck이 걸리므로

앞 작업을 다시 분배하여 작업할 인원을 줄이는 방법을 취했다. 이것은 전적으로 전공정의 밸런스를 맞추는 것을 목적으로 하였다. 이렇게 함으로써 생산성을 최대로 할 수 있기 때문이다.

<표 3> ProModel 의 Routing 입력 요소

Location	Operation	Capacities	Qty	Move time
storage	0	600	1	0
bending	0.787	1	1	0
queue1	0	9	1	0
welding	0.64	1(√)	1	0
queue2	0	100	1	0
press	0.267	1(√)	1	0
queue3	0	40	1	0
clip	0.511	2(√)	1	0
queue4	0	100	1	0
robots	2.65	3	1	0
h_r_spot	0.842	1	1	0
queue5	0	20	1	0
n	0.833	1	1	0

#### 4. 시뮬레이션 결과 분석

ProModel을 통한 Output은 System과 관련된 광범위한 정보들을 제공한다. 이 정보들 중 본 연구를 위해 필요한 것은 Resource Utilization, Queue, Total entry 등이다.

<표 4>은 적정 인원 배치를 통해서 얻어진 결과이고, <그림 2>는 현재의 공장

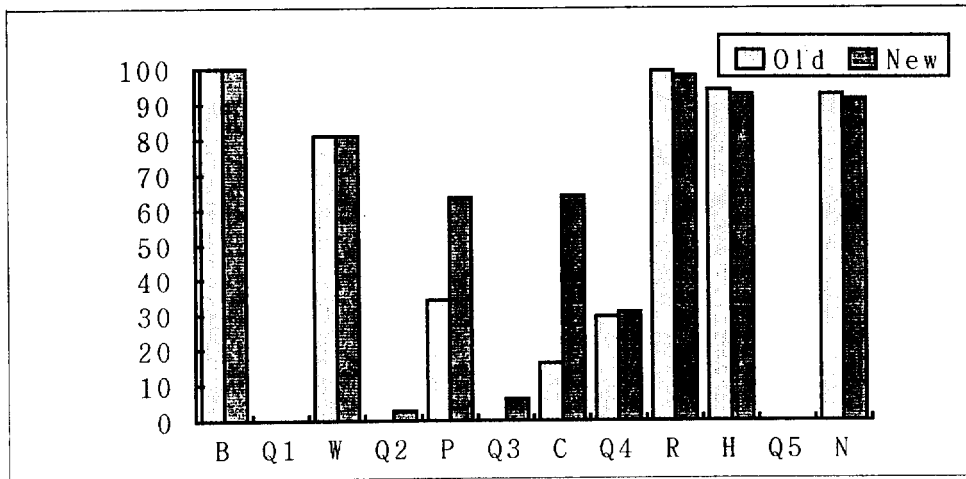
Layout대로 시뮬레이션 했을 경우와 비교한 것이다. 비교 결과, 기존보다 각 대기 장소인 Queue2, 3, 4에 재공품의 비율이 약간은 증가를 했지만 Utilization이 전체적으로 상당히 증가했음을 알 수 있다. 즉, 전반적으로 라인의 밸런스가 맞다는 것을 의미한다. 또, 기존에는 Welding, Press, Clip spot 작업을 4명의 작업자들이 작업을 했지만 인원을 1명으로 감소시켜도 기존과 비슷

한 결과를 얻을 수 있다. 즉 Frame 형성 Cell인 앞의 새 공정의 작업을 작업 분배를 통한 적정 인원 배치로 3명이 해도 비슷한 결과를 얻을 수 있다. 이 방법은 고정된 설

비의 cycle time을 과도하게 줄이는 것이 아니라, 공정간의 연계를 보다 강화하고, 적정 인원 배치를 통해서 최대의 생산성을 높일 수 있도록 한 것이다.

<표 4> Resource Utilization output

Resource	utilization (%)	Avg. min/entry	Avg. contents	Total entry
Storage	52.98	235.74	317.9	600
Bending	100	0.79	1	564
Queue1	0	0	0	563
Welding	80.88	0.64	0.8	563
Queue2	2.65	2.1	2.7	562
Press	63.48	0.5	0.6	560
Queue3	5.98	1.91	2.4	559
Clip	64.07	0.51	0.6	559
Queue4	30.61	24.37	30.6	559
Robots	97.98	2.64	2.9	495
H-r-spot	92.72	0.84	0.9	492
Queue5	0	0	0	491
N	91.43	0.83	0.9	491



<그림 2> 기존 배치와 수정 배치의 비교

이상의 결과를 통해서 볼 때, F/B 공정의 밸런스를 맞추므로써 전체적으로 생산의 합리화시키는 방법을 모색해야 한다. 본 연구에서는 시뮬레이션 기법을 이용하여 고정된 설비는 그래도 유지 보수를 하고, 적절하게 인원의 감축을 통해서 생산성을 높이는 방법을 고려해 보았다. 기존에는 무조건 새 설비를 구입하는 방법을 택했지만 세계화, 국제화되는 시점에서 국제 경쟁력을 키우고, 보다 급변하는 상황에 대처하기 위해서 설비 투자보다는 유지 보수가 무엇보다 중요하다고 본다. 이를 위해서는 설비에 대한 올바른 특징을 알고 있는 것이 필요하다. 또한, 설비의 적정 교체 시기를 미리 파악하는 것도 못지 않다.

## 5. 결 론

시뮬레이션 결과 분석에 의하면 적절하게 인원을 배치하고, 작업 분배를 다시 함으로써 기존의 시스템보다 더 효율적으로 생산할 수 있음을 알았다. 또한 Cell단위로 나누어서 각각의 Cell별로 라인 밸런싱 한 결과가 전체 공정에 커다란 의미를 갖는 다는 것을 알았다. 즉, 최소의 라인 밸런스를 통해서 전체 공정을 파악할 수 있다. 또한 고정된 설비의 효율성을 극대화하는 방법의 하나가 됨을 알았다. 기존의 밸런싱 문제에서 최대의 cycle time의 설비의 무조건적인 투입/감소가 아니라, 그와 연계가 있는 앞/뒤 공정의 대기시간, 운반시간, 적정 인원 배치를 통해서 문제를 해결할 수

있음을 알았다.

본 연구의 시뮬레이션에서는 일부의 상황만을 고려한 것이다. 기계 비용, 기계 고장 및 설비 보전 등과 같은 여러 가지 상황을 고려한 최적의 모형을 결합하면 최대의 이익을 가져다주게 될 것이다. 또한, 이런 시뮬레이션대로 Design하기 위해서 제품의 수요 예측이나 새로운 분석 기법들이 선행되어 수행되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박성연, *시뮬레이션 기법을 이용한 물류 시스템 개선에 관한 연구*, 인하대학교 대학원 산업공학과, pp17, 1988.
- [2] 이상조, *시뮬레이션에 의한 도서관 대출 창구의 적정배치모형*, 충북대학교 대학원, 1985.
- [3] 이화기, *시뮬레이션 기법에 의한 조립 라인의 연구*, 인하대학교 대학원 산업공학과, pp 1, 1990.
- [4] Carrie A., *Simulation of Manufacturing Systems*, John Wiley & Sons, 1988.
- [5] Gordon,G., *System Simulation*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1975.
- [6] Jong-Chell Im, Hee-Seok Song, Choong-Hwa Lee, *A Study on the Development of User Modeler and Concurrent Animation Module for Manufacturing Simulator*, IE, pp39-45, 1995.



- [7] Kim K.S. and Choi Y.H., *A computer simulation study of automated storage and retrieval system*, IE Interface, vol.3, NO. 2, pp39-51,1990.
- [8] Law A.M., Michael G. McComas, *How to Select Simulation Software for Manufacturing Applications*, IE, pp29-35, July, 1992.
- [9] Law A.M. and Kelton, W.D., *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw Hill, New York, 1982.
- [10] Minhong, Han, *Machine Layout Problem in a Production Line*, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 15, No. 1, June. 1989.
- [11] Richard L. Smith, Lucille Platt, *Benifits of Animation in the Simulation of a Machining and Assembly line*, Simulation 48:1, pp28-30, 1987.
- [12] Scott K, *Simulation: Why Arent We Where We should be*,IE, Vol.27, NO.1, pp47-48, Jan. 1995.
- [13] Thompson, M.B., *Expanding Simulation beyond planning and design*, Industrial Engineering, Vol. 26, No. 10, pp64-66, 1994.