

## 자동차 차체조립공정설계를 위한 시뮬레이션\*

황홍석\*\* · 조규성

동의대학교 기계 · 산업시스템공학부

### Assembly Performance Evaluation Using FACTOR/AIM for the Automobile Body Assembly Line

Heung-Suk Hwang · Gyu-Sung Cho

Department of Industrial Engineering, Dongeui University, Pusan

The design of automobile body assembly line is one of essential parts for improving the process performance. The major objective of this research is to develop a performance evaluation model for automobile assembly line using a closed queueing network(CQN) and simulation method. In this study we used a two-step approach to compute the performance of the assembly line : first, we used CQN model considering assembly line equipments and the line operating time under the assumption of no failure, and second we used a well-known simulator FACTOR/AIM. Finally we implemented this model on a K automobile company and we have shown the sample results of automobile body assembly line.

**Keywords** : System Performance Evaluation, Closed Queueing Network(CQN), Simulation

#### 1. 개요

통합생산 시스템의 최적화 문제는 생산 시스템의 원활한 물류 흐름과 시스템성능(Performance) 향상을 위하여 매우 중요하다. 일반적인 통합생산 시스템의 성능분석 문제에서는 물류 시스템의 이동운반장치의 선택과 이의 소요대수 및 운반속도 등의 결정문제를 주로 다루고 있으며, 이를 통한 통합생산 시스템의 성능 최적화를 위한 성과측정 방법들을 아래와 같이 들 수 있다(Suri, 1985). 재공품 재고 WIP의 최소화, 생산율(Production Rate)의 최대화, 물류장비 사용률의 최대화, 시스템 가용도(System Availability)의 최대화 및 시스템 비용(Cost)의 최소화 등이 있으며 이러한 결정문제들은 시스템성능에 큰 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 최적의 자동차 차체조립 공정설계를 위하여 시뮬레이션 방법 및 자체 개발한 생산 시스템 성능평가 프로그램을 이용한 비교 연구를 수행하였다.

이를 위하여 먼저 자체 개발한 시스템 성능산정 방법으로 시스템의 초기 해를 산정하고 세부 생산라인의 고장 Data와 조립라인의 구성 및 운반장비 등의 다양한 패러미터들을 고려하기 위하여 물류 시뮬레이션 Package인 FACTOR/AIM(Pritsker Co., 1993)을 이용하여 요구되는 생산 능력을 만족하는 시스템의 구성 및 성능 평가를 한 결과를 비교하여 보였다.

본 연구에서는 <그림 1>에서와 같이 2 단계의 접근 방법을 사용하였으며 단계 1에서 CQN(Closed Queueing Network)(Solberg J., 1980) 방법으로 RAM을 고려하지 않은 상태에서 요구되는 시스템 성능을 만족하는 초기 해를 산정하고, 단계 2에서는 시스템의 RAM을 고려한 해를 구하기 위하여 FACTOR/AIM을 이용한 시뮬레이션 방법을 사용하였다. 단계 1에서 구한 초기해로부터 실제 제조공정의 환경문제들을 고려하고 고장 Data 분석을 하기 위해 ExpertFit(Averill, 1995)를 사용하였으며 고장분포를 산정한 후 초기 시스템 구축 및 목표 생산능력을 만족하는 시스템을 구하기 위해 단계별로

이 논문은 제1회 IE/MS 사이버학술대회에서 우수논문으로 선정된 후 수정과 심사를 거쳐 게재가 확정되었음.

\* 본 연구는 동의대학교 물류 시스템 연구실의 지원에 의하여 연구되었음.

\*\* 연락처자 : 황홍석 교수, 614-714 부산광역시 부산진구 가야동 산24번지 동의대학교 기계·산업시스템공학부, Tel : 051-890-1657, e-mail : hshwang@hyomin.dongeui.ac.kr

2000년 4월 접수, 1회 수정 후 2001년 1월 게재 확정.

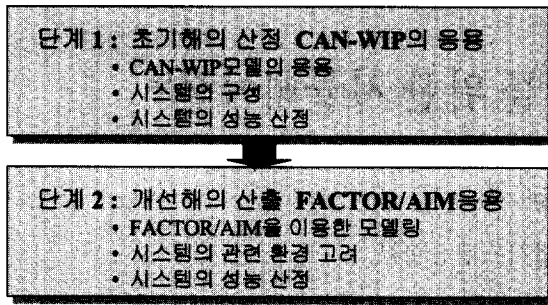


그림 1. 모델의 흐름도.

시뮬레이션을 수행하여 생산라인을 변화시킴으로써 요구되는 시스템을 구축하는 분석적 방법을 사용하였으며 K자동차 회사의 목표 생산량 70대/시간을 만족하는 시스템을 구축하기 위한 개선방안들을 순차적으로 제시하였다.

## 2. CQN을 이용한 초기 해의 산정

본 연구에서는 차체조립 공정의 분석방법으로 <그림 1>과 같이 2단계 접근방법을 사용하였으며 단계 1에서 초기 해를 구하기 위하여 CAN-Q 모델(Solberg, 1980)로부터 확장 개발한 CAN-WIP 모델을 이용하였으며, 단계 2에서 실제 제조환경을 고려한 시뮬레이션 방법을 사용하여 목표 성능을 만족하는 최적시스템을 구성하기 위한 개선 방법을 제시하였다.

CAN-WIP을 이용한 초기 해의 산정을 위해 먼저 각 라인 간의 공정 사이클 타임과 초기 자동차 차체조립 라인의 각 공정명이 <표 1>과 같이 주어졌다.

<표 1>로부터 주어진 초기 시스템을 먼저 단계 1에서는 CQN 모델인 CAN-WIP에 적용하여 시스템의 생산율, 사용률(Utilization Rate)의 최대 및 재공품 재고(WIP)가 최소가 되는 최종 시스템을 산출한다.

### 2.1 시스템 기대 생산율 산정

본 연구에서 고려된 통합 자동생산 시스템성능의 최적화

표 1. 라인명칭, 라인형태, 및 각 공정의 사이클

라인 명칭	공정사이클 타임(초)
하 체	43.24
프레임	44.18
제 용접	44.19
프론트	40.24
좌측 사이드	43.24
우측 사이드	43.24
좌측 사이드 내부	42.30
우측 사이드 내부	42.30

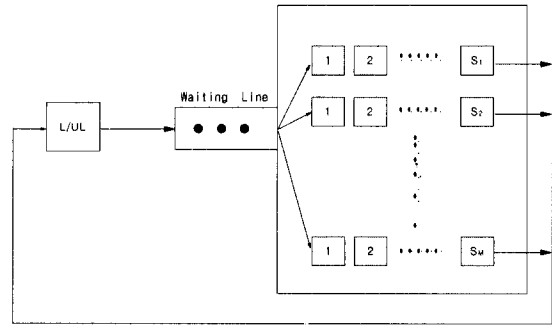


그림 2. CQN으로 표시된 통합 생산 시스템.

를 위하여 <그림 2>와 같이 CQN(Gordon, W. J. and Newell, G. F., 1967)으로 표시된 통합생산 시스템을 고려하였다. <그림 2>와 같이 CQN으로 표시된 통합생산 시스템에서 각  $S_i$ 개로 구성된  $M$ 개의 기계그룹(Machine Group : M/C)을 가지는 시스템에서  $N$ 개의 가공품이 시스템 내에 있을 경우 각 M/C Group에서의 대기숫자를  $n_i$ 라고 하면, 집합  $\bar{n}$ 의 확률을 다음과 같이 표시할 수 있다(Gordon and Newell, 1967).

$$P(\bar{n}) = P(n_1, n_2, \dots, n_M) = G(M, N)^{-1} g_1(n_1) \cdot g_2(n_2) \cdots g_M(n_M) \quad (1)$$

여기서,  $\bar{n} = (n_1, n_2, \dots, n_M)$

$g_i(n_i)$  : M/C Group  $i$ 에서 대기하는 Part의 수를 나타내는 함수이다.

$$g_i(n_i) = \begin{cases} x_i^{n_i}, & s_i = 1 \text{ 단일 M/C Group} \\ \frac{x_i^{n_i}}{n_i!}, & n_i \leq s_i, \text{ 다 M/C Group} \\ \frac{x_i^{s_i}}{s_i! s_i^{n_i - s_i}}, & n_i > s_i, \text{ 무한 M/C Group} \end{cases}$$

여기서,  $x_i$  : M/C Group  $i$ 에 할당된 작업부하

$s_i$  : M/C Group  $i$ 의 M/C 수,  $i = 1, 2, \dots, M$

$$G(M, N) = \sum_{S(M, N)} g_1(n_1) \cdot g_2(n_2) \cdots g_M(n_M) \quad (2)$$

$S(M, N)$  : 각 M/C의 대기 중인 Part의 가능한 조합

$$S(M, N) = \{ \bar{n} \mid n_i \geq 0, \sum_{i=1}^M n_i = N \}$$

위의 식으로부터

$$P(\bar{n}) = \frac{g_1(n_1) \cdot g_2(n_2) \cdots g_M(n_M)}{\sum_{S(M, N)} g_1(n_1) \cdot g_2(n_2) \cdots g_M(n_M)} \quad (3)$$

식 (2)에서와 같이  $G(M, N)$ 가 모든 가능한 상태( $n_i$ )의 조합에서 정상상태의 확률(Steady State Probability)의 합이므로,  $P(\bar{n}) \leq 1$

이 된다.

i) 단일 M/C M-G의 경우

$$P(\bar{n}) = \frac{1}{G(M, N)} X_1^{n_1} X_2^{n_2} \dots X_M^{n_M}$$

$$= \frac{X_1^{n_1} X_2^{n_2} \dots X_M^{n_M}}{\sum_{S(M, N)} X_1^{n_1} X_2^{n_2} \dots X_M^{n_M}}$$

ii) 다 M/C M-G의 경우

$$P(\bar{n}) = \frac{1}{G(M, N)} \frac{X_1^{n_1}}{n_1!} \frac{X_2^{n_2}}{n_2!} \dots \frac{X_M^{n_M}}{n_M!}$$

여기서,  $G(M, N) = \sum_{S(M, N)} X_1^{n_1} X_2^{n_2} \dots X_M^{n_M}$

CQN 모델에서 시스템의 성능은 다음과 같이  $G(M, N-1)/G(M, N)$ 의 같은 비율로 됨을 알 수 있다. 이를 기대 생산함수(Expected Production Function)로 정의하고 CQN 모델을 성능 평가에 활용하였다. CQN 모델을 이용한 통합생산 시스템의 성과측정을 위하여 다음과 같이 수식을 전개하였다.

2.1.1 작업 중인 M/C의 기대비율(Expected Proportion of Busy M/C):

$i$  번째 M/C Group의 M/C가 작업 중인 기대 대수를  $B_i$ 라 두면

$$B_i = \sum_{k=0}^{s_i} k P_i(k) + \sum_{k=s_i+1}^N s_i P_i(k)$$

$$= \sum_{k=1}^N x_i g_i(k-1) \frac{G(M-1, N-k)}{G(M, N)}$$

$$= \sum_{k=0}^{N-1} x_i g_i(k) \frac{G(M-1, N-k)}{G(M, N)}$$

$$= x_i \frac{G(M, N-1)}{G(M, N)}$$

각 M/C Group에서의 작업 중인 기대 M/C의 수는 그 M/C Group의 작업부하(Work Load)에 비례함을 알 수 있으며 이때 다음 식이 성립된다.

$$\frac{G(M, N-1)}{G(M, N)} = \frac{B_1}{x_1} = \frac{B_2}{x_2} = \dots = \frac{B_M}{x_M}$$

2.1.2 시스템의 효율(Efficiency of the System)

시스템 효율을 단위 시간당 기대 생산량과 시스템 내의 전 M/C가 항상 작업 중인 경우의 생산량과의 비율을 표시하면 다음과 같다.

$$E_{ff} = P_E / P_I$$

$P_E$ : 기대 생산율

$P_I$ : 최대 생산율(이상적인 경우)

여기서,

$$P_I = \frac{1}{\left[ \sum_{i=1}^M q_i t_i / \sum_{i=1}^M q_i \right]} = \sum_{i=1}^M q_i / \sum_{i=1}^M q_i t_i$$

$$P_E = \sum_{S(M, N)} P(\bar{n}) \cdot P_E(\bar{n})$$

여기서,  $P_E(\bar{n}) = P_I \cdot U(\bar{n})$

$$P_E = \sum_{S(M, N)} P(\bar{n}) \cdot P_I \cdot U(\bar{n})$$

$$P_E / P_I = \sum_{S(M, N)} P(\bar{n}) \cdot U(\bar{n})$$

= (작업 중인 M/C 비율의 기대값)

$$= \frac{B}{m}$$

$$= \frac{G(M, N-1)}{G(M, N)}$$

2.1.3 시스템 사용률(Utilization Rate)

시스템 사용률은 각 M/C Group에서의 대기 수  $\bar{n}(n_1, n_2, \dots, n_M)$ 의 확률  $P(\bar{n})$ 을 고려한 기대값으로 다음과 같이 계산된다.

$$U = \sum_{S(M, N)} P(\bar{n}) \cdot U(\bar{n})$$

= (작업 중인 M/C의 비율의 기대값)

$$= \frac{B}{m}$$

$$= \frac{G(M, N-1)}{G(M, N)}$$

위에서와 같이 시스템 성능의 3가지 표시방법이 모두  $G(M, N-1)/G(M, N)$ 와 같은 비율로 표시됨을 알 수 있다.

## 2.2 초기시스템 산정

앞에서 제시한 수식들을 이용한 계산을 위해 CAN-WIP 모델을 개발하여 사용하였으며, 이를 이용하여 <그림 1>의 모델 흐름도 중 단계 1의 초기시스템의 결정을 위해 우선 설비를 각 라인에 한 대씩만 배치시키는 것을 가정하고, 충분한 완충 저장시설(Buffer Size)을 가지는 조건하에서 초기시스템을 구하였다. 목표 생산능력 및 비용을 만족하는 최적시스템을 구하기 위하여 각 단계마다 애로공정의 설비의 수를 한 단위씩 증가시키면서 목표 생산능력을 만족하는 시스템을 구축하였다.

본 연구에서 사례로 분석한 K 자동차회사의 차체생산조립 라인의 공정설계 예제를 들어 본 모델을 이용하여 목표 생산량 70대/시간을 만족하는 초기 해를 구하였으며, <그림 3>과 같은 차체조립 흐름도를 사용하였다.

위에서 제시한 자동차 차체 공장의 초기시스템은 각 라인별로 한 대의 설비가 배치된 총 9대의 설비로 시작하여 CAN-WIP 모델을 이용하여 각 단계마다 애로공정의 라인 내에 장비를 한 단위씩 증가시키면서 시스템의 목표성능(예 : 70

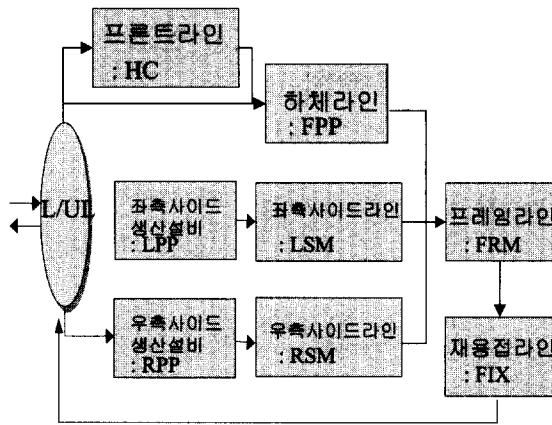


그림 3. 차체조립 흐름도.

표 2. 단계 I의 출력 예 :

Work Station	No. of Server	Prod. Rate	Util. Rate	WIP	Buffer Size
L/UL	1	71.	0.90	1.5	2
FPP	3	71.	0.93	5.2	6
LPP	1	71.	0.94	4.5	5
RPP	1	71.	0.96	1.5	2
HC	3	71.	0.85	1.2	2
LSM	4	71.	0.95	3.2	4
RSM	4	71.	0.96	3.1	4
FRM	5	71.	0.89	4.5	5
FIX	3	71.	0.91	4.7	5

개/시간)을 만족하는 시스템을 구축하였다. 이와 같이 각 라인에 배치되는 설비의 수를 증가시키면서 시스템의 생산율(개/시간)과 사용률이 최대가 되고 각 완충 저장시설의 부하량이 최소가 되는 개선 대안을 구하였으며 예제 시스템의 목표량을 만족하는 단계 1의 최종시스템을 구축하였다. 이렇게 구축된 시스템을 통해 산정된 출력 자료를 요약하면 <표 2>와 같다.

여기서 최적 해를 구하기 위해 사용한 CAN-WIP모델은 확정적인(Deterministic) 모델로서 활용하기가 매우 간편하고 다양한 결과를 분석할 수 있는 반면에, 다음과 같은 많은 가정사항과 활용상의 제한사항이 있다. 이 중 중요한 것을 요약하면 다음과 같다: 1) 평균 흐름시간(Average Flow Time)이 단순 평균값으로 산정된다. 이는 작업시간(Processing Time), 대기시간(Waiting Time) 및 운반시간(Travel Time)의 합으로 산정되나 이들 시간들은 실제로는 작업지점 간의 거리, 가공제품의 형태(Type) 및 가공순서 등에 따라 상이하나 본 모델에서는 충분히 고려되지 못하였다. 2) 본 모델은 CQN 시스템으로서 한 기계에서 작업이 끝나야 다른 작업이 시작된다. 이 과정에서 후속작업으로 전환이 가능하지 못할 경우에 일반적으로 발생하는 작업차단(Blocking), 작업정지(Locking) 및 작업고갈 현상(Starving) 등이 고려되지 않았으므로 생산능력이 과다 평가

될 가능성이 크다. 3) 작업순서를 FIFO 정책에 따라 이루어지고 있으며 다른 작업순서 정책을 고려할 경우는 그 결과가 다르게 될 가능성이 크다. 이를 보완하기 위하여 단계 2에서 설명될 FACTOR/AIM을 이용한 시뮬레이션 방법으로 구한 분석 결과를 보였다.

### 3. 시뮬레이션방법을 이용한 시스템 성능 산정

#### 3.1 FACTOR/AIM을 이용한 자동차 차체조립 시스템구축

FACTOR/AIM을 이용하여 차체조립공정의 성능 분석을 위하여 차체조립 시스템을 재구축하고 이에 소요되는 각종 Data를 분석하였다. 본 차체조립 공정은 다음 가정 사항에 따라 운영이 된다.

- 하체라인에서 작업시작
- 조립 라인 운행 시간은 24시간
- 각 캐리어는 한번 운행시 단일 반제품 이송
- 라인의 각 설비 고장시 각 라인 가동 중지
- 3가지 종류의 부품 생산비율 및 혼합투입순서를 1:3:1 (B-A-B-C-B-B-A-B-C-B) 고려
- 각 라인 내 최대 캐리어 수 = 30 대

각 공정구간을 <표 3>의 약식 기호로 정의하였고, 본 연구에서 표시한 실제 제조 공정의 구성도는 <그림 4>와 같다. CAN-WIP 모델에서는 설비의 고장시간을 고려하지 않았다. 그러나 실제 시스템에서는 설비의 고장은 생산라인의 가동에 크게 영향을 미치므로 이에 따라 목표 생산량 달성에 영향을 미친다. 이를 위해 본 시스템의 고장 데이터를 과거의 데이터로부터 차체조립 공장에 사용되는 설비들의 고장 및 수리시간을 지수분포로 추정하고, 단위설비 간 고장은 서로 관련이 없음을 가정하여 추정 평균값을 <표 4>와 같이 구하였다.

각각의 내부 반제품 생산설비의 고장시간 분포는 ExpertFit을 사용한 추정된 값인 0.2998이다.

표 3. 공정구간 별 기호 정의

생산라인 공정 구간	기호
하체 라인 ~ 프레임 라인	# 1
프레임 라인 ~ 채용접 라인	# 2
채용접 라인 ~ 설치 라인	# 3
프론트 라인 ~ 하체 라인	# 4
좌측 사이드 라인 ~ 프레임 라인	# 5
우측 사이드 라인 ~ 프레임 라인	# 6
우측 사이드 내부 생산설비 ~ 우측 사이드 라인	# 7
좌측 사이드 내부 생산설비 ~ 좌측 사이드 라인	# 8

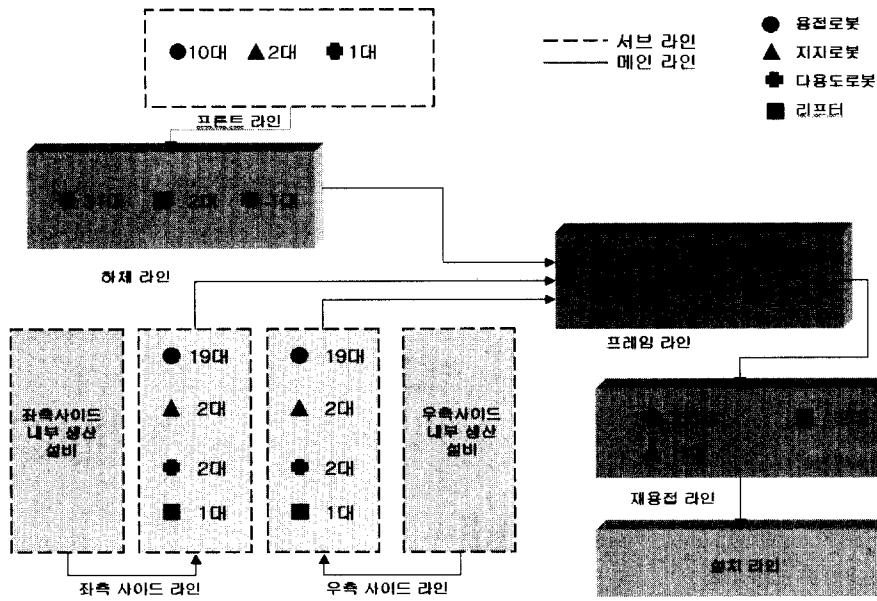


그림 4. 차체조립라인 공정도.

표 4. 단위설비의 평균 고장 간격 및 수리소요 시간

설비명	용접로봇	지지로봇	다용도 로봇	리프터
평균고장간격	139.54	398.51	224.60	254.37
평균수리 소요시간	0.31	0.12	0.25	0.13

각 생산라인의 고장은 단일설비 고장시 각 생산라인의 전체 가동이 중지되므로 생산라인의 고장은 직렬결합 시스템으로 구성하고, 이에 따른 신뢰도를 산정 하였다. 시뮬레이션 모델링 후 시뮬레이션 수행 시 1회 작업수행 시간은 696시간, 반복 횟수는 5회, 총 수행된 시뮬레이션 시간은 3120시간이고, 1회 수행시간 696시간 중에서 처음 72시간이후 결과값이 안정상태(Steady State)가 되므로 처음 72시간을 전체 시뮬레이션 시간에서 제외시켰다. 위에서 설정된 설계 파라미터들과 고장시간분포 등을 고려하여 구축한 FACTOR/AIM의 자동차 차체조립라인 구성도를 <그림 5>와 같이 표시하였다. 생산라인 간 공정에서 <표 5>와 같이 캐리어 대수가 주어질 경우, FACTOR/AIM으로 구축한 초기 시스템의 평균 중간재고는 <표 5>와 같다. FACTOR/AIM으로 구축된 초기 시스템 내에서 최대 평균 중간재고는 좌·우측 사이트~프레임라인(#5, #6) 구간이고, 최소 평균 중간재고는 좌·우측사이트 내부 생산설비~좌·우측 사이트 라인(#7, #8) 구간이 된다.

그리고 시간당 평균 생산량은 64.169개/시간으로 목표 생산요구량, 70개/시간을 달성하지 못하여 목표 생산량을 만족시키기 위한 대안을 다음과 같이 1~3차의 개선대안을 제시하였다.

표 5. 초기 시스템의 시스템 구성 및 성능

생산라인 공정구간	평균 중간재고	초기캐리어대수
# 1	6.384	10
# 2	6.264	10
# 3	6.648	10
# 4	6.936	8
# 5	7.920	10
# 6	7.908	10
# 7	4.884	8
# 8	4.872	8

시스템 내 각 라인	사용률
프론트 라인	0.7285
하체 라인	0.78317
좌측 사이트 라인	0.78367
우측 사이트 라인	0.7840
프레임 라인	0.80017
재용접 라인	0.79967
시간당 평균 생산량 : 64.169 개	

### 3.2 차체조립시스템의 성능개선

목표 생산량을 만족하는 시스템을 구하기 위하여 주어진 조건들을 고려하여 다음과 같이 3개 단계에 걸쳐서 개선하였다.

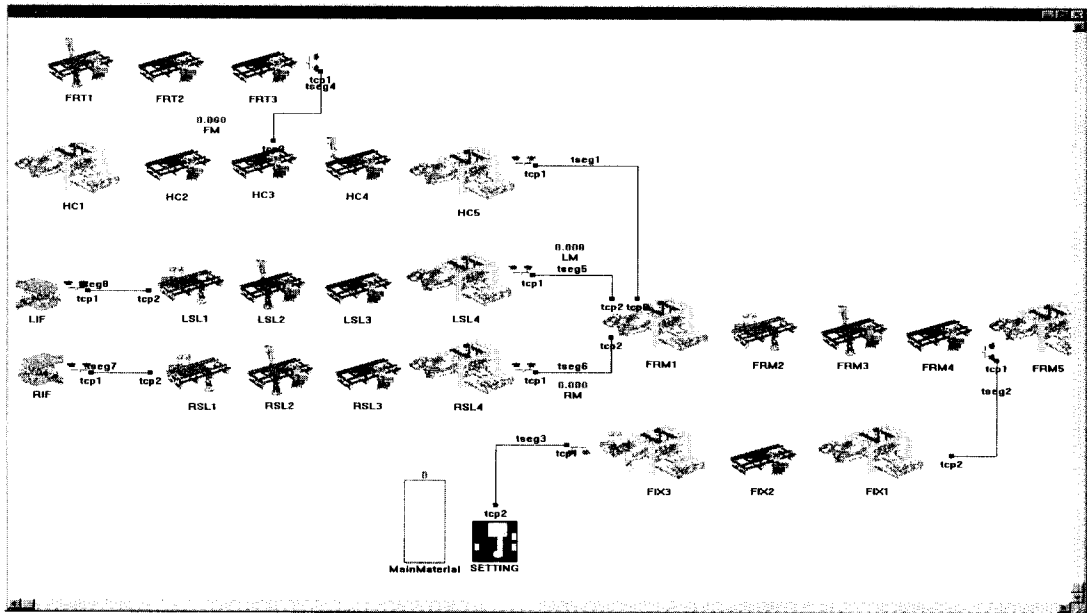


그림 5. 자동차 차체 조립 라인 구성도.

3.2.1 1차 개선

먼저 CAN-WIP에서 산정된 생산라인의 캐리어, 즉 생산량 증대를 위하여 임시 저장공간을 증가시켰다. 초기 시스템의 생산라인에서 발생하는 평균 중간재고의 수를 기본적으로 제공하는 캐리어 대수를 사용률이 낮은 구간에는 캐리어 대수를 증가하지 않았으며 사용률이 큰 구간에 캐리어 대수를 증가시켜 개선안을 구하였다.

본 예제의 차체조립 시스템에서는 최대 캐리어 대수를 30대로 제한하였으므로 각 공정에 30대 모두 할당하고 시뮬레이션 결과 출력된 평균 캐리어 사용 대수와 그 표준 편차를 고려하여 조정하였다. 시뮬레이션 결과의 캐리어 평균대수와 편차를 고려하여 데이터를 모두 만족시킬 수 있는 캐리어 대수를 선정시, 1차 개선라인의 평균 생산량은 66.331개이며 1차 개선의 성능분석표를 <표 6>과 같이 요약하였다.

표 6. 1차 개선된 조립라인성능 분석표

생산라인 공정구간	평균 중간재고	초기캐리어 대수
# 1	2.208	30
# 2	6.468	10
# 3	6.864	10
# 4	2.376	30
# 5	4.260	23
# 6	4.452	22
# 7	2.520	20
# 8	2.172	23

(<표 6> 계속)

시스템 내 각 라인	사용률
프론트 라인	0.75283
하체 라인	0.809
좌측 사이드 라인	0.80983
우측 사이드 라인	0.81083
프레임 라인	0.82667
재용접 라인	0.82617
시간당 평균 생산량 :	66.331개

3.2.2 2차 개선

2차 개선을 위하여 각 라인의 고장률을 고려하였다. 본 시뮬레이션 모델에 고려한 조립라인은 직렬 결합형태이므로 각 라인의 고장률을 각각 계산하여 라인 간의 관계를 <그림 6>과 같이 FTA(Fault Tree Analysis)로 나타내었다. 이 FTA 분석결과를 이용하여 (라인 간의 관계와 어느 라인부터 2차 개선사항을 적용시킬지를 보여 주고 있음) 고장률이 큰 라인부터 2차 개선사항을 적용시켰다. FTA분석에 따른 조립라인의 평균 생산량은 69.956개이고 2차 개선결과는 <표 7>과 같다.

3.2.3 3차 개선

3차 개선을 위한 시뮬레이션에서는 각 생산라인의 라인 밸런싱을 고려하여 작업시간을 단축하기 위한 개선으로 작업시간을 다음과 같이 조정하였다.

$$t_{\max} = \text{각 라인의 최대 공정시간}$$

$$t_i = \text{각 공정의 사이클 시간}$$

$$n = \text{라인 수}$$

표 7. 2차 개선된 조립라인 성능 분석표

생산라인 공정 구간	평균 중간재고	초기캐리어 대수
# 1	2.316	30
# 2	6.816	10
# 3	7.212	10
# 4	2.496	30
# 5	4.476	23
# 6	4.668	22
# 7	2.628	20
# 8	2.292	23

시스템 내 각 라인	사용률
프론트 라인	0.7925
하체 라인	0.85167
좌측 사이드 라인	0.85067
우측 사이드 라인	0.85233
프레임 라인	0.86967
재용접 라인	0.87017
시간당 평균 생산량 :	69.956개

표 8. 3차 개선된 조립라인 성능 분석표

생산라인 공정 구간	평균 중간재고	변경 전	변경 후
# 1	2.316	43.24	41.94
# 2	6.816	44.18	42.86
# 3	7.212	44.19	42.86
# 4	2.496	40.24	39.03
# 5	4.476	43.24	41.94
# 6	4.668	43.24	41.94
# 7	2.628	42.3	41.03
# 8	2.292	42.3	41.03

시스템 내 각 라인	사용률
프론트 라인	0.7925
하체 라인	0.85167
좌측 사이드 라인	0.85067
우측 사이드 라인	0.85233
프레임 라인	0.86967
재용접 라인	0.87017
시간당 평균 생산량 :	71.572개

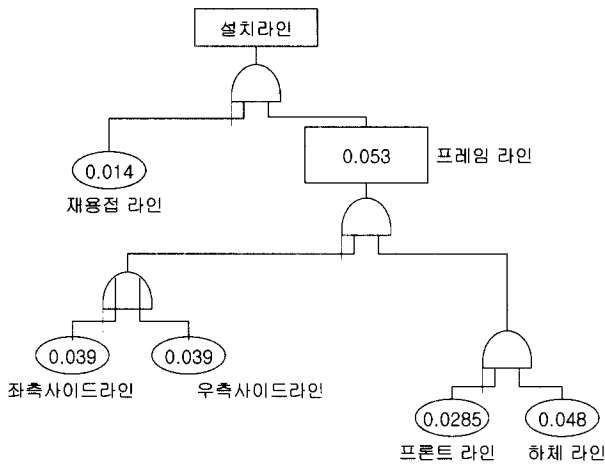


그림 6. 고장목 결합 형태.

$$t_{max} \geq \frac{\sum t_i}{n}$$

$$\text{최적 편성비율} = \frac{\bar{t}_i}{t_{max}} \times 100(\%)$$

본 시뮬레이션에 적용 시

$$t_{max} = 44.19, \quad \sum t_i = 342.93, \quad n = 8$$

그러므로, 최적 편성 비율은 0.97이다. 따라서 각 공정의 사이클 타임을 각각 0.97 비율로 조정하였다. 즉, 3%씩 각각의 공정 사이클 타임을 단축시켰을 경우, 평균생산량은 71.572개

로 목표 생산량을 만족하게 되었다. 시뮬레이션에 의한 3차 개선결과를 요약하면 <표 8>과 같다.

여기서 <그림 4>와 같은 공정도를 따라 초기해로부터 각 개선모델을 구하기 위하여 개선기준을 만들어 최선의 대안을 구하였다. 이러한 각 단계의 개선결과를 요약하면 <표 9>와 같다. FACTOR/AIM으로 구축한 초기 생산량은 64.169개/시간이고, 2차 개선 단계에서 생산량의 증대량이 가장 크다. 3차 개선, 즉 라인밸런싱을 고려한 작업시간 단축을 통해 목표 생산량을 만족할 수 있었다. 그리고 평균 재공품 재고도 초기시스템에서는 51.8개에서 최종시스템은 32.143개로 38%가 감소되었다.

본 예제에서 가능한 개선의 절차들을 순차적으로 초기 시스템에 적용시켜 해를 Factor/Aim을 이용하여 3차에 걸쳐 개선한 결과, 목표 생산능력 70대/시간을 만족하는 시스템 대안을 구하였다.

#### 4. 결론

본 연구는 자동차 차체조립 공정의 설계에서 주어진 목표 생산량을 만족하기 위한 2단계의 접근 방법을 사용하였다. 즉, 단계 1에서는 분석적인 방법(CQN)으로 RAM을 고려하지 않은 상태에서 요구되는 시스템성능을 만족하는 초기 해를 구하였으며, 이를 위하여 CAN-Q를 확장하여 개발한 CAN-WIP 모

표 9. 시스템 성능개선 결과 비교

구 분	초기시스템	1차 개선	2차 개선	3차 개선
각단계별 개선 안	단계1의 시스템파라미터를 이용한 FACTOR/AIM시뮬레이션	캐리어 수의 증대를 통한 시스템개선	FTA를 통한 시스템개선	라인 밸런싱을 통한 업시간 단축
평균재공품 재고(WIP)	51.8	31.32	32.904	32.143
설비고장 및 가동률				
- Busy	0.79967	0.82617	0.87017	0.8760
- Idle	0.19433	0.16767	0.12833	0.1222
- Breakdown	0.00617	0.00617	0.00150	0.0018
시간당평균 생산량	64.169 개/시간	66.331 개/시간	69.956 개/시간	71.572 개/시간

델을 사용하였다. 단계 2에서는 단계 1에서 구한 초기해로부터 실제 제조공정에 고려해야할 환경을 고려할 수 있는 시뮬레이션(FACTOR/AIM) 방법을 사용하여 각 단계마다 시스템 개선 기준을 설정하고 시스템 설계를 변화시킴으로써 주어진 시스템을 개선하였다. 위의 분석과정을 위하여 전산프로그램을 개발하고 Simulator를 사용하는 과정을 보였으며, 이를 K 자동차 회사의 신설 차체공장의 문제에 응용하고 목표 성능 70대/시간을 만족하는 조립공정설계를 위한 기본 자료를 구하

였다. 본 연구는 추후 보완 개발될 경우 차체조립 공정개선에 유용하게 활용 될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- Averill, M. L. and ASSOCIATES. (1995), *ExpertFit User's Guide*.  
 Gordon, W. J. and Newell, G. F. (1967), Closed Queueing Systems with Exponential Servers, *Operations Research*, **5**(2), 254-265.  
 Pritsker Cooperation (1993), *FACTOR/AIM: Finite Capacity Management*.  
 Solberg, J. (1980), *CAN-Q User's Guide*, Report No. 9(Revised) NSF Grant No. APR7415256, School of Industrial Engineering, Purdue University, W. Lafayette.  
 Solberg, J. (1980), Analysis of Flow Control in Alternative Manufacturing Configurations, *Journal of Dynamic Systems, Management and Control*.  
 Stecke, K. E. and Morin, T. L. (1985), The Optimality of Balancing Workloads in Certain Types of Flexible Manufacturing Systems, *European Journal of Operational Research*, **20**(1), 68-82.  
 Suri, R. (1985), An Overview of Evaluative Models for Flexible Manufacturing System, *Annals of Operations Research*, **3**, 13-21.  
 We, M. C. (1987), Buffer Capacity analysis for Sequential production Lines with Variable Process Times, *International Journal of Production Research*, **25**(8), 1183-1196.  
 Yao, D. D. and Buzacott, J. A. (1985), Modeling a Performance of Manufacturing Systems, *International Journal of Production Research*, **23**, 945-59.