

자동차 차체조립공정설계를 위한 시뮬레이션

System Performance Evaluation Using FACTOR/AIM for Main Body of Automobile Assembly Line

황 홍석*, 박 태원, 조 규성, 유 진식

Heung-Suk Hwang, Tae-Won Park, Kyu-Sung Cho, Jin-Suk Yu

동의대학교 산업공학과

614-714 부산시 부산진구 가야동 산24

Tel : 051-890-1657, E-Mail : hshwang@hyomin.dongueui.ac.kr

Abstract

본 연구에서는 자동차의 차체조립공정설계를 위하여 FACTOR/AIM 및 자체 개발한 생산시스템 성능평가를 위한 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 비교 연구하였다. 이를 위하여 먼저 자체에서 개발한 시스템성능산정 방법으로 초기 해를 구하고 세부 생산라인의 고장 Data와 조립라인의 구성, 운반장비 등의 다양한 여건을 고려하기 위하여 FACTOR/AIM을 사용하였다. Data의 분석을 위하여 ExpertFit를 사용하였으며 초기 시스템 모델링 및 Data로부터 목표 생산시스템을 만족하는 시스템을 단계별로 찾아가는 과정을 사용하여 최적 해를 구하였다. 본 연구에서 분석한 K회사의 경우 목표 생산량 70대/시간을 만족하기 위하여 4 차의 개선을 통하여 71.57대/시간의 생산라인을 구하였다. 본 연구에서 생산조립라인의 공정설계를 위한 시뮬레이션 과정을 실 예를 들어 제시하였으며 다른 제품의 생산공정분석에도 활용 가능하리라 생각된다.

Keyword : Simulation, Manufacturing System Design

1. 서론

본 연구는 자동차의 차체조립공정설계를 위하여 시뮬레이션 Package인 FACTOR/AIM을 이용하여 요구되는 생산 능력을 만족하는 시스템의 구성 및 성능 평가를 한 결과를 보였다. 이를 위하여 본 연구에서는 2 단계의 접근 방법을 사용하였다. 먼저 단계 1에서 CQN(Closed Queueing Network)방법으로 RAM을 고려하지 않은 상태에서 요구되는 시스템성능을 만족하는 초기 해를 구하였으며, 단계 2에서는 FACTOR/AIM을 이용한 시뮬레이션 방법을 사용하였으며 단계 1에서 구한 초기해로부터 실제 제조공정에 고려해야할 환경을 고려하여 개선하였다. 또한 위의 분석과정을 위한 전산프로그램 및 Simulator를 사용하는 과정을 제시하였으며 이를 KIT자동차(주)의 신설 차체공장의 문제에 응용하고 목표 성능 70대/시간을 만족하는 조립공정설계를 위한 기본 자료를 구하였다.

2. CQN을 이용한 초기 해의 산정

본 연구에서는 2 단계의 차체조립공정분석방법을 사용하였으며 이를 위하여 그림 1과 같이 초기해를 CAN-WIP모델을 이용하여 구하고 이로부터 실제 제조환경을 고려한 FACTOR/AIM을 이용한 시뮬레이션 방법으로 목표 성능을 만족하는 시스템을 구성하기 위한 개선방법을 사용하였다. 우선 조립공정시스템 대안을 구성하고 시스템의

기대생산물을 만족하는 시스템을 구하기 위하여 그림 1의 단계 1에서와 같이 CQN 방법을 사용하였다.

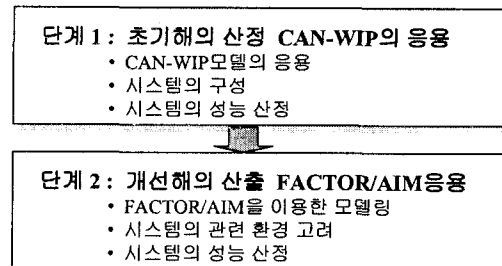


그림 1. 모델의 흐름도

2.1 시스템 기대생산물 산정

본 연구에서 고려한 차체조립라인의 성능의 최적화를 위하여 그림 2와 같이 CQN으로 표시된 통합생산시스템을 고려하였다. 여기서 각 S_i 개로 구성된 M개의 기계그룹(Machine Group : M/C)을 갖는 시스템에서 N개의 가공품이 시스템 내에 있을 경우 각 M/C Group에서의 대기숫자를 n_i 라고 하면, 집합 \bar{n} 의 확률을 다음과 같이 표시할 수 있다.[Gordon과 Newell(1967)]

$$\begin{aligned}
 p(\bar{n}) &= p(n_1, n_2, \dots, n_M) \\
 &= G(M, N)^{-1} g_1(n_1) \cdot g_2(n_2) \cdot \dots \cdot g_M(n_M)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

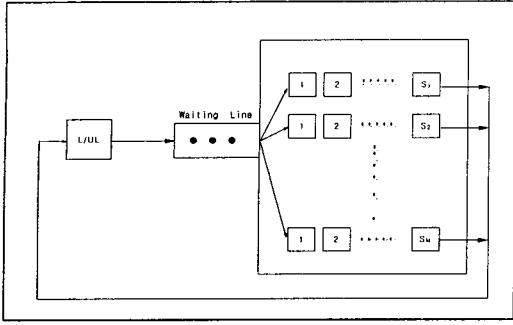


그림 2. CQN으로 표시된 통합 생산시스템

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

$$\sum_{i=1}^M n_i = N, \quad 0 \leq n_i \leq N$$

$g_i(n_i)$: M/C-Group i 에서 대기하는 Part숫자의 함수로서 다음과 같다.

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

여기서, x_i : M/C Group i 할당된 Work_Load

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

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

$S(M, N)$: 각 M/C의 대기중인 Part의 가능한 조합

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

위의 식으로부터

$$p(\bar{n}) = \frac{g_1(n_1) \cdot g_2(n_2) \cdot \dots \cdot g_M(n_M)}{\sum_{s(M, N)} g_1(n_1) \cdot g_2(n_2) \cdot \dots \cdot g_M(n_M)} \quad (3)$$

식(2)에서와 같이 $G(M, N)$ 가 모든 가능한 상태 (n_i)의 조합에서 정상확률(Steady State Probability)의 합이므로

$P(\bar{n}) \leq 1$ 이 된다.

i) 단일 M/C M-G의 경우

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

ii) 다 M/C M-G의 경우

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

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

CQN Model에서의 통합 생산시스템의 성과측정을 위하여 다음 수식을 전개하였다.

1) 작업중인 M/C의 기대비율(Expected Proportion of Busy M/C) :

i번째 M/C Group의 M/C가 작업중인 M/C의 기대 수를 B_i 라 두면

$$B_i = \sum_{k=0}^{s_i} k P_{i(k)} + \sum_{k=s_i+1}^N s_i P_{i(k)} \\ = \sum_{k=0}^{N-1} x_i g_i(k) \frac{G_i(M-1, N-k)}{G(M, N)} \\ = x_i \frac{G(M, N-1)}{G(M, N)}$$

즉 각 M/C Group에서의 작업중인 기대 M/C의 수는 그 M/C Group의 Work Load에 비례함을 알 수 있으며 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) 시스템의 효율(Efficiency of the System)

시스템 효율을 단위시간당 기대 생산량과 시스템내의 전 M/C가 항상 작업중인 경우의 생산량과의 비율을 표시한다.

$$Eff = P_E/P_I$$

P_E : 기대 생산률

P_I : 최대 생산률(이상적인 경우)

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

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

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

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

$$\therefore \frac{P_E}{P_I} = \sum_{s(M, N)} P(\bar{n}) \cdot U(\bar{n}) \\ = \frac{G(M, N-1)}{G(M, N)}$$

2.2 초기시스템 산정

위의 수식들을 이용한 계산을 위하여 Solberg의 CAN-Q 모델을 확장한 CAN-WIP 모델을 개발하여 사용하였으며, 이를 이용하여 그림 1의 모델의 흐름도중 단계 I의 초기시스템 결정을 위하여, 우선 설비를 각각 한대로 가정하고 충분한 Buffer Size를 가지는 조건하에서 초기시스템을 구성하였다. 목표생산능력 및 비용을 만족하는 최적시스템을 구하기 위하여 각 단계마다 애로공정(Bottleneck)의 설비 수를 한 단위씩 증가시켰다.

본 연구에서 그림 3과 같이 조립흐름 도를 가진 K회사의 차체생산조립라인의 공정설계 예제를 들어 목표 생산량 70대/시간을 만족하는 초기 해를 구하였다. 본 예에서 재 Modeling한 시스템(예 :9개 W/S)을 초기시스템으로 하는 CAN-WIP를 이용하여 매 단계마다 Bottleneck의 W/S의 설비를 한 단위씩 증가시키면서 시스템의 목표성능(예70 Part/Hr)을 만족하는 대안을 구하였다.

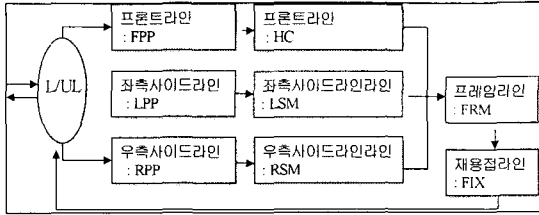


그림 3. 차체조립흐름도

이 경우 각 단계마다 시스템의 생산률(Part/Hr), 사용률(Utilization Rate)과 재공품재고(WIP)를 산정하여 이들을 각각 최대, 최소가 되도록 하는 시스템을 최종시스템으로 산출하였다. 예제 시스템의 입출력 자료(요약)를 요약하면 표 1과 같다.

표 1. 단계 I의 출력 예:

Work Stn.	No.of Server	Prod. rate	Util. rate	WIP	Buffer Size
L/UL	1	71.	0.90	1.5	2
FPP	3	71.	0.93	3.2	6
LPP	1	71.	0.94	3.5	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	3
FRM	5	71.	0.89	4.5	5
FIX	3	71.	0.91	4.7	5

CAN-WIP 모델은 확정적인(Deterministic)방법으로 매우 간편하고 사용이 용이하며 다양한 결과를 분석할 수 있는 반면에, 다음과 같은 많은 가정사항과 활용상의 제한사항이 있다. 이중 중요한 것을 요약하면 다음과 같다: 1) 평균흐름시간(Average Flow Time)이 단순한 평균치로 산정된 점이다.

이는 작업시간(Processing Time), 대기시간(Waiting Time) 및 운반시간(Travel Time)의 합으로 산정되나 이들의 시간들은 실제로는 작업지점간의 거리, 가공제품의 Type 및 가공순서 등에 따라 상이하나 여기서는 충분히 고려되지 못하였다.

2) 본 모델은 CQN(Closed Queueing Network) 시스템으로서 한 기계에서 진행중인 작업이 끝나야 다른 작업이 시작된다. 이 과정에서 후속작업으로 전환이 가능하지 못할 경우에 일반적으로 발생하는 작업차단(Blocking), 작업정지(Locking) 및 작업고갈현상(Starving) 등이 고려되지 않았으므로 생산능력을 과다 평가할 가능성이 크다(제 4항 예제에서 이 예를 보였다). 3) 작업순서를 FIFO 정책에 따라 이루어지고 있으며 다른 작업순서 정책을 고려할 경우는 그 결과가 다르게 될 가능성이 크다. 이는 다음에서 설명될 FACTOR/AIM 시뮬레이션을 이용한 분석결과에서 차이가 있음을 보이고 있다.

3. FACTOR/AIM을 이용한 시스템 성능 산정

3.1 FACTOR/AIM Modeling

FACTOR/AIM을 이용하여 차체공정의 성능을 분석을 위하여 차체생산라인을 모델링하고 이에 소요되는 각종 DATA를 분석하였다. 각 Data의 분석을 위하여 FACTOR/AIM에 적절한 ExpertFit S/W를 사용하였으며, FACTOR/AIM을 활용하기

위하여 각 생산라인의 구성, 운반 장비의 정의, 단위 설비의 구성(Main Line, Sub Line), Process Plan, Resource Group 등 관련 파라미터들을 정의하여 시뮬레이션 모델을 완성하고 300시간 5회를 반복 시뮬레이션을 하였다. 초기조건(기본 모델)에서 시간당 64.2대의 생산물을 얻었으며 이로부터 캐리어의 수의 증가, 고장간격 및 수리시간의 조절, 라인별 사이클 타임 및 캐리어 속도의 향상 등의 방법을 고려하여 각 대안의 개선방법을 정하고 4차의 개선을 통하여 70대의 목표 생산물(70대/시간)을 달성하였으며 그 결과를 요약하였다. 고려된 생산라인의 환경을 요약하면 다음과 같다:

- 시뮬레이션 초기 조건

- 차체 생산목표 : 70대/hour

- 분석의 목적

- 차체 공장에 대한 시뮬레이션 모델 개발, 이를 이용하여 생산능력 예측

- 목표량 달성이 어려울 경우 개선 안을 제시, 그 효과를 예측

- 분석 범위 : 하체 라인~차체 재 용접 라인

- 개선 안의 방안 : 각 항목은 선택사항이며, 고려되어야 할 우선 순위이다.

- Buffer

- ① Buffer의 크기(=캐리어의 개수)를 증가 시킴.

- ② 각 라인 사이에 설치되는 캐리어의 개수는 최대 30개.

- 각 단위 설비의 고장 간격을 10% 내외로 증가시킴.

- 수리 소요시간을 최대 20% 이내에서 감소시킴.

- 5% 내외로 사이클 타임(=서비스 시간)을 단축시킴.

- 30% 내외로 캐리어 이동 속도를 향상시킴.

- 평균 수리시간을 추가로 감소시킴.

KIT 자동차주식회사의 차체 생산라인 구성도를 그림 4아 같이 표시하였다.

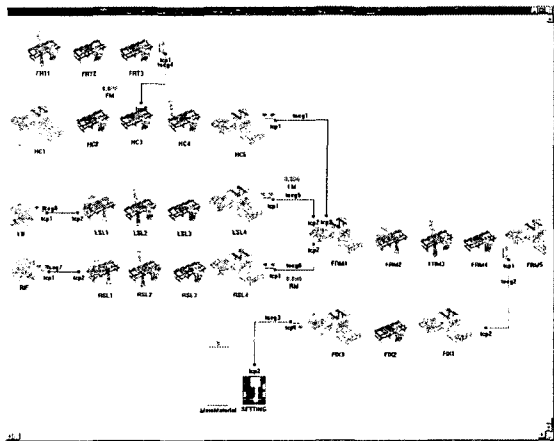


그림 4. 차체 생산라인 구성도

- 시뮬레이션 모델의 공통된 가정사항 :

- 각 라인의 생산설비의 고장확률 분포는 실제 Data로부터 ExpertFit를 이용하여 추정하여 사용하였다.

- 생산 차체의 종류

시물레이션 모델확장을 위하여 3가지의 차체가 1 : 3 : 1의 비율로 혼합 투입된다. 즉, B-A-B-C-B-B-A-B-C-B 순서를 반복하여 새로운 차체가 하체 라인에 투입되도록 한다.

- 시물레이션 결과의 편차를 제거하기 위하여 시물레이션 시작과 종료시간 사이에는 편차가 존재함을 가정하고 Clear Time을 둔다.
- 생산라인의 초기 시물레이션 모델로 CAN-WIP를 사용

3.2 시물레이션 결과

단계 1에서 얻은 초기시스템과 FACTOR/AIM을 응용하기 위한 실제 환경을 고려하여 산출한 결과를 요약하면 다음과 같다

- ① 초기 시물레이션 수행결과
단계 1에서 구한 초기시스템을 기준으로 고장 및 정비 등 현실적인 사항들을 고려하여 FACTOR/AIM으로 시물레이션 하였다.
- ② 1차 개선 시물레이션 결과
초기 시물레이션결과로부터 각 작업장간에 운행하는 캐리어의 수를 부족한 구간(Busy)에 증가시키고 일부 Data들을 개선시켰다. 개선 시물레이션 결과는 다음 표 4에서 요약 비교하였다.
- ③ 2차 개선 시물레이션 결과
1차 개선에서 가용한 운반설비를 확장하였으나 3차 개선에서는 각 설비의 고장시간간격을 줄이도록 개선하였다.
- ④ 3차 개선 시물레이션 결과
3차 개선 시물레이션에서는 각 라인에서의 작업시간을 단축하기 위한 개선으로 작업시간을 조정하였으며 결과를 다음과 같이 요약하였다.

표 4. 시물레이션 결과 비교

구분	초기 시스템	1차개선	2차개선	3차개선
시물레이션 수행시간 (반복 횟수)	300시간, 5회	300시간, 5회	300시간, 5회	300시간, 5회
Clear Time	168시간	168시간	168시간	168시간
시물레이션 시간	1332시간	1332시간	1332시간	1332시간
평균재공품 재고(WIP)	51.8	35.32	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
시간당 평균 생산량	64.169 개/시간	66.331 개/시간	69.956 개/시간	71.572 개/시간

FACTOR/AIM을 이용하여 4차에 걸쳐 개선한 결과, 목표생산능력 70대/시간을 만족하는 시스템 대안을 구하였다. 본 예제에서 가능한 개선의 절차들을 순차적으로 초기 시스템에 적용시켜 해를 구하였다. 본 연구에서는 특히 그림 3과 같이 조립흐름도를 따라 초기해로부터 각 개선모델을 구하기 위하여 개선기준을 만들어 최선의 대안을 구하였으며, 이 결과를 요약하면 다음 그림과 같다.

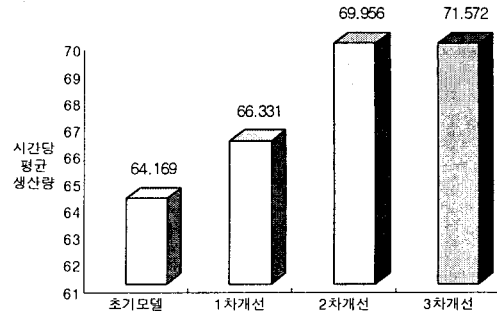


그림 4. 개선시스템의 생산 능력비교

4. 결론

본 연구에서는 차체생산공정설계를 위하여 2 단계의 접근방법을 사용하였다. 먼저 단계 1에서 CQN(Closed Queueing Network)방법으로 RAM을 고려하지 않은 상태에서 요구되는 시스템성능을 만족하는 초기 해를 구하였으며, 단계 2에서는 FACTOR/AIM을 이용한 시물레이션 방법을 사용하였으며 단계 1에서 구한 초기해로부터 실제 제조공정에 고려해야할 환경들을 고려하여 개선하였다. 또한 위의 분석과정을 위한 전산프로그램 및 Simulator를 사용하는 과정을 제시하였으며 이를 KIT자동차(주)의 신설 차체공장의 문제에 응용하고 목표성능 70대/시간을 만족하는 조립공정설계를 위한 기본 자료를 구하였다.

참고문헌

1. Gordon, W. J. and Newell, G.F. "Closed Queueing Systems with Exponential Servers", Operations Research, Vol.5, No.2, pp. 254-265, 1967.
2. Stecke, K.E. and Morin, T.L., "The Optimality of Balancing Workloads in Certain Types of Flexible Manufacturing Systems," European Journal of Operational Research, Vol. 20, No. 1, pp. 68-82, 1985.
3. Suri, R. "An Overview of Evaluative Models for Flexible Manufacturing System", Annals of Operations Research, Vol. 3, pp. 13-21, 1985.
4. WE MIN Chow, "Buffer Capacity analysis for Sequential production Lines with Variable Process Times" Int. J. Prod. Res., Vol. 25, No. 8, pp. 1183-1196, 1987.
5. Yao, D. D., and Buzacott, J. A., "Modeling a Performance of Manufacturing Systems", Int. Jnr. Prod. Res., 23, pp. 945-59, 1985.
6. Prisker Corporation, "FACTOR/AIM : Finite Capacity Management", 1993.