한국시뮬레이션학회 '00추계학술대회 논문집 2000.11.11 아주대학교

통합생산시스템의 성능평가를 위한 시뮬레이션모델의 비교연구

A Comparative Study on Performance Analysis of Integrated Manufacturing System Using Simulation Models

황 흥 석*, 조 규 성**
Hwang Heung-Suk, Cho Gyu-Sung

* 동의대학교 기계산업시스템공학부 교수
** 동의대학교 대학원 산업공학과 박사과정

요 약

통합 생산시스템의 성능평가문제는 많은 요소들이 고려되어야하며 수리모델을 위하여 많은 가정사항들이 주어진다. 실제 제생산시스템의 운영환경을 고려한 성능평가를 위하여 Simulation Model들이 많이 연구되어 오고있으나, 실제 활용의 용이성 및 관련 data 및 출력의 이해가 실무자들에게는 매우 어려운 문제로 남아 있다. 본 연구에서는 사용자의 요구 수준과 System의 환경 여건에 따른 각종 Simulation Model들을 비교 조사 연구하여 수요자의 요구와 System의 특성에 적절한 방법을 활용할 수 있도록 하였다. 본 연구에 다음과 같은 Simulation Model들을 비교 연구하였다 :

1) CAN-WIP Model, 2) RAM-Cost Model, 3) FACTOR/AIM 응용, 및 4) AutoMod의 응용

본 연구에 고려된 Simulation Model들의 관련 응용 Program을 개발하고 Sample 예제를 통하여 결과를 비교 분석하였다.

Keyword : System Performance Evaluation, Integrated Manufacturing System

1. 개 요

시뮬레이션 방법을 이용한 통합생산시스템의 성능 평가 문제는 많은 논문에서 다양한 연구 결과가 발표되어 있다. 본 연구는 복합자동생산시스템의 설계 시 시스템에서 고려되는 여러 요소들을 통하여 최적 생산시스템의 설계와 이의 성능 평가를 위한 분석 Model의 연구이다. 본 연구에서는 시스템의 환경, 생산장비의 작업시간, 생산률과 같은 시스템 수행요소들을 고려하여 시스템의 능력을 산출하였다. 시스템 능력을 산출하기 위하여 대기행렬네트워크(Closed Queueing Network: CQN) 이론을 사용하였으며, 그림 1과 같은 3 단계 분석 방법(Step-by-Step Approach)을 사용하였다. 1) 시스템의 고장이 없는 경우를 가정하고(가용도=1) 초기 시스템의 구성은 각 작업장에 1대씩의 장비로 구성된 시스템으로 부터 시스템성능을 향상시킬 수 있도록 반복하여 작업부하가 가장 큰 Workstation을 선정하여 장비를 한 단위씩 증가시켜 요구되는 생산률을 만족시키는 최적의 통합생산시스템을 결정하였다. 위의 방법에 의한 결과를 실제 문제에 응용하여 보이고, 2) 다음으로 고장률을 고려하여 시스템의 가용도(Availability)를 산정 하여 고려하였으며 끝으로 3) 다양한 조건들을 고려할 수 있는 FACTOR/AIM[4]와 3차원

Animation[1]이 강화된 AutoMod시뮬레이터를 사용하였고 시뮬레이션의결과를 비교하였다.
위의 3 단계의 능력산정과정을 요약하면 그림 1과 같다.

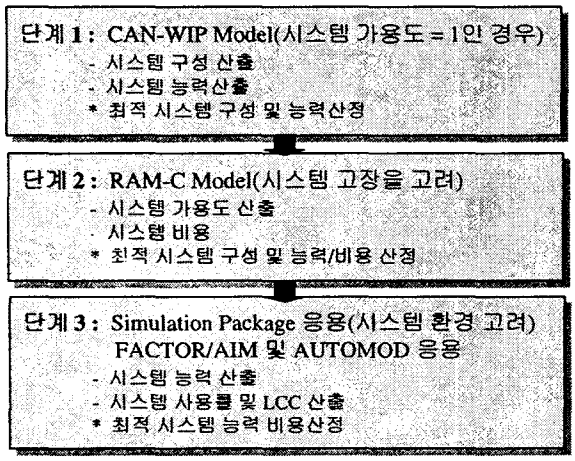

그림 1. 3-단계 접근 방법

2. CQN Model : CAN-WIP

CAN-WIP는 고장이 없이 시스템의 가용도가 1인 가정 하에서 시스템의 생산률, 사용률 및 애로공정을 구하여 최적 생산 시스템을 구성하는데 유용하게 사용되는 모델이다.
CAN-WIP의 주요 산출 내용은 다음과 같다.

- 초기 시스템의 구조(Initial System Configuration)
- 시스템의 생산능력(Production Rate)
- 작업 시간 자료(Process Time)
  - 평균 시스템내의 지체시간 (Average Time in System)
  - 실제 작업처리 시간(Process Time)
  - 운반 시간(Traveling Time)
- 애로 공정(Bottleneck)
- 작업 품목 및 작업 설비 선정(Part/Machine Selection)
- 최적 시스템 구성

CAN-WIP에서는 각 작업지점(Workstation)에 장비가 각각 1대씩 구성된 초기 시스템에서부터 애로공정의 장비를 1대씩 증가시켜가면서 목표생산률을 만족시키는 최적시스템을 구할 때까지 반복수행을 하였다. CAN-WIP는 아주 이상적인 시스템을 분석하는 모델이므로 보다 현실적인 문제를 해결하기 위하여 다음 단계에서 시스템 고장을 고려하여 시스템 가용도, LCC 및 시스템 생산 능력을 산정 하는 모델 RAM-C를 제시하였다.

3. 시스템 가용도 모델 (RAM-C Model)

RAM산정을 위하여 개발된 방법은 많은 문헌에서 볼 수 있다. 이들 중 중요한 내용을 요약하면 아래와 같다. 일반적으로 사용되는 분석모델(Analytical Models)로서 간이방법(Approximate Methods) 및 시뮬레이션모델 등을 들 수 있다.
본 연구에서 다음 내용들이 고려되었다.

① RAM산정 모델링
② 제조설비시스템의 구성(Configuration)에 다른 가용도의 산정
③ 시스템의 생산능력과 가용도의 연관 산정방법
④ RAM모델에서의 순기비용(LCC)산정
⑤ 예비 설비 부분품(Backups)에 따른 가용도
⑥ 정비능력(정비요원 및 정비기간)에 따른 시스템 가용도 산정
⑦ 예방정비 정책에 따른 가용도의 산정

본 연구에서는 시뮬레이션 방법에 의한 다음과 같은 균형가용도(Equilibrium Availability)를 산정하는 방법을 선택했으며 주어진 설비시스템의 기본 Data로부터 다음과 같이 구하였다.

A_e : 고려된 기간이 충분히 클 경우, 시스템이 가용상태일 확률

$$A_t = \frac{\text{기간}(0,t)\text{동안의 총 가동시간}}{\text{총 가동시간} + \text{총 정지 시간}} = \frac{(0,t)\text{동안의 총 가동시간}}{Cycle\ Time}$$

$$A_e = \lim E\left(\frac{U_1 + U_2 + \cdots + U_{N(t)}}{U_1 + \cdots + U_{N(t)} + \cdots + V_1 + V_{N(t)}}\right) = \frac{E[U]}{E[U]+E[V]}$$

U_i : i번째의 시스템이 가동상태에 있을 시간 길이를 나타내는 확률변수

V_i : i번째의 기간에 시스템의 Down Time의 길이를 나타내는 확률변수

주어진 시스템의 가용도를 산정 할 경우 다음 내용들이 선행되어야 한다.

(1) 시스템의 고장 발생 과정(Failure Process) 또는 신뢰성 Parameter

(2) 정비과정(Maintenance) 또는 시스템 정비도 Parameter

(3) 시스템의 구성(각 하부 시스템 또는 주요 부분품의 연결 및 각 기능의 구성)

복합 생산시스템의 가용도는 시스템의 성능과 관련이 있으며 단위 생산제품의 생산비용에 크게 관련이 있고, 시스템의 RAM 목표달성을 위하여 가용도의 개선의 노력이 중요하며 가용도 개선(Availability Enhancement)은 주로 다음과 같은 내용 등을 포함한다.

(1) System Configuration의 개선 시스템의 Work-Road가 가장 큰 W/S의 Server Bottleneck을 증가시킨다.

(2) 예비품(Standby Components)을 계획한다.

(3) 중간 제공품(W/P)을 위한 Buffer-Storage를 증가시킨다.

(4) 정비정책을 개선시킨다.

- 고장정비(Corrective Maintenance)
- 예방정비(Preventive Maintenance)

(5) 복합적인 개선 방법을 사용한다.

이를 위하여 다음과 같이 비용산정 모델과 연계된 가용도 산정과정을 그림 2와 같이 표시하였다.

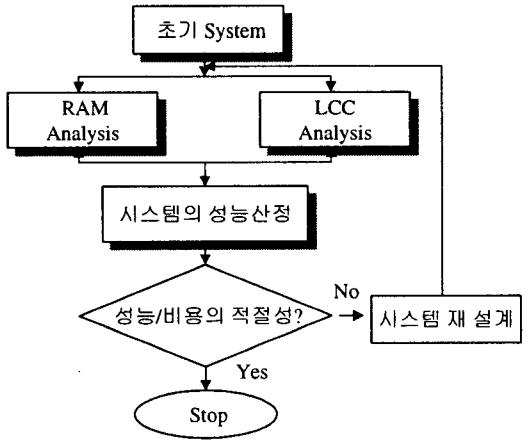

그림 2. 종합 가용도-비용 분석 모델

본 연구에서는 위의 그림 2에서와 같이 가용도의 산정을 위하여 다음과 같은 주용 내용들이 분석되어진다.

1) RAM 소요 설정

- 시스템의 성능 및 경제성의 목적을 위하여 시스템 설계 및 운용 단계에서 모두 RAM 및 비용목표가 설정이 되어야 한다.
- 각 설비 대안에 대하여 주요 목표로서 다음 내용들이 설정된다.
  · 생산능력소요(Production Requirement)
  · 단위 생산비용(Unit LCC)

2) 가용도 개선을 위한 분석

시스템의 성능 향상과 가용도를 개선하기 위한 과정으로서 목표 RAM을 달성하기 위하여 다음과 같은 RAM 개선 방법을 사용한다.

- 시스템 구성(System Configuration)의 개선
- 예비 시스템 혹은 부 시스템(Back-up or Standby Components)을 사용
- Buffer능력을 변경시킨다
- 수시 정비(CM : Corrective Maintenance)정책을 개선
- 예방 정비(PM : Preventive Maintenance)정책을 개선
- 기타 복합 방법의 활용

위의 내용들을 고려한 가용도 산정 모델(그림 1)에서(RAM 분석 Block)의 흐름도를 표시하였으며, 이를 위한 전산프로그램을 개발하고 이를 실제 문제에 응용한 결과를 보였다.

3. Simulation

시뮬레이션 Tool인 FACTOR/AIM과 AutoMod를 사용하였다. 시뮬레이션 Tool은 수리적 모델로 접근하기 힘든 요인들을 고려할 수 있기 때문에 보다 현실적으로 주어진 통합 생산 시스템의 능력을 산정할 수 있다.

3.1 FACTOR/AIM시뮬레이션

본 연구에서는 주어진 CAN-WIP로 구한 최적 통합생산시스템의 성능 비교를 하기 위한 시뮬

레이션 Tool 중에서 먼저 FACTOR/AIM을 사용하였다. FACTOR/AIM은 Pritsker[1]에 의해서 개발된 통합 소프트웨어시스템이고 이것은 모델의 다양한 능력값과 출력값을 제공한다. FACTOR/AIM은 정확한 작업 계획, 부품의 Demand, WIP, Buffer 저장 및 대기 장소(Queueing)정책 및 보다 상세한 생산 능력 계획과 같은 다양한 범위를 제공하는 통합된 소프트웨어 시스템이다. FACTOR/AIM은 대화형이며 그래픽 기능을 이용한 사용자 대화 방식(GUI)이 가능하며 자동적인 애니메이션과 그래프을 구현할 수 있으며 사용자가 문제의 유형에 따라 필요한 자료만 수집 가능한 보고서 양식 등이 있다.

FACTOR/AIM의 특징은 다음과 같다.

- 대화형이며 그래픽 기능을 이용한 모델 입력
- 컨베이어와 운반 차에 대한 상세한 모델링
- 자동적인 애니메이션
- 자동적인 그래프 출력
- 대화형식인 애니메이터/시뮬레이터
- 문제의 유형에 따라 필요한 자료만 수집하는 문제 유형별 보고서 양식

3.2 AutoMod시뮬레이션

3차원 애니메이션이 강화된 AutoMod를 사용하여 통합생산시스템의 성능을 산정하고 앞에서 구한 통합생산시스템의 성능과 비교하였다. AutoMod는 CAD와 유사한 강력한 Drawing 기능과 Control Logic 및 물류 흐름을 정의할 수 있는 Engineering성향의 언어로 이루어진 Factory 시뮬레이션 시스템이다. AutoMod는 공장 제조 및 물류 시스템 전용 시뮬레이션 시스템으로 다른 시뮬레이션과는 달리 3차원 상에서 크기·거리·공간 등과 같은 구조적 한계를 정확하게 나타낼 수 있다. AutoMod는 물류진단, 공장 설비 진단, 자동창고 시스템 그리고 FMS에 적용할 수 있다.

AutoMod는 Physical Model과 Logical Model로 구분된다. 먼저 AGVS , Power & Free , AS/RS 와 같은 Physical Model들로 구성된 요소들을 이용하여 전체 시스템을 구성하고, Logical Model를 사용하여 각각의 구성요소들의 흐름을 제어한다.

4. 모델의 응용

앞서 설명한 통합생산시스템의 성능 산정을 위하여 그림 3과 같은 주어진 통합생산시스템에서 최적의 성능을 나타낼 수 있는 시스템을 구하려고

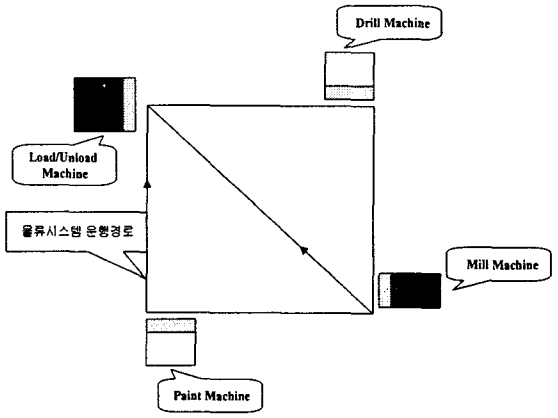

그림 3. 통합생산시스템 구성도

한다. 본 예제는 원자재가 공정 내에 투입이 되면 최종 작업 후에는 2가지 형태의 부품이 만들어진다. 원자재가 L/UL(Load/Unloading) 장비에 의해서 통합생산시템으로 투입이 되면 Drilling 작업과 Milling작업을 한 후 부품 A는 L/UL 작업장으로 간 후 공정에서 빠져나가고 부품 B는 painting작업을 마친 후 L/UL 작업장으로 가서 통합생산시스템에서 제거된다. 이때 6 : 4의 비율로 생산되며 각각 다른 공정을 거친다.

4.1 CAN-WIP를 이용한 최적시스템 산정

CAN-WIP에서는 각 작업지점(Workstation)의 장비가 각각 1대씩 구성된 초기 시스템에서부터 시작하여 애로공정의 장비를 1대씩 증가시켜가면서 목표 생산률을 만족시키는 최적시스템을 구한다. 표 1은 본 예제의 입출력 값을 표시하고 있다.

표 1. CAN-WIP의 입출력값

INPUT DATA SUMMARY:

STA.	No. OF SERVERS	VISIT FREQ.	AVE. PROC.TIME	RELATIVE WORKLOAD	WORKLOAD PER SERVER
1 L/UNL	1	.27778	5.00000	1.38889	1.38888
2 DRILL	1	.27778	20.00000	5.55556	5.55555
3 MILL	1	.27778	18.00000	5.00000	5.00000
4 PAINT	1	.16668	15.00000	2.50000	2.50000

NUMBER OF ITEM IN SYSTEM = 16
MEAN NUMBER OF OPERATIONS TO COMPLETE AN ITEM = 3.60000
SYSTEM PERFORMANCE MEASURES:
PRODUCTION RATE = 2.8076 ITEMS PER HOUR
PRODUCTION RATES BY PRODUCTION TYPE

	NUMBER
PRODA	1.684
PRODB	1.123

AVERAGE TIME IN SYSTEM = 213.78 MINUTES

PROCESSING	52.00
TRAVELING	3.60
WAITING	158.18

THE BOTTLENECK STATION IS 2

STATION PERFORMANCE MEASURES:

STATION NUMBER	STATION NAME	SERVER UTILIZATION	AVE.NO.OF BUSY SERVERS
1	L/UNL	.234	.234
2	DRILL	.936	.936
3	MILL	.842	.842
4	PAINT	.421	.421
5	AGV	.168	.168

표 2. 각 대안별 CAN-WIP Output

Classification	Initial Sys.Alt.	1st Sys.Alt.	2nd Sys.Alt.	3rd Sys.Alt.	4th Sys.Alt	5th Sys.Alt
System Configuration	L/UNL 1	1	1	1	1	1
	DRILL 1	2	2	3	3	3
	MILL 1	1	2	2	2	3
	PAINT 1	1	1	1	2	2
	AGV 1	1	1	1	1	1
Pro. Rate: Unit/hr	2.807	3.304	5.080	5.543	6.160	7.277
Sys. Flow Time	213.78	181.60	118.12	108.25	97.40	82.45
- Process	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00
- Traveling	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
- Waiting	158.18	126.00	62.52	52.65	41.80	26.85
Bottleneck St.	W/S #2	W/S #3	W/S #2	W/S #4	W/S #3	W/S#2

표 2에서 보면 CAN-WIP를 통한 각 대안에서 대안 5가 요구생산량인 7을 만족을 하여 최적대안으로 선정이 되었다. 즉 L/UL 장비 1대 , Drill 장비 3대, Mill 장비 3대, Paint 장비 2대 및 AGV는 1대일 때이다. 그리고 대안 5를 선택 시 부품생산률은 7.277이다.

4.2 시스템 가용도모델 RAM-C 응용

통합생산시스템의 RAM 및 순기비용산정 평가를 위하여 RAM-C을 응용하였으며, 이를 위한 전산프로그램을 개발하여 사용하였다. 본 Model의 타당성 및 가능성을 위하여 위의 예제의 자료를 사용하였다. 표 3과 같이 출력을 요약하였다.

표 3. 설비의 각 대안별 RAM 및 LCC(예:)

Alt.	MTTF	Prod. Rate	Avai.	LCC		
				PW of LCC	Cost Rate	LCC/ Unit
1 1 1	10	2.237	0.310	14,025	43.34	5.25
1 1 2	15	3.165	0.322	13,850	43.14	5.23
1 2 2	20	3.669	0.456	12,085	26.36	3.19
2 2 2	25	4.028	0.522	9,025	13.25	2.02
2 2 3	30	4.599	0.746	6,650	8.87	1.08
2 3 3	35	4.803	0.778	5,275	6.66	0.81
3 3 3	40	5.242	0.868	4,359	4.97	0.60
3 3 4	45	5.847	0.941	3.025	3.18	0.39

4.3 FACTOR/AIM을 이용한 시뮬레이션

FATOR/AIM을 이용하여 CAN-WIP에서 고려한 초기시스템 및 CAN-WIP에 의해 구해진 최적의 생산시스템을 표 4와 표 5의 데이터를 이용하여 성능을 산정 하였다. 최적의 통합생산시스템은 그림 4와 같다.

표 4. FACTOR/AIM의 입력값

· Total Simulation Time : 5,000 hr
· Number of AGV and its Speed : 1 AGV,50ft/Min

표 5. Setup Time 과 Processing Time

St. No	Part A	Part B
	Processing Time(hr/LD)	Processing Time(hr/LD)
1	N(0.088,0.008)	N(0.088,0.008)
2	0.333	0.333
3	0.300	0.300
4	0.250	-

$N(u, \sigma)$은 평균이 u이고 분산이 σ인 정규분포이다

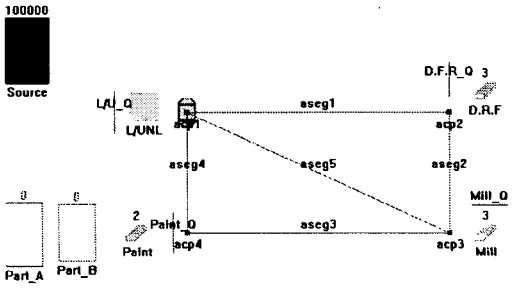

그림 4. FACTOR/AIM을 이용한 최적 통합생산시스템

4.4 AutoMod를 이용한 시뮬레이션

위에서 고려한 초기시스템 및 최적 시스템을 AutoMod를 이용하여 시스템 성능과 기타 출력을 구하였다. CAN-WIP를 통해 최종의 통합시스템과 비교를 하기 위하여 표 4오 표 5의 데이터를 사용하였다. 그림 5는 AutoMod로 구현한 최적 통합 생산시스템을 나타내고 있다.

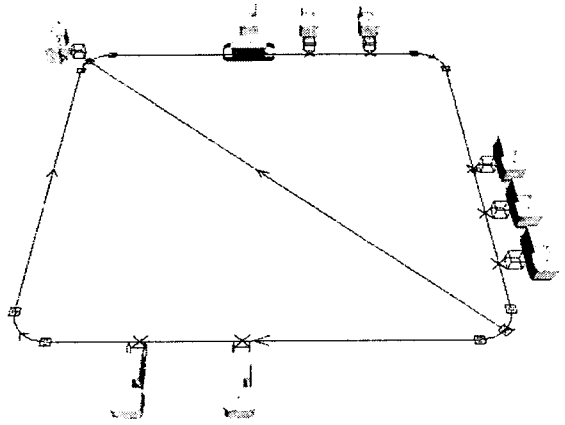

그림 5. AutoMod를 이용한 최적 통합생산시스템

4.5 시뮬레이션 결과의 비교

통합 생산시스템의 성능산정을 위하여 CAN-WIP로 초기시스템의 성능을 산정하고 애로 공정 장비의 증가에 의해서 최적대안을 산출하였으며, RAM-C를 이용하여 시스템의 가용도 및 LCC를 산정하고 시뮬레이션 방법으로 FACTOR/AIM 및 AutoMod을 이용하여 구한 결과와 비교하였다. 시뮬레이션 Tool를 사용 시 처음의 100시간의 데이터를 제외하고 그 이후의 5000시간을 시뮬레이션을 하여 값을 얻었다. 표 6은 CAN-WIP, RAM-C, FACTOR/AIM 및 AutoMod에 의해서 구한 값을 나타내고 있다.

표 6. CAN-WIP 및 시뮬레이션모델의 결과 비교

구 분	CAN-WIP	RAM-C	FACTOR/AIM	AUTOMOD
Prod. Rate (unit/hr)	7.277	5.847	3.686	3.421
Proc. Time (unit/hr)	0.806	IF	4.11	4.06
Wait.Time	0.477	IF	4.46	4.75
Avail.		0.94		
LCC/unit		0.39		
주요 특징	가용도=1 설비구성 생산률산정	가용도산정 LCC산정	설비배치 능력산정 Blocking고려	설비배치 능력산정 3차원 에니메이션

최적시스템에서 CAN-WIP는 7.277, FACTOR/AIM은 3.686, AutoMod는 3.621로서 CAN-WIP와 시뮬레이션 모델의 결과는 큰 차이를 보였다. 생산률 외에 제품의 시스템 내에서의 대기시간과 Processing Time도 CAN-WIP와는 차이를 보였다. 그 이유는 부품 운반장비로 AGV는 CAN-WIP에서 운반시간이 고려되지 않았으며 고장 및 정비를 고려하지 않은 아주 이상적인 조건을 가정했기 때문이다. 그러나 FACTOR/AIM과 AutoMod는 차량의 속도가 주어지기 때문에 CAN-WIP와 출력 값을 비교 시 많은 차이가 있다. 특히 AutoMod는 AGV의 운행 시 가속, 감속 및 회전시의 속도 등과 같은 특성들을 고려하므로 FACTOR/AIM의 출력 값보다 다소 적은 결과를 얻을 수 있었다.

5. 결 론

본 연구는 CAN-WIP , FACTOR/AIM 및 AutoMod를 이용하여 통합생산시스템(FMS)의 성능 산정을 위한 과정을 제시하였다. 단계 1은 Static Model로서 고장 및 수리가 없는 가용도가 1인 이상적인 시스템에서, CAN-WIP를 사용하여 초기 시스템을 구하고 병목현상(Bottleneck)이 발생하는 Workstation에서 장비를 1단위씩 증가시켜서 목표 생산률을 만족하는 시스템을 구하였다. 단계 2에서는 FACTOR/AIM과 AutoMod를 사용하여 CAN-WIP에 의해서 구한 최적시스템을 비교

분석하였다. CAN-WIP Model은 이상적인 시스템을 분석하는 모델이므로 FACTOR/AIM이나 AutoMod의 출력 값과는 다소 차이가 있지만 비교적 입출력이 간편하고 짧은 시간에 판단을 가능케 한다. FACTOR/AIM과 AutoMod는 보다 현실적인 문제에 접근 가능한 시뮬레이션 Tool이고 특히 AutoMod는 3차원 기능이 추가되었으므로 통합생산시스템을 구축시 보다 다양한 시스템의 분석이 가능하다. 실제문제에서 통합생산시스템의 성능분석에 고려해야 할 문제가 많으나 AutoMod와 같은 시뮬레이션의 사용으로 보다 현실적인 시스템의 분석 및 문제 해결이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

1. AutoSimulations "AutoMod User's Manual" vol 1. Jan, 1998.
2. Dallery, Y. and Stecke, K.E., "On the Optimal Allocation of Servers and Workloads in Closed Queueing Networks, " Operations Research, Vol.38, No.4, pp. 694-703, 1990.
3. Gordon, W. J. and Newell, G.F. "Closed Queueing Systems with Exponential Servers", Operations Research, Vol.5,No.2, pp. 254-265, 1967.
4. Prisker Corporation, "FACTOR/AIM; Finite Capacity Management," 1993.
5. Solberg, j., "Analysis of Flow Control in Alternative Manufacturing Configurations," Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Sept., 1980.
6. 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.
7. Suri, R. "An Overview of Evaluative Models for Flexible Manufacturing System", Annals of Operations Research, Vol. 3, pp. 13-21, 1985.
8. Yao. D. D., and Buzacott. J. A., "Modeling a performance of Manufacturing Systems", Int. Jnr. Prod. Res., 23, pp. 945-59, 1985.