

자동 생산 시스템의 시뮬레이션 프로그램 개발

백 양 식 유 준
충남대학교 전자공학과

Development of a Simulation Program for Flexible Manufacturing Systems.

Yangsik Beak and Joon Lyon

Department of Electronics Engineering, Chungnam National University.

Abstract

The concept of FMS (Flexible Manufacturing System) has been widely used in discrete parts manufacturing environment. But, it is very difficult to analyze control FMS due to its complex and dynamic behaviour.

This paper describes a Simulation program for performance evaluation of FMS. The program is written in FORTRAN and is capable of simulating different configurations.

1. 서 론

다양한 제품의 수요가 증가하고, 그 제품의 유행 주기가 점점 짧아지는 추세에서 생산시스템의 유연성 (Flexibility) 과 생산성 (Productivity) 이 중요한 요인으로 작동하게 됨에 따라, FMS (Flexible Manufacturing System) 와 같은 자동 시스템이 각광을 받게 되었다. FMS는 컴퓨터를 중심으로 가공기계, 자체처리 장치 (MHS: Material Handling System) 등을 조합시켜서 다품종, 소량생산에 효율적으로 대처할 수 있는 자동화 공장의 대표적인 형태이다.

FMS는 복잡, 다양하고 동적인 특성을 지니고 있기 때문에 설계 단계에서 목적에 맞는 시스템을 구축하는데 필요한 분석을 한다든지, 운영단계에서 효율적인 제어기법을 결정하는 데 필요한 성능평가를 한다는 것이 매우 어렵다. 그동안 FMS의 설계분석 및 성능평가를 위하여 시뮬레이션 기법이 많이 사용되어 왔다. [1-3]

이는 FMS의 각 구성요소 (Component) 및 그 연관 관계를 모델링하여 컴퓨터 시뮬레이션 해법을으로써 설계 단계에서의 여러 사항을 결정하고, 운영 전략의 수립에 시뮬레이션 모델을 이용하는 접근 방법이다.

본 논문은 이산 사건 시뮬레이션 기법 [4] 을 이용한 컴퓨터 프로그램 개발과정을 설명하였으며 간단한 구성요소로

이루어진 셀 단위 기계 가공공정 FMS에 적용한 결과를 제시하였다.

2. FMS 모델링

FMS의 모델링은 개별 구성요소의 특성을 이해하고 기능을 정의하며, 다른 구성요소와의 유기적인 관계를 정의하는 일련의 과정이라 하겠다.

(1) 모델의 목적

FMS의 설계분석 및 효율적인 운영을 위한 분석 도구로 사용될 본 모델은 다음과 같은 내용을 구할 수 있도록 하였다.

- FMS 각 구성요소들에 대한 효율 (Utilization)
- 일정기간 동안의 각 작업물별 생산량
- 작업지연정도 (Work-in-process inventory) 및 병목 현상의 발생장소 인식
- 구성요소 고장시 시스템 성능에 미치는 영향의 정도
- 생산제어 방법별 생산성
- 구성요소별 증·감에 따른 용량 분석

(2) 모델의 범위

본 모델에서는 다음과 같은 내용을 처리할 수 있도록 하였다.

- 가공 기계의 종류
범용 Machining Center 와 전용기계를 사용하도록 한다.

- AGV (Automatic Guided Vehicle)

FMS의 이동 경로상에서 여러 작업장 (Work Stations) 사이를 오가면서 작업물을 자동으로 운송해주는 자체 처리 장치 (MHS)이다.
- L/U (Load / Unload) 작업장

가공할 작업물을 AGV가 가져갈 수 있도록 하거나 작업이 끝난 작업물을 AGV가 가져다 놓는 것을 가능케하는 곳이다. 또한 작업물을 Pallet에 고정 또는 해제하는 장소이기도 하다.
- 작업자

L/U 작업장에서 작업물을 Pallet에 고정 또는 해제하며 (부인가동시 이 작업은 특정 자체처리 장치에 의해 행해질 수 있다) 기계고장 발생시 이를 수리한다.
- Buffer

각 작업장에는 입력 Buffer(In- Buffer)와 출력 Buffer (Out- Buffer)가 있다고 간주한다.
- FMS의 배치사항

FMS Layout 상에서 작업장들 간의 최단경로 및 AGV의 이동시간은 미리 구하여 표로 입력한다.
- AGV 운영 계획

여러 작업장중 가장 심각하게 시스템의 수행도에 영향을 미치는 것 부터 AGV를 먼저 사용하도록 한다.
- 기계 및 AGV의 고장 발생

계획된 시간에 주어진 구성요소의 고장이 발생하면, 사용 가능한 구성요소를 재배정하여 작업을 추진시키는 방안을 강구한다.

표.1. 각 사건의 내용

번호	사건 이름	수행주체 (Resource)
1	고정 (Fixturing)	작업자, Manipulator
2	해체 (Unfixturing)	작업자, "
3	상차 (Loading)	AGV AGV
4	하차 (Unloading)	AGV AGV
5	가공 (Machining)	MS, 전용기계
6	이동 (Traveling)	AGV AGV
21, 22 23, 24	고장 (Malfunction)	기계 AGV MMS 작업자

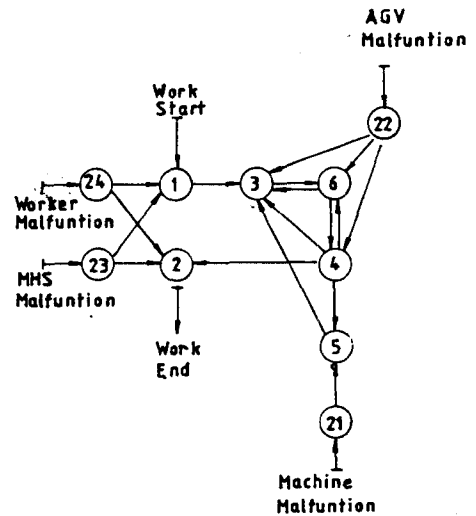


그림 1 Event Diagram

3. 시뮬레이션 모델의 구성

본 모델은 크게 3가지 부분으로 나누어 설명될 수 있다.

- 각 구성요소의 작업원리에 대한 모델
 - 사건 (Event) 관리 모델
 - 운영 방법에 대한 모델
- 여기서 사건은 시스템내에서 수행되는 작업을 의미한다.본 모델에서 취급한 사건의 종류는 표 1과 같이 주어진다.

앞에서 정의된 여러 사건들은 상호 연관관계를 가지고 있는데 이를 Event Diagram으로 그려보면 그림 1과 같다. 각 Node는 사건을 표시하고 화살표는 그 사건에 이어서 계획될 수 있는 사건들을 지시한다.

(1) 각 구성요소의 작업원리에 대한 모델

각 사건이 발생되고, 진행되고, 끝났을때, 그 사건과 관련된 구성요소의 상태를 실제 작업원리에 준하여 규정하는 부분이다.

가. 고정 : L/U 작업장에서 작업자가 가공할 작업물을 Pallet에 고정한다.

단계	관련 구성 요소	상태
시작	작업자	idle
	Manipulator	idle
	Pallet	available
	Out - Buffer	not full
진행	작업자	busy
	Manipulator	busy
종료	작업자	idle
	Manipulator	idle
	Pallet	* 1
	Out - Buffer	* 2

나. 해체 : L/U 작업장에서 작업자가 완성된 작업물을 Pallet 으로 부터 해체한다.

단 계	관련 구성 요소	상 태
시 작	작 업 자	idle
	Manipulator	idle
	In - Buffer	not empty
진 행	작 업 자	busy
	Manipulator	busy
	작 업 자	idle
종 료	Manipulator	idle
	Pallet	* 3
	In - Buffer	* 4

다. 상차 : 해당 작업장의 Out-Buffer 로 부터 AGV 가 자기 위에 작업물을 싣는다.

단 계	관련 구성 요소	상 태
시 작	AGV	idle
	Out-Buffer	not empty
진 행	AGV	loading
종 료	AGV	loaded
	Out-Buffer	* 4

라. 하차 : 해당 작업장의 In-Buffer 에 AGV가 작업물을 내려 놓는다.

단 계	관련 구성 요소	상 태
시 작	AGV	loaded
	In - Buffer	not full
진 행	AGV	unloading
종 료	AGV	idle
	In - Buffer	* 2

마. 가공 : Machining Center 또는 전용기계 작업장에서 작업물을 가공한다.

단 계	관련 구성 요소	상 태
시 작	Machining Center	idle
진 행	또는 전용 기계	busy
		* 5
종 료	In - Buffer	* 4
	Out - Buffer	* 6

바. 이동 : 해당 작업장까지 AGV가 이동한다.

단 계	관련 구성 요소	상 태
시 작	AGV	no condition
진 행		* 7
종 료		상차 또는 하차

- * 1 이용 가능한 갯수를 1만큼 감소시키고 만일 0이면 unavailable로 set 한다.
- * 2 이용 가능한 갯수를 1만큼 감소시키고 만일 0이면 full로 set 한다.
- * 3 이용 가능한 갯수를 1만큼 증가시키고 available로 set 한다.
- * 4 이용 가능한 갯수를 1만큼 증가시키고 empty라 set 한다.
- * 5 Out-Buffer가 not full이면 idle로, full이면 waiting으로 set 한다.
- * 6 Out-Buffer가 not full이었으면 이용 가능한 갯수를 1만큼 감소시키고 만일 0이면 full이라 set 한다.
- * 7 상차를 위한 이동이나, 하차를 위한 이동이냐에 따라 empty move 또는 loaded move로 set 된다.

(2) 사건 관리 모델

사건 관리 모델은 사건들의 발생계획 및 발생을 통제하는 부분으로, 그 과정을 보면 그림 2와 같다. FMS 시뮬레이션에 필요한 입력 데이터를 받아들이고, 초기 발생 사건들을 계획한 뒤, Event List File에서 가장 빨리 발생하도록 되어 있는 사건을 찾는다. 만약 Event List File에 계획된 사건이 없거나, 계획된 사건의 발생시간이 시뮬레이션 종료시간 이후에 있으면 시뮬레이션을 마치고, 아니면 시뮬레이션 시간을 다음 사건의 발생시간으로 대치하고 해당 사건을 발생시켜 이를 처리한다. 처리가 끝나면 Event List File에서 사건을 다시 찾는 과정이 반복된다.

(3) 운영 방법 모델

보통의 경우 Event List File에서 다음 발생사건을 찾는데 있어 작업물 공정표에 주어진 작업물 별 작업진행 순서를 참조한다. 그러나 Event List File에는 동일 사건이 2개이상 존재 할 경우가 많으므로 생산량 균형 및 생산 우선 순위 등에 입각하여 다음 사건을 결정할 필요가 있다. 또한 동일 구성 요소를 여러 사건에서 필요로 할 경우 어느 사건에 그 구성 요소를 배정 할 것인가에 따라 다음 사건이 결정되기도 한다.

본 모델에서는 먼저 도착한 작업을 먼저 처리하는 First - In - First - Out (FIFO) 방법, 작업시간이 적은 것부터 처리하는 Shortest Processing Time Remain (SPTR) 방법과 생산 목표량에 미달된 작업물 부터 처리하는 Hedge Point (HP) 방법을 포함 하고 있다. [5, 6].

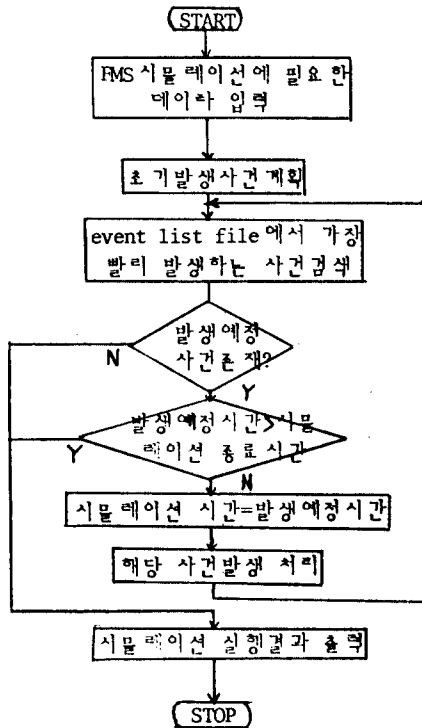


그림 2 사건 관리 모델의 실행 과정

동일 구성요소를 동시에 요구하는 경우는 다음과 같이 작업 우선 순위를 프로그램의 운영기법에 의해 정한다.

- 작업자 - 고장, 조정 및 해체
- 기계 - FIFO, SPTR 및 Hedge Point
- AGV - Machine idle, Output Buffer-full 및 Input Buffer-empty

4. 적용 사례

앞에서 구성된 시뮬레이션 컴퓨터 프로그램으로 작성하여 소규모 기계가공 공정 FMS에 대해 시뮬레이션한 예를 살펴보기로 한다. 이산 사건 시뮬레이션 언어는 여러가지가 있으나 [4], 본 논문에서는 VAX 11/780 (IBM PC/AT)의 FORTRAN 77언어를 사용하였다.

프로그램의 입·출력 내용은 다음과 같다.

(1) 입력 내용

가. FMS 배치사항

대상이 되는 FMS는 그림 3과 같이 7개의 작업장(개의 L/U 작업장, 4개의 동일한 기능을 갖는 Machining Center 작업장, 2개의 전용 기계 작업장)으로 구성되어 있다. AGV는 양방향으로 이동하고 1대만 있는 것으로 하였다.

작업장들 간의 최단경로는 AGV가 이동하는데 걸리는 시간으로 환산하여 표 2와 같이 입력하였다.

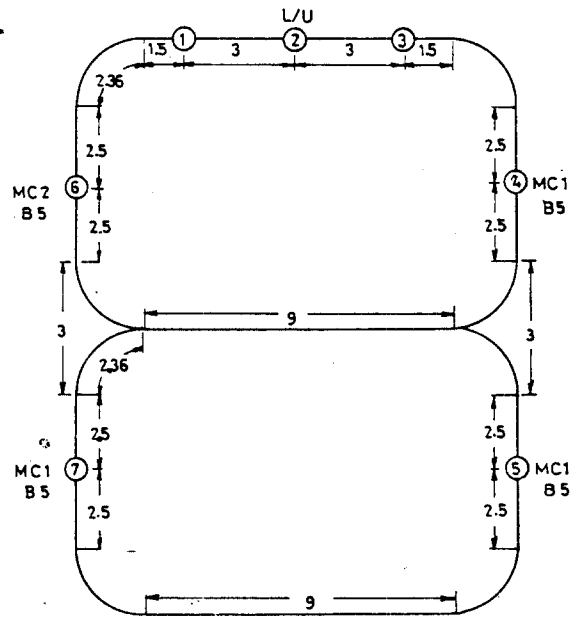


그림 3 FMS 배치도

표 2. 최단 경로표 (단위: 초)

Station \ Station	1	2	3	4	5	6	7
1	0	30	60	125	205	65	145
2	30	0	30	95	175	95	175
3	60	30	0	65	145	125	205
4	125	95	65	0	80	190	190
5	205	175	145	80	0	190	190
6	65	95	125	190	190	0	80
7	145	175	205	190	190	80	0

나. 작업물 공정표

작업물별 작업공정에 대한 상세한 정보를 제공하는 입력 자료로서 작업물별 공정순서대로 나열 되어 있고 3과 같이 입력하였다.

다. FMS 구성요소 자료

구성요소별 종류, 소속 작업장, 총수, 초기 상태를 정해주는 자료로 표 4와 같이 입력된다.

라. FMS 운영 자료

시뮬레이션에 필요한 변수에 초기값을 부여하고, 운영방법을 정해주는 자료로 표 5와 같이 입력된다.

표 3. 공정표

작업물	총공정	전용기계			
1	14	1			
공정번호	공정명	위치	시간	기계	필요
1	1	2	720	0	1
2	3	-1	60	0	0
3	6	-1	0	0	0
4	4	0	60	0	0
5	5	-1	3600	1	0
6	3	-1	60	0	0
7	6	-1	0	0	0
8	4	6	60	0	0
9	5	-1	2700	2	0
10	3*	-1	60	0	0
11	6	-1	0	0	0
12	4	2	60	0	0
13	2	-1	720	0	0
14	7	0	0	0	0

표 4. FMS 구성요소

station no	machine no	buffer type	inno	outno
1	0	0	0	0
2	-1	0	2	2
3	0	0	0	0
4	1	1	1	2
5	2	1	1	2
6	3	2	1	2
7	4	1	1	2

agv worker pallet		
1	2	4(5)

표 5. 시뮬레이션 변수

simulation variable	
period	tmax
10	86400

part production target	
type	target
1	14
2	14
3	28
4	28

event priority		
hedgetime	factor	workerunfix
4	3	0

name	priority
fix	hp
unfix	fifo
load	bf
unload	fifo
machine	fifo
travel	fifo
end	fifo

(2) 출력 내용

출력 자료로서 생산량, 구성요소의 효율등이 요구된다. 시뮬레이션을 위한 입력내용 및 출력은 다음과 같다.

가. 시뮬레이션 입력 자료

- 작업기계 - MC 3대, 전용기계 1대
- AGV - 1대
- 작업자 - 1인 또는 2인
- Buffer - IN, OUT 각 1개 또는 2개
- 생산목표량 - 작업물 종류별
14, 14, 28, 28
- 운영 기법 - FIFO, SPTR, HP

나. 출 력

생산량 및 효율을 비교하기 위하여 12가지 경우의 시뮬레이션을 수행하였다. 각 시뮬레이션을 위한 입력조건은 표 6과 같다. A-F의 경우는 작업자가 1인인 경우이고 A-H는 In, Out Buffer가 각 1개인 경우이다. 운영방법으로 HP가 이용된 경우 HP가 시작되는 시간 및 비중을 변화시켰으며 작업자가 2인인 경우 고정 또는 해체작업 우선 순위 등을 변화시켜 주었다.

12가지 시뮬레이션 결과를 정리하면 표 7과 같다.

표 6. 시뮬레이션 입력 조건

경우	작업자	Buffer	운영 방법 * 3	HP Time	HP Factor
A			FIFO		
B			1-HP	1/3	1
C			1-HP	1/3	3
D	1인	I(1)	1,2,3,5-HP	1/3	1
E		O(2)	1,2,3,5-HP	1/3	2
F			1-HP 2-SPTR 3-BF	1/3	1
G			1-HP	1/3	1
H			1-HP	1/3	2
I	2인	I(2)O(2)	1-HP 3-BF	1/4	3
J		* 1	1-HP 3-BF	1/3	2
K		* 2	1-HP 3-BF	1/3	2
L		K 경우	1-HP 3-BF	1/4	3

- * 1 L/U I(2), 그외 I(1) 모든 O(2)
- * 2 L/U I(2) O(1) 그외 J와 동일
- * 3 정의 않된 EVENT-FIFO
1 - 고정 2 - 해체 3 - 상차 4 - 기계

Reference

- 작업자 의존도
A - F 경우는 작업자의 부족으로 운영기법의 변화에도 생산 목표량을 달성할 수 없음을 알 수 있다.
- AGV이용도
In-Out Buffer가 각 1개의 경우 AGV 이용도가 낮다. 즉 병목현상의 발생을 의미한다.
- 기계이용도
Buffer가 2대 이상인 경우 기계 이용도가 현저히 증가함을 알 수 있다.
- 평균 생산시간
각 작업물별 평균 생산 시간으로 작업 지연정도를 판단할 수 있다.

1. H. A. ElMaraghy "Simulation and Graphical Animation of Advanced Manufacturing Systems," Journal of Manufacturing Systems, vol.1, No.1, 1982, pp 55-63.
2. 박정현, "자동생산 체제의 설계 분석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 모델 개발," 한국과학기술원 석사학위 논문, 1985.
3. Arch W. Naylor et al., "The Manufacturing Game: A Formal Approach to Manufacturing Software," IEEE Trans. on SMC, Vol SMC-16, No.3, May 1986, pp 321-334.
4. R. F. Garzia et al., "Discrete Event Simulation," IEEE Spectrum, Dec. 1986, pp 32-46
5. Stanley B. Gershwin et al., "Short-term Production Scheduling of an Automated Manufacturing facility," IBM J. Res. Dev. Vol 29, No.4 Jul. 1985, pp392-400.
6. Robert J. Wittrock, "Scheduling Algorithms for Flexible Lines," IBM J. Res. Dev. Vol. 29, No.4, Jul. 1985, pp 401-412

5. 결 론

FMS의 시뮬레이션 모델을 구하고 이에 대한 컴퓨터 프로그램을 작성하여 소규모 기계가공 공정에 대해 이 프로그램의 동작상태를 확인하였다. 그 결과 구성요소 및 운영방법의 변동에 따라 생산량 및 구성요소의 효율 등을 비교할 수 있는 자료를 얻었다.

표 7. 시뮬레이션 결과

종류 \ 경우	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
생산량	1	14	10	11	9	11	10	13	13	14	14	12	14
	2	15	8	11	9	10	7	11	13	15	12	16	15
	3	15	20	16	21	19	22	24	22	29	27	28	26
	4	17	22	17	22	20	21	25	22	27	28	27	28
생산시간	1	176.4	184.6	206.4	217.8	220.6	257.6	241.9	250.0	293.3	258.7	232.2	227.5
	2	147.0	171.3	213.9	169.5	176.4	217.1	228.7	253.8	297.5	243.2	196.8	205.6
	3	109.0	119.4	141.4	106.1	110.4	97.7	149.6	156.5	181.4	134.2	113.0	110.2
	4	92.5	115.5	148.0	106.0	103.7	98.7	147.6	146.7	175.6	136.0	115.5	111.8
AGV 효율	51.1	48.8	48.3	47.5	48.8	48.5	60.1	58.0	69.3	66.7	67.9	70.7	
작업자 효율	97.0	96.4	91.7	96.3	96.3	96.7	59.2	56.2	67.7	65.7	65.6	65.5	
기계이용도	1	74.1	71.7	69.9	73.3	72.9	73.2	87.0	86.1	97.7	97.7	96.6	96.6
	2	75.9	74.6	71.7	68.9	75.7	66.0	92.3	86.7	98.1	98.1	97.6	97.5
	3	76.4	73.9	71.0	75.9	74.3	79.6	90.8	84.4	79.9	98.6	98.6	98.6
	4	84.2	54.5	66.4	54.3	63.3	50.9	72.2	73.6	79.9	76.9	77.6	82.6