

# 유연생산시스템의 일정계획에 관한 연구 A Scheduling Model for FMS

이 동 춘\*  
신 현 재\*\*

## Abstract

Most of scheduling papers on FMS have been considered that the fabrication process, the machining process and the assembly process etc. are independent and the releasing, routing, dependent, batching, loading problem are treated separately.

In this paper, we discuss that the integrated scheduling problem which can be solved for efficient use. We combine two systems that each process system which in order to produce a product is treated dependently, the releasing and the routing problem are combined one system and we present the efficient flexible manufacturing system as including the alternate process.

## 1. 서 론

유연생산시스템의 연구부문은 설계부문과 운영  
부문으로 대별되는데 이 2가지 부문은 각각의 세

부분야로 연구되어 오고 있다. 특히 생산계획분  
야와 일정계획분야에서는 흐름작업(flow shop)의  
관점과 주문생산(job shop)의 관점으로 분석되는데  
미래의 공장이 추구하는 궁극적인 목표가 품  
종당 생산량(lot size)이 1을 지향하게 되므로 결국

\* 동아대학교 산업공학과

\*\* 인천대학교 산업공학과

유연생산시스템의 일정계획 문제는 동적인 job shop문제로 귀착된다.

그러나 유연생산시스템의 특성과 동적인 문제의 특성이 함께 고려되다 보니 수학적 방법으로 해결할 경우 대부분이 NP hard문제로 귀착된다. 따라서 본 논문은 이를 해결할 수 있는 휴리스틱 알고리즘 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 기존의 연구현황

유연생산시스템의 생산계획 문제 및 일정계획 문제에 관한 연구는 대기 네트워크(queueing network)기법과 수리적 계획법과 시뮬레이션 분석법 이상 3가지의 방법으로 대별된다.

기존의 연구동향은 표 1.에 정리되어 있다.

표 1. 유연생산시스템에 있어서의 생산계획문제 해결기법

Technique Problem	Queueing Network	Mathematical Programming	Simulation Analysis	Other
Screening	Solberg Dubois Suri & Diehl Yao & Buzacott Buzacott & Shanthikumar Suri & Hildebrandt Vinod & Solberg		Lenz & Talavage ElMaraghy & Ho Warnecke, Zipse & Zeh Iwata, Oba & Yasuda Rathmill, Green -wood & Houshmand Martin & Pritsker Carrie & Adhami ElMaraghy	(perturbation) Ho Suri & Cao Suri & Dille (Petri nets) Narahari & Viswanadham
Selection		Monahan & Smunt Graves & Lamar Cooper & Jaikumar Vinod & Solberg	Hutchinson Hutchinson & Holland	(multi-criteria) Nelson
Batching		Ammons, Lofgren & McGinnis Kusiak, Vannelli & Kumar Whitney & Gaul	Nof, Barash & Solberg Wilhelm & Shin	

Technique Problem	Queueing Network	Mathematical Programming	Simulation Analysis	Other
Loading	Stecke & Solberg Stecke & Morin	Stecke Berrada & Stecke Kusiak Chakravarty & Shtub Ammons, Lofgren & McGinnis Stecke & Talbot Whitney & Gaul	Stecke & Solberg	
Releasing		Hitz	Nof, Barash & Solberg Iwata, Oba & Yasuda ElMaraghy & Ho Hutchinson	(control theory) Kimemia & Gershwin(1983) Kimemia &  Gershwin(1985)
Dispatching	Yao Shalev-Oren, Seidman & Schweitzer	Chang & Sullivan	Nof, Barash & Solberg Stecke & Solberg ElMaraghy Russell & Tanchoco Egbelu & Tanchoco Hutchinson	(control theory) Akella, Choong & Gershwin Akella, Bevans & Choong
Scheduling	Shalev-Oren, Seidman & Schweitzer	Kusiak, Vannelli & Kumar  Hitz Chang & Sullivan Meenakshi & Rosangela	Wilhelm & Shin	Akella, Choong & Gershwin

일정계획을 다루는 대부분의 대기모델들은 선입선출법을 가정하고 있다. Shalev-Oren et. al은 FMS에서의 job의 일정계획에 있어 dispatching이나 routing에 관한 대기원칙들을 확장시켜 우선순위 문제를 다루고 있다.

Kusiak et. al은 전술적(tactic)인 계획문제가 자원부족하의 전통적인 할당문제를 포함하는 일정계획의 batching문제를 풀기 위해 bottleneck설비를 찾아내기 위해 투입부품선정의 결정문제를 다루고 있다.

FMS 운영문제를 분석적 방법으로 해결하는 방법이 있는데 Hitz는 flexible flowshop의 releasing문제를 다루었는데 periodic part releasing sequence를 이용하여 생산율을 최대화하고자 하였으며 Chang & Sullivan은 매우 큰 혼합 정수 선형계획법으로 일정계획의 dispatching문제를 실시간(real time)으로 해결했다.

Wilhelm & Shin은 전술적 수준에서 대체공정을 고려하여 시뮬레이션을 하였으며 Akella, Choong & Gershwin은 생산일정계획의 계층적 수행도 평가를 하였고 Kusiak은 2가지 공정을 2단계 알고리즘을 통하여 일정계획문제를 해결하였다.

Meenakshi & Rosangela은 2단계 다제품 생산시스템에서 준비비용, 재공품 및 완제품 재고비용, 기계유휴비용을 최소화하는 heuristic기법을 개발하였다.

기존의 연구들에서 볼 수 있는 특징은 생산시스템에 있어서 releasing, routing, dispatching, batching, loading문제들을 각기 독립적인 내용으로 다루고 있으며 여기에 시뮬레이션을 추가하여 연구의 객관성을 더하기도 하였다.

또 기존의 연구들은 일반적인 제품생산 공정을 구성하는 개개의 공정이 서로 독립적인 것으로 보고 있다. 예를 들어 성형공정, 기계가공공정, 조립공정으로 이루어진 제품생산 공정이 있을 경우, 각각의 공정이 서로에 영향을 미치지 않는다는 것이다. 그래서 일정계획은 기계나 부품에 국한된

것이라고 보았다. 또 제품을 만들기 위한 각 공정에서의 공정절차가 유일한 route로 생산되는 것으로 가정하고 있어 생산시스템의 유연성이 매우 낮다고 할 수 있다.

### 3. 모형의 개발

#### 3.1. 연구 방법

기존의 연구에서 볼 수 있는 특징이 생산시스템의 releasing, routing, dispatching, batching, loading 문제들을 각기 독립적인 내용으로 다루고 있고 여기에 시뮬레이션을 추가하여 연구의 객관성을 보증하였고 최근에 들어서는 이들 각각의 문제들을 통합하여 보고자 하는 연구로 발전되고 있는데 김종환 외, Bastos 등 몇몇의 연구가 이러한, 두가지 문제를 동시에 고려한 경우이다.

그러나 이러한 연구들이 생산일정계획의 releasing, routing, dispatching, batching, loading 문제들을 두가지 정도 통합하여 일정계획의 기준을 확장하려고는 하였지만 부품에 관해서만 다루었을 뿐 공정간의 문제나 제품간의 문제를 다루지는 못했다.

즉 제품생산을 위한 각각의 작업(공정)들은 흐름작업이라 할지라도 선후관계에 의한 제약이 따르게 되고 생산과정에서 발생할 수 있는 특수한 돌발사태(기계의 고장)에 대해서는 가능한 대책이 없는 경우가 대부분이다. 그래서 만일의 돌발사태 또는 부품가공을 위한 기계의 상황에 따라 대체 경로를 두는 것이 훨씬 유연성이 높은 설계라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 생산하고자 하는 제품들 중에서 긴급을 요한다든지, 제품생산계획에 의해 우선순위를 결정할 필요가 있는 경우 우선순위를 결정할 수 있는 방법으로 Johnson 알고리즘을 고려한다. 그리고 각 제품을 생산하기 위한 가공공정의 다양한 대체경로가 제시되고 가공공정에서의

각 작업의 우선순위, 각 작업의 작업가능 여부를 고려한다. 또 생산량을 최대로 유지시키기 위해 부품이 시스템 loading되는 순서, 부품이 생산될 대체경로의 결정, 각 기계에서 수행될 작업들의 순서 등을 결정하고자 한다.

이렇게 하여 기존의 연구에서 보았던 대체경로를 고려하지 않음으로 해서 발생한 유연성이 결여된 경우나 대체경로를 고려하였다 하지만 제품간의 또는 공전간의 연관성을 고려하지 않았던 점을 본 연구에서는 동시에 고려하므로 보다 종합적인 접근방법에 의한 효율적인 생산라인의 설계방법을 제시하고자 한다.

이를 위해 다음과 같은 가정을 둔다.

- 가정 i) 각 기계는 1회에 1건의 작업만 한다.
- ii) 각 공정간의 이동은 AGV가 담당한다.
- iii) 각 작업의 작업시간과 기계간의 이동시간은 확정적이다.
- IV) 대체 routing이 존재한다.
- V) 각 기계마다 일정량의 Buffer가 존재한다.
- VI) routing선택은 부품의 투입순서가 결정된 후에 한다.

### 3.2. 해법절차

- Step 1) 생산되는 제품의 우선 순위는 Johnson 개념을 이용하여 우선순위를 정한다.
- Step 2) 부품의 투입순서를 결정하기 위한 방법으로 각 제품, 부품 및 작업들의 선후관계에 의한 우선순위를 정한다.
- Step 3) 부품의 평균작업시간과 최대의 부품 평균작업시간과의 차를 A벡터라 하고 같은 방법으로 부품의 평균 이동시간과 최대의 부품 평균이동시간과의 차를 B벡터라 한다.
- Step 4) A벡터와 B벡터의 합이 작은 순서로 부품투입순서(releasing sequence)를 정한다.

다.

- Step 5) Step 4)에서 얻은 첫부품의 가공경로는 작업시간과 이동시간의 합이 작은 경로를 선택한다.
- Step 6) Step 5)에서 얻은 부품투입순서대로 선행부품의 가공경로와 후행부품의 가공경로를 비교해서 중복되는 경로가 작은 경로를 선택한다.
- Step 7) 전 부품의 가공경로 선택을 위해 Step 6)을 반복한다. 만일 동일한 값이 있을 경우는 작업시간과 이동시간이 작은 경로를 선택한다.
- Step 8) FCFS 원칙으로 Step 2)에서 얻은 부품들의 선후관계를 고려하면서 또 최소지연을 보장하면서 각각의 routing선택의 결과와 비교한다.
- Step 9) 해가 개선의 여지가 없으면 stop.

## 4. 실증적 연구

### 4.1. 모형의 구조

2가지 제품을 생산하는 공장을 대상으로 예를 들어보자.

2가지 제품(Product 1, Product 2)은 각기 기계가공공정과 조립공정으로 이루어져 있으며 각 공정의 makespan이 표 2.에 있다.

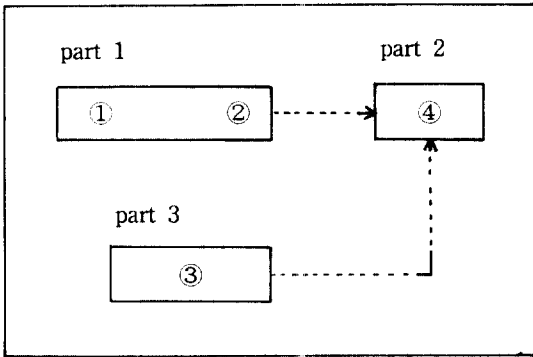
표 2. 제품별 makespan

Product No	P1	P2
기계가공 공정	35	65
조립 공정	32	69

제품 1과 제품 2의 공정구성이 그림 1.에 있다. 제품 1은 부품1, 부품2, 부품3의 3가지 부품으로

구성되어 있고 부품1은 작업1과 작업2로써 구성되어 있다.

Product 1



Product 2

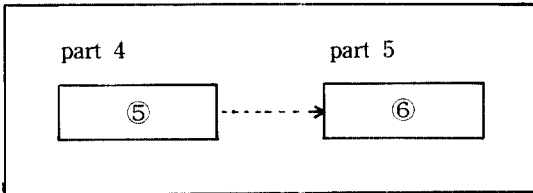


그림 1. 각 제품의 공정구성도

가공기계간의 이동시간이 표 3에 제시되어 있고 각 부품은 6대의 가공기계에서 가공을 받아야 완성이 되며 각 부품당 가공 대체경로는 2개가 제시되어 있다. 각각의 정보가 아래에 있다.

표 3. 기계간의 이동소요시간

T \ F	1	2	3	4	5	6
1		4	3	2	1	1
2	1		4	3	2	1
3	2	1		4	3	2
4	3	2	1		4	3
5	4	3	2	1		4
6	5	4	3	2	1	

$$AR = \begin{matrix} \left[ \begin{matrix} 1 & 4 & 3 & 2 & 5 & 6 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \right] & AR1 \\ \left[ \begin{matrix} 1 & 3 & 4 & 2 & 5 & 6 \\ 1 & 5 & 2 & 4 & 3 & 6 \end{matrix} \right] & AR2 \\ \left[ \begin{matrix} 1 & 4 & 3 & 5 & 2 & 6 \\ 1 & 2 & 3 & 5 & 4 & 6 \end{matrix} \right] & AR3 \\ \left[ \begin{matrix} 1 & 3 & 2 & 4 & 5 & 6 \\ 1 & 4 & 5 & 3 & 2 & 6 \end{matrix} \right] & AR4 \\ \left[ \begin{matrix} 1 & 5 & 2 & 4 & 3 & 6 \\ 1 & 3 & 4 & 5 & 2 & 6 \end{matrix} \right] & AR5 \end{matrix}$$

$$S = \begin{matrix} \left[ \begin{matrix} 10 \\ 20 \end{matrix} \right] & S1 \\ \left[ \begin{matrix} 15 \\ 10 \end{matrix} \right] & S2 \\ \left[ \begin{matrix} 10 \\ 15 \end{matrix} \right] & S3 \\ \left[ \begin{matrix} 15 \\ 10 \end{matrix} \right] & S4 \\ \left[ \begin{matrix} 10 \\ 15 \end{matrix} \right] & S5 \end{matrix}$$

$$MPT = \begin{matrix} \left[ \begin{matrix} 24 \\ 24 \end{matrix} \right] & MPT1 \\ \left[ \begin{matrix} 26 \\ 26 \end{matrix} \right] & MPT2 \\ \left[ \begin{matrix} 19 \\ 19 \end{matrix} \right] & MPT3 \\ \left[ \begin{matrix} 27 \\ 27 \end{matrix} \right] & MPT4 \\ \left[ \begin{matrix} 22 \\ 22 \end{matrix} \right] & MPT5 \end{matrix}$$

PT =

[ 2 4 7 5 4 6 ]	PT1
[ 2 4 7 5 4 6 ]	
[ 2 7 6 4 5 2 ]	PT2
[ 2 7 6 4 5 2 ]	
[ 2 5 3 3 4 2 ]	PT3
[ 2 5 3 3 4 2 ]	
[ 2 3 9 5 6 2 ]	PT4
[ 2 3 9 5 6 2 ]	
[ 2 6 5 3 5 2 ]	PT5
[ 2 6 5 3 5 2 ]	

품의 우선순위를 결정하면 그림 2와 같이 된다.

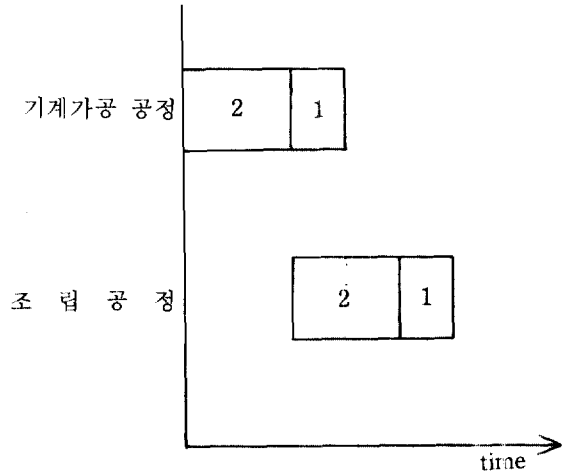


그림 2. 제품별 scheduling

AR : alternative routing matrix

PT : 기계가공시간

S : 기계간의 이동소요시간

MPT : 기계별 평균가공시간

4.2. 사례연구

step 2) 그림 1의 자료로써 제품, 부품, 작업의 우선순위를 구하면 표 4에 정리되어 있다.

step 1) Johnson법에 의해 표 2의 자료로써 제

표 4. 일정계획 관련자료

job No	job priority	part No	part priority	Product No	Product priority	machine No	machine time
J1	1	p1	1	P1	2	2	24
J2	2	p1	1	P1	2	2	(24)
J3	1 or 2	p2	1	P1	2	3	36
J4	3	p3	2	P1	2	1	19
J5	1	p4	1	P2	1	1	27
J6	2	p5	2	P2	1	2	22

그리고 이 우선순위에 의해 각 특성별 구성이 표 5에 있다.

표 5. 각 특성별 구성

machine	1	2	3
part	3	1	2
	4	5	
job	3	4	1
	5	6	2
schedule	5	6	1
sequence	3	4	2

여기서 기계별 부품의 우선순위가 그림 3에 있다.

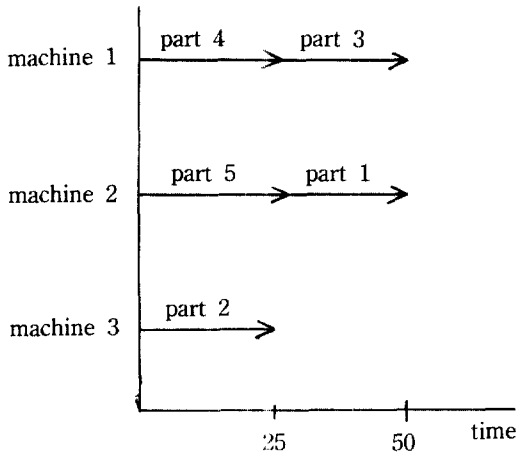


그림 3. 기계별 일정계획

step 3) 평균작업시간(A)

$$24 - 27 = 3$$

$$26 - 27 = 1$$

$$19 - 27 = 8$$

$$27 - 27 = 0$$

$$22 - 27 = 5$$

평균이동시간(B)

$$15 - 15 = 0$$

$$12.5 - 15 = 2.5$$

$$12.5 - 15 = 2.5$$

$$12.5 - 15 = 2.5$$

$$12.5 - 15 = 2.5$$

step 4) (A) + (B) ⇨ (3 3.5 10.5 2.5 7.5)

그러므로 투입순서는 4-1-2-5-3

표 7. 부품별 releasing순서

part (time)	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
2	5	2	4	5	
(4)	(5)	(5)	(5)	(5)	
3	2	3	5	4	
(7)	(7)	(3)	(6)	(3)	
4	4	5	3	2	
(5)	(4)	(4)	(9)	(6)	
5	3	4	2	3	
(4)	(6)	(3)	(3)	(5)	
6	6	6	6	6	
(6)	(2)	(2)	(2)	(2)	

step 5) 부품 4      가공시간      이동시간

$$27 + 15 = 42$$

$$27 + 10 = 37$$

작은 2번째 경로를 선택 (1 4 5 3 2 6)

step 6)

부품 4      부품 1  
(1 4 5 3 2 6)      (1 4 3 2 5 6) ⇨ (0 0 1 1 1 0)

(1 2 3 4 5 6) ⇨ (0 1 1 1 1 0)

선택

step 7)

부품 1      부품 2



(1 2 3 4 5 6)	(1 3 4 2 5 6) ⇨ (0 1 1 1 0 0)	부품 5	부품 3
	(1 5 2 4 3 6) ⇨ (0 1 1 0 1 0)	(1 3 4 5 2 6)	(1 4 3 5 2 6) ⇨ (0 1 1 0 0 0)
	선택		(1 2 3 5 4 6) ⇨ (0 1 1 0 1 0)
			선택
부품 2	부품 5		
(1 5 2 4 3 6)	(1 5 2 4 3 6) ⇨ (0 0 0 0 0 0)	이상의 결과를 정리하면 그림 4가 된다.	
	(1 3 4 5 2 6) ⇨ (0 1 1 1 1 0)		
	선택		

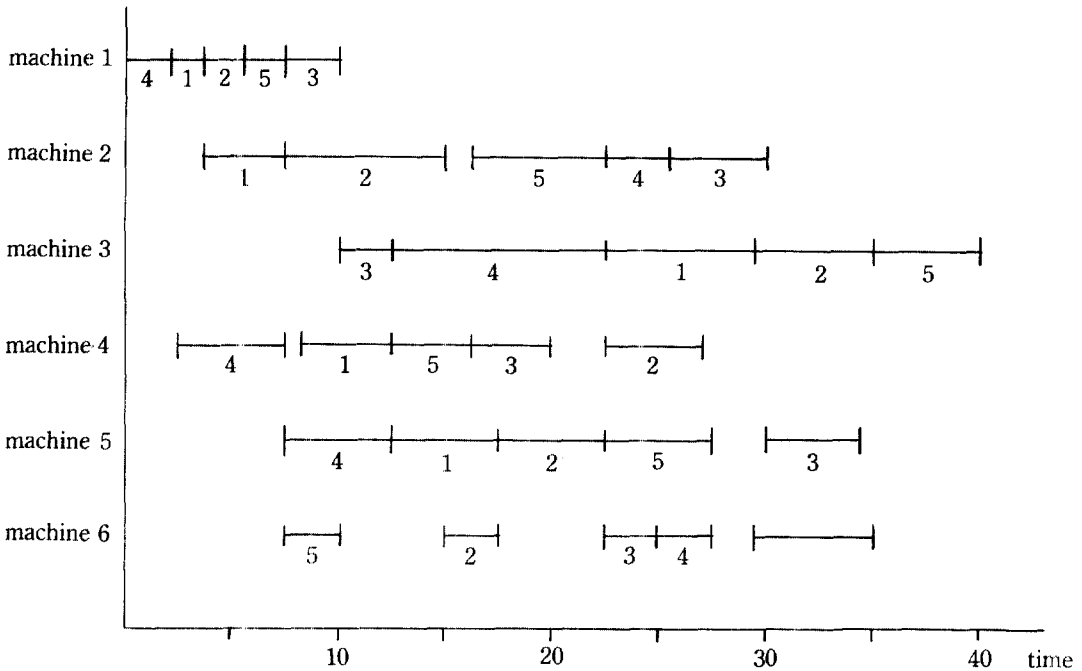


그림 4. 기계별 일정계획

## 5. 결 론

기존의 연구들이 생산시스템의 releasing, routing, dispatching, batching, loading 문제들을 각기 독립적인 내용으로 다루고 있고 여기에 시뮬레이션을 추가하여 연구의 객관성을 보증하였는데 본 연구에서는 이들 문제를 모두 포함한 모델을 제시하지는 못했지만 releasing, routing 두가지 문제를 동시에 고려해 보았다.

그리고 기존의 몇몇 연구들이 생산일정계획의 releasing, routing, dispatching, batching, loading

문제들을 두가지 정도 통합하여 일정계획의 기준을 확장하려고는 하였지만 부품에 관해서만 다루었을 뿐 공정간의 문제나 제품간의 문제를 다루지는 못했다. 따라서 제품생산에 필요한 공정들이 서로 독립적이라는 가정들을 종속적으로 바꾸었다.

또 제품생산을 위한 각각의 작업(공정)들은 흐름작업이라 할지라도 선후관계에 의한 제약이 따르게 되고 생산과정에서 발생할 수 있는 특수한 돌발사태(기계의 고장)에 대비해서 대체경로를 두는 것이 훨씬 유연성이 높은 설계라고 할 수

있다.

따라서 본 연구에서는 생산하고자 하는 제품들 중에서 긴급을 요한다든지, 제품생산계획에 의해 우선순위를 결정할 필요가 있는 경우 우선순위를 결정할 수 있는 방법으로 Johnson 알고리즘을 고려하였으며 각 제품을 생산하기 위한 가공공정의 다양한 대체경로가 제시되고 가공공정에서의 각 작업의 우선순위, 각 작업의 작업가능 여부를 고려하여 대체경로를 제시하지 않음으로 해서 발생한 유연성이 결여된 경우나 대체경로를 제시하였다 하지만 제품간의 또는 공정간의 연관성을 고

려하지 않았던 점을 본 연구에서는 동시에 고려 하므로서 생산현장 활용시 일정계획이론이 2 machine n job에 국한되고 있는 것을 생산일정의 단축과 기계의 가동율을 향상시킬 수 있어 원활한 생산라인의 설계방법으로 제시하고자 한다.

앞으로의 연구과제는 이상의 각 문제들을 보나 많이 통합된 관점에서 볼 수 있는 모델을 제시할 수 있어야 할 것이며 각 작업의 작업시간과 기계간의 이동시간이 아무리 자동화가 되어 일정하게 된다고 하더라도 확실적인 경우를 생각해 보아야 할 것이다.

## References

1. Kimemia, J. and Gerschwin, S. B. (1983), "An algorithm for the computer control of a flexible manufacturing system", IIE Transactions, Vol. 15, No. 4, pp. 353-362.
2. Kusiak, A. (1985a), "Flexible manufacturing systems", A structural approach, International Journal of Production Research, Vol. 23, No. 6, pp. 1057-1073.
3. Kusiak, A. ED. (1986c), "Flexible Manufacturing System : Methods and Studies", North-Holland, Amsterdam, The Netherlands.
4. Kusiak, A. ED. (1986d), "Modeling and Design of Flexible Manufacturing Systems", Elsevier, New York, N.Y.
5. Nof, S. Y. and Brash, M. M. and Solberg J. J. (1979), "Operational control of item flow in versatile manufacturing system", International Journal of Production Research, Vol. 17, No5, pp. 479-489
6. Stecke, K. E. and Solberg, J. J. (1981), "Loading and control policies for a flexible manufacturing system", International Journal of Production Research, Vol. 19, No. 5, pp. 481-490
7. Stecke, K. E. and Suri, R. Eds. (1985), "Flexible manufacturing systems : Operations Research models and applications", Annals of Operations Research, Vol. 3, No., pp.
8. Wilhelm, W. E. and Shin, H. M., "Effectiveness of alternative operations in flexible manufacturing systems", International Journal of Production Research, Vol. 23, No. 1, pp. 65-79
- 9 Van Looveren, A. J. and Gelders, L. F. and Van Wassenhove, L. N. (1986), "A Review of FMS Planning Models", Modelling and Design of Flexible manufacturing Systems, Edited by Kusiak, A.
- 10 Slomp, J. and Gacman, G. J. C. and Nawin, W. M. (1988), "Quasi On-Line Scheduling Procedures to FMS", Int. J. Prod. Res. Vol 26, No. 4. pp.
- 11 Kusiak, A. (1986), "Scheduling Flexible Machining and Assembly System". Proceedings of the 2nd ORSA/TIMS Conference on FMS.
- 12 김종환 외, (1990), "FMS의 실시간 일정계획을 위한 수리적 의사결정에 관한 연구", 대한산업공학회지, Vol. 16, No. 2. pp.