

유연 생산 시스템의 일정계획 모형에 관한 연구 -A study on the Scheduling Model for FMS-

이 상 완*

Lee, Sang Wan

신 대 혁**

Shin, Dae Hyuk

Abstract

Generally scheduling papers focused on the processing time only. But this paper intend to develop the scheduling problem which deal with the precessing time, transport time between machine and processing cost in a flexible manufacturing system(FMS) simultaneously. And this work considers a releasing, loading and alternative routing problem together.

As a case study, numerical example is demonstrated to show the simplicity and the effectiveness of the proposed model.

1. 서 론

1.1 연구목적

유연 생산 시스템의 출현은 대량생산이라는 환경에 익숙해져 있어 다품종 소량생산 시스템을 채택해야 하는 생산현장으로 하여금 자동화를 통한 생산성 향상과 유연성을 통한 생산능력의 제고라는 양쪽의 특성을 동시에 만족시킬 수 있는 생산 시스템이라 하여 마치 전지전능한 도구로써 이해되고 있는 것도 사실이나, 생산관리 문제에 있어서는 대량생산 시스템이나 배치(batch)생산 시스템에 비해 매우 복잡한 시스템이라 다루기가 힘들다는 단점이 있지만 미래의 공장형태인 컴퓨터 통합 생산 시스템(CIMS : computer integrated manufacturing system) 공장으로 가는 기초사상이라는 점은 부인할 수 없는 사실이다.

유연 생산 시스템의 연구부문은 시스템의 설계부문과 운용부문으로 구분되어 연구되어 오고 있다. 특히 시스템 운용부문의 생산계획 분야와 일정계획 분야에서는 흐름작업(flow shop)의 관점과 주문생산(job shop)의 관점으로 분석되는데 미래의 공장이 추구하는 궁극적인 목표가 품종당 생산량(lot size)이 1을 지향하므로 일정계획 모형인 경우 動的인 job shop문제로 귀착되어 수학적 방법으로 해결할 경우 시스템의 모형 대부분이 NP hard문제로 구축된다.

기존의 연구들은 앞에서 언급한 일정계획 모형의 특성들을 각각 독립적으로 연구하고 있고 몇몇 연구가 두 가지 정도의 특성을 통합하여 일정계획의 기준을 확장하려고는 하였지만 부품에 관해서만 다루었을 뿐 공정간의 문제나 제품간의 문제를 다루지는 못했다.

다시 말해서 제품생산을 위한 각각의 작업(공정)들은 흐름작업이라 할지라도 선후관계에 의한 제약이 다르게 되며 생산과정에서 발생할 수 있는 특수한 돌발사태(기계의 고장)에 대해서는 가능한 대책방법이 없는 경우가 대부분인 현실이다. 그래서 만일의 돌발사태 또는 부품가공을 위한 기계의 상황에

* 동아대학교 산업공학과 교수

** 마산전문대 산업안전관리과 전임강사

따라 대체경로를 두는 것이 훨씬 유연성이 높은 설계라고 할 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 일정계획 모형의 특성들 중에서 시스템 장착(부하할당;loading), 가공부품의 공정투입(releasing), 공정절차 계획(routing) 문제를 동시에 고려한 휴리스틱 모형을 제시하고자 한다.

1.2 연구방법

본 연구에서는 생산하고자 하는 제품들 중에서 긴급을 요한다든지, 제품생산계획에 의해 우선순위를 결정할 필요가 있는 경우에 대비하여 우선순위를 결정할 수 있는 방법으로 two machine n job의 flow shop 또는 job shop에 관련된 다양한 알고리즘 중에서 Johnson 알고리즘을 이용한다. 그리고 각 제품을 생산하기 위한 가공공정의 다양한 대체경로가 제시되고 가공공정에서의 각 작업의 우선순위, 각 작업의 작업가능 여부와 부품의 기계가공비용을 고려하여 기회손실비용을 고려한다. 또 생산량을 최대로 유지시키기 위해 부품이 시스템에 장착(loading)되는 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 공정간의 연관성을 고려하지 않았던 점을 본 연구에서는 동시에 고려하므로써 원활한 생산라인의 설계방법을 제시하고자 한다.

여기서 다루지 않은 작업배정(dispatching)문제와 차기 생산기간중 생산량 결정(batching)문제는 기계별 작업배정의 연구가 본 연구의 모형과는 연관성이 낮은 경우이어서 고려하지 않았으며, 차기 생산기간중 생산량 결정문제는 수요예측이 수반되어야 하는데 이는 기존의 다양한 기법에 의해 구할 수 있어 본 연구에서는 고려하지 않는다.

2. 연구동향

일정계획 문제를 구성하고 있는 특성들은 부품선정(part selection), 차기 생산기간중 생산량 결정(batching), 시스템 장착(부하할당;loading), 가공부품의 공정투입(releasing), 작업배정(dispatching) 문제 등이 있다.

이를 해결하는 해결기법이 대기 네트워크(queueing network), 수리적 계획법(mathematical programming), 컴퓨터 시뮬레이션 분석(simulation) 기법이 있고 기타 방법으로 擾動分析(perturbation) 기법, petri nets법이 있다.

이에 관한 연구현황이 표 1.에 있다.

3. 모형개발

3.1 기호 정의 및 가정

AR : alternative routing matrix

PT : 기계별 가공시간

S : 기계간의 이동소요시간의 합

MPT : 부품별 기계가공시간의 합

PMC : 부품별 기계가공비용의 합

- 가정
- i) 각 기계는 1회에 1건의 작업만 한다.
 - ii) 각 공정간의 이동은 AGV가 담당한다.
 - iii) 각 작업의 작업시간과 기계간의 이동시간은 확정적이다.
 - iv) 대체 공정경로가 존재한다.
 - v) 각 기계마다 일정량의 buffer가 존재한다.
 - vi) 공정경로의 선택은 부품의 투입순서가 결정된 후에 한다.

표 1. FMS의 연구동향

Technique Problem	Queueing Network	Mathematical Programming	Simulation Analysis	Others
Batching		Ammouns, Lofgren & McGinnis Kusiak, Vannelli & Kumar Whitney & Gaul	Nof, Barash & Wilhelm & Shin	Solberg
Loading	Stecke & Solberg Stecke & Morin	Stecke Berrada & Stecke Kusiak Chakravary & Shtub Ammons, Lofgren & McGinnis Stecke & Talbot Whitney & Gaul	Stecke & Solberg	
Releasing		Hitz	Nof, Barash & Solberg Iwata, Oba & Yasuda ElMaraghy & 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	(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

3.2 해법절차

- Step 1> 생산되는 제품의 우선순위는 Johnson 개념을 이용하여 우선순위를 정한다.
- Step 2> 부품의 투입순서를 결정하기 위한 방법으로 각 제품, 부품 및 작업들의 선후관계에 의한 우선순위를 정한다.
- Step 3> 부품의 평균 작업시간과 최대의 부품 평균 작업시간과의 차를 구하고, 부품의 평균 이동시간과 최대의 부품 평균 이동시간과의 차를 구하고 같은 방법으로 부품당 평균 기계가공비용과 최대의 부품 평균 기계가공비용과의 차를 구한다.
- Step 4> step 3>에서 구한 세 가지를 합한 것의 수치가 작은 순서로 부품 투입순서(releasing sequence)를 정한다.
- Step 5> Step 4>에서 얻은 첫부품의 가공경로는 작업시간과 이동시간의 합 그리고 기계가공비용이 작은 경로를 선택한다.

- Step 6> Step 5>에서 얻은 부품투입 순서대로 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 작업 시간과 이동시간이 작은 경로를 선택한다.
- Step 8> FCFS 원칙으로 Step 2>에서 얻은 부품들의 선후관계를 고려하면서 또 취소지연을 보장하면서 각각의 routing 선택의 결과와 비교한다.
- Step 9> 해가 개선의 여지가 없으면 stop.

4. 사례연구

4.1 기본자료

A회사는 2가지 제품을 생산하는 공장이다.

2가지 제품(Product 1, Product 2)은 크게 나누어서 각기 기계가공 계통의 공정과 조립계통의 공정으로 이루어져 있다.

각 공정의 makespan이 표 2.에 있다.

표 2. 제품별 makespan.

Product No	P1	P2
machining process	69	49
assembly process	32	69

제품 1과 제품 2의 공정구성이 그림 1.에 있다.

제품 1에 대해서 예를 들면, 부품 1, 부품 2, 부품 3의 3가지 부품으로 구성되어 있고 부품 1은 작업 1과 작업 2로써 구성되어 있다.

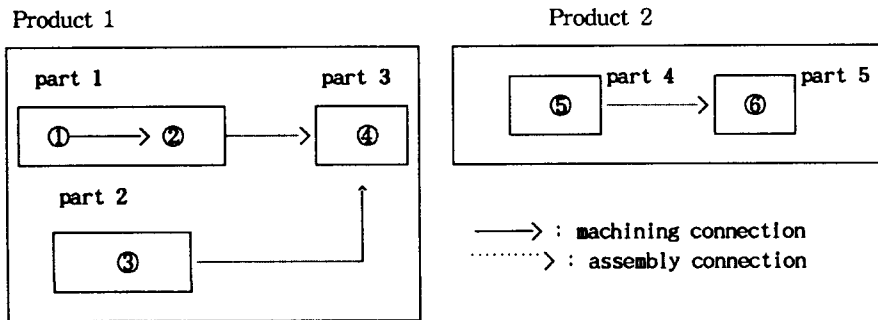


그림 1. 공정의 구성

4.2 모델 적용

유연 생산 시스템의 운용에 관한 모형개발에 의한 알고리즘을 적용시켜 보기로 하자.

- Step 1> Johnson법에 의해 표 2.의 자료로써 제품의 우선순위를 결정하면 그림 2.와 같이 된다. 각 부품은 6대의 가공기계에서 가공을 받아야 완성이 되며 각 부품당 가공 대체경로는 2개씩 제시되어 있다. 각각의 정보가 표 3.에 있다.

- Step 2> 그림 1.의 자료로써 제품과 작업의 우선순위를 구하면 표 5.에 정리되어 있다.

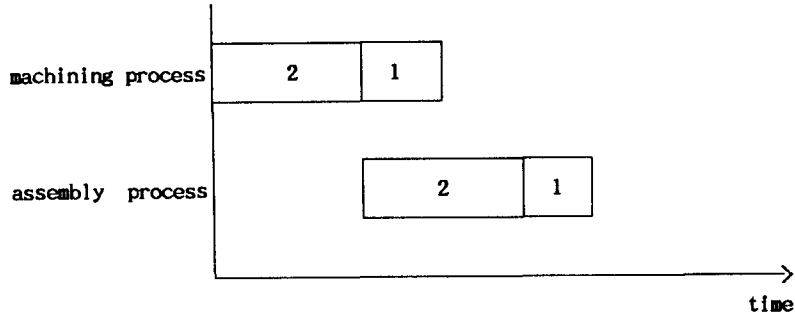


그림 2. 제품 일정계획

표 3. 공정관련 자료

$AR = \begin{bmatrix} \{ 1 & 4 & 3 & 2 & 5 & 6 \} \\ \{ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \} \\ \{ 1 & 3 & 4 & 2 & 5 & 6 \} \\ \{ 1 & 5 & 2 & 4 & 3 & 6 \} \\ \{ 1 & 4 & 3 & 5 & 2 & 6 \} \\ \{ 1 & 2 & 3 & 5 & 4 & 6 \} \\ \{ 1 & 3 & 2 & 4 & 5 & 6 \} \\ \{ 1 & 4 & 5 & 3 & 2 & 6 \} \\ \{ 1 & 5 & 2 & 4 & 3 & 6 \} \\ \{ 1 & 3 & 4 & 5 & 2 & 6 \} \end{bmatrix}$	$\begin{matrix} AR1 \\ AR2 \\ AR3 \\ AR4 \\ AR5 \end{matrix}$	$S = \begin{bmatrix} \{ 10 \} \\ \{ 20 \} \\ \{ 15 \} \\ \{ 10 \} \\ \{ 10 \} \\ \{ 15 \} \\ \{ 15 \} \\ \{ 10 \} \\ \{ 10 \} \\ \{ 15 \} \end{bmatrix}$	$\begin{matrix} S1 \\ S2 \\ S3 \\ S4 \\ S5 \end{matrix}$	$PMC = \begin{bmatrix} \{ 15 \} \\ \{ 18 \} \\ \{ 20 \} \\ \{ 18 \} \\ \{ 17 \} \\ \{ 15 \} \\ \{ 18 \} \\ \{ 16 \} \\ \{ 15 \} \\ \{ 17 \} \end{bmatrix}$	$\begin{matrix} PMC1 \\ PMC2 \\ PMC3 \\ PMC4 \\ PMC5 \end{matrix}$
$PT = \begin{bmatrix} \{ 2 & 4 & 7 & 5 & 4 & 2 \} \\ \{ 2 & 4 & 7 & 5 & 4 & 2 \} \\ \{ 2 & 7 & 6 & 4 & 5 & 2 \} \\ \{ 2 & 7 & 6 & 4 & 5 & 2 \} \\ \{ 2 & 5 & 3 & 3 & 4 & 2 \} \\ \{ 2 & 5 & 3 & 3 & 4 & 2 \} \\ \{ 2 & 3 & 9 & 5 & 6 & 2 \} \\ \{ 2 & 3 & 9 & 5 & 6 & 2 \} \\ \{ 2 & 6 & 5 & 3 & 4 & 2 \} \\ \{ 2 & 6 & 5 & 3 & 4 & 2 \} \end{bmatrix}$	$\begin{matrix} PT1 \\ PT2 \\ PT3 \\ PT4 \\ PT5 \end{matrix}$	$MPT = \begin{bmatrix} \{ 24 \} \\ \{ 24 \} \\ \{ 26 \} \\ \{ 26 \} \\ \{ 19 \} \\ \{ 19 \} \\ \{ 27 \} \\ \{ 27 \} \\ \{ 22 \} \\ \{ 22 \} \end{bmatrix}$	$\begin{matrix} MPT1 \\ MPT2 \\ MPT3 \\ MPT4 \\ MPT5 \end{matrix}$		

표 5. 일정계획 관련 자료

job No	job priority	part No	part priority	Product No	Product priority	machine No	machine time	machine cost
J1	1	p1	1	P1	2	2	24	16.5
J2	2	p1	1	P1	2	2	(24)	(16.5)
J3	1 or 2	p2	1	P1	2	3	26	19
J4	3	p3	2	P1	2	1	19	16
J5	1	p4	1	P2	1	1	27	17
J6	2	p5	2	P2	1	2	22	16

Step 3>	평균작업시간	평균이동시간	평균 부품별 기계가공비용
	24 - 27 = 3	15 - 15 = 0	16.5 - 19 = 2.5
	26 - 27 = 1	12.5 - 15 = 2.5	19 - 19 = 0
	19 - 27 = 8	12.5 - 15 = 2.5	16 - 19 = 3
	27 - 27 = 0	12.5 - 15 = 2.5	17 - 19 = 2
	22 - 27 = 5	12.5 - 15 = 2.5	16 - 19 = 3

Step 4> 평균작업시간 + 평균이동시간 + 평균 기계가공비용 ==> (5.5 3.5 13.5 4.5 10.5)
 그러므로 투입순서는 2-4-1-5-3

Step 5>	부품 2	가공시간	이동시간	기계가공비용				
		26	+	15	+	20	=	61
		26	+	10	+	18	=	54

작은 2번째 경로를 선택 (1 5 2 4 3 6)

Step 6>	부품 2	부품 4
	(1 5 2 4 3 6)	(1 3 2 4 5 6) => (0 1 0 0 1 0)
		(1 4 5 3 2 6) => (0 1 1 1 1 0) 선택

Step 7>	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

부품 1	부품 5
(1 2 3 4 5 6)	(1 5 2 4 3 6) => (0 1 1 0 0 0)
	(1 3 4 5 2 6) => (0 1 1 1 1 0) 선택

부품 5	부품 3
(1 3 4 5 2 6)	(1 4 3 5 2 6) => (0 1 1 0 0 0)
	(1 2 3 5 4 6) => (0 1 1 0 1 0) 선택

이상의 결과를 정리한 것이 표 5.에 정리되어 있다.

Step 8> Step 9> 이상의 결과를 정리하면 그림 3.이 된다.

각 기계당 부품별 우선 가공순위가 정해진다.

표 5. 부품의 공정투입 순서

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

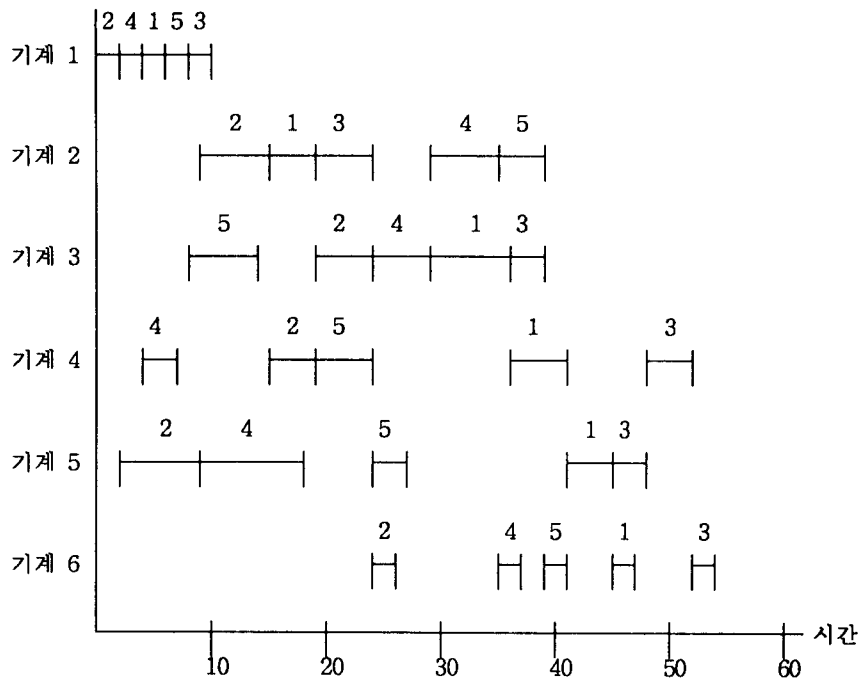


그림 3. 기계 일정계획의 Gantt chart

5. 결론

본 연구에서는 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 있으므로 생산하고자 하는 제품들 중에서 긴급을 요한 다든지, 제품생산 계획에 의해 우선순위를 결정할 필요가 있는 경우 우선순위를 결정할 수 있는 방법을 고려하였으며 가공공정에서의 각 작업의 우선순위, 각 작업의 작업가능 여부를 고려하고 부품별 기계가공비용과 대체경로를 동시에 고려하므로써 생산현장 활용시 일정계획이 2 machine n jobs 의 경우에 국한되고 있는 것을 보다 다양하게 적용되어 생산일정의 단축과 기계의 가동율을 향상시킬 수 있어 원활한 생산라인의 설계방법으로 제시하고자 하였다.

앞으로의 연구과제는 위에서 상세히 밝혔으나 이또한 부분적인 최적해의 연장이지 총괄적인 관점에서 명실상부한 최적해의 모델은 찾되지 못했다. 그 이유는 유연 생산 시스템이라고 하는 시스템이 고려해야 할 변수들이 워낙 방대한지라 일일이 다루기가 힘든 현실이다. 보다 많은 변수와 유연 생산 시스템 운용규칙을 통합한 모델의 출현이 있어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Bastos, J.M., "Batching and Routing : Two Functions in the Operational Planning of Flexible Manufacturing Systems.", *Erop. J. Oprl. Res.*, Vol.33, pp.230-244., 1988.
- 2) Buzacott, J. and J. Shanthikumar, "Models for Understanding Flexible Manufacturing systems", *AIIE Trans.*, Vol.12, No4, 1980.

- 3) Chakravarty,A,k, and Shtub,A.,“Selecting Parts and Loading Flexible Manufacturing Systems.”,Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Special Interest Conference on Flexible Manufacturing Systems,University of Michigan,1984
- 4) Chakravarty,A., and A.shtub,“Slecting parts and loading flexible manufacturing systems.”,Proc. 1st ORSA/TIMS Conf. on FMS, Ann Arbor, 1984.
- 5) Dar-El,E.M., and Sarin,S.C.,“Scheduling Parts in FMS to Achive Maximum Machine Utilization.”,Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Special Interest Conference on Flexible Manufacturing Systems,University of Michigan,1984.
- 6) Dupont-Gateland,C.,“A survey of flexible manufacturing systems”, J. of Manuf. Syst.,vol.1, n1, 1982.
- 7) Hwang,S.S.,“A Constraint-Directed Method to Solve the Part Selection Problem in Flexible Manufacturing Systems Planning Stage.”,Proceedings of the 2nd ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing systems,Elsevier,1986.
- 8) Kimemia,J., and S. Gershwin, “Flow Optimization in flexible Manufacturing systems”, Int.J.Prod.Res., vol.23, n1,1985.
- 9) Ranky,P., The Design and Operation of FMS, IFS(Publications) Ltd, Kempston, 1983.
- 10) KusiK,A.,“Scheduling Flexible Machining and Assembly System,”Proceeding of the 2nd ORSA/TIMS Conference on FMS.
- 11) Sarin,S.C., and Chen,C.S.,“The Machine Loading and Allocation Problem in a Flexible Manufacturing System.”,Int.J.Prod.Res.,Vol.25,No.7,1987,1087-1094.
- 12) Whitney C. K. and Suri R., “Algorithms for part and machine selection in flexible manufacturing systems,” Analsis of OR, Vol.3, 1985.
- 13) 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.65-79,1985.