

유연 생산시스템에서의 작업할당/경로선정/부품투입순서의 결정

A multi-objective Loading/Routeing and Sequencing decision in a Flexible Manufacturing System

이영광* · 정병희*

Young Kwang Lee*, Byung Hee Chung**

Abstract

Prime advantage of flexible manufacturing systems(FMS) is a flexibility. Flexibility is expected to prolong the service life of a manufacturing facility and enable it to respond quickly and economically to dynamic market change. The FMS loading decision is concerned with the allocation of operations and tools to machines subject to technological and capacity constraints of the system.

Modern FMS loading problem has the multiple objectives such as processing cost, time and work load balance.

We propose multi-objectives which could be used to formulate the loading/routeing problem and sequencing decision which should be adopted for each part type in order to maximize the machine flexibility by Hamming distance matrix based on Incidence matrix.

Finally, a numerical example is provided to illustrate the proposed model.

1. 서 론

顧客이 요구하는 다양한 製品은 傳統的으로 Job shop 또는 배치생산(Small Batch Production)의 形態로 生産되어 왔다. 그러나 낮은 生産성과 높은 生産原價로 인해 Job shop의 設備들은 大量生産方式에는 적합치 않다. 따라서 다양한 제품을 보다 저렴한 價格으로 生産할 수 있는 柔軟성이 높은 生産시스템의 必要性이 대두되고 있다. 이에 副應할 수 있는 生産시스

템으로서 柔軟生産시스템(Flexible Manufacturing System : FMS)을 들 수 있다. 이러한 FMS의 주요 장점은 유연성이다. 그러나 FMS를 운영하고 있는 사람들이 과거의 사고방식으로 이 새로운 시스템을 운영하기 때문에 그 이점을 살리지 못하고 있다. 그 예가 FMS의 작업할당방법에 Job shop의 작업할당방법을 사용하는 것이다. Job shop의 작업할당방법은 각 기계에 오직 하나의 공정만을 할당하기 때문에 주어진 부품에 대한 가공경로는 고정된 경로를 갖게 된다.

이에 비해 FMS에서의 작업할당은 원자재와 시스템의 기술적 제약하에서 기계에 도구와 공

* 大有工業專門大學 工業經營科

** 崇實大學校 産業工業科

정을 할당하는 것으로서 FMS를 구성하는 기계는 여러가지 작업이 할당될 수 있으므로 주어진 부품에 대한 가공경로는 여러개의 경로를 갖게 된다. 이것은 시스템에 예기치 않은 고장이 발생하거나 특수한 상황이 발생할때 보다 동적인 부품의 경로선정을 할 수 있게 된다.

작업할당 모델에 관한 최근의 연구들은 표 1과 같이 기계부하의 균형화, 공정수행시간 및 생산비용의 최소화등과 같이 주로 단일 목적만을 고려하였으나, 시스템의 운영상 다목적성을 고려하는 것이 타당하다.

표 1. FMS 작업할당 모델

목 적	연구 논문
기계부하의 균형화	Stecke(1983,1986) Shanker와 Tzen(1985) S.K. Mukhopaphyay와 V. Murlikrishna(1992)
공정 수행 시간	Chakravarty와 Shtub(1984) Chung(1986) Chen과 Chung(1991)
생산비용	Kusiak(1986) Ming Liang과 S.P. Dutta(1992)

경로 선정에 관한 연구로서 LIN과 SOLBERG[17]는 공정의 경로 선정방법에 Network 표현방식을 적용하였으며, SINGH와 MORANTY[9]는 다목적 경로 선정을 공정시간과 비용을 최소화하기 위한 단계적인 발견적 해결방법을 제시하였다. 따라서 본 연구는 목표계획법에 의한 다목적 고려한 작업할당/경로선정 모델을 제시하고, 그 모델의 최적화 과정을 통하여 얻어진 결과를 이용하여 부품의 처리순서를 결정한다. 즉, 부품의 특정공정을 특정기계로 생산가능하면, 1, 불가능하면 0으로 나타내는 Incidence matrix[4]를 작성하여, 이를 이용하여 n차원 공간에서 두점사이의 같은 위치의 원소가 다른 것의 수를 Hamming 거리[8]라고 하는 개념을 도입하여 부품간 Hamming거리를 구한다. 이 Hamming거리가 짧을수록 적은 공구 및 기계의 교체를 의미한

다. 따라서 부품간 Hamming거리의 합이 최소가 되게 부품 투입순서를 결정하는 것은 기계의 유연성을 최대로 하는 것이다.

2. 작업할당/경로선정 모델

FMS는 주로 부품의 종류, 생산량, 공정수행시간, 기계의 종류 및 수, 운반의 형태, 가공공간의 크기 및 형태등의 요소에 의하여 주된 영향을 받게 된다.

FMS 작업할당/경로선정에 대한 의사결정은 기술적, 능력의 제약하에서 기계 또는 작업장 사이에 선정된 부품을 위한 필요한 공구 및 공정의 할당에 관한 것이다.

표 1에서는 작업할당 목적에 의해 분류된 FMS연구들의 간략한 요약을 나타내었다. 이상의 작업할당/경로선정 목적들을 동시에 고려한 다목적 수리계획모델은 다음과 같다.

2.1 가정

FMS의 작업할당/경로선정 모델을 보다 구체화하기 위하여 구조를 단순화시키는 가정은 다음과 같다.

- (1) 각 부품은 하나 이상의 공정으로 구성 되어있다.
- (2) 각 공정은 하나 이상의 기계를 거친다.
- (3) 의사 결정에 필요한 공정수행시간과 비용에 대한 자료는 주어진다.

2.2 기호설명

모델 수립을 위한 기호는 다음과 같다.

- i : 부품을 표시하는 첨자($i=1,2,\dots,m$)
- j : 공정을 표시하는 첨자($j=1,2,\dots,n$)
- k : 기계를 표시하는 첨자($k=1,2,\dots,\ell$)
- X_{ijk} : 기계k에서 부품i를 가공하기 위한 공정j의 수행수
- C_{ijk} : 기계k에서 부품i의 공정j를 수행하기 위한 비용
- T_{ijk} : 기계k에서 부품i의 공정j를 수행하기 위한 시간
- $d_p \sim d_u$: 목표계획법에서 이용되는 편차변수
- I : 부품i를 j공정에서 k기계로 가능하면 1, 불가능하면 0으로 나타낸 Incidence matrix

MC_{ij} : 부품i의 공정j를 수행하기 위한 최소 비용
 MT_{ij} : 부품i의 공정j를 수행하기 위한 최소 시간
 D_{ij} : 부품i의 공정j를 수행하기 위한 최소 시간
 MXT_t : 기계k에서 최대 활용 가능한 시간

2.3 목표제약

작업할당/경로선정 모델에서 요구되는 목표들에 대한 수식화 과정은 다음과 같다.

(1) 공정수행비용

공정수행비용은 상당히 중요한 기준이 되며, 공정수행비용을 최소화 하기 위해서는 가장 적은 비용으로 공정이 수행될 수 있도록 부품의 공정들이 기계에 할당되어야 한다.

$$\sum_i \sum_k [(C_{ik} - MC_{ij}) \cdot X_{ik}] + d_p^- - d_p^+ = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$i = 1, 2, \dots, m, \quad p = 1, 2, \dots, m$

(2) 공정수행시간

공정중의 재고 수준은 공정수행시간의 길이에 영향을 받으며, 공정중에 재고 수준을 최소화하기 위해서는 최소 공정 수행시간을 갖는 기계에 우선적으로 할당하여 생산소요 기간을 줄여야 한다.

$$\sum_i \sum_k [(T_{ik} - MT_{ij}) \cdot X_{ik}] + d_q^- - d_q^+ = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$i = 1, 2, \dots, m, \quad p = 1, 2, \dots, m$

(3) 기계부하의 균형화

각 기계에 전체 부하를 균형있게 할당하는 것이 FMS에서 필요한 최상의 목적은 아닐지라도 작업시간의 차이, 다른 기계도구의 요구, 한정된 도구들(magazine)의 용량때문에 실질 상황에서는 중요한 목적이며, 또한 애로공정의 발생을 예방하기 위해서 고려된다.

$$\sum_i \sum_j T_{ijk} X_{ijk} - \sum_i \sum_j T_{ijk+1} X_{ijk+1} + d_r^- - d_r^+ = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$k = 1, 2, \dots, \ell, \quad r = 2m + 1, 2m + 2, \dots, 2m + \ell$

(4) 생산량

주어진 계획기간동안 각 부품에 대한 생산목

표가 있고, 각 부품에 대한 공정별 진행수는 가능한 같아야 한다.

$$\sum_i X_{ijk} + d_s^- - d_s^+ = D_{ij} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad s = 2m + \ell + 1, 2m + \ell + 2, \dots, 2m + \ell + mn$

(5) 기계용량

각 기계에 할당된 총 부하는 최대용량을 넘지 않도록 하여야 한다. 즉, 각 기계가 활용가능한 공정수행 시간식은 다음과 같다.

$$\sum_i \sum_j T_{ijk} X_{ijk} + d_t^- - d_t^+ = MXT_t \quad \dots\dots\dots(5)$$

$k = 1, 2, \dots, \ell, \quad t = 2m + \ell + mn + 1, 2m + \ell + mn + 2, \dots, 2m + 2\ell + mn$

(6) 총작업소요시간(makespan)

작업장 내에 있는 계획된 모든 작업이 끝나는 시간인 총작업소요시간은 납기에 주요한 영향을 미치며, 이러한 총작업소요시간의 최소화도 주요한 목적이 된다.

이 조건식은 생산량의 식(4)와 함께 사용되어야 한다. 이 식에서 주요한 가정은 부품이 시스템에 투입되면, 해당 부품에 관련된 모든 공정이 수행되어야만 시스템을 떠나게 되어 다음 부품이 투입 되는 것이다. 그것은 대부분의 부품이 형상에 따라 가공순서에 많은 제약이 따르므로 고정되는 것으로 보는것이 타당하기 때문이다.

따라서 가능한한 같은 공정을 수행할 수 있는 모든 기계가 동시에 작업을 시작하고 동시에 마쳤을 때 즉, 동일공정을 수행할 수 있는 모든 기계의 작업시간이 같을때 그 공정수행시간이 가장 짧게 된다.

$$\sum_i \sum_j [T_{ijk} - T_{ijk+1} X_{ijk+1}] + d_u^- - d_u^+ = 0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$j = 1, 2, \dots, n,$
 $u = 2m + \ell + mn + 1, \dots, 2m + 2\ell + mn + \sum_j (\text{공정j가 가능한 계수} - 1)$

이상의 여러 목적들의 우선순위를 정하여 목표계획법을 이용하여 최적의 작업할당/경로선정 방법을 결정한다.

3. 부품투입순서 결정 모델

앞에서 언급한 작업할당/경로선정 모델은 시스템을 통하여 흐르는 부품들을 우선 순위에 따른 여러 목적들을 만족시키는 최적의 공정할당을 의미하는 것이다. 이후 우리는 부품의 투입순서를 고려하여야 한다. 이렇게 하기 위하여 총작업소요시간이나 비용등, 고려하여야 할 사항이 많으나 FMS이므로 기계 유연성을 최대화하기 위한 부품투입순서를 우선적으로 고려하였다. 여기서 부품의 공정순서는 부분적인 교환이 가능한 경우도 있으나 부품의 형상에 따라 많은 제약이 따르므로 고정되는 것으로 보는것이 타당하다. 그러나 부품간의 투입순서는 변경이 가능하다. 따라서 우선 부품 i 를 공정 j 에서 기계 k 로 작업이 가능하면 1, 불가능하면 0인 Incidence matrix를 작성한다. 이를 근거로 하여 부품간 Hamming거리를 구하며, 이 거리의 합을 최소화 하는 부품간 투입순서를 결정하게 된다. 왜냐하면 Hamming거리가 짧을 수록 前工程과 같은 공정이 많이 존재하므로 적은 공구 및 기계의 교체를 의미하기 때

문이다. 이 모델의 수식화는 다음과 같다.

$$\min Z = \sum_{i=1}^m h_{ij} y_{ij}$$

$$\text{S.T. } \sum_{j=1}^m y_{ij} = 1 \quad i=1,2,\dots,m$$

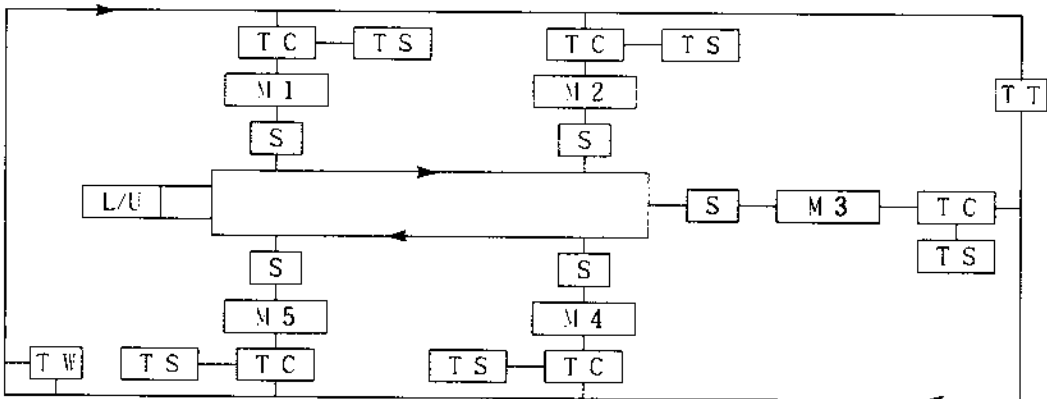
$$\sum_{i=1}^m y_{ij} = 1 \quad j=1,2,\dots,m$$

여기서 h_{ij} 는 부품 i 다음으로 부품 j 가 투입되는 경우의 Hamming거리이며 y_{ij} 는 부품 i 다음으로 부품 j 의 투입이 결정되면 1, 그렇지 않으면 0이 되는 의사결정 변수이다. 위의 모형의 해결방법은 선형계획법으로도 가능하지만, 위와 같이 특수한 경우는 Hungarian Method의 해결절차가 효율적이다.

따라서 우리는 부품간의 Hamming거리의 합을 최소화 함으로서 기계유연성이 증대되어 기계의 준비시간, 부품의 이동시간등을 줄이는 부수적 효과도 얻게된다.

4. 적용예

앞에서 개발된 모델의 예를 적용하기 위하여 FMS의 예를 나타내었다. FMS의 예는 그림 1과 같이 비교적 작고 섬세한 부품을 다루



→Material handling system ; →Tool handling system ; M1-M5. Machine stations ; S. shuttle ; L/U, load/unload station ; TW. tool warehouse ; TC. tool change ; TS. secondary tool storage ; TT. tool transferter

그림 1. FMS의 예

며, 다양한 공정을 여러번 수행할 수 있는 특징을 갖는 Closed loop의 배치형태를 갖는다.

예의 FMS는 5대의 NC 기계로 구성되며, 각 기계는 복수의 공정을 수행할 수 있다. 각 기계가 수행가능한 공정과 기계별 활용 가능한 최대용량이 표 2에 나타나 있으며, 표 3에는 부품별 수행하여야 할 공정 및 생산량이 표시되어 있다. 여기서 알 수 있듯이 부품의 형태는 4가지이며, 각 부품은 몇 가지의 공정들을 필요로 하며, 각 공정별 수요량과 각 기계의 최대 활용 가능한 시간이 나타나 있다.

표 2. 기계별 가능 공정 및 용량

기계(k)	공정(j)	기계용량(MXT _k)
1	(1,2)	75
2	(2,3,6)	75
3	(1,3,5)	75
4	(3,4)	75
5	(4,5,6)	75

표 3. 부품별 수행공정 및 생산량

부품형태	1	2	3	4
수행공정	(2,4,6)	(2,3,5)	(1,5)	(1,3,4)
생산량	200	100	300	150

또한 모든 단위공정당 비용 및 시간에 관한 자료가 표 4와 표 5에 나타나 있다.

표 4. 단위공정당 비용

부 품	공정	기 계				
		1	2	3	4	5
1	2	6	2			
	4				2	7
	6		3			9
2	2	2	6			
	3		7	3	8	
	5			6		4
3	1	3		8		
	5			7		3
4	1	2		6		
	3		8	3	7	
	4				4	7

표 5. 단위공정당 시간

부 품	공정	기 계				
		1	2	3	4	5
1	2	0.3	0.1			
	4				0.2	0.4
	6		0.3			0.2
2	2	0.3	0.1			
	3		0.4	0.2	0.3	
	5			0.3		0.2
3	1	0.1		0.3		
	5			0.3		0.2
4	1	0.1		0.3		
	3		0.4	0.2	0.3	
	4				0.2	0.4

다목적용 고려한 최적의 작업할당/경로선정 방법을 결정하기 위하여 2장에서 제시한 작업할당/경로선정 모델에서 고려한 목적들을 쌍비교법, 분석적단계과정(AHP)등을 이용하여 가중치를 고려한 중요도에 따라 순위를 정하여 목표계획법을 이용하여 최적화를 하게되며, 그 상대적 중요도에 따른 목표구조들이 표 6에 나타나 있다.

표 6. 목표구조

우선 순위	목 표 구 조	
	I	II
1	생산량	총작업소요시간
2	기계용량	생산량
3	공정수행비용	고정수행시간
4	기계부하의 균형화	기계용량
5	공정수행시간	기계부하의 균형화

표 7은 표 6의 목표구조에 따라 목표계획법 [1]에 의하여 구해진 최적 공정수행수를 나타낸 것이다.

표 7에 의해 우리는 표 6의 목표구조에 따른 최적의 작업할당/경로선정 방법을 결정하게 된다. 예를들어 목표구조 I에서는 부품 1의 2공정은 기계 1에서 20개 기계 2에서 180개, 4공정은 기계 4에서만 200개, 6공정은 기계 2에서 190개, 기계 5에서 10개를 생산하며, 부

표 7. 최적할당법

부품	공정	기계	의사결정변수	목표 구조	
				I	II
1	2	1	X_{121}	20	50
		2	X_{122}	180	150
	4	4	X_{144}	200	133
		5	X_{145}	0	67
	6	2	X_{162}	190	80
5		X_{165}	10	120	
2	2	1	X_{221}	100	25
		2	X_{222}	0	75
	3	2	X_{232}	0	23
		3	X_{233}	100	46
	4	X_{234}	0	31	
	5	3	X_{253}	35	40
		5	X_{255}	65	60
3	1	1	X_{311}	300	225
		3	X_{313}	0	75
	5	3	X_{353}	0	120
		5	X_{355}	300	180
4	1	1	X_{411}	90	112
		3	X_{413}	60	38
	3	2	X_{432}	0	37
		3	X_{433}	133	75
	4	X_{434}	17	38	
	4	4	X_{444}	150	100
		5	X_{445}	0	50

품 1의 처음 공정은 기계 1,2를 두번째 공정은 기계 4만 거치며 세번째 공정은 기계 2와 기계 5를 거치게 된다. 이와같이 작업할당/경로선정이 결정된다. 다음은 부품의 최적 처리 순서를 결정하기 위하여 표 7의 최적해를 이용하여 목표구조 I 및 II에 대한 부품의 특정공정을 특정기계로 생산가능하면 1, 불가능하면 0으로 나타낸 Incidence matrix가 표 8과 표 9이며 이에 의한 부품간 Hamming거리 행렬이 표 10 및 표 11에 나타나 있다.

예를 들어 표 8의 부품 3에서 부품 4의 Hamming거리는 부품 3의 마지막 공정의 In-

cidence matrix의 원소가 (0 0 0 0 1)^T이며 부품의 첫 공정의 Incidence matrix의 원소는 (1 0 1 0 0)^T이다. 따라서 다른 원소의 수가 3개가 있으므로 Hamming거리는 3이 된다. 따라서 Hamming거리 행렬은 정방 행렬이 되므로 3장에서 언급한 부품투입순서결정모델의 수식화 과정의 해결책인 Hungarian Method에 의하여 최소 할당 거리를 표시한 것이 원을 친 부분이며, 이때 Hamming거리의 합의 최소값은 10이 되며, 최적 처리 순서는 4-1-3-2 또는 1-2-4-3의 부품 순서가 된다. 또한 목표구조 II에 의한 부품간 Hamming거리 행렬이 표 11이며 이때는 Hamming거리의 합의 최소값은 10이 되며, 최적 처리 순서는 4-1-2-3의 순서가 된다.

표 8. 목표구조 I에 따른 incidence matrix

부품(i)	1		2			3		4			
공정(j)	②	④	⑥	②	③	⑤	①	⑤	①	③	④
기	1	1			1			1		1	
	2	1		1							
계	3				1	1				1	1
	4		1								1
(k)	5		1	1			1	1			

표 9. 목표구조 II에 따른 incidence matrix

부품(i)	1		2			3		4			
공정(j)	②	④	⑥	②	③	⑤	①	⑤	①	③	④
기	1	1			1			1		1	
	2	1		1	1	1					1
계	3				1	1	1	1	1	1	
	4		1			1					1
(k)	5		1	1			1	1			1

표 10. 부품간 Hamming거리 행렬

		To	부 품			
From			1	2	3	4
부	1		∞	(3)	③	4
	2		4	∞	3	(2)
품	3		(3)	4	∞	3
	4		③	4	(2)	∞

표 11. 부품간 Hamming거리 행렬

From		To		부 품			
		1	2	3	4		
부	1	∞	②	4	4		
	2	4	∞	②	2		
품	3	4	4	∞	②		
	4	④	4	4	∞		

5. 결 론

FMS의 주 장점은 유연성이므로 이러한 장점을 확보하기 위한 작업할당/경로선정을 위하여 과거의 여러 모델에서는 기계 부하의 균형화, 공정수행시간, 공정수행비용, 총 작업소요 시간등의 단일 목적만을 고려하였다. 본 연구에서는 이들을 동시에 고려한 다목적 작업할당/경로선정 모델을 제시하고 다목적 수리 계획법에 의한 최적해를 제시하였다.

이후에 기계유연성을 최대화 하기 위한 부품의 최적 처리 순서를 결정하기 위해서 앞의 작업할당/경로선정 모델에서 얻어진 최적해를 이용한 Incidence Matrix를 작성하고, 이를 근거로한 부품간의 Hamming거리를 구하여 이 거리의 합을 최소화하는 모델에 Hungarian method를 적용하여, 기계 유연성을 최대화하는 부품의 최적 처리 순서를 결정하였다.

참 고 문 헌

1. 朴淳達, 「經營管理를 위한 BASIC 프로그램集」, 大英社, (1984)
2. 李相文, 李炳贊, 「多目標 意思決定論」, 法文社. (1984)
3. A. J. VAN LOOVEREN, L. F. GELDERS and L. N. VAN WASSENHOVC, "A REVIEW OF FMS PLANNING MODELS", Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam. (1986)

4. ANDREW KUSIAK, "INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEM", PRENTICE HALL. (1990)
5. INJAZZ J. CHEN and CHEN-HUA CHUNG, "Effects of loading and routeing decisions on performance of flexible manufacturing system". INT. J. PROD.RES. VOL.29, NO.11, 2209-2225. (1991)
6. JAMES P. IGNIZIO, "Linear programming in single & multiple objective systems". Prentice-Ha. (1982)
7. MING LIANG & S. P. DUTTA, "Cam-bined part selection, load sharing and machine loading problem in hybrid manufacturing systems". INT. J. PROD. RES. VOL.30, NO.10, 2335-2349. (1992)
8. NARSINGA DEO "GRAPH THEORY with Applications to Engineering and Computer Science". P.349, Prentice-Hall. (1974)
9. N. SINGH. & B. K. MORANTY, "A fuzzy approach to multi-objective routeing problem with applications to process planning in manufacturing systems". INT. J. PROD. RES. VOL.29, NO.6,1161-1170. (1991)
10. SNAG M. LEE & HUN-JOO JUNG, "A multi-objective production planning model in a flexible manufacturing environment". INT. J. PROD. RES. VOL.27, NO.11, PP. 1981~1992. (1989)
11. SHANKER. K. & TZEN. Y. J, "A load-ing and dispatching problem in a random flexible manufacturing system". INT. J. PROD. RES. VOL.23(2), 579-595. (1985)

12. SHU-HSING CHUNG & TZONG-RU LEE, "A heuristic method for solving FMS master production scheduling problem", Proceeding of the third ORSA/TIMS Conference on FMS ; Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam. (1989)
13. S. K. MUKHOPADHYAY, SANJAY MIDHA & V. MURLI KRISHNA, "A heuristic procedure for loading problems in flexible manufacturing systems". INT. J. PROD. RES. VOL.30, NO.10, 2335-2349. (1992)
14. STECKE. K. E. "Formulation and solution of nonlinear integer production planning problems for Flexible Manufacturing Systems". Management Science VOL.29 (3), 273-288. (1983)
15. WILLAM W. LUGGEN. "Flexible Manufacturing Cells and Systems", Prentice hall. (1991)
16. YOUNG K. SON & CHAN S. PARK "Quantifying opportunity costs associated with adding manufacturing flexibility". INT. J. PROD. RES. VOL.28, NO.6, 1183-1194. (1990)
17. YUH-JIUN LIN & JAMES J. SOLBERG. "FLEXIBLE ROUTEING CONTROL AND SCHEDULING", Proceedings of the third ORSA/TIMS conference on Flexible Manufacturing Systems. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam. (1989)
18. YUNG-JUNG CHEN & RONALD G. ASKIN, "A multi-objective evaluation of flexible manufacturing system loading heuristics", INT. J. PROD. RES. VOL.28, NO.5, 8955-911. (1990)