

퍼지 環境下에 FMS의 多目的 作業割當 모델 A Multi-Objective Loading Model in a Flexible Manufacturing System Under Fuzzy Environment

南宮 錫 *
Namkoong, Suk
李 相鎔 **
Yi, Sang-Yong

Abstract

This paper intends to develop the multi-objective loading model in a flexible manufacturing system (FMS) to support decision maker under fuzzy environment.

To obtain the optimal solution, this paper uses interactive fuzzy multi-objective linear programming(IFMOLP) and describes the process of optimal solution.

As a case study, numerical examples are demonstrated to show the effectiveness of the proposed model.

1. 서론

자동화된 대량생산의 높은 효율성을 유지하고 다품종 소량생산공정의 특성을 유지하여 고객이 요구하는 다양한 제품을 보다 저렴한 가격으로 생산할 수 있는 유연성이 높은 생산시스템으로서 유연생산시스템(Flexible Manufacturing System:FMS)을 들 수 있다. 이러한 FMS의 주요 장점은 유연성이다[3].

FMS 환경하에서의 생산관리는 전통적인 제조환경에서 보다 더욱 어렵다. 그 이유는 각 부품에 대한 대체경로가 많고 다른 작업들을 수행할 수 있으며 부품가공을 동시에 할 수 있는 다기능을 가진 시스템의 가공능력 때문이다[6].

최근의 FMS모델링에 사용되는 접근법들은 FMS생산계획에 적합한 다목적지향의 모델링을 사용하고 있다[1]. FMS생산계획에서 의사결정자는 대체로 상충하는 다목적들, 예를 들면 가공시간과 가공비용의 극소화, 생산율의 극대화, 각 기계의 작업부하 균형화 등을 위하여 목적함수의 값을 정한다. 그러나 의사결정자의 상황이 각각의 목적함수 값을 분명하게 할 수 없는 모호한 경우가 발생하게 된다[4].

본 연구에서는 FMS생산계획의 가장 중요한 문제중의 하나로 인식되어온 FMS의 작업할당 (loading)에서 의사결정자의 불확실한 상황하에 모호한 목적함수값의 문제점을 해결하기 위하여 Sakawa,M.(1993)에 의하여 제안된 상호작용을 하는 퍼지다목적선형계획법(Interactive Fuzzy Multi-Objective Linear Programing: IFMOLP)을 이용하였다[7][8]. 그리고 총가공시간, 총가공비용, 총생산량을 목적함수로 하였고 목적함수의 최대최소를 구한 후 의사결정자로부터 소속함수값을 결정할 수 있도록 유도하였다. 그 후 최적해를 구하였고 참조수준(reference membership level)을 이용하여 의사결정자가 원하는 최적해를 구할 수 있게 하였다.

* 건국대학교 산업공학과 박사과정

** 건국대학교 산업공학과 교수

2. 가정 및 기호정의

FMS의 작업할당/loading 문제해결을 위해서는 몇가지 일반적인 가정이 필요하다. 이러한 가정은 작업할당문제의 일관성을 기하고, 효율적인 운용을 위한 전제조건이 된다. 작업할당문제의 해결을 위한 일반적인 가정은 다음과 같다.

- (1) 가공될 부품의 종류와 수량, 기계대수, 부품의 특징, 공구가공시간, 납기등은 상위단계에서 모두 결정된다.
- (2) 가공할 부품이 할당된 기계의 공구는 그 가공작업을 완전히 끝낸다.
- (3) 기계의 작업은 AGV(Automatic Guided Vehicle), 팔레트(Pallet), 저장공간등에 제약을 받지 않는다.
- (4) 소속함수(membership function)의 형태는 선형(linear)이다.

본 연구에서 사용된 기호를 정의하면 다음과 같다.

i : 그룹을 나타내는 기호

J : 부품 "

k : 기계 "

t : 공구 "

T_{ijkt} : i 그룹에서 j 부품이 k 기계의 t 공구에서 가공되는 총가공시간

C_{ijkt} : i 그룹에서 j 부품이 k 기계의 t 공구에서 가공되는 총가공비용

X_{ijkt} : i 그룹에서 j 부품이 k 기계의 t 공구에서 가공되는 작업할당량

TP_k : k 기계의 총작업 가능시간

CT_{kt} : k 기계의 t 공구에서의 사용가능시간

P_{ij} : i 그룹에서 j 부품의 생산가능량

Z_l : l 번째 목적함수

μ_l : l 번째 소속함수

rm_l : l 번째 참조수준

μ_l^l : l 번째 목적함수의 소속함수 수준이 l 일 때의 값

3. 작업할당모델의 설계

작업할당모델의 설계상 고려한 가정은 다음과 같다.

첫째, 공구의 중복할당을 고려했다.

왜냐하면 공구의 중복할당을 고려하지 않으면 부품이 더 효율이 좋은 공구에 할당되지 않을 경우가 발생하고, 더 많은 공구를 필요로 하기 때문이다[9].

둘째, 작업할당에 앞서 그룹형성을 고려했다.

그룹형성에 사용된 알고리즘은 King ROC(Rank Order Clustering)이다[2]. 왜냐하면 이것은 비교적 효율이 좋고, 계산구조가 간단하기 때문이다.

셋째, 납기(Due date)를 고려하였다. 왜냐하면 실제기업에서 가장 중요하게 생각하는 생산관련 요인은 바로 납기이기 때문이다.

FMS는 부품의 종류, 생산량, 공정수행시간, 기계의 종류 및 갯수, 운반의 형태, 가공공간의 크기 및 형태등의 요소에 의하여 주된 영향을 받는다.

따라서 생산능력의 제약하에 생산시간, 생산비용, 생산량을 동시에 고려한 상호작용을 하는

퍼지 다목적 선형계획모델(interactive fuzzy multi-objective linear programming model)을 만들면 다음과 같다.

목적함수

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{t=1}^n T_{ijkt} X_{ijkt} \dots\dots\dots ①$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{t=1}^n C_{ijkt} X_{ijkt} \dots\dots\dots ②$$

$$\text{Max } Z_3 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{t=1}^n X_{ijkt} \dots\dots\dots ③$$

제약조건

$$\sum_{k=1}^n \sum_{t=1}^n X_{ijkt} = P_{ij}^{(\min)} \sim P_{ij}^{(\max)}$$

(단, ij,k,t = 1,2,...,n) ④

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ijkt} X_{ijkt} \leq CT_{kt}$$

(단, ij,k,t = 1,2,...,n) ⑤

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^n T_{ijkt} X_{ijkt} \leq TP_k$$

(단, ij,k,t = 1,2,...,n) ⑥

$$X_{ijkt} \geq 0 \dots\dots\dots ⑦$$

위의 식들은 최적 작업할당을 하기 위한 것이며 목적함수 ①은 총가공시간을 최소화하는 것이고, 목적함수 ②는 총가공비용을 최소화하는 것이며, 목적함수 ③은 총생산량을 최대화하는 것이다. 제약식 ④는 가공부품의 생산량을 제약하고 제약식 ⑤는 각 공구의 가공 가능시간을 제약하고 제약식 ⑥은 각 기계의 총사용 가능시간을 제약하고, 제약식 ⑦은 非負(non-zero)조건이다.

4. 해의 절차

(1) 각 목적함수들에 대한 의사결정자의 주관적 소속함수(membership function)값을 결정하기 위하여 먼저 주어진 제약조건하에 각 목적함수들의 최대최소를 계산한다. 최대최소를 식으로 표현하면 다음과 같다[7].

$$\begin{aligned} \text{minimum } Z_i^{\min} &= \min_{x \in X} Z_I(x) \\ \text{maximum } Z_i^{\max} &= \max_{x \in X} Z_I(x) \end{aligned} \dots\dots\dots ⑧$$

(2) 제약조건하에 각 목적함수값의 최대최소의 결과를 고려하여 의사결정자는 주관적인 소속함수값(membership function value)을 결정한다. 선형소속함수(linear membership function)식은 다음과 같다.

$$\mu_I(Z_I(x)) = \begin{cases} 0 & ; Z_I(x) \geq Z_I^0 \\ \frac{Z_I(x) - Z_I^0}{Z_I^1 - Z_I^0} & ; Z_I^0(x) \geq Z_I(x) \geq Z_I^1 \dots \textcircled{9} \\ 1 & ; Z_I(x) \leq Z_I^1 \end{cases}$$

식⑨는 의사결정자의 “어떤값보다 작거나 같다 또는 크거나 같다”라는 퍼지목표(fuzzy goal)를 나타낸다.

(3) 모든 소속함수의 소속값에 대한 참조수준(reference membership level)을 1로 하여 최적해를 구하고, 여기에 만족하면 실행을 멈추고, 그렇지 않으면 의사결정자의 참조수준을 반영하여 의사결정자가 요구하는 최적해를 얻을 때까지 반복실행한다.

5. 수치예

어떤회사의 공장은 3대의 FMS기계로 구성되어 있고, 각 기계는 n개의 공구를 가지고 있으며 복수의 공정을 수행할 수 있다. 각각에 대한 단위공정당 시간, 공구가공가능시간, 기계사용가능시간, 납기등을 ROC기법으로그룹화한 것은 <표 1>과 같다[5][9]. 부품별 생산량은 <표 2>와 같이 유동적이다. 그리고 모든 단위공정당 비용은 <표 3>과 같다.

<표 1> 부품-공구 입력행렬표

기계	1					2			3				납기
공구	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	
부 품	1	20	18	18					22	18			3일
	2	22	25	20					20				
	3			15	18	15	18	15			15	18	
	4			20	22	20	22	20			22	20	
공 구 가 공 가 능 시 간	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	단위 (분)
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
기계사용 가능시간	2000					1200			1600				

<표 2> 각 부품별 생산량

부품형태	1	2	3	4
수행공정			1(4,5)	1(4,5)
<기계(공구)	1(1,2,3)	1(1,2,3)	2(1,2,3)	2(1,2,3)
>	3(1,2)	3(1)	3(1,2,3)	3(1,2,3)
생 산 량	40 - 50	50 - 60	50 - 60	60 - 70

<표 3> 단위공정당 비용 (단위: 원)

기 계	1					2			3			
공 구	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4
부 품	1	250	200	220					280	250		
	2	300	250	200					230			
1				160	200	120	180	140			160	200
	2			200	300	180	200	190			210	190

위의 <표 1.2.3>의 자료를 IFMOLP에 입력하여 제약조건하에 각 목적함수의 최대최소를 구하면 <표 4>와 같다.

<표 4> 제약조건하 $Z_1(x)$ 의 최대최소치

	최 소 치	최 대 치
$z_1(x)$	3670	4762
$z_2(x)$	37977	54458
$z_3(x)$	200	240

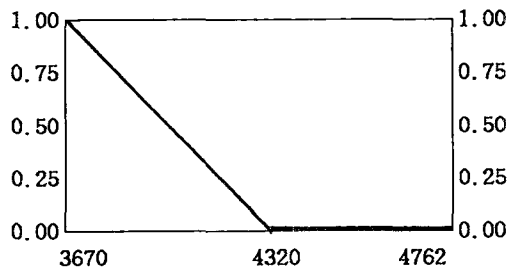
제약조건하에 각 목적함수값의 최대최소범위에서 의사결정자가 요구하는 소속함수값 (membership function value)은 <표 5>와 같다고 하자.

<표 5> 의사결정자의 소속함수 μ_1 값

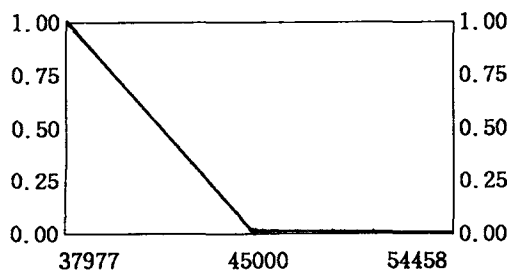
	최 소 치	최 대 치
$\mu_1(x)$	3670	4320
$\mu_2(x)$	37977	45000
$\mu_3(x)$	210	240

<표 5>에서 첫번째 소속함수의 최대치는 납기(3일=4320분)를 고려한 총가공시간이고, 두번째 소속함수의 최대치는 의사결정자가 총가공비용으로 설정할 수 있는 최대비용이며, 세번째 소속함수의 최소치는 의사결정자가 요구하는 최소수준의 부품생산량이다.

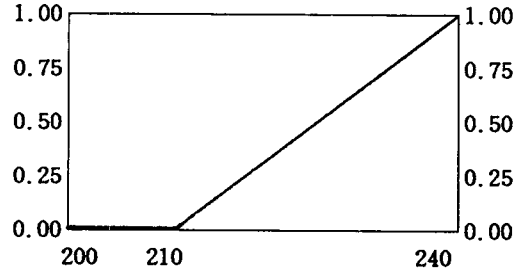
의사결정자의 소속함수값을 그래프로 그리면 <그림 1,2,3>과 같다.



<그림 1> 소속함수 $\mu(z(1))$ 의 그래프



<그림 2> 소속함수 $\mu(z(2))$ 의 그래프



<그림 3> 소속함수 $\mu(z(3))$ 의 그래프

위의 <그림 1,2>는 총가공시간, 총가공비용의 최소화이므로 의사결정자가 원하는 점까지 단조 감소하고 <그림 3>은 총생산량의 최대화이므로 의사결정자가 원하는 점에서 부터 단조증가한다.

다음은 모든 초기 참조수준(reference membership level)을 1로 가정했을 때의 값을 구하고 이에 만족하면 실행을 멈추고 그렇지 않으면 앞의 값을 기준으로하여 의사결정자가 요구하는 수준의 참조수준을 주어 만족하는 값을 얻을 때까지 반복실행한다.

<표 6>은 최적생산을 할 경우이다. 즉, 참조수준을 1로 가정했을 때의 값이며 주어진 제약조건하에서 총가공시간과 총가공비용은 최소이고 총생산량은 최대일 때를 의미한다.

<표 6> 제약조건하에 최적생산을 할 때의 값

소 속 함 수	목 적 함 수
$\mu_{(1)} = 0.3861$	$Z_{(1)} = 4069$
$\mu_{(2)} = 0.3861$	$Z_{(2)} = 42288$
$\mu_{(3)} = 0.3861$	$Z_{(3)} = 222$
의 사 결 정 변 수	
X1111 = 0	X2322 = 0
X1112 = 22	X2323 = 7
X1113 = 22	X2333 = 27
X1131 = 0	X2334 = 0
X1132 = 0	X2414 = 20
X1211 = 0	X2415 = 0
X1212 = 0	X2421 = 0
X1213 = 0	X2422 = 13
X1231 = 49	X2423 = 15
X2314 = 0	X2433 = 0
X2315 = 0	X2434 = 20
X2321 = 27	

위의 <표 6>에서 소속함수 수준이 0.3861일 때 각 목적함수값 $Z_{(1)}=4069$, $Z_{(2)}=42288$, $Z_{(3)}=222$ 이 최적임을 나타내고 있고, 기계(1)에 3대, 기계(2)에 4대, 기계(3)에 3대의 기계공구에 작업이 할당된것을 알수 있다.

그런데 만일 최근까지 주문된 부품생산량은 222개이고, 납기일(3일= 4320분)까지는 여유가 있으므로 좀더 많은 총생산시간을 활용하는 대신 총생산비용은 감소되길 바란다고 가정하고 만족하는 값을 얻을 때까지 반복실행하면 <표 7>과 같다.

<표 7>에서 보는 바와 같이 5회째실행에서 참조수준이 $rm_{(1)}=0.89$, $rm_{(2)}=1.00$, $rm_{(3)}= 0.96$ 이 될때 의사결정자가 바라는 최적값이 구해진다.

<표 7> 의사결정자가 원하는 최적값을 유도하는 과정

반 복	1 회	2 회	3 회	4 회	5 회	6 회
rm ⁽¹⁾	1.00	0.90	0.90	0.90	0.89	0.88
rm ⁽²⁾	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
rm ⁽³⁾	1.00	0.90	0.95	0.96	0.96	0.96
$\mu^{(1)}$	0.3861	0.3544	0.3298	0.3249	0.3212	0.3212
$\mu^{(2)}$	0.3861	0.4544	0.4298	0.4249	0.4254	0.4254
$\mu^{(3)}$	0.3861	0.3544	0.3798	0.3849	0.3854	0.3854
Z ⁽¹⁾	4069	4090	4105	4109	4111	4111
Z ⁽²⁾	42288	41809	41982	42016	42012	42013
Z ⁽³⁾	222	220	221	221	222	222
X1111	0	0	0	0	0	0
X1112	22	22	22	22	22	22
X1113	22	18	18	18	18	18
X1131	0	0	0	0	0	0
X1132	0	0	0	0	0	0
X1211	0	0	0	0	0	0
X1212	0	0	0	0	0	0
X1213	0	4	4	4	4	4
X1231	50	47	47	47	47	48
X2314	0	0	0	0	0	0
X2315	0	0	0	0	0	0
X2321	27	27	27	27	27	27
X2322	0	0	0	0	0	0
X2323	7	24	25	25	27	27
X2333	26	9	8	8	7	7
X2334	0	0	0	0	0	0
X2414	20	20	20	20	20	20
X2415	0	0	0	0	0	0
X2421	0	0	0	0	0	0
X2422	13	18	18	18	18	18
X2423	15	1	1	1	0	0
X2433	0	10	11	11	12	12
X2434	20	20	20	20	20	20

6. 결과해석 및 알고리즘의 특징

의사결정자가 원하는 최적값을 구하기 위한 본 알고리즘의 반복과정에서 참조수준의 변화에 따른 목적함수값의 변화를 살펴보고 본 알고리즘의 특징을 찾아보면 다음과 같다.

<표 7>에서 추가공시간에 많은 시간을 할당하면 추가공비용은 감소하는 것을 알 수 있다.

그리고 5회와 6회 실행을 비교하여 보면 참조수준 $rm_{(1)}=0.89$ 에서 $rm_{(1)}=0.88$ 로 변화를 주었는데도 목적함수나 의사결정변수가 변함이 없음을 알 수 있다. 그러므로 5회실행의 값이 의사결정자가 원하는 최적값임을 알 수가 있다.

5회실행에서 각 소속함수 수준이 $\mu_{(1)}=0.3212$, $\mu_{(2)}=0.4254$, $\mu_{(3)}=0.3854$ 일 때 각각의 목적함수값 $Z_{(1)}=4111$, $Z_{(2)}=42012$, $Z_{(3)}=222$ 가 의사결정자가 원하는 최적값임을 나타내고 있으며, 기계(1)에 4대, 기계(2)에 3대, 기계(3)에 4대의 기계공구에 작업이 할당된 것을 알 수 있다.

또한 최적생산을 할 때의 값인 1회실행(또는 <표 6>)과 의사결정자가 원하는 최적생산일 때의 값인 5회실행을 비교하여 보면 추가공시간은 $Z_{(1)}=4069$ 에서 $Z_{(1)}=4111$ 로 42분 증가하였으며 총비용은 $Z_{(2)}=42288$ 에서 $Z_{(2)}=42012$ 로 276원 감소하였고 총생산량 $Z_{(3)}=222$ 에는 변함이 없다. 즉, 동일한 생산량을 가공하는데 있어 의사결정자가 원하는 대로 추가공시간을 42분 증가시켜 총비용을 276원 감소시킨 것을 알 수 있다.

위와 같은 방법은 기존의 접근법과는 달리 퍼지환경하에 FMS의 작업할당을 하고자 할 경우 IFMOLP를 이용하여 의사결정자가 원하는 최적해를 구할 수 있게 한다. 따라서 이 방법은 민감하고 다양한 시장변화와 불확실한 상황속에서도 적기에 알맞은 최적생산을 가능하게 하고, 급변하는 시장정세에 따른 생산환경변화에 신속히 대응할 수 있게 한다.

7. 결 론

FMS의 유연성을 효과적으로 이용하기 위한 작업할당을 실시하기 위하여 기존의 여러모델에서는 추가공시간, 추가공비용, 총생산량등의 단일목적만을 고려하였고 확정적인 상황만을 고려하였다. 그러나 FMS를 더욱 효과적으로 이용하기 위해서는 이들을 동시에 고려한 다목적 작업할당을 고려하여야 하고 급변하는 생산환경의 변화에 적응할 수 있도록 확정적인 상황보다는 모호한 환경하에서 작업할당을 하기 위한 의사결정이 더 중요하게 되었다.

이러한 취지에서 본 논문에서는 추가공시간, 추가공비용, 총생산량을 동시에 고려한 다목적 작업할당모델과 이의 해를 구하기 위한 알고리즘을 제시하였다. 본 논문의 특징은 첫째, 모호한 환경에서도 의사결정을 할 수 있으며 둘째, 짧은 시간에 여러가지 환경변화를 실험할 수 있으며 셋째, 다목적모델이기 때문에 의사결정자의 여러가지 목적을 동시에 달성할 수 있다는 데 있다. 그러나 시스템을 수행하기 위한 대기시간과 목적함수간의 우선순위와 가중치 그리고 기계부하를 고려하지 못하였기 때문에 이러한 것을 고려한 연구가 앞으로 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

1. Chen,I.J. & Chen-Hua Chung, "Effects of Loading and Routing Decisions on Performance of Flexible Manufacturing Systems", Int.J.Prod.Res., Vol.29, NO.11,(1991).
2. King, J.R., "Machine-Component Grouping in Production Flow Analysis: An Approach using A Rank Order Clustering Algorithm", Int.J.Prod.Res., Vol.18, No.2,(1980).
3. Kusiak,A. Intelligent Manufacturing System, Prentice-Hall,(1990).
4. 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,(1991).
5. Rovito,V.P., & Dvorsky, R.E., "Planning Models for Designing FMS", Technical Report, Cincinnati Milacron, Cincinnati, Ohio,(1984).
6. Sang M. Lee & Hun J. Jung, "A Multi-Objective Production Planning Model in a Flexible Manufacturing Environment". Int.J.Prod.Res., Vol.27, No.11,(1989).
7. Sakawa,M. Fuzzy Sets and Interactive Multi-Objective Optimization, Plenum Press,(1993).
8. Sakawa,M. & H.Yano, "An Interactive Fuzzy Satisficing Method for Multi-Objective Linear Fractional Programming Problems", Fuzzy Sets and Systems, Vol.28,(1988).
9. Stecke, K.E., Production Planning Problems for Flexible Manufacturing Systems, PH.D. Dissertation, Purdue University West Lafayette, Indiana,(1981).