

FMS 초기설계단계에서 부품선택에 관한 연구

A Study on Part Selection Problem at Initial Design Stage of FMS

신호섭, 박찬권, 박진우

서울대학교 산업공학과

Abstract

FMS(Flexible Manufacturing System)는 NC와 같이 다양한 종류의 공정을 수행할 수 있는 가공장비들이 자동화된 물류 운반 시스템(Material Handling System)으로 연결되어 있어 집중화된 제어 및 운용 시스템에 의해 여러 종류의 다양한 부품들을 동시에 가공할 수 있는 생산 시스템으로 정의할 수 있다.

FMS의 도입을 고려 중인 기업이 초기단계에서 가장 먼저 직면하게 의사결정 문제는 부품선택 문제이다. 즉, 현재 생산하고 있는 부품들 중에서 혹은 새로이 생산할 부품들 중에서 어떤 부품을 가공할 것인가를 결정하여야 한다. 이 문제의 중요성은 부품선택문제가 FMS의 운영에 필요한 가공장비, 치구 및 공구의 소요량 결정과 관련을 갖게 되고 결과적으로는 FMS의 경제적 타당성 평가에 근본적인 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 FMS의 초기설계단계에서의 부품선택문제의 해결을 통한 FMS 경제적 타당성을 평가할 방법론 및 해결 방법을 제시할 것이다.

1. 연구의 목적

FMS(Flexible Manufacturing System)는 NC와 같이 다양한 종류의 공정을 수행할 수 있는 가공장비들이 자동화된 물류 운반 시스템(Material Handling System)으로 연결되어, 제어 및 운용 시스템에 의해 여러 종류의 다양한 부품들을 동시에 가공할 수 있는 생산 시스템으로 정의할 수 있다. FMS는 다양한 종류의 서로 다른 부품을 동시에 가공하여 적절한 시기에, 고객의 요구를 만족시킬 수 있는 유연성을 가장 큰 장점으로 꼽을 수 있다. 이러한 FMS의 도입으로 얻어지는 이점으로는 제품 인도기간의 축소, 공장 내부의 재공품 감소, 제품의 품질 제고 및 균일화, 변화하는 시장환경에 대한 유연한 대처 등을 들 수 있다. 그러나, 이러한 다양한 이점에도 불구하고 한국에서는 FMS에 대한 투자나 도입은 그리 간단히 이루어지지 않는 편이다. 이와 관련하여 여러 가지 이유가 있겠지만 크게 두 가지로 요약해 볼 수 있다.

첫째, FMS의 기술적 타당성이다. 즉, FMS는 첨단 하드웨어 기술과 이의 제어와 운용을 위한

상당한 수준의 소프트웨어 기술이 동시에 완성되어 긴밀하게 접속되어야만 그 성능에 대한 보장이 가능하다고 하겠다.

둘째, FMS 경제적 타당성에 관한 것이다. 기업이 여러 가지 장점을 보유하고 있는 FMS와 같은 생산 시스템에 대한 투자나 도입을 고려하는 이유는 고객에 대한 서비스 개선, 이를 통한 시장점유율 확대, 생산에서의 효율성 증대 등을 들 수 있겠다. 위에서 언급한 여러 가지 사항은 궁극적으로 기업이 새로운 이윤을 창출하기 위한 노력들이다. 기업의 입장에서 새로운 투자를 고려할 때, 가장 우선적으로 고려할 문제는 그 투자를 인해 누릴 수 있는 그 기업의 이익에 대한 것이다.

이러한 이유들로 인해서 FMS도입을 고려중인 기업은 기술적, 경제적 타당성 평가를 위한 방법론을 보유하고 있어야 할 것이다. 이러한 기술적, 경제적 타당성에 대한 의문은 'FMS를 도입할 경우 어떤 부품들을 FMS에서 생산할 것인가? 그리고 이 경우 경제성이 있다고 말할 수 있는가?'라는 질문으로 압축될 수 있다. 즉, 현재 도입을 고려중인 FMS의 생산능력에 적합한 속성-부품의 크기, 생산수량, 정밀도 등-을 갖는 부품은 어떤 것들이 있으며, 이러한 부품 중 어떤 부품을 생산하는 것이 경제적 타당성-예를 들어 5년 이내에 투자비 회수가 가능한가?-을 만족시킬 수 있는가에 대한 대답이 이루어져야 한다. 이런 이유로 해서 FMS의 초기설계단계에서 부품선택문제는 결국 FMS의 기술적, 경제적 타당성 연구에 대한 시발점이 될 것이다.

FMS초기설계 단계에서 직면하게되는 부품선택문제에 대한 정의를 내리기 전에 일반적인 FMS의 도입 및 설계절차를 살펴보고 이 과정 중에서 선택된 부품이 FMS의 구성안과 경제성에 어떻게 영향을 미치는지 알아보자. 일반적으로 FMS의 도입 및 설치는 다음과 같은 절차를 따른다.

1. FMS에서 생산 가능한 후보 부품군과 이들 부품의 가공에 적합한 가공장비들로 이루어진 FMS 구성안을 정한다.
2. 대기행렬모형과 같은 수리적 기법들을 통하여 대략적인 FMS의 수행도에 대한 요구를 만족시킬 수 있는 치구나 공구의 소요량을 결정한다.
3. 시뮬레이션을 통하여 FMS 수행도를 정확히 평가한다.
4. 1, 2단계를 거쳐 이루어진 FMS 구성안의 투자

규모와 3단계에서 얻은 FMS의 수행도에 근거하여 경제적 타당성을 검토한다.

5. 부품과 구성안을 조정하여 FMS의 경제성을 개선시키고 최적의 대안을 선택한다.
6. FMS 설치를 위해 RFP를 작성하고 vendor를 선정한다.
7. FMS를 설치한다.
8. 시운전을 통해 FMS 운영 절차를 수립한다.
9. 시스템을 조정한다.
10. 시스템을 운영하고 지속적으로 발전시킨다.

1,2의 과정을 살펴보면 FMS의 도입 초기에 선정된 부품은 FMS 제작비용의 30%에 달하는 치구와 공구의 투자규모 및 경제성에 큰 영향을 미치게 된다. 본 연구는 FMS의 초기설계 단계에서 부품선택 문제를 '현재 기업이 도입을 고려중인 FMS에서 어떤 부품을 생산할 것인가를 결정하는 문제'로 정의하였다. 따라서 본 연구는 FMS도입의 타당성에 대한 평가를 위해 초기설계단계에서 어떤 부품을 선택해야 하는 가하는 의사결정문제에 대한 해결방안을 제시할 것이다.

2. 관련연구현황

부품선택을 위한 첫단계는 FMS에서 가공이 가능한 후보부품군(Candidate part spectrum)의 선택이다. 고려할 부품의 수가 많을 경우 GT code를 이용하면 후보부품군의 선정은 쉽게 이루어질 것이다. Draper 연구소(1984)의 보고서는 부품의 GT code를 이용한 접근방법을 제시하였다. 다음 단계는 후보부품군과 이들 부품군의 가공에 적합한 설비를 선택하는 것이다. 이 문제에 대한 접근방법으로서 GT cell이나 Cellular manufacturing system(이하 CMS)의 설계에 이용되어온 기계-부품군 형성문제를 생각해 볼 수 있다. 이런 연구들의 목적은 유사한 공정을 갖는 부품군(part family)과 이의 가공을 위한 설비들을 하나의 cell로 형성하여 부품의 가공에 필요한 대부분의 공정을 하나의 셀에서 수행하고자 하는 것이다. 그러나 FMS의 경우 기계-부품군 형성 문제는 cell 형성과는 다른 형태를 갖는다. Jobshop의 경우 대부분의 가공장비는 몇 가지 공정밖에 수행할 수 없으나 FMS에서 일반적인 가공장비로 채택되는 machining center는 tool magazine에 장착되는 공구의 종류에 따라 다양한 공정을 수행할 수 있다. 이에 따라 FMS에서 기계-부품군 형성 문제는 생산용량과 Tool magazine capacity를 고려한 공정-공구군 형성문제로 바뀌게 될 것이다. 일반적으로 한 공정에서 사용하는 기계의 종류보다는 사용되는 공구의 종류가 더 많다. 그러므로 동일한 문제의 경우 거의 대부분 공정-공구군 형성문제가 기계-부품군 형성 문제보다 복잡하게 된다. 아울러 부품간의 tool sharing과 tool magazine capacity를 고려한다면 문제의 복잡성은 더욱 커진다. 그러나 FMS의 경우 공구중복 비용은 CMS나 GT cell의 기계중복(machine duplication)에 드는 비용보다 적다는 장점이 있다.

Whitney and Gaul(1985)은 FMS의 가공설비와 부품선택을 위해서 정수계획법을 이용한 모델을 제시하였고, 기계와 부품에 대한 정수제약조건을 완화하여 선형계획법을 적용하는 PARSE와 PAMS라는 2개의 알고리즘을 제시하였다. Lee et al(1992)은 주어진 부품을 가공할 때 FMS의 산출

를 만족하는 최소비용의 FMS 구성안을 수립하는 방법에 대한 해법을 제시하고 있다. 여기서는 폐쇄형 대기행렬의 이론적 기초에 근거하여 최적의 FMS 구성안을 찾아가는 Implicit enumeration방법을 제안했다. 그러나 여기서는 부품군이 미리 결정되어있다고 가정하였다. Tetzlaff(1994,1995)도 폐쇄형 대기행렬을 이용하여 최소 비용의 FMS 구성안을 구하는 방법을 제시했다. 역시 이 경우에도 부품군은 미리 정해져 있다고 가정하고 있으며, 두 경우 모두 공구에 대한 비용은 고려하지 않았다. Avonts 와 Wassenhove(1988)는 FMS에서 가공할 부품의 part mix와 routing mix를 결정하는 LP 모형을 제시했다. 여기서는 선형계획법과 같은 정적 모형에서 반영할 수 없는 시스템의 동적 현상을 분석하기 위해 LP 모형의 수행결과를 대기행렬 모형에 입력하여 동적 현상을 분석하고 다시 LP 모형을 수정하는 반복적 접근 방법을 제시했다. 그러나 FMS구성안의 투자비에 상당한 부분을 차지하는 치구나 공구에 대한 언급은 없었다.

부품선택과 관련한 또 다른 문제는 생산계획 단계에서 발생한다. 초기설계단계에서 부품선택과 달리 생산계획단계에서 부품선택문제는 초기설계단계에서 선택된 부품들 중에서 주어진 생산계획기간 내에 어떤 주문의 부품을 생산할 것인가를 결정하는 문제이다. Stecke(1988)와 Hwang and Shogan(1987) 등은 생산계획단계에서 부품선택문제에 대한 해결방안을 제시하였다. 생산 계획단계에서 부품선택문제는 주로 시스템의 가동률이나 throughput을 최대화하는 부품군의 선택에 그 초점이 맞추어져왔다. FMS 초기설계단계에서 부품의 선정문제와 생산계획단계에서 부품의 선정문제는 생산용량, 공구의 선정, 치공구의 선택 등과 같은 부분에서 유사한 특성을 포함하고 있다. 그러나 FMS 초기설계 단계에서 부품선택은 FMS의 수명주기와 관련한 중장기계획이고, FMS의 생산계획단계에서의 부품선택은 단기계획이다. 또한 초기설계 단계에서 부품의 선택은 경제적 타당성에 대한 검증은 거쳐야만 한다. 부품선택과 관련하여 경제적 타당성을 보여주는 연구는 많지 않은 편이다. Noble 과 Tanchoco(1994)는 Design justification이라는 개념적 접근방법을 통하여 설계단계에서부터 경제적 타당성을 고려하여 가능한 대안의 범위를 축소해 가는 방법론을 제시하였다.

3. 모형

FMS의 경제성평가를 위한 부품군 및 구성안의 결정을 위해서는 기본적으로 필요한 자료를 필요로 한다.

- (1) 후보부품군의 공정정보, 연간 수요량, 가공에 필요한 공구 자료 및 비용 요소
 - (2) 선택 가능한 장비의 종류, 치구의 종류와 관련한 자료
 - (3) FMS 제작비용에 대한 투자 상한선
- 이 문제에 대한 수리적 모형은 다음과 같다. 식(1)은 가장 경제성이 있는 부품을 선택하기 위한 목적함수이다. x_i 의 값이 1인 경우 그 부품은 FMS에서 가공하기로 선정된 것을 의미하고 0은 그렇지 않은 경우를 나타낸다. 가중값 w_i 는 각 부품별로 주어진 경제성 요소(economic factor)이다.

$$\text{Max } \sum_i w_i x_i \quad (1)$$

$$\sum_i d_i x_i (\sum_j p_{ijk}) \leq AOT y_k \quad (2)$$

$$f(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{N}, \bar{T}) \leq BU \quad (3)$$

$$\bar{X} = (x_1, \dots, x_i, \dots) \quad (4)$$

$$\bar{Y} = (y_1, \dots, y_k, \dots) \quad (5)$$

$$\bar{N} = (n_1, \dots, n_l, \dots) \quad (6)$$

$$\bar{T} = (t_1, \dots, t_m, \dots) \quad (7)$$

$$x_i, t_m = 0, 1 \quad (8)$$

$$y_k, n_l = \{0\} \cup Z^+ \quad (9)$$

$i = 1, \dots, I$ 부품

$j = 1, \dots, J$ 공정

$k = 1, \dots, K$ 기계종류

w_i : 부품 i 의 이익 요소

d_i : 예측수요량

p_{ijk} : 가공시간

AOT : 기계종류 1대당 연간운영가능시간

f : FMS configuration의 비용 함수

BU : 예산 상한

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{부품 } i \text{가 FMS에서 가공될 때} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$y_k = 1, \dots, K \text{ 가공장비 } k \text{의 선택 댓수}$$

$$t_m = \begin{cases} 1 & \text{tool type } i \text{이 FMS에서 때} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

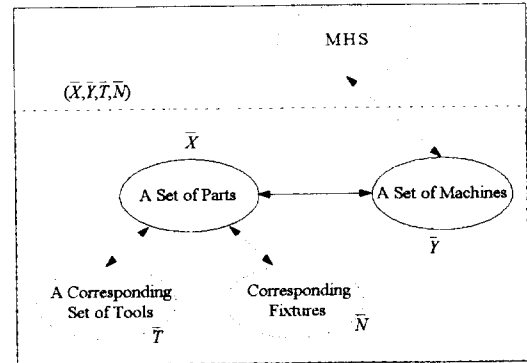
$$n_l = 1, \dots, l \text{ fixture type } l \text{의 소요수량}$$

w_i 는 정의되는 방법에 따라 여러 가지 다른 형태를 취할 수 있을 것이다. 식(2)는 선택된 부품의 가공에 필요한 장비의 소요댓수를 결정하는 제약식이다. 변수 y_k 는 가공장비 종류 k 별로 소요되는 수량을 의미한다. d_i 는 예측에 의한 부품의 소요량이고 AOT 는 계획기간의 운영시간이다. 이는 FMS의 운영과 관련된 전략적인 측면에서 결정되거나 요구되어질 수 있다. 식(3)은 FMS configuration을 구성하는 데 필요한 제반 Hardware의 비용에 관한 제약식이다. 여기에는 가공장비, 치구 및 공구의 비용이 포함된다. 부품이 선정됨에 따라 동시에 치구 및 공구가 결정되므로 FMS configuration의 비용 함수 f 는 선택된 부품, 선정된 장비댓수, 치구, 공구의 함수이다. $\bar{Y} = (y_1, \dots, y_k, \dots)$ 는 가공장비별 소요댓수를 나타내고 있고, $\bar{N} = (n_1, \dots, n_l, \dots)$

는 \bar{X} 의 가공에 필요한 fixture type별 소요량이다. n_l 은 음이 아닌 정수이다.

$\bar{T} = (t_1, \dots, t_m, \dots)$ 역시 \bar{X} 의 가공에 $\bar{T} = (t_1, \dots, t_m, \dots)$ 필요한 tool type을 나타낸다. 여기에서 t_m 은 0이나 1의 값을 갖는 정수이다.

여기에서 선택된 부품간에 tool/fixture sharing이 존재하는 경우 비용함수 f 를 표현하기는 쉽지 않다. $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{T}, \bar{N})$ 의 각 요소는 독립이 아니고, 또한 $(\bar{X}, \bar{T}), (\bar{X}, \bar{N})$ 간의 관계는 Non-linear이다. 그러므로 [그림1]에서 처럼 $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{T}, \bar{N})$ 가 생성하는 공간에서 최적해를 찾아내기란 쉽지 않다. 또한 FMS운영전략에 있어서 일정수준이상의 throughput 이나 가동률을 요구하는 경우 치구의 소요량이 결정적인 역할을 하게 되는 데 이의 결정을 위해서는 위에 제시한 정적인 모형에서는 FMS의 동적인 상황을 반영하기 힘들다.



[그림 1] $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{T}, \bar{N})$ 이 생성하는 공간

4. 접근 방법

[MODEL2]

$$\text{Max } \sum_i w_i x_i \quad (1)$$

$$\sum_i d_i x_i (\sum_j p_{ijk}) \leq AOT_k \quad (2)$$

$$x_i = 0, 1 \quad (3)$$

[MODEL2]는 [MODEL1]에서 f 를 제외하고 y_k 에 구체적인 값을 할당하여 단순화시킨 모형이다. 여기에서는 가공할 장비의 종류가 미리 결정되어 있다고 가정하였다. 이 문제는 전형적인 knapsack의 형태를 띠고 있다. 그러므로 다음과 같이 각 부품별로 w_i 를 정의하고 Greedy heuristic을 이용하여 부품을 선택한다.

$$w_i = \frac{\text{present production cost}}{\sum_j \sum_k p_{ijk}}$$

Greedy heuristic
Repeat

1. index $i = \text{Max} \{ w_j | j \in \text{후보부품군} \}$
2. 모든 k 에 대해 $d_i(\sum_j b_{ik}) \leq AOT_k$ 이면

2.1 $AOT_k \leftarrow AOT_k - d_i$ 로 변경하고 선택된 부품은 후보부품군에서 제외한다.

1단계로 간다.

2.2 그렇지 않으면 1단계로 간다.

Until the end of Candidate_PartSpectrum

Greedy heuristic은 단위 생산시간당 생산비용이 가장 높은 부품이 부가가치가 높다는 가정 하에 서 부가가치가 가장 높은 부품을 선정하는 알고리즘이다. 이 결과로 $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{T})$ 가 결정되었다. 여기에서 FMS의 수행도 분석을 위해서는 \bar{N} 을 결정해야 한다. 만약 modular fixture와 같은 치구를 사용할 경우 치구의 비용이 FMS의 hardware구성비용에서 차지하는 비중은 꽤 크다. FMS에서 운영되는 치구의 수량은 시스템의 throughput에 영향을 미치고 또한 투자비에 제약을 받기도 한다. 치구의 수량결정은 폐쇄형 대기행렬 모형을 이용하여 결정이 가능하다. 이 과정을 거치게 되면 FMS의 configuration과 가공할 부품군 $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{N}, \bar{T})$ 가 결정된다. 또한 대략적인 FMS의 throughput을 구할 수 있다.

FMS의 경제적 타당성은 주어진 $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{N}, \bar{T})$ 에 수행도를 근거로 하여 이루어져야만 신뢰할 수 있는 결과가 도출될 것이다 (Tempelmeier,1994). 실제로 FMS의 도입을 고려하고 있는 의사 결정자들은 FMS의 경제적 타당성의 평가 기준으로 목표기간 내에 투자회수가 가능한가를 중요한 척도로 삼고 있다. 이런 이유로 해서 본 연구에서는 투자회수기간법을 경제성 평가의 기준으로 사용하였다. 즉, FMS의 수행도에 근거하여 부품을 생산할 경우 주어진 목표기간내에 투자비회수가 가능한가를 판단하는 것이다.

현재 주어진 $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{N}, \bar{T})$ 는 최적의 대안은 아니며 보다 나은 대안을 구하기 위해서는 $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{N}, \bar{T})$ 의 search space를 탐색해야 한다. 앞에서 언급한 절차를 요약하면 다음과 같다.

1. Greedy heuristic을 이용하여 $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{T})$ 를 선택한다.
2. 대기행렬을 이용하여 \bar{N} 와 수행도를 구한다.

Maximize Throughput and \bar{N}

subject to $f \leq BU$

3. Throughput에 근거하여 경제적 타당성을 평가한다.
4. Implicit enumeration을 통하여 대안을 새로운 대안을 제시한다.
5. 시뮬레이션을 통해 가장 좋은 수익률을 제시하는 대안을 선택한다.

5. 결론 및 추후 연구방향

현재 부품 데이터베이스에 직접 접근하여 부품의 GT code를 이용하여 후보부품군을 선정하는 기능과 대기행렬 모형을 이용하여 대략적인 수행도 분석 및 투자회수기간법에 근거한 경제성 평가의 기능은 Windows 환경하에서 구현되어 있으며, 머시닝 센터가 4대로 구성된 Mazak Type FMS에 대한 시뮬레이션 모델이 SIMAN으로 구현되어 있다. 간단한 실험결과 비교적 부가가치가 높은 부품이 경제성을 개선시킨다는 결론을 얻었다. 최종적인 구성대안 수립을 위해 공구소요량을 산출하는 방법과 구성대안을 개선시켜 나가는 방법에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

[참고문헌]

- [1] L. H. Avonts and Wassenhove L. N. V., "The part mix and routing mix problem in FMS :a coupling between an LP model and a close queueing network," IJPR, Vol.26, No. 12, 1988. pp.1891-1902.
- [2] J. Browne , W. W. Chan and K. Rathmill, "An Integrated FMS Design Procedure", Annals of OR, 3(1985).
- [3] Charles Stark Draper Lab., *FMS Handbook*, 1984.
- [4] Heungsoon Felix Lee, Mandyam M. Srinivasan and Candace Arai Yano, "The Optimal Configuration and Workload Allocation Problem in Flexible Manufacturing Systems", IJFMS, 3(1992).
- [5] S. S. Hwang and A. Shogan, "Modeling and Solution of an FMS Part Selection Problem", Working Paper.1987.
- [6] K. E. Stecke and Ilyoung Kim, "A Study of FMS Part Type Selection Approaches for Short-Term Production Planning", IJFMS 1(1988).
- [7] J. S. Noble and Tanchoco, J.M.A., "Design Justification of Manufacturing Systems-a review ", IJFMS, 5(1993),pp.5-25.
- [8] Ulirich A. W. Tetzlaff, "A Model for the Minimum Cost Configuration Problem in Flexible Manufacturing Systems", IJFMS, 7(1995).
- [9] Ulirich A. W. Tetzlaff, "Capacity Optimization of Flexible Manufacturing Systems under Budget Constraints", IJFMS, 6(1994).
- [10] C. K. Whitney and R. Suri, "Algorithms for Part and Machine Selection in Flexible Manufacturing Systems", Annals of Operations Research 3(1985).