산 업 공 학
제 1 권 제 2 호
1988. 10

FMS의 최적 구조를 정하는 모형의 연구†

김 성 식*

Abstracts

Various models usable for finding desired configuration of FMSs are presented. Extensions on reported models are made and new models are also introduced. Usages and solution algorithms of each model are discussed.

유연생산 시스템(Flexible Manufacturing System)은 다양화되는 소비자들의 욕구와 짧아지는 제품의 수명주기를 맞추기 위하여 개발되었다. 즉 주어진 일단의 기계 또는 공장에서 비교적 짧은 생산기간을 갖는 여러가지 제품을 동시에 생산하기 위하여 개발되었고 발전되고 있는 시스템이다. 이를 가능하게 한 것은 컴퓨터, 마이크로 프로세서의 발달로 인한 자동운반시스템, 자동창고, 생산기계 및 로보트등의 자동통제체제의 현실화이다. 전체적으로 보면 FMS도 하나의 생산설비에 불과하므로 이의 설계는 이미 잘 정리되어 있는 생산시스템의 구조를 결정하는 과정을 따르게 됨은 물론이다. 그러나 종래의 생산설비와 달리 전용라인(transfer line)도 아니고 일반생산(job shop)도 아닌 두가지의 복합형이라는 점과 비교적 범용인 기계에 대해 자동화된 제어가 이루어져 유연성이 부여된다는 점에서 FMS의 설계는 종래의 시스템 설계와는 다소 차이가 있다.

계획시 특별히 고려하여야 할 점들은 다음과 같다. 비용의 관점에서 볼 경우 FMS를 구성하는 객체들은 종래의 생산방식에서의 기계들에 비하여 고가의 장비들이며 추가로 마이크로프로세서, 컴퓨터등에 의한 자동화에 따르는 부수장치들이 더하여지므로 투자 실패시의 위험부담은 매우 크다. 회사경영의 면에서 보면 FMS는 여러 제품을 유연하게 적시에 적량 생산하는 시스템이기 때문에 단기간의 생산을 염두에 두는 것보다 회사 전체의 장기 전략에 기초하여 FMS에 대한 투자결정을 하게 된다. 또한 FMS의 정보시스템은 전체 회사 데이터 베이스시스템의 일부가 되어야 원활한 운영이 이루어진다는 점을 추가한다면 FMS의 도입시기, 규모, 방법등의 결정에는 상당한 준비가 요구 된다.

따라서 도입의 결정과정에서부터 도입될 수 있는 FMS의 규모, 형태 및 능력에 대한 상세한 정보가 확보되어야 한다. 이러한 정보중의 하나인 앞으로 구현될 시스템의 규모 및 구조

* 고려대학교 산업공학과
† 본 연구는 고려대학교 교내 연구비와 과학재단의 목적기초연구비의 지원을 받아 이루어 졌음.

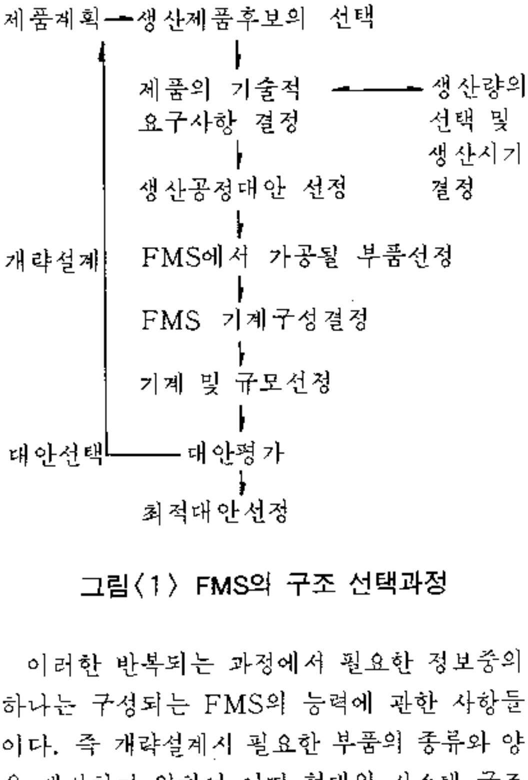
에 관한 정보는 FMS의 도입 고려시나 전체 설계시 매우 중요한 역할을 한다. 즉 이 정보는 FMS의 투자비 및 능력의 추정에 사용되기 때문에 도입결정의 판단 자료가 되며 상세설계시의 바탕이 되기도 한다.

본 연구는 외부로 부터 필요한 정보가 제공되었을 경우 이것을 이용하여 최적의 시스템 구조를 결정하는 모형들을 소개하고, 이들의 유용성을 논하는데 목적을 두고 있다. 우리는 먼저 FMS의 도입 및 운용과정을 살펴보고 언제 최적규모결정이 이루어져야 하는가를 보이고자 한다.

FMS의 도입 및 운용과정

어떠한 생산설비이든 도입결정은 경제성 평가로 그 타당성이 인정되어야 이루어지게 된다. 경제성 평가시 생산자체에 관한 정보는 생산외적정보와 마찬가지로 중요한 역할을 하게 된다. 즉 계획된 생산설비가 어떠한 구조를 가지게 되며 어떠한 능력이 있으며 이들의 설비투자비가 얼마나 소요되는가 하는 사항은 의사결정에 큰 영향을 미친다. 비록 계획시에는 구현될 시스템의 모든 정보가 확실히 알려질 수는 없다고 하더라도 상당한 수준까지의 추정은 이루어져야 한다. 경제성 평가시 이미 생산제품의 종류 구조설계의 대안이 제시되고, 각 대안에는 어떤 종류의 기계 및 컴퓨터시스템이 사용되고 그 수는 어떻게 되어야 하는가하는 사항이 포함되어진다. 그림 〈1〉에서는 경제성평가시 필요한 구조선택 결정과정을 보이고 있다.

FMS의 도입은 회사의 장기정책하에서 생산하게 될 제품선정에서 시작된다. 후보 제품들이 결정되면 이들을 생산하는데 필요한 작업이 성하여지고, 생산량이 결정되면 이에 맞는 공정들이 나타나게 된다. 이러한 공정들과 경제성을 고려하여 FMS에서 가공되는 부품들을 선정하고, 이에 따라 FMS를 구성하는 기계와 이들의 구조가 정해진다. 이렇게 제안된 대안들을 회사의 장기정책적인 면, 경제적인 면 등의 관점에서 평가하여 최적대안을 선택하게 되고, 선정된 대안이 타당하지 않을 때에는 다시 위에서 언급한 과정을 되풀이 하여 최종의 대안을 선정하게 된다.



그림〈1〉 FMS의 구조 선택과정

이러한 반복되는 과정에서 필요한 정보중의 하나는 구성되는 FMS의 능력에 관한 사항들이다. 즉 개략설계시 필요한 부품의 종류와 양을 생산하기 위하여 어떤 형태의 시스템 구조와 규모가 이루어져야 하는가? 주어진 시스템이 요구되는 작업능력을 발휘할 수 있는가? 이러한 구조와 규모를 어떻게 경제적으로 구축할 수 있는가? 이상과 같은 문제들에 대한 답이 제공되어야 한다.

본 연구에서 다루고자 하는 모형들은 생산요구사항이 주어졌을때 주어진 조건하에서 최적의 규모를 선택하는데 중점을 두고 있다. 위에서 언급한 과정을 거쳐 최적대안이 선정되면 이때에는 이미 전체적인 구조가 대략적으로결정되어 있는 상태이다. 다음 단계는 상세설계단

계이다. 여기서는 앞에서 결정된 개략적인 구조를 바탕으로 하여 기계제조원(vendors)이 제공하는 기계의 능력, 가격등을 고려하여 실제 구조를 결정하게 된다. 즉 기계 종류, 댓수, 운반시스템, 기계들의 위치, 공정재고, 저장방법이 정하여지고, 이를 기초로 다시 가공품 장탈착 방법, 공구관리정책과 보수유지정책 방법들이 정하여진다. 여기서 간과할 수 없는 문제는 전체시스템과 각 기계들의 통제방안이다. FMS의 통제방안으로 컴퓨터 및 마이크로 프로세서의 조작이 정하여져야 하며, 나아가서는 데이터 베이스의 구축방법, 컴퓨터 네트워크의 통신, 프로토콜등이 결정되어져야 한다. 이들 문제는 매우 중요한 문제이나 본 연구는 직접 작업기계들의 구조를 정하는데 주안점을 두었으므로 통제 부문에 대한 언급을 더 이상 하지는 않겠다. 상세설계가 완성되면 기계들을 설치하게 되고 초기 운전기간의 조정기간(calibration period)을 거쳐 정상조업에 들어가면 생산계획 및 시스템 운용문제가 대두된다.

생산계획은 설치된 FMS의 형태에 따라 수립방안에 차이가 있게 되나 근본적으로는 기간동안 생산할 가공부품의 선정과 재공품을 유지하면서 납기내에 적정물량을 생산하는 것이 문제가 된다. 최적 운용방안은 주어진 시기에 생산되는 제품군의 종류, 수량의 결정, 부품들의 가공순서, 운반시스템의 제품을 운반하는 경로 및 방법등을 적절히 선택함으로써 이루어지며, 이러한 과정은 시스템 설계시에 사용된 시스템능력 평가방법의 도움을 받아 이루어지게 된다.

FMS의 구조설계모델

FMS의 구조설계문제는 앞에서 언급한 계획, 설치 및 운용과정 두 분야에서 제기된다. 먼저 경제성 평가시 FMS의 개략구조를 정할 때 제기되며 설치를 결정한 후 상세설계시에도 나타나는 문제이다. 개략구조 결정시에는 주어진 예산하에서 최적의 기계구조를 정하는 문제가 될 수도 있고, 주어진 부품들을 제조하기 위한 최소의 비용이 드는 구조를 결정하는 설계문제도 될 수가 있다. 상세설계시의 문제는 이미 설치가 결정된 상태이므로 주어진 성능을 발휘하는 시스템중 최선의 구조를 선택하는 문제가 된다. 초기 단계의 구조설계시에 먼저 결정되어야 할 문제는 주어진 시스템에서 생산되어질 부품의 종류, 양, 생산시기이다. 그러나 이러한 사항을 미리 정확히 알기는 매우 어렵다. 외부 환경의 변화에 대처하는 회사정책에 따라 생산되어질 제품들이 정하여지기 때문에 시스템 설계시 이들은 정확히 알려져 있지 않다. 실제 경우는 현시점에서의 회사의 장단기전략에 의거한 최선의 예측으로부터 회사 전체에서 생산할 제품을 고려하고, 이들중에서 FMS에서 생산하는 것이 유리한 제품을 GT등을 이용하여 선택하고, 이를 기초로 FMS의 부하예측을 하게 된다. 제품군과 부하가 주어지면 FMS의 전체구조를 정하여야 한다. 즉 어떤 종류의 FMS(FMC, DNC, FMM, FMS등)가 가장 적절한가를 선택하여야 한다. FMS의 유연성(flexibility)은 여러가지 면에서 평가된다. 즉 기계자체의 유연성, 공정, 제품생산방식, 이동경로, 생산량, 증축, 운용 및 제품 종류 자체의 유연성이 그것이다. 설비가격은 이러한 각각의 유연성이 증가할수록 올라가게 된다. 현재 위에서 언급한 모든 점에서 완전한 유연성을 가진 이상적인 FMS는 비용측면 또는 기술측면에서 이루어지지 못하고 있다.

실제의 경우 FMS 전체구조의 선택은 제품군의 가공방법과 비용을 고려하여 필요한 유연성을 고려하여 이루어진다. 이러한 문제를 다룬 연구는 Chatterjee 〔6〕에 의하여 선택방법이 제시되어 있기도 하다. FMS의 전체구조가 정하여지면 이제는 각 구성대상에 대한최적

구조의 선택문제가 제기된다. FMS의 전체형태를 결정하는 과정은 정량적인 측면보다 회사의 장기 정책, 유연성, 현재 생산방법의 분석 등을 고려한 정성적인 측면이 강하다. 반면 전체 구조가 정하여지고 각 구성대상의 구조 및 규모를 정하는 문제는 정량적으로 해결이 되는 문제이며 본 논문의 모형들은 후자에 속한다. 즉 비용을 최소로 하거나 시스템이 생산능력을 최대로 함을 목표로 하고 제약조건 역시 양으로 표시되어 모형의 해는 수치로 계산된다.

여기서 꼭 언급하여야 할 사항은 모형들의 해를 구하는 과정에서 필연적으로 거쳐야 되는 시스템의 성능평가이다. 성능평가방법은 크게 두가지로 나뉘어 지는데 시뮬레이션과 해석적인 방법이 그것이다. 시스템의 복잡한 형태를 자세하게 나타내기 위하여는 많은 수의 변수와 이들간의 관계를 표현하는 복잡한 식들이 필요하여 통상 해석적인 방법에 의한 해는 도출하기가 어렵다. 즉 부품의 흐름, 기계의 고장, Blocking 현상, 상황에 따른 부품경로의 재조정들은 많은 수의 부품과 기계에 관련하여 모두 식으로 표현하여 해를 구하는 문제는 매우 어려워서, 이러한 경우의 시스템의 성능평가(평균 대기 부품수, 가공 부품의 출력, 기계의 부하)는 단지 컴퓨터에 의한 시뮬레이션을 진행시켜 얻을 수 밖에 없다.

그러나 문제는 이 경우 많은 시간과 자금이 필요하다는 것이다. 통상 최적구조를 구하기 위하여는 성능평가가 수천 내지 수만번 이루어지게 되어 각각의 성능평가를 시뮬레이션에 의하여 수행하기에는 현실적인 제약이 많이 따르게 된다. 이에 반하여 해석적인 방법에 의한 성능평가는 시스템이 주어진 가정을 만족시켜야 한다는 전제가 따르기 때문에 시스템의 복잡한 형태를 표현하기는 힘든 반면 계산속도는 빠르다.

더구나 경제성 평가단계나 개략 설계단계에서는 시스템의 형태가 자세히 규명되어 있는 상태가 아니고 부품군의 성질 및 기계의 성질이 요약적으로 표현되어 있는 상태이기 때문에 수식으로의 모형화가 비교적 간단하고, 해석적인 방법의 광범위성(robustness)에 의하여 가정이 맞지 않는 경우에도 주요한 성능척도의 평균치는 비교적 정확하다.

이러한 이유로 최적구조를 정하는 과정에서 해석적인 방법이 사용되게 된다. 해석적인 방법에 의한 성능평가는 FMS를 폐쇄형 대기행렬망으로 모형화 하여 이 모형의 해를 구하는 방법을 택하게 된다. 대기행렬망의 해석은 Jackson[9]의 연구를 시발로 BCMP[1]모형등의 정확한 승법형 해를 구하는 방법들이 있다. 이에 대한 효율적인 계산은 Reiser등에 의한 평균치분석[10], Buzacott[3] [4], Yao와 Buzacott[19], Shantikumar and Buzacott[12]등에 의하여 서어비스 시간이 지수분포를 하지 않거나 Blocking등이 발생하는 시스템의 개략적 계산법들이 개발되어졌으며, 이들 모형은 특히 FMS를 염두에 두고 개발 되었다. 이들 논문들의 체계적인 분석은 김성철[21]에 의하여 정리되어 있다. 여기에 나타난 연구들외에도 대기행렬망의 계산법들로 운용분석(Operational Analysis)[8][11], Maximum Entropy에 의한 계산[13][17]방법에 대한 연구등이 현재 활발히 진행중이다. 본 연구에서는 주어진 시스템의 형태에 따라 거기에 알맞는 성능평가방법을 적절히 선택하여 행하여지지만 주로 승법형 네트워크를 사용하는 경우가 많게된다.

모형 1 : 예산 제약하에서의 시스템 구조결정모형

시스템의 초기설계단계에서는 가용한 예산으로 어떠한 시스템을 구성할 것인가하는 의문은 자연스럽게 발생하는 사항이다. 주어진 예산안에서 이룰 수 있는 최적의 시스템을 구하

는 문제는 모든 산업 분야에 걸쳐서 일어난다. 예를 들어 컴퓨터를 도입하고자 할때 기종과 규모의 선정은 필수적으로 해결되어야 할 사항이다. 따라서 이러한 문제에 대한 연구는 컴퓨터 관련분야 연구중 하나의 중요한 영역을 이루어 활발히 진행되고 있다.

FMS의 도입시에도 이러한 문제가 제기되나 여기에 대한 연구는 아직 그리 많지 않다. 우선 모형의 형태를 보자.

Max	Throughput(생산능력)
s.t.	설치비 $\leq$ 가용예산

즉 모형은 예산내에서 최대의 생산능력(FMS의 경우는 처리능력)을 제공하는 시스템을 찾는데 목적이 있다. FMS계획시 실제의 경우 생산계획에 포함되는 각 부품들의 각 기계에서의 가공시간 및 흐름의 경로는 같지 않다. 그러나 시스템 도입을 고려하는 초기 단계에서는 이들이 정확히 알려져 있기는 힘들고 여기서 논의하는 모형도 초기 단계에서의 대략적인 시스템구조를 결정하는데 목적이 있기 때문에 부품들을 한 종류의 부품으로 간주하여 그들의 특성들이 통합(aggregate)되어 나타나도록 하는 것이 각 부품별로 고려하는 것보다 오히려 더 현실적일 수 있다. 더구나 폐쇄형 대기행렬망(Closed Queueing Network : CQN)모형들에 계산이 용이한 승법형 네트워크를 적용할 경우 그 해는 많은(robust)모형에서 정확한 해내지 좋은 개산치를 제공하게 되는데, 위와 같이 여러 고객종류를 단일종류로 통합하여 표현하는 경우도 이중 한가지 경우에 속한다. 따라서 초기단계에서 예산제약하에서의 최적구조를 구하는 경우에는 시스템을 폐쇄형 대기행렬망에 단일종류의 부품이 흐르는 경우로 모형화하는 것이 타당하다고 생각되어 진다.

이렇게 모형화할 경우 출력율은 아래에서 설명하는 두개의 정상화 계수의 비율로 주어지게 된다.[5] 다음으로 제약조건의 형태를 고려해 보자.

실제로 시스템을 설치할 경우 투입되는 비용은 가공기계비용, 건물비용, 컴퓨터등 통제장치의 비용, 운반기계비용, 자동창고 및 Buffer 관련비용, 통제 및 운용을 위한 소프트웨어 개발비등을 들 수 있다. 이들 비용은 또한 각 hardware의 수, software의 규모 및 개발시간등의 선형 또는 비선형 함수로 표현하게 된다. 모형의 현실성은 이들이 여하히 제약조건으로 반영되나 하는 것과 이 반영된 모형의 계산가능성에 의하여 결정되며, 현실성을 높이는 것이 앞으로의 연구과제이다. 그러나 앞에서 말하였듯이 FMS의 경우 이러한 모형들에 대한 연구는 그 수가 대단히 적어 [22] 에서만 한 모형이 제시되어 있다. 여기서는 그 모형을 소개하고 이의 확장 가능성에 대하여 논하기로 한다. 먼저 모형을 말하기 전에 필요한 기초와 모형을 이해하기 위한 사전정보를 보기로 하자.

FMS를 CQN으로 보고 여기에 n개의 대기행렬(작업장 또는 운반시스템)이 있다면 전체 시스템의 상태는 작업장 i(i=1,...,M)에 있는 고객(작업물)들의 수 n_i들을 나타내는 벡터 $\bar{n} = (n_1, \ldots, n_i, \ldots, n_M)$으로 표시될 있으며 균형 상태하에서 이러한 상태가 될 확률을 $P(\bar{n})$이라 할때 시스템이 승법형 해를 갖는 조건을 만족시키면, $P(\bar{n}) = G(N)^{-1} \prod_{i=1}^{M} (Xi)^{ni}$가 되며 여기서 G(N)은 시스템내 전체 작업물의 수가 N개일때의 정상화 계수 (Normalization Contant)로서 $G(N) = \sum_{*} \prod_{i=1}^{M} (Xi)^{ni}$이고 *는 $\bar{n}$의 모든 가능한 조합을 나타낸다.

또 Xi(i=1,...,M)는 상대적인 이용율을 말하며 $Xi^{ni} = Vi^{ni} / \prod_{i=1}^{ni} \mu i(k)$로 계산된다. Vi와 $\mu i(k)$는 각각 작업물의 작업장 i의 평균 방문 횟수와 작업장 i에 k개의 작업물이 있을 때의 서어비스율을 표시한다. 이러한 승법형 해를 갖는 CQN의 경우 시스템의 출력율

(FMS의 단위 시간당 부품 처리능력)은 반복계산법에 의하여 값이 계산된다. [22]의 모형은 같은 작업을 하는 기계군 또는 작업장에도 서로 성능이 다른 기계를 도입할 수 있는 경우를 처리할 수 있도록 하여 다음과 같은 형태를 갖는다.

$$\text{Max} \quad G(N-1) / G(N)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{\ell_i} Kij \cdot Cij + a \cdot N \leq B$$

로 주어진다.

여기서

Kij : 작업장 i에 있는 j번째 성능을 갖는 기계수. $i=1,\ldots,M$, $j=1,\ldots,\ell i$

Cij : 작업장 i의 j성능 기계의 단위비용

a : 가공품 1개당 유지비용

B : 가공예산.

이 모형의 해는 Kij들과 N의 최적치가 발견될 때 이루어 진다. 해를 구하는 절차는 우선 Kij들과 N이 정수(Integer)이어야 한다는 제약조건을 풀고, 제약조건을 상대이용률 Xi와 방문율 Vi의 식으로 변화시켜, 목적함수를 최대로 하는 서어비스율 $\mu i(K)$를 발휘하도록 각 능력의 기계들의 조합중 최선의 것을 택하여 Kij들을 구하게 된다.

이 모형은 시스템이 승법형 해를 갖는 CQN으로 표현되며 설비들의 가격만이 예산에 반영된다는 가정하에 이루어졌다. 또한 설비 또는 재공품의 가격은 생산량과 선형 관계를 이룬다는 가정이 추가되어 있다. 현재의 대기행렬망의 해석적인 방법에 의한 해를 얻는 기술(state-of-art)로는 승법형인 네크워크를 제외하고서는 정확한 해가 정리된 (compact) 수식으로 표현되지 않는다. 이럴때 대부분의 경우 개략치로 그 해가 얻어지는데 이때 그들의 일부인 출력율의 수학적 특성을 규명하기는 매우 어렵다. 앞의 모형에서 제시한 방법보다 훨씬 복잡한 형태의 비선형계획법 문제(같은 제약조건이라도)가 될 것이다.

이것이 승법이 아닌 시스템의 경우의 문제점이며 앞으로 연구가 이루어져야 할 부분이다. 제약조건을 앞 모형보다 더욱 현실적으로 표현할 경우는 목적함수가 지금과 다를때 보다 그 어려움은 덜하게된다. 즉 해의 존재범위(feasible region)가 바뀐 상태이므로 각 경우에 맞게 최적해를 찾는 절차를(최소한 heuristic 이라도)발견할 수 있을 것으로 생각되며, 이 방향에 대한 연구는 계속 이루어질 수 있을 것으로 생각된다.

모형 2: 주어진 능력을 보장하는 최적시스템 구성모형

시스템 계획 및 설계시 설비의 능력을 정하고 그러한 능력을 발휘하는 시스템을 최소의 비용으로 구성하고자 하는 시도는 통상적으로 발생한다. 이 문제는 앞에서 소개한 예산제약하에서의 구성과 쌍대(Dual)관계를 이룬다. 이들에 대한 모형은 FMS의 전체적인 형태가 주어지고 가공되어지는 작업물의 종류와 양이 주어졌을때 주어진 작업을 수행하는 시스템 구조를 정하게 되므로 계획단계 또는 상세설계단계를 막론하고 쓰일 수 있는 모형이다. 그러나 현재까지 이루어진 연구들의 결과는 상세설계의 경우에는 가능한 한 시스템 구조를 상세하게 모형에 반영하여야 하나 그러한 경우 시스템 성능평가의 어려움이 증가된다.

현재 보고되어 있는 연구는 초기설계에 사용될 수 있는 기본형이 Solberg[14]에 의하여 제시되었고, Dallery와 Frein[7]은 이 모형의 개선된 해법을 소개하였다. 이 모형에 제한된 buffer를 추가한 모델이 [23]에 의하여 연구되어 졌으며, 그 이상 더욱 상세한 시스템 구조는 아직 발표되지 않고 있다.

기본형은 다음과 같다.

$$\text{Min } B(K) \quad (\text{모형 } 2\text{-}1)$$
$$\text{s.t. Throughput} \geq Tp$$

여기서 K는 각 작업장의 기계대수($K_1, \ldots, K_n$)을 표시하는 벡터이고 Tp는 계획된 최소 시스템 출력율을 의미한다. 이 모형의 해는 전체 구성비용 B(K)를 최소로 하는 K의 값으로 나타난다. B(K)의 형태는 대상 시스템의 구성요소와 그들이 전체비용에 미치는 영향에 따라 달라진다.

Solberg[14]의 모형에서는 각 작업장은 동일한 기계로 이루어졌고 전체 기계비용은 기계대수의 증가에 따른 증가함수로 주어졌다. 또한 전체 FMS를 단일종류의 작업물들로 이루어지고 buffer의 능력에 제한이 없는 폐쇄형 대기행렬망으로 보아 생산능력을 구하였다.

이 모델에 대한 Dalley와 Frein [7]의 계산방법은 우선 시스템의 특성을 이용하여 각 작업장의 기계대수의 하한을 구하고, 이 값들에서 출발하여 heuristic방법을 이용하여 비용의 상한을 구한다. 최적해는 하한값으로부터 출발하여 비용의 상한을 넘지 않는 모든 해를 조사하여 최선의 구조를 선택함으로써 얻어지게 된다. 전체 절차는 계속되는 반복계산과정을 거쳐 해를 개선시켜 나가는 형식으로 이루어진다.

주어진 시스템이 어떠한 형태이든 이 모형의 해는 목적함수가 기계댓수 또는 작업물의 수에 대한 증가함수인 경우 목적함수는 이 문제의 해법에 영향을 주지 않는다. 문제는 매 반복계산마다 거쳐야 하는 성능평가이다. 현재 성능평가를 정확히 내릴 수 있는 FMS는 소위 BCMP[1]형태의 대기행렬망으로 모형이 가능한 경우가 대부분이다.

앞에서도 언급하였듯이 평균치 분석, 승법형 해법, 운용분석을 막론하고 그 정도에 있어서 차이는 있으나 blocking이 발생하는 경우 또는 여러 종류의 제품을 각각으로 취급할 때에 대한 정확한 해석적인 해는 구하여지지 않는다. 작업장에 제한된 buffer만을 허용하면 buffer를 모두 작업물이 차지하고 있을 경우 그 작업장으로 가려던 작업물은 blocking을 당하게 된다.

그러나 FMS에서는 작업경로에 유연성이 있어 이러한 경우 blocking을 당하지 않고 직접 중앙 (central) buffer로 보낼 수 있다고 가정하여도 무리가 없는 시스템이 많다. 이러한 사실에 착안하여 Yao와 Buzacott[19]은 block & recirculate라는 시스템을 소개하고, 이러한 시스템의 수학적 해를 발견하는 방법을 소개하였다. 제한된 buffer만이 허용되는 시스템(모형 2-2)의 최적 구성을 정하는 경우 위의 기본 모형의 목적함수는 $B(K) = \sum_{i=1}^{M} Ki \cdot CI + \sum_{i=1}^{M} Bi \cdot Si + N \cdot C$의 형태로 특성화된다. 여기서 Bi와 Si는 i작업장의 buffer의 수와 buffer당 설치비를 의미한다. 이러한 목적함수를 가지고 성능평가를 Yao와 Buzacott의 방법에 따라 수행하는 절차가 Kim과 Jung[23]에 의하여 이루어 졌다. 이들의 해법절차는 [14]의 순서와 같게 되며 해로서 각 작업장의 기계대수, buffer의 수 및 시스템에서 가공받는 전체 작업물의 수가 구하여 진다.

모형 3. 부품과 시스템 구조를 동시에 결정 하는 모형

FMS관련 사항중 가공대상 부품의 선정은두가지 항목으로 고려하게 된다. 즉 FMS도입 고려시 앞으로 이루어질 시스템에서 처리하게 될 부품을 선정할 때와 FMS가 설치 가동되고 있을때 생산계획시 주어진 기간동안 처리할 부품의 종류와 양을 결정할 때가 그것이다. 후자는 생산계획의 기능으로 시스템 능력상태 및 주문등을 고려하여 최적안을 선택하는 문제로서 여기서는 언급하지 않고 전자의 경우를 구

성결정과 관련하여 논의하기로 한다.

FMS의 구조결정 과정에서 언급하였듯이 FMS의 구조는 가공대상 부품이 선정되어진 후 이들을 가장 효율적으로 처리할 수 있는 경제적인 시스템을 선택함으로서 이루어진다. 따라서 대부분의 경우 FMS에서 처리될 부품의 결정은 회사정책을 고려하여 선정하게 되며 설립될 FMS의 구조는 이들 부품군을 고려하여 결정하게 된다. 그러나 부품후보중 특정부품들을 선정하여 이에 맞는 FMS구조를 정하였을때, 주어진 FMS가 지금 선정된 부품군들의 조합보다 다른 부품들이 조합을 처리하는 것이 더욱 효율적일 수도 있다. 이와 같이 부품의 선정은 이루어질 FMS의 구조까지 고려하여야 하기 때문에 가공되어질 부품군이 FMS의 구조를 동시에 결정할 수 있다면 이는 하나를 결정하고 이에 맞는 다른 한쪽을 결정하는 것보다 더욱 유리하게된다.

이렇게 두가지를 동시에 결정하는 문제에 대한 연구도 그 수가 매우 적어 Whitney와 Suri의 모형〔18〕에서만 발견된다. 이들의 모형은 다음과 같이 주어진다.

$$\text{Max} \quad \sum_{j} Bi \cdot Xi - \sum_{\ell=1}^{L} C\ell \cdot N\ell$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{j=1}^{J} t\ell j \cdot Xi \leq T \cdot N_{\ell},\ \ell=1, \cdots L$$

$$\sum_{\ell=1}^{L} N\ell \leq N$$

$$Xj = 0 \text{ or } 1$$

$N\ell, N$: positive integer

목적함수는 부품 j를 선택 (선택시 $Xj=1$ 아니면 $Xj=0$)하였을때의 이익 Bj(이익은 재래식 생산방법과 비교한)들의 합에서 설비에 투자된 비용($C\ell$설비ℓ의 단위 비용, $N\ell$설비ℓ의 댓수)들의 합의 차로 표시된다. 여기서 모든 비용은 연간비용으로 환산되어 있다. 또 $t\ell j$를 부품j를 계획량만큼 생산할 때 필요한 설비ℓ의 가동시간 T를 연간 총 가동시간이라 할때 제약 조건은 설비ℓ들의 총 생산가동시간은 설비들($N\ell$)의 연간 총 가동가능시간 보다 적어야 하며, 설비들의 총수는 설치가능한 설비의 총수 N보다 적어야 한다는 것이다.

이 문제는 정수계획법의 문제로 계산방법이 알려진 정수계획법의 해법으로 해결하기에는 대부분의 경우 변수의 수가 너무 많게 되어 heuristic절차를 개발하여 문제의 해를 개략치로 구하게 된다.

본 모형의 해는 가공하게 된 부품들이 종류와 종류별 기계댓수를 제공하게 된다. 그러나 이 모형은 그 자체에 문제점을 포함하고 있다. 모형은 부품별 총가공시간 $t\ell j$가 주어져야 수립이 가능하나 현실적으로 이를 알기는 매우 어려운 일이다. FMS는 부품들이 확률적 (stochastically) 또는 확정적 (deterministically) 으로 자신의 가공경로를 따라 기계에서 보내는 시간(대기 또는 가공시간)은 시스템이 구성된 후 이들을 평가함으로써 얻어지게 되는 양이며, 이는 단순히 물량과 각 기계에서의 가공시간의 곱만으로 정하여질 수는 없다. 그 이유는 기계에 따라서는 이 기계의 사용을 요구하는 부품이 시스템내에 있어도 부품을 다음 기계에서 대기 또는 가공받고 있기때문에 주어진 순간에 기계가 작업을 하지못하는 경우가 있기 때문이다. 따라서 제약조건이 단순한 가공시간들의 합이 아니라 전체 기계들이 시스템으로 엮어졌을때 시스템이 각 부품을 처리하는 능력이 각 부품들의 처리에 필요한 능력이상이 되어야 한다는 조건으로 바뀌는 것이 더욱 현실에 가깝다. 최근 이러한 형태로 시스템을 모형화한 것이 이성규의 〔24〕에서 발표되었다.

모형은

$$\text{Max} \quad \sum_{j=1}^{J} Bi \cdot Xj - \sum_{\ell=1}^{L} C\ell \cdot N\ell - C_p \cdot N_p$$

s.t. $XP(K) \geq THR$

$\sum_{\ell} N\ell \leq N$ (모형 3)

$Xj = 0 \text{ or } 1$

$N\ell, Np$: positive integer

로 주어진다.

여기서 벡터 $\overline{K}=(N1,\ldots,N_L)$는 각 설비의 수를 나타내며 $XP(\overline{K})$는 시스템 출력율, THR은 부품의 계획 생산량을 합하였을때 이를 달성하기 위한 최소의 시스템 출력율을 말한다. 또한 Np와 Cp는 각각 시스템 내의 재공품(팰릿)의 갯수와 이들의 연간 유지비용을 표시한다. 위의 모형의 해는 제약조건을 만족시키며 설비비를 최소로 하는 설비선택모형(S1)과 이익을 최대로 하는 부품군을 선택하는 두개의 모형(S2)로 분리하여 주어진 S2에 대하여 S1을 해결하고 다시 S2를 해결하는 방법을 계속 적용하여 구하게 된다.

〔24〕의 모형의 제약조건에서는 시스템의 성능은 각 부품을 가중평균하여 단일 부품군으로 통합하여 반영한 것이며, 이의 정당화는 예산제약하에서의 시스템구조결정(모형 1)과 같은 이유로 주장될 수 있다. 그러나 현재의 모형은 부품선택이 중요한 구성목적중의 하나 이다. 따라서 각 부품의 특성을 정확히 모형에 반영하는 것이 통합하여 표현할때 보다 부품이 전체에 미치는 영향을 더욱 정확히 반영하므로 이러한 방향으로의 연구가 계속되어야 하겠다. 각 부품을 개별적으로 모형에 반영할때 제약식은 각 부품에 대하여

시스템의 부품 j의 출력율 ≥ 원하는 부품 j의 출력율

의 형태가 된다. 이러한 조건을 만족하는가를 확인하기 위하여 시스템을 CQN으로 표현하여 계산할때 대기행렬망의 고객들은 다수의 종류(각 부품별)로 표현된다. 즉 S1 모형의 해를 구할때의 CQN은 multi-class customer CQN이 되어 이론적으로 BCMP 종류의 해가 구하여지나 그 계산량이 많고 또한 S1모형의 해결시 부수적인 문제가 제기되어 어려움이 따르게 되나 계속적인 연구가 수행되어야 할 문제이다.

또한 기계댓수의 제약식도 현실적이지 못하다. 여기서는 전체 설비수가 N보다 적은 것으로 되어 있으나 설비의 종류를 구분하지 않았다. 이 제약조건은 전체 설비가격의 상한으로 주어지는 것이 더욱 현실적인 타당성을 갖는다. 즉 모형 1에서와 같이 설비에 투자할 수 있는 예산을 미리 정하여 주는 것이다. 따라서 제약식은 $\sum_{\ell=1}^{L} C\ell \cdot N\ell \leq B$의 형태가 되어 목적함수의 두번째 항의 상한을 정하는 것이 된다. 이때 $C=1$을 $B=N$으로 특성화 하면 현재의 모형이 되기 때문에 현재 모형의 일반형으로 볼 수도 있다. 그러나 단 문제는 이렇게 일반화했을 경우 최적의 기계설비의 조합을 찾을때 그 조합의 수가 현재보다 증가하여 계산상 어려움을 야기하는 문제가 발생하나 앞으로 연구가 계속되어져야 하는 부분이다.

결론

우리는 앞에서 1) 예산제약하의 설비선택, 2)생산능력제약(하한)하에서의 설비선택, 3)부품과 설비의 동시선택시에 각각 이용할 수 있는 모형들을 보았다. 모형 1은 FMS의 도입을 고려하는 초기단계에서 회사에서 FMS에 투자할 예산을 정할때 사용되게 된다. 즉 예산의 수준을 여러가지 제시하고 각 예산수준에서 구성할 수 있는 FMS의 규모내지 구조를 추정할 때 이를 사용할 수 있다.

그러나 여기서 고려하는 비용은 순수 생산용 하드웨어비용이기 때문에 컴퓨터, 인건비, 소프트웨어 개발비 및 제반 부수비용등을 추가로

추정하여 여기에 추가한 총 FMS설치 비용을 추정하여야 할 것이다. 모형2의 경우는 개략설계시 사용된다. 즉 부품들이 확정되어 있는 상태에서 구성되어야 FMS 형태를 정한 후 이때에 소요되는 기계들의 규모 및 구조를 정하게된다. 여기서 목적함수는 기계수의 증가함수일 경우에는 어떠한 함수이던 용납된다.

모형 2-1은 시스템은 단일종류 부품을 처리하고 각 작업장은 동일한 기계들로 이루어졌다고 단순화하고 있으나 계산속도가 빨라 이 모형은 전체구조 설계시 대체적인 윤곽을 확인하는 과정에서 도입설비를 여러가지로 바꾸어가면서 대안을 찾을때 유용하게 사용될 수 있다. 모형 2-2는 모형 2-1에 buffer를 고려한 것으로 모형 2-1과 같은 목적 또는 상세설계시 시작단계에서 사용될 수 있다. 여기서는 buffer의 크기로 정하여지기 때문에 모형 2-1보다는 상세한 시스템의 형태를 제공한다. 그러나 모형 2들은 상세설계에 적용하기에는 미흡하다. 상세설계의 결과는 실제로 구현될 시스템이 되므로 시스템 결정에 영향을 미치는 요인들이 변수가 되어 가능한 한 모든 모형에 반영되어야 하나 앞에서 제시한 모형들은 그렇지 못한다. 즉 각 부품 종류들의 가공특성, 경로등이 개별적으로 표시되고, buffer가 있어도 blocking이 일어날때의 대체기계, 기계들의 고장현상등이 모두 표현되었을때 모형은 시스템을 정확히 표시할 수 있으나 이들을 수학적인 모형에 전부 나타내기는 불가능하다. 단지 컴퓨터 시뮬레이션만이 이들을 모두 반영할 수 있으나 이 경우 실행시간이 과중하게 들어 현상파악이 아닌 최적화에의 적용은 현실상 불가능하다. 따라서 실제 상세설계시는 가능한 한 현실적인 수학적인 모형에 의하여 시스템의 전체구조를 결정하고 각 부분의 상세한 구조, 규모 및 운용방안은 시뮬레이션으로 결정하는 것이 바람직 하다.

모형 2에 더욱 현실적인 가정을 더하여 개선하여 나가는 것이 앞으로의 연구과제이며, 다종류의 고객과 각 작업장내에 성능이 다른 기계를 도입하는 문제는 해결 가능성이 있는 문제로 보인다.

모형 3 또한 FMS의 도입고려 단계에서 유용하게 쓰인다. 특히 부품과 기계구조를 동시에 생각하는 점에서 실용성은 높아 보인다. 실제 적용시 큰 한 부품을 FMS에서 생산할 때와 재래식 공장에서 생산할 때의 연간 생산비간의 차이 Bj값을 사용하여 FMS의 도입평가가 끝난후(경제성 평가)여기서 추정하여 모형의 해를 다시 구하여 도입평가 결과를 재조정하는 방법도 사용할 수가 있겠다. 여하간 이 문제는 모형을 사용하는 사람이 판단하여 해결하여야 할 문제이다.

모형 3의 제약조건들이 보다 현실을 잘 반영하고 목적함수에 직접 생산설비비외에 부수되는 비용까지 추가될 경우 이 모형이 FMS도입고려시 아주 유용하게 모형이 될 것이기 때문에 이에 대한 추후연구는 필연적이라 하겠다.

Reference

1. Baskett, F., K. Chandy, R.R. Muntz, "Open, Closed and Mixed Networks of queue with different classes of customers" J. of the ACM, Vol.22, No.2, 1975.
2. Brown, J., W.W.Chen, and K.Rathmill, "An Integrated FMS Design Procedure" Annals of Operations Research, Vol.3, No.1 4, 1985.
3. Buzacott, J.A., "Models of Flexible Manufacturing Systems with Limited Local Buffers", International J. of Production Research. Vol.24, No.1, 1986.
4. Buzacott, J.A., "The Production Capacity of Jobshop with Limited Storage Space", International J. of Production Research, Vol.14, No.5, 1986.
5. Buzen, J.P., "Computational algorithms for Closed Queueing Networks with Exponenetial Servers", Communication of the ACM, Vol.16, No.9, 1973.
6. Chatterjee, A., M.A. Cohen, W.J. Maxwell, "Manufacturing Flexibility:Models and Measurments in K.E. Stecke and R. Suri(editors)", Proceeding of the First ORSA/TIMS Special Interest Conference on Flexible Manufacturing Systems, Ann Arbor, MI, August 1984, PP.49 64.
7. Dallery, Y and Y. Frein, "An Efficient Method to Determine the Optimal Configuration of a Flexible Manufacturing System", Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on FMS
8. Denning, P.J. and J.P. Buzen, "The Operational Analysis of Queueing Network Models", Computing Survey, Vol.10, No.3, 1978.
9. Jackson, J.R., "Jobshop-like Queueing Systems", Management Science, Vol.10, No.1, 1963.
10. Reiser, M. and S.S. Lavenberg," Mean Value Analysis of Closed Multichain Queueing Network", J.of Association for Computing Machinery, Vol.27, No.2, 1980.
11. Roode, J.D, "Multiclass Operational Analysis of Queueing Networks", Performance of Computer Systems, North Holland Co., 1979.
12. Shantikumar, L. and J.A. Buzacott, "Open Queueing Network Models of Dynamic Job Shops", International J. of Production Research, Vol.19, No.3, 1981.
13. Shore, J.E., and R.W. Johnson, "Axiomatic Derivation of the Principle of Maximum Entropy and Principle of Maximum Cross Entropy", IEEE, Trans. Information Theory, JT 27,4, 1981.
14. Solberg, J.J. and B. Vinod, "The Optimal Design of Flexible Manufacturing Systems", Int. J. of Prod. Res., Vol.23, No.3, 1985.
15. Trivedi, K.S. and R.A. Wagner, "A Decision Model for Closed Queueing Networks", IEEE Transaction of Software Engineering, Vol.5, No.4, 1979.
16. Trivedi, K.S. and R.K. Kinicki, "A Model for Computer Configuration Design", IEEE Computer, 1980.
17. Walstra, R.J., "Nonexponential Networks of Queues:a Maximum Entropy Analysis", Performance Evaluation Review, Vol.13, No.2, 1985.
18. Whitney, C.K. and R. Suri, "Algorithms for Part and Machine Selection in Flexible Manufacturing Systems", Annals of Operations Research, Vol.3, No.14, 1985.
19. Yao, D.D. and D.A. Buzacott, "The Exponentialization Approach to Flexible Manufacturing System Models with General Processing Times", European Journal of Operational Re-

search, Vol.24, No.3, 1986.
20. Yao, D.D. and J.A. Buzacott, "Modeling a Class of State Dependent Routing in FMS", Annals of Operations Research, Vol.3, No.14, 1985.
21. 김성철, "FMS의 분석을 위해 대기 네트 워크의 모형들에 관하여", 경영과학, 제4권, 1987.
22. 김진우, 김성식, "예산제약 하에서의 최적 유연 생산 시스템 구성에 관한 연구", 고려대학교 공과대학 공학논집, 28집, 1987.
23. 정양근, 김성식, "제한된 Local Buffer를 가진 FMS의 최적구성 결정에 관한 연구", 논문 제출 준비중.
24. 이성규, 김영철, 김성식, "FMS의 부품과 구조를 동시에 결정하는 모형", 논문제출 준비중.