

## 다목적을 고려한 FMS작업할당/경로선정과 분배규칙에 관한 연구

- A loading and sequencing problem in a random FMS -

장 영 기\*  
Jang, Young Gi  
조 재 용\*\*  
Cho, Jae Yong

### Abstract

Although FMS implementation in Korea is not yet mature, the worldwide empirical data shows the diffusion of FMS is inevitable in near future. As the relationships between the high capital cost and the relative benefits and advantages are complex to analyse, it is rather beneficial to prepare the effective operation strategies which exploit the FMS flexibility, such as machine loading with alternative routing and dispatching rules.

This paper shows the formulation applying a goal programming model for the loading problem with objectives of minimizing the production cost and maximizing the machine utilization, including constraints such as machine tool capacity and demands, etc.

A realistic random FMS model is developed for illustration.

Since loading and dispatching are a composite of two interdependent tasks, simulation is made to investigate the interactions between the two.

### 1. 서론

본 연구의 목적은 현재 세계에서 실제운영중인 FMS(유연시스템)의 기술적·관리적 특성을 전제하여 복수의 시스템성과를 만족할 수 있도록 부하계획(loading)의 수립방법을 formulation 하며 그러나 이렇게 수립된 부하계획이 후속하는 일정계획(scheduling)에서 또 다른 성과기준이 채용될 때 최초로 기대되었던 성과수준이 어떻게 달라질 수 있는가를 보이는데 있다.

미국표준국(US NBS)의 FMS의 정의를 보면 FMS는 "운반수단에 의하여 연결된 기계군(통상 교환기를 갖춘 복수의 수치제어 머시닝·센터)을 말하며 운반수단은 파렛트 또는 기타 결합장치에 고정된 가공물을 기계에 운반함으로써 가공물과 기계간의 연결을 정확·신속및 자동

---

\* 숭실대학교 산업공학과 교수

\*\* 숭실대학교부설 생산기술연구소 연구원

적으로 수행한다. 컴퓨터가 기계와 운반체계를 통제한다. FMS는 동시에 여러 개의 가공물을 처리한다"로 되어있다.

즉 FMS특징은 첫째 컴퓨터에 의한 생산활동의 통합으로 컴퓨터가 일정계획과 통제, 자재 가공물 운반의 지시, 변화발생시의 적절한 조치와 같은 중요한 기능을 수행한다. 컴퓨터에 의하여 구성요소가 통합됨으로써 시스템은 높은 수준의 자기진단과 적응적 통제능력을 갖추게 된다. 둘째는 유연성이다. 한 생산시스템이 갖는 유연성(flexibility)의 종류는 다양하게 지적되고 있다(예컨대 적계는 Mandelbaum은 2가지로, 많게는 Brown은 8가지). 모든 FMS가 그중의 몇 가지를 어느수준까지 구비하고 있었으나 FMS의 시스템성파에 가장 큰 영향을 미치는 것은 공정유연성(routing flexibility)의 정도라고 생각된다. 공정유연성이란 FMS가 여러공정의 가공능력을 보유하는 것이며 한 가공품이 FMS안에서 유일한 가공경로(fixed routing)를 경유하여 가공되는 것이 아니라 여러 대체경로중에서 선택적으로 경유하여 가공가능한 것을 뜻한다. 이러한 공정유연성은 FMS의 생산활동의 두 단계에서 활용 될 수 있다. 첫단계는 기간당 부하계획(loading)단계로서 수요와 능력을 맞추기 위하여 각가공품의 경로를 조정함으로써 수요충족과 설비가동을 제고를 기할 수 있다. 둘째는 일정계획(scheduling/dipatching)에 따른 실제가공단계로서 현실적 외란(disturbance-기계고장,절품등)으로 인하여 예정된 가공경로를 변경시켜야 할 때 - 이상적으로 말하면 real-time하게- 다른 대체적경로를 재선택함으로써 전체로서 높은 효율을 유지할수 있다.

FMS와 관련된 연구영역을 순서에 따라 포괄적으로 분류해보면 ①도입검토 ②설계 ③운영 문제로 나눌수 있다. 이러한 문제는 상호 밀접한 연관성을 가지고 있다. 즉 첫째 도입검토문제는 FMS의 도입·운영으로 얻어지는 경제적수익성과 전략적 이점에 대하여 소요되는 막대한 자본투자를 비교평가하는 것인데 경제적수익성은 합리적 운영에 좌우되며, 반대로 높은 유연성을 갖춘 고가의 FMS는 운영문제를 용이화해 줄 수 있을 것이다. 설계영역은 고유기술적인 영역으로 현재의 기술수준에 의존하나 도입검토단계에서 결정되는 시방과 투자액의 제약을 받는 동시에 설계되는 시스템의 성능은 운영을 제약하게 된다. 그러므로 현실시점에서는 수익적검토 보다는 다분히 전략적 판단하에서 도입되는 FMS에 대해서 사전에 도입검토에 지나친 정력과 시간을 경주하기보다는 일단 도입된 시스템을 효율적으로 운영할 수 있도록 연구합이 기업에게 보다 유익하다고 지적되고 있다. 이러한 기업의 입장을 도와주기 위하여 기설(既設)된 FMS의 운영문제를 연구함에 있어서는 운영계획 수립의 평가 기준을 근본적으로 투자비(고정비)를 조속히 회수하기 위하여 가동률을 높이는 것과 운영비(변동비)를 절감하도록 생산활동을 계획.통제함으로써 수익적 관점을 뒷받침해 주는 것이라고 말 할 수 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 전술한 바와 같이 운영중인 FMS의 가동률을 높이며 변동비를 낮출수 있도록 두가지 목적을 충족하기 위한 부하계획의 수립과 다음에 이어지는 작업순서계획과의 관련성에 대하여 살펴보고자한다.

이를 위하여 본 연구는 제2장에서 문헌을 통하여 세계적으로 실제로 운영중인 FMS의 기술적,관리적특성을 살펴 다음의 부하계획 수립의 제약조건으로 삼을 것이며, 제3장에서 이제까지 FMS의 운영계획에 대한 연구의 장단점을 살펴보고 제4장에서 다목적계획법을 이용하여 두가지 성과기준을 만족시키는 부하계획을 정식화 하였으며 제5장에서 얻어진 부하계획을 몇 가지 기준으로 작업분배(일정계획)할 때 최초의 성과기준을 만족시킬 수 있는 것이 무엇인가를 살피고 결론으로 통합된 운영계획수립의 필요성을 논하였다.

## 2. FMS의 기술적·관리적 특성

FMS는 원래 다양한 수요의 변화에 불구하고 균형화된 자동화 대량생산의 능률과 소량 주문생산의 유연성을 결합시키므로써 소위 중품중량생산에 가장 알맞는 생산시스템을 목표로 개발중이나 현재까지 실제로 세계에서 성공하고 있는 FMS에 대한 조사결과[7]를 보면 Compact System(소중·소량생산)과 High capacity system(다중대량생산)의 양극단의 생산형태에서 경영효율이 높은 것으로 나타나고 있으며 목표하는바 중품중·소량생산에서는 성과를 건우지 못하고 있다고 보여진다. 그러나 점차 표준화(modular type of system software)와 기계 통합기술(mechanical integration technology)의 발전과 보급에 따라 단계적(modular)인 FMS도 입이 가능해지면 적용범위(업종)도 확대되며 FMS보급은 보다 빨라질 것으로 전망되고 있다.

현재 세계에서 운영중인 약 800개의 FMS의 기술적·관리적 특성을 요약해 보면 아래와 같다.

① FMS의 가공영역은 판금가공, 플라스틱 사출성형, 레이저가공등으로 확대되고 있으나 현재로서는 자동차, 공작기계나 산업기계의 주요 구성 부품의 기계가공(절삭)이 위주가 되고 있다. 이 업계에서는 수주시마다 이를 개별적으로 생산현장에 보내어 생산하는것이 아니라 일단 단위기간마다 통합생산계획단계(aggregate plan)에서 비교적 안정된 제조계획을 세워서 부품중심의 생산이 이루어 진다.

② FMS의 형식은 적은 종류의 대단히 유사한 부품군(group)을 적은 변화범위내에서 계속 생산하도록 설계된 형식(dedicated type 또는 FML)과 광범위한 특징을 가진 부품군을 수시로 생산하는 형식(random type)으로 나눌수 있으며 본질적인 유연성을 발휘할 수 있는 것은 후자이나 생산문제가 복잡해지리라는 것은 쉽게 유추할 수 있다.

③ FMS의 형태로는 가공기계가 수행할 작업에 필요한 공구가 기계마다 장착되어 가공품을 해당되는 기계로 이동시켜 가면서 가공하는 형태가 있으며 현재까지는 대부분의 FMS가 이 형태로 되어 있으나 기계에 장착할 수 있는 공구수의 제약이 따르게 되며 이에 대하여 만약 필요한 공구가 그 기계에 장착되어 있지 않을 때 공구저장소 또는 다른 기계에서 가져올 수 있도록 공구운반장치(atomic tool transporter)가 마련되어 있는 형태가 앞으로 더욱 발전되리라고 예상되고 있다.

④ 한 FMS를 구성하는 주 가공기계(machining center)의 대수는 최고 80대 평균 4대이며 1~6대를 보유하는 시스템이 조사의 53%를 차지하고 있다.

⑤ 한 가공기계가 장착할 수 있는 공구수는 공구장착대(tool magazin/slot)의 제약을 받게 되는데 현재 최고 100개 공구를 장착할 수 있다. 한 형식의 공구가 복수의 slot을 점유하는 경우도 있으나 한 형식의 공구가 한 slot을 차지하는것이 통례이다. 최근에 공구장착대가 개선되면서 공구순서에 의하여 용량에 영향을 받지 않게 되었다고 지적되고 있다. 이로 인하여 Stecke가 연구한 부하문제 해결방법에 있어서 정식화의 비선형이 주로 공구 및 공구장착대에서 오는 것이므로 공구장착대의 개선은 부하문제 정식화를 간소화하는데 기여한다고 지적되고 있다.

⑥ 주 가공기계에 공구만 주어진다면 가공부품군의 모든 작업을 수행할 수 있다고 가정하는 것은 비현실적이며 가공기계의 종류와 해당되는 공구의 제약으로 인하여 가공할 수 있는 작업은 제한되어 있다. 또 공구장착대에 여유가 있다면 같은 종류의 공구를 여러 가공기계가 보유함으로써 대체경로를 마련하기 쉬어지며 batch splitting이 가능해진다.

⑦ 주 가공기계에서의 가공시간 부포는 일정한 범위내에 있을 수 없다. 그러나 문헌에 따르면 가공시간은 대개 2~45분으로 보고되어 있으며 Shanker et. al의 Simulation연구에서는 가공시간은  $U(6,30)$ 의 일양분포를 가정하고 있다[11], Sarin의 연구에서는 두 수준의 가공시간을 가정하여 변화가 적을 때  $U(16,24)$ , 변화가 많을 때  $U(2,38)$ 를 가정하고 있다[10]. 한편 FMS운영이 중 단기생산계획에 의하여 계획적으로 수행될때 하나이상의 가공품이 임시 저장소에 대기중에 있다고 볼 수 있으므로 운반시간 및 장탈착시간은 가공시간에 비하여 상대적으로 짧다고 가정할 수 있다. 따라서, 특별한 경우를 제외하고는 운반·장탈착시간은 무시하거나 또는 가공시간에 포함하여 계산할 수 있다.

⑧ FMS에서 가공부품 단위원가에 시설의 상각비, 반송장치의 운반비용등 고정비 성격의 비용을 배부하여 계산하는것은 적절치 못하며 대체설비간의 경제성 평가에 있어서는 직접원가 계산의 개념을 도입하여 오직 직접(변동)비만을 계산하여야 한다. 그러므로 기계가공비에는 상각비등을 포함시키지 말아야 하며 전력비,절삭유등 소모품비만이 포함되어야 한다. 현재 약 65%를 차지하는 공구비가 중요 직접비항목이 되며 이는 점차 감소할 것으로 예상되고 있다. 고정비는 기간원가로 취급되어야 함으로 시스템의 가동율을 향상시켜 간접적으로 전부 원가의 절감을 꾀하여야 한다. 즉 FMS의 채산성을 향상시키기 위해서는 가동율 향상과 변동비(기계가공비)의 절감이 목표가 되어야 한다.

⑨ 전통적 생산관리시스템의 중.단기 생산계획에는 공정계획 routing → 부하계획 loading → 일정계획 scheduling등이 있으며 계획의 계층성이 존재하였다. 그러나 이러한 계층성은 FMS에서는 전통적 생산시스템과 비교하여 애매해진다. 왜냐하면 공정유연성(route flexibility)이 강화되어 가공부품군이 경유할 수 있는 대체적 공정계열이 극대화되고 이에 따라 각 기계별 부하가 변화하기 때문에 공정계획과 부하계획간의 상호작용이 복잡해지며 현실적으로 기계고장과 같은 내생적 변수와 더불어 가공품의 도착,납기, 시스템성과의 변화등 외생적 변수로 인하여 일정계획이 부하계획의 변경을 요구하게되는등 이들 세가지 계획사이에는 강한 상관성 (interdependability)이 발생하게 된다. 따라서 이 삼자를 통합한 통합생산계획이 주장되기도 하나 아래와 같은 이유로 적어도 부하계획과 작업분배(sequencing / dispatching)는 분리되어 계획되는 것이 바람직하며 Wilhelm과 Shin은 이러한 계층성(full use of hierarchical control)이 시스템성과에 좋은 결과를 초래한다고 지적하고 있다[14].

⑩부하계획의 기간단위는 월.주.일일단위가 될 수 있으며 그 길이는 현장관리자가 책임지는 담당부서의 능률이나 원가책임의 계산단위와 일치하고 일상적 통제가 가능한 기간이 바람직하다[1]. 그러나 FMS와 같이 탄력적이고 고도로 통합된 시스템에서는 구성요소중 어느 하나에 발생한 장애도 전체시스템운영에 즉각 반영됨으로 작업분배는 on - line scheduling(또는 real - time scheduling)으로 별도로 다루어져야 현실성이 있으며 또 최적화기법도 상이하다. 또 선행연구의 결과에서 보듯이 시스템의 변수에 따라 우선순위 규칙이 목적인 시스템성과를 향상 성취하지 않으므로 별도의 통제방법이 적절하게 채택되도록 계획주체와 그 계층이 분리되어야 한다.

### 3. 선행연구의 고찰

시장조사에 따르는 장기생산계획에 의하여 가공부품군(family, group)이 선택되었고 이를

제조하기 위한 최적의 FMS요소가 구성되고 도입되면 다음 문제는 이렇게 시설(既設)된 FMS를 가장 효율적으로 운영하기 위한 운영계획과 통제문제가 대두된다. 본 논문도 이를 대상으로 하고 있다. 운영계획의 내용에 대하여는 여러 연구자가 표현만 다를뿐 대동소이한 주장을 하고 있다. 예를 들면 C.J.Lin과 H.P.Wang[6]은 2단계의 계획을 제시하고 있는데 먼저 공정계획(routing planning)은 차기생산계획기간의 시스템능력안에서 가공품그룹의 가공공정의 선택, 공구선택등을 수행하며 다음에 일정계획(operation planning 또는 scheduling)은 공정계획에 따라 경유하여야 할 구체적 설비계열과 투입순서결정 그리고 이에따라 직접 현장에 작업수행을 지시하는 것이다.

공정계획의 평가기준은(performance 또는 strategy)은 Stecke model[12]의 예에서 보이는 바와같이 ①기계부하시간 균형화 ②부품이동의 최소화 ③ tool slot 절감 등을 비롯하여 공정계획문제의 해법을 위하여 대리목적함수(surrogate objective function)의 도입이나 비선형모델의 선형화를 위시하여, Chakravarty & Shtub model에에서는 ①가공시간의 최소화 ②제한된 공구의 효율적설비에의 배정등이 있으며, Co model에서는 기계설비의 전유연성의 최대화를 들고 있다. 이와 같이 평가기준은 경영목적에 따라서 수 없이 많아질 수 있으나 기준이 많아질수록 상호모순이 커지리라는 것은 자명한 일이다.

한편 일정계획을 독립적으로 생각할 때 그 평가기준은 종전부터 연구되온 ①FIFO ②SPT ③LPT ④LTT등을 위시하여 Stecke는 최고16가지의 dispatching rule를 적용한 예를 보이고 있다.

이와 같이 시설된 FMS(제약조건)에서 평가기준을 만족시키도록 합리적인 공정계획을 세우는 방법으로는 ①비선형 혼합 정수계획법[8][9][10][13][15] ②선형 혼합 정수계획법이 먼저 제안되었으나 변수와 제약식의 증가에 따라 컴퓨터 CPU 시간이 급속히 증가하는 문제점이 생긴다. 따라서 Stecke는 비선형을 지루한 절차를 거쳐 선형화되는 방법이나 Lagrangean relaxation등 간소화법을 소개하였다. 그럼에도 불구하고 수리계획법의 장점은 해법의 범용성이 있다는 점이며 한편 발전된 software package의 출현이 이 약점해소에 큰 도움을 주게될 것이다.

수리계획법의 계산시간이 길어지는 단점을 피하기 위하여 발견적기법(heuristic algorithm)[5]이 제안되고 있는바 휴리스틱스를 통한 해법은 수리계획법에 비하여 CPU 시간이 1/4밖에 소요되지 않는다고 말하고 있으며 특히 수리계획법과 발견적기법을 단계적으로 결합하여 계산의 간소화를 꾀하는 연구도 발표되고 있으나 발견적기법은 목적하는 시스템성과 조건에 따라 개별알고리즘이 개발되어야 함으로 범용성이 부족하다는 단점을 안고 있다.

다른 한편으로는 일정조건을 갖춘 가상 FMS모델에 대하여 상이한 부하방법과 일정계획을 적용할 때 이들 decision variable의 조합이 시스템성과(total cost, makespan, utilization등)에 주는 영향을 분석하는 simulation연구가 시행되었다. Stecke & Solberg[12]은 dedicated type FMS 모델에 대하여 5가지 부하기준과 16가지 일정계획(우선순위)규칙을 각기 적용할때 시스템성과에 주는 이들 변수의 영향이 시스템 특유의 조건에 따라서 변화됨을 보였다. Random type FMS 모델에 대하여서도 Chen & Chung[1]은 가상 random type FMS모델에 대하여 3개의 부하방법과 2개의 일정계획 규칙을 적용할 때 시스템특성 즉, 보유공구수(3가지)와 가공시간(2가지)이 조합하여 총제조시간과 가동율에 미치는 영향을 시뮬레이션하여 720개의 Case에 대한 결과를 통계처리하여 조합에 따른 유의차를 확인하고 대체적 경로의 존재는 공정대기를 줄이고 가동율을 높일 수 있으나 시스템특성도 성과에 영향을 줌을 보였다.

Gupta[2]등은 여러가지(7가지)시스템의 목적(dependent variable)이 납기의 긴급성(2수준)과 부품도착간격(2수준)의 작업조건과 어울려 주는 영향을 가상 FMS모델에서 시뮬레이션하였다. 이 연구의 특징은 이전의 연구와 같이 두변수간의 회귀분석이 아니라 다변량분석을 통하여 변수간의 복잡한 상호작용을 분석하려 한 점이다. 분석의 결과는 각 부하방법이나 우선순위 규칙

이 시스템성과에 분명히 상이한 영향을 주며 각 독립변수사이의 상호작용이 시스템성과의 개선에 영향을 줄을 보이고 있다.

Lee & Jung[4]은 부하계획에 목표계획을 적용하면서 그 장점으로 복수의 갈등적인 시스템 성과를 수용할 수 있고 시뮬레이션을 비롯한 기타 수리적 모델의 해법과 대비하여 컴퓨터 처리시간을 절약할 수 있어 모델의 변수변화의 결과를 짧은 시간내 검증할 수 있다는 장점을 들고 부품별 요구생산량과 기계부하의 균형화 및 생산기간의 최단화를 시스템 성과(목표)로 하고 공정계열, 기계능력, 고정구 능력을 시스템제약으로 하는 GP모델과 그해법을 보였다. 연구자는 계획기간중 각 부품을 해당기계에 균일하게 배정하여 시스템 혼잡을 피할 수 있어 대기시간이 시스템 성과에 주는 영향을 고려하지 않았는데 이러한 FMS의 역동적인 정보는 GP모델의 결과를 입력으로 하여 시뮬레이션, 행렬회로 모델에서 얻을 수 있다고 하였다.

#### 4. 모델

FMS의 부하문제를 GP모델로 모형화하면 다음과 같다.

##### 4-1 기본가정

- (1) 각부품  $i$ 는 한개이상의 작업  $j$ 를 거쳐 완성된다.
- (2) 시스템에는 각작업  $j$ 를 가공할 수 있는 기계  $k$  및 공구가 하나이상 존재한다.
- (3) 각 기계는 한번에 한 작업만을 가공한다.
- (4) 운반시간은 고려하지 않는다. 이는 중,단기계획이 잘 짜여진 FMS에서는 원활한 생산을 위하여 하나 이상의 가공품이 항상 대기상태에 있기 때문이다.
- (5) 공구의 장탈착시간은 상대적으로 짧고 가공시간에 포함되어 있다.
- (6) 각 기계의 작업가능공정과 그 표준시간은 주어져 있다. 이에 따라 가공변동비의 중요요 소인 공구의 수명은 예지할 수 있고 미리 준비할 수 있어 교체시간은 근소하다.
- (7) 공구나 기계의 고장은 고려하지 않는다.

##### 4-2 결정변수

부하계획의 기본 목표는 가공부품의 요구생산량을 대체적 경로를 고려하면서 목표제약조건을 만족시키는 적절한 기계에 부하시키는데 있다. 그러므로 결정변수  $X_{ijk}$ 는 가공품  $i$ 의 요구작업  $j$ 를 기계  $k$ 에 배정하는 것이다.

##### 4-3 차이변수

차이변수  $d_2^-, d_2^+$ 는 목표에 대한 부족 및 초과수행을 각각 나타낸다. 목적함수는 이들 차이변수에 대하여 우선순위 또는 가중치의 결합으로 나타낸다.

##### 4-4 시스템 제약조건

- (1) 공구 제약

생산량이 주어진 부품 i의 소요작업 j를 기계k에서 수행하는데 필요한 시간은 해당공구의 종류와 수명을 고려한 사용시간보다 클 수 없다.

$$\sum_i^m \sum_k^l t_{ijk} \cdot x_{ijk} + d_2^- - d_2^+ = NT_j \cdot FTT_j$$

j=1, 2, 3, 4, . . . , n

h=2m+l+n+1, 2m+l+n+2, . . . , 2m+l+mn

$x_{ijk}$  : 기계k에서 부품 i를 가공하기 위한 공정j의 작업량

$t_{ijk}$  : 기계k에서 부품 i의 공정 j를 수행하기 위한 시간

$NT_j$  : 공정 j의 수행가능 공구 갯수

$FTT_j$  : 공정 j의 수행가능 공구 활용시간

(2) 기계능력의 제약

생산량이 주어진 부품 i의 소요작업 j를 기계 k에서 수행하는데 필요한 공수는 중,단기 계획중 가동할 수 있는 기계능력보다 클 수 없다.

$$\sum_i^m \sum_k^l t_{ijk} \cdot x_{ijk} + d_2^- - d_2^+ = MT_k$$

k : 1, 2, 3, . . . , l

p = 2m+l+mn+1, 2m+l+mn+2, . . . , 2m+2l+mn

$MT_k$  : 기계 k에서 최대활용가능한 시간

(3) 생산량의 제약

부품 i의 중, 단기 계획중 생산량은 수요보다 클수 없다.

$$\sum_i^m x_{ijk} + d_q^- - d_q^+ = D_i$$

i : 1, 2, 3, . . . , m

j : 1, 2, 3, . . . , n

q=2m+l+1, 2m+l+2, . . . , 2m+2l+mn

$D_i$ =부품 i의 수요량

4-5 목표제약조건

목표제약조건(시스템 성과)은 다음과 같이 두가지로 설정되었다.

(1) 운영되는 FMS가 경제적 수익성을 높이기 위하여 기계가공비가 최소가 되어야 한다.

$$\sum_i^m \sum_k^l (C_{ijk} - MC_{ij}) x_{ijk} + d_c^- - d_c^+ = 0$$

i = 1, 2, 3, . . . , m

$C_{ijk}$  : 기계 k에서 부품 i의 공정 j를 수행하기 위한 비용

$MC_{ij}$  : 부품 i의 공정 j를 수행하기 위한 최소 비용

(2) FMS의 초기비용(투자비)의 회수를 촉진하기 위하여 대리함수로서 시스템 가동율의 극대화가 추구되어야 한다.

$$\frac{\sum_i^m \sum_j^n t_{ijk} \cdot x_{ijk}}{MT_k} + d_v^- - d_v^+ = 0$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, l$$

$$v = 2m+1, 2m+2, \dots, 2m+l$$

본연구에서는 전술한 바와 같이 FMS도입 이전의 평가에도 도움이 되도록 가공비와 가동율의 두목적을 고려하여 대체적 경로선정과 batch splitting을 가능케 하였고 또한 보다 현장문제에 쉽게 접근할 수 있도록 수식모형단순화에 중점을 두었다.

## 5. 시뮬레이션 실험

여기서는 위에서 결정된 작업할당/경로선정에 대해서 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 4가지의 가공품 우선순위규칙(SPT, LPT, LTT, RAN)을 적용하여 각 기계들의 가동율을 분석하고자 한다.

### 5-1 실험방법

시뮬레이션 수행을 위해 사용한 데이터는 다음과 같은 방법 및 모수를 사용하여 임의로 발생시켰다.

(1) 제조계획기간(정상가동시간 90MH)에 생산할 부품은 5가지이며 생산량은 부품에 따라 80~150개로 분포되어있다. 각 부품은 1~3개의 가공공정을 소요한다.

(2) FMS를 구성하는 가공기계는 4대이며 각 기계는 4개까지의 특정한 가공공정을 상호대체적으로 수행할 수 있다.

(3) 각 가공공정에 소요되는 시간은 같은 공정일지라도 사용기계에 따라 상이하며 0.1~0.5MH로 분포되어 있다.

(4) 각 공정에 소요되는 공정은 3~4개이며 공구수명은 일률적으로 150MH로 가정하였다.

(5) 각 공정을 특정기계에서 가공하는데 소요되는 직접비는 기계에 따라 상이하게 계산되어 있다.

(6) 목표함수(성과기준)는 기계가동율 극대화 및 가공직접비 합계의 극소화에 있으며 어느것에 보다 비중을 두느냐에 따라 두개의 목표구조( I 기계가동율우선, II 가공직접비우선)를 설정하였다.

위와 같은 제약조건하에서 각 목표구조에 따른 최적 부하계획을 계산한 결과 기계가동율을 우선 고려한 목적I이 가공비를 우선고려한 목적II보다 가동율과 가공비측면에서 각각 3.2%, 17.5%씩 증가하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 SIMAN IV를 사용하여 80486 PC에서 10,000분 동안 시행하였으며 결과 일정계획을 세울때 각 분배법칙에 따르는 기계별 가동율의 변화를 보면 표 1과 같다.



표 1. 목표 I, II의 실험결과 (가동율)

목표 I

기계		우선순위규칙				평균
		1	2	3	4	
SPT LPT LTT RAN		0.6272	0.7452	0.5603	0.7120	0.6612
		0.6282	0.7396	0.5739	0.6979	0.6599
		0.6267	0.7370	0.5661	0.7048	0.6587
		0.6232	0.7375	0.5668	0.6967	0.6561
총평균					0.6590	

목표 II

기계		우선순위규칙				평균
		1	2	3	4	
SPT LPT LTT RAN		0.4610	0.6882	0.6731	0.7767	0.6498
		0.4640	0.6804	0.5815	0.7690	0.6237
		0.4675	0.6807	0.5816	0.7646	0.6236
		0.4694	0.6978	0.5719	0.6967	0.6561
총평균					0.6590	

6. 결 론

범세계적으로 공장자동화는 급속하게 확장되어 나갈 것이 예상되며 그 구체적인 한 예가 FMS운영이라고 볼 수 있다. 한국에서의 FMS도입이 부진한 것은 기술적으로 국내에서의 설계,제작이 어려운 점과 아울러 높은 초기 투자 비용을 들 수 있다. 그러므로 FMS의 구성안(Configuration)수립과 병행하여 그 운영계획(Operation strategy)을 사전검토하는 것은 중요하다. 본연구에서는 상충되기 쉬운 다수목표(예컨대, 설비가동율향상과 가공비절감)를 상이한 우선순위를 가지고 의사결정할 수 있는 이점을 취하여 GP모델에 의한 FMS부하계획수립을 시도하고 현실적인 FMS모델을 가상하여 적용하고 그 결과를 보였다. 다수 목표의 비중(우선순위)은 경영의 환경변수에 따라 상이하게 고려되어야 할 것이며 이에 대한 경영차원에서의 통합적 어프로치와 분석방법연구가 요망된다. 이어서 수립된 부하계획에 따라 시스템에 작업을 분배할 때 채용되는 네가지 우선순위규칙(Seguencing rule)이 기계가동율에 어떤 결과를 주는가를 실험하여 목표에서 기계가동율 향상이 우선되고 SPT규칙이 적용될 때 좋은 결과를 얻었으나 그 차이는 크지 않음을 보였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Chen, I.J. & C.H.Chung., "Effect of loading and routing decision on performance of flexible manufacturing system", *Int.J.Prod.Res.*, 29(11), 2209-2225, 1991
- [2] Gupta, M.C., et al., "Operations planning and scheduling problems in advanced manufacturing systems", *Int.J.Prod.Res.*, 31(4), 869-900, 1993.
- [3] Kusiak, A., "Flexible manufacturing systems : a structural approach", *Int.J.Prod.Res.*, 23, 1057-1073, 1985.
- [4] Lee, S.M. & H.J.Jung., "A multi-objective production planning model in a flexible manufacturing environment", *Int.J.Prod.Res.*, 27(11), 1981-1992, 1989
- [5] Mukhopadhyay, S.K & et al., "A heuristic procedure for loading problems in FMS ", *Int.J.Prod.Res.*, 30(9), 2213-2228, 1992.
- [6] Lin, Cheng-Jung & Hsu-Pin Wang., "Optimal operation planning and sequencing : minimization of tool changeovers", *Int.J.Prod.Res.*, 31(2), 311-324, 1993.
- [7] Ranta, Jukka & I.Tchuov., "Economics and Success Factors of Flexible Manufacturing Systems : The Conventional Explanation Revisited", *Int.J.Flexible Manu.Sys.*, 169-190, 1990.
- [8] Ro, I.K & J.I.Kim., "Multi-Criteria Operational control rules in FMS", *Int.J.Prod.Res.*, 28(1), 47-63, 1990.
- [9] Ro, I.K. & D.Y.Jung., "Concurrent methodology for part selection, loading and routing mix in FMS", *J. of The Korean Institute of IE*, 20(2), 19-30, 1994.
- [10] Sarin, S.C. & C.S.Chen., " The machine loading and tool allocation problem in a flexible manufacturing system", *Int.J.Prod.Res.*, 25(7), 1081-1094, 1987.
- [11] Shanker, K. & Y.J.Tzen., "A loading and dispatching problem in a random flexible manufacturing system", *Int.J.Prod.Res.*, 23(3), 579-595, 1985.
- [12] Steck, K. & J.J.Soberg., "Loading and control policies for a flexible manufacturing system", *Int.J.Prod.Res.*, 19(5), 481-490, 1981.
- [13] Steck, K., "Formulation and solution of non-linear integer production planning problems for flexible manufacturing systems", *Management Science*, 29(3), 273-289, 1983.
- [14] Wilhelm, W.E. & H.M.Shin., "Effectiveness of alternate operations in a flexible manufacturing system", *Int.J.Prod.Res.*, 23(1), 65-79, 1985.
- [15] 노인규, 한준호., " 자동생산시스템에서 대체경로를 고려한 작업량배정방법에 관한 연구", *한양대 산업기술연구소 논문집*, Vol.37, 169-178, 1993.