

# 自動生産시스템(柔軟生産시스템)에 관한 研究 概觀 A Study on the Survey of Flexible Manufacturing Systems

崔 政 祥\*

## ABSTRACT

In this paper, several problems which are considered to design and operate FMS are discussed. To improve performance of system, these problems should be solved efficiently. For this reason, a great deal of researches have been undergone in this field. Based on this situation, the relevant FMS literature is discussed.

### I. 序 論

현대는 과학기술의 혁신으로 모든 분야에 걸쳐 급속한 변화를 일으키고 있으며, 특히 정보화 사회로의 변화를 촉진시키고 있다. 컴퓨터의 등장 이후 가속화된 첨단기술의 혁신은 모든 산업 부문에 걸쳐 종래의 고유기술과 결합되어 사무자동화와 공장자동화의 형태로 전개되어 왔다.

이러한 과학기술의 발달은 최근 국내기업의 환경변화—국제보호무역주의 장벽, 미국의 국내시장 개방압력 및 원화실상 등의 국외적인 변

화와 정치적 변화로 인한 민주화 요구, 노동조합의 개선 압력 등의 국내적인 변화로 인해 기존 생산시스템으로는 원가상승과 다양한 수요에 대처해 나갈 수 없는 상황에 놓여있다. 이런 이유로 해서 국내기업들의 공장자동화에 대한 관심이 고조되고 있다.

공장자동화의 경우, 개별작업의 도구들과 연 기공학이 결합된 개별 자동화를 진행해 오고 있으며, 현재 이들을 하나로 통합하는 통합 자동화가 진행되고 있다. FMS(Flexible Manufacturing Systems)로 불리우는 이 통합 시스템은 각종 자동화 가공설비들을 부품자동은

\* 한양대학교 산업공학과

반시스템(AGVS : Automatic Guided Vichle System)으로 연결하여 컴퓨터의 제어하에 생산 계획 및 운영통제를 하는 통합시스템으로서 제조산업, 특히 기계가공분야의 다품종중소량생산체제에서 생산에 영향을 미치는 여러가지 사회적, 경제적, 국제적인 환경변화에 유연성있게 대처할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있는 자동생산체제(유연생산체제)의 연구분야를 논의해 봄으로써 체계적인 연구의 기초를 마련하고자 한다.

## 2. 설비계획문제 (design problem)

FMS에서는 다음과 같은 설비 계획 문제를 고려해야 한다.

- 1) 가공 가능한 대상 부품의 선정
- 2) 가공 기계 설비 유형의 선정
- 3) 고정구 (fixture) 및 운반구 (pallet)의 수와 유형
- 4) 재공품재고(WIP)를 저장하는 방법
- 5) 운반장치의 선정

이상의 요소들이 서로 밀접하게 상호작용하는 가운데 시스템이 운영통제 되기 때문에 최적 설비 계획은 시스템적 접근 방식을 이용하는 것이 바람직하다.

### 2.1 가공 가능한 대상 부품의 선정

가공 기계 설비를 계획하는 단계에서 기초가 되는 결정들 가운데 하나가 FMS의 가공대상부품을 선정하는 일이다.

Whitney와 Suri[1985]는 컴퓨터를 이용하여 가공대상부품을 선정하는 알고리즘을 제시하고 있다.

Kalkunte, Sarin 및 Wilhelm[1985]은 가공대상부품을 기계 설비계획단계에서 다양하게 선정하고, 가공작업순서는 가공작업경로배정시 정하도록 유연성을 부여하는 것이 바람직함을 보였다.

Buzactt와 Shantikumar[1980]는 가공대상부품의 선정 기준으로 가공대상부품의 수용능력을 제시하고 있으며, 가공대상부품의 수용능력은 작업경로와는 상관이없고, 각각의 가공기계를 거치는 횟수의 평균값에 달려있음을 밝히고 있다. 이런 경우에는 가공 기계별 작업량의 균형을 맞추기 위해 유연성을 갖춘 가공 기계 설비를 이용하거나, 다양한 종류의 가공 작업들을 시스템에 도입하는 것이 필요하다.

### 2.2 가공 기계 설비 유형의 선정

Whitney와 Suri[1985]는 가공대상부품과 가공기계설비를 함께 선정하는 것이 중요함을 보이고, 이에 따른 알고리즘을 제시하고 있다.

Browne와 Rathmill[1983]은 FMS의 종류를 simple DNC, DNC line, FMC(Flexible Manufacturing cell), FMS proper의 4가지로 나누고 각각의 시스템에 필요한 가공기계설비의 예를 제시하고 있다.

### 2.3 고정구(fixture)및 운반구(pallet)의 수와 유형

Hartley[1984]에 의하면 고정구의 수는 운반구의 수에 선택된 가공대상부품군의 수를 곱한 정도로 결정한다. 고정구의 수가 너무 많으면 불필요한 비용과 저장장소(storage)가 필요하게 되고, 너무 적으면 부품대기시간이 길어진다.

Nof, Barash 및 Solberg[1979]는 일반적으로 운반구의 수는 시스템내에 있을 총 부품의 수로 정해야 한다고 했으며 운반구가 너무많게 되면 시스템 폭주(system congestion)의 원인이 되고, 불필요한 비용이 들게 되며, 또 너무 적으면 시스템의 under-utilization의 원인이 된다고 밝혔다.

### 2.4 재공품재고(WIP)를 저장하는 방법

Kalkunte, Sarin 및 Wilhelm[1986]에 의하

면 가장 좋은 방법은 중앙 임시저장소(central buffer storage)를 두고, 각 작업장에 가공대상 부품을 하나 혹은 둘 정도 보관하는 개별 임시 저장소(local buffer storage)를 함께 설치하는 것이다. 이러한 구조는 기계유휴시간을 줄이면서 가공·저장 설비사용 효율을 계속적으로 유지해 줄 수 있다.

Buzacott와 Shantikumar[1980]는 개별 임시 저장소만 두는 경우, 중앙 임시저장소만 두는 경우, 두 임시저장소를 함께 두는 경우등의 3가지 경우에 관한 모형을 개발했고, 기계가 2대인 경우에는 중앙임시저장소가 개별 임시저장소보다 좋은 결과를 보인다고 밝히고 있다.

### 2.5 운반장치의 선정

Groover[1987]는 시간당 시스템에 요구되는 운반횟수와 시간당 각 AGV에 요구되는 운반횟수로 시스템에서 필요로 하는 AGV의 댓수를 결정하는 절차를 보였다.

Shelton과 Jones[1987]는 각 AGV의 특성과 가중치를 고려하여 AGV를 선택하는 알고리즘을 제시하였다.

Tanchoco, Egbelu와 Tagabonic[1987]은 AGVsim이라는 AGV system에 대한 simulator를 개발하여 이를 사용하여 AGV의 댓수를 변화시켜가며 모의실험을 함으로써 주어진 생산을 하는데 필요로 하는 AGV의 댓수를 구하였다.

## 3. 운영문제 (operational problem)

FMS에 있어서의 운영 문제에는 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) Batching 문제
- 2) 기계 grouping 문제
- 3) 가공기계별 작업량 배정 문제
- 4) 작업 일정 계획

FMS의 높은 투자비용으로 인하여, 투자에 대한 빠른 회수를 위하여서는 설비의 이용률이

높아야 하고, 설비의 이용률을 높이기 위해서는 운영문제들을 효과적으로 해결 하여야 한다.

### 3.1 Batching 문제

Batching 문제는 가공대상부품(part)과 납기 일이나 운반구, 고정구와 같은 것들이 관련된 문제이다.

Batching 문제에는 가공대상부품군 선정 문제(part type selection problem)와 가공대상부품 혼합비율 문제(part mix ratioproblem)가 포함된다.

1) 가공대상부품군 선정 문제(part type selection problem)

FMS에서는 batch단위로 가공대상부품이 들어오는데 설계문제(design problem)에서 선정된 가공대상부품중에서 batch단위로 가공할 가공대상부품군을 선정하는 문제이다.

Hwang[1986]은 공구저장함(tool magazine)의 수용능력(capacity)등의 제약(constraint)을 고려한 수학적 모형을 세우고, 이에 제약 지향 방법(constraint-directed method)을 적용하여, 가공대상 부품군을 선정하였다.

Whitney와 Gaul[1984]은 공구교환의 빈도가 최소가 되도록 가공대상부품군을 같은 공구로 가공되는 부품들로 구성하였다.

Chakravarty와 Shtub[1984]은 group technology를 이용하여 유사한 공정을 가지는 가공대상부품의 family를 구성하였다. 이렇게 함으로써 가공부품군과 가공공구(cutting tool)를 함께 그룹화하여 생산효율(production efficiency)을 향상시켰다.

Nof와 Barash 그리고 Solberg[1979]는 가공대상부품군을 나누는 것이 효율적이나, 너무 많은 수로 나누면 공구의 요구량증가와 운송시스템 또는 시스템의 운영이 어려워짐을 보였다.

2) 가공대상부품 혼합비율 문제(part mix ratio problem)

이 문제는 시스템에서 동시에 생산될 가공대상부품의 상대적인 생산비율을 결정하는 문제이다.

Schriber와 Stecke[1986]은 가공대상부품의 혼합비율을 각 부품의 생산요구량의 비율로 정하고, 이를 GPSS/H라는 모의실험(simulation) 기법을 사용하여 모의실험하고 분석한 결과 기계이용률(machine utilization)과 생산률(production rate)이 증가함을 보였다.

Nof와 Barash 그리고 Solberg[1979]는 가공대상부품 혼합비율은 작업량(workload)의 균형을 유지하고, 생산률(production rate)이 최대가 되도록 결정되어야함을 보였다.

### 3.2 기계 grouping 문제

어떤 특정한 그룹안에 있는 각 기계들이 동일한 작업을 수행할 수 있도록 기계능력(machine capacity)을 고려하여 각 그룹안에 기계를 할당하는 문제이다.

가능한 한 같은 그룹안에 있는 가공기계들은 같은 기능을 수행하도록 기계를 할당하며, 이것을 pooling이라 한다. 즉, 다음 작업이 이렇게 pooled된 가공기계들중의 한대로 가공하는 가공대상부품은 그룹안의 기계들 중, 단 한대의 기계만 idle하면 가공이 가능하다는 것을 의미한다.

기계들을 그룹으로 pooling하는 이유는 가공대상부품들에 대하여 대체경로(alternative rout)를 제공하여, 기계의 blocking이 발생할 확률을 감소시키거나 기계고장시에 대처를 용이하게 함으로써, 시스템의 평가기준(performance measure)을 높일 수 있기 때문이다.

Stecke[1986]은 작업에 필요한 기계의 수를 결정후 heuristic을 사용하여 기계를 grouping했다.

Kumar, Kusiak 과 Vannel[1986]은 기계 grouping 문제를 간단한 선형 수송 문제(linear transportation problem)로 모형화 하고, 분해(decomposition) 방법을 이용하여 풀고 해를

구했다.

Stecke[1986]은 기계의 grouping에 대한 비선형 정식(nonlinear formulation)을 개발하였다.

### 3.3 가공기계별 작업량 배정 문제(loading problem)

FMS에 있어서의 가공기계별 작업량 배정 문제는 가공작업 및 작업에 필요한 공구를 기술적, 용량적 제한을 고려하여, 적당한 목적에 따라 할당하는 문제이다.

Sarin과 Chen[1987]은 FMS의 가공기계별 작업량 배정 문제를 전체 가공비용으로 최소화하는 목적식으로 정의하고 공구수명, 공구수용능력, 기계가동률등을 변화시켜가며 시뮬레이션하여 결과를 산출하였다.

Stecke과 Talbot[1985]는 5가지 서로 다른 목적들에 대한 몇 가지 알고리즘을 발견적기법(heuristic)을 이용하여 개발하였다.

Kusiak[1985]은 현실적인 가정에 바탕을 둔 간단한 정수계획 모형을 제시했다. 또한 여기서 제시한 모형이 정태적인 상황을 위한 것이기는 하나, 동태적인 상황에도 적용이 가능하다고 밝히고 있다.

Stecke[1983]은 가공기계별 작업량 배정 문제를 정식화하는데 관련되는 여러가지 목적들을 정의했다. 이러한 문제의 제약조건들로서는 공구수용능력, 가공작업배정 및 소요공구 지원한계 등을 들 수 있다. 이 연구는 가공기계별 작업량 배정 문제를 비선형 0-1 혼합정수계획으로 정식화하고, 선형화 절차를 적용하여 해를 구했다.

### 3.4 작업 일정 계획(scheduling)

작업 일정 계획의 목적은 적은 시간안에 가공을 마치고, 납기지연을 최소화하는데 있다. 특히 FMS의 작업 일정 계획은 높은 설비비용으로 인하여 기계의 가동율(machine utilization)

을 강조한다.

FMS의 작업 일정 계획문제에는 다음과 같은 것들이 있다.

1) 작업경로 배정문제(part routing problem)

작업 경로 배정문제는 가능한 대체공정(alternative operation)을 계획하는 것이다. 대체공정을 계획함으로써 가공기계별 작업량 부하의 균형을 잡아주고, 예기치 않은 기계고장이라든가, 특정기계에 대한 일시적 과부하 현상에 즉각적으로 대응할 수 있다.

Shaw[1988]는 인공지능(Artificial Intelligence)을 이용한 작업일정계획을 개발하였다. 이 연구에서는 작업경로를 작업자가 발견적기법을 이용하여 dynamic하게 선택하도록 하였다.

Maimon과 Choong[1986]은 재돌입 FMS(Reentrant FMS)에 있어서, 실시간(real-time)으로 부하균형을 달성하고, 시스템의 평가기준(system performance)을 증가시킬 수 있는 dynamic한 작업경로배정 방법을 개발하였다.

Wilhelm과 Shin[1985]은 대체공정의 종류를 3가지로 나누고, 대체공정이 없는 경우와 비교하여 대체공정이 있는 경우가 없는 경우보다 우수한 결과를 보임을 시뮬레이션하여 밝히고 있다.

2) 작업 배분에 관한 문제(dispatching problem)

작업 배분에 관한 문제는 FMS에서 가공할 여러 가공대상부품 중에서 어떤 가공대상부품을 먼저 기계에 할당할 것인가를 결정하는 문제이다.

가공대상부품 할당의 우선순위(priority)를 결정하는 규칙은 시스템의 평가기준이 무엇인가에 따라 다른 결과를 나타낼 수 있다.

Hintz와 Zimmermann[1989]은 지식기반 시스템(Knowledge system)을 이용하여, 가공대상부품의 할당에 관계되는 여러가지 기준

(criteria)을 동시에 고려한 할당규칙을 제안하고, 이를 모의실험(simulation)하였다.

Slomp, Gaalman 및 Nawijn[1988]은 작업장, 운반장치 및 작업자에 대한 세가지 quasi on-line 작업 일정 계획을 세우는 절차를 제시하고, SPT 등 여러 할당 규칙을 적용하여 모의실험(simulation)하였다.

Stecke과 solberg[1981]는 할당규칙(dispatching rule)을 여러가지로 분류하고, 기계별 작업량 배정 목적을 변화시켜 가며, 미국 Caterpillar사의 FMS에 적용하여 모의실험(simulation)한 후, SPT/TOT 규칙이 일반적으로 우수한 결과를 나타냄을 보였다.

#### 4. 결 론

이상에서 FMS의 주요 관심사인 설비계획 문제와 운영 문제에 관한 기존의 연구들을 고찰하여 보았다. 설비계획 문제는 얼마나 효과적인 FMS를 도입할 것인가에 관한 문제이고, 운영 문제는 일단 설계된 FMS를 얼마나 효율적으로 운영하여, throughput, 기계이용률(machine utilization) 등의 시스템의 평가기준(system performance)을 높일 것인가에 관한 문제인 것이다. 따라서 설비계획 문제와 운영 문제는 따로 독립된 문제가 아니고, 상호 의존적인 측면이 강한 문제들인 것이다. 뿐만아니라 설비계획 문제나 운영 문제에 속하는 여러 작은 문제들도 상호 보완적이고, 의존적이다. 이런 상황을 고려해 볼때 문제 해결에 있어서 어느 한 부분만 다루는 지역적인 접근방식 보다는, 시스템적으로 문제를 해결하려는 접근방식이 요구된다고 하겠다.

FMS에 있어서의 기술적인 발전이 많은 새로운 연구 주제를 창출해 낼 것은 의심할 여지없다. 따라서 앞으로도 FMS를 주제로 한 많은 연구가 이루어질 것이다. 그것은 더욱 완벽한 생산 시스템으로서의 FMS가 되는 밑거름이 될 것이다.

## REFERENCES

1. Buzacott and Shantikumar(1980), "Models for understanding FMSs," AIIE Trans., Vol,12, No.4.
2. Chacravarty and Shtub(1984), "Selecting patr and loading FMSs," Proc. Ist ORSA/TIMS Conf. on FMS, Ann Arbor, MI.
3. Egbelu, Tanchoco and Tagabonic(1987), "Determination of the total number vehicle in an AGV-based material transport system," Material Flow, 4.
4. M. P. Groover(1987), Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing, Prentice-Hall.
5. J. Hartly(1984), FMS At Work, North-Holland.
6. Hintz and Zimmermann(1989), "A method to control FMSs," E, J, OR, Vol, 41.
7. Hwang(1986), "A constraint-directed method to solve the part selection problem in FMS planning stage," Proc. 2nd ORSA/TIMS Conf. on FMS.
8. Kalkunte, Sarin and Wilhelm(1986), "FMSs : a review of modeling approaches for design, justification and operation," Flexible Manufacturing Systems : Method and Studies, Kusiak (editor), North-Holland.
9. Kumar, Kusiak and Vannelli(1986), "Grouping of parts and components in FMSs," E, J, of OR, Vol, 24.
10. Kusiak(1985), "The part families problem in FMSs," Annals of OR.
11. Kusiak(1986), "A loading models in FMSs," Flexible Manufacturing, A. Rouf and S, I, Ahmad(editors), Elsevier.
12. Maimon and Choong(1986), "Dynamic routing in reentrant FMS," Proc. 2nd ORSA/TIMS Conf. on FMS.
13. Nor, Barsh and Solbeg(1979), "Operational control of item flow in versatile manufacturing system," IJPR, Vol, 1', No, 5.
14. Sarin and Chen(1987), "The machine loading and tool allocation problem in a FMS," IJPR, Vol, 35, No, 7.
15. Schriber and Stecke(1984), "Machine utilizations and production rates achieved by using balanced aggregate FMS production ratios in a simulated setting " Proc. Ist ORSA/TIMS Conf. on FMS, Ann Arbor, MI.
16. Shaw(1988), "Knowledge-based scheduling in FMSs : an integration of pattern-directed inference and heuristic search." IJPR, Vol, 26, No, 5.
17. Shelton and Jones(1987), "A selection method for automated guided vehicle " Material Flow, 4.
18. Slömpe, Gaalman and Nawijn(1988), "Quasi on-line procedures for FMSs " IJPR, Vol, 26, No, 4.
19. Stecke and Solberg(1981), "Loading and control policies for a FMS," IJPR, Vol, 19, No, 5.
20. Stecke and Talbot(1986), "Heuristics for loading FMS," Flexible Manufacturing, A. Rouf and S, I, Ahman(editors).
21. Stecke(1986), "A hierachical approach to solving machine grouping and loading problems of FMSs," E, J, of OR, Vol, 24.
22. Suri and Whiteny(1984), "Decision support requirements in flexible manufacturing," J. of Manufacturing system, Vol, 3, No, 1.

23. Whiteny and Gaul(1984), "*Segeuncial decision procedures for batching and balancing in FMSs*," Proc. 1st ORSA/TIMS Conf. on FMS, Ann Arbor, MI.
24. Wilhelm and Shin(1985), "*Effectiveness of alternate operations in a FMS*," IJPR, Vol,23, No.1.