

기계고장과 Set-up을 고려한 FMS의 동적 통제

엄완섭* · 강석호**

Dynamic Control for FMS That Has Unreliable Machines with Set-up

Wan Sup Um* and Suk Ho Kang**

Abstract

This paper discusses a real time production control system of a FMS (Flexible Manufacturing System). The control is organized in a hierarchical structure according to the various decisions at the different time scales. In the earlier work set-up time was not considered. Because the capacity of the toll magazine is limited, this assumption may not be adequate for selecting times to change configurations so that new part family can be produced. The goal of the control system is to meet production requirements while the machines fail and are repaired at random times. In this thesis the machine failure and set-up are considered simultaneously. Here the hedging point of this system is calculated, and the formulation of the dynamic control for FMS that has unreliable machines with set-up is suggested.

1. 서 론

1.1 연구배경

지난 30 여년간 전통적 배치 (batch) 생산문제와 새로이 개발된 자동생산시스템을 사용하여 전통적 배치생산문제를 개선시키는 문제에 대해서 매우 다양한 연구들이 이루어져 왔다.

많은사람들이 설비의 Setup으로 인한 생산지

연을 줄이는 문제와 팔레트 (Pallets)와 고정구 (Fixture)들을 통한 Job들의 자동송달의 중요성을 인식해 왔다. 그리고 이러한 것들이 Computer의 도움으로 가능하다는 것을 알게 되었고 이러한 연구 결과가 오늘날 유연생산시스템 (Flexible Manufacturing System)이라고 하는 개념의 발전을 가져오게 되었다.

전통적인 대량생산시스템은 자동컨베이어 시스템의 경직성과 생산흐름의 단절을 피하기위

* 강릉대학교 산업공학과

** 서울대학교 산업공학과

하여 많은 양의 부품을 창고에 쌓아두는 부품 재고문제가 큰 문제점으로 부각되었고 다품종 소량생산 시스템은 잦은 설비의 Setup 과 생산 품목의 상이성으로 인하여 기계설비의 효율성이 크게 떨어지는 단점이 있다.

또한 현대 제조업 분야에서 전반적인 추세가 단일상품의 대량생산 추세 보다는 소비자들의 다양한 기호와 욕구에 부응하기 위해서 제품의 다양성이 요구되고 있으며 제품의수명 주기도 짧아져 가고있다. 이러한 변화추세에 적응하기 위해서는 다품종 중 소량 생산체제로의 변화가 필연적이다.

FMS 는 효율적인 다품종 중 소량생산을 목표로 설계된 제조시스템으로서, 반독립적으로 운영되는 자동기계와 자동물자운송장치를 컴퓨터로 통합제어하는 형태를 갖추고 있다고 정의될 수 있다.

FMS는 다품종 소량생산 시스템의 유연성 (Flexibility)과 자동화된 대량생산 시스템의 효율성 (Efficiency)을 동시에 추구하는 생산시스템으로 수치제어공작기계와 기술적인 설비들이 Computer를 이용한 중앙통제장치와 자동물자운송장치로 연결되어 한편으로는 자동가공이 이루어지며, 다른 한편으로는 서로 다른 소재에 대하여 다양한 가공공정이 수행되는 시스템이다.

최근에 사용되는 대부분의 FMS는 중량급속 절삭공정에 주로 사용되고 있지만 다른 형태의 공정, 예를 들면 열처리 공정, 마무리 공정, 검사 공정 그리고 실험 공정 등에서도 똑같이 적용될 수 있다. 이 경우 중요한 문제는 자재흐름의 통제와 일정계획 문제, 재고 관리문제 그리고 팔레트나 고정구 등의 적절한 배정 등이다.

1975년도에 미국의 GNP의 10% 정도가 FMS에 의한 것이며 그것도 단지 절삭공정만 고려한 것이었다. FMS는 많은 사람들이 생산

문제를 다루는 방식에 변화를 주고 있으며 또한 앞으로의 연구를 위한 많은 문제를 제공할 것이다.

1.2 연구목적

자동컨베이어시스템에 의한 대량생산방식이 현대산업에 일대 혁명을 가져 왔듯이, FMS도 현재의 생산방식에 또다른 혁명을 가져올 것이다. 하지만 지금까지는 FMS의 여러가지 장점에도 불구하고 많은 이유로 만족할 만한 성과를 얻지 못하고 있다.

지금까지의 연구들은 자동화 설비를 사용함으로써 인하여 각 부품그룹변동으로 인한 기계의 Set-up 시간이 매우 짧다고 가정하여 무시하였다. 그러나 기계가공시간등에 대하여 이러한 가정은 무리가 있으며 Set-up으로 인한 작업지연등을 고려하는 것이 더 타당하다고 판단되어 Set-up과 기계고장을 동시에 고려하는 통제모형을 고려한다.

지금까지의 계층적인 통제정책에서는 주로 기계고장을 고려한 계층적 통제정책을 고려 하였으나 본 연구에서는 Set-up을 함께 고려한 통제모형을 개발하고자 한다.

본 논문의 구성을 살펴보면 먼저 2장에서는 FMS의 동적통제에 관한 지금까지의 연구 현황에 대하여 알아보고 3장에서는 Kimemia와 Gershwin의 연구이래로 FMS 통제에 가장 적합하다고 하는 계층적 통제모형을 살펴본다. 그리고 4장에서는 지금까지 기계고장만을 고려 하던것에서 Set-up까지 함께 고려한 통제모형을 제시하고 그때의 경제점과 근사비용함수의 계수를 결정하고 수리모형과 그것의 해법개발을 보여주고 마지막으로 5장에서는 결론을 열거하였다.

2. 연구현황

2.1 FMS 의 문제

FMS의 설치 및 운영에 연관된 문제는 [그림 2-1]에 나타나 있다.

FMS 설계 문제에는 생산대상 부품 그룹 결정과 그것들의 범위 결정, 그리고 생산방식 결정, 요구되는 유연성의 종류선정, 자동 공구 교환 장치의 종류, 용량, 갯수 결정, 임시 저장 버퍼의 종류 및 용량 결정, 팔레트 및 고정구 수 결정 및 설계, FMS 운영전략수립, FMS 배치(Layout)결정, FMS 운용 소프트웨어 개발 등이 있다.

FMS 생산계획 문제에는 부품 선정 문제(Part Type Selection Problem), 기계그룹형성 문제(Machine Group Partition Problem), 생산제품비율 결정 문제(Product Mix Problem), 자원할당 문제(Resource Allocation Problem) 그리고 작업할당 문제>Loading Problem) 등이 있다.

FMS 일정계획 문제에는 부품들의 시스템내 투입 순서 결정, 적절한 일정계획모형및 알고리즘의 개발 그리고 자동 운송 장치와 기계에서의 작업 우선 순위 결정 문제등이 있다.

FMS 통제 문제에는 수치제어 공작기계의 고장 및 수리 문제, 수요변동이나 기계고장에

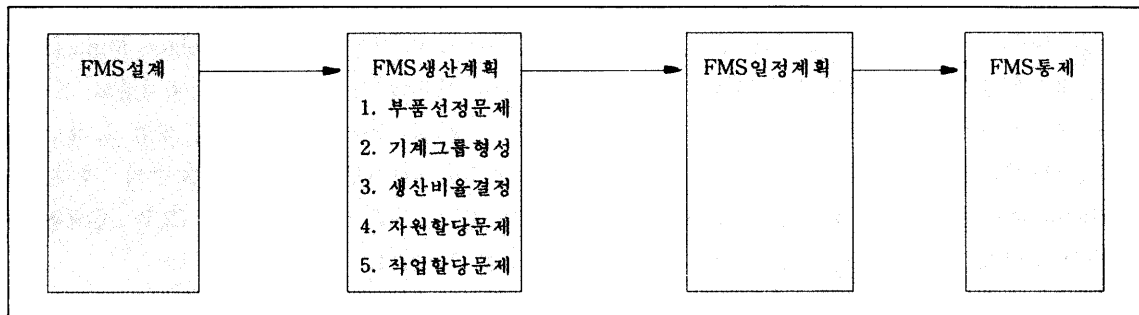
따른 일정계획의 재조정 및 대체 공정 결정, 재공품 및 완제품의 검사 정책 결정, 공구관리 및 공구교환 통제, 정보 수집 및 공정 통제, Feedback 등이 있다.

2.2 FMS 통제문제

FMS 는 대량생산 시스템의 효율성과 다품종 소량생산 시스템의 유연성을 동시에 획득할 수 있다는 잇점을 가지고 있으나 그 반면에 위의 두 시스템에 비하여 생산통제 문제는 훨씬 복잡하다는 단점을 가지고 있다.

FMS 에서는 재고수준 감소, 제품운송의 신속성, 높은 품질 그리고 사람의 공정개입 감소 등의 잇점이 있으나 불충분한 가동률, 관리자들의 기술부족으로 인한 당황 그리고 경영자의 불만족등의 문제점들이 있으며 이러한 문제들은 생산 통제문제에 기인한다.

지금까지 FMS 통제문제에 관한 연구들을 살펴보면, Kimemia와 Gershwin [10] 은 기계고장을 고려하여 부품의 기계별 작업선택방법(Dispatching)문제에 대한 해법을 제시하고 FMS의 통제를 위하여 4단계의 계층적 통제정책을 제시하였다. 그들은 현재의 시스템의 상태에 적합한 통제정책을 위해서는 현재 시스템의 상태와 기계고장률을 고려하여 상위단계에서 세운 총괄생산계획과 대일정계획에 맞추



[그림 2-1] FMS의 설치 및 운용

어서 현재상태의 생산율을 결정하고 하위단계에서는 이렇게 결정된 생산율을 지키기 위한 부품투입 및 기계할당등의 계획을 실시간에 수립하고 수행하는 통제정책을 제시하였다.

Akella et. al. [5] 은 계층적 통제정책을 3 단계로 나누고 Kimemia 와 Gershwin이 제시한 수리계획모형의 단점인 생산용량의 제약속에서 운영비용함수의 변동으로인한 최적해의 불연속적인 이동현상을 없애기 위해서 운영비용함수의 2차근사치 (Quadratic approximation)을 사용하는 방법을 제시하였다.

Mimon과 Choong [15]은 기계고장으로 인한 공정중의 재고증가, 생산율저하, 시스템의 성능저하, 그리고 각기계의 부하의 불균형 등을 극복하기 위하여 동적공정경로결정(Dynamic Routing)이 중요하며 FMS 통제정책의 두번째 단계에 해당되지만 가장 중요한 부분이라고 주장하였다. FMS 통제를 어렵게 하는 문제로 예측치 못한 상황발생을 들고 그것들의 예로서 시스템고장, 산출량 변동, 그리고 작업에 소요될 원료의 도착지연등을 들었다. 그리고 기계의 고장과 작업자의 일시적인 부재 등을 시스템고장의 원인으로 보았다. 산출량 변동의 원인으로 원재료의 품질의 산포, 작업자의 기술 산포, 기계설비의 성능산포, 그리고 각작업장의 작업시간산포 등을 들었다. 그들은 동적공정 경로결정문제에 대한 수리모형을 제시 하였다.

Maimon[17] 은 FMS의 실시간 운용통제계획을 제시하였다. 그는 FMS의 통제정책을 3단계로 나누어 각 단계별로 통제모형 및 통제소요들을 제시하였다.

Maimon과 Gershwin[16]은 Kimemia와 Gershwin의 4단계 통제모형에서 공정경로 결정단계와 단기생산물결정단계를 묶어서 3단계로 만들고 FMS에서 부품공정경로결정과 작업일정

계획의 실시간처리를 위한 모형을 제시하고 단기생산물 결정모형과 실시간 통제를 위한 모형을 제시 하였다.

Perkin 과 Kumar [18] 은 수송지연시간, Set-up시간, 조립 및 분해등을 모두 고려한 FMS에 관한 연구에서 안정적이며 분산적인 그리고 실시간 일정계획에 대하여 여러가지 일정계획정책, 예를 들면 CAF, CLB 들의 성능에 대하여 모의실험을 하였으며 Acyclic과 Non-acyclic 생산시스템의 안정성 (Stability)조건을 제시하였다.

Gershwin [9] 은 계층적 일정계획과 생산계획구조의 체계적인 정리를 하였고 Kimemia와 Gershwin 모형을 여러가지의 사건으로 확장하였으며 예상치 못한 사건들을 대비하여 Feedback Law를 개발하였다.

Kumar 와 Seidman[11]은 시스템 내의 누적 재고수준의 경계치를 지정하고 분산실시간일정 계획의 안정성을 유지하기 위한 방법 및 조건을 제시하였다. 또한 일정계획에서 CAF 정책의 안정성에 대한 필요충분조건을 제시하였다.

Akella et al. [5]은 발견적해법이 아닌 LP를 사용하여 비용함수의 계수에 대한 Approximation 방법을 제시 하였다. 그들은 이 방법을 사용하여 얻은 결과와 발견적 해법으로 구한 이차근사법(Quadratic Approximation)을 사용한 결과를 비교분석 하였다.

Lou et al. [14]은 Single Machine, Multi Product의 경우에 시스템안정성을 유지하고 실시간에 수행되는 Feedback 정책에 대한 동적인 일정계획을 제시하고 총누적재고량의 경계값을 개선하고 CAF, CFW, 그리고 CLW 정책을 비교 분석하였다.

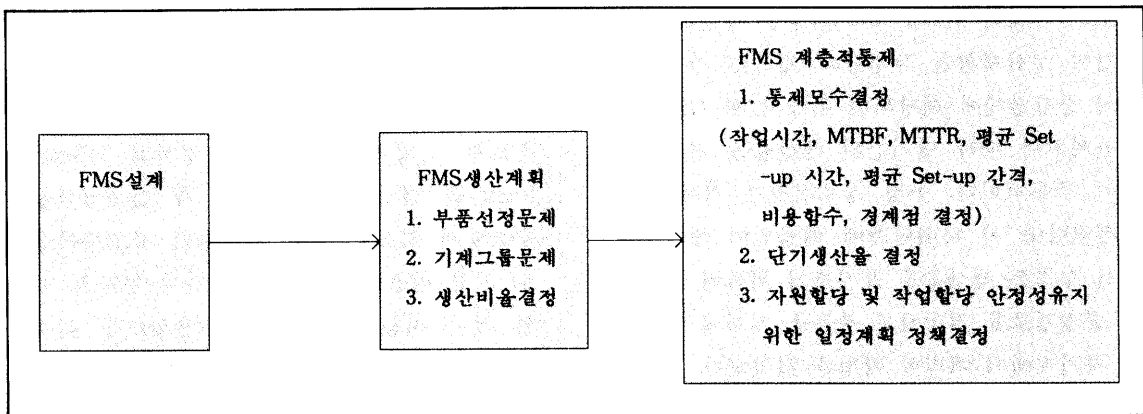
3. 계층적 통제모형

회사의 최고경영자는 수요예측, 판매예측, 원료의 가용여부, 재고수준 그리고 생산능력등을 고려하여 제품의 총괄생산계획을 세우고 총괄생산계획으로부터 대일정계획을 작성하게 된다. 그리고 작성된 대일정계획에 따라서 제품생산물을 결정하게 되고 제품생산에 소요되는 부품의 필요량을 알게되고 자재소요계획을 세우게 된다.

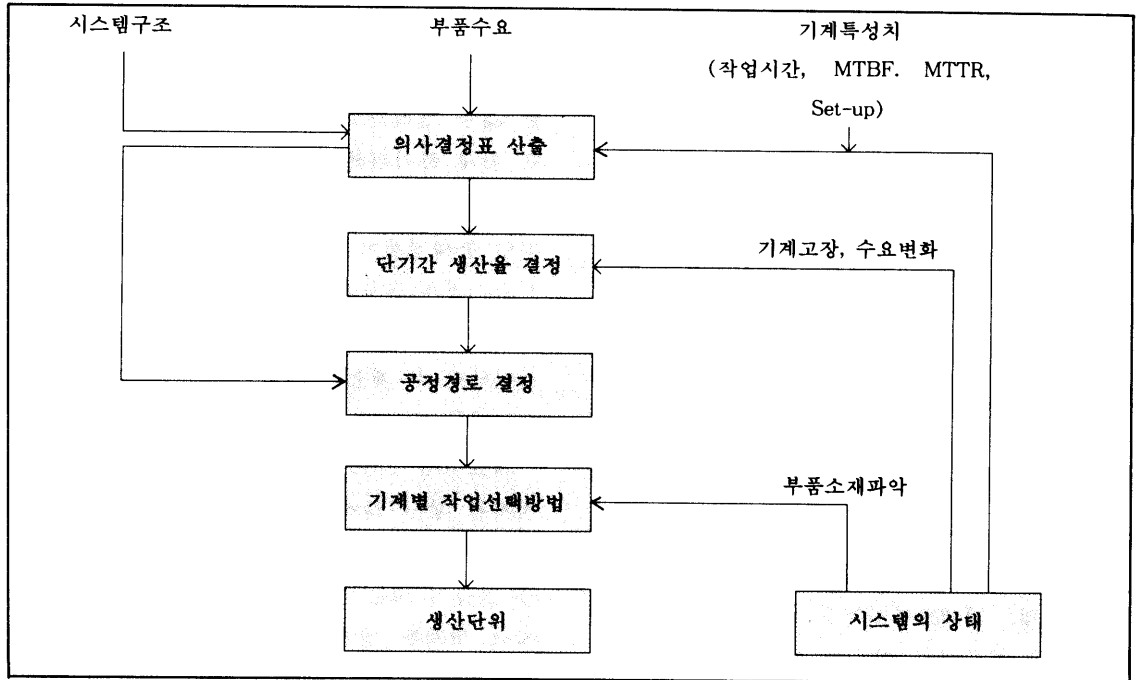
각 부품의 생산부서에서는 대일정계획과 자재소요계획에 따라서 그들의 작업일정을 작성하게 된다. 물론 투입부품결정이나 부품가공작업장 및 기계그룹선정등 작업할당문제는 FMS 통제 컴퓨터에 의하여 수행된다. 그러나 예상치 못한 사건이 발생 했을때에는 사람의 조정이 필요하게된다. 따라서 수요를 충족시키는 일정계획을 작성하고 그 계획에 따라서 작업이 수행되고 있는지를 통제해주는 모형과 알고리즘의 개발이 중요하다.

FMS 통제문제에 큰영향을 주는 것으로는 기계고장으로 인한 혼잡을 들 수 있는데 이러한 경우 관리자로 하여금 적절한 조치를 취할 수 있게 하기위하여 Feedback 이 필요하며 이러한 경우를 효율적으로 통제하기 위해서 계층적인 통제정책이 제안 되었다. 즉 대규모의 생산시스템은 규모가 크고 복잡하기 때문에 통제과정을 여러다른 수준의 계층으로 나누는 것이 적절하며 각 계층은 계획기간과 그 의사결정에 요구되는 정보의 종류에 따라서 특징지워진다.

대표적인 FMS 계층통제모형은 [그림 3-1]에서와 같이 크게 3단계로 이루어져 있다. 상위 단계는 생산통제에 필요한 중요 결정모수들을 만들어 내는 단계이며, 중위 단계는 윗단계에서 결정된 장기 생산계획에 따라 단기간의 생산율을 결정하는 단계이다. 그리고 하위 단계는 중위 단계에서 결정된 생산율을 유지하기 위한 작업배정이나 부품의 기계할당, 각부품의 작업공정경로 결정등을 하게된다.



[그림 3-1] FMS 통제시스템



[그림 3-2] FMS 계층적 생산통제모형

[그림 3-2] 에서 의사결정표 산출이 상위단계에 해당되며 통제모수결정단계로 각공정처리시간, 평균 Set-up 시간, 평균 Set-up 간격, 그리고 각기계의 MTBF, MTTR등을 계산하며 장기간의 생산계획을 작성한다. 단기간 생산율결정이 중간단계에 해당되며 위에서 제시된 장기 생산계획에 따라 단기간의 생산율을 결정하는 것이 주목적이다. 공정 경로결정과 기계별 작업선택방법 이 하위단계에 해당되며 중간단계에서 결정된 생산율을 유지하기 위하여 각부품의 공정경로를 결정하고 부품을 기계에 할당하고 각기계에서 처리할 작업을 결정한다.

상위단계에서는 장기적인 생산계획을 작성하는 단계로서 여기서는 중간단계에서 필요로 하는, 각공정작업시간, 평균 Set-up시간, 평균 Set-up 간격, 그리고 각 기계의 MTBF, MTTR 등을 제공하고 이러한 정보들을 사용하여 장기 생산계획을 작성하게 된다. 또한 이 단계에서 중요한 사항은 비용함수와 경계점 (Hedging Point)을 결정 하는 것이다. 즉 실제생산량과 수요량의 차이로 인한 재고량과 재고부족량으로 인한 비용을 재고량과 시간의 함수로 표시한 것이 비용함수이며 이 비용함수를 최소화 하는 재고수준을 경계점이라 한다.

4. Set-up과 기계고장을 고려한 통제모형

4.1 통제모수결정단계

생산율에 영향을 주는 것으로는 기계의 고장, 수요의 변동, 원료의 도착지연, 작업자의 자리이탈 등 무수히 많이 있으나 여기서는 Set-up과 기계고장만을 고려하고 나머지 요인들은 점차 고려할 것이다. 효율적인 생산을 위해

서는 임시저장장소나 자동물자 운송장치에 혼잡(Congestion)이 최소화 되어야 한다. 계층적 통제정책에서는 시스템내의 용량을 고려하여 이 문제를 해결하고 있다.

공정중 재고량을 줄일 수 있는 방법은 Set-up 횟수를 늘리는 것이다. 그러나 Set-up횟수를 늘이면 기계의 이용률이 크게 떨어지게 된다. 따라서 최적의 Set-up 횟수를 결정하는 것은 중요한 일이다. 이때 시스템내의 작동가능한 기계수 α 는 기계고장 뿐아니라 Set-up에도 영향을 받게된다.

4. 1. 1 비용함수 결정

보통 비용함수 J를 이차식으로 표시하면 $J = (1/2)X'Ax + Bx + C$ 의 형태를 가진다.

- 여기서 A: positive definite diagonal
- B: negative vector
- C: 상수

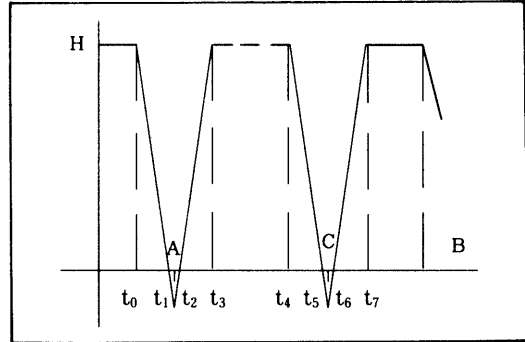
기계고장과 Set-up을 동시에 고려할 때 이차 비용함수의 계수를 근사식으로 구하면 다음과 같다. 이때 물론 발견적기법과 LP에 의한 방법이 있으며 여기서는 발견적기법을 사용한다.

$$A = \sum_p \frac{MTBF_p}{MTTR_p} + \frac{w}{s}$$

$$B = -0.5Ad(MTTR + s)$$

4. 1. 2 경계점 결정

발견적기법에 의하여 Set-up과 기계고장을 동시에 고려할 때 경계점을 구해보자. 먼저 시스템내의 재고상태를 보면 아래 [그림 4-1]와 같이 된다.



[그림 4-1]

- t_0 : Set-up 시작시점
- t_4 : 기계 고장시점
- A: Set-up 완료시점
- B: 다음 Set-up 시작시점
- C: 기계 수리완료시점

여기서 1주기동안 전체 비용을 최소로 하는 재고수준 (경계점)H는 다음과 같다.

$$H = \frac{d(s+mT_r)(bU+ad)-(w+mT_r)ad(U-d)}{(m+1)U(a+b)}$$

$$m = \frac{w+s}{T_f+T_r}$$

여기서 사용된 기호들을 보면

- d: 제품의 수요율
- U: 제품의 생산율
- s: Set-up 시간
- w: 한번 Set-up한후 다음 Set-up까지의 시간
- T_f : 평균고장시간
- T_r : 평균수리시간
- a: 평균재고유지비
- b: 재고부족에 대한 평균 비용
- m: w기간동안 평균기계고장전수
- $MTBF_p$: 부품 P가 거치는 기계의 평균고장시간
- $MTTR_p$: 부품 P가 거치는 기계의 평균수리시간

4.2 생산흐름 통제단계

4.2.1 수리모형

Set-up과 기계고장으로 인한 생산률의 감소는 경계치, 즉 약간의 안전재고를 통하여 보충할 수가 있다. 기계에서의 모든 공정작업은 일정한 처리시간을 필요로 하고 있으며 따라서 시스템내로 투입되는 부품의 양도 제한을 받게 되어 있다. 만약 시스템내로 투입되는 부품의 양이 처리능력을 초과하게 되면 임시저장장소에 보관이 되고 결과적으로 공정중 재고량(Work-in-process)이 증가하게 된다. 이것을 결과적으로 생산량 감소로 이어지게 된다.

시스템의 용량을 정확히 정의 하는 것은 온라인 일정계획(on-line scheduling)의 첫번째로 중요한 단계이다. 따라서 계층적 통제정책에서는 생산흐름 통제단계를 가장 중요한 단계로 생각하고 있다. 즉 임의 시점에서의 시스템용량이 중요한 역할을 한다. 지금까지 이러한 계층적 통제정책의 중간단계에 대하여 수리모형을 이용하여 최적생산물을 결정하려는 시도가 많았으며 기계고장만 고려한 모형중 Kimemia와 Gershwin [10]의 모형 Akella, Choong, Gershwin[16]의 모형, 그리고 Maimon과 Gershwin[14]의 모형 등이 있다. 이상의 모형들을 살펴보면 다음과 같다.

Kimemia와 Gershwin의 모형:

$$\text{Minimize } J(x, \alpha, t_0) = E\left\{\int_{t_0}^t g[x(t)] dt \mid x(t_0) = x, \alpha(t_0) = \alpha\right\}$$

Subject to

$$\frac{dx(t)}{dt} = u(t) - d(t)$$

$$P[\alpha_m(t+\delta t) = \ell + 1 \mid \alpha_m(t) = \ell] = (L_m - \ell) r_m \delta t \text{ for } 0 \leq \ell \leq L_m$$

$$P[\alpha_m(t+\delta t) = \ell - 1 \mid \alpha_m(t) = \ell] = \ell P_n \delta t \text{ for } 0 \leq \ell \leq L_m$$

$$u(t) \in \Omega[\alpha(t)]$$

Akella, Choong, Gershwin의 모형:

$$\text{Minimize } C_1 U_1 + C_2 U_2 + \dots + C_j U_j$$

Subject to

$$\sum_i T_{ij} U_j \leq \alpha_i \quad \text{for all } i \\ u_j \geq 0 \quad \text{for all } j$$

Maimon과 Gershwin의 모형:

$$\text{Minimize } J(x_0, \alpha_0, 0) = E\left\{\int_0^T g(x(s)) ds \mid x(0) = x_0, \alpha(0) = \alpha_0\right\}$$

Subject to

$$\frac{dx_n}{dt} = U_n(t) - d_n \\ \text{Prob}[\alpha(t+\delta t) = b \mid \alpha(t) = a] = \lambda_{ab} \delta t \\ y \in \Omega(\alpha)$$

위의 모형들에 Set-up을 동시에 고려한 모형을 생각하면 시스템의 상태 α 는 기계고장과 Set-up에 의해서 영향을 받게되며 이를 모형화해보면 아래와 같다.

$$\text{Minimize } J(x_0, \alpha_0, 0) = E\left\{\int g(x(s)) ds \mid x(0) = x_0, \alpha(0) = \alpha_0\right\}$$

Subject to

$$\frac{dx_n}{dt} = u_n(t) - d_n \\ P[\alpha_m(t+\delta t) = \ell + 1 \mid \alpha_m(t) = \ell]$$

$$\begin{aligned}
 &= (L_m - \ell) \gamma_m \delta t \quad \text{for } 0 \leq \ell < L_m, \\
 P[\alpha_m(t + \delta t) = \ell - 1 | \alpha_m(t) = \ell] &= \ell P_m \delta t \\
 &\quad \text{for } 0 < \ell \leq L_m, \\
 \sum_n \sum_k y_{nmk} t_{nmk} &\leq \alpha_m \quad \text{for all } m, \\
 U_n &= \sum_m y_{nmk} \quad \text{for all } k, n, \\
 \sum_m y_{nmk} &= \sum_m y_{nmk1} \quad \text{for all } k \approx k1, n, \\
 f_{ab} &= Z_{ab} W_a, \\
 \sum_a W_a + \sum_{a,b} S_{ab} f_{ab} &= 1, \\
 \sum_a Z_{ab} W_a &= [\sum_a Z_{ba}] W_b \quad \text{for all } a \approx b,
 \end{aligned}$$

여기서 사용된 용어들을 보면 다음과 같다.

- f_{ab} : a시스템 상태에서 b시스템상태로 바뀌는 확률
- S_{ab} : a시스템상태에서 b시스템상태로 바꾸는데 소요되는 Set-up 시간,
- W_a : Set-up시스템상태 a에 머무는 시간을,
- Z_{ab} : a시스템상태에서 b시스템상태로 바뀌는 빈도율,
- M : FMS내의 작업장의 수,
- L_m : 작업장 m에 있는 기계대수,
- N : 생산할 부품그룹의 수,
- $U_n(t)$: t시점에서의 부품그룹 n의 생산율,
- d_n : 부품그룹 n의 수요율,
- $X_n(t)$: t시점에서의 부품그룹 n의 누적재고수준,
- $\alpha_n(t)$: t시점에서 작동가능한 기계의 수,
- y_{nmk} : 부품 n이 공정 k를 수행하기 위해 작업장 m에 도착하는 도착률,
- t_{nmk} : 작업장 m에서 부품 n이 공정 k를 수행하는데 걸리는 시간,
- δt : 아주 짧은 단위시간,
- $k1$: 부품 n에 처음으로 수행되는 공정,
- Ω : 실현가능한 부품흐름 y의 집합,
- λ : α 가 마코브과정을 따를때의 마코브과정의 모수,

T_{nm} : 부품 n이 작업장 m의 기계에서 처리되는 시간,

이 모형의 가정은 다음과 같다.

1. 공정처리시간 《MTBF, MTTR, Set-up 간격 《계획기간
2. 생산에 사용되는 부품이 모자라는 경우는 없음.
3. 시스템내에 약간의 임시저장소가 있음.
4. MTBF와 MTTR은 기계이용률과 무관하다.
5. 작업장내에 있는 기계는 모두 같은 종류이며 작업소요시간도 동일하다.
6. Set-up시간이 0이 아니다.
7. Tool Magazine의 용량은 한정되어 있다.
8. 시스템의 상태를 변환시키는 것은 Set-up과 기계고장 이다.
9. 기계고장과 Set-up은 동시에 발생하지 않는다.

4. 2. 2 해법의 개발

위에서 제시한 모형들을 근사해법은 각각 개발이 되어 있으나 아직 명확한 해법은 개발되어 있지 않다. 거의 모든 모형은 운영비용함수를 최소화시켜주는 경계점을 찾고자 하는데 우리가 구하고자하는 생산정책은 각각의 x, α , 그리고 t에 대하여 $u(X, \alpha, T) \in \Omega$ 를 만족하는 $u(x, \alpha, t)$ 를 구하는 것이다. 따라서 이러한 생산정책을 각각의 임시 저장능력과 기계상태에 대하여 가능한 생산율을 제공하는 Feedback 통제법칙(Control Laws)이라고 부른다.

생산정책 $u(X, \alpha, T)$ 를 사용할때 운영비용(Cost to go)을 아래와 같이 정의한다.

$$\begin{aligned}
 J_u(X, \alpha, T) &= E\left\{ \int_0^T g[x(s)] ds \mid x(t) = x, \right. \\
 &\quad \left. \alpha(t) = \alpha \right\}
 \end{aligned}$$

이함수는 부분미분방정식 (partial differential equation)을 만족하여 이것은 다음과 같은 간이식으로 유도될 수 있다. 즉 어느 $\delta t > 0$ 에 대하여 운영비용함수는

$$J_u[x(t), \alpha(t), t] = E\left\{ \int_t^{t+\delta t} g[x(s)] ds + J_u[x(t+\delta t), \alpha(t+\delta t), t+\delta t] \right\}$$

이 식을 정리하면

$$0 = g[x(t)] + \frac{\partial J_u}{\partial x}(u-d) + \frac{\partial J_u}{\partial t} + \sum b \lambda_{ab} J_u[x(t), b, t] \quad (1)$$

이것은 비선형미분방정식으로 해석적인 해를 갖는다고 볼 수 없다. 만일 해를 갖는다면 최적해 y 는 다음과 같은 선형계획법을 만족한다.

$$\text{Minimize } \sum_n \frac{\partial J}{\partial X_n} (\sum_m y_{nmkt}) \quad (2)$$

Subject to

$$y \in \Omega(\alpha)$$

J 와 Ω 가 변수 x 와 α 의 함수이므로 이것은 Feedback 통제법칙이다. 따라서 최적해 y 도 x 와 α 의 함수이다.

Feedback 통제법칙에서 J 의 값은 통제정책에 큰 영향을 주지않는다. 만약 시스템의 상태 α 가 오랜기간 일정하고 dJ/dt 값이 음수가 되게하는 $y \in \Omega$ 가 존재하면 J 는 결국 최소값에 도달하게 된다. 이때의 x 의 값을 경계점이라 정의하고 x^H_0 로 표시한다.

$$\frac{dJ}{dt} = \sum_n \frac{\partial J}{\partial X_n} (\sum_n y_{nmkt} - d_n) + \frac{\partial J}{\partial t} \quad (3)$$

즉 식(3)을 음수로 하는 y 가 존재하고 α 가

오랜기간동안 변하지 않으면 그때의 x 의 값이 경계점이 된다. 정확하지 않은 J 값을 사용하더라도 식 (2)의 해는 만족스러운 일정계획과 공정경로결정 방법을 제공한다. 왜냐하면 모형에서 우리가 사용하게될 MTBF, MTTR, λ , 그리고 g 함수등이 정확한 값을 표시하지 못하므로 J 값 계산에 많은 시간을 소비한다는 것은 타당하지 않기 때문이다. 따라서 J 값 계산에는 적당한 수준에서 계산하기 쉬운 함수를 사용하는 것이 좋다. Gershwin, Akella 그리고 Choong[7]은 이차함수를 사용하였다.

즉 $J = 0.5x^T A(\alpha)x + b(\alpha)^T x + c(\alpha)$ 를 사용하였다.

그런데 시간에 제약을 받지 않는 경우를 생각해 보면 $d(t) = d$ 가 성립되고 운영비용 함수도 시간에 무관하게 된다. 즉 $J_u[x(t), \alpha(t), t] = J_u(x, \alpha)$ 가 성립되고 비용함수라고 부른다. 기계 상태에는 두가지의 경우가 있는데 수요량 d 가 $\Omega(\alpha)$ 에 포함되는 경우와 그렇지 못한 경우로 나눌 수 있다.

$d \in \Omega(\alpha)$ 인 경우에 시스템은 거의 고정된 재고를 갖게 되는데 이것을 경계점, x^H_0 , 이라고 부른다. 이 경계점은 x 에 대하여 $J_u(x, \alpha, t)$ 를 최소화 시켜주며 기계 고장에 대비한 최적의 재고수준이다.

부품흐름문제에 대한 정확한 해를 구하기 위해서는 식(1)을 풀어야하며 이것은 많은 계산을 요구한다. Kimemia 와 Gershwin[9]은 이러한 문제를 해결하기 위해 최적해 대신에 준최적해 (suboptimal solution)를 계산하여 사용하였고 실제 문제에서 큰 차이가 없다는 것을 예를 통하여 보여 주었다.

그리고 위에서 구한 $y(t)$ 로 부터 부품의 기계별 작업선택방법을 결정한다. 이때의 결정기준은 $\text{Mini}(x_i^A - x_i^P)$ 이다. 여기서 x_i^A 는 실제 누

적재고량이며 x_i^p 는 y 로 부터 예상된 누적재고량이다.

5. 결론

FMS의 효율적인 운용을 위해서는 결정해야 할 많은 문제들이 있으며 그것들은 크게 나누어서 보면 설계, 생산계획, 일정계획 그리고 통제문제들로서 지금까지 각각의 문제에 대하여 많은 연구들이 이루어져 왔다. 이 중에서 통제 문제는 최근에 와서야 관심을 많이 기울이는 분야이다.

FMS는 부품그룹에 대하여 여러가지의 작업을 수행하는 기계들이 있으며 통제문제에서 접하는 어려운 문제는 예측할 수 없는 기계들의 고장 발생 및 수리문제이다. 예측할 수 없는 기계고장이나 수요의 변동이 발생했을 경우에 즉시 이러한 상황을 반영하여 실시간 (real time)에 새로운 생산계획을 수립하기 위해서는 계층적인 (hierarchical) 통제정책이 필요하다.

물론 여러가지 다른 통제정책이 제시되고 있으며 계층적인 통제정책과 이들과의 성과 비교를 제시한 연구도 있다. 그러나 지금까지 제시된 통제정책중에서 가장 효율적인 통제정책은 계층적인 통제정책으로 알려져 있다. 본 연구에서는 예측하지 못한 기계고장과 Set-up등을 고려한 통제정책의 수립과 통제정책의 여러 단계와 각 단계에서의 정책결정과정을 제시하였다.

지금까지 대부분의 연구에서는 각 부품그룹 변동으로 인한 기계의 Set-up 시간이 매우 짧다고 가정하여 무시하였다. 그러나 이러한 가정은 우리가 있으며 Set-up으로 인한 작업 지연

등을 고려하는 것이 더 타당하다고 판단되어 Set-up과 기계고장을 동시에 고려하는 통제모형을 고려했다.

본 연구에서는 지금까지 정적인 통제 방식에서 탈피하여 좀 더 동적인 통제모형을 제시하였으며 계층적 통제정책에서 Set-up과 기계고장을 고려하였을 때의 경계점을 제시하고 또한 단기생산율결정모형을 제시하였다. 시스템내의 안정적인 재고통제를 위한 여러가지 일정계획 정책과 Feedback 정책을 비교연구하는 것이 앞으로의 과제이다.

또한 지금까지의 계층적인 통제정책에서는 주로 기계고장을 고려한 계층적 통제정책을 고려하였으나 본 연구에서는 Set-up을 함께 고려한 통제모형을 개발하였고 이것과 다른 모형과의 성능비교를 모의실험(simulation)을 통하여 보여주는 것이 앞으로의 과제가 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 강석호, 「현대생산관리론」,3판, 경세원 1986.
- [2] 김성철, 「자동화 생산시스템 분석을 위한 생산관리론」, 1판, 형설출판사, 1989.
- [3] 장성용, “FMS의 생산계획 및 일정계획을 위한 통합적인 의사결정지원시스템,” 서울대학교 대학원 박사학위논문, 1991.
- [4] 정상철, “FMS의 설계를 위한 의사결정지원시스템의 구축에 관한 연구,” 서울대학교 대학원 박사학위논문, 1989.
- [5] Akella, R., O. Z. Maimon, and S. B. Gershwin, “Value Function Approximation via Linear Programming for FMS Schedul-

- ing," *Int. J. Prod. Res.*, Vol 28, No. 8 (1990), pp. 1459-1470.
- [6] Akella, R., Y. F. Choong, and S. B. Gershwin, "Performance of Hierarchical Production Scheduling Policy," *IEEE Trans. Components Hybrids Mfg. Technol.*, CHMT-7(1984), pp. 225-240.
- [7] Gershwin, S. B., R. Akella, and Y. F. Choong, "Short-term Production Scheduling of an Automated Manufacturing Facility," *IBM J. RES. Develop.*, Vol 29, No. 4 (1985), pp. 392-400.
- [8] Gershwin, S. B., "Stochastic Scheduling and Setups in a Flexible Manufacturing System," *In Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems*, (1986), pp. 431-442.
- [9] Gershwin, S. B., "Hierarchical flow control : A framework for scheduling and planning discrete events in manufacturing systems," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 77, No. 1, January(1989), pp. 195-209.
- [10] Kimemia, J. G. and S. B. Gershwin, "An Algorithm for Computer Control of Production in Flexible Manufacturing Systems," *IIE Trans.*, Vol. 15, No. 4 (1983), pp. 353-362.
- [11] Kumar, P. R. and T. I. Seidman, "Dynamic Instabilities and Stabilization Methods in Distributed Real-Time Scheduling of Manufacturing Systems," *IEEE Transaction Automation Control*, Vol. 35, No. 3(1990), pp. 289-298.
- [12] Kusiak, A., "Scheduling Flexible Machining and Assembly Systems," *Annals of O. R.*, 15 (1988), pp. 337-352.
- [13] Kusiak, A., "Aggregate Scheduling of a Flexible Machining and Assembly System," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 5, No. 4(1989), pp. 451-459.
- [14] Lou, S., S. Sethi, and G. Songer., "Analysis of a class of real-time multiproduct lot scheduling policies." *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 36, No. 2, February(1991), pp. 243-248.
- [15] Maimon, O. Z. and Y. F. Choong, "Dynamic Routing in Reentrant Flexible Manufacturing System," *Robot. Comput. Aided Manufact.*, 3(1987), pp. 295-300.
- [16] Maimon, O. Z. and S. B. Gershwin, "Dynamic Scheduling and Routing for Flexible Manufacturing Systems that have Unreliable Machines," *Operations Research*, Vol. 36, No. 2(1988), pp. 279-292.
- [17] Maimon, O. Z., "Real-time Operational Control of Flexible Manufacturing Systems," *J. of Manufacturing Systems*, Vol. 6, No. 2(1987), pp. 125-136.
- [18] Perkin, T. R. and P. R. Kumar, "Stable, Distributed, Real-Time Scheduling of Flexible Manufacturing/Assembly/Disassembly Systems," *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 34, No. 2(1989), pp. 139-148.