

유연생산시스템의 제약요소에 기초한 통제에 관한 연구

서울대학교 산업공학과 교수 강 석 호
박사과정 이 우 기

Abstract

This paper deals with an event-driven optimal control model for a flow type manufacturing system and a systematic control procedure that we developed under the concept of theory of constraints(TOC).

At first, an equation is suggested to find bottle-necks of manufacturing systems. Then a target production level that improves the existing heuristic solutions is derived. According to a two-phase procedure differentiating a bottle-neck and non-bottle-neck control, a system wide control scheme is derived.

Priority dispatching and input sequencing are considered in an optimization model that is activated with event-driven style. In this scheme a control point where the bottle-neck locates can also be changed dynamically.

Simulation study intends mainly to prove that the performance of our model is greater than or equal to that of the others, but which works in relatively low work-in-process inventory level.

I. 서론

FMS는 대량 생산의 효율성(flow-line관점)과 다품종 소량생산의 전략성(job-shop관점)을 동시에 추구하는 생산 시스템이다. 후자의 입장에서는 다품종 소량 생산의 장점이 곧 틀, 팔렛, 고정구 등의 빈번한 교체라는 단점이 문제가 되므로 설비 효율성 제고 측면의 연구 노력이 계속되는 한편 [Maimon, 1988], [Gershwin, 1989], [Garetti et al., 1990], [장성용, 1991], [엄완섭, 1992], 흐름생산방식인 경우에는 시스템의 경직성(inflexibility) 개선 문제와 선후 공정간의 연쇄적인 생산흐름 중단 문제를 피하기 위해 안전 버퍼를 확보하는 수준 및 버퍼 상호간의 영향에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 그런데 흐름 생산 형태의 FMS는 선후 스테이지 간의 상호 관련성이 커서 문제가 훨씬 복잡하며, 비교적 연구성과가 적

은 편이다. 그러나 실제 산업계의 생산 체제는 흐름 라인 형태를 띠는 경우가 많으므로, 라인 생산 방식의 입장에서의 연구가 더욱 필요하고 또한 현실적이라 하겠다. [Illier, 1991], [Kochhar, 1988]

또한 FMS의 효율적인 운용을 위해서는 결정해야 할 많은 기본적인 문제들이 있으며, 그것들은 크게 나누어 보면 설계, 일정 계획, 생산 계획, 및 통제 문제등으로서 그 각각에 대해 많은 연구들이 이루어져 왔으며, 이 중에서 통제 문제는 최근에 와서야 관심을 많이 기울이고 있는 분야이다. [Kusiak, 1985]

II. 연구 대상

본 연구의 대상은 흐름라인 형태의 FMS로서 유연흐름생산라인(Flexible Flow Line)이라 부르기도 하는데, 이는 다단계의 복수 기계로 구성되어 라인형태를 갖추고 있는 생산 시스템을 말한다. ([그림 1.1] 참조) 본 논문에서 가정한 유연흐름생산시스템의 특성은 다음과 같다.

- (1) 한 스테이지 내에는 기계의 용량이 동일하고, 부품은 한 스테이지에서 최대 하나의 기계만을 거쳐서 가공된다. 즉, 가공이 없는 경우는 그냥 지나간다.
- (2) 부품의 준비시간(setup)은 가공시간에 산입된다.
- (3) 각 부품별 가공 시간은 미리 알 수 있다.
- (4) 평균고장시간(MTBF)과 평균수리시간(MTTR)은 기계 이용율과는 무관하며, 미리 주어진다.

본 모형에 필요한 용어 및 모수들을 설명하면 다음과 같다.

- 모 수:

i : 스테이지 ($i = 1, 2, \dots, n$)

j : 부품종류 ($j = 1, 2, \dots, m$)

b_i : 스테이지 i 의 기계수

T_j : 부품 j 의 목표재고수준

A : 가공시간벡터

t : 통제기간 ($t > 0$)

h_j : 재고유지비용

s_j : 재고고갈비용

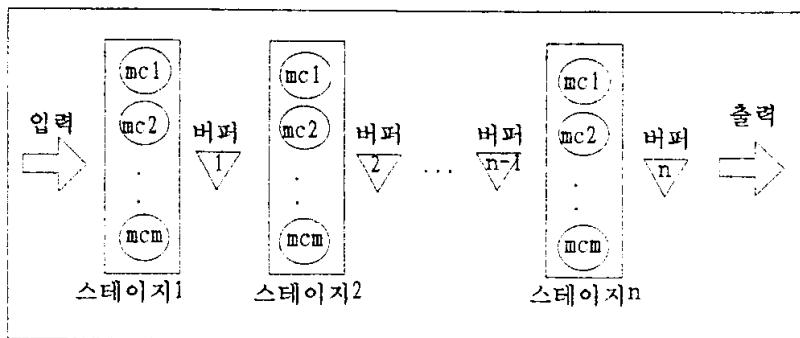
- 시간변수 및 결정변수

I_i : 통제기간 중 스테이지 i 에서의 재고량벡터

d_i : 통제기간 중 스테이지 i 에서의 예측수요량

f_i : 통제기간 중 스테이지 i 에서의 기계고장댓수

X_i : 통제기간 중 스테이지 i 에서의 생산량벡터



(그림 1.1) 유연 흐름 생산시스템

III. 연구 동향

1. 흐름 통제에 관한 연구

FMS의 효율적 운용에 관련된 가장 중요한 문제 중의 하나가 흐름통제 문제로서, Kimemia 와 Gershwin(1983)이 벨만함수(bellman's equation) 등을 이용하여 처음으로 계층적 통제모형을 제시한 이래로 다 방면의 연구가 이루어져 왔다. [Gershwin et al., 1985], [Akella, 1986], [Maimon and Gershwin, 1988], [Gershwin, 1989], [Garetti et al., 1990], [장성용, 1991], [엄완섭, 1992]

이러한 접근법은 사건의 발생 빈도(frequency)별로 계층적으로 통제 수준을 나누어 통제의 복잡도를 줄여주는 등의 상당한 잠재력이 있지만, 다음과 같은 약점도 지적되고 있다. (1)자재 흐름을 연속적이라고 보며 (2)입력, 공정 경로 설정(routing), 출력 사이의 시간이 고려되지 않고 있으며, (3)비용함수 개발에 있어서 무한 생산 주기동안 생산되어야 할 부품의 수요율이 상수로 처리되는 것 등이 언급되었으며[Y.H.Lee and Iwata, 1991], 이 방법에 대한 비판의 초점은 비용함수의 비현실성 문제를 지적되고 있다.[Akella, 1990]

한편, M.H.Han 과 Mcginnis (1988, 1989)의 경우 이와는 달리 이산현상(event-driven) 중심으로 흐름통제를 시도한 새로운 통제 기법을 제안하여 현실적인 대안으로 주목받고 있다. 여기서는 미리 정한 고정된 시간간격

마다 시스템 상황을 점검하고, 이산 현상 발생 시 마다 시스템을 점검하고 최적화 모형을 이용해 통제 의사결정을 하는 방식을 채택하고 있다.[Han, 1989]

이 모형 역시 다음과 같은 몇 가지 보완해야 할 부분이 있다.

- (1) 막연한 큰 값('big M')으로 생산 상한값 및 생산방향의 모수로 정한 점,
- (2) 생산 상한 한계 내의 공정중 재고는 비용이 없고, 재고 고갈(backlog) 만 비용을 야기하는 것으로 가정한 점,
- (3) 시스템 전체로 본 통제를 취하지 않아, 통제가 제한적인(myopic)점 등이다.

이 M.H.Han 모델에서 사용한 '큰 값(big M)'은 임의로 정해 주는데, 이는 각 스테이지에서의 재고상한치를 의미하는 모수이다. 또한 이 개념은 다음에 설명하려고 하는 TOC에서도 재고수준의 결정에 있어서 시간버퍼(time buffer)라고하여 발견적으로 사용하는 모수와 동일한 개념이다.[Goldratt et.al., 1990],[Raban, 1991] 이에 대하여는 수리적 대안제시가 필요하다. 그리고 재고고갈 뿐만 아니라 유지되는 재고수준 또한 감안하는 것이 더욱 현실적인 대안이 될 수 있으며, 2개의 스테이지에 적용된 결과를 여러개의 스테이지에 그대로 적용하면서 시스템 전체로 본 시각이 고려되지 못했다.

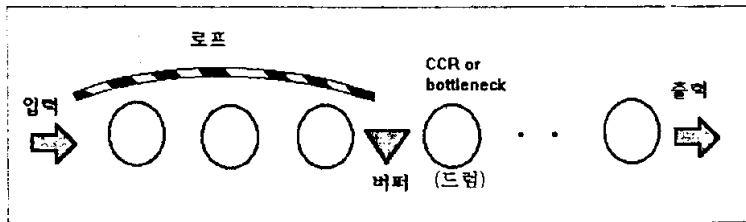
2. TOC의 개념

TOC(Theory Of Constraints)란 80년대 초에 미국에서 등장하여 새로

운 생산 시스템으로 소개되면서 90년대 들어 OPT(Optimized Production Technology)에서 TOC, 제약기반경영(Management By Constraints) 및 동시생산(synchronized manufacturing)등으로 이름이 혼용되면서 경영과학의 한 분야로서 자리잡기 시작했다. [Fox et.al.,1982], [Goldratt et.al., 1986, 1990], [Ronen, 1990], [강석호,1994]

이는 일종의 새로운 경영 및 통제 철학으로서, 먼저 기존의 자금운영과 관련된 세가지 경영 지표 즉, 순이익(net profit),투자수익률(return of investment) 및 자금수지(cash flow)에 의한 경영관리방식에 대하여 비판하면서, 그 지표들을 실제 뒷받침하는 운영통제기준으로서 "매출-재고-경비" 개념이 필요함을 보여주었다. [Goldratt, 1990]

또한 그 하위에 있는 생산통제기법으로써 드럼-버퍼-로프방식을 제안했는데, 여기서 드럼이란 생산의 시작과 재촉 및 완화(expedite /deexpedite)등의 생산관리 기능을 말한다. 버퍼란 스테이지 사이의 재고를 의미하며, 로프란 원자재 투입을 통제하는 방식(input sequencing)을 의미한다.



[그림2.1]TOC의 통제모형

생산 흐름에서는 장비나 인력의 차이가 늘 상존해있으며, 생산제품의 종류와 셋업 교체, 생산일정 변경 등으로인해 라인균형화에도 불구하고 생산용량은 불균등하기 마련이다. 이는 낮은 생산용량을 가지는 생산요소 즉, 병목의 존재를 의미한다. 그러나 이러한 병목공정의 용량과는 무관하게 각공정마다 최대 가동을 독려하면, 생산량의 수준은 그대로인 채 용량이 낮은 공정 앞에 재고를 계속 쌓기만 하는 양상이 벌어지게되는 것은 명약관화하다. 유연생산시스템에서도 이와 마찬가지로 개별시스템의 가동율에 집착하면 시스템전체의 효율이 떨어지게된다. 하여 TOC에서는 모든종류의 생산시스템에 공히 적용되는 기본철학으로서 시스템적 접근법을 제안하고 있다. 개별 공정의 최대 효율이 전체로서는 오히려 해가 될 수도 있다는 점을 명백히 했다. [Fox, 1982], [Raban, 1991]

이는 또한 그 방법론으로서 재고를 줄이려한다는 점에서는 JIT방식과 틀을 같이한다. 그러나 시스템 내부에 문제가 발생하는 경우 JIT에서는 생산량의 손실이 불가피하나, TOC에서는이와는 달리 병목공정(bottleneck) 혹은 용량제약자원(Capacity Constraint Resource) 앞에만 재고를 두어 생산손실을 보전하는 통제방식을 취하고 있다. 이때 용량제약자원(CCR)이란 현재는 병목이 아니나, 일정계획이 잘못될 경우 병목이 될 수 있는 공정을 말한다.

그러나 이 방법론도 다음과 같은 미비점을 가지고 있다. 즉,내부적으로 채택한 몇가지 기법들, 예컨대 병목공정을 찾는 방법, 재고량을 결정하고 유지하는 방법 등에서 발견적기법(heuristics)을 채용하여 입증이 취약하다는 점이다. 따라서 아직까지는 생산 철학 수준에 머무르고 있고 이의 보완 즉, 수리화의 노력이 필요하다.[Ronen, 1990], [Luebbe, 1992], [Raban,1994]

IV. 통제 모형

1. 병목공정(bottleneck)의 결정

시스템 상태 모수들이 주어진 상태에서, 각 생산요소의 스테이지 마다 다음 식을 이용하여 최저 값을 나타내는 스테이지(k)가 병목공정이 된다. 즉,

$$k = \left\{ i \mid \min_i \frac{(b_i - f_i)^t}{AX_i^m}, \text{ for } X_i^m \neq 0, i = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (1)$$

이때, 위 식에서 사용한 변수인 순생산요구량(X_m)은 다음과 같이 정의된다.

$$X_i^m = \min \{ 0, \sum_j (d_{i+j,j} - I_{ij}) \} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

위 (1)식의 의미는 통제기간중에 생산용량대 순생산요구량을 계산하여 가장 그 비율이 작은 공정을 병목으로 보겠다는 것이다. 이 값이 1 이하인 경우는 용량이 모자랄 정도의 생산을 하고있으므로 이런 경우는 어떠한 통제방식을 취하든 사실 눈에 떨 만큼의 효과가 없을 수 있다. 이 경우는 만일에 발생 가능한 공정장애를 예방하면서도 생산율(throughput)을 유지해주는 것이 중요하며, 당연히 병목의 관리가 핵심이 된다.

한편 이 값이 1이상인 경우에는 공정중재고(WIP)를 최소화 시키는 정책을 취해야한다. 그렇게하지 않을 경우 생산요구량과는 무관하게 계속 생산하여

떨어내기식의 생산과 판매라는 또다른 문제를 야기할 수 있다. 그러므로 여기서 그 대안으로써 병목공정 앞에만 버퍼를 두고, 여타의 모든 스테이지 앞에는 버퍼 및 재고를 두지 않는 방식을 취하기로 한다. 특히, 이 경우는 바로 당해 공정이 바로 CCR이 된다는 것이다.

그러므로 양자공히 이러한 병목의 보호 및 집중관리가 필요하며, 생산을 유지 목적 뿐만 아니라 생산 시스템 전체의 관리때문에 통제의 초점 또한 이곳에 두어야 한다. 본 모형에서는 이 부분을 수리적으로 접근하고자 한다.

2. 통제 모수 결정

여기서 추구하는 목표는 주어진 시스템 조건하에서 수요를 만족시키면서 재고로 인한 비용을 최소로 하는 최적의 생산 정책을 세우는 것이다. 이때 가장 어려운 점은 최적 생산 정책에 필요한 재고 유지 비용함수 선정과 주어진 시스템하의 최적 재고 수준을 정하는 것이다.

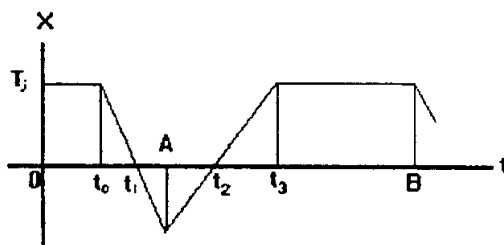
2.1 최적 재고 수준의 결정

우리가 사용하고자 하는 생산을 결정에 관한 최적정책은 최적재고수준을 T 라 하고 시점 t 에서의 누적재고량 $I(t)$, 최대 생산 가능량을 r , 수요량을 d 라 하면 다음과 같다.

생산률은 아래와 같다:

$$\begin{cases} x(t) = 0, & I(t) > T \\ x(t) = d, & I(t) = T \\ x(t) = r, & I(t) < T \end{cases}$$

이와 같은 정책하에서 시스템내의 누적 재고량을 살펴보면 [그림2.1]과 같다.



$$\Lambda = t_0 + \text{MTTR}, B = t_0 + \text{MTTR} + \text{MTBF}$$

[그림2.1] 시스템내의 누적 재고량

여기서 사용하는 기호들을 살펴보면 다음과 같다.

T_r : 부품 j가 거치는 각 기계의 MTTR

T_f : 부품 j가 거치는 각 기계의 MTBF

x_j : 부품 j의 계획 생산율

h : 평균 재고 유지비

s : 평균 재고 고갈비

d_j : 부품 j의 수요율

2.2 통제 모수 계산

[그림 2.1]에서 발생하는 비용을 최소화 시켜주는 경계점 T 를 구하면 다음과 같다.

$$J = h \left[T \frac{t_1}{2} + (t_3 - t_2) \frac{T_j}{2} + (t_4 - t_3) T_j \right] - s \left[\frac{1}{2} (t_2 - t_1) (T_j - dT_r) \right]$$

$$\frac{dJ}{dT_j} = \frac{hxT_j}{d(x-d)} + h \left(T_j - \frac{dT_r}{x-d} \right) + s (T_j - dT_r) \frac{x}{d(x-d)}$$

이때, J 가 convex이므로 $dJ/dT = 0$ 라 하면:

$$T_j = \frac{dT_r (hd + sx) - hd(x-d)T_f}{(h+s)x} \quad (3)$$

이는 막연한 큰수(big M)을 대체한 것이며, 고장 발생 시의 위험부담에 대한 안전 재고의 역할을 해주는 의미가 있다.

3. 통제전략

3.1 병목공정 통제

(1) 경우 1: 생산 가능한 경우

이 때는 순생산 요구량 보다 생산용량이 더 큰 경우이다.

$$\text{즉, } AX^m \leq (b_j - f_j)t \quad (4)$$

이 경우에는 통제기간 중에 재고 미충족이 발생하지 않는다. 재고 궤적은 1사분면에 위치하고, 비용 함수의 계수는 재고 유지비에 재고 보유량의 가중치가 곱해진다. 현재의 재고(I)가 목표치(T)에 비하여 차이가 많이 나는 부품을 먼저 가공하도록 선택된다. 하한 값은 수요량(d)이고, 상한 값은 순 요구량에 목표량(T) 만큼 더 생산하도록 해준다. [그림3.1]에서 s는 초기재고이며, u와 v는 양극단을 말한다.

이 때의 비용계수는 : $C_j = \frac{T_j - I_j}{T_j} h_j$ 가 되고, 상한 및 하한 값은 다음과 같다.

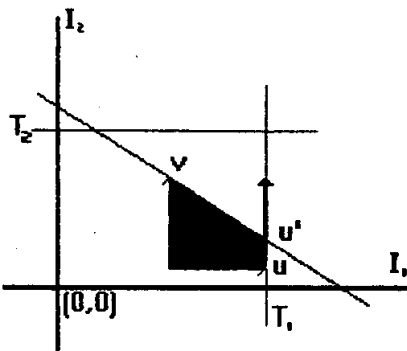
$$L = d, U = d - I + T$$

(2) 경우 2 : 순생산요구량이 생산용량보다 더 큰 경우

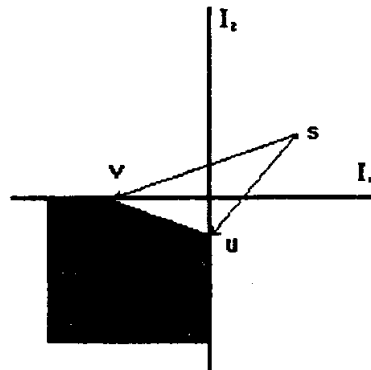
순 생산 요구량(X_m)이 생산 불가능이므로() 최소한 한 부품은 음수가 될 수 있다. 결과적으로 재고 고갈비용이 상대적으로 적은 부품의 경우 재고고갈이 생길 수도 있다는 것이다. 그러므로 여기서는 재고의 고갈을 최소화 하는

전략을 선택하는 것이 바람직하다. 이 때의 비용계수는 $C_j = \frac{T_j - I_j}{T_j} s_j$ 이며, 그 상한과 하한값은 각각 다음과 같다.

$$L = 0, U = X^m$$



[그림3.1] 경우1 재고의 궤적



[그림3.2] 경우2 재고의 궤적

3.2 비병목공정 통제

(1) 경우 3 : 통제기간중 생산요구량에 대해 생산가능인 경우

이는 대개의 비병목공정이 처하는 내용과 같다. 일반적으로, 초기 출발점은 음이므로 재고 도표 상 위치는 2, 3, 혹은 4사분면이나, 순 생산 요구량(X^m)

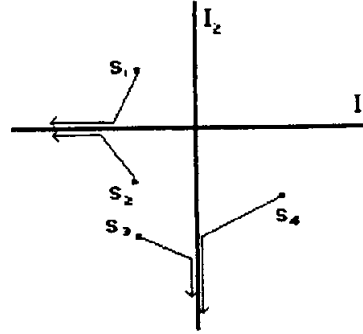
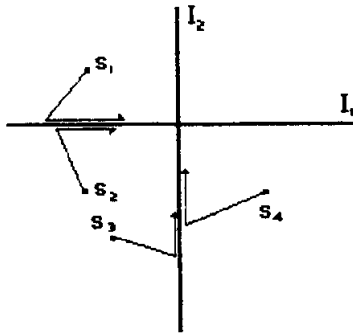
이 생산 가능이므로 통제 기간 동안 비음(non-negative)이 될 것이다. 이 경우는 원점으로 수렴하게 만들어야하며, 불가피하더라도 상한 값(T)은 넘지 않게 해야한다. 왜냐하면, 이곳에서 비록 부품이 모자라서 작업을 못하고있기는 하지만 상대적으로보아 현재 병목인 공정보다는 이곳의 생산용량이 더 크므로 이곳에서 초과하여 생산하는 량을 병목공정에서 소화해줄 수 없기때문에 더 생산하지 않는다. 이 점이 본 통제 방식의 특징이면서 또한 강점의 하나인 것이다. 이 경우 비용계수는 만약 $I_j < 0$ 인 경우 $C_j = I_j^2/d_j \times s_j$, 그외에는 $C_j = 0$ 가 된다. 또한 상한 값은 $U = X^m$ 이 된다.

(2) 경우 4: 생산 불가능인 경우

이 때에는 통제기간 중에 생산 불가능으로 가기때문에 통제 기간중에 비양수(non-positive)가 될 것이다. 즉, 미충족재고가 발생하게된다는 것이다.이상황이 계속되면 생산요구량이 생산용량에 비해 커져서 병목공정이 이곳으로바뀔 가능성은 있으나, 만일 시스템에 요구되는 순생산요구량을 상위단계(즉, 단계2)에서 계산하여 병목공정이 바뀌지 않는 한, 비록 생산 불가능(infeasible) 상황이 되었더라도 아무런 조치를 취할 필요가 없다. [그림3.4]에서와 같이 통제 기간 초의 재고의 출발점은 2, 3 및 4사분면이 되어 비양수가 될 것이나, 주로 3사분면에서 비가능(infeasible)으로 흐르게 될 것이다.

비용함수는 만일 $I_j < 0$ 이면, $C_j = (1 - \frac{I_j}{d_j})h_j$ 이고,

그외에는 $C_j = S_j$ 가 된다. 또한 상한값은 $U = X^m$ 가 된다.



(그림3.3) 경우3 재고의 궤적 (그림3.4) 경우4 재고의 궤적

4. 통제 모형

4.1 흐름 통제모형

(1) 공정간의 연계 제약조건

공정간을 재고로 연계하는 것은 다음 식으로 표현된다.

$$X_i \geq X_{i+1} - I_{i+1}, \quad \text{for } i=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

이 때, 별도의 재고용량에 대한 한계는 불필요하다.

(2) 부품투입순서(input sequencing)의 결정

부품투입은 순생산요구량(X_i^m)에 의하지 않고, 여기서는 병목공정의 생산

량 수준을 따르게 한다. 즉, [그림 2.1]의 경우 병목공정과 부품투입을 로프로 묶어준다는 뜻이 된다. 따라서 이를 표현하면 다음 수식과 같다.

$$X_1 = X_k \quad (6)$$

이 때, k 는 (1)의 결과에서 얻으며, k 가 복수개인 경우에도 복수개의 병목을 허용한다.

(3) 흐름통제모형

여기서 우리는 끌어오는 형태(pull type)의 방식을 따르되 생산량을 병목에 맞추어 생산량을 유지하고, 또한 부품투입(input sequencing)을 하는 모형을 만들고자 한다. 이 경우 X_k 는 TOC에서 말하는 바 드럼과 같은 개념이 된다.

$$\begin{aligned} \text{maximize} \quad & rX_k \\ & AX \leq b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{subject to} \quad & X_n \geq d \\ & X_n \leq d + (T_j - I_n) \end{aligned}$$

$$\text{for } k \in \Omega(i), \text{ where } = \{1, 2, \dots, n\}$$

이 때, 첫째 제약식 속에 (1)부터 (6)까지의 제약조건이 포함된다.

4.2 부품가공우선순위 결정

개별 가공단위로 내려가서는 생산해야할 부품의 우선순위는 다음과 같은 일반적인 규칙을 사용하기로한다. 즉, 통제기간 중에 생산요구량대비 현재의 재고보유량이 가장적은 부품을 먼저생산한다는 것이다.

$$P_{ij} = \min \left\{ \frac{I_{ij}}{X_{ij}^m} \right\}, \quad \text{for } X_{ij}^m > 0 \quad (7)$$

4.3 통제 알고리즘

이상의 통제모형을 수행하려는 통제알고리즘으로 정리하면 다음과 같이 5 단계로 나누어 볼 수 있다. [그림 4.1]참조.

* 통제알고리즘 :

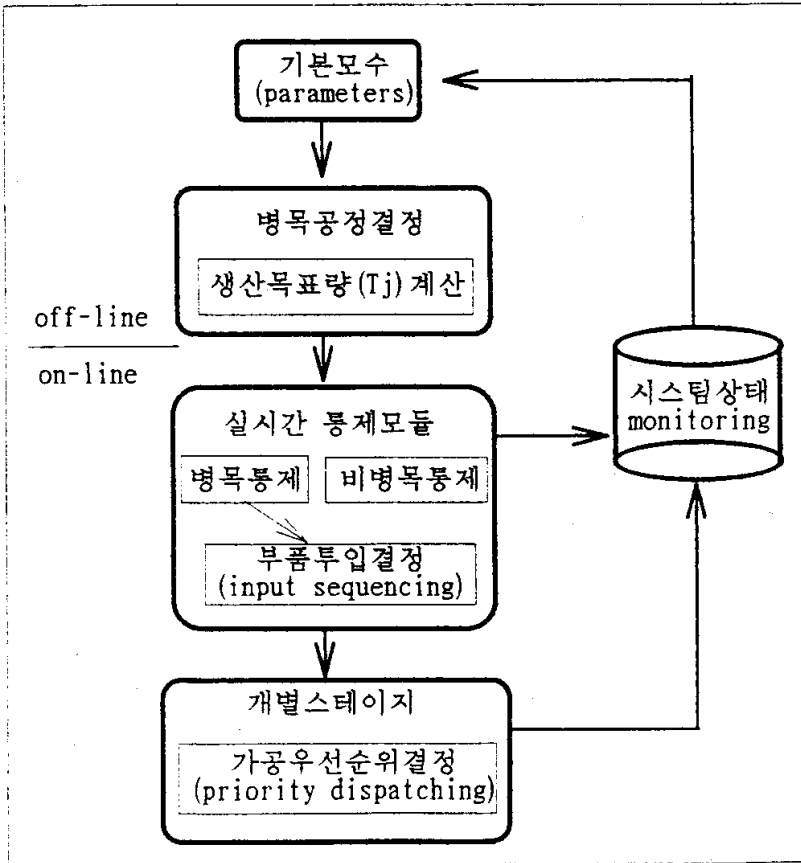
단계1, 시스템 상태 파라미터들(I, A, b, f)의 값을 구한다. 이때 I는 개별 재고수준을 나타내며, A는 가공시간 벡터, b와 f는 각각 가동중인 기계수 및 고장나 통제기간 중에 해당 스테이지에서 사용할 수 없는 기계수를 의미한다.

단계2, 최하 공정(병목공정) 을 찾는다.

단계3, 생산 목표량(T_j)을 구한다.

단계4, 2중 통제 : 병목공정일 경우와 병목공정이 아닐 경우를 나누어 통제한다. 하위 단계에서의 통제는 (1) 부품투입은 병목공정의 생산률을 따르도록 한다. (2)부품가공우선순위는 우선순위규칙(P_{ij})을 따르도록 한다.

단계5. 병목공정의 변경:시스템 상태 변화 발생 시 마다(event-driven) 파라미터 갱신하고, 단계1로 돌아감.



[그림4.1] 통제알고리즘도

V. 실험예제

본 실험에서 사용한 시뮬레이션패키지는 SIMAN이고, 필요한 LP subroutine은 FORTRAN77을 이용했다. 거쳐야할 스테이지의 숫자는 6개이고 스테이지 사이에는 버퍼가 존재한다. 그리고 최종제품은 마지막 스테이지에서 소화되는 것으로 보았다. 제품 종류는 2가지이고, 각 기계의 고장시간 간격과 수리시간 간격은 동일하다고(MTBF=500, MTTR=50) 가정하였다. 시뮬레이션은 3,000시간을 수행했으며, 통제시간단위는 9단위($t=9$)로 정했다. 실험 대안은 보통의 밀어내기생산방식(Push type)의 기본 모형(CHC:Conventional Hierarchical Control)과 M.H.Han의 통제모형(HC) 및 TBC(TOC Based control)의 세가지 경우를 나누어 상호 비교하는 형식을 취했다.

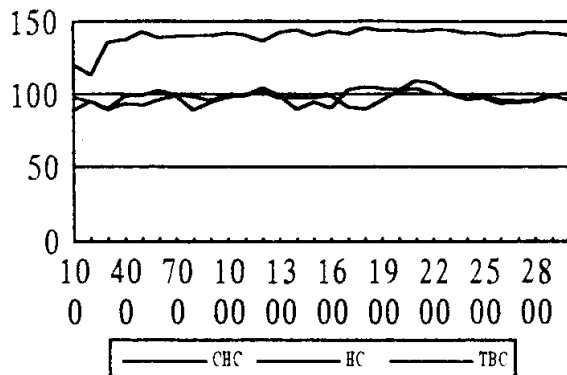
	부품	stage 1	stage 2	stage 3	stage 4	stage 5	stage 6
plan 1	1	0.24	0.22	0.22	0.20	0.34	0.20
	2	0.16	0.16	0.14	0.14	-	0.12
plan 2	1	0.20	0.34	0.20	0.22	0.22	0.24
	2	0.12	-	0.14	0.14	0.16	0.16
plan 3	1	0.20	0.2	0.34	0.20	0.24	0.20
	2	0.12	0.16	-	0.14	0.16	0.14

[표5.1] 평균가공시간

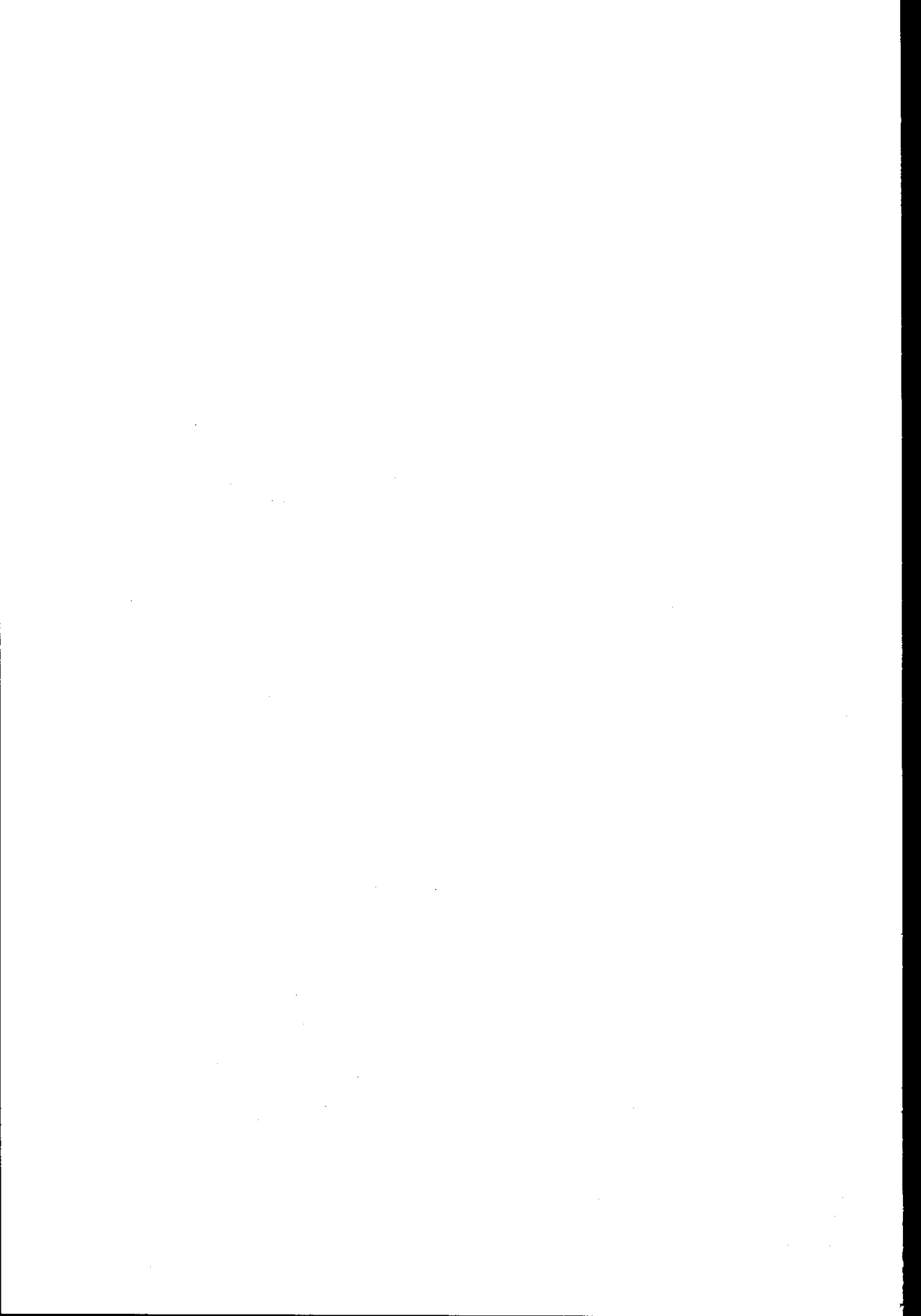
수요	부품 1	부품 2
10	0.3	-
20	0.4	0.2
30	0.3	0.6
40	-	0.2

[표5.2] 수요의 확률분포(t=9)

위의 실험에서 사용한 지표는 수요(demand)에대한 시스템의 성능 즉, 수요달성율을 다음과 같이 사용했다. $SP_i(\%) = \sum_j X_{ij} / \sum_j d_{ij} \times 100$ 이 결과는 평균으로 CHC는 140.3%, HC는 98.1% 및 TBC는 97.7%의 달성율을 보이고 있다. 이는 후자의 두 시스템의 경우 pull type의 통제방식을 취하므로 수요가 있으면 그양에 맞춘 생산을 수행하는데 비해, CHC는 push type의 생산통제를 하므로 기계의 유휴(idle)를 참지못하고 계속 밀어넣는 때문에 나온 결과이다.[그림5.1]



[그림5.1] 수요달성율 결과



VI. 결론 및 추후 연구방향

본 논문에서는 흐름 방식 FMS의 통제 문제를 다루었다. 흐름 통제에 있어서 일반적인 연구분야를 검토한 후, 계층적 통제모형과 M.H.Han and McGinnis의 통제모형을 분석하였고, 후자의 모형을 기본으로 하여 TOC의 개념을 준용하여 시스템적 통제를 했다. 그 내용을 다음의 4가지로 요약해 볼 수 있다.

첫째, 병목공정을 찾아내는 기법을 제안했으며, 통제의 초점을 이곳에 두었다. 그리하여 시스템적 통제 방법을 취하는 시발점이 되었으며, 부품투입량 (input sequencing)결정 문제를 다루었으며 여기서는 이 병목공정의 처리량에 맞추어 주도록 했다.

둘째, 병목공정에서의 생산 목표량 T를 유도하여 발견적인 해의 개선을 시도하였다. 이 목표량의 의미는 병목공정(bottle-neck)에서 유지하려는 재고량을 뜻하며, 다음 단계에서 풀려고 하는 최적화 문제의 기준치를 나타낸다. 이는 Han & McGinnis 시스템에서의 큰 수(big M)를 개선한 것이다. 또한 TOC의 입장에서 보았을 때 발견적으로 사용하는 재고유지 기준을 수리적으로 입증한 것이며, 병목공정을 찾는 방법 등 TOC에서 취약한 수리적 대안을 제시한 것이다.

셋째, 병목공정과 비병목공정을 구분하여 2 단계 통제를 하였다. 그 의미는 통제의 복잡도를 덜어주어 실제성을 높여준 것과, 재공재고(WIP) 수준을 낮추어 시스템의 몸을 가볍게 하여 통제가 진행됨에 따라 시스템의 진보를 기대

할 수 있게 했다는 점이다.

넷째, 여기서 사용한 통제 방식은 기본적으로 사건 기반 방식으로서 시스템의 상태 변동 시 마다 모수들을 바꾸어 주며, 각 단계에서 최적화 모형을 풀어 부품 선택 우선순위(priority dispatching)가 시스템 상태에 따라 결정되도록 했다. 또한 통제의 초점이 되는 병목공정도 시간 변동에 따라(dynamically) 바뀌는 것을 허용했다.

그리고 추후의 연구방향으로는 첫째, 공정균형화(Line Of Balancing)와 공정능력간의 관계를 규명하는 문제와 둘째, 통제기간(t)를 설정하는 문제 셋째, 병목공정버퍼의 크기에 대한 효과를 섭동(perturbation)분석하는 문제 및 TOC를 활용한 시스템 디자인문제 등이 있다.

參 考 文 獻

國內文獻

1. 강석호, 생산.운영관리, 경세원, 서울, 1994.
2. 장성용, "FMS의 생산계획 및 일정계획을 위한 통합적인 의사결정지원시스템", 서울대학교 공학박사학위논문, 1991.
3. 엄완섭, "기계고장과 가동준비작업을 고려한 FM/AS의 동적통제, 서울대학교 공학박사학위논문, 1992.

外國文獻

1. R. Akella, O. Maimon and S. Gershwin, "Value function approximation via linear programming for FMS scheduling", INT. J. PROD. RES. vol. 28 (8), 1990.
2. Hillier and So K. , " The effect of machine breakdowns and interstage storage on the performance of production line systems", INT. J. PROD. RES., vol. 29 (10), 1991.
3. B. Fox, "OPT An Answer For America", Inv.and Prod. Magazine, Nov-Dec. 1982.
4. Gershwin S. , "Hierarchical Flow Control : A Framework for Scheduling and Planning Discrete Events in Manufacturing Systems", proceedings of IEEE, vol. 77 (1), 1989.

5. Goldratt & Cox J. , "The Goal", Creative Output Inc., 1986.
6. ___ & Fox R., "The Race-For Compaititive Edge", Creative Output Inc. ,1990.
7. Han M. & Mcginnis L. F., "Flow control in flexible manufacturing: minimization of stockout cost", INT. J. PROD. RES., vol. 27(4), 1989.
8. Kochhar S. & Morris R., "Heuristic Method for Flexible Flow Line Scheduling", Journal of Manufacturing Systems, vol. 6 (4), 1988.
9. Ksiak A. . "FMS: a structural approach", INT. J. PROD. RES., vol.23 (6), 1985.
10. Lee Y. H. & Iwata, "Part Flow control in a FMS with Assembly Subsystem", KIE, 88-79, 1991.
11. Luebbe & Finch, "Theory of constraints and linear programming : a comparison" ,INT. J. PROD. RES., vol. 30 (6), 1992.
12. Maimon O. Z., "Real time operational control of flexible manufacturing systems", wk paper, 1990.
13. Raban & Nagel, "Constrint-based control of flexible flow lines", INT. J. PROD. RES., vol. 29 (10), 1991.
14. Ronen & Starr M., "Synchronized Manufacturing As In OPT", Computers Ind. Engng, 1990.
15. Wittrock, "Scheduling algorithms for flexible flow lines", IBM J. RES.DEVELOP. vol(29) (4),1985.