JIT생산시스템에서 부품공급업자를 고려한 혼합조립순서결정에 관한 연구

- Sequencing for Mixed-model Assembly Lines Considering Part Supplier in Just-in-time Production Systems-

남 궁 석*
Namkoong, Suk
이 상 용**
Yi, Sang Yong

ABSTRACT

This paper improves the autonomy for supplier's schedule and the flexibility of the final assembly line. The final assembly line is a single work station and each product taking different assembly time is considered. In the assembly schedule, the heuristic method based on the goal chasing method is used. Consequently, suppliers can independently determine their output rates and thus, change their workload pattern according to their needs and priorities. Moreover, this flexibility can help to avoid expensive final-assembly-line stoppages in case of sudden part supply disruptions. The sequencing method can be easily implemented into an existing just-in-time system. In addition, the mathematical model was formulated and the algorithm was explained through the flow chart. The numerical example was given and the efficiency of this method is shown through the analysis of computational results of that example.

Ⅰ. 서 론

매우 우수한 제조철학임에 의심할 여지가 없는 JIT생산방식은 오늘날 종종 비평의 초점이 되고 있다[1]. 필요한 시점에서 필요한 제품을 필요한 양만큼 생산하는 JIT생산기법은 제품간 교체(switch over)비용을 무시할 수 있는 혼합모형 생산시스템을 관리하기 위해서 사용될 수 있다. 이러한 기법의 목표는 재고과다나 재고부족을 발생시키지 않고 다양한 제품에 대한 고객의 수요를 만족시킬 수 있으므로 생산성과 품질을 종합적으로 관리해 나갈 수 있는 것이다.

다품종 혼합모델조립라인은 하나의 조립라인에서 여러 종류의 제품이 조립되는 것을 말한다. 다품종 혼합모델의 최종 조립라인에서는 소비자가 요구하는 서로 다른 선택사양의 조합을 갖는 제품이 순서적으로 조립된다. JIT생산시스템의 다품종 혼합모델 조립라인은 최종조립라인에 투입되는 제품의 조립순서를 결정함으로서 JIT철학이 실현된다.

* 건국대학교 산업공학과 박사과정
** 건국대학교 산업공학과 교수

JIT생산시스템의 다품종혼합모델 조립라인은 최종조립라인에 투입되는 제품의 조립순서를 결정함으로서 JIT생산시스템이 최적 상태에서 실현된다. 즉, 최종라인의 계획은 공정내에 있는 다른 하위공정들의 생산일정계획을 모두 결정한다. 따라서 각 공정들은 필요한 시간에 필요한 양의 부품조립을 라인의 지연없이 수행하게 된다[2].

최종조립라인은 월 1회 공급회사에 대한 기대생산량을 추정할 수 있도록 제공한다. 따라서 공급자들은 기대최대수요에 충족시키기 위하여 그들의 자원(인력,장비 등)을 재할당한다. 공급회사의 자원은 최대수요때 수요회사의 특별한 요구에 따라 약간의 변환만 하여준다면 더욱 경제적으로 사용할 수 있을 것이다[3].

결과적으로 커다란 회수(Withdrawal)량은 생산률을 최대로 할 수 있을 때의 시간 또는 공급자의 작업부하가 작을 때의 시간에 동시에 일어난다. (공급자의 공장이 부품공정의 변환이 필요없는 특별한 경우 일 때) 자동차산업에서 뿐만 아니라 전기산업에서도 종류가 다양한 최종조립제품에 대한 유사한 부품의 부분조립을 사용한다[4]. 이후로 공급자들은 단지 하나뿐만이 아니라 여러가지 다른 최종조립라인을 사용하였다. 작업부하의 변화를 고려하여 볼때 가장 크거나 가장 작은 수의 콘테이너가 최종조립라인에 의해 회수(Withdrawal)된다면 심각한 작업부하변동이 발생할 것이다. 또한 공급자는 특정기간동안 낮거나 높은 생산률을 원할 수도 있다. 예를 들면 새로 설치된 장비나 보전활동은 일시적으로 더욱 낮은(높을 수도 있는)가동율이 바람직할 것이다. 단 한가지 부품일지라도 부품의 흐름에 방해(jam) 또는 생산에 문제발생되어 갑작스러운 부품공급파괴가 발생된다면 불가피하게 최종조립라인은 정지되어야 하는 경우가 발생할 것이다. 이것은 생산공정에 빠르게 영향을 주며 이러한 라인의 정지는 엄청난 손실이 발생한다. 이러한 환경을 부드럽게 조정하기 위하여 오늘날 악화되는 부품흐름상황에 많은 관심이 집중되고 있다[5].

현존하는 모든 최종조립순서결정법은 유사한 가정과 생산평준화에 목적을 두고 접근하고 있다. 제품조립순서결정의 기초사고는 각 부품형태는 최종조립라인에서 일정비율로 소비되어야 한다는 것이나 문제의 복잡성 때문에 JIT 공급라인에 의하여 부품이 공급되어야만 하는 모든 부품이 일정비율로 소비된다는 것은 불가능하다. 이러한 상황에 맞추어 부품에 대한 수요를 공급하고 자원을 알맞게 재할당하는 것은 공급자의 궁극적인 책임이다. 그러나 공급회사의 긴박한 상황이 발생되어 갑작스러운 부품공급파괴의 경우 생산라인이 정지하므로 커다란 손실이 발생된다. 지금까지의 최종조립순서결정법은 일정소비율을 유지하기 위한 단지 기법의 차이에 불과하다[6][7][8][9][10][11].

따라서 본 논문의 목적은 공급자생산라인의 이상으로부터 발생되는 부품공급파괴를 피할 수 있는 유연성을 가진 혼합조립스케줄을 구축하는 것이다. 목표추적법을 이용하여 가능한한 변동을 최소화하고자 노력하였다. 그리고 각 제품의 조립시간을 고려하여 현실에 좀더 가깝게 접근하고자 한다. 이러한 시스템의 구축으로 최종조립라인의 더높은 유연성 그리고 공급자의 더 많은 자율성이 주어질 것이다.

본 논문의 연구방법은 전적으로 다른 접근법을 제시하였다. 최종조립라인은 다음의 연속적인 생산주기을 위한 각 부품의 요구량을 구체적으로 명시하였고, 일정한 작업부하로 제조하기 위하여 공급공정은 콘테이너단위의 공급일정을 제안하였다. 특별한 고객이 특정 시기에 특정 생산율을 원한다면 이것은 공급자에게 최적의 방법으로서 자원을 효율화시키기 위한 기회가 될 것이다. 최종조립라인은 콘테이너 공급스케줄에 상세히 명기된 것처럼 소요부품에 따른 조립순서가 발생된다. 따라서 자원은 최적일 때 사용될 것이고 제조시스템의 모든 생산이 지원된다.

본 연구에서 개발하고자 하는 모형은 단일조립공정의 다품종 혼합조립스케쥴링모델의 목표추적법을 기초로하여 ① 공급자의 부품공급스케쥴을 고려하며 ② 각각 다른 부품, 다른 조립시간을 고려하며 ③ 최종조립라인의 유연성을 향상시킬 수 있는 새로운 해법을 개발하여 혼합조립공정의 제품의 투입순서를 제안하고자 한다

또한 알고리즘이 해법으로서 가치를 갖는가를 확인하기 위하여 수치예를 들어 그 결과를 통하여 알고리즘의 타당성을 검증하고자 한다. 위에서 검증된 알고리즘의 결과와 기존연구자들이 제시한 결과치를 비교 분석하고자 한다.

Ⅱ. JIT생산시스템과 스케줄링

1970년대 후반부터 JIT 생산시스템은 생산 실무자 뿐만아니라 연구자들로부터 많은 관심을 끌었다. JIT의 철학은 도요다 자동차 회사에서 개발되어 실행되었다[12]. 1970년대 이후 많은 일본회사와 서양에 있는 회사들은 도요다 생산 시스템을 채택했다[13]. JIT의 철학은 실제로 미국 수퍼마켓에서 손님들이 재고를 비우자 마자 선반을 채우기 위해 사용된 체계로부터 시작되었다. 도요다 JIT 시스템의 첫 번째 목표는 낭비제거를 통한 비용절감이다. JIT의 철학은 생산에 필요한 최소 양을 초과하는 것은 낭비라는 것이다. 이 의미에서 낭비는 생산시스템에서 문제의 주원인일 것이다. 특히 과잉재고는 '낭비'로서 검토되어질 것이다.

비용절감 목표 이외에 3개의 목표를 획득할 수 있다. 이것은 품질관리, 품질보증, 인간에 대한 기대이다. 품질관리를 통하여 시스템은 수요량의 변동성과 생산 공정에서 발생하는 무작위성을 적용할 수 있다. 품질보증은 각 공정이 다음 공정에 좋은 제품을 공급하도록 요구한다. 그러므로 시스템은 인력자원이 스스로 일을 하게 하여, 이들의 책임을 달성하게 하고, 인간성이 배양되는 것을 기대할 수 있다. 이 철학의 결과로서 작업자들은 낭비동작을 제거함으로서 일의 가치 뿐만아니라 작업장에서 작업, 정지, 작업향상에 대한 권한과 책임을 가진다. 이 높은 수준의 책임감은 작업자들이 높은 도덕성을 유지하는 것을 돕는다. 3개의 JIT목표는 주목표인 비용절감을 얻기 위해 함께 실시된다.

비록 JIT를 적용한 각 공장이 이들의 단일 요구에 맞춰진 시스템을 완성하지만, 모든 적용들에 대한 기초적인 일반 규칙은 JIT가 공정재고와 변동을 최소화하기 위하여 단지 필요한 제품을 필요한 양만큼 필요한 시간에 생산하는 것을 요구한다. 제조환경에서 JIT는 선행공정에 의해 만들어진 부분조립들이 필요한 시간에 필요로하는 양만큼 최종 조립라인에 도착한다는 것을 의미한다. 이것이 어떤 적용에 맞춰지더라도 JIT는 생산제어 시스템보다는 총시스템 개념으로 이해되어야 한다. JIT의 다양한 구성요소들이 조직의 최상위로부터 비용절감을 하기 위해 작업장까지 개개인과 그룹 상호간에 영향을 준다.

JIT 주창자들은 변화에 대응, 시각화, 쉬운 생산 관리의 향상 뿐만아니라 리드타임, 스크랩(scrap), 공정작업, 최종제품 재고, 준비시간을 줄이는 것을 포함하는 이익을 주장한다. 만약 JIT 시스템이 알맞게 수행되고 유지된다면 실제 비용절감은 회사의 경쟁력을 높이게 된다.

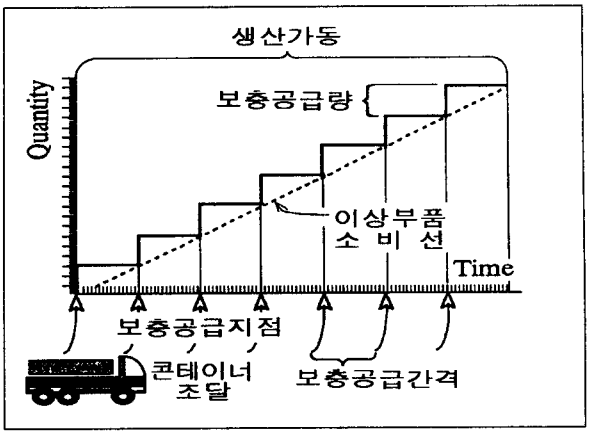
그러나 JIT는 모든 생산시스템의 모든 문제점을 해결 해주는 것은 아니다. JIT는 반복작업, 비교적 짧은 준비시간, 수요의 변동이 작은 특성을 가진 생산시스템에서 가장 효과적이라고 일반적으로 알려졌다. 더나아가 JIT의 일부 특징은 일본문화의 특성에 의존하고 다른 국가에서 쉽게 모방할 수는 없다.

Ⅲ. 수리모델

3-1 생산모델

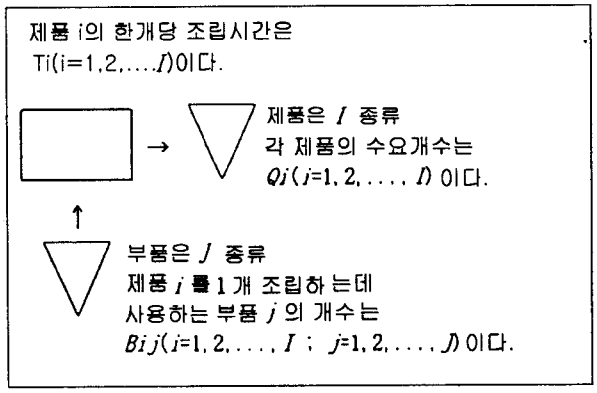
본 논문에서 다루고자 하는 생산모델은 (그림 3-1)과 같다.

위의 (그림 3-1)에서 부품공급지점에서 공급업자의 스케줄에 따라 부품이 공급되며 계단형태의 높이는 보충공급량을 나타낸다. 또한 점선은 이상적인 부품소비율을 나타내며 부품의 조달은 콘테이너 단위로 이루어진다.



(그림 3-1) 기본 생산모델

부품조립 모델은 (그림 3-2)과 같다. 단일조립공정에서 다른 I종류의 제품이 조립되고, 생산계획기간중 각각의 제품수요개수는 Q_i라하고 이 제품을 조립하는데 사용하는 부품은 J종류라고 한다. 한 개의 제품 i를 조립하는데 사용되는 부품 j의 개수 즉, 사용부품구성을 B_{ij}라하고 T_i 는 제품 i 의 개당 조립하는 시간을 의미한다.



(그림 3-2) 부품조립 모델

3-2 가 정

본 논문의 가정은 다음과 같다.

(1) 각 제품의 조립시간은 서로 다르다.
(2) 모든 제품은 단일조립공정에서 조립한다.
(3) 동시에 2개이상의 제품을 조립하는 것을 불가능하다. 즉, 한 제품의 조립을 시작하여 완료할 때까지 다음 제품의 조립을 시작할 수 없다.
(4) 준비시간은 선행조립제품에 대하여 독립적이다. 준비시간은 조립시간에 포함한다.

(5) 선 · 후행 제품의 조립작업간에는 유휴시간이 없다.
(6) 미리 결정된 보충간격에서 최종조립라인에 콘테이너 단위로 부품이 공급된다.
(7) 첫 번째 공급보충은 생산가동과 동시에 시행되며 적어도 한 번은 보충된다.

3-3 기호

본 논문에서는 다음과 같은 기호를 사용하고 있다.

i: 제품 번호 ($i=1,2,\ldots,I$)

j: 부품 번호 ($j=1,2,\ldots,J$)

C_j^{Tot}: 공급되는 총 콘테이너 수

$\overline{C_j}$: 공급되는 평균 콘테이너 수

H_j: 보충공급지점

V_j: 표준콘테이너의 부피

ap_j^k: 작업순서 k에서 사용할 수 있는 부품의 양

Q_i: 계획기간에 조립하고 있는 제품 i의 개수

K : 계획기간에 조립하고 있는 제품의 총개수

B_{ij} : 제품 i 를 1개 조립하는데 사용되는 부품 j의 개수

N_j : 계획기간에 모든 제품 i ($i=1,2,\ldots,I$)를 조립하는데 사용되는 부품 j의 총개수

T_i : 제품 i 의 개당 조립시간

k : 공정에 할당된 작업순서의 번호

i^* : 할당된 제품의 번호

S_k: 작업순서 1부터 k까지 스케쥴링된 제품의 집합

$$S_k = S_{k-1} + \{i^*\} \tag{3-1}$$

$$S_0 = \phi$$

t_k : 작업순서 1부터 k까지 소요되는 조립시간

$$t_k = \sum_{h \in S_k} T_h \tag{3-2}$$

$$t_0 = 0$$

t_K : 작업순서 1부터 모든 제품을 완성할 때까지 소요되는 조립시간

a_j^k : 작업순서 1부터 k까지 실제소비시간에서의 부품 j의 총개수

$$a_j^k = \sum_{h \in S_k} B_{hj} \tag{3-3}$$

$$a_j^0 = 0$$

$a_{j(i)}^k$: 작업순서 k에 제품 i ($i=1,2,\ldots,I$)를 할당할 경우, 작업순서 1부터 k까지 실제소비시간의 부품 j의 총개수

d_j^k : 작업순서 1부터 k까지 이상적인 소비시간에서의 부품 j의 총량

E_{ij} : 제품 i를 1회조립하는데 이상적인 소비시간에서의 부품 j의 총량

$d_{j(i)}^k$: 작업순서 k에 제품 i ($i=1,2,\ldots,I$)를 할당하는 경우에는 작업순서 1부터 k까지 이상적인 소비시간에서의 부품 j의 총량

v_i^k : 작업순서 k에 제품 i ($i=1,2,\ldots,I$)를 할당할 경우 얻는 변동

3-4 평준화 절차

각 부품의 요구량은 각 제품의 생산량에 따라 계산된다.

$$N_j = \sum_{i=1}^{I} (Q_i \cdot B_{ij}) \tag{3-4}$$

이전의 생산으로부터 남은 부품을 고려하여 각 부품을 공급하기 위한 총 콘테이너수는 다음과 같다.

$$C_j^{Tot} = [\frac{N_j - RP_j}{V_j}]_+ \tag{3-5}$$

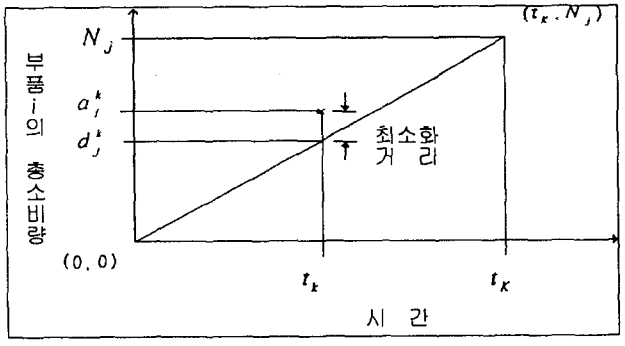
여기서 $[X]_+$는 정수로 올림을 의미한다.
각 보충지점에서 공급하기 위한 평균 콘테이너양은 다음과 같다.

$$\overline{C_j} = \frac{C_j^{Tot}}{H_i} \tag{3-6}$$

C_j^{Tot}에 기초하여 각 공급자들은 각 공급지점에서의 공급량 $C_j(h_j)$에 대한 선호하는 콘테이너 공급스케줄을 자유롭게 제안할 수 있다. 이 스케줄은 다른 공급자에게 방해를 받지 않고 최종조립라인에 도착해야 한다.

3-5 평가와 선택절차

(그림 3-3)의 횡축은 제품의 조립완료시각 (t_k: $k=1,\ldots,K$)을 나타내며 종축은 부품 j의 소비량을 나타낸다. 여기에 이상적인 부품소비량 (d_j^k: $k=1,\ldots,K$)과 실제소비량 (a_j^k: $k=1,\ldots,K$)을 표시하고 있다. 이 그림에서 k개의 제품과 또는 제 k번째 순서에 의해 제품을 완료하는 점 (t_k)에서 이상적으로는 d_j^k개, 실제는 a_j^k개의 부품 j가 소비되는 것을 알 수 있다.



(그림 3-3) a_j^k, d_j^k 와 t_k 의 관계

스케쥴링 모델의 목표는 계획기간에 각각의 부품소비속도를 일정하게 하는 것이다. 즉, 부품소비량을 시간에 비례시키는 것이다. 따라서 (그림 3-3)과 같이 계획기간동안 조립시작시각의 부품소비량 좌표 (0,0)으로부터 조립완료시각 (t_k)과 부품소비량의 좌표 (t_k, N_j)에 이르기까지 하나의 직선을 그려야 한다. 다양한 제품 i를 어떠한 순서에 의해 실제 소비되는 부품의 양

을 부품소비량의 이상선에 가장 가까이 접근 시킬수록 최적에 가깝게 도달한다. 부품소비량의 이상선에 관계되는 요소로는 시간(횡축), 소비된 부품의 개수(종축), 사용부품구성 (B_{ij})에 대한 조립시간 (T_i)를 고려하여, 각 작업순서에 적절한 제품을 할당하여 조립스케쥴을 작성한다.

콘테이너 회수(Withdrawal) 스케줄에 기초하여 최종조립라인은 단계적으로 이상선에 가깝게 조립순서를 결정한다. 그러나 공급업자의 상황이 어려울 경우 최적상태일 때보다 변동이 더 크게 될 것이다.

조립순서를 평가하기 위하여 각 제품의 변동 (v_i^k)을 구하며 최소의 변동을 선택한다. 계산식과 과정은 다음과 같다.

다음에 표시되고 있는 모든 i, j는 각각 $(i=1,2,\ldots,I), (j=1,2,\ldots,J)$로 한다.

첫 번째로 계획기간에 조립하는 있는 제품의 총개수 K를 구한다.

$$K=\sum_{i=1}^{I} Q_i \tag{3-7}$$

다음으로 모든 제품을 완성할 때까지 소요되는 총조립시간 t_K를 구한다. 이것은 각 제품수에 각 제품의 조립시간을 곱한 것의 합이다.

$$t_K=\sum_{i=1}^{I}(Q_i \cdot T_i) \tag{3-8}$$

제품 i를 1회 조립하는데 이상적인 소비시간에서의 부품 j의 총량 E_{ij}는 다음과 같다.

$$E_{ij}=\frac{T_i}{t_K} \cdot N_j \tag{3-9}$$

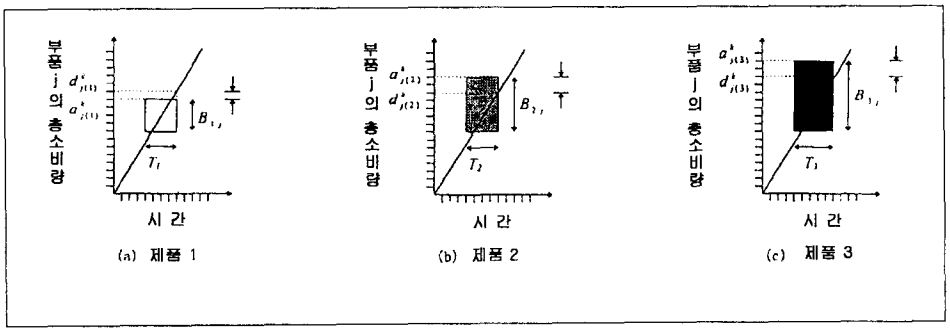
작업순서 k에 제품 i $(i=1,2,\ldots,I)$를 할당하는 경우에는 작업순서 1부터 k까지 이상적인 소비시간에서의 부품 j의 총량 $d_{j(i)}^k$는 다음과 같다.

$$d_{j(i)}^k=\frac{t_{k-1}+T_i}{t_K} \cdot N_j \tag{3-10}$$

$$= d_j^{k-1}+E_{ij} \tag{3-11}$$

작업순서 k에 제품 i $(i=1,2,\ldots,I)$를 할당할 경우, 작업순서 1부터 k까지 실제소비시간의 부품 j의 총개수 $a_{j(i)}^k$는 다음과 같다.

$$a_{j(i)}^k = a_j^{k-1}+B_{ij} \tag{3-12}$$



(그림 3-4) 제 k번째에 제품을 선택하는 방법

스케줄링을 작성할 때에 작업순서 k에 선택된 제품은 각 제품의 조립시간 (T_i)과 부품 j의 사용량 (B_{ij})을 고려하여 현재까지의 실제부품소비량 (a_j^k)을 부품소비량의 이상선에 가장 가까이 접근하는 제품이다. 예를 들어 (그림 3-4)의 (a),(b),(c)에는 각각 3개 제품의 조립시간 (T_1, T_2, T_3)과 사용하고 있는 부품 j의 개수 (B_{1j}, B_{2j}, B_{3j})를 표시하고 있다. 이 예에서 할당된 제품은 (그림 3-4(a))에 나타난 부품소비량이 이상형태에 가장 가까이 접근하며 $a_{j(1)}^k$로 표기되는 제품1이다.

작업순서 k에 제품 i ($i=1,2,\ldots,I$)를 할당할 경우의 변동, 여기서 변동은 작업순서 1부터 k까지 관계되는 각 부품의 이상적인 소비량과 실제소비량 차의 제곱총합의 근을 구한 값으로 v_i^k는 다음과 같다.

$$v_i^k=\sqrt{\sum_{j=1}^{J}(d_{j(i)}^k-a_{j(i)}^k)^2} \qquad (3\text{-}13)$$

각 작업순서에 있어서 이상적인 부품소비량과 실제의 부품소비량의 차이를 계산하고 이것의 총합을 최소화할 수 있도록 유도한다.

$$Min \quad \sum_{k=1}^{K}\sqrt{\sum_{j=1}^{J}(d_j^k-a_j^k)^2} \qquad (3\text{-}11)$$

제 4 장 알고리즘의 개발

혼합조립공정에서 공급자의 부품공급 스케줄링을 고려한 제품조립순서의 알고리즘은 다음 단계와 같다.

[단계 1] I, J, T_i, B_{ij}, V_j를 입력한다.

[단계 2] N_j를 구한후 C_j^{Tot}를 구한다.

[단계 3] 보충공급지점 H_j는 3지점이므로 공급자의 스케줄에 따라 3지점으로 분류공급한다 (가능한한 평준화한다).

[단계 4] 총제품수 K를 구한다.

[단계 5] 보충공급지점에 도착했을 때 사용할 수 있는 부품의 양 ap_j^k를 구한다.

$$ap_j^k = C_j^S \times V_j + RP_j^k \qquad (4\text{-}1)$$

보충공급지점에 도착하지 않았을 때는 [단계 6]으로 간다.

[단계 6] 제품 i를 1회조립하는데 이상적인 소비시간에서의 부품 j의 총량(E_{ij}), 이상소비량 ($d_{j(i)}^k$)과 실제소비량($a_{j(i)}^k$)을 구한다.

[단계 7] 변동 v_i^k를 구하여 오름순으로 나열한다.

[단계 8] 최소 v_i^k를 선택한다.

[단계 9] $ap_j^k < B_{ij}$ 또는 $Q_i = 0$ 이면 [단계 8]로 돌아가 최소변동을 지우고 두번째최소변동을 선택한다 (조건만족시까지 반복).

$ap_j^k > B_{ij}^*$ 이면 [단계 10]으로 간다.

[단계 10] 제품 i^*가 선택되면

$ap_j^k = ap_j^k - B_{ij}$, $Q_i = Q_i - 1$, $S_k = S_{k-1} + \{i^*\}$, $t_k = t_{k-1} + T_i$을 계산한다.

[단계 11] $K=k$이면 정지하고 $K\neq k$이면 $k=k+1$로하여 [단계 5]부터 반복한다.

공급자의 부품공급 스케쥴링을 고려한 혼합제품조립순서의 알고리즘은 (그림 4-1)과 같다.

제 5 장. 수치예

5-1. 공급자의 상황을 고려한 혼합조립스케쥴링

4장의 알고리즘을 구체적으로 설명하기 위하여 다음의 문제조건을 공급자의 상황을 고려하여 스케줄을 작성한다.

단일조립공정에서 각각 다른 부품 8종류를 사용하여 각각 다른 10종류의 제품을 조립한다. 자세한 내용은 <표 5-1> 과 같다.

알고리즘에 따라 다음과 같이 스케쥴링을 한다.

[단계 1] 데이터의 준비

· 데이터 입력: (표 5-1)에 나타난 바와 같이

$I=10, J=8,$

$T_i=(8,8,8,7,7,8,8,8,7,7),$

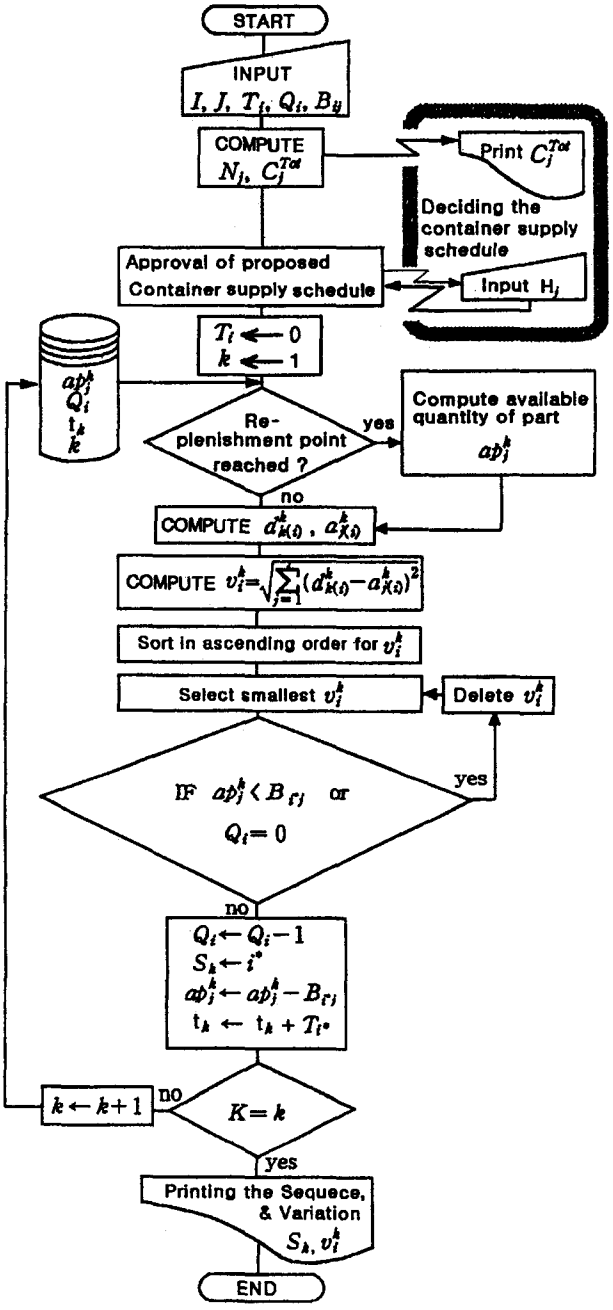
$Q_i=(2,3,5,7,5,3,5,5,7,4)$

$V_j=(4,4,3,4,3,7,10,4)$ 및 B_{ij}를 입력한다.

· 초기값의 설정: $S_0=0, t_0=0, a_j^0=0, d_j^0=0, k=1$ 로 한다.

<표 5-1> 각 제품에 대한 사용부품 구성

		Q_i	T_i	부품j							
				1	2	3	4	5	6	7	8
제품 i	1	2	8	1	0	1	0	0	2	0	1
	2	3	8	1	0	1	0	0	0	2	1
	3	5	8	1	0	0	1	0	0	2	1
	4	7	7	1	0	0	1	0	2	0	0
	5	5	7	1	0	0	0	1	0	2	0
	6	3	8	0	1	1	0	0	2	0	1
	7	5	8	0	1	1	0	0	0	2	1
	8	5	8	0	1	0	1	0	0	2	1
	9	7	7	0	1	0	1	0	2	0	0
	10	4	7	0	1	0	0	1	0	2	0



(그림 4-1) 본 알고리즘의 흐름도

<표 5-2> 각 제품의 조립을 위한 예비데이터 값

		부품j							
		1	2	3	4	5	6	7	8
단계 2	N_j	22	24	13	24	9	38	54	23
	V_j	5	7	6	7	4	9	10	7
	C_j^{Tot}	5	4	3	4	3	5	6	4
	H_j	3	3	3	3	3	3	3	3
단계 3	C_j^s1	2	2	1	2	1	2	2	2
	C_j^s2	2	2	1	2	1	1	2	2
	C_j^s3	1	0	1	0	1	2	2	0

$E_{ij}=$

0.5101 0.5565 0.3014 0.5565 0.2087 0.8812 1.2522 0.5333
0.5101 0.5565 0.3014 0.5565 0.2087 0.8812 1.2522 0.5333
0.5101 0.5565 0.3014 0.5565 0.2087 0.8812 1.2522 0.5333
0.4464 0.4870 0.2638 0.4870 0.1826 0.7710 1.0957 0.4667
0.4464 0.4870 0.2638 0.4870 0.1826 0.7710 1.0957 0.4667
0.5101 0.5565 0.3014 0.5565 0.2087 0.8812 1.2522 0.5333
0.5101 0.5565 0.3014 0.5565 0.2087 0.8812 1.2522 0.5333
0.5101 0.5565 0.3014 0.5565 0.2087 0.8812 1.2522 0.5333
0.4464 0.4870 0.2638 0.4870 0.1826 0.7710 1.0957 0.4667
0.4464 0.4870 0.2638 0.4870 0.1826 0.7710 1.0957 0.4667

[단계 2] 예비데이타를 구한다. <표 5-2>의 [단계 2]와 같다.

$N_j=(22,24,13,24,9,38,54,23)$,

[단계 3] 보충지점에 따라 공급되는 콘테이너의 투입스케줄을 공급업자의 상황에 따라 계획한다. <표5-2>의 [단계 3]과 같다.

[단계 4] 총 제품수는 $K=46$, $t_K=345$,

[단계 5] 보충공급지점에 도착했을 때는 다음의 식에 의하여 이용할 수 있는 부품을 구한다.

$$ap_j^1=(8,8,6,8,3,14,20,8)$$

[단계 6] 제품 i를 1회조립하는데 이상적인 소비시간에서의 부품 j의 총량 E_{ij}를 계산한다. 조립순서 $k=1$에서는 $d_{j(i)}^1$는 E_{ij}와 같고 $a_{j(i)}^1$는 <표 5-1>의 B_{ij}와 같다.

[단계 7] v_i^k를 오름차순으로 나열한다.

$v_8^1=1.5302$, $v_3^1=1.5602$, $v_7^1=1.6887$, $v_2^1=1.7159$, $v_{10}^1=1.7514$,

$v_5^1=1.7744$, $v_9^1=1.9384$, $v_4^1=1.9592$, $v_6^1=2.0822$, $v_1^1=2.1044$

[단계 8] v_i^k중 최소치 $v_8^1=1.5302$를 선택한다.

[단계 9] $ap_j^1 > B_{8j}$ 이므로 [단계 10]으로 간다.

[단계 10] 최소변동 제품 $i^*=8$을 선택한 후 ap_j^k, Q_i, t_k, S_k를 계산한다.

$ap_j^1=(8,7,6,7,3,14,18,7)$

$Q_i=(2,3,5,7,5,3,5,4,7,4)$

$t_1=8$, $S_1=\{8\}$

[단계 11] $K=k$이면 정지하고 $K\neq k$이면 $k=k+1$로하여 [단계5]부터 반복한다.

5-2 비교분석

JIT에서 혼합조립스케쥴링의 여러상황을 비교분석하기 위하여 보충공급 투입량은 다음의 <표 5-3, 4>와 같다.

조립스케쥴링의 최적은 <표 5-5>이고 공급자의 스케쥴을 고려한 조립스케쥴은 <표 5-6>, 그리고 부품공급파괴이 파괴되는 경우의 조립스케쥴은 <표 5-7>과 같다.

<표 5-5>에서 보는 바와 같이 최적일 경우의 총변동은 52.6264이다.

<표 5-3> 공급자의 부품공급 스케쥴링

	부품j							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C_j^s1	2	2	1	2	1	2	2	1
C_j^s2	2	0	1	2	1	1	2	2
C_j^s3	1	2	1	0	1	2	2	1

<표 5-4> 부품공급파괴 경우의 공급자스케쥴링

	부품j							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C_j^s1	1	2	1	2	1	2	2	0
C_j^s2	2	2	1	2	1	1	2	2
C_j^s3	2	0	1	0	1	2	2	2

공급자스케쥴을 고려한 <표 5-6>를 분석하여 보면 조립순서(16)의 선택제품은 4이며 부품8은 누적부품수가 7개이고 변동은 1.753이다. 이것은 부품8의 공급이 부족하여 최소변동인 1.3541의 제품1을 선택하지 못하고 실행가능해중 최소변동인 1.753의 제품4를 선택하였음을 알 수 있다. 이것이 의미하는 바는 부품8의 부족으로 생산라인이 정지되어야 할 것을 실행가능한 제품4를 선택하여 조립하므로 커다란 손실을 발생시키는 생산라인의 정지를 피할 수 있음을 보여주었다. 또한 조립순서(26)이후로 부품2에서 부품의 부족으로 인하여 부품2를 사용하는 제품을 제외한 다른제품을 조립하다가 부품이 투입되는 240분 이후인 조립순서(34)부터 부품2를 사용하는 제품을 조립함을 알 수 있다. 총변동 또한 74.3977로 커졌음은 당연하다.

부품공급이 파괴되는 경우인 <표 5-7>를 분석하여 보면 부품8을 투입하지 않았기 때문에 이것을 사용하지 않는 제품 4, 5, 9, 10 중에서 스케쥴링되었고 사용된 누적부품량은 (5, 4, 0, 4, 5, 8, 10, 0)이다. 초기에 투입된 콘테이너를 이용할 수 있는 부품(a_j^k)로 바꾸면 (5, 14, 12, 7, 0, 9, 20, 0)이므로 이용할 수 있는 부품(a_j^k)에서 사용된 부품량을 빼면 (0, 10, 12, 3, 3, 1, 10, 0)이다. 이 부품으로 조립할 수 있는 제품은 제품10이나 이미 수요량 4개를 채웠으므로 조립할 필요가 없고, 제품9를 조립하기 위해서는 부품8이 부족함을 알 수 있다. 이러한 경우 생산라인이 정지되므로 부품공급자에게 이러한 정보를 제공하고 스케쥴을 수정해 줄 것을 요청하여 새로운 스케쥴을 작성한다.

<표 5-5, 6, 7>를 종합하여 분석할 때 가능한한 최적스케쥴에 알맞는 부품공급이 이상적이나, 공급업자가 최적스케쥴링에 알맞는 부품을 공급하지 못하는 경우 실행가능해 중 최소의 변동으로 스케쥴을 작성하여 큰 손실을 주는 생산라인의 정지를 피할 수 있음을 보여 주었다.

<표 5-5> 최적 조립스케쥴링

순서	제품	시간	사용부품								변동
(1)	8	8	0	1	0	1	0	0	2	1	1.5302
(2)	1	16	1	1	1	1	0	2	2	2	1.2409
(3)	10	23	1	2	1	1	1	2	4	2	1.2561
(4)	4	30	2	2	1	2	1	4	4	2	1.0270
(5)	8	38	2	3	1	3	1	4	6	3	0.9353
(6)	2	46	3	3	2	3	1	4	8	4	1.6865
(7)	9	53	3	4	2	4	1	6	8	4	0.9045
(8)	5	60	4	4	2	4	2	6	10	4	1.0435
(9)	9	67	4	5	2	5	2	8	10	4	1.2177
(10)	2	75	5	5	3	5	2	8	12	5	0.5568
(11)	9	82	5	6	3	6	2	10	12	5	1.4514
(12)	2	90	6	6	4	6	2	10	14	6	0.8431
(13)	8	98	6	7	4	7	2	10	16	7	1.3484
(14)	4	105	7	7	4	8	2	12	16	7	1.2631
(15)	10	112	7	8	4	8	3	12	18	7	0.8445
(16)	1	120	8	8	5	8	3	14	18	8	1.3541
(17)	8	128	8	9	5	9	3	14	20	9	0.6478
(18)	5	135	9	9	5	9	4	14	22	9	1.4859
(19)	9	142	9	10	5	10	4	16	22	9	0.8007
(20)	7	150	9	11	6	10	4	16	24	10	1.2251
(21)	4	157	10	11	6	11	4	18	24	10	1.0373
(22)	3	165	11	11	6	12	4	18	26	11	0.9644
(23)	7	173	11	12	7	12	4	18	28	12	1.6367
(24)	9	180	11	13	7	13	4	20	28	12	1.1304
(25)	5	187	12	13	7	13	5	20	30	12	1.0633
(26)	6	195	12	14	8	13	5	22	30	13	1.2942
(27)	3	203	13	14	8	14	5	22	32	14	0.8007
(28)	9	210	13	15	8	15	5	24	32	14	1.4859
(29)	5	217	14	15	8	15	6	24	34	14	0.6478
(30)	8	225	14	16	8	16	6	24	36	15	1.3541
(31)	4	232	15	16	8	17	6	26	36	15	1.3679
(32)	7	240	15	17	9	17	6	26	38	16	0.8520
(33)	4	247	16	17	9	18	6	28	38	16	1.5297
(34)	7	255	16	18	10	18	6	28	40	17	0.8932
(35)	5	262	17	18	10	18	7	28	42	17	1.4724
(36)	9	269	17	19	10	19	7	30	42	17	1.1076
(37)	3	277	18	19	10	20	7	30	44	18	1.3616
(38)	6	285	18	20	11	20	7	32	44	19	1.0435
(39)	3	293	19	20	11	21	7	32	46	20	1.1638
(40)	10	300	19	21	11	21	8	32	48	20	1.5335
(41)	4	307	20	21	11	22	8	34	48	20	1.1393
(42)	7	315	20	22	12	22	8	34	50	21	1.0270
(43)	4	322	21	22	12	23	8	36	50	21	1.2561
(44)	10	329	21	23	12	23	9	36	52	21	1.2409
(45)	6	337	21	24	13	23	9	38	52	22	1.5602
(46)	3	345	22	24	13	24	9	38	54	23	0.0000
									총변동		52.6264

<표 5-6> 공급자 스케줄을 고려한 조립스케줄링

순서	제품	시간	사용부품								변동
(1)	8	8	0	1	0	1	0	0	2	1	1.5302
(2)	1	16	1	1	1	1	0	2	2	2	1.2409
(3)	10	23	1	2	1	1	1	2	4	2	1.2561
(4)	4	30	2	2	1	2	1	4	4	2	1.0270
(5)	8	38	2	3	1	3	1	4	6	3	0.9353
(6)	2	46	3	3	2	3	1	4	8	4	1.6865
(7)	9	53	3	4	2	4	1	6	8	4	0.9045
(8)	5	60	4	4	2	4	2	6	10	4	1.0435
(9)	9	67	4	5	2	5	2	8	10	4	1.2177
(10)	2	75	5	5	3	5	2	8	12	5	0.5568
(11)	9	82	5	6	3	6	2	10	12	5	1.4514
(12)	2	90	6	6	4	6	2	10	14	6	0.8431
(13)	8	98	6	7	4	7	2	10	16	7	1.3484
(14)	4	105	7	7	4	8	2	12	16	7	1.2631
(15)	10	112	7	8	4	8	3	12	18	7	0.8445
(16)	4	119	8	8	4	9	3	14	18	7	1.7530
(17)	10	126	8	9	4	9	4	14	20	7	1.7976
(18)	7	134	8	10	5	9	4	14	22	8	1.9021
(19)	1	142	9	10	6	9	4	16	22	9	1.3024
(20)	3	150	10	10	6	10	4	16	24	10	1.1136
(21)	9	157	10	11	6	11	4	18	24	10	1.0373
(22)	3	165	11	11	6	12	4	18	26	11	0.9644
(23)	7	173	11	12	7	12	4	18	28	12	1.6367
(24)	9	180	11	13	7	13	4	20	28	12	1.1304
(25)	5	187	12	13	7	13	5	20	30	12	1.0633
(26)	6	195	12	14	8	13	5	22	30	13	1.2942
(27)	3	203	13	14	8	14	5	22	32	14	0.8007
(28)	4	210	14	14	8	15	5	24	32	14	1.6256
(29)	5	217	15	14	8	15	6	24	34	14	1.7133
(30)	3	225	16	14	8	16	6	24	36	15	2.6554
(31)	4	232	17	14	8	17	6	26	36	15	3.3542
(32)	5	239	18	14	8	17	7	26	38	15	4.1921
(33)	3	247	19	14	8	18	7	26	40	16	5.1806
(34)	6	255	19	15	9	18	7	28	40	17	3.9472
(35)	7	263	19	16	10	18	7	28	42	18	3.4936
(36)	9	270	19	17	10	19	7	30	42	18	2.5634
(37)	7	278	19	18	11	19	7	30	44	19	2.1693
(38)	9	285	19	19	11	20	7	32	44	19	1.5470
(39)	10	292	19	20	11	20	8	32	46	19	0.9045
(40)	8	300	19	21	11	21	8	32	48	20	1.5335
(41)	4	307	20	21	11	22	8	34	48	20	1.1393
(42)	7	315	20	22	12	22	8	34	50	21	1.0270
(43)	4	322	21	22	12	23	8	36	50	21	1.2561
(44)	8	330	21	23	12	24	8	36	52	22	1.3763
(45)	6	338	21	24	13	24	8	38	52	23	1.7744
(46)	5	345	22	24	13	24	9	38	54	23	0.0000
									총변동		74.3977

<표 5-7> 부품공급파괴의 경우의 조립스케줄링

순서	제품	시간	사용부품								변동
(1)	10	7	0	1	0	0	1	0	2	0	1.7514
(2)	4	14	1	1	0	1	1	2	2	0	1.3459
(3)	10	21	1	2	0	1	2	2	4	0	2.4330
(4)	4	28	2	2	0	2	2	4	4	0	2.6919
(5)	10	35	2	3	0	2	3	4	6	0	3.5206
(6)	4	42	3	3	0	3	3	6	6	0	4.0378
(7)	10	49	3	4	0	3	4	6	8	0	4.7427
(8)	4	56	4	4	0	4	4	8	8	0	5.3838
(9)	5	63	5	4	0	4	5	8	10	0	6.0782

조립순서 (10)에서 라인이 정지됩니다.

제 6 장 결 론

본 연구에서는 JIT생산라인의 다품종혼합조립스케줄링에 있어서 부품공급자의 작업부하와 각 제품의 조립시간이 다른 경우를 동시에 고려한 최종조립순서를 결정하기 위한 해법을 제시하였으며 그 기법은 두 가지 절차에 의하여 표현되었다. 첫째, 평준화 절차는 부품공급회사의 콘테이너 공급스케줄을 우선하였다. 두 번째는 조립순서를 평가하기 위하여 목표추적법에 기초한 휴리스틱 기법을 사용하였으며 실행가능한 것 중 최소의 변동을 탐색하여 제품을 선택하였다.

공급자의 부품공급스케줄을 고려하여 최종조립라인의 스케줄을 작성하였으므로 공급자의 자율성을 증가시켰다. 즉, 공급자가 어떤 시기에 생산율을 낮추기를 원한다면 부품소비율은 최종조립라인에서 조절되며 다른시기에 보충할 수 있게 되었다. 또한 최종조립라인의 유연성은 갑작스러운 부품공급파괴의 경우도 연속적인 생산이 가능하다. 그러므로 부품공급파괴로 인한 생산라인의 정지를 방지할 수 있기 때문에 손실을 줄일 수 있게 되었다. 또한 각 제품의 조립시간차를 고려하여 스케줄이 작성되었으므로 부품의 소비량 및 소비속도의 변동을 실행가능해 안에서 최소화하였으므로 현실에 좀더 가까이 접근하였다.

다품종혼합조립 스케줄링 알고리즘에 기초한 컴퓨터 프로그램은 제시한 기법의 유효성을 입증하기 위해 사용되었다.

앞으로의 연구과제로는 다단계 혼합조립공정으로 확장하여 하위공정의 각 부품의 조립시간과 공급일정까지 고려하는 것이며, 부품의 공급시기가 일정하지 않을 경우 최적조립생산스케줄의 연구이다. 이 연구가 실현될 때에 부품공급파괴로 인한 긴급한 상황에서의 유연성은 더욱 커질 것이다.

참고문헌

1) Hitomi, K., "Present Trends and Issues In Japanese Manufacturing and Management.", Technovation, Vol.12, pp.177-189, 1991
2) Joo, S.H., & Wilbert E. Wilhelm Production Planning & Control, "A Review of Quantitative Approaches in Just-In-Time Manufacturing", Vol.4 No.3, pp.207-222, 1993.

3) Pleschberger T. & Hitomi K., "Flexible Final-Assembly Sequencing Method for a JIT Manufacturing Environment", Int. J. Prod. Res., Vol.31, No.5, pp.1189-1199. 1993.
4) Lubben, R.T., "Just-In-Time Manufacturing, An Aggressive Manufacturing Strategy", New York: Mc-Graw Hill, 1988.
5) Pleschberger T. & Hitomi K., "Coping With Unstable Supply Situations In a Just_In-Time Environment." Proceedings of The 1990 Pacific Conference on Manufacturing, Sydny/Melbourne, pp. 1050-1057, 1990.
6) Groeflin, H., Luss, H., Rosenwein, M.B., and Wahls, E. T., "Final Assenbly Sequencing for Just-In-Time Manufacturing." Int. J. Prod. Res., Vol.27, pp.199-213, 1989.
7) Inmann, R. R., & Bulfin, R., "Sequencing Jit Mixed-Model Assembly Lines." Management Science, vol.37, pp.901-904, 1991.
8) Kotani, S., "Sequencing Algorithms for The Mixed-Model Assembly Line." Toyota Engineering, Vol.33, No.1, pp.31-38, 1983.
9) Luss, H., "Synchronized Manufacturing at Final Assembly and Feeder Shops." Int. J. Prod. Res., Vol27, pp.1413-1426. 1989.
10) Miltenburg, G.J., "Scheduling Mixed Model Assembly Lines for Just-In-Time Production Systems." Management Science, Vol.35, pp.192-207. 1989.
11) Miltenburg, G. J., and Sinnamon, G., "Scheduling Mixed-Model Multi-Level Just-In-Time Production Systems," Int. J. Prod. Res., Vol.27, pp.192-207, 1989.
12) Monden, Y, "Toyota Production Systems.", Industrial Engineering and Management Press, Atlanta, Georgia, 1983.
13) Mortiner, J., Just-in-Time an Executive Briefing (IFS., UK), 1986.