

시작시기와 납기를 고려하는 유연흐름공장의 일정계획*

이주한** · 김성식***

A Scheduling Scheme for Flexible Flow Shop with Release Date and Due Date

J. H. Lee · S. S. Kim

〈Abstract〉

This paper addresses a scheduling scheme for Flexible Flow Shop(FFS) in the case that a factory is a sub-plant of an electronic device manufacturing plant. Under this environment, job orders for the sub-plants in the production route are generated together with job processing time bucket when the customer places orders for final product. The processing time bucket for each job is a duration from possible release date to permissible due date. A sub-plant modeled FFS should schedule these jobs orders within time bucket.

Viewing a Printed Circuit Board(PCB) assembly line as a FFS, the developed scheme schedules an incoming order along with the orders already placed on the scheduled. The scheme consists of the four steps, 1)assigning operation release date and due date to each work cells in the FFS, 2)job grouping, 3)dispatching and 4)machine allocation. Since the FFS scheduling problem is NP-complete, the logics used are heuristic. Using a real case, we tested the scheme and compared it with the Johri's algorithm and other dispatching rules.

1. 서 론

현대의 제조환경의 특징은 제품에 대한 고객의 기호가 다양해지고, 주문이 정기적 또는 부정기적으로 발생하며, 취소와 변경되는 등 제조여건이 복잡하게 바뀌는 것이라 할 수 있다. 따라서 이러한 제조환경에 대응하기 위하여 기업의 생산형태도 소품종대량생산에서 다품종소량생산 또는 신속대용생산(Agile Manufacturing)으로 변화하고 있다. 이러한 경우에 생산관리의 주요목표는 다양한 주문(생산요구)을 최소한의 재고를 가지고 정하여진 납기를 맞추는 것이라 할 수 있으며, 이에 따라 제품생산과정에 놓이게되는 제조 현장들의 작업일정 계획도 주문(작업요구)을 중심으로 계획을 수립하여 관리하는

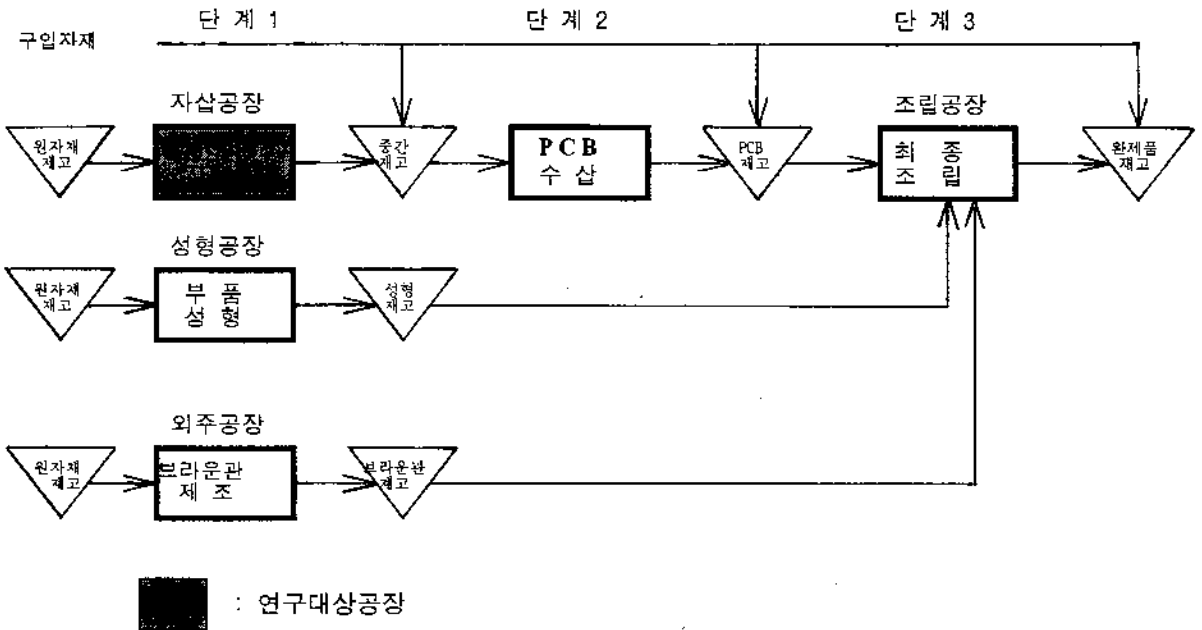
방법이 재고를 이용하는 방법보다 재고유지비용을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 주문 정보와 고객정보를 동시에 관리할 수 있는 장점을 갖게된다. 이러한 경우에 해당하는 회사로는 다양한 모델을 조립하는 최종제품 조립공장과 여기에 부품을 공급하는 중간제품 제조공장들로 이루어진 <그림 1>과 같은 Television 공장을 예로 들 수 있다.

이러한 회사들에서의 제품생산공정은 여러개의 공장을 거치는 형태이며 주문별로 원자재, 부품및 중간 조립품들이 이들 공장 사이를 흐르게된다. 따라서 한 공장에서 특정 주문의 작업가시점(Release Date)은 선행 공장으로부터 해당부품이 도착한 후가 될 것이다. 또한 완성된 제품의 납기를 맞추려면 공정상디 각각의 개별 공장에서는 주문에 대한 각 공장자체의

* 본 연구는 일부 고려대학교 교내 연구비의 도움을 받았음.

** LG-EDS시스템 CALS&CIM 연구소

*** 고려대학교 산업공학과



〈그림 1〉 Television 공장의 생산과정

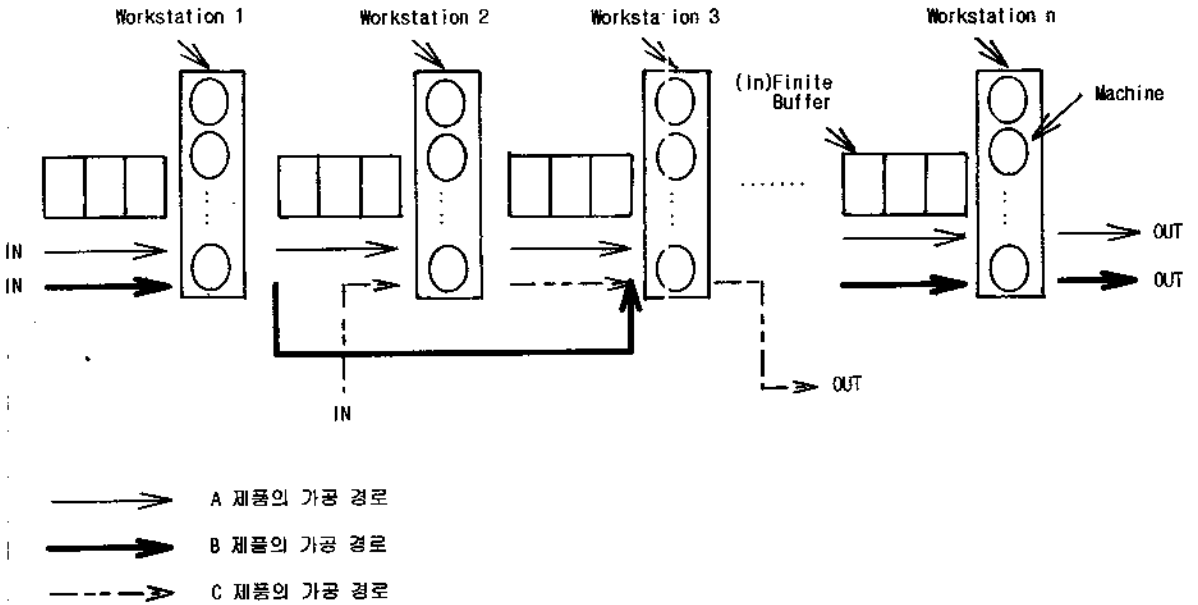
납기(Due Date)를 지키는 문제가 발생한다. 따라서 개별 공장은 주문에 대한 공장의 작업시작가능시점과 제품의 납기를 만족시키는 효율적인 작업일정계획을 수립하고, 수립된 계획을 수행해야 한다. 여기서 개별공장에서의 납기는 최종 완제품 조립 공장의 납기, 즉 고객에 대한 주문 납기로부터 후진 전개 방식에 의하면 구할 수 있다.

공정의 형태가 단순한 단일공정(→단방향 흐름생산방식(Flow Shop)->다양한 공정경로(route)가 존재하는 단방향 흐름생산방식(Flexible Flow Shop : 이하 FFS)->Job Shop 생산방식으로 복잡해질수록 작업현장의 운영목표에 부합하는 작업일정계획의 수립이 어려워진다. 작업시작가능시점과 납기가 동시에 존재하는 주문들의 작업일정계획 수립은 어려운 문제로 작업시작가능시점이 서로 다른 경우, Garey 와 Johnson[3]은 공정에서 단일기계(Single machine)로 단순화하여도 NP-complete임을 보이고 있어 그 이상의 복잡한 경우에는 더욱 해결하기 어려운 문제가 된다. 본 논문에서는 여러개의 작업장(workstation)으로 구성된 FFS의 일정계획 수립방안을 다루고자 하며, 이때 각각의 주문들은 라인상의 각 공장에서의 작업시작가능시점과 납기가 주어지는 경우이다. 한 작업장에서의 작업시작가능시점과 납기는 각각 선행 공정에서의 작업완료시간과 제품완성 공정에서의 납기를 바탕으로 계산되어진다.

본 연구는 이러한 환경에서 현실적으로 적용 가능한 일정계획 수립방법을 개발하는데 목적을 두었고 개발된 작업일정계획 방법은 가전제품을 생산하는 전자조립회사의 PCB(Printed Circuit Board) 조립 공장에 적용하여 실용화하였다. 이러한 공장의 경우는 제품인도 시기의 준수가 고객확보의 관건이 되기에 납기의 준수와 할 수 없이 지연이 발생하는 경우 납기지연 정도의 감소의 중요성은 절대적이다. 본 연구의 적용결과도 따라서 지연되는 주문의 수(Tardy)와 지연된 주문들의 지연시간(Tardiness)의 합을 성능평가의 척도로 설정하여 분석한다.

본 논문의 대상이 되는 FFS은 〈그림 2〉와 같이 여러개의 공정(Workstation)으로 구성되어 있으며, 각 공정은 서로 다른 복수개의 동일 기계(Identical Machine)가 병렬(Parallel)로 이루어진 기계군이다. 공정에서의 일단 시작된 가공은 방해받지 않으며(nonpreemptive) 일정한 작업준비 시간을 가지나 가공 시간은 제품의 종류에 따라 다르다.

FFS는 Flow Shop의 변형인 동시에 Job Shop의 특수한 경우로 작업일정계획의 수립에서 Garey 와 Johnson[2]은 두 개의 공정에서도 작업시작가능시점과 납기가 존재하면 NP-complete 문제임을 보이고 있다. FFS에서의 작업일정계획수립에 관한 연구로는 Witrock[13][14]이 제안한 3 단계(Machine Allocation, Sequencing, Timing)의 부분제(Sub problem)를 해



<그림 2> Flexible Flow Shop

결하면서 최종작업완료시간(makespan)을 최소화하는 해법이 있지만 Minimal Part Set(MPS)을 구성해야 하며 작업준비시간(Setup time)이 없고 각 공정에는 무한한 크기의 버퍼(infinite buffer)가 있다는 비현실적인 가정이 요구된다. 또한 Kochhar, Sandeep 과 Moris[9]는 처음 공정에 대상 작업물을 어떤 순서로 투입할 것인가를 결정(Entry Point Sequencing)하고, 작업 경로 상의 공정별로 우선순위규칙(Dispatching Rule)을 적용하여 평균적으로 시스템에 마무리하는 시간(mean flow time)을 최소화시키는 작업일정계획수립방안을 제시하였으며, Johri[7]의 공정간의 작업 부하의 균등화, 작업준비시간의 최소화를 고려하여 처음 공정에서 결정된 작업순서를 마지막 공정까지 작업 순서를 유지하는 연구가 있다. 이러한 연구들의 문제는 본 논문의 연구 대상과는 달리 기존의 FFS에 대한 연구에서는 이상 상황에 대한 실시간 처리에 부적절하며, 성능평가치도 또한 지연되는 주문의 수와 지연시간의 합이 아닌 최종작업완료 시간, 평균작업시간이며, 또한 모든 주문의 작업시작가능시점이 모두 동일하다고 가정하여 발전적 해법을 제시하고 있어 현실성이 결여되어 있다.

작업시작가능시점에 관한 연구로는 Liu 와 MacCarthy[10]의 작업물을 하나의 기계(Single machine)에 대하여 우선 SPT(Shortest Processing Time)에 의해 정렬한 후, 우선순위규칙을

이용한 대기시간(Waiting time)의 합을 줄이는 해법과 ERT(Earliest Release Time)에 의해 나열한 후 대기시간의 합을 줄이는 해법을 제안하였다. Lingayt, Mittenthal 과 O'keefe[12]는 FFS에서 작업시작가능시점을 고려하여 공정간의 평준화(Load Balance)를 목적으로 하는 해법을 제안하였다. 그러나 모두 납기를 고려하지 않았다.

납기에 관한 연구로는 지연되는 작업의 수와 지연시간의 합을 줄이는 해법을 Raman[11]이 Flow Shop 에 대하여, James, Bookbinder, Noor[6], Z. He, T. Yang, D. E. Deal[15]이 Job Shop 에 대하여 각각 해법을 제안하였으나 작업시작가능시점은 고려하지 않았다.

작업시작가능시점과 납기를 모두 고려한 연구는 Kise, Ibaraki 과 Mine[4]에 의해 제안된 $r_i < r_j$ & $d_i < d_j$ for $\forall i, j$ (r_i : 작업 i 의 작업시작가능시점, d_i : 작업 i 의 납기)의 조건이 만족되는 경우에 작업 i 를 작업한 후에 작업 j 를 작업하는 것으로 작업순서를 결정하여 최적해를 구할 수 있는 해법이 있으며, Grabowski, Nowicki, Zdrzalka[5]는 단일기계에서, Simens[1]은 병렬기계에서 모든 작업물들의 가공시간을 단일 가공시간(Unit Processing Time)으로 가정하여 polynomial 시간 안에 최적해를 구할 수 있는 해법을 제안하였다.

2. FFS에서의 작업일정계획수립

2.1 문제 정의 및 접근 방법

본 논문의 대상이 되는 공장의 공정구성형태는 Flow Shop 이 변형된 FFS이다. FFS에서는 1장에서 기술하였듯이 제품의 종류에 따라 가공경로가 서로 다르며, 같은 공정에서의 가공시간도 다르다. 각 공정과 공정 사이의 버퍼는 충분하며 작업준비시간은 작업순서에는 관계없이 제품의 종류에 따라 다르다. 여기서는 기존의 연구들과는 달리 현실적인 적용이 가능하기 위하여 포함되어야 할 사항 즉 1) 각 주문은 작업시작가능시점과 납기가 존재한다, 2) 각 공정의 가공시간은 각 제품의 종류에 따라 다르다, 3) 가공경로가 제품의 종류에 따라 다르다, 4) 작업준비시간은 제품의 종류에 따라 다르다는 점을 모두 고려사항에 포함하였으며 성능평가척도로는 Karsiti[8] 등이 사용한 지연되는 주문의 수와 지연시간의 합으로 설정하였다. 지연되는 주문의 수와 지연시간의 합을 함께 고려하는 이유는 우선 지연되는 주문의 수를 줄이고, 주문이 지연된다 하더라도 지연시간을 최소화하기 위함이다. 본 연구는 현실문제에 직접 적용할 수 있는 작업일정계획 수립방안의 개발에 중점을 두고 있어 정적인 환경(snap shot)을 대상으로 많은 가정하에 이루어지는 수리적 일정계획방법이 아니라 실시간으로 계속하여 변화하는 공장상황에 동적(dynamic)으로 대응할 수 있는 휴리스틱에 의한 일정계획 방법에 연구의 초점을 두고 있다.

일반적으로 지연되는 주문의 수를 최소화하는 작업순서는 작업시작가능시점이 동일할 경우에 납기를 지키는 주문들의 집합에 대해서는 EDD(Earliest Due Date) 우선순위규칙을 적용한 후, 지연시간의 합을 줄이기 위하여 납기가 지연되는 주문들의 집합에 대하여 SPT(Shortest Processing Time) 우선순위규칙을 적용하는 발견적 해법이 많이 쓰이고 있으며, 지연시간의 합을 최소화시키는 작업순서는 작업물의 가공시간과 납기의 관계가 $p_i < p_j$ & $d_i < d_j$ for $\forall i, j$; 작업 i 의 processing time, d_i : 작업 i 의 due date)의 조건을 만족하면 작업 i 를 작업한 후에 작업 j 를 수행하는 방법에 의해 결정된다. 작업물에 대한 작업순서의 결정은 Johri[7]가 제시한 해법과 같이 처음 공정(Workstation 1)에서의 작업순서를 결정하여 마지막 공정(Workstation n)까지 유지하는 방법과 Kochhar[9] 등이 제시한 해법과 같이 공정별로 우선순위규칙을 적용하여 공정별로 서로 다른 작업순서를 결정하는 두 가지 방법

이 있다.

본 논문에서는 작업시작가능시점과 납기에 대한 제약조건을 동시에 고려하기 위하여 계획 대상 주문들에 대하여 각 주문의 가공경로에 해당하는 공정의 예상부하를 이용하여 작업시작가능시점과 납기를 공정별로 분할한 공정시작가능시점(ORT: Operational Release Time)과 공정납기(ODD: Operational Due Date)를 생성한다. 그리고 각 공정에서는 주문별로 생성된 공정시작가능시점과 공정납기 이용하여 공정별로 서로 다른 작업순서를 결정하는 후자의 방법을 사용한다. 본 논문의 대상인 FFS에서도 앞에서 언급한 EDD와 SPT 우선순위규칙을 적용하여 작업일정계획을 수립하는 방법을 쓸 수 있으나 작업의 시작가능시점이 동일하지 않은 문제이기에 EDD 규칙, SPT 규칙에 의한 순서로 작업순서를 결정할 경우에는 작업시작가능시점의 차이로 인하여 공정의 유휴시간(Idle time)이 발생하는 문제점이 있다. 위와 같은 문제점을 해결하고, 실제 현장에 적용할 수 있도록 비교적 간단한 절차를 거쳐 실시간으로 해를 제공할 수 있도록 본 논문에서 제안하는 작업일정계획수립방안은 크게 다음의 네 단계로 구성된다.

- 단계 1. 주문의 공정별 공정시작가능시점(ORT: Operational Release Time)과 공정납기(ODD: Operational Due Date) 생성
- 단계 2. 계획 대상 주문들에 대하여 공정납기를 이용한 우선고려대상 주문군 형성
- 단계 3. 단계 2 에서 형성된 우선고려대상 주문군에 대한 SPT 정렬과 가중치(Weight) 계산
- 단계 4. 최소 가중치를 갖는 주문의 기계할당

각 단계를 간략하게 살펴보면 단계 1 에서 주문의 가공경로가 제품의 종류에 따라 서로 다른 FFS의 특성을 반영하고, 작업순서를 공정별로 결정하기 위하여 주문의 작업시작가능시점과 납기로부터 공정별 공정시작가능시점(ORT)과 공정납기(ODD)를 생성하고, 단계 2에서는 단계 1에서 생성된 주문의 공정별 공정납기를 이용하여 주문의 공정납기가 기준 범위에 포함되는 주문으로 우선고려대상 주문군을 형성한다. 공정납기를 이용한 우선고려대상 주문군의 형성은 전체 계획 대상 주문의 집합(set)을 공정납기의 차이가 적은 주문들의 부분집합(subset)으로 나누어 정렬하는 의미가 있으며, 하나의 주문군 내에서 공정시작가능시점과 가공시간을 고려한 작업순서를

결정함에 있어서 공정납기의 차이로 발생하는 영향을 줄이기 위함이다.

그리고 단계 3에서는 공정시작가능시점의 차이로 발생하는 유희시간을 줄이고 동시에 가공시간을 고려하기 위하여 단계 2에서 우선고려대상 주문군으로 형성된 주문들에 대하여 먼저 SPT 우선순위규칙을 적용하여 정렬하고 각 주문을 투입할 때 예상되는 유희시간을 가중치로 부여하여 우선순위규칙으로 이용한다. 우선순위규칙에 의하여 최소 가중치를 갖는 주문을 단계 4에서 기계에 할당할 주문으로 선택한다.

마지막으로 단계 4에서는 공정을 이루고 있는 병렬기계에 작업준비시간을 고려하여 할당할 기계를 선택한 후, 단계 3에서 선택한 주문을 기계에 할당한다. 단계 3과 단계 4를 통하여 우선고려대상 주문군으로 형성된 주문들에 대하여 작업일정계획을 수립하고 단계 2(종속적으로 단계 3과 단계 4를 반복)를 반복하여 공정에 대한 작업일정계획을 수립한다. 각 공정에 대하여 단계 1 ~ 단계 4를 반복함으로써 FFS 전체의 작업일정계획을 수립하게 된다. 각 단계에 대한 자세한 내용은 다음의 2.2에서 설명한다.

2.2 알고리즘

여기서는 위에서 제시한 4단계의 FFS의 작업일정계획수립 방안을 각 단계별로 자세히 설명한다. 먼저, 사용되는 기호들은 다음과 같다.

(Notation)

- CT : 현재시간(Current Time)
- N : 작업일정계획대상 주문의 수
- j : 주문번호 $j = 1, 2, \dots, N$
- TYPE_j : 주문j의 제품종류
- S : FFS을 구성하는 공정(Workstation)의 수
- k : 공정번호 $k = 1, 2, \dots, S$
- s_j : 주문j를 생산하기 위해 거쳐야 하는 공정번호의 집합
- Pm_k : 공정k를 구성하는 기계의 수 $k = 1, 2, \dots, S$
- m_k : 공정k를 구성하는 기계번호 $m_k = 1, 2, \dots, Pm_k$
- TY_{m_k} : 공정k의 m_k 기계에 할당된 제품종류
- a_k : 공정k의 Pm_k 개 기계 중에서 첫 번째로 가용한 시점

- b_k : 공정k의 Pm_k 개 기계 중에서 두 번째로 가용한 시점
- c_k : 공정k의 Pm_k 개 기계 중에서 할당할 주문의 제품종류와 같은 주문이 할당된 기계중에 첫 번째로 가용한 시점
- RD_j : 주문j의 공장에서의 작업시작가능시점(Ready time)
- DD_j : 주문j의 공장에서의 납기(Due Date)
- L_j : 주문j의 Lateness $L_j = SFT_j \max\{x | x \in s_j\} - DD_j$
- T_j : 주문j의 지연시간 $T_j = \text{MAX}\{L_j, 0\}$
- ΣT_j : 지연시간(Tardiness)의 합
- ΣU_j : 지연되는 주문의 수 $U_j = \begin{cases} 1 & \text{if } L_j > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
- ort_{jk} : 주문j의 공정k에서의 공정시작가능시점
($ort_{j \min\{x | x \in s_j\}} = RD_j$)
- odd_{jk} : 주문j의 공정k에서의 공정납기
($odd_{j \max\{x | x \in s_j\}} = DD_j$)
- P_{jk} : 주문j의 공정k에서의 작업소요시간(unit processing time * quantity).
- S_{jk} : 주문j의 공정k에서의 작업준비시간
- SLACK_j : 주문j의 공장에서의 총 여유시간
- u_{ik} : 공정i에서 공정k로의 이동시간(Transfer Time)
- g : 우선고려대상 주문군에 포함된 주문의 수
- W_{jk} : 주문j의 공정k에서의 유희시간에 대한 가중치
- SSFT_{j \min\{x | x \in s_j\}} : 주문j의 공장에서의 작업시작가능시점
- SFT_{j \max\{x | x \in s_j\}} : 주문j의 공장에서의 작업완료시점

이러한 기호들을 가지고 이제부터 4단계의 일정계획 알고리즘을 단계별로 설명하겠다.

단계1. 주문의 공정별 공정시작가능시점과 공정납기 생성

단계 1은 주문의 공정별 공정시작가능시점과 공정납기를 생성하는 단계이다. 작업계획대상 주문들의 작업시작가능시점(RD_j)과 납기(DD_j)의 범위 안에서 주문이 완성되어야 하기에 주어진 주문의 제조공정을 구성하는 모든공정 각각에 대하여 그 주문의 그 공정에서의 작업시작가능시점(ort)과 공정납기(odd)를 생성한다. 각 공정에서는 생성된 주문들의 공정시작가능시점과 공정납기를 준수하는 작업일정계획을 수립함으로써 주문의 고객에게 약속한 납기가 지켜질 수 있도록 하고, 주문이 지연되더라도 지연시간을 줄이도

록 한다.

공정의 공정시작가능시점과 공정납기는 식(2.1)에서 주문의 작업시작가능시점과 납기로부터 거쳐야 할 모든 공정에서의 작업소요시간의 합을 제외하여 구해진 공장의 여유시간 SLACK을 구하고, SLACK을 전체 공정의 작업소요시간의 합에 대한 공정에서의 작업소요시간 비율로 분배하여 구한다. 주문의 공정에 대한 공정시작가능시점과 공정납기를 수식으로 표현하면 식(2.2), 식(2.3)과 같다.

$$SLACK_j = (DD_j - RD_j) - \sum_{i \in S_j} p_{ji} \quad (2.1)$$

$$ort_{jk} = odd_{ji} + u_{ik} \quad (2.2)$$

(단 주문j의 공정i은 공정k의 이전 공정)

$$odd_{jk} = ort_{jk} + p_{jk} + \frac{p_{jk}}{\sum_{i \in S_j} p_{ji}} * SLACK_j \quad (2.3)$$

주문 j의 공정 k에서의 공정시작가능시점은 식(2.2)에서 이전 공정 l의 공정납기로부터 이동시간을 더하고 공정납기는 식(2.3)에서 공정 k의 공정시작가능시점에 작업소요시간을 더하고 식(2.1)에서 구한 여유시간 SLACK_j을 각 공정에서의 작업소요시간의 비율로 분배한 것을 더하여 구한다. 이것은 각 공정에 할당되어지는 예상부하에 따라 공장의 여유시간 SLACK_j을 예상부하가 많은 공정에서는 공정납기의 여유를 많게 하고, 부하가 적은 공정에서는 여유를 적게 하도록 분배함으로써 부하가 많이 걸리는 애로공정(Bottleneck Resource)에서의 작업일정계획수립을 용이하게 하기 위함이다.

단계2. 계획 대상 주문들에 대하여 공정납기를 이용한 우선 고려대상 주문군 형성

전체 FFS에 대한 작업일정계획은 FFS를 구성하는 첫 번째 공정에서부터 마지막 S 번째 공정까지 차례대로 해당하는 공정을 거쳐가는 주문들에 대하여 각 공정별로 순차적으로 수립한다. 공정별 작업의 일정계획 수립에서 단계 2는 공정을 거쳐가는 주문의 공정별 공정납기를 이용하여 우선 고려대상 주문군을 형성하는 단계이다. 2.2 절의 식(2.1)~식(2.3)에 의하여 각 각의 주문들에 대한 공정시작가능시점과 공정납기가 생성된 후, 각 공정에서는 생성된 공정시작가능시점과 공정납기를 준수하는 작업일정계획을 수립하게 된다.

그러나 공정시작 가능시점이 동일하지 않으므로 모든 주문

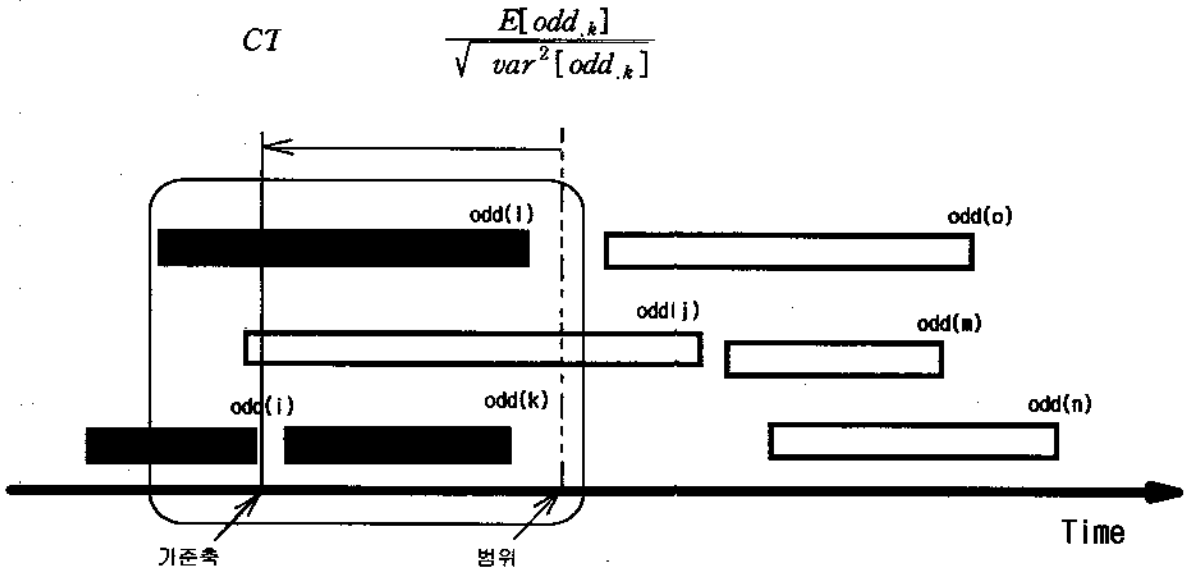
들에 대하여 우선순위규칙을 적용하여 작업순서를 결정할 경우에는 공정시작가능시점의 다름으로 인하여 공정의 유희시간이 발생할 수 있다. 유희시간이 발생하면 공정납기를 준수하기가 더욱 어려워진다. 또한 공정납기의 여유가 있음에도 불구하고 공정시작가능시점이 앞서서 우선적으로 작업 대상이 될 수 있다. 따라서 이러한 상황을 배제하기 위하여 단계 2에서는 공정납기가 서로 비슷한 것들을 우선 고려의 대상 주문군으로 형성한다. 공정시작 가능시점과 작업 소요시간은 단계 3에서 고려한다.

주문의 우선 고려대상 주문군 형성방안으로 공정납기에 대한 기준축과 주문군의 형성범위를 결정하여 공정납기가 서로 비슷한 것들로 우선 고려대상 주문군을 형성하면 공정납기의 차이로 발생하는 문제점을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 작업 일정계획을 수립해야 하는 주문들의 공정납기의 평균 및 분산을 이용하여 우선 고려대상 주문군을 형성한다. 주문군은 공정납기가 현시점(CT)부터 시작하여 주어진 시간에 포함되는 주문들로 구성된다. 주어지는 시간의 범위는 주문들의 공정 납기들로부터 계산되는 변동계수(CV : coefficient of variation)의 역수를 사용하였다. 따라서,

$$CT \leq odd_{jk} \leq \frac{E[odd_{jk}]}{\sqrt{var^2[odd_{jk}]}} \quad (2.4)$$

를 만족하는 작업 j를 우선 고려대상 주문군에 포함시킨다.

작업순서를 결정해야 할 주문들의 공정납기가 평균을 중심으로 분산이 큰 경우에는 공정납기의 차이가 많은 것이므로 주문군 형성범위를 좁게 하여 적은 수의 주문들이 포함되도록 하고, 분산이 작은 경우에는 공정납기의 차이가 작은 것이므로 주문군 형성범위를 넓게 하여 많은 수의 주문들이 포함되도록 한다. 만일 작업일정계획수립 대상 주문들의 공정납기가 비슷한 경우에는 분산이 작아져서 주문군의 형성이 불가능한 경우가 있다. 이 경우에는 작업들의 평균만을 이용하여 주문군을 형성한다. 변동계수의 역수를 주문군 형성범위의 한계치로 사용함으로써, 평균치만을 사용하여 주문군을 형성하는 것보다 작업일정계획대상 주문들의 공정납기에 대한 특성을 정확히 반영할 수 있다. <그림 3>는 우선고려대상주문군을 형성한 예를 보여 준다.



- : 우선고려대상 주문군으로 형성된 주문
- : 우선고려대상 주문군으로 형성되지 않은 주문
- : 이미 작업일정계획이 수립된 주문

(그림 3) 우선고려대상 주문군 형성 예

2.3 우선고려대상 주문군에 대한 SPT 정렬과 가중치 (Weight) 계산

개발된 작업일정계획수립에서 단계 3 은 우선고려대상 주문군으로 형성된 주문들에 대하여 작업소요시간을 고려하고 공정시작가능시점의 차이로 발생하는 유휴시간을 줄이는 작업순서를 결정하는 단계이다.

주문군 형성 과정에서 공정납기를 고려하였기 때문에 작업소요시간에 대하여 우선 SPT 로 정렬하고 각 주문을 투입할 때 공정시작가능시점의 차이에 의해 발생이 예상되는 유휴시간을 식(2.5) 와 같이 구하여 주문에 대한 가중치로 한다. 형성된 주문군에 대하여 모두 가중치를 구하여 최소 가중치를 갖는 주문 j를 (j = min{W_{jk}, j = 1,2,...,g}) 기계에 할당 할 주문으로 선택한다.

예를 들면, 두 개의 주문 i, j에 대하여 식(2.5)에 의한 주문 i, j의 가중치는 각각 W_{ik} = 2*ort_{ik} + p_{ik}, W_{jk} = 2*ort_{jk} + p_{jk}가 된

다. 예를들어 W_{ik}는 주문 i가 투입되었을 경우 주문 i가 대기하는 ort_{ik}에 주문 j가 대기하는 ort_{ik} + p_{ik}의 합이며, W_{jk}는 주문 j가 투입되었을 경우 주문 j가 대기하는 ort_{jk}에 주문 i가 대기하는 ort_{jk} + p_{jk}의 합이다. 따라서 가중치가 min{W_{ik}, W_{jk}}인 주문은 공정시작가능시점의 차이에 의한 대기시간(Waiting time)의 합을 줄이는 작업순서를 결정함을 알 수 있다.

식(2.6)은 식(2.5)를 주문의 수를 n (n)2 개로 확장한 것이다.

$$W_{jk} = 2*ort_{jk} + p_{jk} \tag{2.5}$$

$$W_{jk} = \sum_{i=1}^{j-1} (g - i)p_{ik} + g*(ort_{jk} + p_{jk}) + \sum_{i=j+1}^g p_{ik} \tag{2.6}$$

식(2.6)에 의하여 최소 가중치를 갖는 주문은 2.2.4에서 공정의 병렬기계에 할당한다.

2.4 최소 가중치를 갖는 주문의 기계할당

2.3에서 선택된 주문을 할당하기 위하여 공정을 이루고 있는 병렬기계에서 하나의 기계를 선택해야 한다. 기계의 선택은 작업준비시간을 고려해야 하며 첫 번째로 가용한 시점에 해당하는 기계와 할당할 주문의 제품종류와 같은 제품종류가 할당된 기계 중에 첫 번째로 가용한 시점에 해당하는 기계가 후보가 된다.

첫 번째로 가용한 기계의 시점 a_k 와 할당할 주문의 제품종류와 같은 주문이 할당된 기계 중에 첫 번째로 기계가 가용한 시점 c_k 의 차이가 작업준비시간보다 작으면 후자, 크면 전자가 선택된다.

$$SST_{jk} = \max\{ort_{jk}, \min\{a_k + s_{jk}, c_k\}\} \quad (2.7)$$

$$SFT_{jk} = \begin{cases} SST_{jk} + p_{jk} & \text{if } TY_{m_k} = TYPE_j \\ SST_{jk} + p_{jk} + s_{jk} & \text{o/w} \end{cases} \quad (2.8)$$

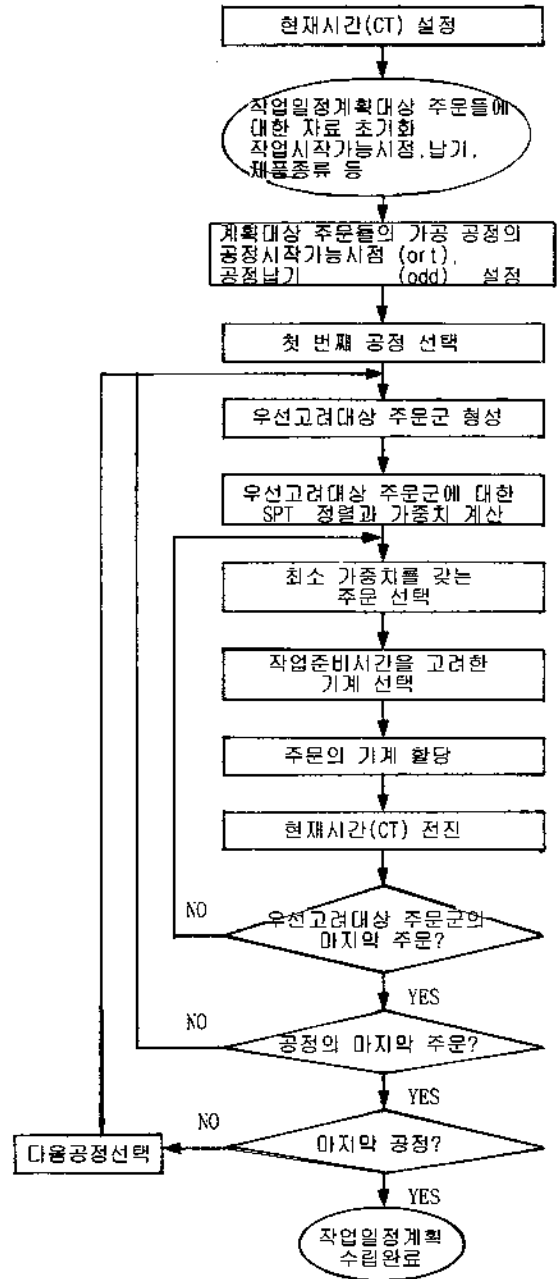
할당할 기계가 선택되면 주문의 작업시작시간과 작업완료시점은 각각 식(2.7)와 식(2.8)에 의하여 구할 수 있다. 작업시작시간은 선택된 기계의 가용시점과 주문의 공정시작가능시점 중에 큰 값이 되며 작업완료시점은 선택된 기계에서 이전에 할당된 주문의 제품종류와 현재 할당 할 주문의 제품종류가 다르면 작업준비시간과 작업소요시간을 작업시작시간에 더하고, 제품종류가 같으면 작업소요시간만 작업시작시간에 더한다.

하나의 주문을 기계에 할당한 후 우선고려대상 주문군으로 형성된 주문들에 대하여 기계할당을 반복하고 다시 주문군 형성, 기계할당을 반복하여 공정 하나에 대한 작업일정계획을 수립하게 된다. 하나의 공정에 대하여 작업일정을 완료한 후 계획된 주문들이 거쳐야 할 다음 공정의 공정시작가능시점을 식(2.9)에 의하여 갱신하여 다음 공정에 반영하도록 한다.

$$ort_{jk} = SFT_{ji} + t_{ik} \quad (2.9)$$

(단 주문j의 공정i는 공정k의 이전 공정)

<그림 4>는 이상에서 기술한 작업일정계획수립방안의 과정에 대한 흐름도이다. 제안된 작업일정수립방안의 적용사례와 성능평가 및 분석은 제 4 장에서 설명한다.



<그림 4> 작업일정계획수립의 흐름도

3. 적용사례 및 결과분석

3.1 적용사례

3장에서 본 논문에서 제안한 FFS에 대한 작업일정계획수립방안을 전자조립제품인 Television 공장의 PCB 자동삽입공장(Automated Insertion Factory)에 적용하여 그 결과를 FFS에 대한 기존의 작업일정계획수립해법, 우선순위규칙과 성능평가 척도에 대하여 비교 및 분석을 수행한다.

Television 공장은 <그림 1>과 같이 여러 개의 공장으로 구성되며 최종 제품이 완성되기까지 지역적, 기능적으로 분리된 여러 개의 공장에서 순차적으로 원자재, 부품 가공 및 조립 과정을 거쳐서 생산된다. 이러한 공장중에서 PCB 자동삽입공장은 전자제품 제조에 사용되는 PCB 기판에 전용기계를 이용하여 부품을 자동으로 삽입하는 공정인 SEQ(Sequencing)공정, VCD 공정, Radial 공정, M10 공정, 그리고 RHU 공정으로 구성되어 있으며 M10 공정과 RHU 공정을 통합하여 이형 부품 삽입 공정이라 한다. 또한 고급 제품에만 적용이 되며 Bare PCB 에 납땜 보강을 위해 홀에 리베팅을 하는 Eyelet 공정이 있다.

SEQ 공정에서는 부품 삽입 순서에 맞추어 reel tape 에 부품을 붙이는 작업을 하는 공정이고, VCD 공정은 PCB 기판에 세워진 형태의 부품을 삽입하는 공정이고, Radial 공정은 누워 있는 형태의 부품을 삽입하는 공정이다. 그리고 이 두 가지 공정에서 삽입이 불가능한 이형 부품을 삽입하는 공정이 이형 부품 삽입 공정이다. VCD 공정은 SEQ 공정, Eyelet 공정과 함께 Axial 공정을 구성한다. PCB 자동삽입공장의 공정 형태는 <그림 5>과 같이 제품의 생산흐름이 단일한 방향으로 구성된 흐름생산방식(Flow Shop)의 공장이지만 제품의 종류에 따라 필요한 공정과 가공경로가 다르기 때문에 일반적인 흐름

생산방식 보다는 전체 제품의 가공 경로의 흐름이 복잡한 양상을 보이게 되어 FFS로 모델링 된다.

3.2 결과 비교 및 분석

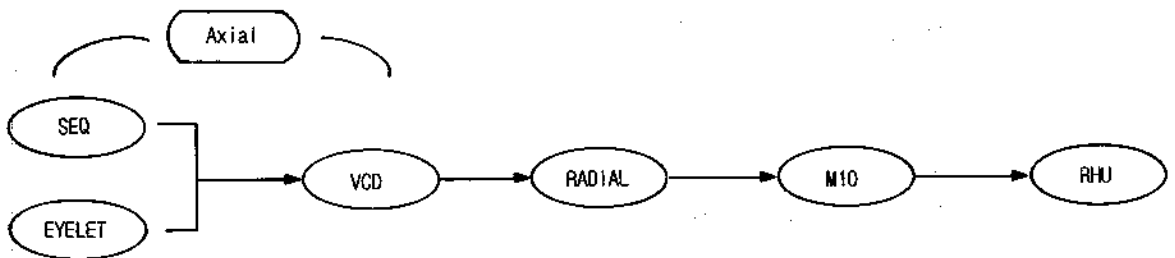
3.2.1 비교 방안

비교 방안으로는 성능평가척도로 설정한 지연되는 주문의 수(Tardy)의 평균과 지연되는 주문에 대한 지연 시간(Tardiness)의 합의 평균에 대하여 공정시작가능시점, 납기, 가공시간에 대하여 일반적으로 사용되는 우선순위규칙 및 FFS의 작업일정계획수립에 가장 현실적인 해를 제공하는 Johri[7]의 해법과 본 논문에서 제안한 작업일정수립방안과 비교하였다.

Johri[7]의 해법은 처음 공정에서 결정한 작업순서를 마지막 공정까지 유지하며 작업준비시간(Setup time)에 대한 고려가 없으므로 비교를 할 때에는 작업준비시간을 모두 동일하게 하였으며, 우선순위규칙은 작업시작가능시점과 납기가 존재하므로 작업시작가능시점이 가장 빠른 주문과 납기가 가장 빠른 주문을 선택하는 ERT(Earliest release time)규칙, EDD(Earliest due date)규칙, 그리고 작업소요시간에 대한 척도로 SPT(Shortest processing time)규칙과 비교하였다. 우선순위규칙의 적용은 처음 공정부터 순차적으로 적용하여 공정별로 서로 다른 작업순서로 결정한다.

또한 주문군 형성의 효과를 측정하기 위하여 주문군 형성 후 우선순위규칙을 적용하여 보았다. 주문군 형성 후 적용할 우선순위규칙으로는 SPT 규칙과 ERT 규칙을 사용하였다.(보기 : GROUP_SPT, GROUP_ERT)

PCB 자동삽입공장은 5 개의 공정으로 구성되고 C₁공정은 8 개, C₂공정은 8개, C₃공정은 9개, C₄공정은 8개, C₅공정은 8개의 동일한 병렬기계로 이루어졌으며 한번 시뮬레이션에 포함된 주문의 수와 종류는 임의추출로 형성되었으며 각각의 주문



<그림 5> PCB 자동삽입공장의 구성

〈표 1〉 제품종류별 Route 정보

제품종류	공정 경로(공정 번호)
1	11→12→13→14→15
2	21→22→23→24→25
3	31→32→33→34→35
4	41→42→43→44→45
5	51→53→54→55
6	62→63→65
7	71→73→75
8	81→82→83→85
9	91→92→93→94→95
10	101→102→104→105→
11	113→114→115
12	121→122→123→124→125

〈표 2〉 공정별 가공시간 및 작업준비시간 정보 (1/3)

(단위 : 초)

공정번호	가공시간(개당)	작업준비시간	해당 기계군
11	20	2000	C ₁
12	12	2000	C ₂
13	25	2000	C ₃
14	30	2000	C ₄
15	38	2000	C ₅
21	15	2000	C ₁
22	9	2000	C ₂
23	25	2000	C ₃
24	30	2000	C ₄
25	38	2000	C ₅
31	12	2000	C ₁
32	10	2000	C ₂
33	25	2000	C ₃
34	30	2000	C ₄
35	38	2000	C ₅
41	18	2000	C ₁
42	12	2000	C ₂

〈표 3〉 공정별 가공시간 및 작업준비시간 정보 (2/3)

(단위 : 초)

공정번호	가공시간(개당)	작업준비시간	해당 기계군
43	25	2000	C ₃
44	30	2000	C ₄
45	38	2000	C ₅
51	26	2000	C ₃
52	25	2000	C ₂
54	30	2000	C ₄
55	38	2000	C ₅
62	9	2000	C ₂
63	25	2000	C ₃
65	38	2000	C ₅
71	25	2000	C ₁
73	25	2000	C ₃
75	38	2000	C ₅
81	22	2000	C ₁
82	12	2000	C ₂
83	25	2000	C ₃
85	38	2000	C ₅
91	24	2000	C ₁
92	9	2000	C ₂
93	25	2000	C ₃
94	30	2000	C ₄
95	38	2000	C ₅
101	21	2000	C ₁
102	10	2000	C ₂
104	30	2000	C ₄
105	38	2000	C ₅
113	25	2000	C ₃
114	30	2000	C ₄
115	38	2000	C ₅
121	18	2000	C ₁

〈표 4〉 공정별 가공시간 및 작업준비시간 정보 (3/3)

(단위 : 초)

공정번호	가공시간(개당)	작업준비시간	해당 기계군
122	10	2000	C ₂
123	25	2000	C ₃
124	30	2000	C ₄
125	38	2000	C ₅

에 대하여 작업시작가능시점과 납기가 존재한다. 이와 같이 형성된 주문이 포함된 서로 다른 주문들의 집합에 대하여 시물레이션을 반복하여 결과를 비교하였다. 각각의 주문이 가질 수 있는 제품종류는 12가지를 고려하였다. 각 제품종류의 작업 경로에 해당하는 공정은 다음과 같다.

- 제품종류 1 : $C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5$,
- 제품종류 2 : $C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5$,
- 제품종류 3 : $C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5$,
- 제품종류 4 : $C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5$,
- 제품종류 5 : $C_1 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5$,
- 제품종류 6 : $C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_5$,
- 제품종류 7 : $C_1 \rightarrow C_3 \rightarrow C_5$,
- 제품종류 8 : $C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_5$,
- 제품종류 9 : $C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5$,

- 제품종류 10 : $C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5$,
- 제품종류 11 : $C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5$,
- 제품종류 12 : $C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5$,

각 제품종류별로 작업경로 상에서 받아야 할 공정에 관한 자료는 <표 1>에 주어져 있으며 각 공정별 가공시간 및 작업준비시간에 관한 자료는 <표 2>, <표 3>, <표 4>에 주어져 있다.

3.2.2 결과 비교 및 분석

<표 5>는 전술한 자료를 입력으로 작성된 결과이다. 본 논문에서 개발한 작업일정계획수립방안은 주문군을 형성하여 가중치를 사용하므로 GROUP_WEIGHT 으로 표현하였다. 또한 주문군 형성의 효과를 측정하기 위하여 주문군 형성 후 우선순위규칙으로 SPT 규칙을 적용한 것은 GROUP_SPT, 주문군

<표 5> 지연되는 주문의 수와 지연시간에 대한 비교

부하 할당 비율(%)	성능평가 척도	JOHRI	ERT	SPT	EDD	GROUP_SPT	GROUP_ERT	GROUP_WEIGHT
80	Tardiness (hour)	91.67	148.68	65.27	52.77	19.98	23.55	13.33
	납기만족률 (%)	86.67	85.56	90.00	91.78	94.44	94.00	97.56
95	Tardiness (hour)	99.15	172.67	75.31	59.89	21.34	25.44	14.20
	납기만족률 (%)	80.13	73.67	78.26	79.13	88.45	87.89	91.78
105	Tardiness (hour)	136.39	262.61	115.18	91.01	25.72	30.32	16.57
	납기만족률 (%)	58.27	48.67	51.55	52.00	73.34	73.27	78.33
120	Tardiness (hour)	175.50	381.98	139.86	121.46	27.61	33.54	19.29
	납기만족률 (%)	45.27	33.78	42.13	38.96	68.11	66.67	67.55

<표 6> 최종작업완료시간에 대한 비교

부하 할당 비율(%)	성능평가 척도	JOHRI	ERT	SPT	EDD	GROUP_SPT	GROUP_ERT	GROUP_WEIGHT
80	최종작업완료시간	418500	397800	406790	436540	400560	387600	385600

형성 후 우선순위규칙으로 ERT 규칙을 적용한 것은 GROUP_ERT 이다.

<표 5>에서 지연되는 주문의 수의 평균치에 대하여 본 논문에서 제안된 작업일정계획수립방안이 각각 우선순위규칙과 Johri의 해법보다 감소함을 보이고 있다.

우선순위규칙과의 비교는 우선고려대상주문군 형성의 효과를 알아보기 위한 것으로서 GROUP_SPT, GROUP_ERT의 결과로 같은 우선순위규칙을 사용하더라도 주문의 공정별 작업시작가능시점과 공정납기를 설정하여 작업일정계획대상 주문의 일부분만을 우선고려대상주문군으로 형성하여 작업일정계획을 수립하는 것이 납기의 영향을 감소 혹은 배제시키는 효과가 있다고 할 수 있다.

또한 <표 5>은 문제의 목적함수로 삼았던 지연되는 시간의 합의 평균치에 대한 결과도 본 논문에서 제안한 작업일정계획수립방안이 지연되는 주문의 수와 마찬가지로 우선순위규칙과 Johri의 해법보다 지연되는 시간이 각각 감소하였다.

<표 5>의 결과에서 작업시작가능시점과 납기를 동시에 고려하여 제안한 작업일정수립방안해법이 FFS에 대한 기존의 해법과 작업시작가능시점과 납기 중에 하나만을 고려한 해법보다 지연되는 시간의 합과 주문의 수를 동시에 감소시킴을 알 수 있다.

<표 6>은 본 논문에서 설정한 성능평가척도는 아니지만 FFS에서 단위 시간당 생산량(Throughput)의 지표인 최종작업완료시간(makespan)에 대한 비교 결과이다. 주문의 최종작업완료시간은 우선순위규칙인 EDD 규칙보다는 감소하였으나 Johri의 해법과 EDD 규칙 이외의 우선순위규칙 ERT, SPT 규칙과는 큰 차이를 보이지 않고 있다.

위의 결과로 우선고려대상주문군을 형성하지 않고 ERT, SPT, EDD 규칙과 같은 우선순위규칙을 적용하면 주문이 공정에서의 최종작업완료시간이 차이가 없음에도 불구하고 주문들이 지연될 가능성이 높으며 동시에 지연 시간도 크다는 것을 알 수 있다. 또한 FFS의 첫 공정의 Loading 순서를 결정해 주는 Johri의 해법은 부하의 균형을 제공하는 장점이 있기는 하지만 후속 공정에서의 작업순서결정에 대한 고려를 못하기 때문에 전반적으로 본 논문에서 제안된 작업일정계획수립방안보다 나쁜 결과를 제공하였다.

결론적으로 작업의 작업시작가능시점과 납기가 존재하는 FFS 모델에서는 두 가지를 동시에 고려하여 작업일정계획을 수립해야 하며 계획 대상의 모든 주문을 고려하지 않고 우선고려대상주문군형성에 의한 부분해를 찾는 방법이 빠른 시간

내에 비교적 좋은 해를 제공한다고 할 수 있다.

4. 결론 및 추후 연구

본 논문에서는 현대의 제조환경 변화에 따른 제조현장의 관리의 중요성이 증대함에 따라 공장에 대한 작업시작가능시점(Ready time)과 제품의 납기(Due Date)가 존재하고 공정 형태가 공정의 일부를 거치지 않는 흐름 생산 방식(FFS: Flexible Flow Shop)으로 모델링 되는 공장에 대한 작업일정계획수립방안을 제시하고 이를 전자조립회사에 적용하여 성능평가척도로 설정한 지연되는 주문의 수(Tardy)와 지연 시간(Tardiness)함에 대하여 결과를 분석하였다. 또한 본 논문에서 제안한 작업일정계획 수립 방안은 통합 시스템 관리의 소프트웨어(S/W)의 일부분으로 구현되었다.

본 논문에서 제안한 FFS에 대한 작업일정계획 수립 방안은 공정별로 우선순위규칙을 적용하는 방법을 적용하였으며 작업시작가능시점과 납기에 대한 제약조건을 해결하기 위하여 기존의 연구와는 다르게 주문의 일부분을 우선고려대상주문군으로 형성하는 방법을 사용하였다. 또한 주문군 형성을 위한 이진단계로 주문의 공정별 공정시작가능시점(ORT)과 공정납기(ODD)를 예상부하를 고려하여 생성하였다.

3장의 결과에서 주문군 형성단계는 $E[\sum U_j]$, $E[\sum T_j]$ 및 $E[C_{max}]$ 에 대하여 작업시작가능시점을 고려한 우선순위규칙을 적용하기 위한 이전 단계로서 납기의 영향을 배제시키는 효과가 있음을 알 수 있으며, 또한 제안된 작업일정계획수립방안은 비교적 간단한 단계를 적용하여 Workstation 급의 컴퓨터에서 주문수 45개, 공정수 5개, 제품종류 12개, 각 공정을 구성하는 기계수 8~9개로 이루어지는 문제를 수초 내에 비교적 좋은 해를 제공함으로써 주문의 변경, 취소 및 기계고장 등 이상상황이 발생할 경우 재계획 수립이 용이하여 현장에 적용할 수 있는 장점이 있다.

추후 연구로는 각 공정 사이의 버퍼 크기가 유한한 경우에 이를 고려할 수 있는 방안과 공정의 구성 형태가 복잡하고 가공 경로의 방향이 다양한 Job Shop에서의 작업시작가능시점과 납기에 대한 작업일정계획수립방안이 연구되어야 한다.

[참고 문헌]

- [1] Barbara Simons, "MultiProcessor Scheduling of UNIT-TIME Jobs with Arbitrary Release Times and Deadlines",

SIAM J. COMPUT., Vol.12, No. 2, pp.294-299, May 1983.

[2] Garey, M. R., and D. S. Johnson, "Two-Processor Scheduling with Start-times and Deadlines", SIAM J. COMPUT., Vol. 6, No. 3, pp.416-426, September 1977.

[3] Garey, M. R., and D. S. Johnson, 1979, Computer and Intractability, Freeman, New York.

[4] Hiroshi Kise, Toshihide Ibaraki, Hisashi Mine, "A Solvable Case of the One-Machine Scheduling Problem with Release and Due Times", Operation Research, Vol. 26, No. 1, pp. 121-126, 1978.

[5] Grabowski, J., E. Nowicki, and S. Zdrzalka, "A Block Approach for Single-machine Scheduling with Release Dates and Due Dates", European Journal of Operational Research, Vol. 26, pp.278-285, 1986.

[6] James H. Bookbinder, Afzal Ibn Noor, "Setting Job-Shop Due-Date with Service-Level Constraints", Journal of Operation Research Society, Vol. 36, No. 11, pp. 1017-1026, 1985.

[7] Johri, Pravin K., "A Heuristic Algorithm for Loading New Work on Circuit Pack Assembly Lines", International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 10, pp. 1871-1883, 1990.

[8] Karsiti, Mohd N., J. B. Cruz Jr., J. H. Milligan Jr., "Simulation Studies of Multilevel Dynamic Job Shop Scheduling Using Heuristic Dispatching Rules", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 11, No. 5, pp.346-358, 1992.

[9] Kochhar, Sandeep, R. J. T. Morris, "Heuristic Methods for Flexible Flow Line Sheduling", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 6, No. 4, pp.299-314, 1987.

[10] Liu, J., B.L. MacCarthy, "Effective Heuristic for the Single Machine Sequencing Problem with Release Times", International Journal of Production Research, Vol. 29, pp. 1521-1533, 1991.

[11] Narayan Raman, "Minimum Tardiness Scheduling Inflow Shops: Construction and Evaluation of Alternative Solution Approaches", Journal of Operation Management, 12, pp131-151, 1995.

[12] Lingayt, S., J. Mittenhal, and R. M. O'Keefe., "An Order Release Mechanism for Flexible Flow System", International Journal of Production Research, Vol. 33, No. 5.

pp.1241-1256, 1995.

[13] Wittrock, Robert J., "Scheduling Algorithm for Flexible Flow Lines", IBM J. Res. Develop., Vol. 29, No. 4, pp. 401-412, 1985.

[14] Wittrock, Robert J., "An Adaptable Scheduling Algorithm for Flexible Flow Lines", Operation Research, Vol. 36, No. 3, pp445-456, 1988.

[15] HE, Z., T. Yang, and D.E. Deal, "A Multifull-pass Heuristic Rule for Job Shop Scheduling with Due Dates", International Journal of Production Research, Vol. 31, No. 11, pp.2677-2692, 1993.



이주한(李柱翰)

1995년 고려대학교 공과대학
산업공학 학사

1997년 고려대학교 공과대학
산업공학 석사

현 재 LG-EDS시스템 CALS&
CIM 연구소 연구원

관심분야 생산공학, ERP/BPE,
CIM 시스템



김성식(金聖錫)

1972년 고려대학교 공과대학
기계공학 학사

1974년 고려대학교 공과대학
산업공학 석사

1976년 S.M.U 산업공학 석사

1979년 S.M.U 산업공학 박사

현 재 고려대학교 산업공학과
교수

관심분야 생산공학, 시뮬레이션, 분
산환경에서의 ERP, 객체
지향적 CIM 시스템

97년 6월 최초접수, 98년 4월 최종수정