

혼류 조립 라인에 Batch 단위로 부품을 공급하는
단위 작업장의 생산계획 수립
A Batch Scheduling Scheme for the Workcenters
that Supply Parts to Mixed-Model Assembly Lines

고려대학교 산업공학과

백 종관, 백 준걸, 김 성식

ABSTRACT

The factory under this study consists of mixed-model assembly lines and workcenters which provide parts to the main lines. Parts produced by the workcenter have different specifications for different product models.

The workcenters fabricate parts in batches, and they are divided into two types. A type 1 center supplies parts only to the main line that is designated to the center while type 2 center provides parts to all the main lines.

The purpose of this study is to develop a scheduling scheme for the workcenter, and the main objective of the schedules is to provide parts for the main lines without delay. The facts that make the scheduling challengeable are that 1) the different models existing together on a main line request different parts, 2) the spaces for part inventories are limited and 3) set up times are sequence dependent and long in some cases.

This study presents developed scheduling schemes for the type 1 center and explains the scheduling and control structure used.

1. 서론

혼류 생산 방식은 각 공정에서의 제품별 가공 시간의 차이를 고려하여 전체 Throughput의 향상과 재고 감소를 위해 도입되었으며 이와 관련된 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 그 대부분의 연구는 혼류 조립 라인에서의 일정

계획 수립 방법에 관한 것이다. 하지만 실제 그 연구 결과를 적용하는 현장에서는 주 조립 라인은 혼류로, 주 조립 라인에 부품을 공급하는 단위 작업장은 Batch 형태로 생산계획을 수립하는 예가 빈번하다.

이와 같은 상황에서는 Batch 단위로 생산을 진행하는 단위 작업장의 효과적인 운영이 혼류 생산을 가능하게 하는 전제조건이 된다. 본 연구에서는 혼류 생산 방식을 따르는 주 라인의 계획이 주어졌을 때 단위 작업장의 효과적인 운영을 위한 생산 계획 수립 절차를 개발한다.

주 라인은 혼류로 조립을 진행하고, 주 라인에 부품을 공급하는 단위 작업장은 Batch 단위로 생산을 진행하는 상황에서, 단위 작업장에서의 계획은 1) 주 라인의 계획에 영향을 주어서는 안되고 2) Batch 크기에 의해 발생하는 단위 작업장과 주 라인 사이의 재공 재고를 주어진 재고 공간에 따라 일정수준 이하로 유지하여야 한다. 따라서 재고를 일정 수준 이하로 유지하면서 주 조립 라인의 계획을 준수할 수 있는 단위 작업장의 Batch 생산계획 수립이 필요하다.

Batch 단위로 부품을 공급하는 단위 작업장은 공장의 특성에 따라 다음과 같은 두 가지 형태가 존재한다. 첫째, 하나의 주 라인에만 부품을 공급하는 단위 작업장으로 하나의 주 라인만을 위해 부품을 생산한다. 다른 하나는 첫 번째 경우가 확장된 것으로서 여러 개의 단위 작업장에서 여러 개의 주 라인에 필요한 부품을 공급해 주는 것으로 이 경우 여러 개의 주 라인의 생산계획을 통합한 후 여러 개의 단위 작업장에서 Batch 생산계획을 수립해야 하므로 혼류비의 유지 기간이 짧고 단위 작업장별 할당을 수행해야 한다.

본 연구에서는 두가지 형태의 단위 작업장 중 하나의 단위 작업장에서 하나의 주 라인에 부품을 공급하는 경우에 대한 단위 작업장에서의 Batch 생산계획 수립을 위한 Algorithm을 제시한다.

2. 본론

주 라인의 혼류 생산 계획이 주어졌을 경우 단위작업장의 Batch 생산 계획은 Demand Rate가 일정한 상황에서의 단위 작업장의 Batch 생산 계획 수립에 관한 문제가 된다. 하지만 본 연구에서는 기존의 연구들과는 다른 다음과 같은 제약 조건이 추가된다.

i) Demand에 대한 Backlog가 발생하여서는 안된다.

ii) 재공 재고는 재고 공간에 의한 제약을 받는다. 여기서 재공 재고는 단위 작업장에서 생산한 부품이 아직 주 라인에서 소비되지 않은 것의 합이다. 따라서 위 문제를 정형화시키면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & W_S \times \text{No. of Setup} \\ & + W_I \times \text{Mean Inventory} \end{aligned}$$

s.t. No. of Backlog = 0

$$I(t) < I_{\max}, t \in [0, \infty)$$

W_S : Setup 횟수에 대한 Weight

W_I : 평균 재고에 대한 Weight

I_{\max} : 최대 가능 재고

$I(t)$: t 시점에서의 재고

위 식에서 목적 함수는 일정한 Demand Rate 하에서의 Batch 생산 계획 수립에 관한 문제의 일반적인 목적 함수[1]이고 제약 조건은 본 연구의 특수한 상황을 반영한 것이다.

본 연구에서는 위 문제를 풀기 위해 다음과 같은 두가지 해법을 제시한다. 첫째, 단위 작업장에서 생산되는 부품이 최소 Lot 단위로 생산된다고 가정할 때 이 문제는 Family Scheduling 문제로 변환된다. 여기서 최소 Lot 단위란 단위 작업장에서 한 번 Setup을 변경한 후 생산해야하는 최소 단위, 또는 이동을 위한 최소 단위이다. 주 라인의 생산 계획에 의한 각 부품의 종류가 하나의 Family를 형성하며 각 부품당 생산 요구량을 최소 Lot 크기로 나눈 하나의 단위를 단위 작업장에서의 개별 Job으로 취급할 수 있다. 따라서 하나의 기계에 n개의 Job이 존재하고 각 Job은 여러 Family로 구성되어 있으며 Family간에만 Setup이 존재하는 One Machine Family Scheduling Model이 된다.[3]

다른 해법은 Cycle 횟수의 결정에 의한 계획 방법이다. 주 라인의 계획이 지속되는 기간이 길 경우 Family Scheduling 문제로 해결하기 위해서는 많은 계산이 필요하다. 혼류비가 일정하게 유지되는 기간이 길다면 Demand Rate가 일정한 상황에서의 단위 작업장의 생산 계획 수립에 관한 문제가 되고 단위 작업장에서의 생산 계획은 Cycle을 형성하게 된다.

주어진 주 라인의 계획이 일정 기간동안 일정한 혼류비를 가진다면 Batch 생산을 수행하는 단위작업장은 주 라인의 계획과 일대일 동기화 생산을 하여야 한다. 하지만 Setup Time의 발생으로 인해 주 라인과의 일대일 동기화 생산은 불가능하다.

따라서 주 라인의 혼류 생산 계획을 토대로 혼류비가 일정한 범위 내에서는 주 라인 계획의 부품 혼류비와 같은 비율의 Batch 크기를 갖는 Cyclic 생산 계획을 수립한다. 여기서 Cycle이란 주 라인에서 필요로 하는 부품을 한 Cycle당 한 번씩 생산하며 주 생산 라인의 혼류비와 동일한 비율의 부품별 Batch 크기를 갖는 단위 생산 기간을 의미한다.

1) Family Scheduling에 의한 해법

[그림 1]에서 왼쪽은 단위 작업장의 계획이 되고 오른쪽은 주 라인의 계획이 된다. 주 라인의 계획에서 각 부품은 하나의 Family를 형성하고 각 부품별로 필요한 요구량을 최소 Lot으로 나눈 하나의 단위가 하나의 Job이 된다. 주 라인의 계획에서 각 Job의 위치는 부품이 주 라인에서 소비되는 시점을 나타내며 주 라인의 계획에서 각 부품의 소비가 시작되는 시점이 단위 작업장에서의 Due Date가 된다. [그림 1]에서 Job C6의 단위 작업장에서의 Due Date를 예로서 나타내었다. 단위 작업장에서 생산되고 주 라인에서 소비되지 않은 Lot이 재공 재고가 된다.

따라서 단위 작업장에서의 생산 계획 수립에 관한 문제는 주 라인의 각 Family에 속해 있는 Job들을 각각의 Due Date를 어기지 않고 최대 재고량 한도 내에서 할당하는 문제가 된

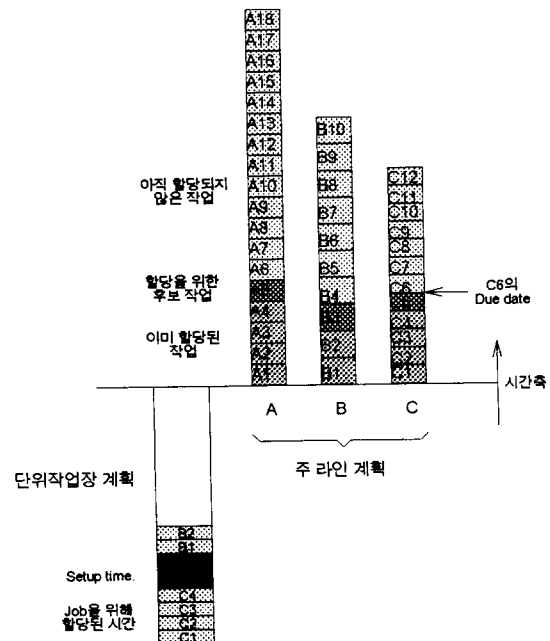


그림 1 - Family Scheduling Model로의 개념도

다. 이 문제는 NP-Hard[3]로서 수식적으로 해법이 불가능하기 때문에 [그림 2]와 같은 절차의 Heuristic 해법을 이용하여 생산 계획을 수립한다.

2) Cycle 횟수 결정에 의한 해법

주어진 주 라인의 계획을 토대로 혼류비가 일정한 범위 내에서 주 라인의 계획과 같은 비율의 Batch 크기를 갖는 단위 작업장에서의 Cyclic 생산 계획을 수립한다. 단위 작업장에서의 좋은 Cyclic 생산 계획이 수립되기 위해서는 주 라인에서의 혼류비가 일정한 기간이 길어야 한다.

단위 작업장에서의 계획을 수립하기 위해 주 라인의 혼류비가 일정한 주어진 기간에 대한 단위 작업장에서 Cycle 횟수를 결정해야 한다. Cycle의 횟수를 결정한 후에는 Cyclic 계획이 적절히 유지되기 위한 최적의 초기 조건을 만들어 준다.

① Cycle 횟수의 결정

n : 주 라인에서 요구하는 부품 종류

i : 생산 부품 index, $i = 1, 2, \dots, n$

S : Setup Time, 각 부품에 대하여 동일하다고 가정함

T_s : Safety Time, 부품 생산 후 Main Line에 공급을 위해 필요한 이동시간 + 여유 시간

$Total_i$: i 부품의 총 생산해야할 양

$Total$: $\sum_i Total_i$

T : 생산 계획 기간으로 주 라인에서 혼류비가 일정한 기간

K : 계획 기간 T 를 몇 개의 Cycle로 나눌 것인지 결정하는 변수

B_i : i 부품의 한 번 생산의 Batch 크기

$$B_i = Total_i / K$$

U_{ri} : 주 라인에서 i 부품의 소비율

$$Total_i / T$$

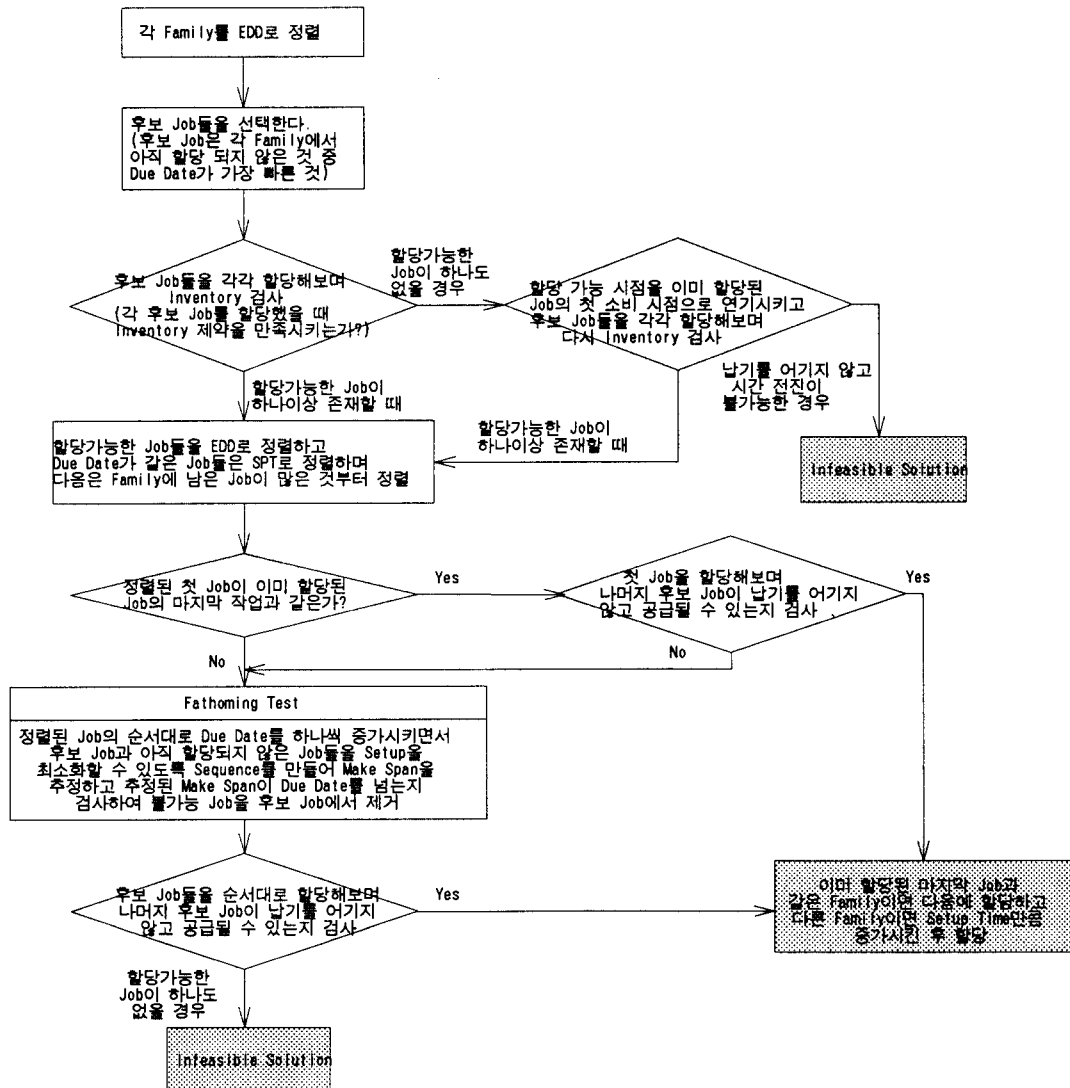


그림 2 - Family Scheduling을 위한 Heuristic 해법

Ur : 주 라인에서의 총 소비율

$$Ur = \sum_i Ur_i = \text{Total} / T$$

Pr : 단위작업장에서의 생산율, Pr > Ur

I_{max} : 최대 가능 재고

$$\text{Min } Z = [W_s \times N_s + W_I \times N_I]$$

s.t.

$$K \leq \frac{T \times (1 - Ur/Pr)}{n \times S}$$

$$K \geq \text{Max}_i \left\{ \frac{\text{Total}_i \times (1 - \frac{Ur}{Pr}) + \text{Total}_{i+1} \times (1 - \frac{Ur_{i+1}}{Pr}) + \text{Total}_{i+2} \times (1 - \frac{Ur_{i+1} + Ur_{i+2}}{Pr})}{I_{\text{max}} - T_s \times Ur + 2 \times S \times Ur_{i+1} + S \times Ur_{i+2}} \right\}$$

N_s : 생산 기간 동안의 평균 Setup 수

$$N_s = \frac{n \times K}{T}$$

N_I : 생산 기간 동안의 평균 재고 수

$$N_I = \sum_i \left\{ \frac{\frac{B_i \times T}{2K} - \frac{B_i \times \text{Total}_i}{K \times Pr} + \text{Total}_i \times T_s}{T} \right\}$$

목적은 시간당 평균 Setup 횟수와 시간당 평균 재고를 줄이기 위한 것이다. K의 상한 값은 전체 생산 가능 시간에서 Setup을 위해 필요한 시간을 뺀 단위 작업장에서 실제 생산 가능 시간 동안의 생산량이 주 라인에서의 전체 생산 시간동안 소비하는 양보다나 많아야 한다는 조건에서 유도된다. K의 하한 값 최대 재고가 재고의 상한 값보다 작아야 한다는 조건으로부터 유도되어진다. 여기서 최대 재고는 Cycle 중의 각 부품의 생산이 끝났을 때 발생함으로 각 부품의 생산이 끝나는 시점만 검사한다.

이 문제를 풀기 위해 먼저 목적 함수를 K에 대한 미분을 이용하여 최소 값 K*을 구한다.

$$K^* = \sqrt[3]{\frac{W_I \sum_i \text{Total}_i (\text{Pr} \times T - 2 \text{Total}_i)}{n \times W_s \times \text{Pr}}}$$

K* 와 K의 상한 값, 하한 값은 주어진 주 라인 계획의 유지 시간과 혼류비, 목적 함수에서의 Weight 값 등에 의해 달라지기 때문에 K*가 K의 상한 값과 하한 값 사이에 항상 존재하는 것은 아니다. 따라서 상한 값과 하한 값을 계산하고 하한 값이 상한 값보다 크다면 Infeasible이 된다. K*가 상한 값과 하한 값 사이에 포함된다면 K*가 해가 되고 포함되지 않으면 K를 K의 하한 값으로 두고 K의 상한 값까지 증가시키며 목적 함수를 최소로 하는 K를 찾는다.

② 초기 조건 결정

Cycle의 횟수를 결정한 후에는 Cyclic 계획이 적절히 유지되기 위한 최적의 초기 조건을 만들어 주어야 한다.

실제 문제에서 계획의 수립은 이전에 계획된 작업이 진행 중일 때 수행된다. 단위 작업장의 한 Cycle 내에서의 각 부품의 순서는 연속적으로 이어진 앞 계획에서 생산하지 않은 새로운 부품을 먼저 생산한다. 두 가지 이상의 부품이 새로 추가된 경우에는 현재고가 적은 것부터 생산한다.

전체 계획이 결정되면 단위 작업장에서의 초기 조건을 결정한다. 초기 조건의 시점은 주 라인에서의 주어진 계획의 시작 시점으로 하며 이 시점에서의 단위 작업장에서의 부품별 필요 재고를 초기 조건으로 한다. 주 라인의 혼류비가 변하는 일시적인 기간(Transient Period)에 대한 생산 계획은 1)에서 제시한 Family Scheduling 방법을 사용하여 이전 진행 중인 작업 상황에서 새로이 계획한 기간의 초기 조건으로 단위 작업장에서의 계획을 수립한다.

3. 결론

혼류 생산 라인에 관련된 기존의 연구는 주로 혼류로 진행하는 주 라인에 대한 일정 계획 수립에 관한 것이었다. 하지만 실제 혼류 생산을 수행하는 현장에서는 주 조립 라인은 혼류로, 주 조립 라인에 부품을 공급하는 단위 작업장은 Batch 형태로 생산 계획을 수립하는 예가 빈번하다. 주 조립 라인은 혼류로, 주 조립 라인에 부품을 공급하는 단위 작업장은 Batch 형태로 생산을 진행하는 상황에서는 단위 작업장의 효과적인 운영이 주 라인의 혼류 생산을 가능하게 하는 전제조건이 된다. 본 연구에서는 주라인이 혼류 생산을 적절히 수행할 수 있도록 하고 주어진 최대 재고를 넘기지 않는 단위 작업장에서의 생산 계획 수립을 위한 두가지 해법을 제시하였다.

4. 참고 문헌

- [1] GALLEGO, G., "Reduced production rates in the economic lot scheduling problem," *International Journal of Production Research*, VOL. 31, NO. 5, 1035-1046, 1993
- [2] GALLEGO, G., "Scheduling the production of several items with random demands in a single facility," *Management Science*, VOL. 36, NO. 12, 1579-1592, 1990
- [3] WEBSTER, S., and BAKER, K. R., "Scheduling groups of jobs on a single machine," *Operations Research*, VOL. 43, NO. 4, 692-703, 1995