

공작기계간 연결작업을 고려한 일정계획 수립에 관한 연구[†]

A Study on Production Scheduling with respect to the possibility of the connection between machines

김 동 희*

김 봉 선**

Abstract

The purpose of this paper is to develop a heuristic algorithm to maximize reduction rate of the processing time by the connection of neighbored machines. A method to calculate the start-lag and stop-lag for the overlapping production is proposed and applied. The heuristic procedure of this paper has 3 steps. In the first and second step, the job oriented procedure is applied. In the final step, the operation oriented procedure is applied. In order to evaluate the performance of this algorithm, three kinds of performance measures are selected and randomly generated problems are tested.

1. 서 론

개별생산방식의 일정계획에 관한 종래의 연구는 일련의 가정에 따라 문제를 축소 내지 단순화하여 그 해를 얻고자 하였다. 특히 전후공정간에 있어서, 선행공정의 모든 작업이 완료된 후에 후속공정의 작업이 시작될 수 있다는 가정은 로트(lot) 또는 배치(batch) 생산형태의 실제 상황과는 근본적으로 차이가 나게 된다[3,4,5,6]. 일반적으로 기계공장, 특히 프레스공정에 있어서, 로트생산형태로 제작되는 가공물들은 전체 로트에 대한 선행공정의 작업이 완료되지 않았어도 일정시간이 경과된 후에 후속공정의 작업이 시작될 수가 있고, 가공물들은 일정한 크기의 운반상자에 의하여 공정간 이송이 이루어지게 된다. 만일 전후 두 공정이 서로 이웃한 기계에서 작업이 수행될 수 있고 이들 기계사이를 로울러컨베이어와 같은 이송장치를 이용하여 연결시킬 수 있다면, 작업자는 운반상자를 이용하지 않고 이 연결대를 통하여 가공물들을 단위이송시킬 수 있게 되고 따라서 부품을 담은 운반상자의 이송시간, 운반상자에서 가공물을 꺼내는 시간, 그리고 작업이 완료된 후 다시 적재하는 시간 등을 절약할 수 있게 된다[1].

본 연구의 목적은 총처리시간(makespan)을 최소화하며 연결작업을 이용하여 공정시간의 감소를 최대화할 수 있는 일정계획을 효율적으로 수립할 수 있는 발견적 해법을 개발하는 데에 있다.

2. 중첩을 고려한 일정계획

L.G. Mitten은 그의 논문에서, n 개의 작업이 각각 두대의 기계 M_1 과 M_2 를 차례로 거치면서 작업이 진행되는 흐름공정(flow shop)의 예를 들어 시작지연(start-lag)과 완료지연(stop-lag)을 제시하였다[9] (그림 1 참조).

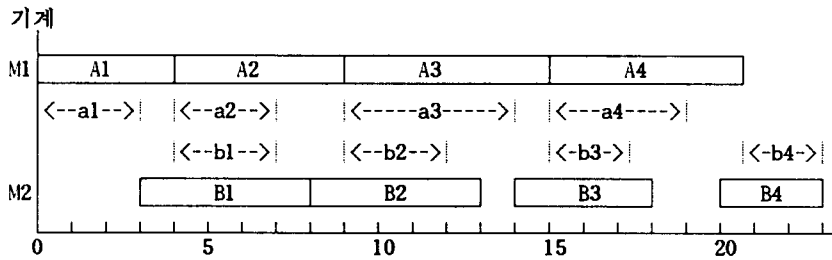
작업 i 의 시작지연(a_i)은 작업 i 의 첫 번째 공정이 기계 M_1 에서 시작된 후, 두 번째 공정이 기계 M_2 에서 시작되기까지 경과해야 되는 최소의 시간을 의미하고, 작업 i 의 완료지연(b_i)은 작업 i 의 첫 번째 공정이 기계 M_1 에서 완료된 후, 두 번째 공정이 기계 M_2 에서 완료되기까지 경과해야 되는 최소의 시간을

[†] 본 연구는 부분적으로 1993년도 인하대학교 연구비 지원에 의하여 수행되었음

* 인하대학교 대학원 산업공학과

** 인하대학교 산업공학과

뜻한다. 다시 말하면, 기계 M_1 에서 작업 i 의 시작 시점부터 작업 i 의 시작지연(a_i)이 경과하기 전에는 기계 M_2 에서 작업 i 가 시작될 수 없고, 또한 기계 M_1 에서 작업 i 의 완료 시점부터 완료지연(b_i)이 경과하기 전에는 기계 M_2 에서 작업 i 가 완료될 수 없다. 중첩생산의 경우 시작지연과 완료지연을 동시에 고려해주어야 되며, 시작지연의 제약보다 완료지연의 제약이 우선해서 만족되어야 한다.



<그림 1> 시작지연(a_i)과 완료지연(b_i)

단, A_i = 작업 i 의 M_1 에서 작업시간, B_i = 작업 i 의 M_2 에서 작업시간
 a_i = 작업 i 의 시작지연, b_i = 작업 i 의 완료지연

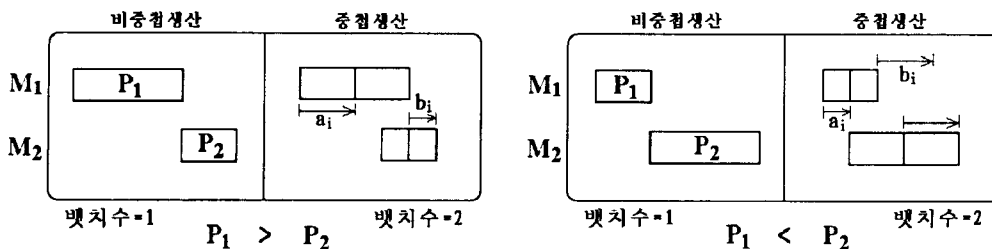
임의의 시작지연과 완료지연이 적용된 중첩생산 일정계획의 예를 그림 1에서 살펴보기로 한다. 작업 1의 두 번째 공정인 B_1 은 기계 M_1 에서 그의 선행공정인 A_1 이 시작된 후 시작지연(a_1)이 경과된 시점 3에서 시작되었고, 기계 M_2 에서 작업 3의 두 번째 공정인 B_3 의 경우에는, 기계 M_2 만의 여건에서 보면 시점 13에서 시작될 수 있으나, 시작지연(a_3)의 제약으로 인하여 시점 14에서 시작될 수가 있다. 또한 작업 4의 두 번째 공정인 B_4 는 시작지연(a_4)의 제약만을 고려할 경우에는 시점 19에서 시작될 수 있으나, 완료지연(b_4)의 제약도 동시에 고려해 주어야 하기 때문에, 실제로는 두 제약 조건을 모두 만족시키는 시점 20에서 시작이 가능하게 된다.

3. 연결작업을 고려한 일정계획

3.1 연결작업

어떤 가공물의 전후공정이 서로 이웃한 기계사이에서 수행될 수 있고 이웃한 기계사이에 로울러컨베이어와 같은 단순한 연결대가 설치될 수 있다면, 작업자는 운반상자를 이용하지 않고도 후속공정을 위한 부품을 단위이송시킬 수가 있게 된다. 이로 인해 서론에서 언급한 바와 같이 공정시간에 포함되어 있는 각종 시간들을 절약시킬 수가 있게 되며 이를 연결작업이라 한다.

연결작업을 고려하지 않은 로트생산방식에서는 일정 크기의 운반상자를 이용하여 공정간 이송이 이루어진다. 이러한 경우 공정간의 중첩을 위한 시작 및 완료지연의 계산은 운반상자의 크기를 기준으로 계산되어질 수 있다[13](그림 2참조).



<그림 2> 시작지연 및 완료지연과 배치수

선행공정과 후속공정사이에 연결작업이 가능하게 되는 경우에는 이론적인 배치의 수가 로트크기와 같다고 볼 수 있다. 이러한 경우 공정간의 중첩을 위한 시작지연은 선행공정에서 처음 1단위에 대한 가공시간으로 볼 수가 있으며, 완료지연은 후속공정에서 마지막 1단위에 대한 가공시간으로 볼 수가 있게 된다.

3.2 연결작업하에서의 공정시간

서론에서 언급한 바와 같이 이웃한 기계와의 연결작업을 통하여 공정시간을 감소시킬 수가 있다. 이는 이송시간이나 운반상자에서 가공물을 꺼내고 작업이 끝난 후 다시 적재하는 시간을 절약할 수가 있기 때문이다. 어떤 공정에 대해서 선행공정과 후속공정이 동시에 연결이 이루어지는 가 또는 이 두 가지 중 하나에 대해서만 연결이 이루어지는 가에 따라 공정시간의 감소는 다르게 나타나게 되며, 동시에 연결이 될 경우 현장의 경험으로 보아 부여된 공정시간의 30%까지도 감소시킬 수 있다고 한다[1]. 따라서 연결작업이 가능한 모든 작업들을 연결작업이 이루어질 수 있도록 일정계획을 수립하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

연결작업을 고려한 일정계획문제는 다음과 같이 정형화될 수 있다[1].

s : 계획이 완료된 작업의 공정수, m_{ij} : 작업 i 의 공정 j 가 수행될 기계

st_{ij} : 작업 i 의 공정 j 가 시작되는 시간, ct_{ij} : 작업 i 의 공정 j 가 완료되는 시간

n_i : 작업 i 의 로트크기, op_{ij} : 작업 i 의 j 번째 수행될 공정

$z_j = \begin{cases} 1, & \text{후속공정과 연결작업이 가능할 경우} \\ 0, & \text{후속공정과 연결작업이 가능하지 않을 경우} \end{cases}$

$t(op_{ij}, m_{ij}, z_{j-1} m_{i(j-1)}, z_j m_{i(j+1)})$: op_{ij} 의 단위당 공정시간

$STL(op_{ij}, op_{i(j+1)}, m_{ij}, m_{i(j+1)})$: op_{ij} 가 기계 m_{ij} 에서 시작된 후 $op_{i(j+1)}$ 이 기계 $m_{i(j+1)}$ 에서 시작되기까지 경과되어야 하는 시작지연

$CTL(op_{ij}, op_{i(j+1)}, m_{ij}, m_{i(j+1)})$: op_{ij} 가 기계 m_{ij} 에서 완료된 후 $op_{i(j+1)}$ 이 기계 $m_{i(j+1)}$ 에서 완료되기까지 경과되어야 하는 완료지연

$BF(op_{ij}, m_{i(j+1)})$: op_{ij} 가 수행될 기계 m_{ij} 와 그 후속공정이 수행될 기계 $m_{i(j+1)}$ 사이에 설치된 연결대의 용량

연결작업의 경우, 각 공정들은 다음 조건들을 만족시켜야 한다.

$$1) \quad ct_{ij} - st_{ij} = n_i \cdot t(op_{ij}, m_{ij}, z_{j-1} m_{i(j-1)}, z_j m_{i(j+1)}), \quad j = 2, \dots, s-1$$

$$ct_{i1} - st_{i1} = n_i \cdot t(op_{i1}, m_{i1}, 0, z_1 m_{i2}), \quad j = 1$$

$$ct_{is} - st_{is} = n_i \cdot t(op_{is}, m_{is}, z_{s-1} m_{i(s-1)}, 0), \quad j = s$$

$$2) \quad z_j = 0 \text{ 일 경우}$$

$$st_{ij} + STL(op_{ij}, op_{i(j+1)}, m_{ij}, m_{i(j+1)}) \leq st_{i(j+1)}$$

$$ct_{ij} + CTL(op_{ij}, op_{i(j+1)}, m_{ij}, m_{i(j+1)}) \leq ct_{i(j+1)}$$

$$3) \quad z_j = 1 \text{ 일 경우}$$

$$st_{ij} + t(op_{ij}, m_{ij}, z_{j-1} m_{i(j-1)}, m_{i(j+1)}) \leq st_{i(j+1)}$$

$$ct_{ij} + t(op_{i(j+1)}, m_{i(j+1)}, m_{ij}, z_{j+1} m_{i(j+2)}) \leq ct_{i(j+1)}$$

$$4) \text{ 연결대의 용량을 고려할 경우}$$

$$ct_{i(j+1)} - ct_{ij} \leq BF(op_{ij}, m_{i(j+1)}) \cdot t(op_{ij}, m_{ij}, z_{j-1} m_{i(j-1)}, m_{i(j+1)})$$

$$st_{i(j+1)} - st_{ij} \leq BF(op_{ij}, m_{i(j+1)}) \cdot t(op_{ij}, m_{ij}, z_{j-1} m_{i(j-1)}, m_{i(j+1)})$$

공정시간 단축의 최대화는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Maximize } \sum_i (RT_i), \quad RT_i = \sum_j n_i \cdot \{t(op_{ij}, m_{ij}, 0, 0) - t(op_{ij}, m_{ij}, z_{j-1}m_{i(j-1)}, z_j m_{i(j+1)})\}$$

$$\text{단, } z_0 = 0, \quad m_{s+1} = 0.$$

또한 연결작업을 고려하지 않은 공정시간과 연결작업을 고려한 공정시간 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$t(op_{ij}, m_{ij}, 0, 0) - t(op_{ij}, m_{ij}, z_{j-1}m_{i(j-1)}, z_j m_{i(j+1)}) = (1 - z_{j-1}\alpha - z_j\alpha) \cdot t(op_{ij}, m_{ij}, 0, 0)$$

단, α 는 연결작업이 가능할 경우 감소될 수 있는 공정시간의 감소비율

4. 연결작업을 고려한 발견적 해법

4.1 문제의 제가정

본 연구의 수행을 위한 전제조건은 다음과 같다[5][6].

- 1) 작업의 수 n 과 기계의 대수 m 은 알려져 있다.
- 2) 각 작업은 최대로 m 개의 공정을 가질 수 있고, 공정간 재고에는 제한이 없다.
- 3) 일단 가공이 시작된 공정은 완료될 때까지 다른 공정에 의하여 방해받지 않는다.
- 4) 일정계획 기간동안 기계의 고장 또는 정지와 같은 우발적 상황은 발생하지 않는다.
- 5) 공정시간은 작업수행순서와 무관하며 준비시간 및 운반상자에서 가공물을 꺼내고 적재하는 시간을 포함한다.
- 6) 작업장 내의 기계는 가공능력 순서대로 배치가 되어있으며, 서로 이웃한 기계의 작업대 사이에는 로울러컨베이어 등과 같은 연결대가 설치되어 있고 연결대의 용량에는 제한이 없다.
- 7) 각 작업의 공정들은 배정된 기계에서 또는 더 큰 가공능력을 가진 기계에서 수행될 수 있으며 공정 시간에는 변함이 없다.
- 8) 각 작업은 로트단위로 생산되며 작업별 전체 로트크기 및 운반상자의 용량은 알려져 있다.
- 9) 연결작업시 해당 공정의 공정시간은 알려진 공정시간의 감소율에 따라 단축된다.

또한 본 연구에서 사용된 기호들은 다음과 같다.

- PS_i : t 개의 계획된 공정을 포함하는 부분일정계획, S_i : 계획가능한 공정들의 집합
- σ_{ij} : 작업 i 의 공정 j 가 시작가능한 시간, φ_{ij} : 작업 i 의 공정 j 가 완료가능한 시간
- pt_{ij} : 작업 i 의 공정 j 에 소요되는 단위당 공정시간, pm_{ij} : 작업 i 의 공정 j 가 수행될 기계순번
- pl_{ij} : 연결작업이 가능할 경우, 작업 i 의 공정 j 에 소요되는 단위당 공정시간
- plm_{ij} : 연결작업이 가능할 경우, 작업 i 의 공정 j 가 수행될 기계순번
- st_{ij} : 작업 i 의 공정 j 가 실제 시작하는 시간, ct_{ij} : 작업 i 의 공정 j 가 실제 완료되는 시간
- mt_{ij} : 작업 i 의 공정 j 가 수행될 기계에서의 시작가능시간, opm_i : 작업 i 의 공정수
- n_i : 작업 i 의 로트크기, I_i : 작업 i 의 운반상자 용량
- x_i : 전체 로트를 운반상자 단위로 이송시키고 남은 나머지, 즉 n_i/I_i 의 나머지
- FG_i : 작업 i 의 분류 (0, 1, ..., 5)
- TF : 전체연결작업이 가능한 작업들의 집합
- PF : 부분연결작업이 가능한 작업들의 집합
- JOH : 작업단위 배정 방법
- $MWKR$: 최대 잔여 작업량 규칙
- SPT : 최소 작업시간 규칙
- $MOPN$: 최대 잔여 공정수 규칙
- $FOPN$: 최소 잔여 공정수 규칙

4.2 연결작업시 공정시간과 시작 및 완료가능시간의 계산

공정시간의 감소는 어느 공정이 그것의 전후공정과 동시에 연결작업으로 수행되는지 혹은 전후공정중 어느 하나에 대해서만 연결작업으로 수행되는지에 따라 다음과 같이 계산되어질 수 있다.

- 1) $|pm_{i(j-1)} - pm_{ij}| = 1$ 이고 $|pm_{ij} - pm_{i(j+1)}| = 1$ 일 경우 : $pt_{ij} = pt_{ij} \times (1 - 2\alpha)$
- 2) $|pm_{i(j-1)} - pm_{ij}| = 1$ 또는 $|pm_{ij} - pm_{i(j+1)}| = 1$ 일 경우 : $pt_{ij} = pt_{ij} \times (1 - \alpha)$

단순한 중첩생산 또는 연결형태에 따른 시작 및 완료가능시간의 계산은 다음과 같이 2단계(시작가능시간의 계산, 완료가능시간의 계산 및 시작가능시간의 수정)로 이루어진다.

첫 단계는 시작가능시간의 계산으로서 고려중인 공정에 대하여

```

if (j = 1)  $\sigma_{ij} = mt_{ij}$ 
else if ( $|pm_{i(j-1)} - pm_{ij}| = 1$ )
    if ( $st_{i(j-1)} + pt_{i(j-1)} < mt_{ij}$ )  $\sigma_{ij} = mt_{ij}$ 
    else  $\sigma_{ij} = st_{i(j-1)} + pt_{i(j-1)}$ 
else if ( $x_i = 0$ )
    if ( $st_{i(j-1)} + pt_{i(j-1)} \times I_i < mt_{ij}$ )  $\sigma_{ij} = mt_{ij}$ 
    else  $\sigma_{ij} = st_{i(j-1)} + pt_{i(j-1)} \times I_i$ 
else : ( $x_i \neq 0$ )
    if ( $st_{i(j-1)} + pt_{i(j-1)} \times x_i < mt_{ij}$ )  $\sigma_{ij} = mt_{ij}$ 
    else  $\sigma_{ij} = st_{i(j-1)} + pt_{i(j-1)} \times x_i$ 
    
```

와 같이 계산되어질 수 있고,

두 번째 단계는 완료가능시간의 계산 및 시작가능시간의 수정으로서 고려중인 공정에 대하여

```

if (j = 1)  $\varphi_{ij} = \sigma_{ij} + pt_{ij} \times n_i$ 
else if ( $|pm_{i(j-1)} - pm_{ij}| = 1$ )
    if ( $ct_{i(j-1)} + pt_{ij} \leq \sigma_{ij} + pt_{ij} \times n_i$ )  $\varphi_{ij} = \sigma_{ij} + pt_{ij} \times n_i$ 
    else  $\varphi_{ij} = ct_{i(j-1)} + pt_{ij}$ 
         $\sigma_{ij} = \varphi_{ij} - pt_{ij} \times n_i$ 
else if ( $x_i = 0$ )
    if ( $ct_{i(j-1)} + pt_{ij} \times I_i \leq \sigma_{ij} + pt_{ij} \times n_i$ )  $\varphi_{ij} = \sigma_{ij} + pt_{ij} \times n_i$ 
    else  $\varphi_{ij} = ct_{i(j-1)} + pt_{ij} \times I_i$ 
         $\sigma_{ij} = \varphi_{ij} - pt_{ij} \times n_i$ 
else : ( $x_i \neq 0$ )
    if ( $ct_{i(j-1)} + pt_{ij} \times x_i \leq \sigma_{ij} + pt_{ij} \times n_i$ )  $\varphi_{ij} = \sigma_{ij} + pt_{ij} \times n_i$ 
    else  $\varphi_{ij} = ct_{i(j-1)} + pt_{ij} \times x_i$ 
         $\sigma_{ij} = \varphi_{ij} - pt_{ij} \times n_i$ 
    
```

와 같이 계산되어질 수 있다.

4.3 발견적 해법

단계 0 : 모든 작업 i 에 대하여 $FG_i = 0$ 로 초기화한다.

작업 i 의 공정수가 1이면 $FG_i = 4$ 로 둔다.

단계 1 : (전체 공정이 연결작업으로 가능한 경우)

- 1.1) $FG_i = 0$ 인 작업 i 들에 대하여 전체공정 연결작업이 가능한지 탐색을 하여 가능하면 pm_{ij} 와 pt_{ij} 를 구하고 $FG_i = 1$ 로 두고 i 를 TF에 추가한다.
- 1.2) 전체공정 연결작업이 가능하지 않으면 $FG_i = 2$ 로 둔다.
- 1.3) $FG_i = 0$ 인 모든 작업에 대한 탐색이 끝날 때까지 1.1), 1.2)를 반복한다.

- 1.4) TF 에 속한 작업들에 대하여 우선순위규칙 $MOPN_MWKR$ 을 적용하여 작업 i 를 선택 후 JOH법으로 모의배정을 한다.
- 1.5) 모의배정시 작업 i 의 모든 공정들에 대하여 계획된 시작가능시간과 실제시작가능시간이 차이가 없으면($st_{ij} = \sigma_{ij}$) $FG_i = 5$ 로 두고 pm_{ij} 와 pt_{ij} 을 가지고 JOH법으로 실제 배정을 한다. 만약 하나의 공정이라도 $st_{ij} \neq \sigma_{ij}$ 이면 $FG_i = 2$ 로 둔다.
- 1.6) TF 에 속한 $FG_i = 1$ 인 작업이 모두 모의배정단계를 거칠 때까지 1.4), 1.5)를 반복한다.

단계 2 : (부분적으로 연결작업이 가능한 경우)

- 2.1) $FG_i = 2$ 인 작업 i 들에 대하여 부분적으로 연결작업이 가능한지 탐색을 하여 가능하면 pm_{ij} 와 pt_{ij} 를 구하고 $FG_i = 3$ 으로 두고 i 를 PF 에 추가한다.
- 2.2) 부분적으로 연결작업이 가능하지 않으면 $FG_i = 4$ 로 둔다.
- 2.3) $FG_i = 2$ 인 모든 작업에 대하여 탐색이 끝날 때까지 2.1), 2.2)를 반복한다.
- 2.4) PF 에 속한 작업들에 대하여 우선순위규칙 $MWKR_FOPN$ 을 적용하여 작업 i 를 선택 후 JOH법으로 모의배정을 한다.
- 2.5) 모의배정시 부분연결이 가능한 것으로 탐색된 작업 i 의 모든 공정들에 대하여 계획된 시작가능시간과 실제시작가능시간이 차이가 없으면($st_{ij} = \sigma_{ij}$) $FG_i = 5$ 로 두고 pm_{ij} 와 pt_{ij} 를 가지고 JOH법으로 실제배정을 한다. 부분연결이 가능한 공정들 중 하나라도 $st_{ij} \neq \sigma_{ij}$ 이면 $FG_i = 4$ 로 둔다.
- 2.6) PF 에 속한 $FG_i = 3$ 인 작업이 모두 모의배정단계를 거칠 때까지 2.4), 2.5)를 반복한다.
- 2.7) $FG_i = 5$ 인 모든 작업에 대하여 부분연결작업으로 실제배정 가능한 작업이 없을 때까지 $FG_i = 2$ 로 두고 단계 2를 반복한다.

단계 3 : (미배정 작업들에 대한 공정별 배정단계)

- 3.1) PS_i 에는 단계 1,2에서 배정된 작업의 공정들이 포함되어 있으며 S_i 는 $FG_i = 4$ 이고 선행공정이 없는 모든 공정을 포함한다.
- 3.2) $\sigma^* = \text{Min}_{j \in S_i} \{ \sigma_{ij} \}$ 일 때 σ^* 가 실현될 수 있는 기계 M^* 을 결정한다.
- 3.3) 기계 M^* 을 필요로 하며, $\sigma_{ij} = \sigma^*$ 를 만족하는 S_i 에 속하는 각각의 공정에 대하여 우선규칙 $MWKR_SPT$ 을 적용하여 하나의 공정 j 를 PS_i 에 추가시키고 새로운 부분일정계획을 작성한다.
- 3.4) 단계 3.3에서 작성된 부분일정계획 PS_{i+1} 에 따라 다음의 과정을 수행한다.
 - S_i 에서 공정 j 를 제거한다.
 - 공정 j 의 바로 다음 공정을 S_i 에 추가하여 S_{i+1} 을 구성한다.
 - t 를 1 증가시킨다.
- 3.5) $FG_i = 4$ 인 작업들의 모든 공정이 PS_i 에 포함될 때까지 3.2에서 3.4를 반복한다.

4.4 평가기준

연구의 발견적 해법에 대한 효율성 평가를 위하여 다음 4가지 기준이 사용되었다.

첫째, {모든 공정시간의 합}에 대한 {연결작업에 의해 실제 감소된 공정시간의 합}의 비율로서 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$T_1 = \frac{\sum_i \sum_j \{ (pt_{ij} - \dot{pt}_{ij}) \cdot n_i \}}{\sum_i \sum_j (pt_{ij} \cdot n_i)}$$

둘째, {이론적으로 감소될 수 있는 공정시간의 합}에 대한 {연결작업에 의해 실제 감소된 공정시간의 합}의 비율로서 다음과 같이 계산된다.

$$T_2 = \frac{\sum_i \sum_j \{ (pt_{ij} - \dot{pt}_{ij}) \cdot n_i \}}{\sum_{i \in TF} \sum_j \{ (pt_{ij} - \dot{pt}_{ij}) \cdot n_i \} + \sum_{i \in PF} \sum_j \{ (pt_{ij} - \dot{pt}_{ij}) \cdot n_i \}}$$

셋째, {연결작업을 고려하지 않고 중첩만을 고려하여 $MWKR_SPT$ 을 적용한 휴리스틱에 의한 총처리시간(MS_2)}에 대한 {본 연구의 발견적 해법으로 생성된 일정계획의 총처리시간(MS_1)}의 단축비율로 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$MS^* = (MS_2 - MS_1) / MS_2$$

네제, {연결작업을 고려하지 않고 중첩만을 고려하여 MWKR_SPT를 적용한 휴리스틱에 의한 일정계획의 기계효율(MA₂)}에 대한 {본 연구의 발견적 해법으로 생성된 일정계획의 기계효율(MA₁)}의 비율로 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$MA_1 = \left[\sum_i \sum_j (pt_{ij} \cdot n_i) + \sum_i \sum_j \{ (pt_{ij} - pt_{ji}) \cdot n_i \} \right] / [MS_1 \times m] = \sum_i \sum_j (pt_{ij} \cdot n_i) / (MS_1 \times m)$$

$$MA_2 = \sum_i \sum_j (pt_{ij} \cdot n_i) / (MS_2 \times m)$$

$$MA^* = MA_1 / MA_2$$

4.5 발견적 해법의 분석

발견적 해법의 효율성을 검토하기 위하여 다음과 같은 조건하의 임의데이터가 사용되었다.

- 1) 작업의 수는 5, 10, 15, 20, 50, 70, 100의 확정 값이 사용되었다.
- 2) 기계의 수는 10, 15, 20의 확정 값이 사용되었다.
- 3) 최대공정수는 5의 확정값이 사용되었다.
- 4) 각 작업의 공정수는 1 ~ 최대공정수 사이의 이산형 균일분포를 따른다.
- 5) 단위당 공정시간은 1 ~ 10 사이의 이산형 균일분포를 따른다.
- 6) 각 공정의 가공기계는 1 ~ 기계수 사이의 이산형 균일분포에 따라 지정되었다.
- 7) 각 작업의 로트크기로는 (1 ~ 10사이의 이산형 균일분포의 변수)×100이 사용되었다.
- 8) 각 작업의 운반상자 용량으로는 (1 ~ 5사이의 이산형 균일분포의 변수)×100이 사용되었다.
- 9) α는 0.05, 0.10, 0.15 이 사용되었다.

[표 1] 임의데이터에 대한 실험결과 1 (α = 0.15)

작업수	기계수	최대공정수	T ₁ (%)	T ₂ (%)	MS*(%)	MA*
5	10	5	18.73	95.04	32.45	1.47
	15	5	16.02	97.41	33.40	1.51
	20	5	18.26	92.01	34.84	1.57
10	10	5	10.69	82.20	16.88	1.22
	15	5	15.08	84.64	20.63	1.26
	20	5	15.04	85.02	25.82	1.41
15	10	5	11.18	74.93	10.19	1.14
	15	5	12.73	73.18	11.43	1.13
	20	5	13.66	73.64	8.10	1.14
20	10	5	11.92	62.96	17.94	1.25
	15	5	13.24	67.10	12.65	1.28
	20	5	14.06	71.01	10.89	1.22

[표 2] 임의데이터에 대한 실험결과 2 (α = 0.15)

작업수	기계수	최대공정수	T ₁ (%)	T ₂ (%)	MS*(%)	MA*
50	20	5	11.45	57.73	7.30	1.09
70	20	5	12.15	51.58	10.62	1.12
100	20	5	8.90	46.94	11.62	1.15

실험은 휴렛팩커드 486기종에서 수행되었으며, [표 1]은 α=0.15일 경우 문제의 크기별로 각 100개의 임의데이터에 대한 실험결과이고 [표 2]는 α=0.15일 경우 각 10개의 임의데이터에 대한 실험결과이다. [표 1]에 요약된 실험결과에서와 같이 공정시간의 단축에 있어서 문제의 크기별로 큰 변동이 없이 좋은 결과가 나왔으며, 총처리시간과 기계효율면에서는 기계에 대한 최대공정수가 작거나 또는 문제의 크기가 작은 경우에 좋은 결과가 나왔다. [표 2]에서와 같이 비교적 큰 문제의 경우에도 전반적인 수행도는 작은 크기의 문제와 큰 차이가 없음을 알 수가 있다. 그러나 α=0.05, α=0.10을 적용한 경우에는 총처리시간과 기계효율면에서 중첩만을 고려한 일정계획보다 좋지 않은 결과가 나왔다.

5. 결론

본 연구에서는 연결작업을 고려하여 총처리시간의 최소화와 공정시간 단축의 최대화를 목적으로한 일정계획을 효율적으로 수립할 수 있는 발견적 해법의 개발을 시도하였다. 또한 작업의 연결형태에 따른 적절한 시작 및 완료지연을 계산할 수 있는 방법을 제시하였으며, 이는 실제 현장 및 다른 유형의 일정계획 문제에도 쉽게 적용될 수 있을 것이다. 특히 본 연구에서는 실제 일정계획 담당자들에게 있어 많이 사용되고는 있지만 이론적인 면에서 연구가 없었던 배치생산이나 로트생산시 볼 수 있는 연결작업과 중첩생산 문제를 고려함으로써 보다 실제에 가까운 접근을 시도하였다.

제안된 해법의 분석에서와 같이 공정시간의 단축으로 인한 효과는 $\alpha=0.15$ 인 경우에는 비교적 만족할 만 하였으나, $\alpha=0.05$, $\alpha=0.10$ 을 적용한 경우에는 총처리시간과 기계효율에 있어서 좋지 않은 결과가 나왔다. 따라서 좀 더 만족할 만한 일정계획이 수립될 수 있도록 본 연구에서 제시된 발견적 해법의 개선을 위한 연구가 계속되어야 하겠다.

또한 앞으로의 관련연구과제로는 기계간 연결대의 버퍼(buffer)를 고려한 경우와 연결작업시 기계비용의 차이를 고려한 일정계획문제 등을 들 수가 있겠다.

參 考 文 獻

- [1] 김봉선, "일정계획 문제의 정식화에 관한 연구", 인하대학교 산업과학기술연구소 논문집, 제 20편, 1992.
- [2] 조규갑, 생산시스템공학, 회중당, 1991.
- [3] K. R. Baker, Introduction to Sequencing and Scheduling, John Wiley and Sons, Inc., New York, 81974.
- [4] R. Bellman, A. O. Esogbue, I. Nabeshma, Mathematical Aspects of Scheduling and Application, Pergamon Press, 1982
- [5] R.W. Conway, W. L. Maxwell, L. W. Miller, Theory of Scheduling, Addison - Wesley Publishing Company.
- [6] S. French, Sequencing and Scheduling : An Introduction to the mathematics of the Job-Shop, Ellis Horwood Limited, New York, 1982.
- [7] B. Giffler and G. L. Thompson, "Algorithms for Solving Production Scheduling Problems", O.R., Vol. 8, No.4, 1960.
- [8] J. Hutchinson and Y. L. Chang, "Optimal Nondelay Job Shop Schedules", Int. J. PROD. RES., Vol. 28, No. 2, 1990.
- [9] L. G. Mitten, "A Scheduling Problem : An Analytic Solution Based Upon Two Machine, n Jobs, Arbitrary Start and Stop Lags, and Command Sequence.", The Journal of Industrial Engineering, Volume X, No. 2, 1959.
- [10] S. S. Panwalker and W. Iskander, "A Survey of Scheduling Rules", O.R., Vol. 25, No. 1, 1977.
- [11] Hax,A.C., Candea,D., *Production and Inventory Management*, Prentice Hall, 1984
- [12] Hastings,N.A.J., Yeh,C.-H., "Job oriented production scheduling", *European Journal of O.R.*, Vol.47, 1990
- [13] Leon,V.J., Lin,M.-H.M., "The Effect of time lags on sequencing Decisions :The Two-machine Flowshop Case",*Institute of I.E. 2nd Industrial Engineering Research Conference Proceedings*, 1992