

## 작업효율을 만족하고 작업량 평준화를 고려한 작업자할당 방법에 관한 연구

이홍철 · 안재명 · 김성식\*

### The Worker Scheduling Scheme for Maximum Work Efficiency with Workloads Balancing Consideration

Hong-Chul Lee · Jae-Myoung An · Sung-Shick Kim\*

#### Abstract

The problem addressed in this paper is to minimize the deviations of workloads assigned to worker and to maximize the total utilizations(degree of skill) between workers and machines simultaneously. Each worker can handle the set of machines with the different degree of skill and each machine has the workloads needed to be processed. Also, each worker has to be assigned to at least one machine with the minimum workload deviation. This problem can be formulated as a preemptive goal programming with generalized assignment constraints. The proposed algorithm consists of two phases. First, a capacitated circulation network is constructed to assign the workers to machines with the maximum total utilizations while considering workloads balance. Then, a refinement process is applied to the split machines to satisfy the feasibility condition. The real industrial application in a plastic extrusion manufacturer is included along with several computational experiments.

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

제조 공장들에는 자동화가 급속도로 이루어져

서 많은 기계들이 자동화되어 있다. 그러나 대부분의 공장에서는 자동화된 기계를 도입했다고 하더라도 그 기계를 감독하거나 기계에서 생산된 제품의 마무리 작업이 필요한 경우에는 작업자가 있어야 한다. 작업자는 한 기계에 대해서만 작업을 할 수도 있고, 자동화된 기계들일 경우에

\* 고려대학교 산업공학과

는 동시에 여러 대를 감독할 수도 있다.

작업자들은 해당 분야에서 일한 경력 등의 개인적인 특성에 따라 특정작업에 대하여 서로 다른 숙련도를 가지고 있다. 또한, 각 작업자는 자신이 주로 작업한 기계에 대해서는 높은 숙련도를 가지는 반면에 그렇지 않은 기계에 대해서는 낮은 숙련도를 나타낸다. 이런 이유로 각 작업자가 각각의 기계에 대해서 서로 다른 작업효율을 가지게 되므로, 각 기계에 대해서 어떤 작업자를 할당하느냐에 따라 그 기계에서 행해지는 작업들의 작업 효율이 달라지게 되며 일반적으로 이런 경우에는 각 기계에 작업자를 할당할 때에 전체 작업효율이 최대가 되도록 할당문제(assignment problem)를 이용하여 할당하면 된다. 그러나, 전체 작업효율이 최대가 되도록 하는 이런 작업자 할당 방법은 기업의 생산량이 시장의 상황에 따라 탄력적으로 변할 때에는 알맞지 않다.

기업의 생산량이 줄어들었을 때에는 각각의 기계에 걸린 작업량이 기계에 따라 기계의 최대능력에서부터 아주 작은 작업량까지 가지게 되고 작업자마다의 작업량도 달라져서 작업 숙련도가 높은 작업자는 작업량이 많아지고, 작업 숙련도가 낮은 작업자는 작업량이 줄어들게 된다. 작업자간의 작업의 편차가 커지게 되면, 작업자가 불만을 가지는 원인이 되며 직무만족도가 저하되므로 작업자 관리면에서 바람직하지 못하다. 또, 이런 경우에 작업량이 많지 않다고 해서 작업자의 수를 줄이거나 해고시키는 것도 작업자들의 반발이나 비용을 고려할 때 현실적인 방법이 되지 못한다. 그러므로, 기계에 작업자를 할당할 때 작업자간의 작업량의 편차를 줄이는 것을 고려하여야 한다. 그래서, 본 연구에서는 전체 작업효율을 최대로 하면서 작업자의 작업량을 평균화시키는 알고리즘을 제안하고자 한다.

## 1.2 관련 연구 고찰

기존의 연구를 살펴보면, 주로 조립 생산 라인에서의 각 교대작업별 최소 작업인원을 구하는 문제나, job shop에서 후속 작업이 있을 때 각 기계별 작업자 할당을 어떻게 할 것인가 하는 문제에 관한 것들이다. 또, 지금까지 알려진 작업자 할당에 관한 법칙과 작업에 대한 우선 순위 규칙을 동시에 고려할 때, 어떻게 규칙을 혼합하여 사용하는 것이 좋은가를 모의실험을 통하여 비교하는 연구가 대부분이다.

Weeks와 Fryer[10]는 가상적인 Job shop에 대하여 다양한 작업배치계획(dispatching rule), 작업자 할당, 납기 결정의 규칙들을 사용하여 여러 대안들을 바꿔 가면서 시뮬레이션을 이용하여 상대적인 효과를 분석하였다. Sarker[9]는 생산비율이 변하는 상황에서 주조립라인에서 필요한 작업량을 수행하기 위한 최소의 작업자 수를 구하는 해법을 제시하였다. 이 연구에서는 각 제품에 필요한 노동력의 표준시간을 이용하여 최소의 노동력을 구하였다. Worthington과 Guy[11]는 병원에서 치료받기 위해 오는 환자들의 병의 종류에 따라 환자들을 각 과별, 진료항목별로 분류하여 필요한 최소한의 간호원 수와 간호원의 근무 스케줄을 구하는 방법을 제한하였다. Burns와 Koop[4]은 각 교대작업(shift)마다 필요한 최소의 작업자 수를 가지고 각 교대작업의 작업자 스케줄을 구할 때 되도록 휴일에 쉬는 날이 많이 생기도록 하는 방법을 제안하였다.

Mazzola[7]는 비선형적인 능력 상호작용(non-linear capacity interaction)을 가지고 제한된 능력을 가진 agent에 작업을 할당하는 문제에 대한 수학적 모형과 해법을 제시하였다. 여기에서 비선형적인 능력 상호작용이라 함은 한 작업자에 여러 작업이 할당되었을 때 작업간의 유사

성이나 작업의 난이도에 따라 필요한 작업량이 선형으로 늘어나는 것이 아니라 비선형적으로 늘어나는 상황을 말한다. Gavish와 Pirkul[5]은 작업자가 작업을 할 때 여러 종류의 자원을 필요로 하는 상황에 대한 해법을 제시하였다. Malhotra와 Kher[6]는 작업자 할당 문제를 자원의 종류와 자원간의 거리에 따라 4개의 문제로 분류하여 각 상황에 맞는 작업자 할당에 대한 여러 방법을 열거하였다. Bobrowski와 Park[3]는 기계마다 각 작업자의 효율이 달라지는 job shop공장에서 언제 할당된 자원을 바꿀 것인가(When to move)와 어느 자원을 바꿀 것인가(Where to move)에 관한 대안들을 시뮬레이션을 통하여 비교하였다.

여러 관련 연구를 보면 작업효율을 최대화하거나 비용을 최소화하는 문제에 대한 연구들은 많지만 작업자들에게 할당된 작업량의 편차를 고려하는 작업자 할당방법에 대한 연구는 많지 않다. 그래서, 본 연구에서는 기계마다 작업자의 숙련도가 달라지고 한 작업자가 동시에 여러 대의 기계를 관리할 수 있는 경우에는 그룹으로 묶어 하나의 기계로 고려할 수 있는 상황에서 작업자의 숙련도를 고려하여 전체 작업의 효율을 높은 수준으로 유지하면서, 작업자들의 작업량의 편차를 최소로 하는 작업자 할당 방법에 대하여 수리 모형을 제시하고 네트워크 흐름(network flow)을 기본 개념으로 하는 해법절차를 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문의 연구대상인 작업자할당에 대한 문제 정의와 수리 모형을 제시한다. 3장에서는 제시된 수리모형에 대한 해를 구하기 위한 발견적 해법의 기본 개념과 그 절차를 설명한다. 4장에서는 발견적 해법을 예제 문제에 적용하여 실제 해를 구해본다. 5장에서는 문제의 크기와 최대 작업능력에 대한 총작업량의 여러 조건에 대하여 본 연구의 발견적 해법을 적용한 결과를 제시하고

그 결과를 분석한다. 6장에서는 본 연구의 결론과 본 논문의 해법을 대상공장에 적용한 사례를 제시한다.

## 2. 수리 모형

### 2.1 모형의 가정

본 모형에서는 미리 수립된 생산계획에 의해 각 기계별로 해야 될 작업량이 정해져 있고, 한 기계에 할당된 작업은 다른 기계로 옮길 수 없으며, 작업자가 한 기계에서의 작업량을 마치고 다른 기계에서 작업하기 위하여 이동하는 시간은 무시할 수 있다는 가정 하에 세워졌다. 또, 각 작업자의 최대작업능력은 정해져 있고, 한 기계에 대해서 여러 작업자가 작업을 할 수는 없다고 가정한다.

### 2.2 기호의 정의

- 수리 모형을 세우기 위한 기호는 아래와 같다.
- $N$  : 작업자의 수 ( $i=1, \dots, N$ )
  - $M$  : 공장에 있는 기계의 대수 ( $j=1, \dots, M$ )
  - $s_{ij}$  : 작업자  $i$ 의 기계  $j$ 에 대한 효율 (작업숙련도)
  - $a_{ij}$  : 작업자  $i$ 가 기계  $j$ 에서 작업을 할 수 있는지를 나타내는 지시자 (0, 1)
  - $x_{ij}$  : 작업자  $i$ 에게 기계  $j$ 가 할당되었는지를 나타내는 변수 (0, 1)
  - $v_j$  : 기계  $j$ 에서 해야 할 작업들의 총 작업시간 (workload)
  - $q_i$  : 작업자  $i$ 에 해당 쉬프트 동안 할당된 총 작업시간(workload)의 결정변수
  - $c_i$  : 작업자  $i$ 가 작업할 수 있는 최대 작업능력

$W$  : 공장에 할당된 총 작업량의 합

위의 기호 중에서  $s_{ij}$ 는 작업자의 기계에 대한 효율을 여러 등급으로 나누어서 나타내는 수치로서 0 보다는 크고 1 이하인 값을 주게 된다.  $a_{ij}$ 는 지시자(indicator)로 작업자  $i$ 가 기계  $j$ 에서 작업이 가능하면 1을 나타내고 그렇지 않으면 0을 나타낸다.

본 연구에서 세운 수리 모형은 아래와 같다.

$$\text{Maximize } \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M s_{ij} a_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^N |q_i - W|/M \quad (2)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^N a_{ij} x_{ij} = 1 \quad \text{for } j=1, 2, \dots, M \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^M v_j a_{ij} x_{ij} \leq c_i \quad \text{for } i=1, 2, \dots, N \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^M v_j a_{ij} x_{ij} = q_i \quad \text{for } i=1, 2, \dots, N \quad (5)$$

$$x_{ij} = 0, 1 \quad \text{for } \forall i, j \quad (6)$$

where,  $W = \sum_{i=1}^N q_i = \sum_{j=1}^M v_j$ , total workload (7)

위의 식에서 식 (1)은 기계에 대한 각 작업자의 숙련도를 고려하여 전체 작업에 대한 효율을 최대로 하도록 기계에 작업자를 할당하겠다는 것을 나타내는 식이다. 식 (2)는 각 작업자의 작업량(workload)과 작업자의 평균 작업량의 차의 총합을 최소로 하는 작업자 할당을 하겠다는 것을 나타내는데 이것은 작업자들의 작업량을 평균화하겠다는 것을 의미한다. 식 (3)은 각 기계에 할당된 작업은 여러 작업자가 나누어서 수행

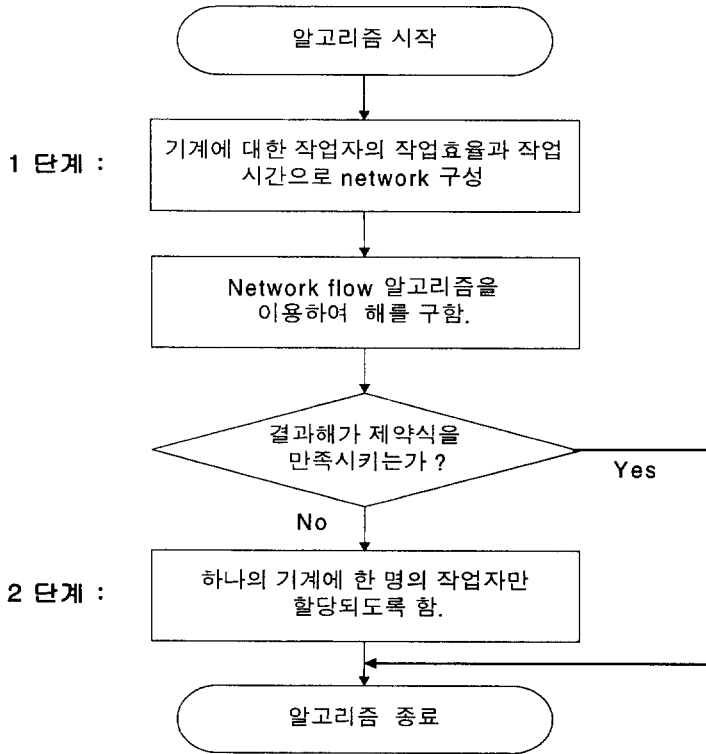
할 수 없고 오직 한 작업자에게만 할당된다는 것을 나타낸다. 식 (4)는 각 작업자에 대해서 할당된 작업의 총 작업량은 해당 작업자의 최대 능력을 넘지 못 한다는 것을 나타낸다. 식 (5)는 작업들을 작업자에게 할당한 결과 각 작업자가 그 슈프트에서 수행하는 총 작업량을  $q_i$ 로 표시하겠다는 것을 의미한다. 식 (6)은 결정변수의 정수조건을 나타내고, 식 (7)은 작업자들에 할당된 총 작업량의 합과 기계들에 할당된 총 작업량의 합은 공장에 할당된 총 작업량의 합  $W$ 와 같다는 것을 나타낸다.

### 3. 해법 절차

#### 3.1 기본개념

본 연구의 문제는 작업자가 처리해야 할 작업량이 작업자의 최대능력보다 작아야 하고 한 기계에 오직 한 명의 작업자만 할당해야 한다는 제약식을 고려하면서, 작업효율을 최대화하고 작업편차를 최소화하는 2개의 목적식을 만족시키는 해를 구하는 문제이다. 그래서 위의 문제를 풀기 위하여 제안된 알고리즘의 기본 절차는 2단계로 구성된다. 해법절차의 순서도는 <그림 1>과 같다.

첫 번째 단계에서는 주어진 문제를 풀기 위하여 capacitated circulation network[8]을 구성하여 각 작업자의 작업량이 작업자당 평균 작업량 이하가 되도록 하면서 공장전체의 작업 효율이 최대가 되도록 작업자들을 기계에 할당하게 된다. 각 작업자의 허용 작업능력을 작업자당 평균 작업량으로 함으로서 일차적으로 특정 작업자에게 작업이 많이 할당되는 것을 방지한다. 그러



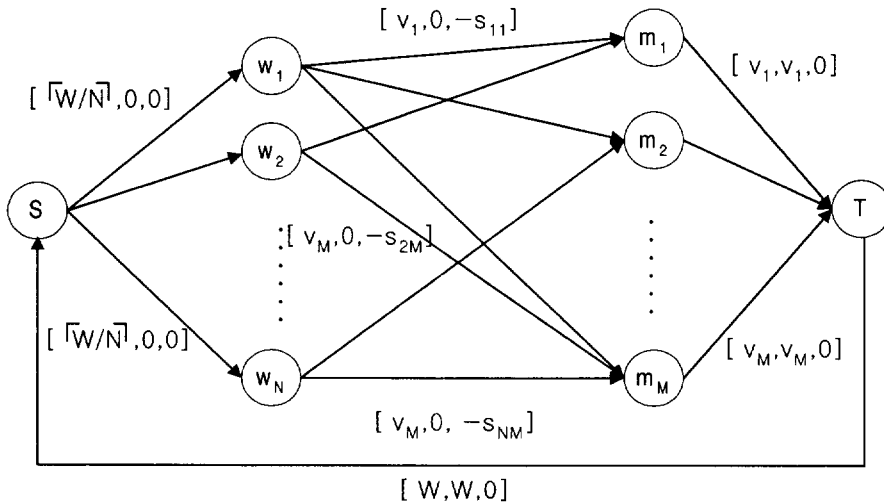
〈그림 1〉 알고리즘의 기본 절차

나, 여기에서 나온 결과는 작업의 효율은 최대가 되겠지만 어쩔 수 없이 하나의 기계에 다수의 작업자가 할당되는 경우가 생기게 되어 제약식 (3)을 위반하게 된다. 그래서, 두 번째 단계에서는 목적함수를 고려하면서 나누어진 기계들을 다시 합쳐서 한 작업자에게만 할당되도록 한다. 각 단계별 상세한 알고리즘 절차는 다음과 같다.

### 3.2 네트워크 구성

본 해법은 처음에 작업자 할당문제를 network flow 문제로 변환하여 초기해를 구한다. 작업자 할당 문제를 풀기 위하여 만들어지는 network은 다음과 같은 절차로 구성되며, 네트워크 구성은 〈그림 2〉와 같다.

- (1)  $N+M+2$  개의 노드를 구성한다. 소스 노드를 S, 작업자를 나타내는 노드를  $w_i(i = 1, \dots, N)$ , 기계를 나타내는 노드를  $m_j(j = 1, \dots, M)$ , 싱크 노드를 T로 나타낸다.
- (2) Capacitated network을 구성하기 위하여 각 아크에는  $[U, L, C]$ 란 특성치(parameter)를 준다. U와 L은 해당 아크로 흘러갈 수 있는 흐름(flow)의 최대와 최소량을 나타내고, C는 해당아크를 흘러갈 때의 단위 흐름당 비용을 나타낸다.
  - (i) S 노드와  $w_i$  노드간에는 각각 하나씩의 아크를 만든다. 각 아크에는 특성치로  $[ \lfloor W/N \rfloor, 0, 0 ]$ 을 준다. 여기에서  $W/N$ 은 작업자당 평균 작업량을 나타낸



<그림 2> 네트워크 구성도

다. ( $\lceil x \rceil$ :  $x$ 보다 작지 않은 가장 작은 정수)

- (ii)  $w_i$  노드와  $m_j$  노드간에는  $a_{ij} = 1$ 인 노드들에 대해서만 아크를 생성한다. 이 때 각 아크에는 특성치로  $[v_i, 0, -s_{ij}]$ 을 준다. 기계효율에다 -1을 곱해서 비용으로 넣어 준 이유는 network flow 문제를 풀기 위한 알고리즘의 목적식이 비용을 최소화하는 문제에 적용되는 것이기 때문이다.
- (iii)  $m_j$  노드와 T 노드간에는 각각 하나씩의 아크를 만든다. 각 아크에는 특성치로  $[v_j, v_j, 0]$ 을 준다.
- (iv) T 노드와 S 노드간에는 흐름의 순환(circulation)을 위해 하나의 리턴 아크가 만들어진다. 아크의 특성치는  $[W, W, 0]$ 으로 주어진다.

3.3 발견적 해법의 절차

위와 같이 만들어진 네트워크는 minimum cost

flow problem을 풀기 위한 capacitated circulation network이 된다. 이와 같은 minimum cost flow problem을 풀기 위한 여러 가지 알고리즘 중 relaxation[1,2] 알고리즘을 적용하여 작업효율을 최대화하도록 할당을 실시한다. 결과로는 각 작업자에 할당된 기계들과 각 작업자의 작업량( $q_i$ )이 나오게 된다. S 노드와  $w_i$  노드간의 흐름은 각 작업자가 할당받게 되는 총 작업량을 나타내고,  $w_i$  노드와  $m_j$  노드간의 흐름은 각 작업자가 작업하게 될 기계와 그 기계에서의 작업량을 나타낸다. 이 때 나온 결과는 한 대의 기계가 2명 이상의 작업자에게 할당되어 수리 모델의 제약식(3)을 위반하는 경우가 발생할 수 있다. 한 기계노드로 들어오는 흐름이 한 작업자에서만 나온 것이 아니라 여러 작업자에게서 들어오게 되면 한 기계에 여러 작업자가 할당되게 된다. 제약식을 위배하는 아크가 생기는 이유는 network flow 문제에서 각 아크의 흐름은 흐름 보존의 법칙(Flow conservation condition)을 만족시키기만 하면 아크의 상한치와 하한치 사이의 어떤

크기의 흐름도 흐를 수 있기 때문이다. 본 연구의 문제가 일반적인 할당문제와 다른 점은 기계와 작업자의 수가 서로 다르기 때문에 일대일로 할당이 이루어지지 않고, 작업자가 작업할 수 있는 기계가 각 작업자마다 다르다는 것이다. 또, 총작업효율을 최대화 하면서 기계가 어떤 작업자에게 할당될 것인지 말 것인지 결정해야 함과 동시에 작업편차를 최소화하는 각 작업자의 작업량( $q_i$ )도 계산한다.

여러 작업자에게 동시에 할당된 기계가 있다면 제약식을 만족시키기 위해서 두 번째 단계의 알고리즘을 적용할 필요가 있다. 그러나, 만약 위와 같은 흐름을 갖는 아크가 없다면 network flow 문제에서 나온 해가 최적의 해가 된다.

Network flow 문제에서 나온 해를 가능해(feasible solution)로 바꾸어 주기 위한 두 번째 단계의 알고리즘 및 기호는 아래와 같다.

UA : Network flow 해법에서 2명 이상의 작업자에게 나누어 할당된 기계들의 집합. 작업량이 큰 순서대로 정렬되어 있어서 작업선택시 가장 작업량이 많은 작업부터 선택된다.

JW<sub>i</sub> : Network flow 해법에서 작업자 i에게만 할당된 기계들의 집합. 작업량이 작은 순서대로 정렬되어 있어서 작업선택시 가장 작업량이 작은 작업부터 선택된다.

S<sub>i</sub>(k) : JW<sub>i</sub>의 기계들을 작업량이 작은 기계부터 선택해서 작업량이  $v_k$  보다 작은 기계들의 작업량의 총합이  $q_i + v_k - c_i$  보다 처음으로 크거나 같게 될 때의 기계들의 집합. 이런 조건이 필요한 이유는 작업자 i에게서  $v_k$ 보다 작업량이 작은 기계들을 빼내고 기계 k를 할당시키기 위해서이다.  $v_k$ 보다 작업량이

작은 기계들만으로  $q_i + v_k - c_i$ 를 넘지 못 한다면  $S_i(k) = \emptyset$ .

D<sub>i</sub>(k) : 작업자 i에 할당된 작업량과 기계 k의 작업량의 합에서 작업자의 평균 작업량을 뺀 값, 즉  $q_i + v_k - W/N$ 이다. |D<sub>i</sub>(k)|는 작업자 i에게 기계 k를 할당했을 때의 작업량과 평균 작업량의 차를 나타낸다. |D<sub>i</sub>(0)|은 작업자 i의 작업량과 평균 작업량의 차를 나타낸다.

발견적 해법의 절차는 다음과 같다.

STEP 1. Relaxation 알고리즘을 이용하여 network flow 문제의 해를 구해서 UA와 JW<sub>i</sub> ( $i = 1, \dots, N$ ) 구성. go to STEP 2.

STEP 2. UA에 속한 기계를 작업자에게 할당.

① if UA에 남은 기계가 있는가?

then go to ②.

else STOP.

② UA에서 가장 큰 작업량을 갖는 기계 k를 선택 if |D<sub>i</sub>(0)| > |D<sub>i</sub>(k)|인 작업자가 1명 이상 존재하는가?

then |D<sub>i</sub>(0)| > |D<sub>i</sub>(k)|을 만족하는 작업자중 최대의  $s_{ik}$ 를 갖는 작업자 i에 기계 k를 할당한다.

$q_i = q_i + v_k$ . go to STEP 3.

else go to ③.

③  $s_{ik} > 0$  인 작업자중 최소의 |D<sub>i</sub>(k)|를 가지는 작업자 i를 찾는다. 작업자 i에 기계 k를 할당한다.  $q_i = q_i + v_k$ . go to STEP 3.

STEP 3. 각 작업자의 작업량을 평준화시키기 위한 기계 재할당.

For  $q_i > W/N$ 인 각 작업자 i에 대하여

For  $JW_i$ 에 속하는 각 작업  $k(k \in JW_i)$ 에 대하여,  
if  $q_i - v_k > q_j$  and  $q_j < W/N$ (단,  $j=1, \dots, N, j \neq i$ )을 만족시키는 작업자가 1명 이상 존재하는가?

then 위의 조건을 만족하는 작업자중 최대의  $s_{jk}$ 를 가지는 작업자  $j$ 에 기계  $k$ 를 할당. 최대의  $s_{jk}$ 를 가지는 작업자가 2명 이상이면 임의의 작업자에 할당.

$$q_i = q_i - v_k, q_j = q_j + v_k.$$

if  $q_i < W/N$  then break.

End loop

End loop

go to STEP 4.

STEP 4. 최대 작업능력을 넘는 작업량을 가진 작업자의 작업량을 줄임.

① 가장 큰  $q_i$ 를 갖는 작업자  $i$ 를 선택한다.

if  $q_i \leq c_i$  then go to STEP 2.

else go to ②.

② ①에서 선택된 작업자  $i$ 의 기계 집합  $JW_i$ 에서 작업량이 가장 작은 기계  $k$ 를 선택.

③ if  $S_j(k) \neq \emptyset$ ( $j=1, \dots, N, j \neq i$ )인 작업자들이 있는가?

then  $S_j(k) \neq \emptyset$ ( $j=1, \dots, N, j \neq i$ )을 만족하는 작업자 중에서 최대의  $s_{jk}$ 를 갖는 작업자  $j$ 에 기계  $k$ 를 할당하고  $S_j(k)$ 에 속한 기계들은 UA로 집어넣는다.

$$q_j = q_j + v_k, q_i = q_i - \sum_{l \in S_j(k)} v_l. \text{ go to ①.}$$

else go to ④.

④ if 작업자  $i$ 의 기계 집합  $JW_i$ 에서 아직 선택되지 않은 기계들이 있는가?

then  $JW_i$ 에서 다음으로 작업량이 작은 기계  $k$  선택. go to ③.

else STOP.

UA에서 작업량이 큰 기계를 먼저 선택하는 이유는 UA에 속한 기계들은 작업자에게 할당되어야만 하는데, 이 때 작업자간의 작업량 평준화를 고려해야 하므로 작업량이 큰 작업을 먼저 작업자에게 할당시켜주는 것이 작업량의 편차를 줄이기가 쉽기 때문이다. Network flow 해법으로 구한 기계 할당이 효율 면에서는 좋은 해라고 여겨지므로  $JW_i$ 에서는 한 작업자에게 이미 할당된 기계를 다른 작업자에게 옮길 때 전체 작업효율에 끼치는 영향이 작도록 작업량이 작은 기계들을 먼저 선택한다.

STEP 1에서는 network flow 문제에서 나온 해를 이후의 알고리즘에 적용하기 위해 기계들의 집합(UA,  $JW_i$ )으로 바꿔준다. STEP 2에서는 2명 이상의 작업자에게 할당된 기계들을 작업효율을 고려하면서 작업자의 작업량을 평준화시키는 방향으로 1명의 작업자에게 할당한다. STEP 3에서는 한 작업자에게 이미 할당되어 있는 기계를 다른 작업자에게 옮김으로서 작업량을 평준화시킬 수 있는 기계들을 찾아 작업자들의 최대능력을 고려하면서 작업자를 해당기계에 재할당한다.

STEP 4에서는 할당된 작업량이 작업자의 최대 작업량을 넘는 작업자가 있는지를 살펴보고, 만약 그런 작업자가 있으면 제약식(4)를 위배하는 것이 되므로 해당 작업자에게서 최소의 작업량을 가지는 기계를 다른 작업자에게 할당하여 작업자의 작업량을 줄여준다. 이 때 새로이 기계를 할당받게 되는 작업자는 옮겨오는 기계의 작업량보다 작은 작업량을 가진 기계들을 할당에서 제외해서 작업능력에 대한 충분한 여유를 가질 수 있는 작업자중, 그 기계에 대하여 가장 좋은 효율을 가지는 작업자이다. 이 때 새로이 기계를 할당받는 작업자에게서 빼내진 기계들은 UA에 들어가게 된다. 옮겨지는 기계보다 작업량이 작은 기계들만 고려하는 이유는 이후에 다



시 작업자에게 할당할 때 작업량 평준화를 쉽게 하기 위해서이다. STEP 4의 ④에서 더 이상 선택할 수 있는 기계가 남아 있지 않아서 발견적 기법이 끝나는 경우, 다시 말해서 최대 작업능력을 넘는 작업량을 가진 작업자의 모든 기계에 대해서 다른 작업자들의  $S_i(k) = \emptyset$ 인 경우에는 가능한 해를 구할 수 없기 때문이다. 예를 들어서 2명의 작업자에 3대의 기계가 있고 각 작업자의 작업능력이 6, 각 기계에 할당된 작업량이 4 일때에는 한 작업자는 최소한 8 이상의 작업량을 할당받기 때문에 어떤 방법으로도 가능한 해를 구할 수 없다. 이런 경우 STEP 4에서 발견적 해법은 끝나게 된다.

STEP 4에서는 할당에서 제거되는 작업들의 효율이 고려되지 않기 때문에 전체 효율이 나빠질 수 있다. 그러나, STEP 4에서 알고리즘이 행해진다는 것은 기계의 총 작업량 ( $\sum v_j$ )이 거의 전체 작업자의 최대 능력 ( $\sum c_i$ )과 거의 비슷해 작업자의 작업능력에 여유가 없다는 것인데, 이때는 총작업효율도 고려하면서 모든 기계를 작업자에게 할당시켜주는 가능한(feasible) 해를 주는 것이 중요하다.

작업자들의 최대 작업능력이 처리해야 할 기계들의 작업량에 비해 여유가 있을 때에는 STEP 4에서 최대작업능력 이상의 작업량을 할당받는 작업자가 없어서 UA에 다시 들어가는

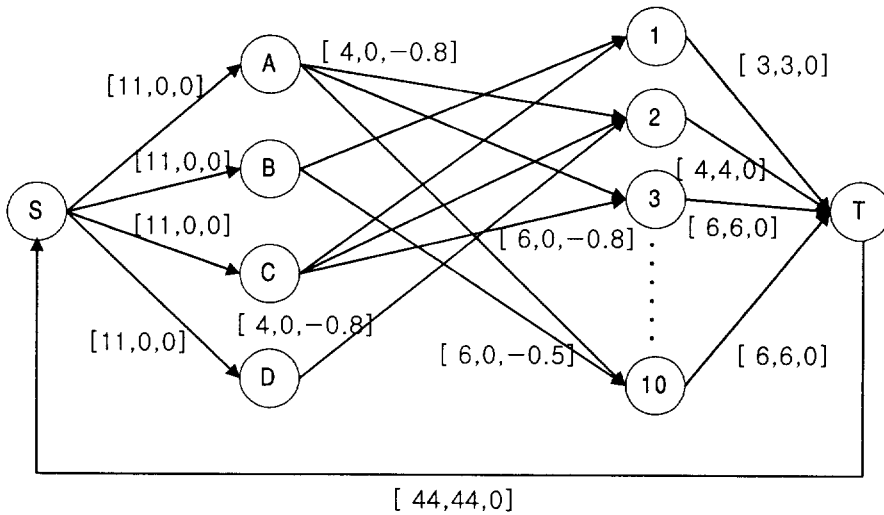
기계들이 발생하지 않게 되고 STEP 2에서는 계속적으로 기계들을 작업자에게 할당하기 때문에 발견적 해법은 유한한 step에 끝나게 된다. 작업자들의 작업능력에 여유가 없으면 STEP 4에서 UA에 다시 기계들이 들어가게 되는데 이때의 기계들은  $S_i(k)$ 의 정의에서 보듯 작업량이 작은 기계들만 들어가게 된다. 계속적인 iteration을 통해 점점 작은 작업들이 UA에 들어가게 되어 결국 STEP 2나 STEP 3에서 최대작업능력 이내로 처리할 수 있는 작업자에게 할당되게 된다. 이렇게 해서 발견적 해법은 유한한 step에 끝나게 된다.

### 4. 수치 예제

아래 <표 1>은 10대의 기계(1,2,...,10)와 4명의 작업자(A, B, C, D)사이의 숙련도와 각 기계의 작업량( $v_j$ )을 나타낸다. 표에서 숙련도가 0이면 작업자가 해당 기계를 다룰 수 없음을 나타낸다. 총 작업량  $W=44$ 시간이고, 각 작업자별 평균 작업량  $W/N = 44/4 = 11$ 시간이며, 작업자의 최대능력은 모두  $c_i = 12$ 시간이다. 이 경우 작업자의 총가용시간이  $48(=4 \times 12)$ 시간이고, 기계들의 총작업량 44시간보다 크므로 각 작업

<표 2> 작업자와 기계별 효율

기계 \ 작업자	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0.8	0.5	0.9	0.5	0.8	1.0	0.9	0.8	0.5
B	0.5	0.7	1.0	0.9	0.7	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5
C	0.7	0.5	0.8	0.8	0	0.7	0.5	0.8	0.7	0
D	0.9	0.8	0.5	0.8	0	0.5	0.5	0.5	0.9	0
$v_j$	3	4	6	4	4	4	5	2	6	6



〈그림 3〉 수치 예제의 네트워크 구성

자가 해야 할 작업량의 편차가 가능한 작도록 하면서 최대효율을 보장하도록 할당해야 한다.

위의 문제를 풀기 위하여 첫 번째 단계인 capacitated circulation network을 구성하면 〈그림 3〉과 같다.

〈그림 3〉의 network을 relaxation 알고리즘을 이용하여 풀면 결과는 다음과 같다.

- 작업자 A : 기계 7, 10                       $q_A : 11$
- 작업자 B : 기계 5, 6, 기계 3의 작업량의 1/6,  
                  기계 9의 작업량의 2/6       $q_B : 11$
- 작업자 C : 기계 8, 4, 기계 3의 작업량의 5/6  
   $q_C : 11$
- 작업자 D : 기계 1, 2, 기계 9의 작업량의 4/6  
   $q_D : 11$

결과를 보면, 작업자 B는 5, 6번 기계에 4시간씩 완전 할당되고, 3번 기계에 1시간(3번 기계의 작업량 6시간중) 과 9번 기계에 2시간(9번 기계 작업량 6시간중)이 할당되며, 총 할당된 작업량은 11시간이 된다. Network flow 해법을 이용한 총 작업 효율은 36.1이고 3, 9번 기계가 각각 작

업자 B, C와 작업자 B, D에게 할당되었기 때문에 초기해를 가능해로 바꿔주는 2번째 단계의 알고리즘이 필요하다.

(1) 첫 번째 iteration

STEP 1에서  $JW_i$  와  $UA$ 를 구성한다.

- $JW_A : \{7, 10\}$                        $q_A : 11$
- $JW_B : \{5, 6\}$                        $q_B : 8$
- $JW_C : \{8, 4\}$                        $q_C : 6$
- $JW_D : \{1, 2\}$                        $q_D : 7$
- $UA : \{3, 9\}$

STEP 2.  $UA$ 에서 기계 3을 선택하여 작업자 A에 할당.

$UA$ 에서 작업량이 제일 큰 기계 3을 선택.

$|D_A(0)|=0, |D_B(0)|=3, |D_C(0)|=5, |D_D(0)|=4$   
 $|D_A(3)|=6, |D_B(3)|=3, |D_C(3)|=1, |D_D(3)|=2$   
 $|D_i(0)| > |D_i(3)|$ 을 만족하는 작업자는 C와 D이다. 이때  $s_{C3} = 0.8 > s_{D3} = 0.5$  이기 때문에 작업자 C에 기계 3을 할당.

STEP 3. 작업자 C에 할당된 기계 8을 작업자 B에 할당  
 $q_c = 12 > W/N = 11$ 이므로 작업자 C의 작업중에서 제일 작업량이 작은 기계 8을 선택한다.  $q_c - v_8 = 10 > q_j$ 를 만족하는 작업자는 B와 D이다.  $s_{B3}$ 와  $s_{D3}$ 의 값이 같기 때문에 임의로 작업자 B에게 기계 8을 할당.

STEP 4. 작업자별 최대 작업량이 11이어서  $c_i$ 보다 작기 때문에 STEP 2로.

- $JW_A : \{7, 10\}$                        $q_A : 11$
- $JW_B : \{8, 5, 6\}$                  $q_B : 10$
- $JW_C : \{4, 3\}$                       $q_C : 10$
- $JW_D : \{1, 2\}$                       $q_D : 7$
- UA : {9}

(2) 두 번째 iteration

STEP 2. UA에서 기계 9를 선택하여 작업자 D에 할당.  
 STEP 3. 조건에 해당하는 작업자와 기계가 없음.  
 STEP 4. 가장 작업량이 큰 작업자 D의 작업량  $q_D = 13$ 이  $c_i$ 보다 크기 때문에 작업자 D의 기계 중 작업량이 제일 작은 기계 1에 대하여 다른 작업자들의  $S_i(1)$ 을 구하면, 작업자 A와 C에는 기계 1의 작업량보다 작은 작업량을 가진 기계가 없기 때문에  $S_A(1) = S_C(1) = \emptyset$ 이고,  $S_B(1) = \{8\}$ 이다. 그러므로, 작업자 B의 기계 8을 UA로 옮기고 작업자 D에 할당된 기계 1을 작업자 B에 할당. 이후의 작업자별 최대 작업량이 11이어서  $c_i$ 보다 작기 때문에 STEP 2로.

- $JW_A : \{7, 10\}$                        $q_A : 11$
- $JW_B : \{1, 5, 6\}$                  $q_B : 11$
- $JW_C : \{4, 3\}$                       $q_C : 10$
- $JW_D : \{2, 9\}$                       $q_D : 10$
- UA : {8}

(3) 세 번째 iteration

STEP 2. UA에서 기계 8을 선택하여 작업자 C에 할당.  
 STEP 3. 조건에 해당하는 작업자와 기계가 없음.  
 STEP 4. 작업자별 최대 작업량이 12라서  $c_i$ 와 같기 때문에 STEP 2로.  
 STEP 2. UA에 남아 있는 기계가 없으므로 알고리즘 종료.

최종해

- $JW_A : \{7, 10\}$                        $q_A : 11$
- $JW_B : \{1, 5, 6\}$                  $q_B : 11$
- $JW_C : \{8, 4, 3\}$                  $q_C : 12$
- $JW_D : \{2, 9\}$                       $q_D : 10$

최종해에서 보이듯이 작업자 A는 기계 7, 10에 총 11시간이 할당된다. 작업자별 평균 작업량(11시간)에 비해 실제 할당된 작업량은 작업자 C와 D에 한시간씩 편차가 생기므로 편차의 합은 2가 되며 총작업효율은 34.5가 되어 초기해의 작업효율 36.1보다 작지만 제약식 (3)을 만족하는 할당이 되었다.

## 5. 실험 계획 및 결과

### 5.1 실험 조건

앞에서 언급한 것처럼 본 연구는 기존의 연구

들과 많은 차이가 있다. 본 연구에서처럼 목적식으로 작업 효율과 작업량 평준화를 동시에 고려한 연구도 드물고, 본 연구의 문제가 작업자 할당에 대해서 많은 연구가 이루어진 job shop 문제와도 다르기 때문에 기존의 연구들과 비교하는 것은 현실적으로 어렵다. 그래서, 본 연구에서는 문제의 크기와 기계에 할당된 총 작업량에 대한 작업자의 최대 작업능력의 비율( $\sum c_i / \sum v_j$ )을 실험의 조건으로 본 연구의 해법의 수행도를 평가하기로 하였다. 여기에서 총작업량에 대한 최대 작업능력의 비율이라 함은 작업자의 작업능력에 얼마나 여유가 많은 가를 나타내준다. 예를 들면, 밑의 B조건 중에서 B4의 실험조건이 작업능력의 여유가 제일 많은 것이다. 수행해야 할 총 작업량이 최대 작업능력에 가까울 때는 (B1, B2의 경우) 가능해를 주기 위해서는 각 작업자간에 작업량이 균등하게 할당되어야 한다. 하지만, 총 작업량이 작업능력에 비해 여유가 있을 때는(B3, B4의 경우) 본 연구의 알고리즘이 작업자의 작업량을 얼마나 평준화시켜주는지가 중요하다. 실험 조건을 요약하면 다음과 같다.

#### A. 작업자의 수와 기계 대수

- A1. 작업자의 수 = 6, 기계대수 = 20
- A2. 작업자의 수 = 10, 기계대수 = 40
- A3. 작업자의 수 = 20, 기계대수 = 60

#### B. 총 작업량에 대한 총 작업능력의 비

- B1. 1.05    B2. 1.10    B3. 1.30    B4. 1.50

3가지의 문제크기(A1, A2, A3)와 4가지의 비율(B1, B2, B3, B4)을 조합하여 총 12가지 실험조건에 대해 각각 20회의 실험을 하였다. 각 기계별 작업 부하량은 최소 30에서 최대 300까지의 균일 분포를 한다. 각 실험에 대하여 알고리즘의 목적식인 총 작업효율과 작업량의 편차의

총합을 구해야 하나, 위의 값들은 각 실험의 데이터에 따라 값의 차이가 커서 실험간의 비교가 어렵기 때문에 각 실험에서의 효율비와 편차비를 백분율로 구했다. 목적식중의 총 작업효율은 각 실험에서 network flow 해법으로 풀어서 나온 작업효율과 최종적으로 나온 총 작업효율의 비를 백분율(%) (효율비)로 구했다. Network flow 문제에서 나온 해는 제약식(3)을 만족시키지 못하지만 주어진 조건하에서 작업효율면으로만 보면 최적값이기 때문에 알고리즘이 얼마나 좋은 해를 얻는지 비교할 수 있는 척도가 될 수 있다. 그리고, 작업자별 편차에 대해서도 각 작업자별 평균 작업량에 대한 평균 편차의 비를 백분율(%) (편차비)로 구했다. 이 경우에 평균 편차의 비가 0이 되는 것이 가장 이상적인 할당이라고 할 수 있다. 작업자별 평균 작업량에 대한 평균 편차의 비를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

#### 평균 편차의 비

$$= 100 \times \frac{\sum_{i=1}^N |q_i - W/M|}{N} / \frac{W}{N}$$

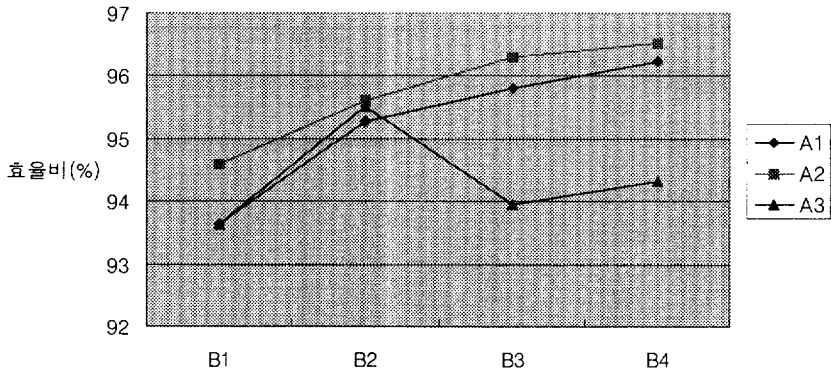
$$= 100 \times \frac{\sum_{i=1}^N |q_i - W/M|}{W}$$

## 5.2 실험 결과 및 분석

표 2에는 A, B의 각 변인에 대한 총 240회 실험의 실험치들과 평균치들이 나타나 있다. 위에서 말한 대로 최종해로 나온 작업자 할당의 총 작업효율에 대한 network flow 해법에서의 비를 백분율로 나타낸 효율비와 각 작업자별 평균 작업량에 대한 평균 편차의 비를 백분율로 나타낸 편차비가 알고리즘의 수행척도로서 나타나 있다.

〈표 2〉 각 실험의 효율비와 편차비

	효율비(%)				편차비(%)			
	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4
A1	95.9	94.3	95.4	97.0	3.5	2.7	4.2	3.3
	92.1	91.6	95.6	96.8	2.6	3.4	3.3	4.3
	95.0	97.9	95.6	97.4	3.2	2.9	3.5	5.1
	93.0	92.9	97.3	97.0	2.1	5.1	3.4	7.4
	90.1	94.8	95.4	97.0	3.2	5.0	5.1	2.4
	88.7	96.7	96.0	96.4	3.1	3.2	2.5	5.9
	97.3	96.3	95.5	98.3	3.8	3.5	2.6	7.6
	95.6	90.7	98.7	88.7	2.1	3.7	3.6	5.0
	94.7	91.3	96.1	90.4	3.3	2.7	4.7	5.0
	93.7	91.9	94.0	97.6	2.8	4.1	4.1	2.7
	96.3	98.8	96.5	94.8	2.6	3.6	2.8	3.5
	92.2	96.2	94.4	94.5	2.5	3.3	4.4	4.4
	89.7	97.4	96.2	99.3	2.2	3.4	6.2	6.1
	93.7	99.5	95.6	97.5	4.1	5.0	6.5	4.9
	94.5	95.5	94.7	92.2	2.0	3.6	3.6	6.8
	94.8	96.8	93.8	99.6	2.6	3.4	3.7	3.2
	93.1	96.6	98.0	98.2	2.8	5.0	4.9	3.4
	96.0	96.7	98.4	95.8	2.7	5.7	6.0	8.9
	96.6	94.0	93.2	98.2	2.1	4.3	6.5	4.0
	89.7	95.7	95.7	97.7	2.7	3.8	3.1	6.6
평균	93.6	95.4	95.8	96.2	2.8	3.9	4.2	5.0
A2	95.1	95.4	97.8	97.7	1.0	2.9	3.8	3.8
	95.1	94.8	95.3	96.5	2.1	3.7	2.5	3.1
	95.5	96.9	96.8	96.8	1.9	3.3	5.2	3.9
	94.0	95.8	96.2	96.4	1.3	3.8	2.4	3.5
	92.9	95.4	96.5	96.1	3.0	2.6	3.7	2.8
	96.8	95.5	95.8	96.2	1.7	3.0	5.5	2.4
	94.1	97.2	96.3	96.5	3.0	3.6	2.1	5.8
	94.5	95.0	94.0	95.1	2.0	2.3	5.2	2.5
	93.0	96.1	97.1	96.9	2.0	3.2	4.3	2.1
	92.7	95.1	97.4	98.1	1.9	2.8	2.8	2.9
	94.6	96.6	97.3	97.8	3.0	2.9	2.9	3.4
	95.1	94.5	98.0	94.8	1.9	2.6	4.5	2.6
	92.9	95.8	96.4	97.6	2.4	2.4	3.3	3.4
	95.6	96.3	97.0	95.1	1.5	3.1	3.9	3.2
	96.3	94.2	96.2	95.7	2.2	1.8	4.1	4.5
	93.1	95.6	96.5	97.6	2.2	4.0	1.6	4.8
	92.3	93.4	95.4	96.1	2.4	3.8	2.0	5.4
	95.1	97.0	95.0	95.4	2.2	3.0	6.1	2.2
	96.1	96.1	95.8	97.8	2.4	2.9	3.4	4.7
	97.0	95.2	95.4	96.2	2.7	2.7	2.4	4.8
평균	94.6	95.6	96.3	96.5	2.1	3.0	3.6	3.6
A3	95.9	94.4	93.5	96.4	2.4	4.0	5.4	3.7
	92.2	91.6	91.7	93.7	2.5	4.8	3.1	5.6
	95.0	97.9	95.6	94.7	2.1	4.9	3.3	4.3
	93.0	92.9	95.0	93.4	1.9	3.8	5.7	4.2
	90.1	94.8	94.9	95.0	3.7	4.7	6.2	3.8
	88.7	96.7	94.7	92.2	2.3	3.8	4.7	5.3
	97.3	96.3	92.8	94.3	3.6	3.8	5.6	4.1
	95.6	95.3	94.1	95.8	2.5	3.9	5.3	3.3
	94.7	91.3	91.6	92.2	3.2	5.2	4.4	4.3
	93.7	91.9	95.8	94.7	3.6	3.8	3.9	4.1
	96.3	98.8	92.7	93.5	3.0	3.8	4.4	3.7
	92.2	96.2	93.4	93.6	2.9	3.0	3.8	7.7
	89.7	97.4	94.3	93.5	3.1	4.0	5.2	4.6
	93.7	99.5	95.0	92.8	3.0	5.9	4.6	3.2
	94.5	95.5	93.7	93.2	3.1	3.6	4.5	4.7
	94.8	96.7	93.7	95.0	3.0	3.8	4.4	3.6
	93.1	96.6	94.8	95.7	3.3	3.2	3.9	3.6
	96.0	96.7	93.9	95.5	2.4	3.8	4.3	5.5
	96.6	94.0	94.4	95.0	2.2	2.8	5.1	4.2
	89.7	95.7	93.1	96.0	2.7	3.3	4.1	3.9
평균	93.6	95.5	93.9	94.3	2.8	4.0	4.6	4.4



〈그림 4〉 각 실험조건에서의 효율의 비의 평균

전체 실험에 대한 평균치는 효율비가 95.11%, 평균 편차비는 3.67%이다.

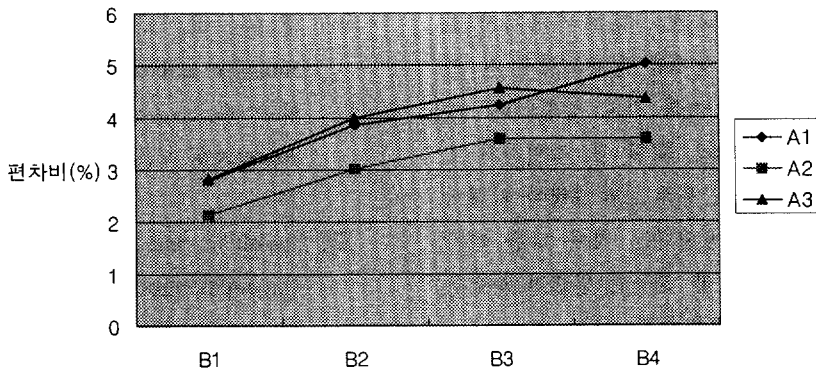
〈그림 4〉에는 12가지의 각 실험조건에 대한 효율비의 평균치가 그래프로 표시되어 있다. A1과 A2에서는 총 작업량에 비해서 최대 작업능력이 클수록 더 좋은 효율비를 가졌지만, A3의 경우처럼 도리어 효율이 나빠질 수 있다. 앞에서 말한 것과 같이 주어진 총작업량이 최대 작업능력에 가까우면 알고리즘 수행 도중에 한 작업자의 작업량이 작업자의 최대 작업능력을 초과하는 경우가 발생하여 알고리즘의 STEP 4를 거치게 되어 network flow 해법에서 나오는 기계할당을 재할당하기 때문에 작업효율이 나빠진다. 그러나, A3의 경우처럼 최대 작업 능력이 총 작업량에 비해 여유가 있을 때도 데이터에 따라 약간 나쁜 작업효율을 줄 수도 있다. 그래프에서 볼 수 있듯이 각 실험조건에서의 효율비의 평균치는 93% 이상의 값을 갖고 있다. 그러므로 본 연구의 알고리즘은 여러 조건에 대해서 비교적 좋은 작업효율을 준다고 할 수 있다.

〈그림 5〉에는 각 실험조건에 대한 편차비의 평균치가 나타나 있다. 평균치들은 모두 작업자들의 평균 작업량의 5% 이하의 값으로서 좋은

결과라 할 수 있다. 앞에서 언급하였듯이 총 작업량이 최대 작업능력에 가까울 때는 가능해를 구하기 위해서는 어쩔 수 없이 각 작업자의 작업량이 평준화되어야 하므로, 문제의 크기와 상관없이 해야할 총 작업량에 대하여 작업능력의 여유가 작을 때가 더 작은 편차비를 가졌다. 그러나, 총작업량에 대한 작업능력의 여유가 어느 정도 이상이 되면 편차비가 계속적으로 더 나빠지는 않는다는 것을 〈그림 5〉에서 알 수 있다. 그러므로, 본 연구의 알고리즘은 작업자들의 최대 작업능력에 비해 작은 작업량을 가진 기계들을 작업자에게 할당할 때에도 작업량을 적절한 수준으로 평준화시켜준다.

## 6. 결론 및 적용사례

본 연구에서는 각 기계에 할당된 작업량이 있고, 각 작업자의 기계에 대한 작업효율이 다른 상황에서 작업효율을 높이고, 각 작업자의 작업량을 평준화하는 것을 목적으로 하는 발견적인 작업자 할당 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알



〈그림 5〉 각 실험조건에서의 편차비의 평균

고리즘은 먼저 network flow 해법을 이용하여 작업량을 평준화시키면서 작업효율을 최대로 해주는 해를 구한다. 그러나, 한 기계에 2명 이상의 작업자가 할당될 수 있기 때문에, 두 번째 단계의 발견적 알고리즘을 이용하여 각 작업자의 최대 작업능력 이내로 기계를 할당하면서 한 기계에 한 명의 작업자만 할당되도록 해를 구한다. 제한한 알고리즘은 각 기계에 할당된 작업량이 차이가 많이 나고, 작업자의 작업효율이 차이가 많이 나는 상황에서도 좋은 작업효과, 각 작업자에게 평준화된 작업량이 할당된 해를 주었다. 또, 실험결과에서 보여 주듯이 작업자와 기계의 수, 작업량에 대한 작업능력의 비에 관계없이 일관되게 좋은 해를 구할 수 있다.

본 연구에서 나온 알고리즘을 작업자 할당을 필요로 하는 공장에 적용하였다. 대상 공장은 플라스틱 사출품을 제조하는 공장으로서 20대의 사출기계로 구성되어 있다. 사출기계들은 자동화된 기계들과 수작업이 필요한 기계들이 있는데 자동화된 기계들은 인접하여 설치되어 있기 때문에 한 작업자가 여러 대의 기계를 동시에 관리할 수 있다. 작업자는 15명 정도가 있는데 작업자마다 주로 작업하는 기계가 있기 때문에 작

업자의 효율이 각 기계별로 서로 다르게 나타난다. 그래서 서로 다른 작업자가 동일한 기계에서 동일한 작업을 하더라도 각 작업자의 기계에 대한 숙련도에 따라 실제 작업실적(단위시간당 생산량)이 달라지게 된다.

대상 공장에서는 거의 모든 제품들이 한번의 사출작업으로 기계가공을 끝내고 가공을 끝낸 부품들을 수작업으로 조립하여 완제품을 만든다. 그래서 사출기계에 대해서만 작업자를 할당한다. 사출품은 제품의 특성상 제품의 용량에 따라 작업이 수행될 기계가 결정되게 된다. 공장에서는 미리 계획된 일정계획에 따라 각 쉬프트(8시간)의 시작마다 그 쉬프트의 작업들을 제품의 용량에 따라 적절한 용량의 기계들에 할당하게 된다. 쉬프트의 시작시에 기계들에 대한 작업량이 결정되면 작업자들의 숙련도와 작업의 난이도에 따라 각 작업에 대하여 작업자를 기계에 할당한다. 작업자의 각 기계에 대한 숙련도를 3등급으로 나누어 해당 기계에 대하여 가장 숙련도가 높은 작업자부터 1, 0.8, 0.5의 작업효율 값을 주고 각 쉬프트의 시작시에 본 알고리즘을 적용하여 각 기계들을 작업자에게 할당하였다. 그러면 관리자는 공장의 사정에 따라 그 할당계획을 그

대로 받아들이거나 수정을 가하여 확정한다. 발견적 해법에서 나온 결과를 그대로 사용하지 않고 관리자의 의사결정 단계를 넣음으로서 본 연구에서 고려하지 않은 여러 가지 상황(가공 외의 작업들 - 기계의 수리, 회의 등, 작업자의 조퇴)에 대처하게 하고, 단순히 프로그램에 의해서 작업자들의 작업이 결정된다는 것에 대한 반감을 피하기 위해서이다. 본 연구의 발견적 해법은 대상공장에서 적절히 활용되고 있다.

본 연구에서는 한 작업자가 동시에 작업을 할 수 있는 기계들이 미리 정해져 있고 기계의 배치도 적절히 되어 있는 상황에서 발견적 기법을 개발하였다. 추후 연구과제로는 기계 배치에 의한 작업자 이동거리를 고려하고 작업의 선후관계가 존재하는 상황에서의 효율적인 작업자 할당 알고리즘을 개발하는 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Bertsek, D. and P. Tseng, "Relaxation methods for minimum cost ordinary and generalized network flow problems", *Operations Research*, Vol. 36, No.1(1988), pp.93-114.
- [2] Bertsek, D. and P. Tseng, "RELAXT-III: A new and improved version of the RELAXT code. Laboratory for Information and Decision System Report LIDS-P-1990", MIT, Cambridge, MA, 1990.
- [3] Bobrowski, P. M. and S. Park, "An evaluation of labor assignment rules when workers are not perfectly interchangeable", *Journal of Operations Management*, Vol. 11, No. 7(1993), pp.257-268.
- [4] Burns, R. N., and G. J. Koop, "A modular approach to optimal multiple-shift manpower scheduling", *Operations Research*, Vol. 35, No. 1(1987), pp.100-110.
- [5] Gavish, B. and H. Pirkul, "Algorithms for the multi-resource generalized assignment problem", *Management Science*, Vol. 37, No. 6(1991), pp.695-713.
- [6] Malhotra, M. K. and H. V. Kher, "An evaluation of worker assignment policies in dual resource-constrained job shops with heterogeneous resources and worker transfer delays", *International Journal of Production Research*, vol. 32, No. 5(1994), pp.1087-1103.
- [7] Mazzola, J. B., "Generalized assignment with nonlinear capacity interaction", *Management Science*, Vol. 35, No. 8(1989), pp.923-941.
- [8] Philips, D. T. and A. Garcia, *FUNDAMENTALS OF NETWORK ANALYSIS*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1981.
- [9] Sarker, B. R., "Optimum manpower models for a production system with varying production rates", *European Journal of Operational Research*, Vol. 24(1986), pp.447-454.
- [10] Weeks, J. K. and J. S. Fryera, "Simulation study of operating policies in a hypothetical -constrained job shop", *Management Science*, Vol. 22, No. 12(1976), pp.1362-1371.
- [11] Worthington, D. and M. Guy, "Alloca-



---

ting nursing staff to hospital wards-A case study”, European Journal of Operational Research, Vol. 33, No. 2(1988), pp.174-182.