

# 異種半自動設備의 最適作業割當研究

—확률적 사이클타임의 경우를 중심으로—

## A Study of the Optimal Job Assignment for the Different Semi-automatic Machines

金 光 燮 \*  
黃 義 徹 \*\*

### Abstract

Man-machine assignment problem with random service and processing times is considered in this paper.

Assuming heterogeneous semi-automatic machines, the problem is dealt with as follow;

1. For the different type of machines that have probabilistics distribution of processing time and man service time, man-machine assignment problem is solved by heuristic method using expected time value of machine.
2. Since each related time is a random variable, the performance of the optimal assignment obtained from the above method is verified through monte carlo simulation method.
3. The above procedures are programed by BASIC language to use easily and rapidly in the personal computer.

The result of this study can contribute to productivity enhancement by increasing the efficiencies of both operators and machines.

### 1. 序 論

#### 1.1 研究의 目的

산업혁명이후 각 분야의 과학기술 발전과 더불어 산업기계설비 및 인간(작업자)의 직업능률이 가속적으로 향상되었으며 사용하는 설비들도 반자동(semi-automatic) 혹은 자동(automatic) 기계로의 발전이 이루어져 왔다.

또한 근래에는 컴퓨터나 로봇의 등장으로 완전무인화공장이 생겨날만큼 기계설비의 완전자동화 시스템이 개발되는 추세에 있다. 그러나 아직도 많은 분야에서 완전자동화된 기계설비보다는 인간의 도움을 필요로 하는 자동, 반자동 기계들이 생산에 기여하고 있기

때문에 생산에 기여하고 있기 때문에 작업자와 기계사이의 관계 또는 작업자와 작업자 사이의 관계에 대해 연구분석함은 큰 의미가 있으리라 본다. 기계와 작업자 관계를 분석하는 것은 산업공학의 전통적 분야인 작업자-기계 할당문제이다. 이러한 문제는 작업자가 기계에 물리거나(loading) 빼는(unloading) 작업을 하는 반자동설비에서 중요하게 다루어 왔으며, 특히 반자동설비가 사용되는 기계공장, 섬유공장, 고무공장, 주조공장에서의 작업자-기계할당은 큰 문제로 등장한 다[2].

이러한 생산공장의 반자동설비의 작업할당 문제는 작업시간, 기계시간의 가변적인 확률주기를 갖는 경우를 고려하지 않을 수 없다. 본 연구는 확정적 주기를 갖는 이중반자동설비의 작업할당 문제를 연구하는데 주 목적이 있다.

\* 亞洲大學校 産業工學科 副教授

\*\* 漢陽大學校 産業工學科 教授

接受日: 1987. 12. 31

1.2 연구범위 및 방법

작업할당 제이론은 이미 일반화되어 있는 Man-Machine Chart에 의한 작업할당을 비롯하여 Aschcroft, Fetter, Francis등에 의해 연구 보고된 주기가 일정(deterministic)할 경우 동종반자동 설비의 작업할당[1, 5, 6], Miller에 의해 주기가 일정할 경우 이종반자동 설비의 작업할당까지[2, 3] 연구·발전되었다.

그러나 작업자시간, 기계시간이 가변적인 확률적 주기하에서는 작업할당이 불가능하다. 이에 본 연구에서는 확률적 주기하에서 이종반자동설비의 작업할당 문제를 연구의 범위로 하고 이를 위해 연구방법은 다음 절차에 따른다.

- 1) 확정적 주기하의 이종반자동설비에 대하여 작업이 할당된 조건하에서 확률적 주기에 관한 이론을 제시하고,
- 2) 기계시간, 작업자시간이 가변적인 확률적 주기하에서도 작업할당이 가능한 확률적 모형을 정립한 후,
- 3) 본 모형을 작업자수와 기계수가 많아지더라도 복잡한 재산없이 쉽게 활용할 수 있도록 Computer Program을 개발한다.

2. 확률적 주기하에서 작업자-기계 할당을 위한 모형정립

한명의 작업자가 m대의 기계를 서비스하기 위해 배정되었다고 생각하고, 작업자 시간(loading or unloading time) 또는 기계시간이 확률적으로 변할 때 확률적 주기시간과 작업자, 기계유휴시간 계산은 Conway 모형에 따르면 다음과 같다[7].

$P_{ij}$  = j번째 주기동안 i번째 기계의 기계시간을 나타내는 변수

$U_{ij}$  = j번째 주기동안 i번째 기계의 작업자 시간을 나타내는 변수

$W_{ij}$  = j번째 주기동안 i번째 기계가 서비스 받기위해 기다리는 시간

$D_{ij}$  = j번째 주기동안 i번째 기계를 서비스하기 위해 작업자가 기다리는 시간

$C_j$  = j번째 주기의 길이

라고 할 때 이들 변수들은 비음(non negative value)이다. 여기에서 P, U의 분포가 알려졌다고 가정하고 W, D, C의 분포를 찾기 위해  $j=k$ 인 주기를 고려하면,

$$C_k = U_{1,k} + D_{2,k} + U_{2,k} + \dots + D_{m,k} + U_{m,k} + D_{1,k}$$

$$C_k = U_{1,k} + P_{1,k} + W_{1,k}$$

또한,

$$X_{1,k} = P_{1,k} - D_{2,k} - U_{2,k} \dots - D_{m,k} - U_{m,k}$$

라면,

그때,

$$D_{1,k} = \text{Max}(0, X_{1,k})$$

$$W_{1,k} = \text{Max}(0, -X_{1,k}) \text{이다.}$$

같은 방법으로 기계 2에 대해 주기  $C'$ 를 고려하면  $D', W'$ 의 분포도 다음과 같이 쉽게 얻어진다.

$$C'_k = U_{2,k} + D_{3,k} + \dots + D_{m,k} + U_{m,k} + D_{1,k} + U_{1,k} + D_{2,k}$$

$$C'_k = U_{2,k} + P_{2,k} + W_{2,k}$$

또한,

$$X_{2,k} = P_{2,k} - D_{3,k} - U_{3,k} \dots - D_{m,k} - U_{m,k} - D_{1,k} - U_{1,k}$$

라면, 그때

$$D'_{2,k} = \text{Max}(0, X_{2,k})$$

$$W'_{2,k} = \text{Max}(0, X_{2,k})$$

이다.

위의 식은 간단하게 직접 풀 수도 있고 컴퓨터의 도움으로 Monte-Carlo 절차에 의해 D, W, C를 연속적으로 발행하여 쉽게 구할 수 있다.

2.2 모형의 개요

기존의 연구에 의해 해결할 수 없는 확률적 주기를 갖는 이종반자동 설비에 대한 확률적 분석모형을 개발하여 작업자에 대한 최적기계수결정 및 할당을 모색코자 한다.

확률적 분석을 위해서는 1인의 작업자가 여러기계를 조작할 경우 복잡한 문제 즉, 작업자와 기계의 시간적 관계를 대기행렬(queueing)를 사용하여 계산 분석하며, 한편 컴퓨터를 이용한 Monte Carlo법에 의한 모의실험을 써서 작업자-기계할당을 하게 되는데 본 연구에서는 후자를 이용한 전개과정은 2.3에서 언급하고자 한다.

그리고 작업자-기계할당의 해를 구하는 절차를 효율적으로 하기 위해 정확한 해에 근접하는 발견적(heuristic) 기법을 이용하여 이들을 개인 컴퓨터에서 사용할 수 있도록 전산화 과정을 언급하기로 한다.

작업자-기계할당 문제의 기본과정은 다음과 같다.

1. 기계작업자는 모든 기계에서 동일한 생산성을 갖는다.

2. 기계간의 이동시간은 무시한다.
3. 최소생산물은 예정납기를 맞출 수 있도록 각 작업자에 대해 언급한다.
4. 유틸작업자 비용은 모든 작업자에 대해 동일하며, 공장의 평균 임률로 정한다.
5. 유틸기계 비용은 모든 기계에 동일하며, 기계 작업자에 대한 전체 임률에 영향을 준다. 다른 기회비용은 유틸기계와 연결된다.
6. 기계서비스 시간은 분리할 수 없다.
7. 작업자 시간과 기계가동 시간은 기계간에 서로 다르며 확률적이다.
8. 1사이클(cycle)에 다수개(nij) 제품생산이 가능하다.

### 2.3 전개 과정

작업자-기계할당을 입안결정시 사용될 수 있는 기준은,

- (1) 작업자유휴시간과 기계유틸시간의 양
- (2) 여러 기계를 운용할 수 있는 작업의 효율
- (3) 기계간의 거리

등이 포함된다.

본 연구에서는 작업자유휴시간과 기계유틸시간의 조합비용을 최소화하는 해를 구하는데 분석모형의 분석 절차를 사용한다.

우선 이중반자동설비의 주기의 값이 확률적이기 때문에 얻어진 작업자시간, 기계작업 시간의 데이터로부터 기대치(평균값)를 구하여 주기가 확정적인 경우의 이중반자동 설비의 작업할당에 활용되는 Miller 모형에 의해 다음 식을 이용하여 기계, 작업자 전체 유틸비용을 계산한다.

$$TIC = M_{1i} n [C_1 \sum_{j=1}^M r_j f(\delta_{ij}, U_{ij}, P_i) + C_2 \sum_{j=1}^M r_j g(\delta_{ij}, U_{ij}, P_i)]$$

제한조건,

$$\sum_{j=1}^M \delta_{1j} = 1$$

$$\sum_{j=1}^M \delta_{2j} = 1$$

$$\vdots$$

$$\sum_{j=1}^M \delta_{Mj} = 1$$

$$h(\delta_{ij}, U_{ij}, P_i) \geq r_i : \text{모든 } i \text{에 대해서}$$

$$\sum_{j=1}^M \delta_{ij} \leq M_{r_i} : \text{모든 } i \text{에 대해서}$$

계산된 비용의 최소화과 최적작업 할당을 위해 앞에서 언급한 바와 같이 계산효율이 우수할 뿐만 아니라

최적해의 근접성 정도(유틸리스틱해비용-최적해 비용)/최적해 비용×100)면에서 우수한 Labor-Saved Heuristic 방법을 사용한다.

다음은 이러한 할당결과를 모의실험에 의해 검증하기 위해  $P_{ij}$ 와  $U_{ij}$ 의 분포가 결정되면 Conway 모형에 의해  $W$ ,  $D$  그리고  $C$ 의 분포를 찾을 수 있다.

정의에 의해,

$$C_{ij} = U_{ij} + D_{i+1,j} + U_{i+1,j} + \dots + D_{m,j} + U_{m,j} + D_{i-1,j} + U_{i-1,j} + D_{1,j}$$

$$C_{ij} = U_{ij} + P_{ij} + W_{ij}$$

그리고,

$$X_{ij} = P_{ij} - D_{i+1,j} - U_{i+1,j} - \dots - D_{m,j} - U_{m,j} - D_{i-1,j} - U_{i-1,j}$$

라면,

$$D_{ij} = \text{Max}(0, X_{ij})$$

$$W_{ij} = \text{Max}(0, -X_{ij}) \text{이다.}$$

그리고,

작업자에게 있어서 총유틸 기계시간은

$$T_W = \sum_i \sum_{j=1}^M W_{ij}$$

작업자에게 있어서 총유틸 기계시간은

$$T_D = \sum_i \sum_{j=1}^M D_{ij}$$

이므로, 이에 따른 총비용을 계산할 수 있으며 그 결과를 Heuristic에 의한 총비용 및 cycle time을 비교하여 유효성을 검증한다.

### 2.4 프로그램의 수행절차

확률적 주기하의 이중반자동 설비의 작업할당 전산 프로그램을 널리 보급되어 가고 있는 개인용 컴퓨터를 이용할 수 있도록 하였으며 구성은 (1) 자료입력 및 분포검정단계 (2) 최적작업할당단계 (3) 결과검토를 위한 simulation 단계로 구분했다.

#### 2.4.1 자료입력 및 분포검정단계

데이터가 얻어지면 이 자료로부터 분포곡선을 추정하여야 한다.

분포의 형태를 알기 위해 많이 쓰이는 방법은  $\chi^2$  카이제곱) 검정이 있다.

그러나 본 연구에서는 데이터로부터 구한 Histogram을 바로 분포의 형태로 사용하는 방법을 쓰기로 한다. 이 경우 장점은 특별한 함수형태의 분포형태를 추정하

고 이미 검정이라는 번거로움을 배제하여 프로그램상에 쉽게 대화식 입력을 함으로서 내부적인 routine으로 처리시킬 수 있다.

2.4.2 최적작업할당단계

- ① 유틸작업자시간, 유틸기계시간에 대한 비용을 입력한다.
- ② 유틸작업자시간, 유틸기계시간을 구분한다.
- ③ 비용행렬(비용 Matrix)을 구한다(표 2참조).
- ④ 비용개선이 있는가 검토한다.  
비용매트릭스에서  $C_{ij} \leq C_{ii} + C_{jj}$ 이면 i작업과 j작업을 한명 작업자가 담당한다.  $C_{ij} > C_{ii} + C_{jj}$ 이면 현재 할당이 최적이므로 ⑥을 수행한다.

표 2. 비용매트릭스

기계번호	1, 2, ..., i, j, ..., n
1	
2	
⋮	
i	$C_{ii} - C_{ij}$
j	$C_{jj}$
⋮	
n	

- ⑤ 최소생산물을 검토한다.  
최소생산물을 구하기 위해 다음과 같은 사항을 고려하며 그 절차는 표 3과 같다.

표 3. 최소생산물 계산

기계수	작업자시간 ( $U_i$ )	기계시간 ( $P_i$ )	표준생산물 ( $a_i$ )*	주문량 ( $g_i$ )	납기까지 기일 수 ( $d_i$ )	최소생산물 ( $r_i$ )**
		* $a_i = \frac{t}{U_i + P_i}$				** $r_i = \frac{g_i}{d_i}$

최적작업할당을 위해 비용뿐만 아니라 생산물( $r_i$ )를 고려해야 하며 이때 최소 생산품을 만족하면 현재할당이 최적이므로 ⑥을 수행하고 그렇지 않으면 ②과정부터 반복한다.

⑥ 현재할당이 최적이므로 전체유틸비용, 작업주기 시간(cycle time) 작업의 조합을 출력한다.

2.4.3 simulation 단계

각 시간들이 확정적이지 않고 확률적이므로 이 경우의 (2)에서 구한 최적작업 할당에 대한 simulation을 수행한다. 먼저 표본으로부터 구한 분포를 이용하여 확률변수 service시간 기계시간 등의 값을 생성한다. 만일 어떤 함수의 형태로 확률분포를 구했다면 이에 관한 모수(parameter)를 입력하면 충분하다.

예로서 기계 A의 service time이 Weibull 분포의 경우 확률밀도 함수,

$$f(t) = \lambda \beta t^{\beta-1} e^{-\lambda t^\beta} (t \geq 0)$$

이고, 따라서  $\lambda, \beta$  를 입력하게 된다.

기계 A의 service time의 생성은 누적분포함수를 이용하여 확률적분변환정리로 구한다.

위의 예에서 일련의 확률변수를 값  $t_1, t_2, \dots$ 를 만들기 위해 일련의 난수  $U_1, U_2, \dots$ 로부터,

$$U_i = F(t_i) = \int \lambda \beta t^{\beta-1} e^{-\lambda t^\beta} dt$$

되도록 하면 된다.

본 연구에서는 Histogram으로 구한 분포를 사용하여 같은 요령으로 simulation을 행하였다.

2.5 프로그램의 흐름도 및 프로그램

확률적 주기를 갖는 즉, 모든 시간치, 작업자의 서비스 시간이나 기계 가동시간이 확률적으로 변할시의 작업자-기계할당에 대한 흐름도는 그림 2와 같으며, 컴퓨터 프로그램은 [부록]에 제시한 바와 같다.

3. 결 론

기계의 효율성과 작업자의 능률을 향상하여 생산성에 기여하기 위해 공장작업을 계획함에 있어 직면하게 되는 작업조편정 혹은 작업자-기계할당문제는 산업공학의 전통분야로써 작업자-기계도표를 비롯하여 주기가 확정적이고 동일한 기계에 대한 할당을 비롯하여 주기가 확정적이고 이종인 기계에 관한 할당문제까지 연구되어 왔다.

본 연구에서는 특히 주기가 확률적이고 이종반자동 설비에 대한 최적작업할당 문제를 연구하였으며, 이에

1. 자료입력단계

2. 최적할당단계

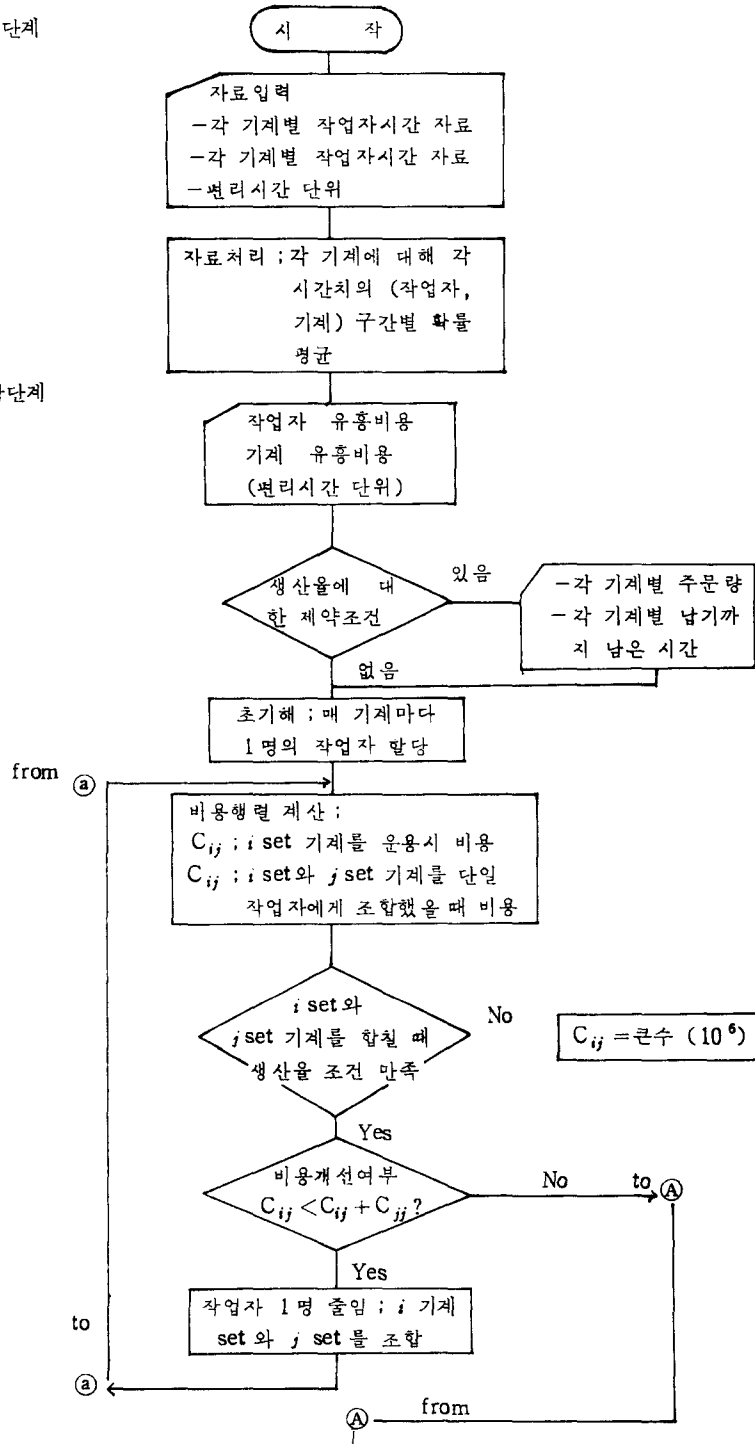
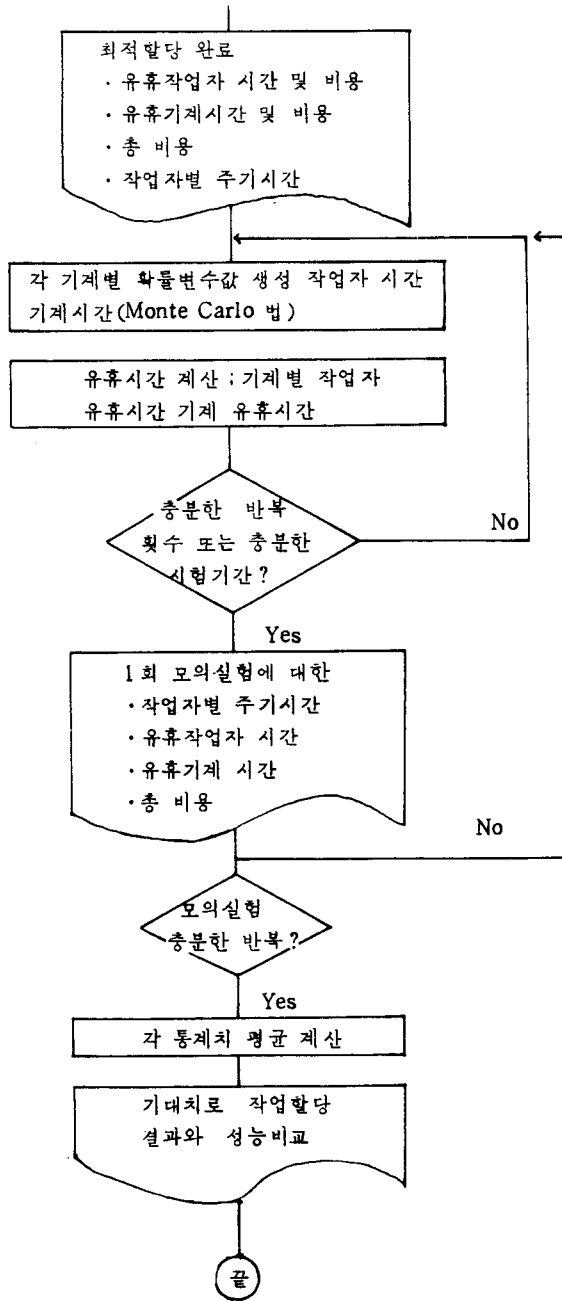


그림 2. 본 프로그램의 흐름도

3. 모의실험단계



4. 결과 검증

\* 입력 Variables

1. PART-1(DATA-IN)

변수명	설명	비고
N	# of Machines	
W\$ (i)	Name of i-th process(machiness)	DIMENSION
UNIT \$	Basic Unit of time(sec. min 등)	TU와 다른의미
X(i, j, k)	process i에서 기계시간 (j=1) loading 시간 (j=2) unloading 시간 (j=3)에 대한 자료	
NUM	(기계 i, 시간치 분포시 j에 대해서) 획득자료갯수	
NCL	(기계 i, 시간치 분포시 j에 대해서) 획득한 등급수	
FREQ	(기계 i, 시간치 분포시 j에 대해서) 각등급의 빈도수	

2. PART-2(Assignment)

TU	편리한 시간단위 예) 3600초, 480분 등	단위는 UNIT \$과 일치
CLB	Cost of Labor/TU	
CMC	Cost of Machine/TU	

\* 최소생산물이 요구될 때

변수명	설명	비고
ADD \$	최소생산물 조건 유무 judicator	Y 또는 y→조건 있음
QTy	(기계(작업공정) i에서) 남기까지 주문량(Quantity)	
RTIM	(기계(작업공정) i에서) 남은 시간	TU 단위

3. PART-3(simulation)

SUFF	Sufficient Time-length for Simulation	TU단위로서 변수명은
INKEY \$	simulation 반복 여부 checker	아니고 Basic 언어의 예약어

\* 출력 Variables

1. PART-2에서의 출력

변수명	설명	비고
K	Assigned machine #	Indicator
T <sub>c</sub> (C <sub>i,j</sub> )	operator j의 cycle time	DeL(k, j)로부터
Cost(i, j)	operator i & j에게 할당된 기계조합시 cost	

2. PART-3에서의 출력(한 operator에서)

MEAN	Average Cycle time	
L Cost	Average Idle Labor Cost	
P Cost	Average Idle Machine Cost	
L Cost+P Cost	Average Total Idle Cost	

대한 절차와 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 확률적 주기를 갖는 이종기계의 경우, 기존의 연구결과로서는 해결할 수 없는 작업자-기계할당 문제를 표본자료의 입력으로 분포함수를 결정하고 결정된 함수의 기대치에 대해 발견적 절차(휴리스틱 접근방법)를 통하여 최적할당의 해를 구하였다.

2. 각각의 시간치들의 확률적 주기를 가지므로 모의 실험(시뮬레이션)을 통하여 앞에서 구한 최적할당에 따른 성능을 검토하였다.

3. 위 과정을 수작업으로 하는 것은 상당한 어려움이 따르므로 개인용 컴퓨터에서 수행될 수 있도록 전산프로그램화하여 손쉽고 빠르게 작업할당을 하도록

하였다.

참고 문헌

1. Ashcroft, H. *The productive of severnal Machines the care of one operator.* Royal statistical society Journal Vol. 12, 1950, pp. 145-151.
2. Miller, J. G., and Berry, W. L., *The Assignment of Men to Machines: An Application of Branch and Bound.* Institute paper No. 39, Krannert Graduate school of Industrial Administration, Purdue University, West Lafayette, Indiana 1973, pp. 56-72.
3. Miller, J. G., and Berry, W. L., *Heuristic Method for Assigning Men to Machine: An Experimental Analysis.* AIIE Transactions, June, 1974, pp. 97-104.
4. Barnes, R. M., Sixth Edition *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work.* A Wiley International Edition.
5. Francis, R. L., and White, J. A., *Facility Layout and Location: An Analysis Approach.* Prentice-Hall N. J. 1974.
6. Fetter, R. N., *The Assignment of Operators to Service Semi-automatic Machines,* Journal of I. E. September-October, 1955, pp. 22-30.
7. Conway, R. W., Maxwell, W. L., H. W. Sampson, *One the Cycle Servicing of Semi-automatic Machine.* Journal of I. E. March-April 1962, pp. 105-107.

【부록】

```

100 *Program (ASSEM) --- ASSIGNMENT & SIMULATION
110 *****
120 * PART-I Data Input Program
130 *****
140 READ N          *Number of Machines
150 DIM MS(N)
160 FOR I=1 TO N
170 READ MS(I)      *The Name of I-th process
180 NEXT I
190 READ UNITS      *Basic Unit of Time (sec, min, hour, etc.)
200 DIM X(N,3,10), PZ(N,3,10) *Value & probability of class, # of classes
210 DIM P(N),U(N)   *For Processing time, Unload/load time
220 FOR J=1 TO M
230 *For I-th Work : MS(I)
240 J=1             *Machine Time
250 GOSUB 300      *To DATA INPUT subroutine
260 P(I)=AVC
270 J=2 *For Man-service time (Loading)
280 GOSUB 300
290 U(I)=AVC
300 J=3 *For Man-service time (Unloading)
310 GOSUB 300
320 J=4 *AVC
330 U(I)=U1+U2
340 NEXT I *For next machine
350 GOTO 1000     *To PART-II (ASSIGNMENT)
360 *****
370 *Subroutine DATAINPUT
380 READ N1,N2     # of data items
390 READ NCL      # of classes
400 SUM=0
410 AVC=0
420 FOR K=1 TO NCL
430 READ X(I,J,K), FREQ
440 PRN=FREQ/RUM
450 AVC=AVC + X(I,J,K)*RUM
    
```

```

460 SUM=SUM+PRB
470 PZ(I,J,K)=SUM          *Cumulative probability
480 NEXT K
490 RETURN
500 *****
510 DATA 4, APT, APPI, RATCH, SUI, sec
520 DATA 100,2, 01.90, 02, -
530 DATA 100,3, 5.83, 0.11, 7, 0
540 DATA 100,2, 5.85, 0.12
550 DATA 100,2, 01.90, 02, -
560 DATA 100,3, 5.83, 0.11, 7, 0
570 DATA 100,2, 5.88, 0.12
580 DATA 100,2, 06.93, 29, 5
590 DATA 100,4, 4.11, 0.20, 0.22, 7, 0
600 DATA 100,3, 5.74, 0.33, 7, 0
610 DATA 100,2, 40.90, 41, 4
620 DATA 100,3, 5.71, 0.18, 7, 11
630 DATA 100,3, 5.74, 0.11, 7, 5
640 *****
1000 *****
1010 *----- PART-II (ASSIGNMENT) -----*
1020 *****
1030 PRINT :PRINT :PRINT "SOLUTION FOR ASSIGNMENT PROBLEM"
1040 PRINT "Convenient time unit (TU, unit):";UNITS;"": INPUT TU
1050 PRINT "Idle Labor Cost per TU:UNITS;"": INPUT CLC
1060 PRINT "Idle Machine Cost per TU:UNITS;"": INPUT CMC
1070 C1=CLC/TU : C2=CMC/TU
1080 *****
1090 *----- Additional Constraints : Minimum Production Rate -----*
1100 NICH=10*10 *For infeasibility presentation
1110 DIM RATE(M) *for min. prod. rate
1120 INPUT "Minimum Production Rate must be considered? (Y or N)";ADDS
1130 IF ADDS="Y" OR ADDS="y" THEN 1160
1140 IF ADDS="N" OR ADDS="n" THEN 1260
1150 GOTO 1120
1160 FOR I=1 TO M
1170 PRINT "For the Process - ";MS(I)
1180 INPUT "Remaining Order quantity - ";QTY
1190 INPUT "Remaining Time(unat-TU) - ";RTIM
1200 RATE(I)=QTY/RTIM *per TU
1210 NEXT I
1220 *****
1230 *----- INITIAL SOLUTION -----*
1240 M=M *# of operators
1250 DIM DEL(M,M), MS(N), COST(M,M), S(N,M), TC(N,M)
1260 FOR I=1 TO M
1270 FOR J=1 TO N
1280 DEL(I,J)=0 *Indicator, DEL(I,J)=1 if machine k is assigned to operate
1290 NEXT J
1300 MS(J)=1 *# of assigned machines
1310 DEL(J,J)=1
1320 NEXT I
1330 *****
1340 *----- COST MATRIX -----*
1350 * For Cost(I,J) : When I-set of machines is assigned
1360 * For Cost(I,J) : When I & J-set are assigned to single operator
1370 FOR I=1 TO M
1380 FOR J=1 TO M
1390 MAI=0
1400 SUM=0
1410 SUMP=0
1420 FOR K=1 TO N
1430 SUM=SUM+ (DEL(K,I) OR DEL(K,J))*U(K)
1440 SUMP=SUMP+ (DEL(K,I) OR DEL(K,J))*(U(K)+P(K))
1450 TEMP=(DEL(K,I) OR DEL(K,J))*(U(K)+P(K))
1460 IF MAI < TEMP THEN MAI=TEMP
1470 NEXT K
1480 IF SUM > MAI THEN TC(I,J)=SUM ELSE TC(I,J)=MAI
1490 TC(I,J)=TC(I,J)
1500 IF 1-J THEN MS(I)=MS(I) ELSE MS(I)=MS(I)+MS(J)
1510 TEMP=TU/TC(I,J)
1520 LCOST=TEMP*(TC(I,J)-SUM)*C1 *Idle labor cost/TU
1530 PCOST=TEMP*(MS(I)+MS(J)-SUMP)*C2 *Idle machine cost/TU
1540 COST(I,J)=LCOST+PCOST
1550 COST(J,I)=COST(I,J)
1560 NEXT J
1570 NEXT I
1580 *----- Feasibility Check -----*
1590 IF ADDS <> "Y" AND ADDS <> "y" THEN 1680 *There is no constraints
1600 FOR I=1 TO M
1610 FOR J=1 TO M
1620 EFRAT=TU/TC(I,J) *Effective production rate per TU
1630 FOR K=1 TO N
1640 IF EFRAT >= (DEL(K,I) OR DEL(K,J))*RATE(I) THEN 1660
1650 COST(I,J)=BIGH:COST(J,I)=BIGH : GOTO 1670
1660 NEXT K
1670 NEXT J:NEXT I
1680 *****
1690 *----- Output Current Solution -----*
1700 PRINT :PRINT "Current Solution : Assigned machine # "
1710 FOR J=1 TO M
1720 I=0
1730 PRINT "Operator ";J;" : Machine ";
1740 FOR K=1 TO M
1750 IF DEL(K,J)=1 THEN I=I+1: S(J,I)=K: PRINT K;
1760 NEXT K
1770 PRINT "(Cycle time = ";TC(J,J);UNITS;"")
1780 NEXT J
1790 PRINT
1800 PRINT "Cost Matrix (per TU:UNITS;)"
1810 FOR I=1 TO M
1820 FOR J=1 TO I
1830 TEMP=COST(I,J)
1840 IF TEMP<BIGH THEN PRINT TEMP, ELSE PRINT "*****"
1850 NEXT J
1860 PRINT
1870 NEXT I
1880 *****
1890 *----- Criteria for IMPROVING -----*
1900 MAI=0
1910 A=0
1920 S=0
1930 FOR I=1 TO M
1940 FOR J=1 TO M
1950 TEMP=COST(I,I) + COST(J,J) - COST(I,J)
1960 IF MAI < TEMP THEN MAI=TEMP:A=I:B=J
1970 NEXT J
1980 NEXT I
1990 *****
2000 *----- Stopping or Improving -----*
2010 IF MAI <= 0 GOTO 3040 *To PART-III, GV, combine A & B
    
```



```

2030 FOR I=1 TO N
2030 DEL(E,A)=DEL(A,I)-DEL(A,B)
2040 NEXT I
2050 MS(A)=MS(A)+M(I)
2060 FOR I=1 TO M
2070 MS(I)=M(I)*M
2080 FOR K=1 TO K
2090 DEL(E,J)=DEL(E,K)
2100 NEXT K
2110 NEXT J
2120 PRINT "One operator is deleted"
2130 GOTO 1370 "To COST MATRIX"
2140 *****
2150 *****
2160 *****
2170 *****
2180 *****
2190 *****
2200 *****
2210 *****
2220 *****
2230 *****
2240 *****
2250 *****
2260 *****
2270 *****
2280 *****
2290 *****
2300 *****
2310 *****
2320 *****
2330 *****
2340 *****
2350 *****
2360 *****
2370 *****
2380 *****
2390 *****
2400 *****
2410 *****
2420 *****
2430 *****
2440 *****
2450 *****
2460 *****
2470 *****
2480 *****
2490 *****
2500 *****
2510 *****
2520 *****
2530 *****
2540 *****
2550 *****
2560 *****
2570 *****
2580 *****
2590 *****
2600 *****
2610 *****
2620 *****
2630 *****
2640 *****
2650 *****
2660 *****
2670 *****
2680 *****
2690 *****
2700 *****
2710 *****
2720 *****
2730 *****
2740 *****
2750 *****
2760 *****
2770 *****
2780 *****
2790 *****
2800 *****
2810 *****
2820 *****
2830 *****
2840 *****
2850 *****
2860 *****
2870 *****
2880 *****
2890 *****
2900 *****
2910 *****
2920 *****
2930 *****
2940 *****
2950 *****
2960 *****
2970 *****
2980 *****
2990 *****
3000 *****
3010 *****
3020 *****
3030 *****
3040 *****
3050 *****
3060 *****
3070 *****
3080 *****
3090 *****
3100 *****
3110 *****
3120 *****
3130 *****
3140 *****
3150 *****
3160 *****
3170 *****
3180 *****
3190 *****
3200 *****
3210 *****
3220 *****
3230 *****
3240 *****
3250 *****
3260 *****
3270 *****
3280 *****
3290 *****
3300 *****
3310 *****
3320 *****
3330 *****
3340 *****
3350 *****
3360 *****
3370 *****
3380 *****
3390 *****
3400 *****
3410 *****
3420 *****
3430 *****
3440 *****
3450 *****
3460 *****
3470 *****
3480 *****
3490 *****
3500 *****
3510 *****
3520 *****
3530 *****
3540 *****
3550 *****
3560 *****
3570 *****
3580 *****
3590 *****
3600 *****
3610 *****
3620 *****
3630 *****
3640 *****
3650 *****
3660 *****
3670 *****
3680 *****
3690 *****
3700 *****
3710 *****
3720 *****
3730 *****
3740 *****
3750 *****
3760 *****
3770 *****
3780 *****
3790 *****
3800 *****
3810 *****
3820 *****
3830 *****
3840 *****
3850 *****
3860 *****
3870 *****
3880 *****
3890 *****
3900 *****
3910 *****
3920 *****
3930 *****
3940 *****
3950 *****
3960 *****
3970 *****
3980 *****
3990 *****
4000 *****

```

```

3170 I=MS(I)*M
3180 *****
3190 *****
3200 *****
3210 *****
3220 *****
3230 *****
3240 *****
3250 *****
3260 *****
3270 *****
3280 *****
3290 *****
3300 *****
3310 *****
3320 *****
3330 *****
3340 *****
3350 *****
3360 *****
3370 *****
3380 *****
3390 *****
3400 *****
3410 *****
3420 *****
3430 *****
3440 *****
3450 *****
3460 *****
3470 *****
3480 *****
3490 *****
3500 *****
3510 *****
3520 *****
3530 *****
3540 *****
3550 *****
3560 *****
3570 *****
3580 *****
3590 *****
3600 *****
3610 *****
3620 *****
3630 *****
3640 *****
3650 *****
3660 *****
3670 *****
3680 *****
3690 *****
3700 *****
3710 *****
3720 *****
3730 *****
3740 *****
3750 *****
3760 *****
3770 *****
3780 *****
3790 *****
3800 *****
3810 *****
3820 *****
3830 *****
3840 *****
3850 *****
3860 *****
3870 *****
3880 *****
3890 *****
3900 *****
3910 *****
3920 *****
3930 *****
3940 *****
3950 *****
3960 *****
3970 *****
3980 *****
3990 *****
4000 *****

```