

셀형 유연조립시스템에서의 통합 배치설계

최형호* · 노인규**

Integrated Layout Design in Cellular Flexible Assembly Systems

Hyung-Ho Choi* · In-Kyu Ro**

Abstract

The major two steps required to design a cellular layout are cell formation and cell layout. Because of the differences between manufacturing and assembly operations, the logic of cell formation and cell layout between an FMS and an FAS is not the same. Since the time for the assembly operations is usually relatively short, the transfer time is thus very crucial for the performance of assembly systems. Therefore in a cellular FAS it is more important to eliminate backtracking operations in assembly planning, not to allow intercellular movements in cell formation, and to arrange machines according to assembly sequence in cell layout. This study presents a method for the integrated layout design in cellular FASs considering the characteristics of FAS, layout, and production factors.

1. 서론

제조시스템설비의 배치(layout)는 전통적으로 흐름라인형 배치(flow line layout), 기능형 배치

(functional layout), 고정형 배치(fixed layout)로 분류되어진다. 그러나 제조 개념으로서 그룹 테크놀로지(Group Technology: GT)의 출현은 기존의 배치 분류에 GT배치(GT layout) 혹은 셀형배치(cellular layout)라는 하나의 새로운

* LG-EDS 시스템 CALS & CIM 사업부

** 한양대학교 산업공학과 교수

배치 유형을 추가시켰다.

GT의 목적은 규모의 경제(economies of scale)를 성취하기 위하여 제품 설계와 제조공정들의 유사성들을 판명하고 개발하는 것이다. GT제조 (GT manufacturing) 혹은 셀형제조 (cellular manufacturing)의 원리는 제조 시스템의 설계와 운영에 폭 넓게 응용되고 있다.

셀형 제조는 설비의 생산성의 개선과 조업비용의 감소등과 같은 몇 가지 장점들을 제공한다 [1,2,3,4]. 셀형제조에서는 부품들의 작업 대기시간 및 길이의 감소 등은 의문시 되지만[5,6], 몇몇 경험적 연구들[7,8,9,10]에 의하면 자재흐름의 시간 및 거리 그리고 비용이 주문생산형 배치에 비해 셀형 배치에서 더 감소된다.

셀형제조시스템(Cellular Manufacturing System: CMS)의 설계의 핵심은 셀형성(cell formation)이다. 일반적으로 셀형성이란 부품들의 이동 비용을 줄이기 위하여, 기계셀(machine cell)들을 형성하고 부품군(part family)들을 구성하여 각 셀에서 특정 부품들만이 생산되도록 기계셀들에 부품군들을 할당하는 것이다. 그러나 생산계획(production planning), 공정계획(process planning), 자재관리시스템(material handling system), 그리고 배치(layout)와 같은 셀형성 이외의 다른 계획과 설계 특성들도 CMS를 구축할 때 고려되어야 한다[1,11].

전통적인 조립라인이 경제적으로 대량생산에 적합할지라도 시장의 다양한 수요를 충족시킬 만큼 유연(flexible)하지는 않다. GT의 장점들 유연제조시스템(Flexible Manufacturing System: FMS)에 적용시킨 셀형 FMS에서 나타난 유연성과 효율성에 따라서 동일한 셀 개념이 유연조립시스템(Flexible Assembly System: FAS)의 설계에도 적용되어져 왔다.

그러나 일반 제조와 조립작업간의 차이 때문

에 셀형 FMS(cellular FMS)와 셀형 FAS(cellular FAS)의 셀형성 및 배치의 논리는 동일하지 않다. FAS에서는 조립 특성에 따라서 병렬처리가 가능하다. 즉, 하부 조립품들(subassemblies)이 동시에 처리된 후 함께 주 조립단계로 가져가서 최종조립을 할 수 있다. 그리고 FMS에서의 작업처리시간은 보통 분단위(order of minutes)지만 FAS에서의 처리시간은 보통 초 단위(order of seconds)로 매우 짧다 [12].

FAS에서는 작업처리시간이 극히 짧으므로 상대적으로 제품의 이송시간 (transfer time)이 시스템의 수행도에 있어서 중요하다. 역류작업(backtracking operation)이나 셀간이동작업등은 많은 이송시간을 야기시킨다. 그러므로 셀내 기계들은 제품의 작업순서에 따라 밀접하게 배열하고 고속의 제품운반수단을 사용해야한다. FAS 설계에서는 이와 같은 요인들을 함께 고려하기 위해서 작업순서를 결정할 때 가급적이면 역류작업이 발생하지 않도록 하며 셀형성시에 셀간이동을 최소화하도록 해야한다. 그리고 셀형성시에는 작업순서와 기계배치(machine layout)를 고려하면서 기계비용 및 기계용량과 같은 생산요인들을 함께 고려하는 것이 좋다[13].

셀형 배치설계에는 부품군과 기계셀을 형성하는 셀형성 단계와 셀형성 후에 기계들의 배열을 결정하는 셀배치 단계가 있다. 일반적인 셀형성에 관한 연구는 거의 대부분의 GT문헌에서 다루고 있으며 총괄적인 조사연구(survey)도 많이 되어 있다[14,15,16,17].

생산요인들을 고려하는 셀형성 연구들은 기계용량[10,18,19], 기계활용도[20], 기계비용[19], 그리고 작업부하균형 및 처리시간[16]에 관한 것들이 있다. 배치요인들과 관련된 연구들로는 다중부품가공경로[20]와 작업순서[13,21,22,23]에

관한 것들이 있다.

많은 셀형성에 관한 연구들이 있지만 그것들은 거의 대부분 한 두가지의 생산이나 배치요인들만을 고려하는 것들이다. 한편, 셀형성과 셀배치의 통합결정은 많은 장점을 가지고 있지만 거의 연구가 되어있지 않다.

Selvam and Balasubramanian[21], Vakkaria and Wemmerlov[22], 그리고 Verma and Ding[24]은 작업순서를 고려하는 셀형성과 셀배치의 통합연구를 수행하였다. 그러나 이들의 연구는 셀간이동을 허용하는 모델에 관한 것들이고 모든 생산시스템설계에서 중요한 고려요인들로 알려져 있는 기계비용과 기계용량과 같은 생산요인들을 모두 고려하지 않고 있다. 배치설계시에 작업순서 및 기계배치와 같은 배치요인들과 함께 생산요인들을 보다 많이 고려한다면 더욱 경제적인 설계가 될 수 있다[25].

본 연구에서는 고속의 조립시간을 가지는 셀형 FAS의 배치설계를 위하여 작업순서 및 기계배치와 같은 배치요인들과 기계비용 및 기계용량과 같은 생산요인들을 고려하는 셀형성과 셀배치의 통합 결정방법을 제시한다.

2. 셀형 유연조립시스템에서의 배치모델

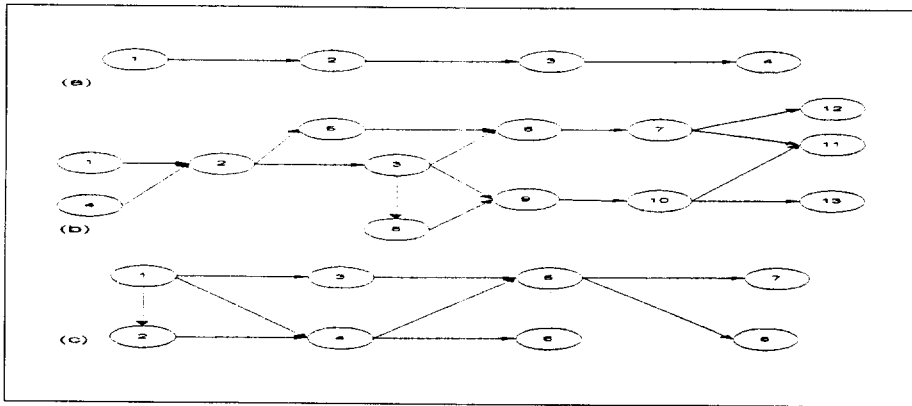
조립시스템에서의 기계배치는 흐름라인방식이 적합하다고 알려져 있으며 [Fig.1]에서처럼 단일흐름라인(single row flowline), 복열네트워크흐름라인(double rows network flowline), 네트워크흐름라인(network flow line)의 세가지 형태가 있다.

다제품 단일흐름라인은 자재흐름이 단순화되

고 셀관리가 용이하지만 제품들의 작업유사성이 없을수록 제품들이 필요하지 않는 기계들을 통과하거나 역류작업들이 많이 발생한다. 단일흐름라인의 문제점을 보완하는 네트워크 흐름방식[13,26]은 제품들이 필요하지 않은 기계를 거치지 않으므로 자재이동시간을 줄일 수 있다. 그러나 이 방식은 셀내 작업장의 관리가 상당히 복잡해지며 공간활용이 비효율적이므로 셀배치로서 적합하지 않다.

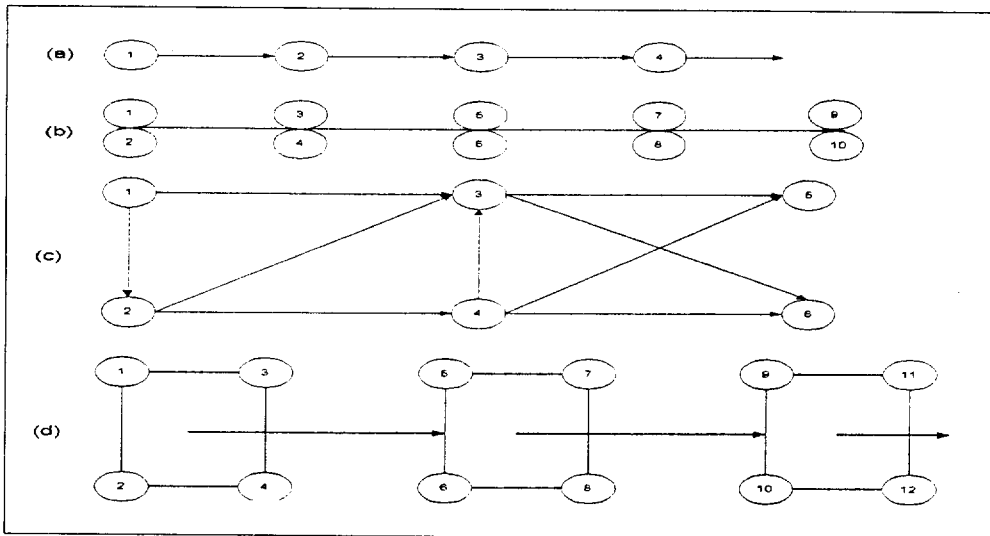
복열 네트워크흐름방식은 [Fig.2]에서처럼 작업레벨내의 기계수와 기계간 거리에 따라서 여러가지 형태가 있다. 여기서 작업 레벨이란 레벨내의 기계간 거리와 순위가 동일한 기계들의 그룹이다. 이 방식은 네트워크 흐름방식이지만 기계들의 배열은 현실적으로 많이 사용되고 있는 두개의 열로 국한이 되므로 단일흐름라인의 자재흐름의 단순화 및 셀내 관리의 용이성과 네트워크 흐름방식의 장점인 자재 이동시간의 감소를 동시에 추구한다. 그러나 복열 네트워크 흐름방식을 고려하는 셀배치연구가 필요함에도 불구하고 아직 어떠한 연구도 수행되어 있지 않다. 삼중열(triple rows)이상의 네트워크 흐름방식은 기존의 네트워크 흐름방식과 같이 셀관리가 어려워지므로 조립시스템의 셀배치 방식으로 적합하지 않다. 본 연구의 방법은 자재이동시간을 줄일 수 있는 복열네트워크 흐름라인에 배치방식에도 적용이 가능하다. 그러나 복열네트워크 흐름라인에 관한 배치연구가 없으므로 작업레벨순위와 가중평균작업순위의 개념에 의거한 복열네트워크 흐름라인에서의 기계배치방법을 제시한다.

단일 흐름라인에서는 작업레벨내의 기계수가 하나이므로 기계의 작업순서가 작업레벨의 순위가 된다. 작업레벨의 순위란 작업레벨내의 기계들이 작업레벨기준으로 몇 번째 순위에 있는 것



(a) single row flowline
 (b) network flowline
 (c) double rows network flowline

[Fig.1] Three flowline types[26]



(a) $n = 1, a = 0, b = 1$ (b) $n = 2, a = 0, b = 1$ (c) $n = 2, a = 1, b = 2$
 (d) $n = 4, a = 1, b = 2$

n : number of machines in an operation level
 a : distance between machines in an operation level
 b : distance between operation levels

[Fig. 2] Single row flowline and various layouts of double rows flowline

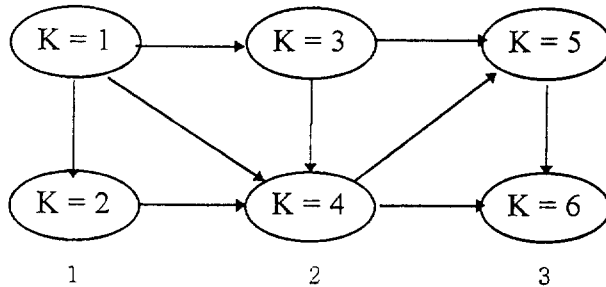
인가를 나타낸다. 그러나 [Fig. 3]에서와 같은 복열 네트워크 흐름라인에서는 작업레벨내의 기계수가 둘이므로 작업순서상 1, 2순위에 있는 기계의 작업레벨 순위는 동일하게 1이고, 작업순서상 3, 4순위에 있는 기계들의 작업레벨 순위는 2이다. 따라서 작업순서상 k번째 기계의 작업레벨 순위 L_k 는 작업레벨내의 기계수가 n일때 다음과 같다.

$$L_k = \lceil k/n \rceil \quad (1)$$

* x가 정수이면, $\lceil x \rceil = x$
 x가 소수이면, $\lceil x \rceil = \text{int}(x)+1$

이 작업레벨의 개념과 이동거리계산은 단열 흐름라인의 경우와 레벨내 기계수가 둘 이상인 경우에도 적용이 가능하므로 로봇이나 AGV 사용등 작업장 상황에 따라서 가능한 배치구조를 설계에 반영할 수 있게 한다. 식(2)는 동일한 복열 네트워크 흐름라인이라도 레벨내 기계간 거리와 레벨간 거리가 다른 경우에도 적용이 가능하다. 식(2)를 사용하면 어떤 부품의 작업순서가 주어지면 그 부품이 주어진 복열 네트워크 흐름라인에서 작업을 완료할 때까지의 총 이동거리를 구할 수 있다.

어떤 기계의 가중평균 작업순위는 부품들이 그 기계상에서의 평균 작업순위인데 가중치로



[Fig. 3] Operation level in a double rows flowline

작업레벨내 기계간의 거리가 a, 작업레벨간 거리가 b, 작업 레벨 i와 j간의 이동지수 $L = L_j - L_i$ 일때 이동거리 T는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 &L < 0 \text{ 이면, 뒤의 작업레벨로 이동,} & (2) \\
 &\quad T = -bL \\
 &L = 0 \text{ 이면, 작업레벨내 이동,} \\
 &\quad T = a \\
 &L > 0 \text{ 이면, 앞의 작업레벨로 이동,} \\
 &\quad T = bL
 \end{aligned}$$

부품량이 곱해진다. 셀내 기계배치는 이 수치가 작은 기계부터 배열한다. 조립이 완료된 부품들은 즉시 작업장을 떠나서 저장소에 보관되거나 선적이 된다고 가정하면 셀내의 기계 k상에서의 가중 평균 작업순위 F_k 는 다음과 같다.

$$F_k = (\sum_i L_{ik} Q_i / \sum_i Q_i) \quad (3)$$

$i \in \{\text{셀내의 부품들}\}$
 $k \in \{\text{셀내의 기계들}\}$
 Q_i : 부품i의 생산량

부품 i 가 기계 k 에서의 작업이 필요한 경우의 기계 k 의 작업레벨순위, $L_{ik} = \lceil C_{ik}/n \rceil$
 부품 i 가 기계 k 에서의 작업이 없는 경우, $L_{ik} = \lceil (N_i+1)/n \rceil$

* C_{ik} : 부품 i 의 작업순서상 기계 k 의 순위
 N_i : 부품 i 의 작업수

기계배열은 이 가중평균 작업순위에 의하여 순위가 작은 기계부터 라인에 배열을 한다.

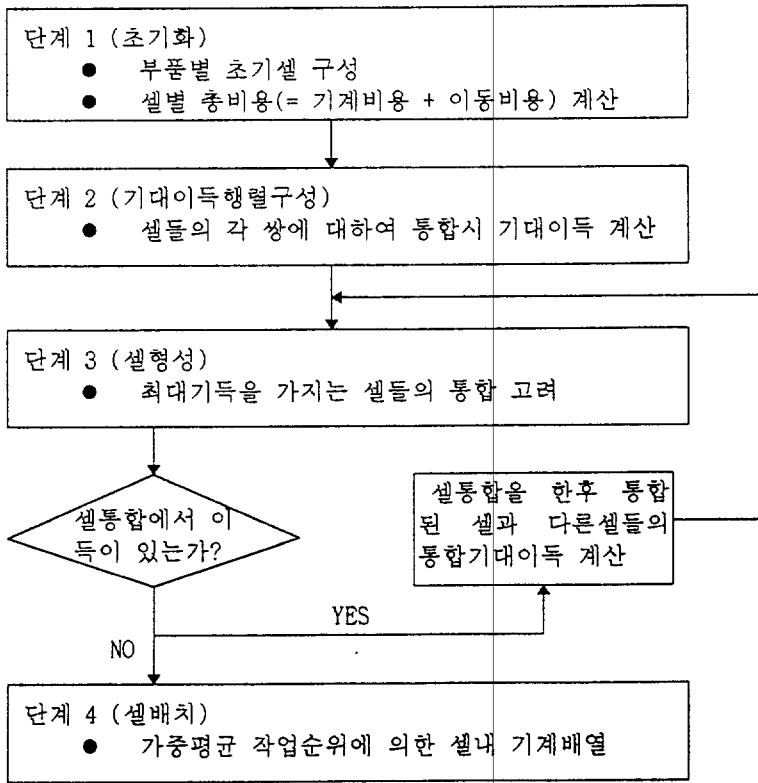
FAS의 배치설계에서는 일반 제조 상황에서보다 자재흐름 이동시간에 비중을 더 두고 있다. 그러므로 셀형 FAS를 구축하기 위한 셀형성시에는 작업순서에 의거한 기계배치를 동시에 고려하는 것이 중요하다. 따라서 작업순서를 고려하는 셀형성과 셀배치의 통합 연구가 필요하다. 그리고 조립 작업의 특성이나 작업장 상황에 따라서 셀간 이동이 불가능할 수도 있다. 그리고 불가피하게 셀간 이동을 해야 하는 경우는 많은 이동시간 때문에 야기되는 상당한 양의 작업 지연 및 시스템 관리의 복잡성이 수반된다. 그러므로 셀간 이동은 역류작업처럼 가능한 한 배제되어야 한다. 셀간 이동시간이 조립시간에 비해서 그다지 길지 않다면 셀간이동이 더욱 경제적일 수가 있으나 FAS에서는 극히 드문 상황이다.

자재 흐름상 가장 이상적인 셀형성은 제품별로 하나씩의 전용조립셀을 구성하여 작업순서에 따라 셀내 기계들을 복열네트워크흐름라인으로 배열하는 것이다. 그러면 셀내의 제품이동은 역류(backtracking flow)하거나 통과흐름(bypassing flow)이 적어지고 셀간 이동도 발생하지 않는다. 그러나 동일한 기계들이 여러 셀들에 배치되야 하므로 기계비용이 증가한다. 이 기계비용을 줄이기 위해서는 기계용량들을 고려하여 유사한 작업들을 요하는 부품들의 셀들을 통합함으로써 기계들을 공유하도록 하여야 한다. 그러나 셀통

합은 부품들의 이동비용증가를 초래하기 때문에 감소되는 기계비용과 증가하는 이동비용을 고려하여 전체비용이 감소된다면 통합하는 것이 좋다. 그러나 기존의 셀형성과 셀배치의 통합 결정 방법들은 기계용량을 항상 충분하다고 가정하여 생산요인인 기계비용과 기계용량을 고려하지 않고 있으며 셀간 이동은 항상 가능하다고 가정하고 있으므로 새로운 해법의 개발이 필요하다. 그러므로 기계비용, 기계용량 그리고 작업순서와 복열 네트워크 흐름라인에 의거한 기계배치를 고려하는 완전 독립셀 형성과 셀배치의 통합 결정방법을 FAS의 셀형배치방법으로 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 부품의 작업순서에서의 역류작업과 셀간이동작업이 없다는 가정하에서 자재이동시간을 최소화하도록 제품별로 하나씩의 전용조립셀을 구성하여 초기셀들을 만든다. 그리고 기계비용과 부품이동비용을 고려하여 셀들을 통합해간다. 셀들의 통합결정은 작업순서, 복열네트워크흐름라인에 의거한 기계배열, 기계비용과 기계용량을 고려하여 기계비용과 이동비용의 합인 총비용을 구한 후 통합전의 비용과 비교하여 통합시의 기대이득행렬을 구성한다. 두 셀 v, w 의 통합시 기대이득 CS_{vw} 는 셀 v 의 총비용과 셀 w 의 총비용의 합에서 셀통합시 총비용을 뺀 값이다. 모든 셀들의 쌍의 기대이득들 중에서 가장 큰 이득을 가지는 쌍을 통합하여 하나의 셀로 만든다. 그리고 다시 다른 셀들과의 통합을 고려한다. 계속 이 단계를 반복하여 더 이상의 이득이 생기는 셀통합이 없다면 셀형성은 완료된다. 이때 형성된 셀들에 해당기계들을 가중평균순위에 의하여 배열한다.

다음장에서는 본 연구에서 제시하고자 하는 셀형 FAS에서의 배치설계방법에 대한 알고리즘과 수치예제를 제시하고 해법에 대한 평가를 한다.



[Fig.4] Flowchart for the algorithm

3. 알고리즘 및 수치예제

본 해법의 알고리즘에 대한 순서도는 [Fig. 4]에 있으며 사용되는 기호들과 가정들은 다음과 같다.

3.1 기호설명 및 가정

[기호설명]

- a: 작업 레벨내의 기계간 거리
- b: 작업 레벨간의 거리
- c: 셀의 수

- m: 기계수
- n: 작업 레벨내 기계수
- p: 부품수
- C_{tra} : 셀내의 이동비용
- C_{vk} : 셀 v에서의 기계 k의 작업레벨순위
- F_k : 기계 k에서의 부품들의 가중평균순위
- H_k : F_k 값의 오름차순으로 결정되는 기계 k의 배치순위
- N_i : 부품 i의 총작업수
- 부품 i의 가공에 필요한 작업기계들의 수
- N_{max} : 부품들의 총 작업수들 중에서 최대수,
 $N_{max} = \max\{N_i\}$
- Q_i : 부품 i의 생산량

- 부품 i의 수요에 따라서 생산해야할 수량
- CR_{ik} : 부품 i가 기계 k에서 필요한 소요용량
(capacity requirement)
- MC_k : 기계 k의 비용
- OP_{ij} : 부품 i의 j번째 작업
부품 i의 작업순서상 j번째 작업에 필요한 기계
- TC_v : 셀 v의 총 비용
- CMC_v : 셀 v에서의 총 기계 비용
- TRA_v : 셀 v에서의 부품들의 총 이동비용

* i = 1, ..., p, j = 1, ..., N_{max},
v = 1, ..., c
모든 비용들의 단위는 \$/unit

[가정]

- 가정 1 : 부품의 작업순서결정시에 역류작업은 허용되지 않는다.
- 가정 2 : 셀간이동은 허용되지 않는다.

3.2 셀형성 알고리즘

단계 1: 초기에 부품수 만큼의 셀들을 형성하여 각 셀에 각 부품이 필요로 하는 기계들을 할당하고 총 비용을 계산한다.

c = p 로 하고 v = 1, ..., c, j = 1, ..., N_v, k = 1, ..., m 에 대하여 다음을 수행한다.

[OP_{vj}]행렬과 [CR_{vk}]행렬에 의거하여 [C_{vk}]행렬을 만든다.

OP_{vj} = k 이면, $c_{vk} = \lceil \frac{j}{n} \rceil$

CR_{vk} = 0 이면, $c_{vk} = \lceil \frac{N_v + 1}{n} \rceil$

각 셀의 기계비용 CMC_v를 계산한다.

$$CMC_v = \sum_k \lceil CR_{vk} \rceil MC_k$$

각 셀의 부품의 이동비용을 계산한다.
n = 1 이면,

$$TRA_v = (N_v - 1) b Q_v C_{tra}$$

n > 1 이면,

$$TRA_v = \left[a \lceil \frac{N_v}{n} \rceil + b \left(\lceil \frac{N_v}{n} \rceil - 1 \right) \right] Q_v C_{tra}$$

$$* \lceil x \rceil = \text{int}(x)$$

각 셀의 총비용 TC_v를 계산한다.
TC_v = TRA_v + CMC_v

단계 2: 모든 셀의 쌍 (V,W)에 대하여 기대이득 CS_{vw}를 계산한다.

v = 1, ..., c, w = v+1, ..., c, k = 1, ..., m 에 대하여 다음을 수행한다.

셀 (v,w)의 부품들의 기계 k에서의 가중평균 순위 F_k를 계산한다:

CR_{vk} = CR_{wk} = 0 이면, F_k = 0
CR_{vk} ≠ 0 혹은 CR_{wk} ≠ 0 이면,

$$F_k = \frac{C_{vk} Q_v + C_{wk} Q_w}{Q_v + Q_w}$$

F_k = 0 이 아닌 F_k들을 오름차순으로 정렬했을 때의 각 기계의 순위 H_k들을 구하여 작업레벨순위 L_k들을 계산한다: 식 (1)로부터

$$L_k = \lceil \frac{H_k}{n} \rceil$$

j = 1, ..., N_v에 대하여 OP_{vj} = K(j)로 하고 셀

(v,w)내의 이동비용 TRA_{vw} 을 계산한다: 식

(2)로 부터

i) $j = 1$ 인 경우,

$L = L_{K(j)} - 1$ 로 하여

$L > 0$ 이면,

$$TRA_{vw} = TRA_{vw} + bLQ_v C_{tra}$$

ii) $j > 1$ 인 경우,

$L = L_{K(j+1)} - L_{K(j)}$ 로 하여

$L < 0$ 이면,

$$TRA_{vw} = TRA_{vw} - bLQ_v C_{tra}$$

$L = 0$ 이면,

$$TRA_{vw} = TRA_{vw} + aQ_v C_{tra}$$

$L > 0$ 이면,

$$TRA_{vw} = TRA_{vw} + bLQ_v C_{tra}$$

$j = 1, \dots, N_w$ 에 대하여 $OP_{wj} = K(j)$ 로 하여 위의 과정을 동일하게 수행한다.

셀 (v,w)의 총 기계비용을 계산한다:

$$CMC_{vw} = \sum_k ([CR_{vk} + CR_{wk}]) MC_k$$

셀 (v,w)의 총비용을 계산한다:

$$TC_{vw} = TRA_{vw} + CMC_{vw}$$

셀 (v,w)의 기대이득을 계산한다:

$$CS_{vw} = TC_v + TC_w - TC_{vw}$$

단계 3: 부품군들을 판명하고 기계셀들을 형성한다.

$CS_{xy} = \max\{CS_{vw}\}$ 를 구하여 $CS_{xy} > 0$ 이면 셀 x에 셀 y의 부품들을 포함시키고 CS_{vw} 행렬을 다음처럼 변환한다. $i = 1, \dots, c$ 에 대하여

$i < x$ 이면

$$CS_{ix} = CS_{ix} + CS_{iy}, i = 1, \dots, x-1$$

$x < i < y$ 이면

$$CS_{xi} = CS_{xi} + CS_{iy}, i = x+1, \dots, y-1$$

$y < i$ 이면

$$CS_{xi} = CS_{xi} + CS_{yi}, i = 1, \dots, c$$

y번째 행과 열을 삭제하여 $c = c - 1$ 로 한다.

$CS_{vw} < 0$ 이면 단계 4로 간다.

단계 4: 셀내에 기계들을 가중평균작업 순위에 의거하여 배열한다.

형성된 각 셀에 대하여 다음을 수행한다: 식 (3)으로 부터

$$F_k = \frac{\sum_i C_{ik} Q_i}{\sum_i Q_i}$$

$i \in \{ \text{셀내 부품들} \}, k \in \{ \text{셀내 기계들} \}$

F_k 들의 오름차순으로 기계들을 셀내에 배열 한다.

다음 절에서는 수치예제를 통하여 알고리즘을 구체적으로 설명한다.

3.3 수치예제

본 절에서는 구체적인 수치자료를 가지고 기대이득행렬법의 알고리즘을 수행한다. 기계가 5대이고 부품이 8개인 경우에 주어지는 자료는 다음과 같다.

부품수 $p = 8$,

기계수 $m = 5$,

작업레벨내 기계수 $n = 2$,

셀내이동비용 $C_{tra} = 1 \$ / \text{unit}$

이러한 자료들이 주어지는 경우에 알고리즘이 단계별로 어떻게 수행되는지 살펴본다.

단계 1

$c = p = 8$,

$[OP_{vj}]$ 행렬과 $[CR_{vj}]$ 행렬로 부터 다음의 $[C_{vk}]$ 행렬이 구해진다.

[Table 1] Operation sequence table

part number	operation sequence				number of operations N _i	part quantity Q _i
	1	2	3	4		
1	1	2	3		3	100
2		2	3		2	100
3	1	3			2	50
4	1	2	3	4	4	200
5	2	1	5		3	300
6	4	5			2	150
7	5	4			2	100
8	5	4			4	150

[Table 2] Machine capacity requirement table

part number	machine(k)				
	1	2	3	4	5
1	0.3	0.4	1.3		
2		0.2	0.3		
3	0.2		0.4		
4	0.1	0.2	0.3	1.0	
5	2.1	0.3			0.1
6				0.8	0.3
7				0.1	0.3
8				0.2	1.3
machine costs(MCk)	40	10	30	12	10

[C_vk] 행렬

cell	machine				
	1	2	3	4	5
1	1	1	2	2	2
2	2	1	1	2	2
3	1	2	1	2	2
4	1	1	2	2	3
5	1	1	2	2	2
6	2	2	2	1	1
7	2	2	2	1	1
8	2	2	2	1	1

각 셀의 기계비용 CMC_v를 계산한다.

CMC₁ = 110, CMC₂ = 40, CMC₃ = 70, CMC₄

= 92, CMC₅ = 140, CMC₆ = 22, CMC₇ = 22, CMC₈ = 32

각 셀의 이동비용 TRA_v를 계산한다.

TRA₁ = 200, TRA₂ = 100, TRA₃ = 50, TRA₄ = 600, TRA₅ = 600, TRA₆ = 150, TRA₇ = 100, TRA₈ = 150

그러면 각 셀의 총비용 TC_v는 다음과 같다.

TC₁ = 310, TC₂ = 140, TC₃ = 120, TC₄ = 692, TC₅ = 740, TC₆ = 172, TC₇ = 122, TC₈ = 182

단계 2

v = 1, w = v + 1 = 2

셀들의 쌍 (1,2)에 대하여 셀내 부품들의 셀내 기계 k 상에서의 가중평균순위 F_k 들을 구한다.

$$F_k = (C_{1k}Q_1 + C_{2k}Q_2)/(Q_1 + Q_2)$$

$$F_1 = (1 \times 100 + 2 \times 100)/200 = 1.5$$

$$F_2 = (1 \times 100 + 1 \times 100)/200 = 1$$

$$F_3 = (2 \times 100 + 1 \times 100)/200 = 1.5$$

$$(CR_{1k} = CR_{2k} = 0 \text{ 이면 } F_k = 0 \text{ 이므로})$$

$$F_4 = F_5 = 0$$

계산된 F_k 값들을 오름차순으로 정렬하여 각 기계의 순위를 구한다.

$$H_1 = 2$$

$$H_2 = 1$$

$$H_3 = 3$$

$$L_k = \left\lceil \frac{H_k}{2} \right\rceil \text{ 이므로}$$

$$L_1 = 1, L_2 = 1, L_3 = 2$$

부품 1의 작업순서는 1 - 2 - 3 이고 부품 2의 작업순서는 2 - 3 이므로

$$v : L_1 - 1 = 1 - 1 = 0 \text{ 이므로,}$$

$$TRA_{12} = 0$$

$$L_2 - L_1 = 1 - 1 = 0 \text{ 이므로,}$$

$$TRA_{12} = 0 + 100 = 100$$

$$L_3 - L_2 = 2 - 1 = 0 \text{ 이므로,}$$

$$TRA_{12} = 100 + 100 = 200$$

$$w : L_2 - 1 = 1 - 1 = 0 \text{ 이므로,}$$

$$TRA_{12} = 200 + 0 = 200$$

$$L_3 - L_2 = 2 - 1 = 1 \text{ 이므로,}$$

$$TRA_{12} = 200 + 100 = 300$$

셀 (1,2)의 총기계 비용은

$$\begin{aligned} CMC_{12} &= 1 \cdot 40 + 1 \cdot 10 + 2 \cdot 30 + 0 + 0 \\ &= 110 \end{aligned}$$

그러므로, 셀 (1,2)의 총비용은 $TC_{12} = TRA_{12} + CMC_{12} = 300 + 110 = 410$ 이고 셀(1,2)의 기대이익은

$$CS_{12} = TC_1 + TC_2 - TC_{12}$$

$$= 310 + 140 - 410 = 450 - 410$$

$$= 40 \text{ 이 된다.}$$

알고리즘을 계속 수행하여 모든 셀의 쌍 (v,w)에 대한 이익 CS_{vw} 행렬은 다음과 같다.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	40	70	80	50	-100	-200	-100
2	0	0	-70	40	10	-100	-100	-100
3	0	0	0	70	40	-50	-50	-50
4	0	0	0	0	-250	-150	-300	-450
5	0	0	0	0	0	-140	-90	-140
6	0	0	0	0	0	0	22	10
7	0	0	0	0	0	0	0	22
8	0	0	0	0	0	0	0	0

단계 3

$CS_{14} = 80 = \max CS_{vw}$ 이므로 셀 1에 셀 4의 부품들을 포함시키고 통합셀(1,4)와 관련된 다른 셀들과의 통합 기대이익들은

$$x=1, y=4$$

$$x = 1 < i = 2 < y = 4$$

$$: CS_{xi} = CS_{xi} + CS_{iy}$$

$$CS_{12} = CS_{12} + CS_{24} = 80$$

$$i = 3$$

$$CS_{13} = CS_{13} + CS_{34} = 140$$

$$y = 4 < i = 5$$

$$: CS_{xi} = CS_{xi} + CS_{yi}$$

$$CS_{15} = CS_{15} + CS_{45} = -200$$

$$i = 6$$

$$CS_{16} = CS_{16} + CS_{46} = -250$$

$$i = 7$$

$$CS_{17} = CS_{17} + CS_{47} = -500$$

$$i = 8$$

$$CS_{18} = CS_{18} + CS_{48} = -550$$

이 되고 4번째 행과 열을 삭제하면 기대이득행렬은 다음과 같다.

	(1,4)	2	3	5	6	7	8
(1,4)	0	80	140	-200	-250	-500	-550
2	0	0	-70	10	-100	-100	-100
3	0	0	0	40	-50	-50	-50
5	0	0	0	0	-140	-90	-140
6	0	0	0	0	0	22	10
7	0	0	0	0	0	0	22
8	0	0	0	0	0	0	0

알고리즘을 계속 수행하면

	(1,4,3,2)	(5)	(6,7,8)
(1,4,3,2)	0	-150	-1750
(5)	0	0	-370
(6,7,8)	0	0	0

이 되어 $\max CS_{vw} = -190 < 0$ 이므로 단계 4로 간다.

최종적으로 3개의 셀들이 형성되며 구해진 부품군들은 다음과 같다.

<u>1</u>	<u>4</u>	<u>3</u>	2	0	0	0	0	첫 번째 부품군
0	0	0	0	0	0	0	0	= {1, 4, 3, 2}
0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	
<u>5</u>	0	0	0	0	0	0	0	두 번째 부품군
6	7	8	0	0	0	0	0	= {5}
0	0	0	0	0	0	0	0	세 번째 부품군
0	0	0	0	0	0	0	0	= {6,7,8}

단계 4

각 부품군들의 셀에 해당 기계들을 가중평균작업순위에 의하여 배열한다.

첫번째 셀의 부품군 {1,4,3,2}에 대하여 필요기계들은 {1,2,3,4}이므로

$$F_1 = \frac{C_{11} Q_1 + C_{21} Q_2 + C_{31} Q_3 + C_{41} Q_4}{\sum Q_i} = 1.2$$

$$F_2 = \frac{C_{12} Q_1 + C_{22} Q_2 + C_{32} Q_3 + C_{42} Q_4}{\sum Q_i} = 1.1$$

$$F_3 = \frac{C_{13} Q_1 + C_{23} Q_2 + C_{33} Q_3 + C_{43} Q_4}{\sum Q_i} = 1.7$$

$$F_4 = \frac{C_{14} Q_1 + C_{24} Q_2 + C_{34} Q_3 + C_{44} Q_4}{\sum Q_i} = 2$$

그러므로 $F_2 < F_1 < F_3 < F_4$ 가 되고 기계는 1, 2, 3, 4 순으로 배열한다.

두번째 셀의 부품군 {5}에 대하여 필요기계들은 {1, 2, 5}이다. 이 셀에서는 부품 5만 조립되므로 부품5의 작업순서 2, 1, 5순으로 기계를 배열한다.

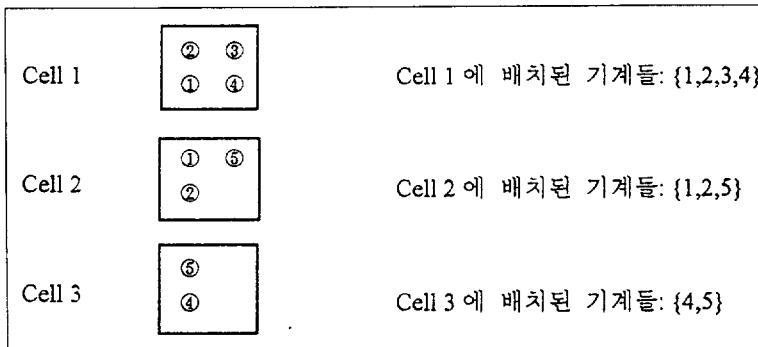
세번째 셀의 부품군 {6, 7, 8}에 대하여 필요기계들은 {4, 5}이므로

$$F_4 = \frac{C_{64} Q_6 + C_{74} Q_7 + C_{84} Q_8}{\sum Q_i} = 1$$

$$F_5 = \frac{C_{65} Q_6 + C_{75} Q_7 + C_{85} Q_8}{\sum Q_i} = 1$$

$F_4 = F_5$ 이므로 기계배열은 4, 5 혹은 5, 4 순으로 한다.

그러므로 최종 셀배치는 다음 [Fig. 5]과 같다



[Fig. 5] Final cell layout

3.4 해법의 평가 및 논의

본 연구는 작업순서와 복열네트워크흐름에 의거한 기계배치 그리고 기계비용과 기계용량을 고려하면서 셀배치와 함께 독립 셀을 형성하는 방법을 처음으로 제시하고 있다.

단계 1에서 구해지는 셀간 통합이득 행렬은 작업순서와 기계배치, 기계비용, 기계용량의 모든 요인을 고려하여 만들어 진다. 이득행렬에 의거해서 많은 이득을 가져오는 셀들끼리 계속 통합을 시켜 나가서 셀형성을 하게된다.

생산 셀형성절차와 셀배치 절차 모두가 계산시간이 비현실적으로 증가 하게 되는 NP-complete의 조합최적화 문제들이다. 그러므로 거의 모든 GT관련 연구들은 발견적 해법을 제시하고 있다. 본 연구와 유사한 연구들로는 셀배치와 셀형성의 통합 연구들인데, 이 연구들은 기계 용량을 충분하다고 가정하고 셀간 이동을 허용하는 셀형성 방법을 제시하고있다.

셀간이동을 허용하는 기존의 셀형성과 배치의 통합연구들 중에 Verma and Ding [24]의 연구가 가장 효율적인 해법을 제시하고 있다. Verma and Ding의 연구는 복열 네트워크흐름라인과 생산요인을 고려하지 않은 것외에는 고려요인들로

불 때 본 연구와 가장 유사하다. 따라서 본 연구에서는 해법의 평가를 위하여 Verma and Ding의 알고리즘과 비교한다. Verma and Ding의 연구는 기계비용과 기계용량을 고려하지 않으므로 각 기계의 용량을 제품들의 생산에 필요한 최소 용량으로 정하고 상응하는 기계비용을 산출할 수 있다. 실험은 제품수와 기계수의 비율이

- (1) first data: 8 products and 8 machines
- (2) second data: 11 products and 22 machines

인 두가지 자료를 사용하였고 기계비용과 셀간 이동비용을 변화시켜서 각 자료에 대하여 110회씩 총 220회를 수행하였다.

분석은 셀간이동비용과 기계비용변화에 따른 Verma and Ding해법을 수행하여 얻은 총비용들과, 상응하는 본 연구의 해법을 수행하여 얻는 총비용들을 비교하여 셀간이동비용과 기계비용의 수준별로 우수한 해법을 판명하는 것이다. 셀 내이동비용을 1\$/unit의 기준으로 정할 때 셀간 이동비용은 2\$에서 20\$까지 2\$씩 증가시킨 값들에 대하여 다음 [Table 5]에서처럼 5\$에서 2000\$사이의 11가지의 기계비용들을 상응시켜서 총 110가지의 셀간이동비용과 기계비용 조합의 경우들에 대해 총비용들을 비교한다.

[Table 3] Ranges of unit machine cost (\$)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
5~ 40	25~ 200	50~ 400	75~ 600	100~ 800	125~ 1000	150~ 1200	175~ 1400	200~ 1600	225~ 1800	250~ 2000

두 해법들을 수행한 결과 [Table 4]과 [Table 5]에서의 우측상단의 경우처럼 셀간 비용이 적고 기계비용이 많을 때를 제외하고 200회 중 168회의 수행결과 (77%)가 본 연구의 해법이 우수한 것으로 판명되었다. 표들의 좌측하단의결과에서 처럼 셀간이동비용이 크고 기계비용이 적은 경우에는

본 연구의 해법이 우수하다고 판명된다.

따라서 본 연구의 방법은 여러가지 자재이동의 유발요인들을 고려함으로써 자재이동시간에 큰 비중을 두고 있어서 상대적으로 셀간이동비용이 큰 고속의 조립시간을 가지는 셀형 FAS의 현실적인 배치방법으로 더 적합하다.

[Table 4] Comparison of the total costs for the first data (8 products and 8 machines)

machine cost → Cter ↓	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2	4133	4315	5230	5995	7360	7825	8890	9655	10720	11485	12550
4	6033	6065	6880	7795	8710	9625	10540	11455	12370	13285	14200
6	7033	6465	6930	7845	8760	9675	10590	11505	12420	13335	14250
8	7183	7915	8830	9745	10660	11575	12490	13405	14320	15235	16150
10	9083	9815	10730	11645	12560	13475	14390	15306	16220	17135	18050
12	10983	11715	12630	13545	14460	15375	16290	17205	18120	19035	19950
14	12883	13615	14530	15445	16360	17275	18190	19105	20020	20935	21850
16	14783	15515	16430	17345	18260	19175	20090	21005	21920	22835	23750
18	16683	17415	18330	19245	20160	21075	21990	22905	23820	24735	25650
20	18583	19315	20230	21145	22060	22975	23890	24805	25720	26635	27550

[Table 5] Comparison of the total costs for the second data (11 products and 22 machines)

machine cost → Cter ↓	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2	15162	15410	16220	17030	17840	18650	19460	20270	21080	21890	22700
4	28562	28410	29220	30030	30840	31650	32460	33270	34080	34890	35700
6	41562	42210	43020	43830	44640	45450	46260	47070	47880	48690	49500
8	55362	56010	56820	57630	58440	59250	60060	60870	61680	62490	63300
10	69162	69810	70620	71430	72240	73050	73860	74670	75480	76290	77100
12	82962	83610	84420	85230	86040	86850	87660	88470	89280	90090	90900
14	31226	31874	32684	33494	34304	35114	35924	36734	37544	38354	39164
16	45026	45674	46484	47294	48104	48914	49724	50534	51344	52154	52964
18	58826	59474	60284	61094	61904	62714	63524	64334	65144	65954	66764
20	72626	73274	74084	74894	75704	76514	77324	78134	78944	79754	80564

* [Table 4]와 [Table 5]에서

Cter: 셀간이동비용

굵은 선안의 수치는 본 연구의 해법수행결과이고 나머지는 Verma and Ding해법의 결과 음영부분은 본 연구의 결과가 Verma and Ding연구의 결과보다 우수한 경우

Sule[19]는 완전독립셀이 형성된 후 셀간이동을 검토하여 최종적으로 셀형성을 하는 방법을 제시하였다. 그러므로 본 연구의 알고리즘에 의해서 셀형성을 한 후 Sule의 방법을 사용한다면 보다 경제적인 해를 구할 수도 있다.

4. 결 론

복열 네트워크 흐름배치는 가능한 한 작업들의 순서에 따라 기계들을 배열하여 이송시간을 줄이려는 조립시스템에 적합하다고 고려되어지는 배치구조이고 작업순위보다 작업레벨의 순위 개념을 사용하면 조립제품들의 특성, 작업공간, 재고, 제조 설비와 장비 등의 시스템 환경에 따라 적합한 배치의 형태를 설계에 반영할 수 있다. 고속의 조립시간을 가지는 셀형 FAS에서는 배치 설계에 있어서 작업순서와 기계용량을 고려하고 셀간이동을 초래하지 않는 독립 셀형성 그리고 자재흐름을 적게하는 복열 네트워크 흐름등에 비중을 두는 것이 중요하다. 본 연구는 이와 같은 요인들을 모두 고려하여 셀형 FAS 설계에 있어서 셀형성과 셀배치의 통합 결정 방법을 개발하였다.

본 연구의 기여는 다음과 같다.

첫째, 작업순서와 기계비용 및 기계용량을 동시에 고려하면서 복열네트워크 흐름배치 방식에도 적용이 가능한 셀형성과 셀배치의 통합 결정 방법을 처음 제시하였다.

둘째, 자재이동시간이 큰 비중을 차지함으로써 상대적으로 셀간 이동비용이 큰 고속의 조립시간을 가지는 셀형 FAS에 있어서 기존의 방법들보다 더 적합한 셀형성 방법을 제시하였다.

추후 연구과제로는 셀들의 작업부하 균형 문

제까지 포함하는 셀형 FAS 설계에 대한 해법의 개발이다.

참 고 문 헌

- [1] Kinney Jr., H.D. and McGinnis, L.F., "Design and control of manufacturing cells," *Industrial Engineering*, Vol.19, No. 10, pp.28-38, 1987.
- [2] Kumar, K.R. and Nakornchai, V., "Machine-part group formation in group formation: review and extension," *International Journal of Production Research*, Vol.20, pp.117-133, 1982.
- [3] Mosier, C.T. and Taube, L., "Meighted similarity measure heuristics for the group technology machine clustering problem," *Omega*, Vol 13, pp.577-579, 1985.
- [4] Wemmerlov, U. and Hyer, N.L., "Procedures for the part family/machine group identification problem in cellular manufacturing," *Journal of Operation Management*, Vol. 6, No.2, pp.125-147, 1986.
- [5] Flyin, B.B. and Jacobs, F.R., "A simulation comparison of group technology with traditional job shop manufacturing," *International Journal of Production Research*, Vol.24, No.5, pp.1171-1192, 1986.
- [6] Shafer, S.M. and Rogers, D.F., "Similarity and distance measures for cellular manufacturing: Part I. A survey," *International Journal of Production Research*, Vol.31, No.5, pp.1133-1142, 1993.

- [7] El-Tamini, A.M., Suliman, S.M.A., and Williams, D.F., "A simulation study of part sequencing in a flexible assembly cell," *International Journal Production Research*, Vol.27, No.10, pp.1769-1793, 1989.
- [8] Mosier, C.T. and Taube, L., "Weighted similarity measure heuristics for the group technology machine clustering problem," *Omega*, Vol.13, pp.577-579, 1985
- [9] Shtub, A., "Estimating the effect of conversion to a group technology layout on the cost of material handling," *Engineering Costs and Production Economics*, Vol.17, No.2, pp. 103-109, 1989.
- [10] Shtub, A., "Capacity allocation and material flow in planning group technology cells," *Engineering Costs and Production Economics*, Vol.13, pp.211-228, 1988.
- [11] Shafer, S.M. and Meredith, J.R., "An empirically based simulation study of functional versus cellular layouts with operation overlapping," *International Journal of Operations and Production Management*, Vol.13, No.2, pp.47-62, 1993.
- [12] Hassan, M.M.D., "Layout design in group technology manufacturing," *International Journal of Production Economics*, Vol.38, pp.173-188, 1995.
- [13] Ho, Y.C. and Moodie, C.L., "A heuristic operation sequence-pattern identification method and its applications in the design of cellular flexible assembly system," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol.7, No.3, pp.163-174, 1994.
- [14] Abou-Zeid, M.R., "Group technology," *Industrial Engineering*, Vol.7, No.5, pp. 32-39, 1975.
- [15] Burbidge, J.C., "Production flow analysis," *The Production Engineering*, Vol.50, No.4-5, pp.139-52, 1971.
- [16] Cheng, C., "Algorithms for grouping machine groups in GT," *Omega*, Vol.20, No.4, pp.493-501, 1992.
- [17] Chu, C.H., "Cluster analysis in manufacturing cellular formation," *Omega*, Vol.17, No.3, pp.289-295, 1989.
- [18] Nagi, R., Havhalakis, G., and Proth, J., "Multiple routings and capacity considerations in group technology applications," *International Journal of Production Research*, Vol.28, No.12, pp.2243-2257, 1990.
- [19] Sule, D.R., "Machine capacity planning in group technology," *International Journal of Production Research*, Vol.29, No.9, pp.1909-1922, 1990.
- [20] Co, H.C., and Araar, A., "Configuring cellular manufacturing systems," *International Journal of Production Research*, Vol.26, No.9, pp.1511-1522, 1988.
- [21] Selvam, R.P. and Balasubramanian, K.N., "Algorithmic grouping of operations sequences," *Engineering Costs and Production Economics*, Vol.9, No.1-3, pp.125-134, 1985.
- [22] Vakharia, A.J. and Wemmerlov, U., "Designing a cellular manufacturing system: a material flow approach based on operation sequences," *IIE Trans-*

- actions, Vol.22, No.1, pp.84-97, 1990.
- [23] DeWitte, J., "The use of similarity coefficients in production flow analysis," *International Journal of Production Research*, Vol.18, No.4, pp.503-514, 1980.
- [24] Verma, P. and Ding, F.Y. , "A sequence-based materials flow procedure for designing manufacturing cells." *International Journal of Production Research*, Vol.33, No.12, pp.3267-3281, 1995.
- [25] Heragu, S.S., "Group technology and cellular manufacturing," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.24, No.2, pp.203-215, 1994.
- [26] Ho, Y.C., Lee, C.E.C., and Moodie, C.L., "Two sequence pattern, matching-based, flow analysis methods for multi flowlines layout design," *International Journal of Production Research*, Vol.31, No.7, pp.1557-1578, 1993.