

생산물류 효율화를 위한 셀 형성 방법

A Heuristic Algorithm of Cell Forming for Efficient Production Logistics

김 성 태*
Kim, Seong - Tae

Abstract

This Paper presents a heuristic algorithm for machine-part group formation considering part production information (Production volume, roution sequence, unit operation time, facility size) in cellular manufacturing logistics system. In general, factory space is restricted within limited size when cells are located. A twofold heuristic algorithm is developed for considering factory space restrictions of located cells. The first phase is a aggregation procedure to minimize inter cell movement for satisfactoring space restriction. The second phase is a rearrangement procedure to maximize line balancing efficiency between machines within the cell and non assigned machine during first phase. Numerical example is presented to verify the efficiency of proposed algorithm.

1. 서 론

물류시스템을 영역별로 구분하면 조달물류, 생산물류, 판매물류로 대별할 수 있다. 조달물류란 원자재 및 반제품의 구입을 필요한 시기에 필요한 양 만큼 하는 것을 목표로 하며, 이를 위해서 생산계획에 대한 정보와 구매단위의 결정이 중요한 요소가 된다. 생산물류란 제조현장에서의 흐름을 효율화하여 재공품재고를 감소시키고, 동시에 제품이 완성되기까지의 제조과정의 흐름이 최소화되도록 하여야 한다. 판매물류의 경우는 완제품이 고객의 손에 이르는 과정을 신속하고 저렴하게 하려는 목표를 달성하기 위하여 포장, 상·하역, 보관, 수·배송, 정보를 효율적으로 관리하여야 한다.

생산물류의 효율성을 높이기 위해서는 작업 및 이동방법의 개선, 작업장의 효율적인 Layout, 제품혼합 등을 포함한 효율적인 생산계획, 공정간 또는 기계간의 이동거리를 고려한 적당한 Lot의 크기 등이 결정적인 요소가 된다. 작업 및 이동방법의 개선을 위하여는 작업관리적 기법 등을 이용한 개선을 통하여 부분적인 효과를 거둘 수 있다. 그러나 Layout, 생산계획, Lot의 크기 등을 효율적으로 하기 위해서는 기계의 배치 및 공정구성을 어떤 방법으로 하느냐에 따라 그 효과가 큰 차이를 나타낸다.

최근의 수요환경은 단종종 소량 형태로 변환되어 제조현장의 기계는 많은 유연성을 확보하려하고 있다. 또한 공정의 효율을 향상시키기 위하여 그룹테크놀로지(GT)기법을 이용한 기계셀을 형성하여 제품의 흐름을 효율적으로 진행시키려 한다.

셀을 구성하는 측면에서 생산물류를 고려한다면 셀간의 이동을 최소화하도록 하여야 할 것

* 명지전문대학 공업경영과

이다. 왜냐하면 뱃치생산(Batch Production)을 할 경우 보통 셀간을 이동하는 경우는 1개의 Lot작업이 끝날 경우에 발생한다. 즉, 생산량에 따라 셀간의 이동이 이루어지는 것이 아니다. 셀간의 이동을 최소화하려면 Lot크기를 크게하면 되지만 이는 재공품재고를 크게하여 전체의 생산비용을 증가시키게된다. 일반적으로 산업현장에서 셀을 형성할 경우의 또 하나의 제약조건은 셀을 배치하려는 장소의 문제가 제약이 된다.

본연구에서는 생산물류의 관점에서 셀을 형성할 때 Lot 크기를 고려한 셀간의 이동을 최소로 하는 셀 형성 해법을 제시하려 한다. 이 해법에서는 전체 셀 배치의 면적이 제약조건이 되어 각 기계의 크기를 고려하여 셀 형성이 가능한가를 판단하게 된다.

2. 기존연구의 고찰

2-1 기존연구

셀을 형성하고 형성된 셀에 부품군을 할당하는 방법에는 크게 2가지 방법이 있는데, 첫째는 부품의 특성에 근거한 분류방법이다. 이 방법은 부품에 Code번호를 부여한다거나 설비 및 도면 또는 공정 관리의 표준체계를 확립하기 위하여 부품의 공통점을 찾아 그 의미를 부여하는 경우에 사용된다. 둘째는 제품이 형성되는 과정에 따라 분류하는 방법이다. 즉 공정에 할당되는 기계를 중심으로 기계를 그룹핑하고 여기에 해당되는 부품을 할당하는 방법이다.

생산물류 관점에서 본다면 후자의 개념이 합당하므로 본 연구에서도 후자의 방법을 택하여 해법을 개발하고자 한다.

기존의 연구를 통하여 다음과 같은 목적을 달성하기 위하여 셀형성방법이 연구되어 왔다.

- ① 부품의 셀간, 셀내의 이동관련 물자취급 비용의 최소화 [7, 25]
- ② 셀내의 기계의 활용도의 최대화 [2, 8]
- ③ 서로 다른 셀에 중복기계 배치의 최소화 [27]
- ④ 셀간 이동횟수 및 예외원소수의 최소화 [4, 14, 15, 16, 26]

위와 같은 목적을 간단히 표현한다면 “적은 수의 기계를 최대로 이용하여 최소한의 이동으로 생산목표를 완수”하는 것이라 하겠다.

셀을 형성하고 부품군을 형성하는 문제를 풀기 위한 여러 가지 해법이 개발되어 왔으나 크게 다음의 6가지 방법을 이용하여 문제를 해결하였다.

- ① 유사계수법(Similarity Coefficient Method) [1, 10, 20, 25, 24, 27]
- ② 조합법(Permutation Method) [13, 14, 15, 16]
- ③ 그래프이론을 이용한 방법 [5, 6, 7, 27]
- ④ 수리계획법(Mathematical Programming Method) [17]
- ⑤ Expert System을 이용한 방법 [19]
- ⑥ 기타 [2, 3, 4, 21]

Gupta와 Seifoddini [11]는 부품에 대한 생산정보(생산량, 공정순서, 단위가공시간)를 고려한 유사계수식을 이용하여 셀을 형성하는 방법을 개발하였다.

Harhalakis et al [12]은 실제의 공정순서와 생산량을 고려한 “정규화된 셀간 교통량(Normalized Inter-Cell Traffic)”을 정의하여 유사계수식을 개발하였다. 또한 Cell내에 배치될 수 있는 기계의 댓수를 제약조건으로 활용하였다.

본 연구에서는 생산물류의 관점에서 생산의 실제공정순서와 뱃치생산체계에서 셀간의 이동량을 생산량과 Lot의 크기를 고려하여 유사계수식을 정의한다. 또한 셀을 형성할 경우 셀을 배치하는 면적을 제약조건으로하여 해법을 개발한다.

2-2. 기호설명

P : n 개의 부품종류에 대한 집합 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$

M : m 개의 기계종류에 대한 집합 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_m\}$

M_R : i 개의 셀배치 되지 않은 기계들의 작업시간이 긴 순서로의 기계들의 집합

$$M_R = \{m'_1, m'_2, \dots, m'_i\} \quad m \geq i$$

C : u 개의 셀에 대한 집합 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_w\}$

C_F : v 개의 1차로 셀이 형성된 셀에 대한 집합 $C_F = \{c'_1, c'_2, \dots, c'_v\} \quad w \geq v$

$C'_{F'}$: m'_1 와 면적조건이 합당한 u 개의 셀의 집합 $C'_{F'} = \{c'_1, c'_2, \dots, c'_u\} \quad v \geq u$

$OT(c'_i)$: c'_i 셀의 기계에 할당된 총작업시간

$LB(m'_1)$: 기계 m'_1 과 C_F 의 원소들과의 라인밸런싱 효율

$$LB(m'_1) = \frac{OT(m'_1) + \sum_{i=1}^v OT(c'_i)}{(v+1) \cdot \{Max OT(c'_i)\}}$$

r_k : p_k 부품의 기계작업순서

S_c : 1개의 셀에 허용될 수 있는 최대 면적 (m^2)

s_i : m_i 기계의 배치시 소요면적 (m^2)

L_k : p_k 부품의 생산 lot크기

D_k : p_k 부품의 수요량

$$u_k : p_k$$
부품의 lot 수 $u_k = \frac{D_k}{L_k}$

x_{ij}^k : c_i 셀과 c_j 셀간의 부품 p_k 의 가공시 이용횟수

n_i : c_i 셀에 포함된 기계의 댓수

$$t_{ij} : 2개의 서로다른 셀 c_i, c_j 의 셀간의 교통량 $t_{ij} = \sum_{k=1}^n u_k (x_{ij}^k + x_{ji}^k)$$$

$$T_{ij} : 기계당 평균 셀간 교통량 $T_{ij} = \frac{t_{ij}}{n_i + n_j}$$$

T : 각 셀간 평균교통량의 집합 $T = \{T_{11}, T_{12}, \dots, T_{m,m}\}$

3. Algorithm

본 연구에서 제시하고자 하는 셀을 배치하기 위한 면적이 제약되어 있는 상황에서 셀을 형성하고 셀에 해당되는 부품들을 그룹핑하는 절차에는 크게 3단계로 구성되어 있다.

첫째, 셀간의 이동을 최소로 하는 셀을 형성하는 과정이다.

이동 횟수가 많은 기계들을 묶어서 셀을 형성하더라도 면적이 제약을 받을 경우에는 셀을 형성할 수 없게 된다. 따라서 셀을 형성하는 기계당 평균이동 횟수에 해당하는 T_{ij} 값이 높은 기계끼리 그룹핑을 하다가 기준치인 T_{lim} 값보다 적어질 때까지 셀형성 단계를 마감한다. 기

준치 T_{\lim} 값은 Pareto도의 80-20 rule에 의하여 전체 이동횟수의 80%가 되는 값까지의 이동은 의미있는 것으로 생각하고 나머지 셀간 이동은 크게 의미를 두지 않아도 되는 그룹이라 생각할 수 있기 때문이다.

둘째, 면적을 고려하여 셀을 재형성하는 과정이다.

첫번째 단계에서 어느정도의 셀이 그룹핑되고 남는 기계들이 발생하게 된다. 나머지 기계들을 셀에 할당함에 있어 셀간의 이동거리는 무시될 수도 있다. 셀간의 이동거리가 중요한 요인이 안된다면 그다음으로 고려될 수 있는 것은 총작업시간, 기계가동율 등을 들 수 있다. 현실적으로 셀을 형성하고 인원과 기계를 배치하게 되면, 기본적인 고정비가 투자된다. 즉, 전력, 공조, 기타 소모성 유탈리티등이 작업 유무와 관계없이 투자되기 때문에 셀간의 라인밸런스를 이루는 것이 이러한 고정비적 비용을 최소화할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 셀간 라인밸런싱 효율을 기준으로 하여 면적의 제약조건을 만족시키는 셀에 나머지 기계를 편입시켜 새로운 셀을 구성한다.

셋째, 부품들을 군(Family)로 묶는 과정이다.

각 부품이 어느 셀에서 작업을 많이 하는가에 따라 해당 셀에 배치되도록 그룹핑하여, 동일한 수의 셀이 발견되면 첫번째 작업을 하는 셀에 그 부품을 매칭시킨다.

3-1. 초기 셀 형성 과정

초기 셀을 형성함에 있어 고려할 대상은 크게 셀간 이동횟수와 셀 배치면적이다. 셀간 이동횟수는 생산계획량과 LOT크기에 따라 결정된다. 셀을 묶는 방법은 Harhalakis et al[12]이 제시한 방법과 유사하나 면적을 고려해서 셀에 배치되지 못하는 기계는 따로 구분하여 다음의 할당단계를 대기한다.

셀 형성과정은 다음의 절차로 이루어 진다.

STEP 1. 각 셀들간의 이동횟수 t_{ij} 를 이용한 T_i 값을 구한다.

초기에는 각기계가 1개의 셀을 구성하는 것으로 한다.

STEP 2. T_{\lim} 값을 구한다.

$$T_{\lim} = \sum_i \sum_j t_{ij} \times 0.8$$

STEP 3. 유사계수의 집합, T에서 $\text{Max } T_{ij}$ 를 구한다.

if $\text{Sum } t_{ij} \leq T_{\lim}$ then GoTo STEP 4

$\text{Sum } t_{ij} > T_{\lim}$ then STOF. 셀 재형성 과정으로 간다.

STEP 4. if $s_i + s_j \leq S_c$ then c_i 와 c_j 를 통합하고 새로운 t_{ij} 를 구한다.

For $l=1$ to $(i-1)$
 $t_{il} = t_{il} + t_{jl}$

For $l=(i+1)$ to $(j-1)$
 $t_{il} = t_{il} + t_{jl}$

For $l=(j+1)$ to u
 $t_{il} = t_{il} + t_{lj}$

For $r=j$ to $l-1$
 $t_{lr} = t_{l(r+1)}$

For $l=j$ to $(w-1)$
 For $r=1$ to l
 $t_{lr} = t_{(l+1)r}$

STEP 5. 통합된 셀들과 관련된 Parameter값들을 변경한다.

$$n_i = n_i + n_j$$

$$s_i = s_i + s_j$$

$$w = w - 1$$

For $l=j$ to w

$$n_l = n_{(l+1)}$$

$$s_l = s_{(l+1)}$$

새로운 t_{ij} 를 이용하여 T_{ij} 값을 변경한다.

Go To STEP 3.

3-2. 셀 재형성 과정

1차 셀이 형성된 후에는 t_{ij} 값의 80%는 배치되었으므로 셀간의 이동거리는 큰 문제가 되지 않는다. 따라서 이제는 고정비를 최소화하는 라인 밸런싱의 개념을 도입한 셀 재형성 과정을 수행하게 된다.

STEP 1. 1차로 셀이 형성된 셀의 집합, C_F 의 원소들이 총작업시간 $OT(c_i)$ 를 구한다.

STEP 2. 미배치된 기계들은 작업시간이 긴 순서로 정렬한 기계들의 집합, M_R 의 첫번 째 원소 m'_1 와 C_F 원소의 면적의 합이 제약면적 S_c 보다 적은 C_F 의 원소들을 구한다.

STEP 3. m'_1 와 면적조건이 합당한 셀들 C'_F 간의 라인밸런싱 효율 $LB(m'_1)$ 을 구한다.

$\text{Max } LB(m'_1)$ 인 셀 C' , 와 m'_1 를 셀로구성한다.

STEP 4. 통합된 셀의 Panameter 값을 변경한다.

M_R 에서 m'_1 를 삭제

$$OT(c_i) = OT(m'_1) + OT(c_i)$$

if $M_R = \phi$ then STOF

otherwise Go To STEP 2

3-3. 부품군의 형성과정

기계들을 셀로 형성한 후에는 부품들을 군(Family)으로 묶을 필요가 있다. 부품군으로 묶기 위해서는 각 부품들이 어느 셀에 대하여 방문하는 횟수가 가장 많은 셀에 해당하면 그 셀을 중심으로 작업이 이루어 진다는것을 의미하므로 하나의 통일된 관리가 가능하다.

4. 수치 예제

본 연구에서는 Harhalakis et al [12]이 제시한 예제에 생산과 관련된 정보(생산 계획량, LOT 크기)와 면적 제약조건을 추가하여 예제로 구성하였다. Harhalakis et al[12]의 예제는 본 연구의 예제에서 생산계획량과 LOT크기가 각각 1이고 면적이 무한대인 특별한 경우가 된다.

<표 1> 공정순서 및 생산관련 정보관련자료행렬

<표 2> 기계별 가공시간(분)

4-1. 초기셀 형성과정

<표 1>의 공정순서와 셀간 이동 횟수, u_k ,를 고려한 t_{ij} 의 행렬을 구하면 <표 3>과 같다. 이때, 각 기계는 1개의 셀로 간주한다.

<표 3> 공정순서나 셀간이동 횟수를 고려한 셀간이동량

<표 4> 유사계수, T_{ij} , 값의 행렬

	cells																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0																			
2	4	0																		
3	0	20	0																	
4	0	0	0	0																
5	0	0	0	0	0															
6	0	0	0	0	0	0														
7	0	0	0	0	0	0	35	0												
c	8	0	0	0	0	0	0	0	0											
c	9	10	0	0	15	0	0	15	0	0										
1	10	9	10	0	0	0	0	0	1	0	0									
1	11	5	15	15	0	5	0	0	0	5	0	0								
s	12	25	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0							
	13	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0						
	14	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5	0				
	15	0	0	0	25	0	25	10	0	0	0	0	0	15	0	0				
	16	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0		
	17	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	13	0		
	18	0	0	0	0	5	0	0	0	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	
	19	0	0	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	20	0	0	0	0	0	0	0	10	0	5	0	0	0	0	0	0	5	15	0

이 때 $t_{67} = 70$

$$\begin{aligned}
 &= U_5(t^5_{67} + t^5_{76}) + U_{13}(x^{13}_{67} + x^{13}_{76}) + U_{16}(x^{16}_{67} + x^{16}_{76}) \\
 &= 50(1+0) + 10(1+0) + 10(0+1) \\
 \text{총 셀간 이동 횟수는 } &778\text{이다.}
 \end{aligned}$$

ITERATION 1.

STEP 1. 유사계수 T_{ij} 값을 구한다.<표 4>는 <표 3>을 이용한 유사계수 T_{ij} 값이다.STEP 2. T_{sim} 값을 구한다.<표 3>의 총 셀간 이동 횟수는 $778 * 0.8 = 622.4$ STEP 3. 유사계수의 집합에서 Max T_{ij} 를 구한다.<표 4>에서 Max T_{ij} 는 35이고 이때, $i=6, j=7$ 이 된다.STEP 4. 새로운 T_{ij} 값을 구한다.새로운 T_{ij} 값을 이용한 총 T_{ij} 값의 변화는 <표 5>에 있다.

STEP 5. 각 Parameter값을 변경하고 STEP 3로 간다.

위와 같은 ITERATION을 한 결과는 <표 5>에 있다. 시작할 때 총 776회의 셀간 이동이 있었으며 14회의 ITERATION으로 628회의 셀간 이동이 고려되었다.

<표 5> 1차 셀 형성의 단계별 셀 형성결과

ITERATION	cell	cell 면적	총유사계수값	ITERATION	cell	cell 면적	총유사계수값
1	6, 7	12	365	8	8, 19, 20	23	89
2	1, 12	7	324	9	4, 15, 6, 7	29	76
3	4, 15	17	266	10	2, 11, 3	25	57
4	2, 11	18	216	11	13, 14	9	33
5	9, 18	5	174	12	5, 16, 17	12	21
6	19, 20	17	126	13	1, 12, 10	11	11
7	16, 17	9	109	14	1, 12, 10, 9, 18	16	5

4-2. 셀 재형성 과정

1차 셀 형성과정을 통하여 6개의 셀이 구성되고 미배치된 기계는 없으나 면적제약조건을 고려할 때 셀로 형성이 가능한 cell이 3개가 발생한다.

즉, C_1, C_4, C_6 에 대하여 C_1 과 C_6 또는 C_4 와 C_6 가 셀로 재편성이 가능하다. 이때 각각의 라인밸런싱 효율과 새로 셀을 구성했을 때의 라인밸런싱 효율을 구하여 효율이 가장 좋은 방법으로 셀을 재편성한다. 라인밸런싱 효율을 구하기 위하여 각 기계에 할당된 작업시간과 이때 셀의 라인밸런싱 효율을 구하면 <표 6>과 같다.

<표 6> 셀 형성이 가능한 대안들의 라인효율

구분	셀 가계	c_1					c_4				c_6		
		1	12	10	9	18	5	16	17	13	14		
작업시간		59	25	44	35	31	32	30	41	25	22		
라인효율		$LB(c_1) = \frac{59+25+44+35+31}{59*5} = 65.7\%$					$LB(c_4) = \frac{32+30+41}{41*3} = 83.7\%$				$LB(c_6) = \frac{25+22}{25*2} = 94\%$		
라인효율		c_1 과 c_4 $LB(c_1 \text{ and } c_4) = 62.9\%$					c_1 과 c_6 $LB(c_1 \text{ and } c_6) = 58.3\%$						

<표 6>에서 볼 수 있듯이 라인효율을 증가 시킬 수 있는 결합이 없으므로 1차 셀 형성 과정에서 이루어진 셀을 확정한다.

4-3. 부품군의 배치.

셀과 부품의 공정을 고려한 부품군을 묶을 결과를 <표 7>에 제시한다. 부품군은 해당부품이 가장 많이 작업되는 셀에 할당하게 된 것이다.

<표 7> 셀에 대한 부품군의 배치

	machine cells																			
	1	12	10	9	18	2	11	3	4	15	6	7	5	16	17	8	19	20	13	14
P	1	2	1	.	3	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	9	4	5	.	2	1	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
a	12	5	4	.	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
r	14	3	.	2	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.
t	17	2	3	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	20	3	4	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
F	2	.	.	.	.	.	3	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	4	.	.	4	.	.	3	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
a	11	.	.	.	.	.	.	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.
m	19	.	.	.	.	.	2	3	1	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.
i	5	.	.	.	.	.	.	.	1	.	3	4	.	.	.	.	.	.	2	.
	8	.	.	.	.	4	.	.	5	1	.	3	.	.	.	.	.	2	.	.
l	13	.	.	.	.	.	.	.	.	3	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.
i	16	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.
e	6	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	5	3	4	.	.	.	2	.
s	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	3	.	.	.	.	.
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	3	2	.	.
	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	1	2	.	.
	18	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	3	.	.
	15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	4	.	.	.	1	2	.

5. 결 론

생산물류의 원활화를 위하여 셀을 합리적으로 형성하는 것은 매우 중요한 일이다. 일반적인

공장의 경우 장소의 제약을 받는 경우가 대부분 이어서 셀을 형성함에 있어서 셀의 면적을 고려하는 것은 필수적이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 셀의 면적을 고려한 셀 형성방법을 제시하였다. 수치예제서 보면 예외원소의 수가 14개로 나타나 비교 예제인 Harhalakis et al[12]의 예외 원소수 13개와 근접하며 셀 내의 기계 가동율은 본 연구의 해법이 더 우수한 것으로 나타났다.

또한, Pareto의 80-20 rule을 고려한 정지조건을 이용하여 중요도가 떨어지는 셀간 이동 횟수는 라인밸런싱 효율을 활용하여 셀 내의 고정비를 절감하는 방법을 제시 하였다. 라인밸런싱을 이용한다는 것은 전체작업 시간이 최단으로 하기 위한 방법이기도 하다. 본 연구의 해법으로는 동일한 기계가 1개의 부품을 2번이상 작업을 하는 경우에도 적용이 가능하다.

향후 연구과제로는 1개의 셀에 중복기계를 배치하므로서 셀간의 이동효율과 라인효율을 증가시키는 방법, 1차 셀 형성후 전체 셀을 결합 가능한 셀로 그룹핑 할 때 라인효율외의 다른 기준들을 설정하여 셀을 재형성하는 방법 등을 들 수 있겠다.

참고문헌

1. ASKIN, R., and SUBRAMANIAN, S. B., 1987, A cost-based heuristic for group technology configuration. *International Journal of Production Research*, 25, 101-113.
2. BALLAKUR, A., and STEUDEL, H.J., 1987, A within-cell utilization based heuristic for designing cellular manufacturing system. *International Journal of Production Research*, 25, 639-665.
3. BURBIDGE, J.L., 1977, A manual method of induction flow analysis. *The Production Engineer*, 56, 36.
4. CHAN, H.M., and MILNER, D. A., 1982, Direct clustering algorithm for group formation in cellular manufacture. *Journal of Manufacturing Systems*, 1, 65-74.
5. CAHNDRASEKHARAN, M. P., and RAJAGOPALAN, R., 1986 a, An ideal seed non-hierarchical clustering algorithm for cellular manufacturing. *International Journal of Production Research*, 24, 451.
6. CAHNDRASEKHARAN, M. P., and RAJAGOPALAN, R., 1986 b, MODROC : an extension to rank order clustering for group technology. *International Journal of Production Research*, 24, 1221.
7. CAHNDRASEKHARAN, M. P., and RAJAGOPALAN, R., 1987, ZODIAC : an algorithm for concurrent formation of part families and machine cells. *International Journal of Production Research*, 25, 835-850.
8. CO, C. H., WU, A., and REISMAN, A., 1989, A throughput-maximizing facility planning and layout model. *International Journal of Production Research*, 27, 1-12.
9. GARCIA, H., and PROTH, J.M., 1985, Group technology in production management: The short horizon planning level. *Applied Stochastic Models and Data Analysis*, 1, 25-34.
10. GUPTA, T., and SEIFODDINI, H., 1990, Clustering algorithms for the design of a cellular manufacturing system-an analysis for their performance. *International Journal of Computing and International Engineering*, 19, 432-436.
11. GUPTA, T., and SEIFODDINI, H., 1990, Production data based similarity coefficient for machine-component grouping decisions in the design of a cellular manufacturing

- system. *International Journal of Production Research*, 7, 1247-1269
12. HARHALAKIS, G., NAGI, R., PROTH, J. M., 1990, An efficient heuristic in manufacturing cell formation for group technology applications. *International Journal of Production Research*, 28, 185-198.
 13. KING, J. R., 1979, Machine-component group formation in group technology, OMEGA. *The International Journal of Management Science*, 8, 193-199.
 14. KING, J. R., 1980, Machine-component grouping in production flow analysis : an approach using rank ordering clustering algorithm. *International Journal of Production Research*, 18, 213.
 15. KING, J. R., 1980, Machine-component grouping using ROC algorithm. *International Journal of Production Research*, 18, 213-231.
 16. KING, J. R., and NAKORNCHAI, V., 1982, Machine component group formation in group technology-review and extension. *International Journal of Production Research*, 20, 117.
 17. KUSIAK, A., 1985, The part families problem in flexible manufacturing systems. *Annals of Operations Research*, 3, 279-300.
 18. KUSIAK, A., 1987, The generalized group technology concept. *International Journal of Production Research*, 26, 561-569.
 19. KUSIAK, A., 1988, EXGT-S:A Knowledge based system for group technology. *International Journal of Production Research*, 26, 887-904.
 20. McAULEY, J., 1972, Machine grouping for efficient production. *The Production Engieer*, Feb., 53-57.
 21. MCCORMICK, W. T., SCHWEITZER, P. J., and WHITE, T. E., 1972, Problem decomposition and data reorganization by a cluste technique. *Operations Research*, 20, 993-1009.
 22. RAJAGOPALAN, R., and BATRA, J. L., 1975, Design of cellular prdudction system : a graph theoretic approach. *International Journal of Production Research*, 13, 567-579.
 23. ROSENBLATT, M. J., 1979, The facility layout problem : a multi-goal approach. *International Journal of Production Research*, 17, 323-332.
 24. SEIFODDINI, H. K., and WOLFE, P., 1986, Application of the similarit coefficient method in group technology. *AIEE Transactions*, September, 271-277.
 25. SEIFODDINI, H., and WOLFE, P., 1987, Selection of a threshold value based on material handling cost in machine-component grouping. *AIEE Transactions*, September, 266-270.
 26. SEIFODDINI, H., 1988, A note on the similiarity coefficient method and the problem of improper machine assignment in group technology applications. *International Journal of Production Research*, 27, 1161-1165.
 27. VANNELLI, A., and KUMAR, R. K., 1986, A method of finding minimal bottleneck cells for grouping part-machine families. *International Journal of Production Research*, 24, 387-400.