

작업 순서와 기계 용량을 고려하는 유연조립 시스템의 독립 셀형성

- Independent Cell Formation Considering Operation Sequences and Machine Capacity in Flexible Assembly Systems -

노인규*

In-Kyu Ro*

최형호*

Hyung-Ho Choi*

Abstract

In optimizing the layout design of a multi-product assembly environment, the analysis of the material flow is a vital ingredient. In flexible assembly systems, assembly time is usually very short, thus the transfer time is relatively more important. Therefore operations sequence must be so determined, that have no backtracking operations as possible as. It is important to form cells, so that they have no intercell movement incurring much processing delay, and to arrange machines as possible as densely.

This study presents a independent cell formation method considering operation sequences and machine capacity in flexible assembly systems.

1. 서론

제조시스템설비의 배치(layout)는 전통적으로 주문생산형 배치(job shop layout), 흐름 생산형 배치(flow shop layout), 고정형 배치(fixed layout)로 분류되어진다. 그러나 제조 개념으로서 그룹 테크놀러지(Group Technology: 이하 GT라 칭함)의 출현은 기존의 배치 분류에 GT 배치(GT layout) 혹은 셀형 배치(cellular layout)라는 하나의 새로운 배치 유형을 추가시켰다. 셀형 제조 시스템(Cellular Manufacturing System: CMS)의 설계의 핵심은 셀 형성(cell formation)이다. 일반적으로 셀 형성이란 부품들의 이동 비용을 줄이기 위하여, 기계 셀(machine cell)들을 형성하고 부품 군(part family)들을 구성하여 각 셀에서 특정 부품들만이 생산되도록 기계 셀들에 부품 군들을 할당하는 것이다. 그러나 생산 계획(production planning), 공정 계획(process planning), 자재관리 시스템(material handling system), 그리고 배치(layout)같은 셀 형성 이외의 다른 계획과 설계 특성들도 셀형 제조 시스템을 구축할 때 고려되어야 한다[1,2].

전통적인 조립 라인이 경제적으로 대량생산에 적합할지라도 시장의 다양한 수요를 충족시킬만큼 유연(flexible)하지는 않다. GT의 장점을 유연 제조 시스템(Flexible Manufacturing System: FMS)에 적용시킨 셀형FMS에서 나타난 유연성과 효율성에 따라서 동일한 셀 개념이 유연 조립 시스템(Flexible Assembly System: FAS)의 설계에도 적용되어져 왔다.

* 한양대학교 산업공학과

그러나 일반 제조와 조립 작업간의 차이 때문에 셀형FMS(cellular FMS)와 셀형FAS(cellular FAS)간의 셀 형성 및 배치의 논리는 동일하지 않다. FAS에서는 조립 특성에 따라서 병렬 처리가 가능하다. 즉, 하부 조립품들(subassemblies)이 동시에 처리된 후 함께 주 조립 단계로 가져가서 최종 조립을 할 수 있다. 그리고 FMS에서의 작업 처리 시간은 보통 분 단위(order of minutes)지만 FAS에서의 처리 시간은 보통 초 단위(order of seconds)로 매우 짧다[10].

조립 시스템에서는 자재 흐름 시간을 줄이는 작업 순서 결정 및 작업 순서에 따르는 기계 배치(machine layout)가 더욱 중요하다. 셀형 FAS설계에서는 기계 용량(machine capacity)이나 기계 비용(machine cost)과 같은 생산 요인들의 고려와 함께, 배치 요인과 같은 조립 시스템에서 더욱 중요한 특성들을 고려하여 셀형 제조 시스템 설계와는 차별화 된 연구가 필요하다.

셀형 배치의 설계에는 부품 군과 기계 셀을 형성하는 셀 형성 단계와 셀 내에 기계들의 배열을 결정하는 셀 배치(cell layout) 단계가 있다. 기존의 거의 대부분의 GT 연구는 단순히 셀 형성에 관한 것들이고 조립 시스템의 기계 배치에 관한 연구들은 대부분 단일 라인 방식에 관한 것들이다.

본 연구에서는 셀형 FAS의 설계에 있어서 생산량과 작업 순서, 생산량, 기계 비용, 기계 용량을 고려하면서 셀 형성과 동시에 셀 배치가 이루어지는 발견적 해법을 제시한다.

2. FAS에서의 셀 형성과 배치의 통합 결정

다제품 단일 흐름 라인에서는 Fig.1.와 같은 3가지 흐름 형태가 발생한다.[20]

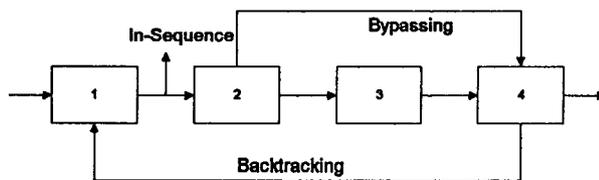


Fig.1. Three different flow movement within a multi-product flow line

다제품 단일 흐름 라인의 문제점을 보완하는 네트워크 흐름 라인[21,22]은 Fig.1과 같이 제품들이 필요하지 않은 기계를 우회 통과하게 한다.

그러나 이 방식의 단점은 작업장의 통제가 상당히 복잡해지며 공간 활용이 비효율적으로 될 수가 있다.

FAS의 설계에서는 일반 제조 상황에서보다 자재 흐름 이동 시간에 비중을 더 두고 있다. 그러므로 셀형 FAS를 구축하기 위한 셀 형성 시에는 작업 순서에 의거한 셀 배치를 동시에 고려하는 것이 중요하다. 따라서 작업 순서를 고려하는 셀 형성과 배치의 통합 연구가 조립 셀 형성 방법을 제시 할 수가 있다. 그리고 조립 상황에 따라서 셀간 이동이 불가능 할 수 있고, 불가피하게 셀간 이동을 해야 하는 경우는 이동 거리에 의거한 이동 비용 외의 상당한 양의 작업 지연 및 시스템 통제의 복잡성이 후속 작업처럼 가능한 한 배제되는 것이 좋다.

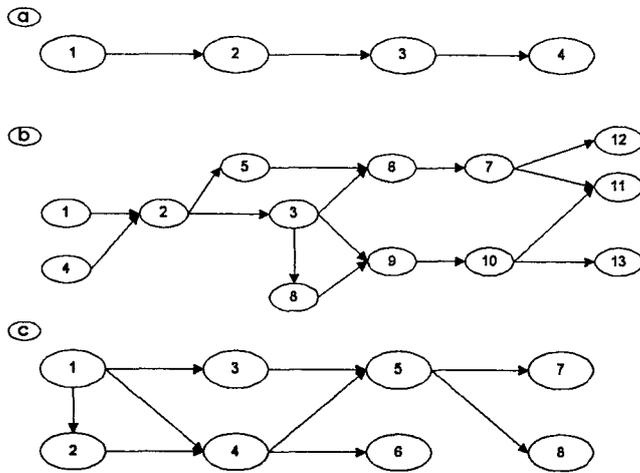


Fig.2. (a) single flow line
 (b) network flow line
 (c) double-row network line

현재의 셀 형성 방법들에 관한 대부분의 연구들은 부품이 할당되는 셀 내의 기계유형은 그 부품을 완전히 처리 하는데 필요한 충분한 용량을 가지고 있다고 가정하고 있다. 그러므로 작업 순서를 고려하는 기존의 셀 형성과 배치의 통합 연구들도 마찬가지로 셀 내 기계 용량이 충분하다고 하고 있는데 이것은 최소의 기계 대수를 유지하면서 이에 따르는 많은 셀간 이동을 줄여나가는 방식이다. FAS에서 요구되는 셀 형성은 기계 비용이 상당히 높지 않는 한 작업 순서에 의거한 배치와 용량을 동시에 고려하여 셀간 이동이 안 생기도록 셀 형성을 하는 것이 좋다. 조립 시스템에서는 많은 부품량에 비해 단위 별 조립 시간은 상대적으로 극히 짧다고 작업이 단계적이다. 그러므로 셀 형성 시에 작업 순서와 배치 형태에 비중을 더 두는 모델이 필요하다.

3. 기계용량과 작업순서를 고려하는 독립셀 형성과 셀배치의 통합 결정 방법

3.1 알고리즘

- C : 셀수
- P : 부품수
- M : 기계수
- N_i : 부품 i 의 최대 작업수, $i=1, \dots, p$
- N_{max} : $N_{max} = \max N_i$
- Q_i : 부품 i 의 생산량
- SQ_v : 셀 v 에서의 부품들의 총 생산 수량
- OP_{ij} : 부품 i 의 j 번째 작업
- C_{vk} : 셀 v 에서의 k 번째 기계의 배치 순위

- M_{Ck} : 기계 k의 비용 (\$/month)
- CMC_v : 셀 v에서의 기계 비용, v=1,...,c (\$)
- TRAV : 셀 v에서의 부품들의 총 이동 비용 (\$/unit)
- TC_v : 셀 v의 총 비용 (\$)
- T_j : 기계 j에서 다음 기계까지의 이동 거리
- L_k : 기계 k의 배치 레벨
- F_k : 기계 k에서의 부품들의 가중 평균 순위
- N : 배치 레벨 내의 작업수

단계 0: c=p (초기에 부품 수 만큼의 셀을 형성하여 각 셀에 각 부품이 필요로 하는 기계들을 할당한다) E_{vk} = CR_{ik} i=1,...,c. k=1,...,n. v=1,...,c. 각 셀의 부품 이동 비용 TRAV을 계산한다.

$$TRAV = \left[a \left\lfloor \frac{Nv}{N} \right\rfloor + b \left(\left\lfloor \frac{Nv}{N} \right\rfloor - 1 \right) \right] Qv \quad v=1, \dots, c.$$

각 셀의 기계 비용 CMC_v를 계산한다.

$$CMCv = \sum_k [CRvk] nCk$$

각 셀의 총비용 TC_v를 구한다.

$$TCv = TRAV + CMCv$$

단계 1: 셀들의 각 쌍 (v,w)에 대하여 셀 v,w내 부품들의 셀 내 기계들 k쌍에서의 가중 평균 순위를 구한다. V=1,...,c. w=v+1,...,c

$$Fk = \frac{\sum_i DiksQi}{\sum_i SQi} \quad i(v,w) \quad k(v,w)$$

F_k의 오름차순으로 정렬 했을 때 각 기계의 순위 H_k를 구하고 각 기계k의 배치 레벨

$$Lk = \left\lfloor \frac{Hk}{N} \right\rfloor \quad Lmax = \max_k Lk$$

로 한다.

$$Tj = Lk+1 - Lkj$$

- 만일 T_j < 0 이면 T = T - BT * T * b (backtracking)
- = 0 이면 T = T + a (level move)
- = 1 이면 T = T + b (바로 다음 level로 이동)
- > 1 이면 T = T + SC * T_j * b (bypassing)

그러므로 셀 내 총 이동 비용 TRAV_w = $\sum_k T_k$ k=1,...,j

셀 내 총기계 비용 CMC_{vw} = CMC_vw + ([E_{vk} + E_{wk}]) M_{Ck}

$$TCvw = TRAVw + CMCvw$$

셀 v와 w가 통합했을때의 비용절감

$$CSvw = TCv + TCw - TCvw$$

단계 2: 모든 셀의 쌍 (v,w)에 대한 CSvw를 구하여 가장 큰 CSvw 값을 가지는 셀의 쌍 x, y를 찾는다. 즉,

$$CS_{xy} = \max_{vw} CS_{vw}$$

만일 CSxy=0 이면 단계 3로 간다.

셀 v와w 가 통합 했을 때의 비용절감

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

모든 셀의 쌍 (v,w)에 대한 CSvw를 구하여 가장 큰 CSvw값을 가지는 셀의 쌍 x, y를 찾는다. 즉,

$$CS_{xy} = \text{Max } CS_{vw}$$

만일 CSxy = 0이면, 단계 3로 간다.

셀 x와 y를 결합하고

C = C - 1, V = 1로 한다.

C = 1 이면 단계 3로 가고 그렇지 않으면 단계1를 반복한다.

단계3: 수행 완료

형성된 셀에 기계들을 배치 레벨에 따라 배열한다.

3.2 수치 예제

주어지는 자료는 다음과 같다.

Part	OP	N	machine					Qi
			1	2	3	4	5	
1	1 - 2 - 3	N1 = 3		1	2	3		100
2	2 - 3	N2 = 2		1	2			100
3	1 - 3	N3 = 2	1		2			50
4	1 - 2 - 3 - 4	N4 = 3	1	2	3	4		200
5	2 - 1 - 5	N5 = 3		2	1		3	300
6	4 - 5	N6 = 2				1	2	150
7	5 - 4	N7 = 2				2	1	100
8	5 - 4	N8 = 2				2	1	150
p=8	OPij	Nmax				Cvk		n=5

N = 2			1	2	3	4	5
Cter	intercell cost	10 \$/unit	1	0.3	0.4	1.3	
Ctra	intracell move	10 \$/unit	2		0.2	0.3	
	a=1		3	0.2		0.4	
	b=1		4	0.1	0.2	0.3	0.1
			5	2.1	0.3		0.1

6	0.8	0.3
7	0.1	0.3
8	0.2	1.3

CR_{ik}

40	10	30	12	10
----	----	----	----	----

machine cost MC(k)

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

D_{vk} (N=2)
C_{vk} (N=2)

cell	1	2	3	4	5	
1	0.3	0.4	1.3			N _v = N _v
2		0.2	0.3			SQ _v = Q _v
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	

E_{vk}

단계. 0

C = P = 8

각 셀의 총비용을 계산한다.

각 셀의 intramove cost

$$TRA_1 = \left[a \left\lfloor \frac{M}{N} \right\rfloor + b \left(\left\lceil \frac{M}{N} \right\rceil - 1 \right) \right] C_1 = [1 + (2-1)] 100 = 200\$$$

TRA₂ = 100\$ TRA₃ = 50\$ TRA₄ = 600\$ TRA₅ = 600\$ TRA₆ = 150\$

TRA₇ = 100\$ TRA₈ = 150\$

각 셀의 machine cost

$$CMC_1 = \lceil CR_{11} \rceil + \lceil CR_{12} \rceil + \lceil CR_{13} \rceil + 0 \cdot \lceil CR_{14} \rceil + 0 \cdot \lceil CR_{15} \rceil$$

$$= \lceil 0.3 \rceil \cdot 40 + \lceil 0.4 \rceil \cdot 10 + \lceil 1.3 \rceil \cdot 2 \cdot 30 = 110$$

$$\begin{aligned} \text{CMC2} &= 40 & \text{CMC3} &= 70 & \text{CMC4} &= 92 & \text{CMC5} &= 140 & \text{CMC6} &= 22 \\ \text{CMC7} &= 22 & \text{CMC8} &= 32 \end{aligned}$$

각 셀의 total cost

$$\begin{aligned} \text{TC1} &= \text{TRA1} + \text{CMC1} = 200 + 110 = 310\$ \\ \text{TC2} &= 140 & \text{TC3} &= 120 & \text{TC4} &= 692 & \text{TC5} &= 740 & \text{TC6} &= 172 \\ \text{TC7} &= 122 & \text{TC8} &= 182 \end{aligned}$$

단계.1 셀들의 각 쌍 (v,w)에 대하여 비용절감을 계산한다. $v= 1, \dots, c$ $w= v+1, \dots, c$
 셀 1, 2 의 쌍 (1,2)에 대해서 셀 1, 2 의 부품들의 기계들 상에서의 가중평균 순위를 구한다.

$$\begin{aligned} F1 &= D11 \text{ SQ1} + D21 \text{ SQ2} = 1.5 \\ F2 &= 1 \\ F3 &= 1.5 \end{aligned}$$

그러면 각 기계의 순위는

$$H1 = 2, H2 = 1, H3 = 3, \quad H_{\min} = H2 = 1, H_{\max} = H3 = 3$$

각 기계의 배치 레벨 수는

$$L1=1, L2=1, L3=2 \quad L_{\min} = 1, L_{\max} = 2$$

부품 1의 이동 비용은 부품1의 작업 순서가 1-2-3, 부품2의 작업 순서가 2-3 이므로, 부품 1에 대하여

$$\begin{aligned} L1 &= L_{\min} = 1 & 0 \\ L2 - L1 &= 1-1=0 & aQ1 = 100 \\ L3 - L2 &= 2-1 = 1 & bQ1=100 \\ L3 &= L_{\max} = 2 & 0 \end{aligned}$$

그러므로 부품1의 이동 비용은 $T1 = 100+100 = 200$

부품2에 대하여

$$\begin{aligned} L2 &= L_{\min} & 0 \\ L3 - L2 &= a-1 & 100 \\ L3 &= L_{\max} = a & 0 \end{aligned}$$

그러므로 통합 셀 (1,2)의 이동 비용 $\text{TRA}(1,2) = 300$

$$\begin{aligned} \text{기계CMC}(1,2) &= [E11 + E21] \cdot \text{MC1} + [E12 + E32] \cdot \text{MC2} + [E13 + E23] \cdot \text{MC3} \\ &= 40+10+60=110 \\ \text{TC}(1,2) &= \text{TRA}(1,2) + \text{CMC}(1,2) = 300+110 = 410 \end{aligned}$$

통합 셀의 비용절감은

$$\text{CS}(1,2) = \text{TC1} + \text{TC2} - \text{TC}(1,2) = 310 + 140 - 410 = 450 - 410 = 408$$

모든 셀의 쌍 (v,w) 에 대한 비용절감 CSvw를 구한 table은 다음과 같다.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		40	70	80	50	-4500	-1000	-3000
2			30	40	-2990	-4500	-1000	-1500
3				70	-2960	-4500	-1000	-1500
4					50	-4500	-1000	-3000
5						-7490	-3990	4490
6							-1478	-1478
7								22

단계 2

셀1과 4를 결합한다.

X = 1 Y=4

단계1, 단계2 를 CSvw = 0 일때 까지 계속 수행한다.

단계 4. 수행 완료 되어 셀 형성과 배치 결과

기계 부품	1	2	3	4	5
1	1			2	
2					
3					
4					
5	3			4	
6					
7	5			5	
8					

4. 결 론

복수열 네트워크 흐름 배치는 가능한 한 작업들의 순서에 따라 기계들을 배열하여 이송 시간을 줄이려는 조립 시스템에 적합하다고 고려되어지는 배치 구조이고 작업 순위보다 배치 순위 개념을 사용하면 조립 제품들의 특성, 작업 공간, 재고, 제조 설비와 장비 등의 시스템 상황에 따라 다른 배치의 형태를 설계에 반영할 수 있다. 조립 시스템의 특성에 따라 셀 형성과 배치, 절차에 있어서 작업 순서, 기계 용량을 고려하여 셀간 이동을 초래하지 않는 완전 독립셀 그리고 배치 순위와 복수열 네트워크 흐름등에 비중을 두는 것이 중요하다. 본 연구는 이와 같은 요인들을 모두 고려하여 셀형 조립 시스템의 설계에 있어서의 셀 형성과 배치 방법을 개발하였다.

본 추후 연구과제로는 구성된 완전 독립셀의 상황에서 더욱 비용절감을 추구하기 위한 셀 간 이동을 고려하는 것이다.

참 고 문 헌

1. Wemmeclov, U. and Hyer, N. L., Procedures for the part family/machine group identification problem in cellular manufacturing. *Journal of Operations Management*, Vol.6, No.2, pp.125-147, 1986.
2. Kinnney, Jr. H.D. and McGrinnis, N.F., Design and control of manufacturing cells, *Industrial Engineering*, Vol.19, No.10, pp.28-38, 1987.
3. Chan, H. M. and Milner, D.A., Direct clustering algorithm for group formation in cellular manufacturing, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.1, No.1, pp.65-75, 1982.
4. King, J.R., Machine-component grouping in production flow analysis : An approach using a rank and order clustering algorithm, *International Journal of Production Research*, Vol.18, No.2, pp.213-232, 1980.
5. Hassan, M.M.D., Layout design in group technology manufacturing, *International Journal of Production Economics*, Vol.38, pp.173-188, 1995.
6. cheng, C., Algorithms for grouping machine in GT, *Omega*, Vol.20, No.4, pp.493-501, 1992.
7. Chu, C.H., Cluster analysis in manufacturing cellular formation, *Omega*, Vol.20, No.4, pp.493-501, 1989.
8. Shafer, S.M. and Rogers, D.F., Similarity and distance measures for cellular manufacturing: Part 1. A survey, *International Journal of Production Research*, Vol.5, pp.1133-1142, 1993.
9. Vakkaria, A.J., Methods of cell formation in group technology : A framework for simulation, *Journal of Operations Management*, Vol.6, No.3, pp.257-271, 1986.
10. Wemmerlov, U. and hyper, N.C., Research issues in cellular manufacturing, *International Journal of Production Research*, Vol. 25, No.3, pp.413-431, 1987.
11. Aneke, N.A.G., and Carrie, A.S., A design technique for the layout of multi-product flow lines, *International Journal of Production Research*, Vol. 24, No.3, pp.471-481, 1986.
12. Ho, Y.C., Lee, C.E.C., and Moodie, C.L., Two sequence-pattern, matching-based, flow analysis methods for multiflowlines layout design, *International Journal of Production Research*, Vol. 31, No.7, pp.1557-1578, 1993.
13. Ho. Y.C. and Moodie, C.L., A heuristic operation sequence-pattern identification method and its application in the design of a cellular flexible assembly system, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 7, No.3, pp.163-174, 1994.