

셀형유연조립시스템에서의 네트워크형 셀배치 Network-type Cell Layout in Cellular Flexible Assembly Systems

노인규*,
In-Kyu Ro*
최형호*
Hyung-Ho Choi*

Abstract

With the success of flexible manufacturing systems (FMSs), flexible assembly systems (FASs) have been developed to automate factories further. As in a cellular FMS, a cellular FAS is considered as the most flexible and feasible assembly system configuration. Because of the differences between manufacturing and assembly operation, the logic of cell formation and cell layout between a FMS and a FAS is not the same. Since the time for assembly operation is usually relatively short, the transfer time is thus very crucial for the performance of assembly systems. Therefore in assembly systems it is important to reduce the transfer time by sequencing operations efficiently and arranging machines like the sequences. The network-type layout is not only feasible for the machine arrangement based on operation sequences, but it has also layout flexibility. Therefore it is a reasonable layout configuration for cellular FASs. This paper presents a method for the cell layout based on the network-type layout in a cellular FAS design.

1. 서론

제조시스템 설비의 배치(layout)는 전통적으로 주문생산형 배치(job shop layout), 흐름생산형 배치(flow shop layout), 고정형 배치(fixed layout)로 분류되어 진다. 그러나 제조 개념으로서 그룹테크놀러지 (Group Technology: 이하 GT라 칭함)의 출현은 기존의 배치분류에 GT배치(GT layout) 혹은 셀형 배치(cellular layout)라는 하나의 새로운 배치유형을 추가시켰다.

GT의 목적은 규모의 경제(economies of scale)를 성취하기 위하여 제품설계와 제조공정들의 유사성을 판명하고 개발하는 것이다. GT제조 (GT manufacturing) 혹은 셀형제조(cellular manufacturing)의 원리는 제조시스템의 설계와 운영에 폭넓게 응용되고 있다.

* 한양대학교 산업공학과

셀형 제조는 설비의 생산성의 개선과 조업비용의 감소등과 같은 몇 가지 장점들을 제공한다[4,5,9,15]. 부품들의 작업대기시간 및 길이의 감소등은 의문시 되지만[1,8], 자재흐름의 시간 및 거리 그리고 비용이 주문생산형 배치에 비해 셀형 배치에서 더 감소된다는 것은 명백하다. 몇몇 경험적 연구들이 이러한 장점을 뒷받침한다 [1,7,8,11].

셀형 제조시스템(Cellular Manufacturing System: CMS)의 설계의 핵심은 셀형성(cell formation)이다. 셀형성이란 부품들의 이동비용을 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 설계특성들도 셀형 제조시스템을 구축할 때 고려되어져야 한다[4,15]. 이 중에서 배치문제는 본 연구에서 고려되어진다.

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

그러나 일반제조와 조립작업간의 차이 때문에 셀형FMS(cellular FMS)와 셀형FAS(cellular FAS)간의 셀형성 및 배치의 논리는 동일하지 않다.

FAS에서는 조립특성에 따라서 병렬처리가 가능하다. 즉, 하부조립품들(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 초단위(order of seconds)로 매우 짧다[14].

그러므로 조립시스템에서는 자재흐름시간을 줄이는 작업순서결정 및 작업순서에 따르는 기계배열이 더욱 중요하다. 셀형 FAS에서는 이와같은 조립시스템의 특성을 고려하여 기존 셀형배치와는 차별화된 배치설계에 대한 연구가 필요하다. 네트워크형의 배치는 작업순서에 따른 기계배열의 실행성과 함께 배치유연성(layout flexibility)을 가지고 있으므로 셀형 FAS의 배치구조로 적합하다[3].

셀형배치를 개발하는데는 부품군과 기계셀을 형성하는 셀형성 단계와 셀형성후 셀내에 기계들의 유판(configuration)을 결정하는 셀배치(cell layout) 단계가 있다. 기존의 거의 대부분의 GT 연구는 셀형성에 관한 것들이고 셀배치에 관한 연구는 선형흐름라인 방식에 관한 것들이다.

따라서 본 연구에서는 셀형 FAS의 배치설계에 있어서 조립시스템의 특성들과 네트워크형 배치에 의거한 셀배치의 결정방법을 제시한다.

2. 유연조립시스템의 셀형 배치

셀형 유연조립시스템의 유연조립셀(Flexible Assembly Cell)에 대한 협의의 정의는 FAC를 하나의 로보트가 작업들을 수행하는 전자동화된 로보트셀(robot cell)로

묘사한다. 그러나 묘사되는 로보트 조립셀은 실제로 구축과 가동에 많은 비용과 기술이 요하므로 경제성 측면에서 효율적이 아닐 수 있다. 아직 많은 조립생산에서는 고가의 기계 및 장비투자비용 혹은 필요하고 활용가능한 기술의 결여 때문에, 조립작업들이 완전자동화되고 있지 않다. 그러므로 자동화된 장비와 수작업을 요하는 전통적인 장비가 혼재된 보다 일반적인 FAC에 대한 정의가 필요하다.

전통적인, 자동화된, 그리고 로보트 작업스테이션들을 함께 통합하기 위한 광의적이며 일반적인 FAC는 자동화된 자재취급(material handling)장비들에 의하여 연결되어지는 다수의 자동 혹은 수동 조립작업스테이션들의 셀로 정의되어진다[6]. 본 연구에서의 대상 조립시스템은 이러한 일반적으로 정의된 조립셀들로 이루어진 시스템이다.

FMS에서 작업들의 처리시간은 분단위이지만 FAS에서의 처리시간은 초단위이다. 조립작업의 아주 짧은 처리시간 때문에 상대적으로 자재의 이송시간(transfer time)이 조립작업의 시스템 수행도에서 중요한 역할을 한다.

그러므로 조립에서는 작업순서의 결정이 일반제조에서보다 더욱 중요하다. 조립시스템에서의 작업스테이션 배치(layout)는 이동시간의 비중때문에 일반적으로 작업순서에 따른 전향(forward direction)적인 선형 흐름라인(flow line) 방식이 효율적이다. 그러므로 많은 왕복이송시간을 요하는 후송(backtracking) 작업은 작업순서의 결정시 피해야 하며 불가피한 경우는 추가 기계도입의 경제성을 검토하는 것이 바람직하다[6]. 본 연구에서의 가정은 후송작업이 없도록 제품들의 작업순서가 결정되는 것으로 한다.

제조시스템설비의 배치는 전통적으로 주문생산형배치, 흐름생산형배치, 고정형배치로 분류되어진다. 그러나 제조 개념으로서 그룹테크놀러지의 출현은 기존의 배치분류에 GT배치 혹은 셀형배치라는 하나의 새로운 배치유형을 추가시켰다.

따라서 제조설비의 배치유형은 다음과 같이 크게 네가지로 분류된다[2][그림 1].

- 1) 주문생산형 배치 (job shop layout)
- 2) 흐름생산형 배치 (flow shop layout)
- 3) 고정형 배치 (fixed layout)
- 4) GT 배치 (GT layout or cellular layout)

전체적으로 제조시스템을 셀형으로 구축하여도 셀내의 배치는 다시 결정되어야 한다. 셀배치의 주요한 목적은 자재이동비의 최소화이다. 각 셀의 배치유형은 설비에 대한 GT 설계시에 결정되어야 한다. 셀형조립시스템의 셀이 구성되면 셀내의 기계들은 흐름생산형배치의 경우 단일선형라인(single linear line or single row), 주문생산배치의 경우 다열(multi rows), 혹은 보통 FMS에서 수행되는 환(loop)으로 배열될 수 있다. 셀내 배치는 각 제품에 대한 전용조립라인이 구축된다면 제품 흐름상 이상적이지만 다수의 같은 종류의 기계가 필요하므로 비용과 활용도 문제가 야기된다. 여러 조립셀 배치에 관한 연구들은 각 기계의 처리용량이 충분하다고 가정하여 한 기계에서 여러제품을 처리하도록 다제품 단일 선형흐름라인을 채택하고 있다[10,12,13]. 그러나 이러한 방식에서는 기계활용의 경제적인 면은 있으나 제품들이 필요하지 않은 기계들을 통과(bypassing)하는 시간이 추가된다.

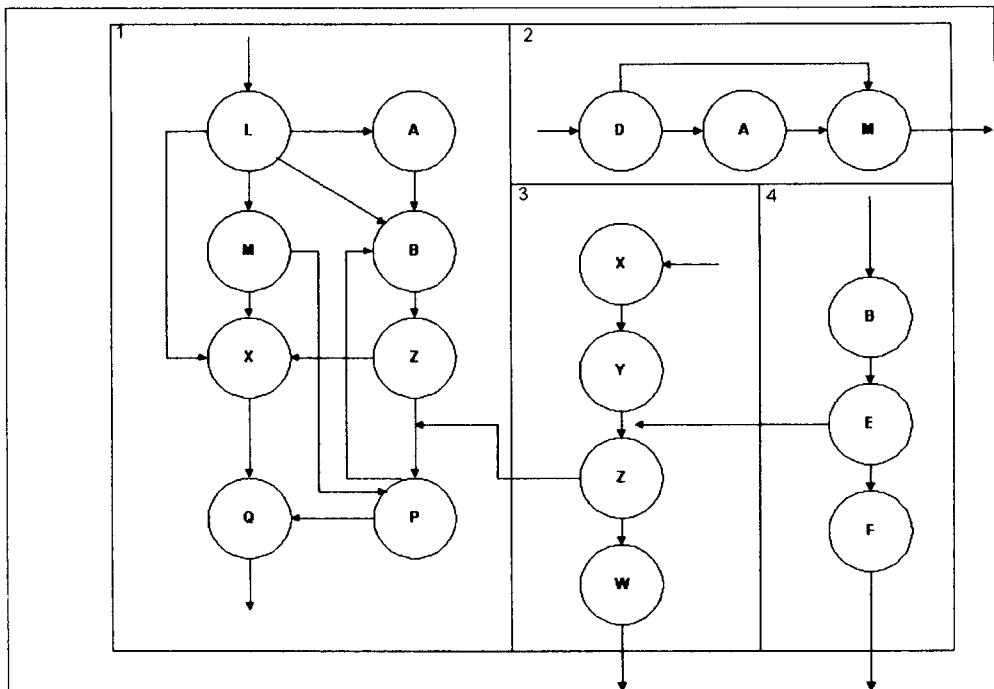


그림 1. job shop cell 과 flow line cell 로 구성되어진 GT 배치

네트워크 배치방식은 제품들의 작업순서의 흐름에 따라 분지점들에 해당하는 작업들에서 분지(branching)를 허용하여 네트워크와 같은 형태로 기계들을 배열하는 것이다[그림 2].

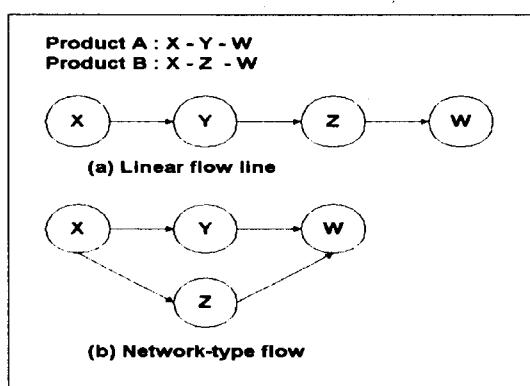


그림 2. 조립시스템의 두 배치 형태

네트워크 배치방식의 장점은 다음과 같다[2,3].

첫째, 제품들이 필요하지 않은 기계를 통과할 필요가 없게 한다. 그렇게 함으로써 흐름시간의 단축과 기계의 공동활용이라는 전용라인과 선형라인의 장점들을 취

할 수 있다.

둘째, 또한 순차적이 아닌 병렬조립이 가능한 제품의 작업순서를 병렬화시켜 구현할 수 있다.

셋째, 네트워크배치방식은 단순 흐름라인 배치방식보다 추후 제품군의 변화에 따른 배치변경이 용이한 배치유연성 (layout flexibility) 이 크다.

네트워크배치의 윤곽을 결정하기 위해서는 네트워크의 각 분지점에 해당하는 작업들을 우선 판명한 후 각 제품들의 작업순서에 따라 분지를 해나가면 된다. 본 연구에서는 우선 네트워크의 각 분지점에 해당하는 작업들을 작업모듈 (operation module) 이라 정의하고 각 모듈에 속하는 작업들을 판명해내어 작업모듈들을 형성하는 절차를 제시한다.

작업모듈의 의미는 일부 제품이 이 모듈에 들어와서 중간에 분지되거나 통과 (bypassing) 없이 순차적으로 처리되도록 제품들의 공통작업순서에 따라 기계들을 함께 배열하여 하나의 공통 작업스테이션 같은 역할을 한다[그림 3]. 그러므로 작업모듈은 네트워크배치에서의 분지점에 해당하며, 이 작업모듈들을 판명하고 모듈간의 선행관계와 인접관계를 파악한다면 전체 작업들의 구체적인 네트워크배치 윤곽을 파악할 수 있다. 이 세가지 사항들을 동시에 판명할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다.

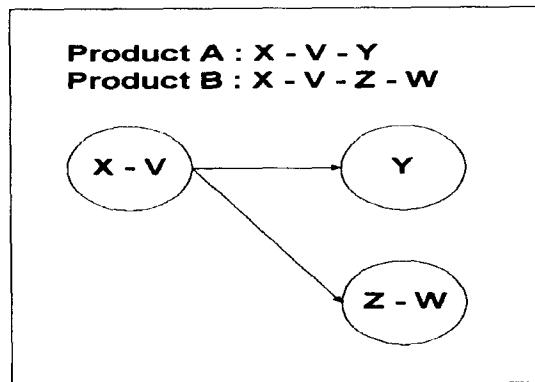


그림 3. 작업모듈들

작업모듈 형성 원칙은 다음과 같다.

- 1) 기본적으로 하나의 작업은 하나의 모듈이 될 수 있다.
- 2) 작업순서상 하나의 제품만에 필요한 연속적인 작업들도 하나의 모듈이 될 수 있다.
- 3) 작업순서상 둘 이상의 연속적인 작업들이 하나의 모듈에 포함되기 위해서는 어떤 제품(들)에만 단지 그 작업(들)이 있어야 한다. 그럼으로써 모듈내에서의 분지나 통과가 일어나지 않으며 모듈로서의 자격이 있는 것이다.

Ho and Moodie [3]는 조립셀의 배치에 처음으로 네트워크배치의 개념을 적용하였

다. 셀이 이미 형성되었고 형성된 셀내에서 제품들의 작업순서의 흐름에 유사성이 많다는 가정하에, 그들은 네트워크 배치의 윤곽을 결정하기 위해서, 많이 사용되는 주요 작업순서들의 그룹들을 판별해내는 발견적 해법을 제시하였다. 그러나 시행착오법(try-and-error method)을 사용한 이 방법은 주요 작업순서군들의 판명만 하였으므로, 보다 구체적이고 효과적인 배치결정을 위해서는 네트워크의 분지점(node)들에 해당하는 작업모듈들의 구체적인 판명과 모듈간 선행관계 및 인접관계의 파악이 동시에 이루어지는 것이 필요하다.

본 연구는 네트워크형 셀배치를 위해서 네트워크 배치의 기본절차인 각 분지점들에 해당하는 작업모듈들을 모두 판명하면서 분지점들의 선행관계와 인접관계를 동시에 파악하는 발견적 해법을 제시한다. 셀 형성 전에 이 방법을 사용한다면 유사한 작업들끼리 네트워크가 형성되므로 대략적인 셀 형성이 동시에 이루어질 수 있다. 또한 판명된 모듈들을 토대로 기존의 셀 형성 방법을 사용한다면 셀 형성과 네트워크형 셀 배치의 동시 해결이 가능하다.

3. 네트워크형 셀 배치 방법

3.1. 알고리즘

주어진 작업 순서 표의

행: 제품 $i = 1, \dots, m$

열: 작업 순위 $j = 1, \dots, n$

$OP(i,j)$: 작업 순서 표상의 (i,j) 위치에 있는 작업

$M(i)$: 작업 모듈 i

$F[M(g), M(h)]$: 모듈 g 와 h 간의 제품 흐름량

$c(i)$: 제품 i 에 대해 모듈의 기준 작업(header operation) 후보로 검토하려는 작업이 있는 열

CANDI: 모듈의 기준 작업 후보 = $OP[i, c(i)]$

STAGE s : 제품 $i = 1, \dots, m$ 에 대하여 현재의 탐색열에 해당하는 작업들을 모두 검토하는 단계

단계 0 (초기화): $s = i = c(i) = 1$

단계 1 (모듈 기준 작업 선정 절차)

제품 i 에 대한 탐색열 $c(i)$ 에 대한 작업 $OP[i, c(i)]$ 을 모듈 기준 작업의 후보로 한다:

$CANDI = OP[i, c(i)]$,

다른 제품에도 동일한 CANDI가 있는가 확인 한다.

만일 CANDI가

다른 제품 k 의 현 탐색열 $c(k)$ 이후의 순위에 있다면

next i

그렇지 않다면 하나의 모듈의 기준작업으로 확정하고 다음의 모듈 확장 절차 단계로 한다:

모든 제품들을 검토했으면 모든 제품들에 대해서

$c(i) = c(i) + \text{모듈의 원소수}$

다음 STAGE: $s = s + 1$

단계 2 (모듈 확장 절차)

set $k=1$

단계 1에서 결정된 모듈의 다음순서의 작업 $OP[i, c(i)+k]$ 에 대하여 모듈 셀 형성 원칙에 의하여 다음의 두 가지 기준

- 1) 작업순서상 해당 작업모듈을 필요로 하는 모든 제품들이 바로 다음순서에 작업 $OP[i, c(i)+k]$ 가 있고
- 2) 작업 $OP[i, c(i)+k]$ 를 필요로 하는 모든 제품들이 직전 작업순서에 해당 모듈이 있다

을 만족한다면 작업 $OP[i, c(i)+k]$ 를 모듈에 포함시키고 다음 열의 작업에 대해서도 위의 기준을 적용해서 계속 검토해 간다:

$k = k + 1$

그렇지 않다면

next i: 단계 1

단계 3 (모듈간 인접순서결정)

확정된 모듈들과 선행 STAGE의 모듈들과의 제품흐름량을 계산한다. 모듈들간의 인접순서 결정은 제품흐름량의 크기순이다.

3.2. 수치 예제

네 개의 제품들로 구성되어진 셀에 대하여, 다음과 같이 각 제품에 대한 생산량과 작업순서가 주어진 경우의 네트워크 셀 배치를 행한다.

작업순서표

제품	생산량	작업순서
1	10	9-7-8-5-4-18-19-6-10-1-2-3
2	5	11-10-12-20-13-14-15-16-17-1-2-3
3	20	9-7-8-5-11-10-12-20-13-14-15-16-17
4	15	9-7-8-5-4-18-19-6-10-13-14-15-16-17-1-2-3

단계0 -----

초기 값 설정: $s=i=c(i)=1$

단계1 -----

- 1 ■-7-8-5-4-18-19-6-10-1-2-3
 2 11-10-12-20-13-14-15-16-17-1-2-3
 3 ■-7-8-5-11-10-12-20-13-14-15-16-17
 4 ■-7-8-5-4-18-19-6-10-13-14-15-16-17-1-2-3

작업 9를 모듈기준 작업후보로 한다: CANDI = 9

 $OP[1,c(1)] = 9$ $OP[3,c(3)] = 9$ $OP[4,c(4)] = 9$ 작업 9를 모듈 1의 기준 작업으로 결정: $M(1)=\{9\}$

단계2 -----

- 1 ■■■■■-4-18-19-6-10-1-2-3
 2 11-10-12-20-13-14-15-16-17-1-2-3
 3 ■■■■■-11-10-12-20-13-14-15-16-17
 4 ■■■■■-4-18-19-6-10-13-14-15-16-17-1-2-3

작업군 9-7-8-5를 모듈 1의 작업들로 결정: $M(1)=\{9-7-8-5\}$

단계1 -----

- 1 9-7-8-5/-4-18-19-6-10-1-2-3
 2 ■■■■■-10-12-20-13-14-15-16-17-1-2-3
 3 9-7-8-5/-■■■■■-10-12-20-13-14-15-16-17
 4 9-7-8-5/-4-18-19-6-10-13-14-15-16-17-1-2-3

작업 11을 모듈기준 작업후보로 한다: CANDI = 11

 $OP[2,c(2)] = 11$ $OP[3,c(3)] = 9$

작업 11은 모듈기준 작업이 될 수 없다.

s=2

단계1 -----

- 1 m1-[REDACTED]-1-2-3
- 2 11-10-12-20-13-14-15-16-17-1-2-3
- 3 m1-11-10-12-20-13-14-15-16-17
- 4 m1-[REDACTED]-13-14-15-16-17-1-2-3

작업 4를 모듈 기준 작업 후보로 한다: CANDI = 4

단계2 -----

작업군 4-18-19-6-10을 모듈 2의 작업들로 결정: $M(2)=\{4-18-19-6-10\}$

단계3 -----

모듈 1과 모듈 2간의 제품흐름량 $F[M(1),M(2)] = 10 + 15 = 25$

단계1 -----

- 1 m1-4-8-19-6-10/-1-2-3
- 2 [REDACTED]-13-14-15-16-17-1-2-3
- 3 m1-[REDACTED]-13-14-15-16-17
- 4 m1-4-18-19-6-10/-13-14-15-16-17-1-2-3

작업 11을 모듈 기준 작업 후보로 한다: CANDI = 11

단계2 -----

작업군 11-10-12-20을 모듈 3의 작업들로 결정 $M(3)=\{11-10-12-20\}$

단계3 -----

모듈 1과 모듈 3간의 제품흐름량 $F[M(1),M(3)] = 20$

: STAGE 2에서 판명된 모듈 2와 3에 대해서 $F[M(1),M(2)] > F[M(1),M(3)]$ 이므로 모듈 1과의 인접관계는 2-3 순이다.

결과 -----

알고리즘을 계속 수행하여 다음 결과를 얻는다:

제품	작업 모듈
1	M(1)-M(2)-M(5)
2	M(3)-M(4)-M(5)
3	M(1)-M(3)-M(4)
4	M(1)-M(2)-M(4)-M(5)

각 모듈들의 구성작업들:

- $M(1) = \{9-8-7-5\}$
- $M(2) = \{4-18-19-6-10\}$
- $M(3) = \{11-10-12-20\}$
- $M(4) = \{13-14-15-16-17\}$
- $M(5) = \{1-2-3\}$

모듈들간의 선행관계:

STAGE	1	2	3	4
	$M(1)$	$M(2)$		
		$M(3)$	$M(4)$	$M(5)$

판명된 모듈들을 STAGE에 의거하여 선행관계를 파악하고 계산된 흐름량의 크기에 따라 모듈간 인접관계가 파악된다. 최종적으로 제품의 작업순서에 따라 모듈간을 연결하면 전체적인 네트워크 배치의 윤곽이 파악되어진다

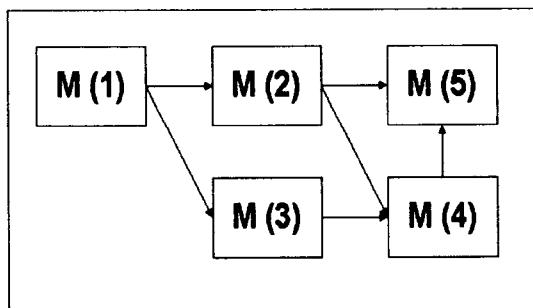


그림 4. 예제에 대한 배치 결과

4. 결론

네트워크 배치는 가능한한 작업들의 순서에 따라 기계들을 배열하여 이송시간을 최대한 줄이려는 조립시스템에 적합하다고 고려되어지는 배치구조인데 아직 연구가 미진한 상태이므로 보다 효율적인 셀형조립시스템의 설계를 위하여 구체적인 연구가 요구되어진다.

본 연구를 통하여 네트워크 배치의 분지점들에 해당하는 작업모듈들을 판명하고 그 모듈들의 선행관계와 인접관계까지 동시에 파악함으로써 효율적인 네트워크 형태의 셀배치 방법이 개발되어졌다. 또한 판명된 네트워크형 배치구성과 작업모듈들간의 인접관계를 고려한다면 셀형성과 배치의 동시파악도 가능하다. 작업부하 등의 다른 생산요소를 고려하는 보다 구체적인 통합해법의 연구는 앞으로의 연구과제이다.

참 고 문 헌

- [1] Flynn,B.B. and Jacobs,F.R., "A simulation comparison of group technology with traditional job shop manufacturing," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.24, No.5, pp.1171-1192, 1986.
- [2] Hassan, M.M.D., "Layout design in group technology manufacturing," *Int. J. Prod. Econ.*, Vol.38, pp.173-188, 1995.
- [3] Ho, Y and Moodie, C. L., "A heuristic operation sequence-pattern identification method and its applications in the design of cellular flexible assembly system," *Int. J. Com. Intgr. Mgmt.*, Vol.7, No.3, pp.163-174, 1994.
- [4] Kinney, Jr., H.D. and McGinnis, L.F., "Design and control of manufacturing cells," *Ind. Eng.*, Vol.19, No.10, pp.28-38, 1987.
- [5] Kumar, K.R. and Hadjinicola, G.C., "Cellular manufacturing at Champion irrigation products," *Int. J. Oper. Prod. Mgmt.*, Vol.13, No.9, pp.53-61, 1993.
- [6] Lee, C.E.C., "An Integrated methodology for the analysis and design of cellular flexible assembly systems," *Ph.D. Dissertation*, Purdue Univ., 1991.
- [7] Morris, J. S. and Tersine, R. T., "A simulation analysis of factors influencing the attractiveness of group technology cellular layout," *Mgmt. Sci.*, Vol.36, No.12, pp.1567-1578, 1990.
- [8] Shafer, S.M. and Meredith, J.R., "An empirically based simulation study of functional versus cellular layouts with operations overlapping," *Int. J. Oper. Prod. Mgmt.*, Vol.13, No.2, pp.47-62, 1993.
- [9] Schonberger, R.J., "Plant layout becomes product-oriented with cellular, JIT production concepts," *Ind. Eng.*, Vol.15, No.11, pp.66-71, 1983.
- [10] Selvam, R.P. and Balasubramanian, "Algorithmic grouping of operations sequences," *Eng. Costs Prod. Econom.*, Vol.9, No.1-3, pp.125-134, 1985.
- [11] Shtub, A., "Estimating the effect of conversion to a group technology layout on the cost of material handling," *Eng. Costs Prod. Econom.*, Vol.17, No.2, pp. 103-109, 1989.
- [12] Vakkaria, A.J. and Wemmerlov, U., "Designing a cellular manufacturing system: A material flow approach based on operation sequences," *IIE Trans.*, Vol.22, No.1, pp. 84-97, 1990.
- [13] Verma, P. and Ding, F.Y., "A sequence-based materials flow procedure for designing manufacturing cells," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.33, No.12, pp.3267-3281, 1995.
- [14] Warnech, H.J. and Walther, J., "Automatic assembly-state of the art," *Proceedings of the third international conference on assembly automation and 14th IPA conference*, pp.1-14, Boeblingen, 1982.
- [15] Wemmerlov, U. and Hyer, N.L., "Procedures for the part family/machine group identification problem in cellular manufacturing. *J. Oper. Mgmt.*, Vol.6, No.2, pp.125-147, 1986.