

셀형 유연조립시스템에서 작업부하 균형을 고려한 통합 배치설계에 관한 연구

정지용* · 노인규*

A Study on Even Distribution of Workloads Using Simulated Annealing Method on Integrated Layout Design in Cellular Flexible Assembly Systems

Ji-Yong Jueung* · In-Kyu Ro*

■ Abstract ■

With the success of flexible manufacturing systems(FMSs), flexible assembly systems(FASs) have been developed to automatic factories further. As in a cellular FMS, a cellular FAS is considered as the most flexible and feasible assembly systems configuration. This paper presents a method for the integrated layout design in cellular FASs. Unlike the traditional paper, this paper deals with the formation of cells and the layout of cells for jobs with operation times on different machines. The procedure in this paper consists of two distinct phases. The first phase presents machine arrangement in a double rows flowline, cell formation not to allow intercellular movements, and integrated layout design in cellular FASs considering the characteristics of FAS, layout, and production factors. This phase uses older optimal algorithm. The second phase proposes to balance the system with an objective of reducing the degree of workload deviation in the cells. Simulated annealing method is used to balance the system. This phase also shows the integrated layout design in cellular FASs with the cost less than total cost of the first phase.

1. 서 론

그룹테크놀로지(Group Technology: GT)는 규모의 경제(economics of scale)를 성취하기 위하여 제품설계와 제조공정들의 유사성들을 판명하고 개발하는 제조 원칙이다. 셀형 제조(Cellular manufacturing)는 부품들의 이동 비용을 줄이기 위하여 기계셀(machine cell)들을 형성하고 부품군(part family)들을 구성하여 각 셀에서 특정 부품들만이 생산되도록 기계셀들에 부품군들을 할당하기 위해 GT 기술을 이용한다. Wemmerlov [2]의 조사에서 셀형 제조는 준비시간 단축, 재공품 재고 감소, 자재취급 비용 감소, 설비비용과 직/간접 노동비용 감소, 품질개선, 자재흐름의 개선, 기계활용도의 개선, 공간활용의 개선, 종업원 사기의 개선 등 많은 장점을 제공한다.

셀형 배치(cellular layout)설계에는 부품군과 기계셀을 형성하는 셀형성(cell formation) 단계와 셀형성 후에 기계들의 배열을 결정하는 셀배치 단계가 있다. 셀형 유연조립시스템의 셀형 배치에서 가장 좋은 알고리즘은 최[1]의 방법이라고 알려져 있다. 이 방법은 FAS의 셀형 배치를 위해서 복열네트워크 흐름라인을 채택한 기계배열, 셀간 이동을 배제한 완전독립 셀형성, 셀형성과 셀배치의 통합결정, 그리고 생산요인과 배치요인의 동시고려를 특징으로 한 셀형 배치를 제시한다. 그러나 위의 연구에서 제기되어야 할 문제점은 작업부하 균형 문제를 고려하지 않으므로 발생하는 셀간의 불균형(unbalancing)문제이다. 셀간의 불균형은 셀간의 작업부하편향(workload deviation)을 크게 하므로 생산성이 낮아지고 불균형에 따르는 추가 비용 발생이라는 문제점을 야기한다. 이에 본 연구에서는 셀형 유연조립시스템의 통합 배치설계에서 작업부하 균형 문제를 고려함으로써 작업부하편향의 정도를 최소화하고 동시에 기존의 최 방법보다 더 적은 비용으로 셀형성과 셀배치를 하는 통합결정 방법을 제시한다.

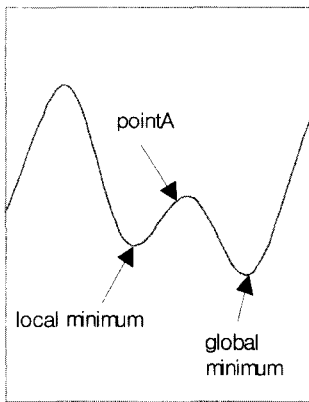
본 연구의 방법은 FAS의 셀형 배치를 위해서

복열네트워크 흐름라인을 채택한 기계배열, 셀간 이동을 배제하기 위한 다제품 전용 완전독립 셀형성, 셀형성과 셀배치의 통합결정, 생산요인과 배치요인의 동시고려, 그리고 셀간의 작업부하(workload)를 최소화하는 것을 특징으로 한다. 복열네트워크 흐름라인은 네트워크 흐름라인 보다는 자재흐름이 단순하고 셀내관리가 용이하며 단일흐름라인보다는 자재이동시간을 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 작업순서를 고려하는 복열 네트워크 흐름라인에서의 기계배열을 위해서 작업레벨과 가중평균 작업순위의 개념을 사용하고 두 제품들의 셀들을 통합할 때 모든 고려요인들이 포함되어 계산되는 기대이득을 구하여 가장 큰 이득을 가지는 두 제품들의 셀들을 통합시키는 기대이득 행렬법을 사용한다[1]. 그러나 이렇게 구성된 셀형 배치도 작업부하를 고려하지 않으므로 해서 생기는 문제점을 제거하기 위해 다시 새로운 셀형 배치를 시도한다. 새로운 셀형 배치를 달성하기 위해 Simulated Annealing 방법을 사용할 것이고 이 방법을 통해 한층 진보된 셀형 FAS에서의 통합 배치설계를 제시한다.

2. 셀균형 문제에서 Simulated Annealing 방법의 적용 개념

Simulated Annealing(SA) 알고리즘은 무작위 탐색(random search) 기술로서 고체의 물리적인 가열냉각으로 부터 그 아이디어를 따오고 있다. 금속을 처음에 가장 높은 온도(일반적으로 녹는점(melting point) 온도)로 열을 가함에 의해 가장 낮은 에너지 상태로 되게 하고 그리고 나서 매우 낮은 온도까지 매우 느린 비율로 냉각시킨다. 만일 냉각이 충분히 느리지 않다면 바람직하지 못한 담금질(quenching)이 될 것이다. SA의 목적은 일반적으로 전통적인 방법에 의해 발견되어질 수 없는 대규모 문제에서의 최적값(optimal value)을 찾으려는 시도이다. 그 해는 각 단계에서의 비용(cost)을 반복 계산하고 평가함에 의해 찾아진다. 이 알

고리들은 온도(temperature)의 개념을 채택한다. 온도가 높은 알고리즘이면 더 높은 비용 해(cost solution)를 받아들일 수 있을 것이다. 온도가 매우 낮은 알고리즘은 항상 낮은 비용의 해를 받아들일 것이다. 온도는 높게 시작해서 평행(equilibrium)에 도착할 때 까지 냉각되어 진다. 초기온도를 높게 잡음에 의해 전체 최적(global optimum)에 도달할 수가 있다. 이런 특징이 없다면 부분 최소(local minimum)에 빠지는 오류를 범할 수 있다. [그림 1]에 그 예가 나와 있다. 함수를 더 높은 값으로 움직이므로 해서 언덕 위까지 올라갈 수 있고 전체 최적을 찾을 수 있게 된다.



[그림 1] Hill Climbing Analogy

Reeves[3]에 의하면, SA는 고체 냉각의 모의실험(simulation)과 큰 조합 최적화(combinatorial optimization) 문제들을 푸는 것 사이의 유사성에 근거를 둔다. 이 원칙은 목적함수(objective function)값을 최소화하기 위한 조합 최적화 문제들에서 채택되어진다.

SA에 대한 이론과 실습에 대해 본 논문에서 참고한 자료는 Reeves[3], Eglese[9] 이다. SA는 진보된 형태의 알고리즘이고 물리적 냉각에서의 온도와 유사한 제어변수(control parameter, $T = T_{in}$)에 대한 초기형상(initial configuration)과 초기형상의 값(value)에서 출발한다. 초기형상의 목적

함수(E)의 값(일반적으로 비용으로 이야기 되어짐)이 계산되어지는데 이 값은 물리적 냉각의 에너지와 유사하다. 이 형상의 이웃(neighbour)은 다음의 두 가지에 의해 생성되어 진다. 이웃은 좋은 해를 구하기 위해 값을 구해 가는 과정으로 보면 될 것이다. 본 논문에서는 셀간의 작업부하 균형에 대해 SA 방법을 쓰므로 다음의 두 가지 방법에 의해 이웃을 생성한다.

- (1) 한 셀로부터의 하나의 부품을 다른 셀로 이동(transfer)
- (2) 두 부품의 위치를 서로 교환(trade)

이런 정렬(arrangement)은 만일 목적함수 값(E1)이 초기 값 E보다 더 적다면 새로운 형상은 즉시 받아들여진다. 목적함수 값을 증가시키는 이웃은 또한 메트로폴리스 기준(Metropolis criterion) [3][9]을 만족시키는 한 받아들여진다. 허용 기준(acceptance criterion)은 $[0, 1)$ 상에서의 유니폼 분포(uniform distribution)로 부터 랜덤 수(random number)를 발생함에 의해 실행되어지고 $(-\delta E/T)$ 와 비교한다. $-\delta E$ 는 목적함수 값에서 새로운 값과 이전 값의 차이를 말하고 $(-\delta E/T)$ 는 허용 확률(P_a)이라 불려진다[3][9].

SA의 장점은 해의 상승 움직임(uphill moves)을 받아들이므로 해서 부분 최소(local minimum)에 빠지는 오류를 피할 수 있다. 만일 제어 변수(T)의 값이 높으면 더 많은 수의 상승 움직임을 받아들일 것이다. 일단 많은 형상 변화가 있게 되면 T의 값은 조금씩 줄어들고 이런 과정이 계속된다. 온도가 낮은 값으로 되면 받아들여지는 상승 움직임의 수가 감소하기 시작한다. 이 과정은 형상변화의 확률이 매우 적거나 0(zero) 일 때 제어변수가 매우 낮은 값을 가지는 지점에서 멈춰진다. 일반적으로 제어 변수의 느린 감소율(예: slower cooling)이 해를 더 좋게 만든다고 한다.

시뮬레이티드 어닐링 기술(Simulated Annealing Technic)의 응용은 아래처럼 서술되어 진다[3].

- (1) 초기 형상(initial configuration)과 해 공간(solution space)

- (2) 제어변수(T_{in})의 초기 값
- (3) 이웃 발생 과정(neighbourhood generation procedure)
- (4) 냉각율(cooling rate)
- (5) 멈춤규칙(stopping rule)

일반적인 SA 알고리즘은 다음의 과정으로 서술되어진다.

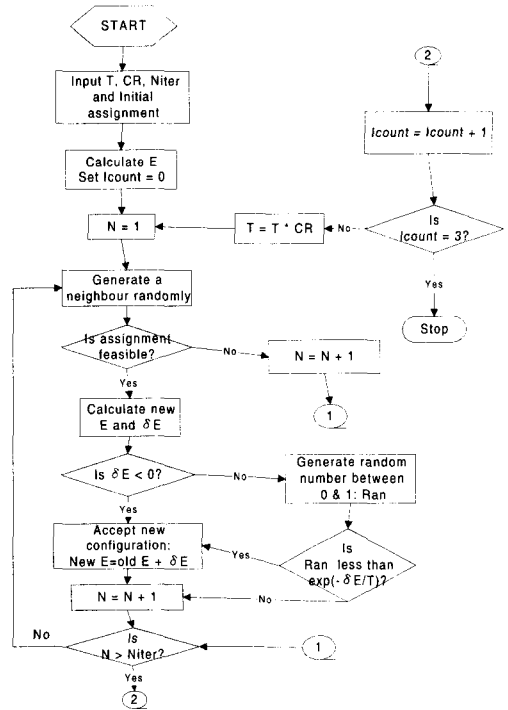
<SA 과정>

1. 초기 가능해(feasible solution)를 형성한다.
2. T_{in} , CR 과 Niter의 값을 정한다.
3. 초기 균형(initial balance)에 대한 비용 (목적 함수 값)을 계산한다.
4. $N = 0$ 으로 놓는다.
5. DO
 - 5.1. 초기균형의 가능이웃(feasible neighbour)을 생성한다.
 - 5.2. 초기 균형의 가능이웃의 비용을 계산한다.
 - 5.3. 만일 새 형상의 비용이 현재 형상 보다 더 높으면 THEN
 - 5.3.1. 유니폼 분포(0,1)로 부터 랜덤수 (Ran)를 생성한다.
 - 5.3.2. 허용확률(P_a)과 Ran을 비교한다.
 - 5.3.3. 만일 $Ran < P_a$ 이면 THEN 새 형상을 받아 들인다.
 - ELSE 옛 형상으로 진행하고 단계 5.4 로 간다.
 - ELSE 새 형상을 받아 들인다.
 - 5.4. N 값을 하나 증가 시킨다.
 - 5.5. 만일 $N = Niter$ 이면 THEN
 - 5.5.1. $T = T \cdot CR$ 로 정한다.
 - ELSE 무작위 상호교환(random interchange)을 행한다.
- UNTIL 멈춤 규칙에 다다른다.
6. 가장 균형이 잘 잡힌 최종 해를 선택한다.

3. SA를 이용한 셀 작업부하 균형 문제 설계

SA에 대한 플로우 차트(flow chart)가 [그림 2]에 주어져 있다. 이 부분을 설명하기 위해 필요한 도시기호는 다음과 같다.

- T_{in} : SA 과정에서의 초기 온도
- Niter : 고정된 온도에서 수행되는 알고리즘에서의 단계의 수
- CR : 온도 냉각율, 이 값은 Niter가 수행되어질 때마다 이 요소에 의해 온도가 낮아질
- Icount: 냉각되어지는 횟수. 온도가 CR의 요소에 의해 내려가는 횟수를 말한다.



[그림 2] Flowchart for the simulated annealing routine for cell balancing

단계 1

초기형상을 얻기 위해서는 최[1]의 방법으로 셀형 통합배치를 실시한다. 이 통합배치는 FAS의 셀

형 배치를 위해서 복열 네트워크 흐름라인을 채택한 기계배열, 셀간 이동을 배제하기 위한 다제품 전용 완전독립 셀형성, 셀형성과 셀배치의 통합결정, 생산요인과 배치요인의 동시코려를 특징으로 한 셀형통합 배치이다. 이 방법대로 셀형 통합배치를 실시하면 초기 형상이 얻어진다. 초기형상에는 셀간의 작업부하를 고려하지 않으므로 해서 생기는 셀간의 작업부하 불균형 문제가 도출된다. 이 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 SA를 이용해서 셀간의 작업부하를 균형되게 하는 셀형 통합배치를 다시 한번 수행하게 된다.

초기형상에서의 각 셀내의 이동비용의 합과 기계비용의 합, 그리고 셀간의 불균형으로 발생하는 불균형 비용을 다 합하면 바로 이 값이 초기형상의 비용(objective function value)이 된다.

단계 2

이웃(neighbour)이 랜덤수(random number) 발생기(generator)를 사용함에 의해 생성되어진다. 이동(transfer)과 상호교환(trade)에 의해 셀간의 균형을 이룰 수 있다[7]. 각 제어변수 값에 대해 행해지는 형상변화의 수(Niter)에 대한 디폴트(default) 값은 10000으로 정했다. 10000으로 정한 이유는 Niter의 값이 100의 배수로 하는 것이 좋다는 Jajodia[4]의 연구 결과를 참조하였다.

단계 3

각 형상변화(이웃 발생)에 대한 목적함수 값(E)이 계산되어진다. 만일 목적함수 값이 이전 값보다 적으면 새 형상이 받아들여진다. 그렇지 않다면, 즉, 목적함수 값이 이전 값보다 더 많거나 같으면 다시 한번 검사를 해야 한다. 랜덤 수가 유니폼 분포[0,1)에 의해 생성되어지고 만일 그 값이 $\exp(-\delta E/T)$ 의 값보다 더 적으면 새 형상이 받아들여진다. $-\delta E$ 는 목적함수 값 사이에서의 변화를 말하고 T는 제어변수 값에 해당된다. 위 기준(criterion)은 많은 응용분야에서 채택되어져 왔다[4][5][6][10].

단계 4

이 단계에서는 초기 온도가 정해진다. 일반적으로 T_{in} 의 값을 높게 잡으면 잡을수록 실제적으로 모든 가능한 형상 변화에 대해 받아들여 질 수 있다. 본 논문에서는 T_{in} 의 값을 100.0으로 정하였다. T의 값은 Niter의 수가 하나씩 증가할 수록 $CR(0 < CR < 1)$ 요소를 곱함에 의해 T의 값은 감소되고 과정은 계속된다. 만일 CR 값이 1에 가까워지면 냉각율은 느린 것이고 0에 가까우면 냉각율은 빠른 것이다. 연구자들(Kouvelis and Chiang[5], Lee and Iwata[6])은 CR 값을 0.80에서 0.99의 범위에서 정하였다. 이 범위가 일반적으로 좋은 해를 도출해 낸다는 것이 위의 연구자들에 의해 알려져 있다.

단계 5

SA 알고리즘은 일반적으로 제어변수의 특정 값에 대해 형상에서 아무런 변화가 없는 시점에서 멈춘다. Niter의 수가 제한되어지기 때문에(본 연구에서는 10000으로 정함) 낮은 T 값에서의 형상변화는 부분 최적(local optimum)에 빠져서 어떠한 해의 진보도 있을 수 없는 상황에 빠지게 된다. 그래서 본 연구에서는 제어변수의 3개의 연속적인 값에 대해 부분 최적에서의 어떠한 해의 진보도 나타나지 않는 형상을 마지막 형상으로 즉, 최종 값으로 받아들인다. 위에서 말한 제어변수의 3번의 연속적인 값이란 온도 변화 과정이 3번을 거친다는 것을 의미한다. 3번의 온도변화 후에도 계속 비용(목적함수 값)이 좋아진다면 이 과정을 4번 이상 할 수 있다. 본 연구에서는 제어변수 값이 4번 이상(icount = 4,5,6...)의 변화과정으로도 형상의 변화가 안 일어나기 때문에 즉, 비용 값이 변해 지지 않기 때문에 3을 제어변수의 변화 횟수로 정한다. 3을 icount로 정한다(icount = 3). 아울러 냉각율(CR)을 0.99로 정한다. 단계4에서 설명했듯이 CR 값이 0.80에서 0.99의 범위에서 일반적으로 좋은 해를 도출해 낸다. 그리고 0.99는 1에 가장 가까운 값으로 냉각율이 가장 느리다. 냉각율이 느리게 진

행되면 모든 가능한 형상변화를 받아 들일 수 있기 때문에 더 좋은 해를 얻을 수 있게 된다.

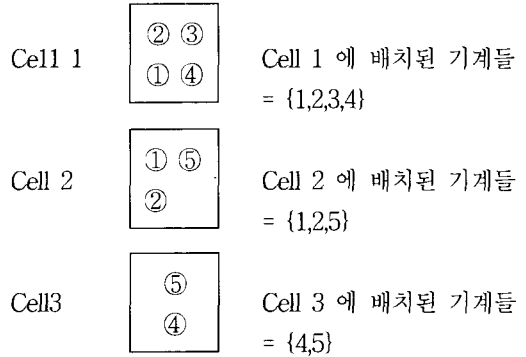
4. 수치예제

본 연구에서는 부품의 작업순서에서의 후송작업(backtracking operation)과 셀간 이동작업이 없다는 최[1]의 가정 하에서 알고리즘을 수행한다. 최의 조사에 의하면 FMS에서의 작업처리시간은 보통 분단위(order of minutes)지만 FAS에서의 처리시간은 보통 초단위(order of seconds)로 매우 짧다. FAS에서의 작업처리시간이 극히 짧으므로 상대적으로 제품의 이송시간(transfer time)이 시스템의 수행도에 있어서 중요하다. 후송작업(backtracking operation)이나 셀간 이동작업등은 많은 이송시간을 야기시킨다. 그러므로 셀내 기계들은 제품의 작업순서에 따라 밀접하게 배열하고 고속의 제품운반수단을 사용해야 한다. FAS 설계에서는 이와 같은 요인들을 함께 고려하기 위해서 후송작업이 발생하지 않도록 작업순서(operation sequence)를 결정하고 셀형성시에 셀간 이동을 배제해야 한다.

최[1]의 기대이득행렬법에 의한 셀형성과 셀배치 그리고 각 셀에 속한 부품군은 다음과 같다. 최종적으로 3개의 셀들이 형성되며 구해진 부품군은 다음과 같다[1].

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

최종 셀배치는 다음 [그림 3]과 같다.



[그림 3] Cell layout before cell balancing

이러한 자료들이 주어지는 경우에 SA 알고리즘이 어떻게 수행되는지 살펴본다.

단계 1

기대이득행렬법에 의해서 초기형상(initial configuration)이 구해졌다. 초기형상의 비용(objective function value)을 구한다.

기계비용과 이동비용은 최[1]의 결과값(기계비용 = 336\$, 이동비용 = 1950\$)을 그대로 사용한다.

셀간의 불균형 비용을 계산한다.

각 부품에 가공시간(processing time)을 준다. 각 부품별 가공시간은 다음과 같이 정한다.

$$\text{가공시간} = \sum_k (CR_{ik}) MCT_k$$

MCT_k : 기계별 가공시간/unit

CR_{ik} : 부품 i 가 기계 k 에서 필요한 소요용량 (capacity requirement)

위식에서 CR_{ik} 에 대한 값은 최[1]의 논문에서 밝혀하였다. 그리고 각 기계별 가공시간/unit 은 다음과 같이 정한다.

<표 1> Unit machine processing time

기계	1	2	3	4	5
가공시간	3	4	5	2	4

그러면 각 부품의 가공시간을 계산해 보자.

- Part1 = $3 \times 0.3 + 4 \times 0.4 + 5 \times 1.3 = 9$
- Part2 = $4 \times 0.2 + 5 \times 0.3 = 2$
- Part3 = $3 \times 0.2 + 5 \times 0.4 = 3$
- Part4 = $3 \times 0.1 + 4 \times 0.2 + 5 \times 0.3 = 5$
- Part5 = $3 \times 2.1 + 4 \times 0.3 + 4 \times 0.1 = 8$
- Part6 = $2 \times 0.8 + 4 \times 0.3 = 3$
- Part7 = $2 \times 0.1 + 4 \times 0.3 = 1$
- Part8 = $2 \times 0.2 + 4 \times 1.3 = 6$

불균형 비용을 계산해 보자.

$$\text{불균형 비용} = \text{작업부하 편향(workload deviation : WD)} \times 100 \times \beta$$

작업부하 편향은 다음과 같은 식으로 정의한다[8].

$$WD = (t_{\max} - t_{\min}) / t_{\max}$$

(t_{\max} : Cell 중에서 가장 가공시간이 긴 Cell의 가공시간)
 (t_{\min} : Cell 중에서 가장 가공시간이 짧은 Cell의 가공시간)

각 셀에 할당된 가공시간을 계산해 보자.

- Cell 1의 부품군은 {1,4,3,2} 이므로
 Cell 1의 가공시간 = $9 + 5 + 3 + 2 = 19$
- Cell 2의 부품군은 {5} 이므로
 Cell 2의 가공시간 = 8
- Cell 3의 부품군은 {6,7,8} 이므로
 Cell 3의 가공시간 = $3 + 1 + 6 = 10$ 이다.

그러므로 $t_{\max} = 19$ 이고 $t_{\min} = 8$ 이다.

β [8]는 작업부하 편향으로 발생하는 비용을 말하고 <표 3>에 잘 나와 있다. 여기서는 β 값이 1 이다. 그러므로

$$\text{불균형 비용} = [(19-8)/19] \times 100 \times 1 = 57$$

이다. 결론적으로 초기형상의 비용은 기계비용 + 이동비용 + 불균형 비용이므로 총비용 = $336 + 1950 + 57 = 2343$ 이다.

단계 2

이번 단계에서는 초기형상을 가지고 각 부품을 다른 셀로 이동(transfer) 또는 두 부품의 위치를 서로 바꾸는 상호교환(trade) 단계이다. 랜덤 발생기(random generator)에 의해 부품과 셀이 선택되어 진다. 이동과 상호교환의 방법은 Moodie and Young[11] 방법을 참조하였다.

예를 들어 이동의 단계를 보자. 1번 셀의 부품 3을 2번 셀로 이동하는 것은 가능하다. 그러나 만약 랜덤 발생기에 의해 부품 3과 셀 1이 선택되어 진다면 이동이 불가능하다. 왜냐하면 부품 3은 1번 셀에 있는 부품이기 때문에 부품 3을 1번 셀로 이동하는 것은 무의미하다. 상호교환의 단계에서도 만약 랜덤 발생기에 의해 서로 상호 교환하여야 할 부품 6과 8이 선택되어 진다면 서로간의 교환이 불가능하다. 왜냐하면 부품 6과 8은 같은 셀에 위치한 부품이기 때문에 상호교환의 의미가 없다.

단계 3

목적함수 값(E)이 계산되어진다. 예를 들어 1번 셀의 부품 3을 2번 셀로 이동했을 때의 목적함수 값을 계산해 보자. 단계 1에서 하던 방식으로 계산하면 결과는 다음과 같다.

$$E = \text{기계비용} + \text{이동비용} + \text{불균형 비용} = 336 + 1950 + 37 = 2323$$

이 값은 초기형상의 목적함수 값 2343보다 적으므로 이 형상은 받아들여진다. 이 값이 최종값이 될지 안 될지는 계속 단계를 밟아 가야 할 것이다.

단계 4

본 연구에서는 초기온도를 100.0으로 정하였다. 높은 온도로 잡아서 실험을 하면 대부분의 형상을 받아들일 수 있기 때문에 부분 최적에 빠질 염려가 없다.

단계 5

형상에서 아무런 변화가 없는 그 시점의 비용이 최종값이 될 것이다. 즉, 어떠한 해의 진보도 있지

않는 형상이 마지막 형상이 될 것이다. 본 실험에서 최종값을 가지는 경우는 1번 셀의 부품 2와 3을 2번 셀로 이동시키는 경우이다.

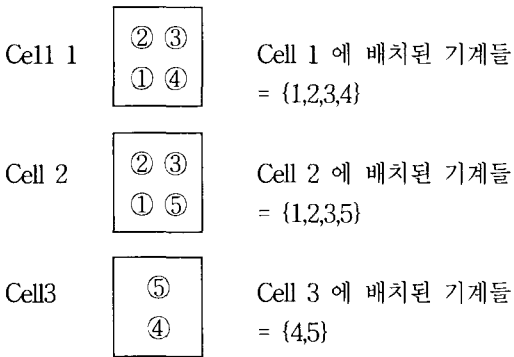
최종형상은 3개의 셀들이 형성되며 구해진 부품군은 다음과 같다.

첫 번째 부품군 = {1,4}

두 번째 부품군 = {2,3,5}

세 번째 부품군 = {6,7,8}

최종형상의 셀배치는 [그림 4]와 같다.



[그림 4] Cell layout after cell balancing

최종형상에 대한 비용(objective function value)을 최[1]의 방법대로 계산하면 기계비용은 336\$이고 이동비용은 1950\$이다. 불균형 비용은 단계 1에서 하던 방법대로 구하면 28\$이다.

결론적으로 최종형상의 비용은 기계비용 + 이동비용 + 불균형 비용이므로

$$\text{총비용} = 336 + 1950 + 28 = 2314$$

이다. 최종적으로 손익계산을 해보면 셀간의 균형을 고려하지 않을 때의 비용은 2343\$ 이고 균형을

이룬 후의 총비용은 2314\$ 이므로 이익이 $2343 - 2314 = 30\$$ 임을 알 수 있다.

5. 실험 및 분석

본 연구는 작업순서와 복열 네트워크 흐름에 의한 기계배치 그리고 기계비용과 기계용량을 고려하는 셀배치와 함께 셀간의 작업부하를 고려하면서 독립 셀을 형성하는 방법을 처음으로 제시하고 있다.

본 연구에서는 해법의 평가를 위하여 셀형 FAS의 현실적인 배치방법으로 가장 최적의 알고리즘으로 알려진 최의 방법과 비교한다. 최의 방법에서는 작업부하를 고려하지 않으므로 생기는 셀간의 불균형 비용을 기존의 비용에 추가해서 총비용을 계산한다. 실험은 제품수와 기계수의 비율이

(1) first data : 8 products and 8 machines

(2) second data : 11 products and 22machines

인 두 가지 자료를 사용하였고 기계비용과 셀간의 작업부하 편향(deviation)으로 발생하는 비용을 변화 시켜서 각 자료에 대하여 실험을 수행하였다. 여기서 작업부하 편향으로 발생하는 비용을 β 라고 하자.

분석은 기계비용과 β 값을 변화 시켜서 수행하여 얻은 최의 해법의 총비용들과, 상응하는 본 연구의 해법을 수행하여 얻은 총비용들을 비교하여 기계비용과 β 값의 수준별로 우수한 해법을 판명하는 것이다. <표 2>에서처럼 5\$에서 2000\$사이의 11가지의 기계비용에 대해서 <표 3>에서처럼

<표 2> Range 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

<표 3> β value for unit machine cost(\$)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

1\$에서 50\$사이의 11가지의 β 값을 상응 시켜서 작업부하 편향과 총비용들을 비교한다.

두 해법들을 수행한 결과 <표 4>와 <표 5>처럼 작업부하 편향에서 본 연구의 결과가 우수한 것으로 판명되었다. 또한 총비용 면에서도 <표 6>과

<표 7>에서의 아래쪽의 손익 부분을 보면 작업부하를 고려해서 통합 배치설계를 한 본 연구의 결과가 우수한 것으로 판명되었다.

따라서 본 연구의 방법은 셀형 FAS의 통합배치설계에서 작업부하를 고려하지 않으므로 생기는

<표 4> Comparison of the workload deviation for the first data (8 products and 8 machines)

Machine cost → 해법 ↓	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
최방법	77.0	83.2	85.7	85.7	85.7	85.7	63.1	63.1	63.2	63.2	63.1
본연구	77.0	11.0	11.1	41.7	36.4	28.6	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3

<표 5> Comparison of the workload deviation for the second data (11 products and 22 machines)

Machine cost → 해법 ↓	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
최방법	87.0	69.6	77.7	80.0	72.7	67.2	67.3	67.3	67.3	67.3	67.3
본연구	48.0	50.4	38.9	41.6	37.8	41.0	34.0	41.4	41.7	39.8	39.2

<표 6> Comparison of the total costs for the first data (8 products and 8 machines)

machine cost → 해법 ↓	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
최방법	T	2300	2400	3050	3050	3050	3050	6100	6100	6100	6100	6100
	C	375	1675	2950	4425	5900	7375	7290	8505	9720	10935	12150
	U	77	416	857	1285	1714	2142	1894	2210	2526	2842	3157
	O	2752	4491	6857	8760	10664	12567	15284	16815	18346	19877	21407
본연구	T	2300	2650	2400	2850	2900	2500	5000	5000	5000	5000	5000
	C	375	1750	3620	4650	6400	8500	8700	10150	11600	13050	14500
	U	77	55	111	625	727	714	428	500	571	642	714
	O	2752	4455	6131	8125	10027	11714	14128	15650	17171	18692	20214
손익	0	36	726	635	637	853	1156	1165	1175	1185	1193	

<표 7> Comparison of the total costs for the second data (11 products and 22 machines)

machine cost → 해법 ↓	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
최방법	T	9125	9125	9575	12675	15375	15725	15725	20975	20975	20975	20975
	C	1187	5935	11400	13605	15120	18100	21720	23485	26840	30195	33550
	U	87	348	777	1200	1454	1681	2018	2354	2690	3027	3363
	O	10399	15408	21752	27480	31949	35506	39463	46814	50505	54197	57888
본연구	T	9085	8935	9420	12450	15175	14925	14925	20175	20175	20175	20175
	C	1238	6020	11660	14115	15664	19125	22690	24325	27760	31200	34650
	U	48	252	389	624	756	1025	1021	1450	1669	1789	1960
	O	10371	15207	21469	27189	31595	35075	38636	45950	49604	53164	56785
손익	28	201	283	291	354	431	827	864	901	1033	1103	

* T : 이동비용 C : 기계비용 U : 불균형비용 O : 최적비용(T + C · U)

셀간의 불균형 비용을 줄임으로서 전체적으로도 총 비용을 줄이는 최적의 통합배치를 실현한다.

6. 결 론

본 연구에서는 셀형 FAS에서의 배치설계에 있어서 셀간의 작업부하를 고려한 셀형성과 셀배치의 통합 결정 방법을 제시하고 있다.

본 연구의 첫번째 단계는 기존의 셀형 FAS 통합 배치설계에서 중요시 생각하고 있는 작업순서와 기계용량을 고려하고 셀간 이동을 초래하지 않는 독립 셀형성 그리고 자재흐름을 적게 하는 복열 네트워크 흐름을 고려한 셀형 배치를 한다. 두 번째 단계는 셀간의 작업부하 불균형 문제를 해결하기 위하여 SA방법을 이용해서 작업부하를 균등하게 셀간에 배분함과 동시에 비용도 첫번째 단계에서 행해진 셀형 배치보다 더 적게 들게 셀형 배치를 한다.

두 번째 단계의 셀간의 작업부하 균형을 위해서 SA를 이용해서 실험을 해서 알 수 있듯이 제어변수의 느린 감소율은 해의 질(quality)을 더 좋게 한다. 만일 냉각율이 너무 빠르거나 만일 형상변화의 수(iterations)가 충분치 않다면 좋은 결과를 얻을 수 없다. 또한 어떤 한도 이상으로 iterations의 수가 증가한다면 목적 값이 변하지 않는 그 시점의 해가 최적의 해가 된다.

본 연구의 기여는 셀형 FAS 통합 배치설계에서 2가지 평가기준(작업부하편향(workload deviation), 총비용)면에서 가공시간(processing time)을 고려하지 않은 기존의 통합 배치설계보다 더 좋은 수행도를 보여 주고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 최형호, 노인규, "셀형 조립시스템에서의 통합 배치설계", 「한국경영과학회지」, 제22권, 제4호(1997), pp.133-149.
- [2] 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(1986), pp.125-147.
- [3] Reeves, Colin R., *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*, Wiley, New York, 1993.
- [4] Jajodia, S., Minis, I., Harhalakis, G., and Proth, J., "Computerized layout solution using simulated annealing", *International Journal of Production Research*, Vol.30, No.1(1992), pp.95-108.
- [5] Kouvelis, P., and Chiang, W., "A simulated annealing procedure for single row layout problems in flexible manufacturing systems", *International Journal of Production Research*, Vol.30, No.4(1992), pp.717-732.
- [6] Lee, Y., and Iwata, K., "Part ordering through simulation-optimization in an FMS", *International Journal of Production Research*, Vol.29, No.7(1991), pp.1309-1323.
- [7] Suresh, G., and Sahu, S., assembly line balancing using simulated annealing", *International Journal of Production Research*, Vol.32, No.8(1994), pp.1801-1810.
- [8] Sarker, B.R., and Balan, C.V., "Cell formation with operation times of jobs for even distribution of workloads", *International Journal of Production Research*, Vol.34, No.5(1996), pp.1447-1468.
- [9] Eglese, R.W., "Simulated Annealing: A tool for operational Research", *European Journal of operational Research*, Vol.46(1990), pp.271-281.
- [10] Sofianopoulou, S., "Application of simulated annealing to a linear model for the formation of machine cells in group technology", *Inter-*

national Journal of Production Research,
Vol.35, No.2(1997), pp.501-511.

- [11] Moodie, C.L., and Young, H.H., "A heuristic
method of assembly line balancing for

assumptions of constant or variable work
element times", *Journal of Industrial Engi-
neering*, Vol.16(1965), pp.23-29.