

# 유전 알고리즘을 이용한 셀 배치방법에 관한 연구

정승환(성균관대학교 기계공학부 대학원), 감무진 (성균관대학교 기계공학부)

## A Facility Layout Planning Method in Cellular Manufacturing Environment Using Genetic Algorithm

S.H. Jung (Mechanical Eng. Dept. SKKU), M. Kang (Mechanical Eng. Dept. SKKU)

### Abstract

One of the major drawbacks of the existing facility layout methods is that most of them were developed based on pre-defined cost functions, and therefore fail to cope with the dynamic aspects of modern manufacturing systems. Another drawback is that due to the poor representation capability of the block diagrams, they are not able to convey the sufficient information needed by facility designers. In this paper, a system for solving facility layout problem considering these matters in cellular manufacturing environment is proposed and implemented using GA approach with embedded simulation module and virtual reality technologies.

**Key Words :** Facility layout planning, Cellular manufacturing, Virtual reality, Genetic algorithm, Simulation

### 1. 서론

생산 시스템 설계 과정에서 배치계획은 매우 중요한 단계이다. 이는 설비 배치안이 여러 제조 부서들간의 위치를 결정함으로써 부서들 간의 상호 관련 활동이 결정되기 때문이다. 잘못된 시스템 설비 배치는 복잡한 물류 이동 경로, 긴 대기 시간, 비효율적인 공간 사용, 작업자의 피로 등을 유발하여 결과적으로 제품의 품질과 납기에 나쁜 영향을 줄 수 있다. 또 일단 설비 배치 계획대로 배치를 마친 후 문제점이 발견되어 설비를 재배치 하는 데에는 많은 비용이 투자 되어야 하므로 공장의 수명과 함께 초기 배치 골격이 유지되는 경향이 있다. 그러므로 잘 고안된 생산 시스템 배치 계획은 기업의 전략상 반드시 고려해야 할 중요한 문제이다.

일반적인 생산 시스템 배치는 크게 나누어 생산 라인 배치 형태, 공정 중심 배치 형태, 제조 셀 배치 형태로 분류된다.

제품군 배치는 생산 라인 배치 형태, 공정 중심 배치 형태를 결합한 방법으로서 생산할 부품들을 공정, 형태, 자재의 구성, 공구, 취급, 저장, 통제의

필요성 등에 따라 부품군으로 분류한 후 이에 따라 배치를 하는 것이다. 이때 같은 군에 속하는 제품들은 하나의 제조 셀에 배치하게 된다. 이렇게 하면 부서내의 물류는 많아지는 반면에 부서간의 물류는 적어진다. 생산 시스템 전체의 효율을 극대화 하기 위하여 근래에는 셀 제조 방식인 제품군 배치가 선호되는 경향이 있고 그 중요성이 점점 더 증대되고 있으므로, 본 연구에서는 세 가지 형태의 생산시스템 배치방식 중 제품군 배치의 경우를 다룬다.

대부분의 기존 연구들은 최적화의 대상으로 거리나 근접도를 대상으로 한 목적함수만을 선택하였으나 이는 셀 제조 시스템 설계에 있어서 간과 되어서는 안될 중요한 요소인 실제 생산 시스템의 성능을 고려하지 않고 있기 때문에 그 결과의 신뢰도가 떨어진다고 볼 수 있다. 이 논문에서는 유전 알고리즘 기반의 거리 비용 최적화 루프 안에 시뮬레이션 모듈을 내장시켜 거리 비용과 생산 시스템의 성능을 동시에 고려한다.

대부분의 생산 시스템 설계의 결과는 주어진 공간 안에서 각 부서들간의 상대적인 위치를

나타내는 블록 레이아웃이다. 이것을 바탕으로 정확한 부서의 위치, 통로 구조, 부서 내에서 물류의 입출력이 일어나는 곳의 위치, 부서간 레이아웃에 대한 정보로 구성되는 상세 배치안을 얻는다. 그러나 블록 레이아웃만으로는 생산 시스템 설계자가 상세 배치안을 결정하는데 필요한 정보를 충분히 제공하기가 힘들다. 따라서 본 연구에서는 가상 현실 기술을 도입하여 이 문제를 해결하려 시도한다.

## 2. 대기시간과 물류 취급시간

일반적으로 전통적인 공정중심 생산 시스템에서 대기시간과 물류 취급시간은 MLT(Manufacturing Lead Time)의 95%정도를 차지한다.<sup>[1]</sup> 그러므로 대기시간과 물류 취급 시간을 최소화하는 것은 MLT를 최소화 하는데 있어서 중요하게 고려되어야 한다. 대부분의 제조 시스템 배치 알고리즘의 목적 함수가 거리에 기반한 물류비의 감소에 있는데, 사실 생산 시스템의 평가에는 MLT는 간과 할 수 없는 중요한 평가 척도 중 하나이다. 셀 제조 방식을 취하는 주된 목적도 다품종의 제품을 단담기로 생산하는 데에 있기 때문에 제조 시스템 배치에 있어서 MLT의 고려는 정당화 될 수 있다.

Wacker는 하나의 부품에 대한 생산 리드 타임을 아래와 같이 정의하였다.<sup>[2]</sup>

$$MLT = T_s + T_p + T_h + T_w$$

$T_s$  : Setup Time

$T_p$  : Processing Time

$T_h$  : Material Handling Time

$T_w$  : Waiting Time

전체 제조 리드 타임은 모든 부품에 요구되는 모든 공정을 끝마치는데 요구되는 총 시간이라고 할 수 있다. 즉 전체 제조 리드 타임은 가장 긴 MLT를 가지는 부품의 MLT와 같다.

셀업 타임을 줄이기 위해서는 자동 공구 교환 장치를 사용하거나 설계나 제조상의 유사성을 가지고 있는 부품끼리 그룹을 지워 같은 기계에서 가공되게 하는 식으로 줄일 수 있다. 공정 시간 단축은 기계의 가공조건을 변화 시키거나 더 빠른 가공이 가능한 대체 공정을 채택함으로써 얻을 수 있다. 물류 취급 시간을 단축시키기 위해서는 부서의 인접성과 부품의 라우팅 거리를 최소화 하거나 부서와 기계를 배열하는 식으로 접근 할 수 있다. 셀업 타임과 공정 시간은 설비 배치 문제를

푸는 것으로 해결 할 수 있는 문제가 아니므로 물류 취급 시간과 대기 시간을 동시에 줄이는 것이 전체 제조리드 타임을 감소 시키는데 필요하다.

## 3. 유전 알고리즘에 의한 셀 배치 계획

위에 제시된 설비배치 문제 해결을 위한 플로우를 두 부분으로 나누어 보면 a) 셀 안에서의 기계배치 b) 생산 시스템 안에서의 셀들의 배치로 나누어 볼 수 있다. 이를 각각 구현할 때

- 1) 플로우 라인을 가능한 한 직선이 되게
- 2) 셀 안(셀 간)에서의 시뮬레이션 결과 생산물이 최대가 되게
- 3) 가공되는 부품들의 이동거리가 위 조건을 만족시키면서 가능한 짧게 해야 한다.

불규칙한 부서의 형태는 불규칙한 통로를 의미하기 때문에 능률적이고 효과적인 세부형태를 설계하는 것을 불가능하게 한다. 일반적으로 효율적인 자재의 취급과 다른 이유(운반상의 문제 및 비상시의 대피 등)로 주통로는 최소의 이동, 최소의 회전, 최소의 급커브로 설비내의 모든 부서와 매끄럽게 연결되어야 한다. 이를 위해서는 해탐색 루프 내에 블록경계를 되도록 직선이 되게끔 배열하는 휴리스틱이 포함되어야 한다.

두 번째의 목적을 달성하기 위해 해탐색 루프 내에 시뮬레이션 모듈을 포함 시킬 필요가 있다. 생산계획이나 부품 도착에 관한 이력 데이터를 사용할 수 있다면 이를 입력으로 받은 후 이에 따라 현 배치에 따른 시뮬레이션을 통해 생산물을 알아내게 된다.

세 번째 목적을 달성하기 위해서 라우팅 정보와 기계의 2 차원 좌표를 이용하여 기계 사이 (혹은 부서 사이)의 최소 통로 거리만큼만을 띄우고 전체적인 부품들의 이동거리가 최소가 되도록 배치한다. 배치과정은 처음에 배치순서 상 최우선에 있는 두 대의 기계(부서)를 배치하는데 이는 할당된 공간의 정 중앙에 배치한다. 그 다음 세 번째 기계(부서)는 앞서 배열되었던 두 개의 기계(부서) 중 가장 큰 인접도를 갖는 것과 가까이 배치 한다. 인접도는 각 부품의 생산 수량과 부품 라우팅을 기반으로 작성된 From-To 차트와 물류취급 난이도를 나타낸 가중치표를 기반으로 평가된다 (Table 1). 만약 배치 오더가 (A, B, C, D, E) 이고  $C \ni (A, B)$ ,  $D \ni (A, C)$ ,  $E \ni (B, D)$  일때의 배치 오더를 살펴보면, A 와 B 는 주어진 공장면적의 중앙에 배치된다. 그 다음 C 를 배치할 때 C 가 A 와 B 와 가지는 인접도를 고려하여 인접도가 높은 쪽으로 C 의 중점이 위치 하도록 배치한다.

이 때 A의 직사각형의 4개의 꼭지점은 배치의 시작점이 되는 후보 성장점으로 한다. 하나의 후보 성장점에서는 4개의 성장방향이 있고 결과적으로 하나의 부서에 다른 부서가 부착될 가능성은 16가지가 된다. 만약 4개의 점 이외에 다른 점을 중심으로 배치의 시작점을 잡게 되면 두 부서 사이의 중점은 조금 가까워 질 수도 있지만 주 통로를 직선으로 유지하기 힘들고 통로가 여러 군데에서 꺾이게 되므로 좋은 설계가 나오기 힘들다.

Table 1. An Example of a From-To Chart

Department	Area (m <sup>2</sup> )	Processing Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Entry	100	30	440	180					270	
2 Miller	26	25		45					50	
3 MC	15	45			215					
4 Turnang	30	67							391	
5 Grander	50	27							300	300
6 Worktable	30	58							270	503
7 Drill	25	44								320
8 Depart	100	12								

유전 알고리즘에서 염색체는 (2 1 3 4 5 8 6 7) 과 같이 배치가 이루어지는 순서를 설정된 세대 수만큼 임의로 만들고 이 배치 순서에 따라 앞서 언급된 배치 휴리스틱을 이용하여 배치를 수행한 결과를 가지고 적합도를 평가하게 된다. 적합도 평가는 아래의 식과 같이 이루어진다. 여기서  $M$  은 From-To 차트에서의 물동량에 취급 가중치를 곱한 값이고  $D$  는 주어진 배치에서 각 라우팅을 구성하는 거리이다.

$$F = \sum_{i=1}^{pop\ size} \left( \sum_{j=1}^{part\ num} M_j \sum_{k=1}^{route\ num} D_{jk} \right)$$

이러한 과정을 해를 찾아가는 GA 세대의 모든 염색체에 대해서 수행하게 된다. GA의 모든 염색체는 한 번의 반복 루프가 끝나면 적합도 판정 함수에 의해 다음 세대로 전달되어질 우성의 염색체를 선택해서 매 세대마다 바뀐다. 또, 시뮬레이션 정보를 이용하는데 필요한 기초 데이터가 마련되어 있지 않은 경우에는 아래와 같은 적합도 판정 함수를 사용할 수 있다.

$$F = \frac{\mu_{i-generation} - \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \mu_{i-random}}{\sigma_{\mu-random}} + \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n C_{i-random} - C_{i-generation}}{\sigma_{d-random}}$$

$$\sigma_{\mu-random} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (\mu_{i-random} - \mu_{i-generation})^2}$$

$$\sigma_{d-random} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (C_{i-generation} - C_{avg-random})^2}$$

여기서  $\mu_{i-generation}$  은 현재 유전 알고리즘 세대를 대상으로 시뮬레이션을 통해 구한 생산 시스템의 생산물을 나타내고  $\mu_{i-random}$  은 모집단에서 임의로 n 개 만큼 추출한 배치를 대상으로 시뮬레이션 하여 나온 생산물이다.  $C_{avg-random}$  은 모집단에서 임의로 추출한 배치의 요소 (기계 혹은 셀)들을 거쳐 가공되는 부품들마다 계산한 이동거리 × 생산량의 합이고  $C_{i-generation}$  은 현재 유전 알고리즘 세대에서의 요소들을 거쳐 가공되는 각각의 부품들마다 계산된 이동거리 × 생산량의 합이다. 적합도 함수의 앞부분은 생산물과 무관위로 n 개 추출한 배치를 시뮬레이션 하여 얻은 평균 생산물과의 차를 표준화한 것이다. 이 차가 양의 값을 가지면서 크게 되면 알고리즘의 적합성이 높아지고 이 세대의 유전자가 다음세대로 상속될 확률은 높아지게 된다. 적합도 함수의 뒷부분은 시뮬레이션으로 얻은 배치들에서 각 배치에서 부품들이 이동해야 하는 거리들의 평균과 배치 휴리스틱에 따라 배열된 현 세대의 배치에서 생산 부품들이 이동해야 하는 거리의 총 합과의 차이이다. 기존의 설비를 개선할 목적으로 본 연구가 이용될 경우, 기존의 설비를 시뮬레이션한 값이 무작위 추출로 시뮬레이션한 값을 대체할 수 있다.

본 연구에서 사용된 교배방법은 유전 알고리즘 이론 중 짧고 낮은 차수의 고성능 스키마타의 방법을 통하여 근사 최적 성능을 추구한다는 구성부 가설을 응용하여 설계되었다.

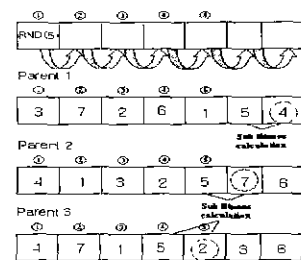


Fig. 1 An example of gene selection for sub fitness evaluation.

TSP(Traveling salesman problem)나 이와 유사한 순열 문제 해결에 있어서 교배나 돌연변이에 의해 부모 유전자의 염색체 정보가 쉽게 파괴될 가능성이 크기 때문에 이를 방지하기 위해 일반적인 방법과는 다른 교배 방법이 사용될 필요가 있다. Fig.1에 나타낸 바와 같이, 본

알고리즘에서는 임의로 선택된 유전자가 두 부모 염색체들에서 차지하는 위치의 바로 뒤의 유전자들을 채워하여 이들의 부분 적합도를 평가하여 가장 좋은 적합도를 가지는 유전자를 취하는 식으로 자식 염색체를 생산해 낸다.

부분 적합도는 선택된 유전자와의 물류량이 가장 많고 거리 차가 작은 부모 유전자가 선택된다. 이런 식으로 부모 염색체의 형질이 자식에게 유전된다.

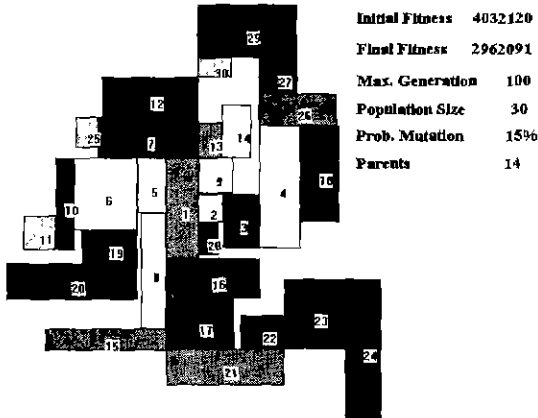


Fig. 2 Block representation of the best layout with the proposed method

Fig. 2 는 제안된 알고리즘으로 총 염색체수 20 개 돌연변이 확률 15% 세대당 14 개의 부모 염색체의 조건으로 알고리즘을 수행 했을 때의 결과이다.

#### 4. VR 기술을 이용한 셀 구성과 셀 배치 시스템

생산 시스템 설비 계획은 각 분야의 다양한 요구와 제약 조건들을 고려해 기계를 배치해야 한다. VR(Virtual Reality)기술은 최소의 시간과 경비를 들여 설계자로 하여금 다양한 설계 선택을 경험할 수 있게 해준다.<sup>[1]</sup> 일반적으로 설비 배치문제를 해결함에 있어서 이론적인 이슈만을 따로 떼어내어 고려하는 것은 의미가 반감된다. 그 이유는 다양한 분야의 많은 조건들을 만족시켜야 하기 때문에 컴퓨터가 출력한 배치안을 설계자의 관여 없이 실제 설계에 적용하는 것은 현실적으로 맞지 않기 때문이다.

Fig. 3 은 현재 개발 중인 시스템으로 3 차원 모델링 기능, 자체 장면 DB 를 이용한 객체의 생성, 수정, 삭제가 가능하다. 부품의 라우팅 정보는 각

기계를 연결하는 다른 색깔의 흐름선으로 표시되어 설계자에게 보다 직관적인 정보를 제공 할 수 있으며, 또한 최적 배치 모듈의 기본 자료로 쓰이는 가중치 표, From To 차트를 작성 할 수 있는 기능이 탑재 되어 있다. 또한 생산 시스템 요소들의 구성이 부모 자식 관계를 갖는 트리 형식으로 표현되어 중요 구성 부품에 대한 질의 응답이 모델링 화면과 구성도를 통하여 필요에 따라 설정 될 수 있다. 이 모듈은 차후 최적 배치 모듈과 통합되어 질 예정이다. 통합 시스템에 대한 전체적인 구조도가 Fig. 4 에 도시 되어 있다.



Fig. 3 A screenshot of the system being developed

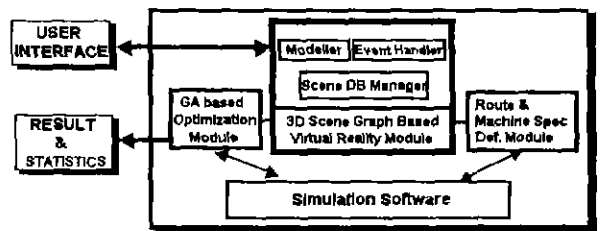


Fig. 4 Integrated framework for the design of manufacturing system

설비 배치는 정성적인 요소와 정량적인 제약조건을 모두 만족해야 한다. 설비 배치의 정량적인 측면은 자재흐름의 최소화, 가공 대기 시간의 최소화 등의 문제가 있을 수 있고, 정성적인 문제는 안전문제, 기술적인 제약조건과 다른 내부 의존성에 기인하여 생긴다. 정성적인 측면과 정량적인 측면은 종종 충돌하게 되는데, 이는 이론적인 접근 방식으로는 해결하기가 어렵다. 예를 들어 위험물 저장 부서와 용접 부서가

인접하여 있을 경우 물류 흐름 비용은 줄어들 수 있다고 하자, 그러나 안정성을 고려한다면 이는 있을 수 없는 경우가 된다. 이러한 경우는 양측의 제약조건을 적절히 타협 시킬 수 있는 전문가의 개입이 필요하게 된다. VR 기술은 시설 투자에 대한 결정권자로 하여금 필요한 데이터에 더욱 쉽게 접근할 수 있게 해 준다.

의사 결정을 내리기 위해서는 자료 수집, 가공 과정, 그리고 시뮬레이션을 통한 데이터를 수집과 대안 개발, 대안 평가 과정이 만족할 만한 결과를 얻을 때 까지 반복 수행되게 된다. 신제품 개발이나 생산 확장에 따른 새로운 설비배치가 요구될 경우 혹은 기존 설비 배치에 수정을 가해야 할 경우 통상적으로 의사결정자는 시뮬레이션 프로그래머에게 새로운 레이아웃과 이에 대한 시뮬레이션 결과를 요구한다. 새로운 디자인을 시험에 보기 위해서 배치계획자가 설계한 계획은 시뮬레이션 프로그래머에게 전달되고 프로그래머는 테스트를 거쳐 필요한 각종 데이터를 수집하게 된다. VR 기술을 배치 문제 해결에 통합시키면 이러한 초기 쉘업 단계 이후의 배치 개발에 관련된 기술자들의 역할을 경감시킬 수 있다.

본 연구에서는 VR 표현을 위해서 3 차원 장면 그래프 기반 라이브러리를 Visual C++ 와 OpenGL 라이브러리를 이용하여 개발하였다.

## 5. 결 론

설비 배치 계획은 제품의 설계와 더불어 생산 활동의 계층에 상위 단계에 속하는 활동 영역이다. 그러므로 설비 배치의 결과는 하위 단계의 제조활동에 큰 영향을 주게 되며, 이는 곧 제품의 품질과 납기에 영향을 주게 된다.

본 논문에서는 효과적인 설비 배치를 위해서 물류 이동 비용과 생산 시스템의 운전특성을 나타내주는 여러 지표들을 동시 공학적으로 고려한다. 즉, 물류비용 감소와 생산률 향상이라는 두 가지의 목적을 달성 하기위한 이론적 접근을 시도하고 아울러 설비 배치에 있어서의 정성적인 특성을 이론적 이슈들과 조화시킴으로써 실제 현장에서 사용 가능한 배치안을 빠르게 만들어 낼 수 있는 방법을 제시하고 구현하였다.

## 참고문헌

1. Viswandham, N. and Narahari, Y., "Performance Modelling of Automated Manufacturing Systems",

Prentice-Hall, 1992

2. Wacker, J. G., "A theoretical model of manufacturing lead times and their relationship to a manufacturing goal hierarchy", *Decision Sciences*, No 27, pp. 483-517, 1996.
3. Robert P. Smith and Joseph A. Heim, "Virtual facility layout design: the value of an interactive three-dimensional representation", *International Production Research*, Vol. 37, No. 17, pp.3941-3957, 1999.
4. Tam, K. and Chan S., "Solving facility layout problems with geometric constraints using parallel genetic algorithms: experimentation and findings", *International Production Research*, Vol. 36, No. 12, pp. 3253-3272, 1998.
5. Salum L., "The cellular manufacturing layout problem", *International Production Research*, Vol. 38 No. 12, pp.1053-1069, 2000.
6. James A. "Facility Planning", *John Wiley & Sons, Inc.*, Second Ed.. pp.283-380, 1996.
7. Dornald C. Kerr, "Manufacturing cell formation using spreadsheets", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 16 No. 9, pp.60-73, 1996.