한국전산구조공학회
1999년도 봄학술발표회 논문집

임의 형상 부재의 최적배치 및 절단 경로 최적화에 관한 연구

A Study on the Optimal Allocation of Irregular Shapes and Cutting Path Optimization

한 윤 근* 장 창 두**
Han, Yun-Keun Jang, Chang-Doo

ABSTRACT

This paper describes a new algorithm for irregular shapes allocation (known as nesting) and cutting path optimization, both implemented in PC-based software with graphic user interface (GUI). Main characteristic of the nesting program is that it deals with only vertices of placed pieces to reduce calculation time and for effective allocation. And the other characteristic of the nesting program is that every parts are grouped with respect to their areas and placed along the column of placement region. The cutting paths can be determined by an optimization method called simulated annealing. It was shown that the developed code is superior to other previous nesting programs in elapsed time and waste ratio.

1. 서론

조선 공업, 자동차 산업, 의류 산업 등 판재 소모를 다루는 분야에서 부재의 최적 배치 알고리즘(Nesting Algorithm)은 생산 규모의 확대에 따라 매우 중요시되고 있다. 특히 조선소에서의 네스팅 업무는 설계와 생산을 연결해 주고 강재 소모량의 산정 및 구매 등과도 밀접한 관계를 가지고 있어 그 비중 및 파급 효과가 매우 크다. 강판을 복잡한 형상으로 절단하여 부재를 생산하는 조선 공업의 경우, 네스팅 작업은 제조 공정 중 노동력이 많이 소요되는 작업이며 자재비와도 직결된다. 또한 선박 생산 공정에 있어서, 네스팅 작업은 설계 정보를 생산 정보로 변환시켜주는 역할을 하므로 조선소의 생산성 향상을 위하여 절단 부재의 배치뿐 아니라 선체 설계, 자재 관리, 생산 계획, 절단 장비, 절단 공정 등 많은 사항이 함께 고려되어야 한다. 네스팅이 수작업으로 이루어질 경우, 숙련자 양성과 활용을 위한 인건비 부담 뿐 아니라, 설계에서의 형상정보를 곧바로 NC기계로 입력하지 못하고 배치를 위한 수작업 단계를 거쳐야 되므로, 작업의 지연과, 오류 발생 확률이 높아지게 된다. 조선 분야의 경우 그 부재 형상의 복잡성과 다양함, 절단 공정 고려 등으로 인해 자동 네스팅의 적용이 어려우며 자동 네스팅이 도입되었다 하더라도 숙련자의 수작업에 비해 효율이 떨어지는 실정이다. 따라서 PC급 컴퓨터에서 사용하기 편하고 조선소의 설계/생산 공정과 강판 절단용 NC 기계에 적합한 네스팅 시스템을 개발하여 절단 자동화에 효율적으로 활용할 수 있도록 하는 일이 시급하다. 본 연구에서는 새로운 배치 알고리즘과 절단 경로 생성 알고리즘을 개발하고 이를 시스템으로 구현하고자 한다.

* 서울대학교 조선해양공학과 박사과정
** 서울대학교 조선해양공학과 교수

2. 관련 연구 동향

1960년대 후반부터 연구되기 시작한 Nesting 알고리즘은 여러 가지 방향으로 발전되어 왔다. Adamowicz 와 Albano[1]는 No-Fit-Polygon 알고리즘을 개발하였는데 이 방법에서는 NFP를 구하는 것이 매우 어렵고 이동 부재의 방향(orientation)을 미리 예측하여 정해야하는 어려움이 있다. Albano 와 Sapoppo[2]는 한 형상이 이미 고정된 형상들과 겹치지 않으면서 고정될 수 있는 모든 가능한 위치로 움직여 나갈 때 형상의 기준점이 지나는 영역을 배치영역으로 정의하여 이 배치 영역 내에서 버림이 가장 작은 경우를 택하여 배치하는 알고리즘을 개발하였다. LEE[3]는 같은 모양을 가지는 형상들에 대해서만 다루었으며, Sharatislani 와 Terrysanders[4]는 직사각형 형상에 대하여만 알고리즘을 개발하였다. Albano[5]는 Rectangular Enclosure 라는 개념을 도입하여 궁극적으로 NFP 알고리즘과 직사각형의 배치 알고리즘을 혼합한 알고리즘을 개발하였다. 직사각형을 포함한 불규칙한 형상의 배치에 대한 연구는 초기에는 형상들을 직사각형으로 근사한 후, 배치를 시도하는 방향으로 이루어졌다. 그러나 이 방법은 직사각형과 차이가 많이 나는 복잡한 형태의 부재가 많아질수록 배치 효율이 떨어지게 되어서 실제 공정에 적용할 가능성을 보여주지는 못했다. 최근에는 부재들간의 중첩이 발생하는 해를 허용하는 Simulated Annealing이나 유전자 알고리즘 기법이 많이 사용된다. Ismail과 Hon[13]는 유전자 알고리즘을 이용하여 2개의 부재를 배치하는 방안을 제시하였고, Jakobs[14]는 유전자 알고리즘과, Bottom-left 방법을 이용하여 직사각형의 부재들의 최적 배치 문제를 해결하는 방법을 제시하였다.

3. Nesting 작업의 성격 정의

배치 알고리즘은 산업에 따라 제약조건과 목적함수가 다른 경우가 대부분이다. 목재와 유리절단의 경우 guillotine-type cut을 고려하여야 하고, 섬유 산업의 경우에는 옷감 무늬의 방향을 고려하여야 하는 등 배치 조건을 다르게 고려하여야 한다. 본 연구에서는 조선소에서 사용할 수 있는 알고리즘을 개발하기 위해 다음을 조건을 고려하였다

- 부재 절단을 위한 다수의 사각형 모양(또는 임의 형상) 원판재 정의
- Multi-Plate에 배치 가능
- 임의 형상 부재들의 배치
- 배치된 부재가 서로 겹쳐짐이 없어야 함.
- 부재간의 간격을 일정량 이상 유지
- 배치된 면적의 최소화, 즉 원자재의 최대 활용

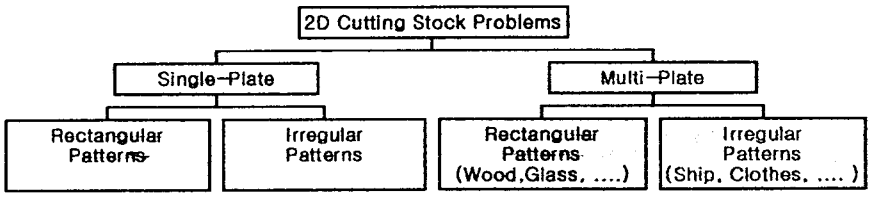

Fig.1 Classification of nesting problems

4. 최적 배치와 절단 경로 생성 알고리즘

4.1. 최적 배치 알고리즘

본 연구에서는 배치할 부재의 이동방향과 이동량을 효과적으로 제어하기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하였다.

- 부재의 꼭지점을 이동 기준점으로 한다.
- 이동 기준점에서 부재를 배치된 부재의 변을 따라 이동시켜 겹침이 일어나지 않게 한다.
- 이미 배치된 부재가 내부 홀(hole)을 갖는다면 내부 홀의 꼭지점이 외변의 꼭지점보다 우선적인 이동 기준점이 된다.

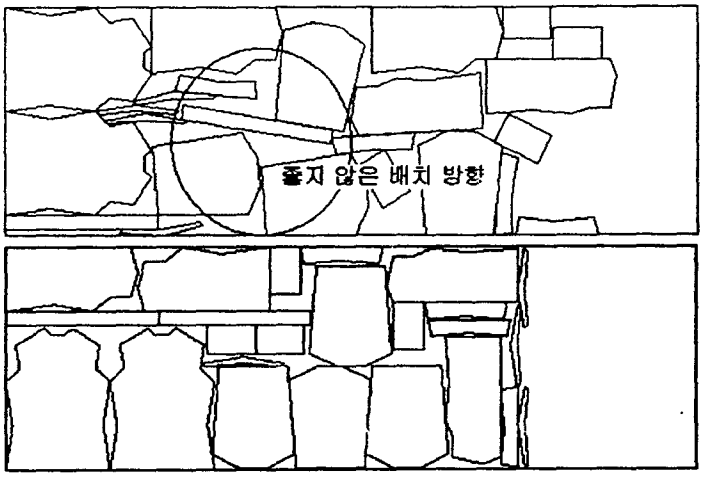

Fig.2 Comparison of results according to part rotation angle

우선 배치될 부재의 vertex(배치 기준점)를 이미 배치된 부재의 vertex(이동 기준점)에 위치시킨다. 최적의 위치를 구하기 위해 이미 배치된 부재의 edge 방향으로 이동한다. 이 경우 몇몇 논문에서는 부재의 회전 방향을 결정하기 위해 이미 배치된 부재의 edge 또는 각 부재 배치 후 update된 판재의 edge 방향과 맞대도록 하였는데 이 경우 Fig.2 에서 볼 수 있듯이 기울어진 방향의 배치가 발생할 경우가 많다. 본 연구에서는 부재를 둘러싸는 최소의 사각형을 기준 방향으로 하여 90°식 회전하였다. 또한 탐색 영역의 수를 줄이기 위하여 convex vertex 만을 배치 기준점으로 택하였다.

일반적으로 최종 배치 형상은 큰 부재들의 배치 결과에 의존한다. 크기가 작은 부재들은 큰 부재들 사이에 잘 배치되므로 전체적인 배치에 크게 영향을 미치지 않는다. 따라서 본 연구에서는 면적에 따라 부재를 두 그룹으로 나누고 큰 부재 그룹을 먼저 배치하였다. 큰 부재 그룹의 최적 배치를 위하여 다음과 같은 방법(컬럼 네스팅)을 사용하였다. 한 부재가 배치되고 난 후 다음 배치될 부재는 지금까지의 배치된 영역(x 방향 기준)을 넘지 않고 배치될 수 있는 가장 큰 부재를 배치한다. 이 영역에 더 이상 배치될 부재가 없으면 남은 부재 중 가장 큰 것을 배치한다. 이 방법은 면적순 배치에 완전한 backtracking 가능성을 부여한 것은 아니지만 약간의 backtracking 가능성을 더해 준다. 컬럼 네스팅으로 배치한 결과와 면적순으로 단순 배치한

결과를 비교하면 Fig.3 과 같다.

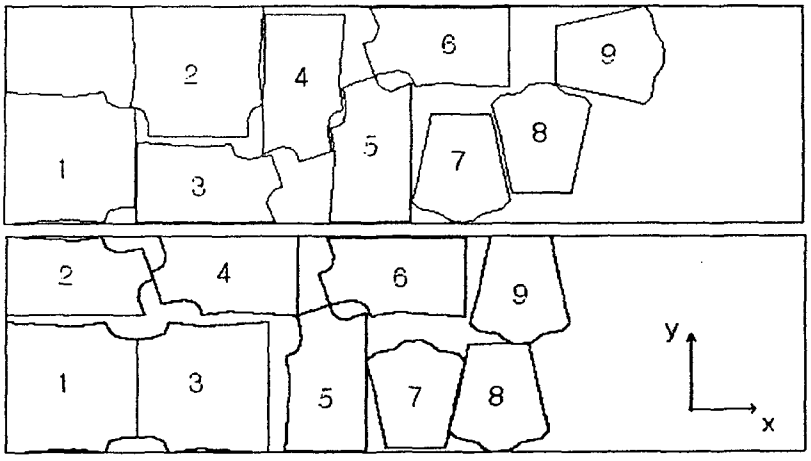

Fig.3 Comparison of simple nesting and column nesting

실제 부재들을 배치할 때는 NC 절단시의 열에 의한 찌그러짐 현상을 방지하기 위해 철판의 손실량을 고려하여 부재들이 일정 간격이상을 유지하여야 한다. 본 연구에서는 이를 고려하기 위하여 부재를 일정량 확장시켜 부재간의 간격을 유지하였다.

4.2. 최단 절단 경로 생성

절단 토치의 최적경로 생성은 생산에 있어서 시간 및 인건비를 줄일 수 있는 중요한 인자이다. 본 연구에서는 내부 홀(inner hole)을 포함하는 불규칙적인 부재들이 배치되어 있는 2차원 판재 위에서 최소의 거리를 가지는 토치 경로를 생성하기 위해 SA 알고리즘을 도입하여 전역해를 구하고자 하였으며, 이를 위해 효과적인 이웃해(neighborhood solution)의 생성법과 어닐링 스케쥴(annealing schedule)을 적용하였다. 본 논문에서는 우선 열변형에 따른 부재의 이동문제를 반영하여 내부 홀에 배치된 부재, 내부 윤곽, 외부윤곽 순으로 절단하도록 하였으며, 부재의 절단방향은 모두 반시계 방향으로 가정하였고, 내부 윤곽의 절단 방향은 시계방향으로 하였다. 토치경로의 문제를 단순화시키기 위해 피어싱점을 고정시켜 토치경로를 결정하는 연구들이 많았으나 본 논문에서는 최적화과정에서 부재의 모든 convex vertex들이 피어싱점으로 채택될 수 있도록 하였다.

5. 결과

5.1 네스팅 결과

본 연구에서 개발된 프로그램은 PC상의 Windows 95/NT에서 운용되고 C++로 작성 되었으며 Borland C++ Builder를 사용하여 GUI를 구현하였다. 시스템은 부재입력 모듈, 최적배치 모듈, 절단경로 생성 모듈, 출력 모듈의 네 가지로 구성되었고 부재 입력시에는 DXF File 포맷과 본 시스템에서 사용하는 SHP File 포맷(부재의 빠른 생성을 위한 ASCII Format 형식)을 사용하여 작성된 부재들을 입력받는다. 생성된 부재와 원판재로 배치를 수행하고 이 결과를 출력하거나 절단 경로를 생성한다. Fig.4, Fig.5 는 직사각형 부재의 배치 결과와 Hole을 갖는 부재의 배치 결과를 보여준다. 부재들 간의 간격은 사용자의 선택에 따라 이루어진다.

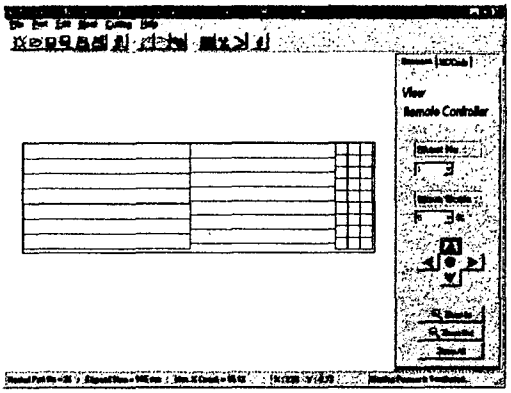

Fig.4 Nesting of rectangular shape parts

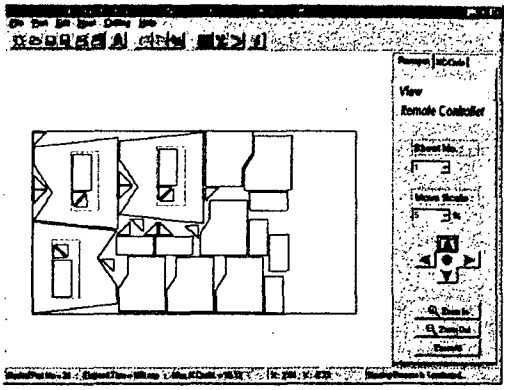

Fig.5 Nesting of parts with hole

Table 1 에 Albano[2]와 삼성 물산 LECTRA SYSTEM[10]의 예제를 본 연구에서 개발한 프로그램과 상용 프로그램인 NestLib(Ver.7.0 : 인도)로 비교해 보았다. Table 1 에 의하면 본 프로그램의 결과가 버림률 면에서 가장 우수하다는 것을 알 수 있다. Fig.6 과 Fig.7 에 본 연구의 배치 결과가 나타나 있다.

Table 1 Nesting result of example parts

	24 Part 배치		36 Part 배치	
	used length / sheet length	waste ratio(%)	used length / sheet length	waste ratio(%)
Albano	photocopy	27.20, 17.70	-	-
LECTRA	-	-	photocopy	23.00
NestLib	16.292 / 20.00	21.11	18.78 / 20.00	18.26
본 연구	15.12 / 20.00	14.99	18.10 / 20.00	15.18

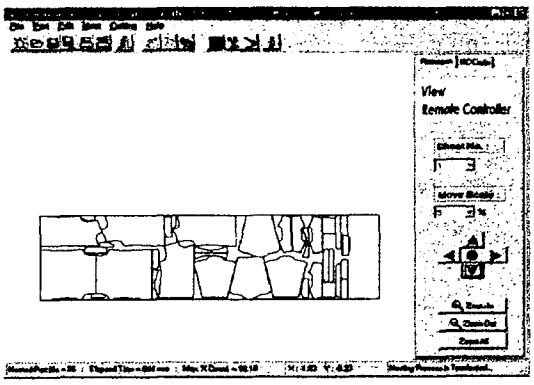

Fig.7 Nesting of 36 part example

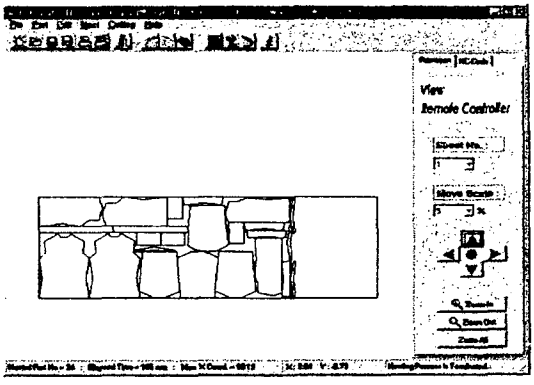

Fig.6 Nesting of 24 part example

5.2. 절단경로 자동생성 결과

본 논문에서 제시한 알고리즘은 확률론적인 방법을 채택하고 있으므로 기존의 결정론적인 탐색법에 비해 전역해에 도달할 수 있는 가능성이 높다. 토치 경로 문제와 같은 대규모 최적화 문제를 효과적으로 해결하기 위하여 효율적인 이웃해의 생성방법을 도입, 적용하였으며 부재의 절단 순서뿐만 아니라 피어싱점의 위치까지 탐색할 수 있도록 하였다. Fig.8 에 생성된 절단 경로를 나타내었다. 본 연구에서 생성된 토치 경로는 절단가공을 위한 CNC 프로그램으로 효율적으로 변환될 수 있으리라 사료된다.

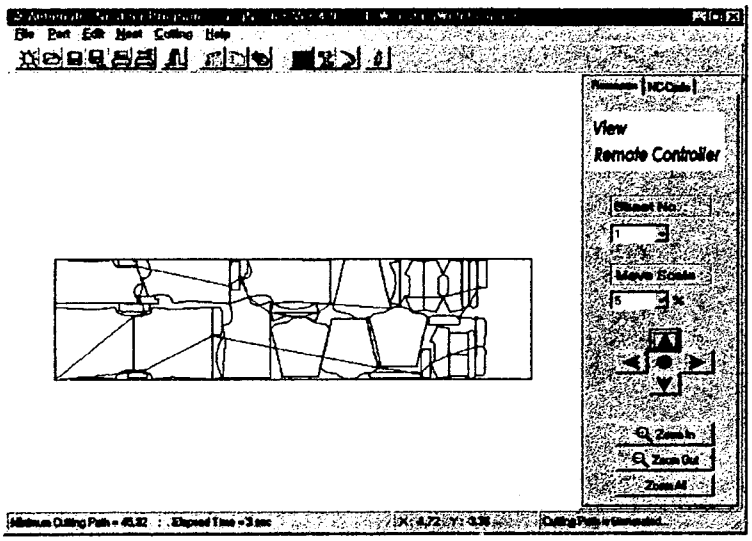

Fig.8 Cutting path generation

6. 결론 및 기대효과

본 연구에서는 새로운 배치 알고리즘과 절단 경로 생성 알고리즘을 개발하고 이를 시스템으로 구현하였다. 개발된 네스팅 프로그램은 GUI를 사용하여 사용자의 편의를 도모하였고 각 부재의 꼭지점만을 부재의 이동 기준점으로 택함으로써 계산 시간을 단축시켰으며 부재를 두 그룹으로 나누어 칼럼 네스팅 기법을 사용함으로써 효율(버림률)을 크게 향상시켰다. 또한 절단 경로 생성 프로그램은 SA 알고리즘을 도입하여 전역해를 구하고자 하였으며, 최적화 과정에서 부재의 모든 convex vertex들이 피어싱점으로 채택될 수 있도록 하여 고정된 피어싱점을 사용하는 알고리즘에 비해 개선된 공구 경로를 생성하였다. 현장에서 사용하기 위해서는 각 현장 실정에 맞는 데이터 생성, 저장 등 많은 개선이 뒤따라야 하겠지만 예제를 통하여 다른 알고리즘과 비교한 결과 본 프로그램의 효율성을 입증한 것으로 사료된다. 본 연구 결과를 실제 조선소에서 적용할 때 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

- 수율 향상 및 오작 방지
- 강재 발주 단계에서 판재 소모량의 정확한 예측
- 강재 발주 기간 단축
- 업무 FLOW의 단축 (형상 정의 후 바로 Nesting 가능)
- 인력 운용 효율 증가

특히 강재 발주 단계에서의 판재 소모량의 정확한 예측은 조선소 업무 중 많은 시간과 인력을 필요로 하는 작업이므로 최적 배치 알고리즘 적용으로 큰 효과를 얻을 수 있을 것이다.

7. 후기

본 연구는 서울대학교 발전기금 일반학술연구비 지원 과제로 수행되었으며, 이에 관계자 제위께 감사드립니다.

8. 참고 문헌

[1] M.Adamowicz and A.Albano, Nesting Two-Dimensional Shapes in Rectangular Modules, Computer Aided Design, Vol.8, No.2, April 1976.
[2] A.Albano and G.Sapuppo, Optimal Allocation of Two-Dimensional Irregular Shapes Using Heuristic Search Method, IEEE Trans. Syst., Man and Cyber., Vol.SMC-10, No.5, May 1980.
[3] A.Y.Nee, Computer-Aided Nesting of Similar Blanks, Manufacturing Engineering Technical Paper, MS83-925, 1983.
[4] S.Israni and J.Sanders, Two-Dimensional Cutting Stock Problem Research : A Review and a New Rectangular Layout Algorithm, Journal of Manufacturing Systems, Vol.1, No.2, 1982.
[5] M.Adamowicz and A.Albano, A Solution of The Rectangular Cutting Stock Problem, IEEE Trans. Syst., Man and Cyber., Vol.SMC-6, No.4, April 1976.
[7] Haims,M.J. and H.Freeman, A Multistage Solution of the Cutting Stock Problem, IEEE Transactions on System Science and Cybernetics, Vol.SSC-6, No.4, 1970.
[8] A.Y.C.Nee, Computer Aided Layout of Metal Stamping Blanks, Proc. Instn, Mech. Engrs., Vol.1988, No.10, 1984.
[9] 한윤근, "판재 소모의 최소화를 위한 부재의 최적 배치 알고리즘에 관한 연구", 서울대학교 대학원, 석사학위논문, 1993.
[10] 방기범, "판재소모를 최소화하는 이차원 형상의 최적배치", 서울대학교 대학원, 석사학위논문, 1990.
[11] Grinde, R. B and Cavalier, T.M, "A new algorithm for the minimal-area convex enclosure problem.", European Journal of Operation Research, Vo.84, pp.522-538, 1995.
[12] Dowsland, K.. A and Dowsland, W.B, "Heuristic approaches to irregular cutting problems.", Working Paper EBMS/1993/13. Europeaan Business Management School UC Swansea, UK., 1993.
[13] Ismail, H. S and Hon, K. K. B, "New approaches for the nesting of two-dimensiional shapes for press tool design", International Journal of Production Research, Vol. 30, No.4, pp.825-837, 1992.
[14] Jakobs, S, "On genetic algorithms for the packing of polygons.", European Journal of Operation Research, Vo.88, pp.165-181, 1996.
[15] Dagli, Chan H., and Tatoglu, M. Y., "An approach to two-dimensional cutting stock problems", International Journal of Production Research 21/2, 175-190, 1987.
[16] 한국찬, 나석주, "A Study on Torch Path Generation for Laser Cutting Process", 대한기계학회논문집, 제20권 제6호, pp.1287~1835, 1996