

2차원 공간에서의 휴리스틱 배치 알고리즘 및 구현에 관한 연구

양성모*, 임성국*, 고석호*, 김현정*, 한관희**

A Study and Implementation of the Heuristic Autonesting Algorithm in the 2 Dimension Space

Sung-Mo Yang*, Seong-Kook Lim*, Seok-Ho Ko*,
Hyeon-Jeong Kim* and Kwan-Hee Han**

ABSTRACT

In order to reduce the cost of product and save the processing time, optimal nesting of two-dimensional part is an important application in number of industries like shipbuilding and garment making. There have been many studies on finding the optimal solution of two-dimensional nesting. The problem of two-dimensional nesting has a non-deterministic characteristic and there have been various attempts to solve the problem by reducing the size of problem rather than solving the problem as a whole. Heuristic method and linearization are often used to find an optimal solution of the problem. In this paper, theoretical and practical nesting algorithm for rectangular, circular and irregular shape of two-dimensional parts is proposed. Both No-Fit-Polygon and Minkowski-Sum are used for solving the overlapping problem of two parts and the dynamic programming technique is used for reducing the number search space in order to find an optimal solution. Also, nesting designer's expertise is compiled into the proposed algorithm to supplement the heuristic method.

Key words : Autonesting, Layout, Minkowski-sum, No-Fit-Polygon, Optimization

1. 서 론

1.1 연구 배경

조선, 건설, 의류, 목재, 유리가공 산업 등 절단 공정이 필요한 산업에서는 원자재 및 시간의 효율적 사용을 위해 이 공정의 자동화를 위한 노력이 많이 진행되고 있다. 특히 사용 원자재가 고가이거나, 원자재 사용량이 증가될수록 원가를 줄이기 위해 부재의 최적배치를 위한 알고리즘의 필요성이 증대된다.

배치가 수작업으로 이루어질 경우에는 숙련자 양성에 상당 기간이 소요되고, 숙련자 활용을 위한 인건비 부담이 발생될 뿐 아니라, 속도 지연으로 인해 공정에 병목현상을 가져올 수 있는 위험요소가 존재한다. 또한 설계에서 형상정보가 CAD를 이용하여 컴퓨

터화된 자료로 저장되더라도 이를 곧바로 NC 기계로 입력하지 못하고 배치를 위한 수작업단계를 거쳐야 되므로, 작업시간이 길어지고, 오류의 발생확률도 높아지게 된다^[1]. 이와 같은 수작업의 불편함때문에 배치 문제의 자동화가 많이 연구되고 있지만, 기존의 많은 연구들이 숙련자들에 의해 얻어진 배치결과와 컴퓨터를 이용해 얻어진 배치결과를 비교해 볼 때, 원자재 사용 효율면에서 숙련자들의 작업 결과가 훨씬 우월하다는 것을 보여주고 있다^[2]. 이런 이유로 자동화 도구를 도입했다 하더라도 사용자가 자동화공정에 직접 개입, 배치 결과를 수정하는 경우가 많이 있다. 따라서, 효율적인 배치 알고리즘의 개발 및 시스템 구현 요구가 계속되어지고 있다.

1.2 연구 범위

본 연구에서는 현재까지 연구된 배치 알고리즘을 고

*대우정보시스템

**정회원, 대우정보시스템 기술연구소

찰하고, 수리적 알고리즘과 숙련자들의 전문지식을 이용한 알고리즘을 제시하고자 한다. 또한 이 알고리즘을 시스템으로 구현한 사례와 적용 사례 및 공정 개선 사례를 제시한다. 마지막으로 현업 적용에서 나타난 개선사항 및 향후 연구방향을 제시한다.

2. 기존 연구결과 고찰

2.1 배치 문제의 성격 정의

배치문제는 배치 공간에 따라 1차원, 2차원, 3차원으로 나누어 생각해 볼 수 있다.

1차원 배치는 길이만을 고려하는 경우로서, 일정 길이 안에 서로 다른 길이를 가진 부재들을 배치하는 문제인데, 특별한 수학적 접근법에 의존하지 않고도 동적 프로그래밍 방법등에 의하여 해결 할 수 있다.

3차원 공간에서의 배치는 창고, 컨테이너, 화물선등에서의 효과적인 물품적재에 관한 문제이다.

가장 활발히 연구되는 분야가 본 연구에서 중점적으로 다루길 2차원 공간에서의 배치문제로서, 원자재를 절단하여 부재를 만들어 사용해야 하는 조선, 목재, 기구 산업등에서 가장 광범위하게 나타나는 문제라고 할 수 있다. 2차원 공간에서의 배치문제는 사각형 모양의 판재에 일련의 다각형 부재(사각형 및 불규칙한 형상들 포함)들을 위치시키는 것으로 정의될 수 있다¹³⁾.

일반적으로 절단공정의 배치문제에서 작업자가 부टा치게 되는 상황은 다음과 같이 정리될 수 있다¹⁴⁾.

- 부재 절단을 위한 사각형 모양의 원자재
- 사각형 및 불규칙한 모양의 다각형을 포함하는 다양한 유형의 부재들의 생산 요구
- 배치된 부재가 서로 겹쳐짐이 없어야 함
- 원자재의 절약을 위해서 낭비되는 면적의 최소화 필요성, 즉 원자재의 최대한 활용

가족 산업에서는 자재 모양이 직사각형이 아닐 수도 있고, 산업별로 문제 성격이 약간씩 차이를 가질 수는 있지만, 일반적으로 배치 알고리즘이 해결하고자 하는 문제 성격도 위와 같다고 할 수 있다. 즉, 배치 알고리즘의 가장 중요한 목표는 부재들을 서로 겹쳐짐이 없이 정해진 원자재에 최대한 많이 배치할 수 있도록 하는 것이어야 한다.

자동배치 알고리즘이 얼마나 효과적인가 하는 점은 숙련자들의 수작업을 통해 얻어진 결과와 알고리즘을 이용 자동 배치된 결과를 비교함으로써 측정되어질 수 있다¹⁵⁾. 또한 자동배치를 위한 알고리즘의 효율성은 겹쳐짐이 없이 배치된 부재들의 총 면적이 직사각

형의 판재의 면적에서 차지하는 비중으로 평가되어질 수 있다¹⁶⁾. 그러나, 배치를 위한 효율적 알고리즘이 개발되었다 할지라도 현업 적용을 위해서는 추가적으로 고려할 사항들이 존재한다. 예를 들면 철강재 절단시 열변형 현상(Heat distortion)의 방지를 위해 부재사이에 여유공간을 뒤야 하고, 목재 절단은 나무의 결을 고려해야 하는 등 산업별로 제약조건과 목적함수가 달라져야한다. 따라서 모든 산업의 배치문제에 범용으로 적용가능한 알고리즘의 개발보다는 산업별로 다른 접근법을 시도하는 것이 더 바람직하다고 할 수 있다¹⁷⁾.

2.2 배치 알고리즘의 발전

최적 배치 문제의 초기 단계의 연구는 직사각형 배치 문제에서부터 시작되었다. 직사각형 배치 문제는 정수계획법을 이용한 해석적 접근이 가능하였고, 1970년대 초에 이미 이론적 완성단계에 이르렀다¹⁸⁾.

직사각형을 포함한 불규칙한 형상의 배치에 대한 연구는 초기에는 형상들을 직사각형으로 근사한 후, 배치를 시도하는 방향으로 이루어졌다¹⁹⁾. 그러나 이 방법은 직사각형과 차이가 많이 나는 복잡한 형태의 부재가 많아질수록 배치 효율이 떨어지게 되어서 실제 공정에 적용할 가능성을 보여주지는 못했다²⁰⁾.

직사각형을 이용하는 대신에 사용되어지는 방법이 3각형, 6각형, 등 Plane-tiling 다각형을 이용하는 방식이다. 이런 유형의 다각형들은 일정한 공간 안에 타일을 이어 붙이듯 빈틈 없이 배치할 수가 있다. 따라서 부재들을 가장 작은 면적의 Plane-tiling 다각형으로 근사시킨 후 배치를 시도하면 직사각형만을 이용하는 것보다 높은 효율을 얻을 수 있다^{17,21)}.

현재 대부분의 최적 배치소프트웨어들이 쓰고 있는 방식으로는 Adamowicz와 Albano(1976)에 의해서 제기된 다음과 같은 2단계 접근법을 들 수 있다.

1단계: 2개에서 3개의 배치될 형상들을 No-Fit-Polygon(이하 NFP)이라는 개념을 이용하여 중첩되지 않는 범위내에서 최대한 가까이 결합시키고, 이 형상을 둘러싸는 가장 작은 직사각형을 만든다.

2단계: 이 직사각형을 유희스틱한 방법이나, 해석적 방법을 이용하여 배치를 시도한다²¹⁾.

이 방법에서는 1단계에서 형상들을 가장 최소의 면적으로 결합시키는 알고리즘이 중요하다.

NFP이라는 개념을 이용하여 형상들이 서로 중첩되지 않고면이나 점을 맞대고 결합할 수 있도록 하는 방법 중 가장 대표적인 것으로 Minkowski's sum(이하 M-sum)을 들 수 있다¹⁹⁾. 이 방법은 형상간의 중

접여부의 판단이 가능할 뿐 아니라, 중첩을 해소하기 위한 방향 및 이동 거리의 제산을 가능하게 해 주기 때문에 계속적으로 두 개념의 결합을 통한 알고리즘의 개선방향이 연구되어지고 있다^{13,10)}.

2개의 다각형이 취할 수 있는 모든 방향과 위치를 고려한 NFP 중 가장 작은 면적의 외접 다각형(Minimal-area convex enclosure)을 구하고 이 모듈화된 다각형을 이용하여 배치를 함으로서 자체 사용의 효율을 향상시킬 수 있다¹¹⁾.

최근에는 1 단계에서 부재들간의 중첩이 발생하는 해를 허용하여 초기 배치 형태(Initial layout)를 얻고 2단계에서 작은 변화들을 발생시켜 이 형태를 항상시킴으로서 최종 결과를 얻어내는 2단계 접근법이 주목을 받고 있다. 여기서는 Simulated annealing 같은 휴리스틱 접근법이 많이 사용된다¹²⁾.

배치문제는 비결정성과 미분 불가능성의 특성을 갖기 때문에 최적해를 구하기가 쉽지 않다. 부재들의 배치 형태에 따라 다음 부재의 최적 위치가 정해지므로 배치 순서에 따라 수많은 국지해가 생기게 되고, 최적해에 도달이 불가능하게 될 수 있다. 따라서 국지해에 빠졌더라도 더 좋은 최적해로 탈출할 수 있는 Hill-climbing 능력이 필요하게 된다. 또한 과거의 해로 돌아가서 새로운 탐색을 시작할 수 있는 Backtracking능력이 필요하게 되는데 이 2가지 기능을 갖춘 최적화 기법으로 주목을 받고 있는 것이 Simulated annealing이다¹³⁾. 이 이론은 물리학에서 자연계 현상의 설명을 위해 제시되었는데 최적화 이론으로 응용가능성이 소개된 이래 국내에서도 조경호(1993), 한국찬(1996)에 의해 배치 최적화 방안으로 계속 연구되고 있다.

최근에 주목되고 있는 진화 알고리즘을 적용하려는 시도도 나타나고 있다. Ismail과 Hon(1992)은 유전자 알고리즘을 이용하여 2개의 부재를 배치하는 방안을 제시하였고, Jakobs(1996)는 유전자 알고리즘과, Bottom-left 방법을 이용하여 직사각형의 부재들의 최적 배치 문제를 해결하는 방법을 제시하였다.

최적 배치를 위한 알고리즘을 시스템으로 구현하기 위해 제일 중요한 조건은 합리적인 시간내에 컴퓨터를 이용한 제산이 가능한가 하는 점이다¹⁴⁾. 모든 부재의 배치 가능한 위치와 순서를 고려할 경우 최적해의 탐색공간이 무한히 커지므로, 이를 줄이기 위한 배치 정책(Placement policy)이 필요하다. 대표적인 배치 정책들로서는 면적, 길이등에 의한 부재들의 배치 순서 결정과 부재의 최초위치 결정에 관한 것들이 있다. 배치 순서 결정 시에는 한가지 순서만을 고려하는 약

점을 피하기 위해 배치 도중에 일정 기준에 의해 배치 순서를 변화시킬 수 있는 Backtracking기능 도입이 고려되어야 한다¹⁵⁾.

이런 정책외에도 숙련자의 지식들을 알고리즘에 반영시킴으로서 효율 향상을 기대할 수 있다¹⁶⁾.

본 논문에서는 위에서 언급된 NFP와 M-Sum을 부재들의 상대적 위치를 결정하는 알고리즘으로 이용하고, 합리적인 계산 시간을 갖는 시스템 구현을 위해 최적해의 탐색공간을 줄일 수 있도록 전문가들의 지식 및 휴리스틱 접근법을 결합시킨 알고리즘에 대해서 제시해보고자 한다.

3. 최적 배치 알고리즘 및 자료구조

3.1 기본 배치 알고리즘

부재들의 최초 위치를 결정하기 위한 방법으로는 휴리스틱 접근법을, 최초 위치 결정 후 다음 부재의 상대적 위치를 결정하는 방법으로는 NFP의 개념을 적용하였다. 부재들의 최적 위치 결정 때 부재들의 겹침의 판단 및 이의 해소를 위한 이동거리와 방향의 제산을 위해서는 M-Sum을 사용하였다.

NFP은 두 부재가 서로 겹치지 않고 외곽선을 맞대고 있을 수 있는 모든 위치의 조합이라고 할 수 있다. 두개의 다각형 A와 B가 있을 때, A의 위치와 방향이 고정되고 B의 방향이 고정되었다고 가정한다. 이 때 A에 대한 B의 NFP은 다각형 B가 다각형 A와 겹쳐지지 않고, 서로 접촉만을 하고 있을 수 있도록 할 수 있는 B의 주어진 한 참조점(Reference point)의 궤적이라고 정의할 수 있다¹⁷⁾.

다음 그림에서 굵은 선으로 표시된 부분이 다각형 A에 대한 B의 NFP를 나타내고 있다.

M-Sum은 NFP을 구하기 위한 하나의 방법으로, 두개의 다각형의 위치가 주어졌을 때 겹침의 여부를 알 수 있는 방법을 제공하고, 겹침을 피하기 위해 이동해야 되는 최소 거리와 각도를 계산할 수 있도록 해준다.

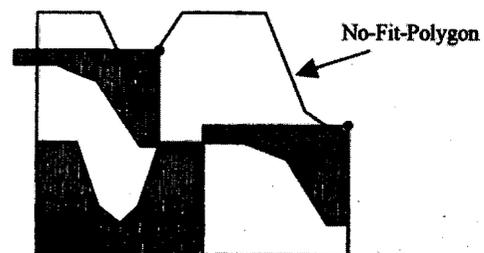


Fig. 1. No-Fit-Polygon.

다각형은 그 외곽선과 내부를 구성하고 있는 벡터들의 집합으로 표시될 수 있다. A 와 B 를 2차원 공간에서 벡터들의 집합으로, A^b 를 A 가 b 에 의해 변환된 벡터들의 집합으로 다음과 같이 정의한다.

$$A^b = \{a+bla \in A\} \quad (1)$$

이 경우 Minkowski-Sum은 다음 식 (2) 또는 (3)과 같이 정의될 수 있다.

$$A \oplus B = YA^b \quad (2)$$

$$A \oplus B = \{a+bla \in A \cap b \in B\} \quad (3)$$

위 식 (1), (2), (3)을 이용하여 Minkowski difference를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$A \oplus (-B) = \{a-bla \in A \cap b \in B\} \quad (4)$$

위 식 (4)에서 $(-B)$ 는 B 를 원점으로 대칭시킨 벡터들의 집합으로 볼 수 있다. Minkowski difference $A \oplus (-B)$ 에 대해 다음과 같은 정리가 성립한다.

$$A \cap B \neq \emptyset \text{ if and only if } x \in A \oplus (-B) \quad (5)$$

위 식 (5)를 이용하여 와가 벡터에 의해 변환된다고 할 때 다음이 성립된다.

$$A^s \cap B^t \neq \emptyset \text{ if and only if } (t-s) \in A \oplus (-B) \quad (6)$$

위 식 (6)에서 벡터 s 와 t 의 값을 0으로 가정하면 Minkowski difference $A \oplus (-B)$ 가 전역좌표의 원점을 포함할 때 벡터 집합 A 와 B 는 교집합을 갖게 된다. 즉 두 벡터 집합 A 와 B 를 다각형으로 볼 때 두 다각형 A 와 B 가 서로 겹치게 된다.

위 사실을 이용하여 다음을 알 수 있다. 전역 좌표계에 존재하는 $P(p)$ 와 $Q(q)$ 에 대해서 각각의 지역좌표의 원점을 p 와 q 라고 한다. 이때도형 P, Q 는 p, q 를 원점으로 하여 각각 변환된 점들의 집합이다. p 와 q 는 전역좌표에서의 값을 나타낸다고 할 때, 다음 식 (7)이 성립한다.

$$P(p) \cap Q(q) \neq \emptyset \text{ if and only if } (q-p) \in A \oplus (-Q) \quad (7)$$

즉, 두 벡터들의 차이인 $p-q$ 가 Minkowski difference $P \oplus (-Q)$ 안에 존재하면 두 다각형이 겹친다고 판단할 수 있는 것이다. Fig. 2에서 굵은 선 안이 Minkowski difference 이다. 이 그림에서 다각형 P 가 고정되어 있을 때, 다각형 Q 의 참조점 q 가 이 굵은 선 위에 위치한다면, 즉 $q-p$ 가 $P \oplus (-Q)$ 의 경계 위에 있다면 두 다각형이 겹치지 않고 가장 가깝게

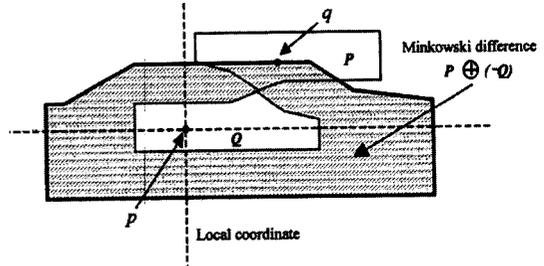


Fig. 2. Minkowski difference and non-overlapping placement.

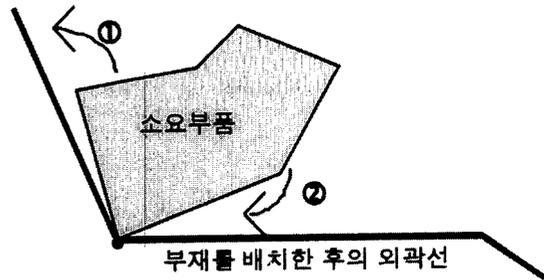


Fig. 3. Determining the first position of part.

놓여질 수 있다¹⁾.

이번 연구에 사용된 배치 알고리즘은 다음과 같다. 하나의 부재의 최초 위치는 다음과 같이 휴리스틱한 방법을 이용하여 결정된다. 우선 배치될 부재의 가장 긴 면을 자재의 외곽선 형태에 따라 x축 또는 y축과 평행하게 놓는다. 그 다음 선택된 부재의 각 점과 외곽선의 점을 맞대어 회전시켜 보면서 이 면이 외곽선의 가장 왼쪽 밑면과 일치할 수 있도록 다음 Fig. 3과 같이 자재의 외곽선쪽으로 밀어 넣는다.

최선의 배치 위치를 판단하기 위하여 위 그림의 ①과 ②를 Decision Tree의 노드로 구성한다. 만약 부재를 이루고 있는 다각형과 외곽선이 겹쳐질 경우 수학적 계산에 의해 서로 겹치지 않도록 한다. 이때 이동해야 하는 거리와 방향을 계산하는 방법으로 M-Sum을 사용하여 다음 그림과 같이 Sliding 시키며, 이 경우 노드는 Sliding 된 후의 상태를 갖는다.

3.2 최적해의 탐색

부재의 위치가능한 모든 점과 방향, 모든 배치 순서를 모두 고려한다면 최적 해의 탐색공간이 무한히 커지기 때문에 탐색공간을 줄여 나갈 수 있는 방법이 필요해진다. 따라서 휴리스틱 탐색이나 숙련자의 지식 등을 이용한 배치 정책(Placement policy)의 도입이 필요하다. 위에 언급되었듯이 부재를 자재내에 최초에 위치 시킬 때는 Art(1966), Dowsland 와 Dowsland

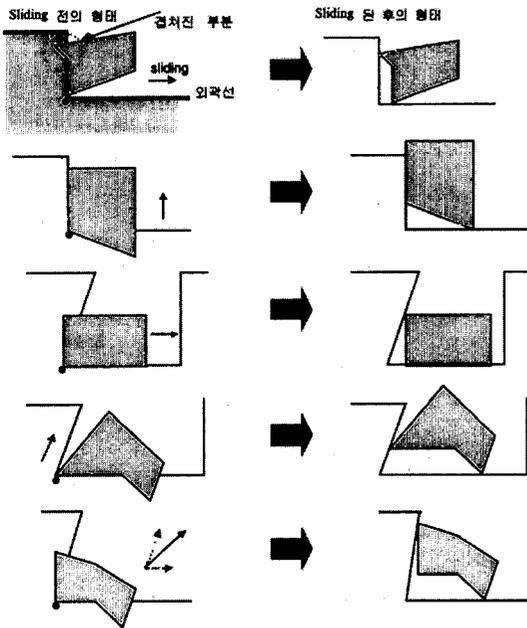


Fig. 4. Sliding method for avoiding overlapping.

(1993)가 제시한 Leftmost 배치 정책을 응용하였다. 부재의 가장 긴 변을 자재의 제일 왼쪽의 한 변과 일치시키고, 부재를 움직여가면서 최적의 위치를 탐색해 나간다.

그 다음에 고려될 수 있는 사항이 부재의 배치순서로서, 가장 긴 축의 길이나 외곽선의 길이에 의한 결정 방법등이 있지만 본 연구에서는 면적 순에 의한 결정 방식을 택하였다. 이 방식은 Amaral외(1990)에 의해 체계적으로 제시되었다. 면적에 의해 부재들은 2분류로 나뉘지고, 각 분류에 대해 다른 배치 정책이 적용된다. 면적이 상대적으로 큰 부재들이 우선 왼쪽 바닥으로 밀어 넣는 방법으로 배치되고, 큰 부재들 사이에 생긴 여백에 배치가 안되고 남아있는 작은 면적의 부재들이 채워지게 된다. 이 방식은 배치 전문가들이 주로 사용하는 방식과도 일치하므로 적용 가능성이 높다고 할 수 있다^[2].

그 다음에 하나의 부재가 배치될 때 그 위치가 최적인지를 결정할 수 있는 평가함수의 결정이 필요하다. 하나의 부재의 위치가 선택되면, 이 정보들은 Decision Tree의 노드로 구성되어지고, 평가함수에 의해 현 노드가 최적인지를 평가한다. 그 후 이 위치를 바꾸어볼 것인지, 아니면 현재 위치를 최종 위치로 하고, 다음 부재로 갈 것인지를 결정하게 된다.

평가함수는 Albano와 Sapuppo(1980)에 의해 제시된 2가지의 평가 기준을 가장 중요한 고려 사항으로

채택하였고, 평가함수의 값 계산 시에 이 2가지의 평가 기준에 가장 높은 우선순위(Priority)가 주어진다. 평가함수는 다음과 같이 구성되어졌다.

$$f = g + h \tag{8}$$

g: 노드 생성시 발생하는 낭비 면적/배치 시 낭비되는 총 면적

$$0 \leq g \leq 1$$

h: 앞으로 낭비될 면적

정확히 알 수 없으므로 근사값을 구한다.

남은 부재들의 총 면적/남은 자재의 면적

$$0 \leq h \leq 1$$

위의 평가함수에 의하여 다음에 배치를 고려 할 부재들에 대한 각각의 배치 위치에 대한 평가 함수의 값을 구한다. 그러나 *h*값에 대한 불확실성 때문에 *a* 값들 중에서 최소 값의 경우가 가장 좋은 배치 위치라고 할 수 없으므로, 평가 함수 식 (8)의 값이 일정한 범위 안에 들어오는 경우들을 모두 대상으로 한다. 본 연구에서는 부재가 배치되고 난 후에 *y*축 방향으로 해당 부재의 가장 큰 값을 기준으로 원 쪽에 발생하는 빈 공간에 대하여서 모두 낭비되는 면적으로 계산하였다.

위에서 선택된 몇 가지의 경우를 대상으로 다음을 순차적으로 고려하며, 각각의 경우에 일정한 범위에서 복수 개의 경우가 선택되어 다음 단계로 이전되어진다. 이런 방법을 사용하므로 인하여 최대한으로 지역적인 해에서 벗어나 최적 해를 구하고자 하였다.

외곽선의 최대 *x*축을 기준으로 낭비되는 공간

해당 부재가 배치된 후에 *x*축 방향의 길이
이전까지 배치된 부재의 최대 *x*축 값+해당 부재의 최대폭

남의 부재 면적의 총합
자재의 *y*축 방향으로 남은 최소 크기

만약 끝까지 복수개가 선택된 경우에는 다음의 값이 가장 적은 것을 선택한다.

해당 부재 배치 후 외곽선 총 길이

위와 같은 평가함수의 기준은 주로 현업에서 배치 작업을 하는 숙련자들의 전문지식을 바탕으로 선정되었다.

3.3 기본 자료 구조

본 시스템의 기본적인 자료구조는 다음과 같다.

-CPolygon: 자재와부재가 갖고 있는 공통적인 도형정보를 가지고 있는 상위 클래스

-CMaterial, C1DMaterial, C2DMaterial: 원자재를 표현하기 위한 클래스

-CPart, C1DPart, C2Dpart: 1차원, 2차원 부재를 표현하는 클래스

-CsimplifiedPart: 계산 시간의 감소를 위해 부재를 단순화 하거나, 2개 이상의 부재를 하나로 결합해서 취급할 필요가 있기 때문에부재 클래스 대신 임시로 사용되는 클래스

4. 시스템 구성

4.1 시스템 개요

본 시스템의 기본 구조는 입력 모듈, 네스팅 모듈, 출력 모듈의 3가지로 나누어 볼 수 있고, 각각의 모듈은 다음 그림과 같이 구성되어 있다.

4.1.1 모듈별 특성

각 모듈의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

a) 입력모듈

Beam, 사각형 모양의 부재 및 몇가지 자주 사용되는 불규칙한 형상의 소부재는 데이터베이스에 기본 형상이 저장되어 있으므로 사용자가 원하는 크기를 입력해주면 된다. 데이터베이스에 저장되어 있는 형상들은 필요한 수치 입력 후 네스팅 모듈에서 사용될 수 있는 수치 정보를 가진 파일로 자동 생성되어진다. 이

런 기본형상들 외에도 필요에 따라 CAD 로 설계된 부재들도 IGES 파일포맷을 받아서 네스팅 모듈에서 사용되어질 수 있는 파일로 변환될 수 있다.

b) 네스팅 모듈

3부분으로 나눠 볼 수 있는데, 첫번째는 배치작업 수행 전에 입력 모듈에서 생성된 파일을 이용, 형상을 표현할 수 있는 점 정보를 가진 클래스로 생성해주는 부분이다.

두번째 부분에서 이 클래스에 표현된 형상정보를 가지고 배치작업을 수행하게 된다. 배치 작업은 다시 3가지로 나뉘어 질 수 있다.

-1차원의 부재를 네스팅 하기 위한부분으로길이만을 고려하여배치작업을 수행

-직사각형 모양의 부재를 배치하는 작업 수행

-불규칙한 형상의 부재를 배치하는 작업 수행

세번째 부분은 배치시 부재간의 여백등에 관한 옵션을 사용자가 조정해 주는 부분이다.

c) 출력 모듈

배치완료후 사용자가 확인할 수 있도록 결과를 그래픽으로 보여준다. 또한 자재 크기와 배수를 발주서로 생성해 주는 리포트 기능을 가지고 있다.

4.1.2 알고리즘의 장점

본 연구에서 제시된 알고리즘은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

첫째, 1차원, 직사각형, 불규칙한 형상 새가지 경우의 배치에 각각 다른 알고리즘이 적용된다. 이런 이유는, 각 문제 특성에 맞는 최적화 알고리즘을 적용함으로써 특정 문제에 불필요한 계산을 없애고, 계산

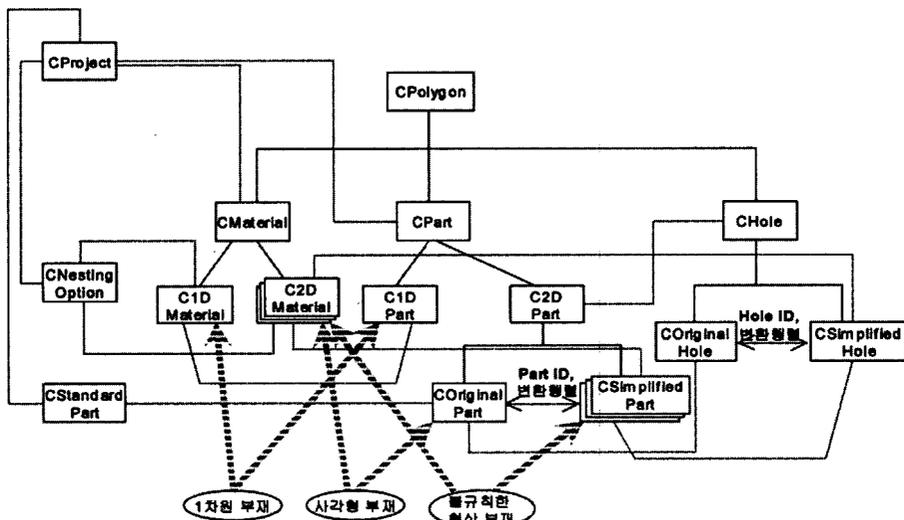


Fig. 5. Data structure for system implementation.

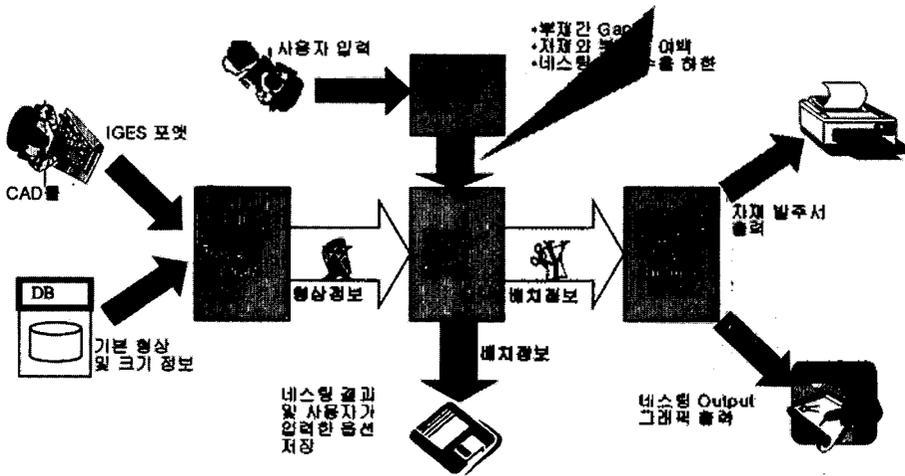


Fig. 6. System overview.

시간 및 수율의 향상을 얻을 수 있기 때문이다.

둘째, 자재가 철강재라는 점을 감안하여 절단시 생기는 열변형 현상의 방지를 위해 절단 손실 길이를 고려할 수 있는 옵션을 가지고 있다.

셋째, 원자재의 필요 매수와 크기를 미리 입력해 주지 않아도, 발주 가능한 범위의 자재크기 및 크기에 따라 달라지는 가격을 고려하여 최적의 자재 크기와 매수를 자동으로 산출해 줄 수 있다.

넷째, 많은 수의 부재가 한번에 들어와도 여러 개의 자재에 나누어서 배치 할 수 있는 배치(Batch)네스팅 기능을 가지고 있다.

4.2 시스템 사양 및 실행 예

본 시스템은 PC와 Windows 95/NT에서 운용된다. 네스팅 모듈 및 그래픽 출력 모듈은 C++를 사용하였고, 기본 유형이나 범의 형상정보의 저장 DB는 오라클, DB와 입력 모듈의 인터페이스, 그리고 배치 결

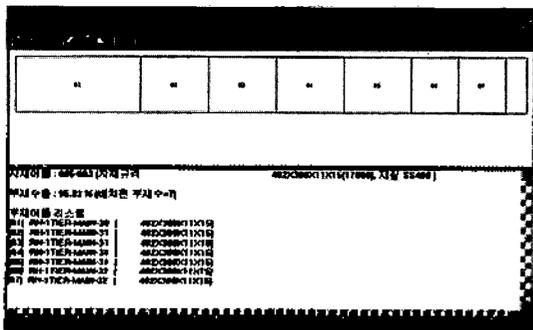


Fig. 7. Example of one-dimensional nesting.

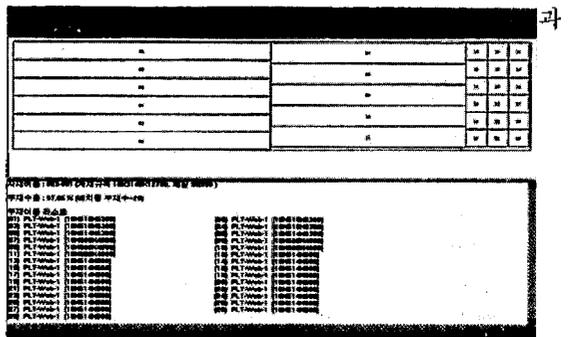


Fig. 8. Example of rectangular nesting.

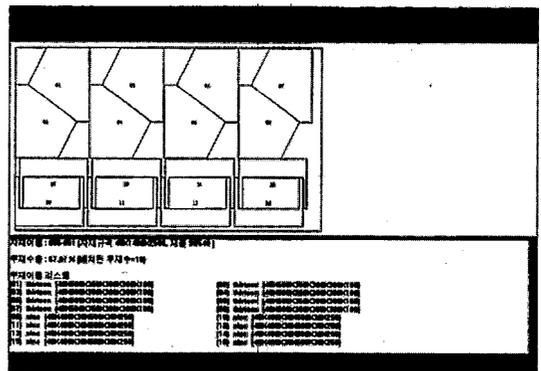


Fig. 9. Example of irregular shape nesting.

의 문서생성에는 파워빌더가 사용되었다.

입력 및 출력 부분과, 배치 결과의 저장 모듈은 파일 시스템으로 다음과 같이 구성되어 있다.

-자동배치에 필요한 부재 및 자재의 형상정보를 입력받기 위한 파일

- 배치 결과를 저장하기 위한 파일
 - 배치 결과를 발주서로 출력하기 위한 파일
- 다음은 빔을 만들어 내기 위해 길이만을 고려하여 베스팅한 화면을 보여준다.
- 다음은 직사각형의 부재들을 배치한 화면이다.
- 다음은 불규칙한 형상을 배치한 화면이다.

5. 실제 적용 사례 및 결과

5.1 적용개요

본 연구결과는 실제로 D 건설 사업소에 적용되었다. D 건설 사업소는 건축물의 설계가 마무리 된 후 도면을 이용하여 공사에 필요한 빔이나 부재의 필요량을 산출하여 구매하고, 자재를 공사에 필요한 모양의 부재로 절단, 공급하는 역할을 수행한다. 이곳에서 자동화 요구가 생겨난 이유는 다음과 같다.

첫째, 공사에 필요한 철강재 소요량을 산출하기 위해 배치 작업을 거치면 자재 발주가 늦어져 공기가 지연된다. 따라서, 배치과정 없이 설계도에 나타난 부재들의 총중량에 7% 정도를 가산하여 자재가 발주된다. 이 수치는 경험을 통해 추가적인 자재 발주가 이루어 지지 않는다고 보장할 수 있는 여유 분으로, 대개 적정량 이상으로 발주가 이루어지기 때문에 항상 불필요한 원가 부담을 가지고 있었다.

둘째, 자재 절단을 위한 배치가 수작업으로 이루어졌기 때문에, 오류 발생확률이 높고 많은 시간 소비로 인한 공기 지연 요인이 상존하고 있었다.

위와 같이 적정량의 자재 발주 및 자재와 시간의 효율적 사용을 위해 자동화의 도입이 요구되어졌다.

5.2 적용효과

필요한 부재를 설계하여 필요한 원자재인 철판을 구매하여 부재를 절단하여 생산하는데 본 시스템은 서로를 연결시켜 전체를 하나의 시스템으로 구성할 수 있게 해준다. 만약 이러한 시스템이 없다면 자재 발주에서 설계, 생산 및 회계 시스템을 구축할 때 서로 간에 필요한 정보는 각 단계에서 재입력이 이루어져야 한다.

또한 철강재는 필요한 물량을 미리 주문하여야 되는 특성이 있으므로 과거에는 프로젝트 수주를 하면 시간관계 상 필요한 부재를 일일이 배치하여 소요 자재량을 산출하지 못하고 총 무게에 일률적으로 5~7%의 자재 손실량을 예상하여 발주하는 방식을 사용하였다. 이 방법은 부재 모양의 복잡도에 따라 자재가 남거나 모자라는 결과를 초래하였다. 그러나 자동배치

에 의한 발주 및 절단은 배치 시간이 거의 들지 않기 때문에 위와 같은 단점을 보완할 수 있었으며, 부재 절단 후 손실되는 부분의 절감 및 잔재의 재사용을 통하여 연간 650톤 이상의 절감 효과를 기대할 수 있게 되었다.

5.3 개선 방안

본 시스템이 적용된 사업소에서는 NC 기계를 사용하지 않기 때문에, NC 코드생성 구현이 생략되었다. 그래서 NC 기계를 사용할 경우에는 배치 형태를 보고 부재들의 위치를 NC 기계에 수작업으로 입력해줘야 하는 문제가 생긴다. 적용범위 확장과 공정간 연결의 신속성 및 오류 발생확률의 감소를 위하여 향후 NC 코드 생성기능 추가가 요구된다.

6. 결론 및 향후 연구방향

효율적 배치 알고리즘에 대한 연구는 기존 논문에서 많이 나타나지만, 현업에서 활용할 수 있는 방안에 대한 연구는 많지 않다. 효율적 배치 알고리즘이 제시되었다 할지라도, 이를 시스템으로 구현하고 현업에 적용하는 것은 또 다른 문제라고 할 수 있다.

이번 연구에서는 휴리스틱 접근방법과 숙련자들의 전문지식을 이용하는 Knowledge-base 방식을 수리적 알고리즘과 결합하여 효율성을 높이는 방안을 제시하였다. 또한 이를 시스템으로 구현하고, 현업에 적용해봄으로서 그 결과를 통해 공정개선이라는 효과를 확인할 수 있었다. 적용 결과에서 보았듯이 자동화 시스템의 도입으로 원자재 절감뿐 아니라 시간 단축이라는 효과도 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 사용된 NFP 개념은, 부재들이 하나의 모듈로 합쳐져 배치 된 후에는 이 부재들의 상대적 위치나 방향을 재조정 할 수 없도록 구현되었다. 따라서, 다음 부재를 고려하여 모듈을 다른 형태로 수정할 수 있는 능력이 없다. 이런 문제를 해결할 수 있는 이미 배치된 부재를 다시 재배치 할 수 있는 Backtracking 능력에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 지역적인 해에 빠지지 않고 최적 해에 도달하기 위해서는 배치 순서 결정이 중요하게 된다. 이번 연구에서 사용된 배치 순서는 부재들의 면적 순서로 결정되었다. 이 방법은 작은 부재들이 큰 부재들 사이에 배치될 수 있으므로 효율을 높일 수 있지만, 부재 외곽선의 형태에 따라서는 면적이 큰 부재가 먼저 배

치된다고 해서 작은 부재들이 배치될 공간이 많이 생긴다고 보장할 수는 없다. 따라서 배치순서 결정방법의 개선을 통한 알고리즘의 향상 가능성이 남아있다. 이 문제는 위에서 언급된 Backtracking방법과 함께 연구되어야 한다. 이 부분에 유전자 알고리즘의 적용을 통한 새로운 배치 순서 결정 방법의 개발이 가능하다고 생각된다.

마지막으로 평가함수에서 고려되는 여러 조건들을 배치되는 부재의 특성에 적합하도록 인공지능의 학습이론을 이용, 동적으로 결정하는 방법에 대한 연구과제가 남아있다.

참고문헌

- Albano, A., "A method to improve two-dimensional layout", *European Computing Congress on Interactive Systems*, London, pp. 48-52, Sep., 1976.
- Dowland, K.A. and Dowland, W.B., "Solution approaches to irregular nesting problems", *European Journal of Operation Research*, Vol. 84, pp. 506-521, 1995.
- Li, Z. and Milenkovic, V., "Compaction and separation algorithms for non-convex polygons and their applications", *European Journal of Operation Research*, Vol. 84, pp. 539-561, 1995.
- Adamowicz, M. and Albano, A., "Nesting two dimensional shapes in rectangular modules", *Computer Aided Design*, Vol. 81, No. 1, pp. 27-33, 1976.
- 조경호, "판재부품의 가공 자동화를 위한 CAD/CAM 통합 시스템", 서울대학교 대학원 기계설계학과, 1993.
- Freeman, H. and Shapira, R., "Determining the minimum area encasing rectangle for an arbitrary closed curve", *Communications of the ACM*, Vol. 81, No. 7, pp. 409-413, 1975.
- Dori, D. and Ben-Bassat, M., "Efficient nesting of congruent convex figures", *Communications of the ACM*, Vol. 27, No. 3, pp. 228-235, 1984.
- Karoupi, F. and Loftus, M., "Accommodating diverse shapes within hexagonal pavers", *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 8, pp. 1507-1519, 1991.
- Stoyan, Y.G. and Ponomarenko, L.D., "Minkowski's sum and the hodograph of the dense allocation vector function", *Reports of the Ukrainian SSR Academy of Science*, Series A 10, 1977.
- Milenkovic, V., Daniels, K. and Li, Z., "Placement and compaction of non-convex polygons for clothing manufacture", *Proceedings of the 4th Canadian Conference on Computational Geometry*, pp. 236-243, Aug. 1992.
- Grinde, R.B. and Cavalier, T.M., "A new algorithm for the minimal-area convex enclosure problem", *European Journal of Operation Research*, Vol. 84, pp. 522-538, 1995.
- 한국찬, "레이저 절단공정의 자동화를 위한 자동 배치 및 최적 절단 경로 계획에 관한 연구", 한국과학기술원 기계공학과, 1996.
- Ismail, H.S. and Hon, K.K.B., "New approaches for the nesting of two-dimensional shapes for press tool design", *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 4, pp. 825-837, 1992.
- Jakobs, S., "On genetic algorithms for the packing of polygons", *European Journal of Operation Research*, Vol. 88, pp. 165-181, 1996.
- Albano, A. and Sapuppo, G., "Optimal allocation of two-dimensional irregular shapes using heuristic search methods", *IEEE Transactions of Systems Man and Cybernetics*, Vol. 10, No. 5, pp. 242-248, 1980.
- Milenkovic, V. and Daniels, K. and Li, Z., "Placement and compaction of non-convex polygons for clothing manufacture", *Proceedings of the 4th Canadian conference on Computational Geometry*, pp. 236-243, Aug. 1992.
- Amaral, C., Bernardo, J. and Jorge, J., "Marker making using automatic placement of irregular shapes for the garment industry", *Computers and Graphics*, Vol. 14, No. 1, pp. 41-46, 1990.
- Art, R.C., "An approach to the two-dimensional irregular cutting stock problem", *IBM Cambridge Scientific Centre Report*, 36-Y08, 1966.
- Dowland, K.A. and Dowland, W.B., "Heuristic approaches to irregular cutting problems", Working Paper EBMS/1993/13, European Business Management School UC Swansea, UK., 1993.

양 성 모



1983년 고려대학교 수학과 학사
1985년 인하대학교 대학원 전자계산학과 석사
1997년~1998년 대우정보시스템(주) 기술연
구소
1999년~현재 대우정보시스템(주) VP/Auto-
Nesting사업팀

임 성 국



1994년 한양대학교 경제학과 학사
1997년 한국과학기술원 경영공학과 석사
1997년~현재 대우정보시스템(주) VP/Auto-
Nesting사업팀



고 석 호

1995년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사
1995년-현재 대우정보시스템(주) VP/Auto-Nesting사업팀



김 현 정

1996년 연세대학교 수학과 학사
1996년-현재 대우정보시스템(주) VP/Auto-Nesting사업팀



한 관 회

1982년 아주대학교 산업공학과 학사
1984년 한국과학기술원 산업공학과 석사
1996년 한국과학기술원 자동화 및 설계공학과 박사
1996년-1998년 대우정보시스템(주) CIM사업부장
1998년-현재 대우정보시스템(주) 기술연구부장