

선박용 플랫폼의 효율적인 NC 절단경로를 고려한 배치방법에 관한 연구

이철수*, 박성도**, 박광렬***, 임태완***, 양정희**

A Study on Layout Method for Effective NC Cutting Path of the Flat-bar

Lee, C.S.*, Park, S.D.**, Park, G.R.***, Im, T.W.*** and Yang, Z.H.**

ABSTRACT

In this paper, the efficient layout method for generating common and continuous cutting path of flat-bar profile. The 'flat-bar' is a stiffener and has long rectangular shape. This paper describes a fast nesting algorithm of the flat-bar, and a procedure to generate cutting path of gas/plasma torch, which is operated by a NC (numerically controlled) gas/plasma cutting machine. By using this common and continuous path, the machining-time for cutting and the maintenance-cost of plasma-torch could be reduced. Proposed procedures are written in C-language and applied to the Interactive Flat-Bar-Nesting System executable on Open VMS with X-Window system.

Key words : Nesting, Layout, Flat-bar, Common Path, Continuous Path, NC tool path

1. 서 론

1.1 연구배경

효율적인 부재배치 방법과 절단 경로 생성방법은 부재의 원판을 절단, 가공하여 조립하는 조선공업, 자동차 산업, 의류 산업 등 매우 다양한 분야에서 가격 경쟁력 및 생산성 향상에 매우 큰 파급 효과를 미치는 요소 기술이라 할 수 있다. 특히 조선 산업 분야에서 사용되는 부재의 형상이 매우 복잡하고 다양하여 절단 공정에서의 높은 정도관리가 중요시되고 있다¹⁾.

조선 산업분야에서는 설계단계의 대부분을 선박 전용CAD프로그램으로 설계를 완성한 후 중복 작업 및 작업오류를 없애기 위해 제조 단계에서 설계된 데이터를 그대로 이용하려 한다. 그러나 대부분의 설계단계의 데이터는 용접, 조립, NC가공 등과 같은 제조단계의 각 작업의 특성이나 가공될 부재와 가공기계 등의 특성을 감안하고 있지 않은 경우가 많아 CAM을 이용한 자동화의 과정에서 일괄적인 데이터의 흐름이

나 공정의 특성을 감안한 가공 계획 수립에서 어려움을 겪고 있다.

기존의 조선 산업현장에서는 선박용 전용CAD시스템에서 출력되어진 데이터를 기준으로 형상화한 후 원자재에 작업자가 직접 배치하고 이를 기준으로 원자재를 원하는 형상으로 절단하기 위하여 NC코드를 생성한다. 하지만 급변하는 시장에서 작업자들이 일일이 배치하는 것은 번거롭고 많은 시간을 소요하기에 공수의 절감측면에서 보다 효과적으로 자재를 배치하는 방안을 강구하여야 한다.

선박 제조분야에서 보강재(Stiffener)로 쓰이는 부재 중 플랫폼(Flat-Bar)는 타 부재에 비해 상대적으로 크기는 작지만 선박의 크기에 따라 적게는 수백 개에서 많게는 수 만개를 필요로 하며 크기와 형상이 다양하기에 선박의 부재 가공 공정에서 플랫폼의 네스팅과 NC 절단 공정의 자동화는 매우 중요하다²⁾.

네스팅(Nesting)작업은 설계가 끝난 후 각 부품의 절단작업의 전단계에서 수행되며 일반적으로 네스팅 공정이 완료되면 절단경로를 결정하고 가공조건과 수치제어공작기계 제어에 필요한 NC코드를 생성한다. 네스팅은 대부분 잔재(Scrap)의 비율을 줄이는 목적을 우선으로 배치하게 된다. 선박용 플랫폼도 잔재비율을 최소화하도록 적절하게 배치하지만 스트립 절단

*중신회원, 전남대학교 산업공학과

**학생회원, 전남대학교 기계공학과

***(주)씨에스캐프 연구소 연구원

- 논문투고일: 2002. 12. 12

- 심사완료일: 2004. 02. 02

(Strip Cutting)을 별도로 지원하는 장비의 경우 직선 경로와 엔드컷(End-cut) 형상의 가공 경로를 별도로 만들어야 한다. 실제 가공 단계에서는 단순히 잔재비용을 최소화한 배치보다는 가공 시간이나 비용, 기계의 성능과 같은 가공 단계의 특성도 고려한 배치도 또한 매우 중요하다. 이러한 플랫바의 효율적인 NC절단 경로 생성은 생산시간에 큰 영향을 미치는 요소일 뿐만 아니라 플라즈마 절단기의 토치 수명 등의 생산코스트에도 심각한 영향을 미치기 때문에 매우 중요한 문제라고 할 수 있다^[4].

기존의 네스팅 알고리즘은 주로 2차원상의 평면에 다양한 형상의 부재를 최적으로 배치하는 연구가 많이 이루어져 있다. 다각형 근사법과 격자 표현법^[4,5], 휴리스틱(Heuristic)한 접근 방법^[6]과 파라메트릭 매크로를 이용한 부재 네스팅에 관한 연구^[7] 등이 있었고 최근에는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)^[8]이나 모의 어닐링(simulated annealing)^[9]을 적용한 연구가 진행되고 있다. 이밖에 불규칙한 선박용 부재의 배치^[10]와 선박의 플랫바의 다양한 양쪽 끝 절단부의 엔드컷 형상을 절단가공의 특성을 고려하여 최적으로 배치하는 선박 플랫바 전용 네스팅 알고리즘에 관한 연구가 있었다.

플랫바와 비교하여 형상이 상대적으로 불규칙적인 형상의 네스팅 알고리즘에 관한 연구는 대부분 잔재의 비율을 최소화하는데 목적을 두고 있었다^[4,7]. 그러나 최근 수년간 잔재비용의 최소화 뿐만 아니라 가공 시간, 가공비용, 가공설비 등을 고려하는 연구가 이루어지고 있다^[4,9]. 플랫바는 폭이 좁고 긴 단순한 형상이기 때문에 일반적인 네스팅 알고리즘 보다는 형상의 특징을 고려한 알고리즘이 효율적일 수 있으며 이미 이에 대한 연구가 이루어진 바 있다^[2]. 본 연구는 이처럼 플랫바의 특징 형상을 고려하면서 가공 경로 및 장비 특성을 고려한 가공 경로의 생성 방법을 개발하기 위해 수행되었다. 연속 절단 및 공용 절단 경로는 플라즈마 토치의 ON/OFF 회수, 절단된 스크랩 부재가 토치에 물리적인 충격을 주는 차수 그리고 절단 시작점에서 발생하는 노치의 발생을 줄이는데 매우 효과적이다. 이처럼 강판 절단 전용 장비의 수명과 소모품 비용 등을 고려하여 배치 및 절단 경로 방법에 접근하는 연구는 아직 많지 않다.

플랫바는 Fig. 1과 같이 일정한 두께의 철판을 절단하여 얻은 부재인데 다양한 길이와 폭, 두께를 가진 바(bar)형상이고 양쪽 끝 부분의 모양도 아주 다양하다. 때문에 선박의 부재 가공 공정에서 플랫바의 네스팅 및 효율적인 NC절단 경로의 생성을 수작업으로 진

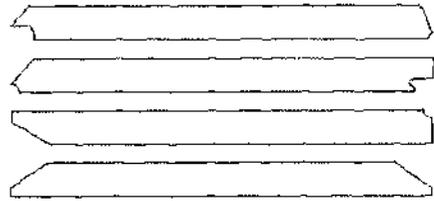


Fig. 1. NC Gas/Plasma Cutting Machine for Flat-Bar.

행하는 데는 많은 시간과 인력이 소비된다. 지금까지의 플랫바 네스팅은 대부분 수작업에 의존하는 경우가 많았고 자동 네스팅 및 효율적인 NC절단 경로의 생성에 대한 연구는 매우 제한적이고 실험적으로 이용되고 있다.

1.2 연구의 범위

본 논문에서는 기존의 숙련된 작업자들의 경험을 바탕으로 부재 배치에 관한 알고리즘을 정리하여 플랫바 형상을 고려한 효율적인 배치방법과 플랫바의 NC절단을 위한 가공 경로 생성 방법을 제시한다. 즉 플랫바의 스트립 절단 경로 뿐 아니라 엔드컷 가공경로를 앞 부재와 공유하는 “공용 절단(Common Cutting)”과 이웃하는 부재의 끝 단부를 토치의 ON/OFF없이 절단하는 “연속 절단(Continuous Cutting)”을 적용하기 위한 2D배치 방법을 제안한다. 제안된 방법은 기존의 시스템이 가지는 부재 잔재비용을 유지하면서 가공 시간 및 경로를 단축하고 절단 장비인 플라즈마 토치의 수명을 연장할 수 있다.

본 연구는 별도의 작업목록 데이터베이스에서 작성된 각 블록의 플랫바와 준비된 원판의 목록 정보를 이용해 블록 단위의 반복적인 일련의 네스팅 및 선후처리 공정이 모두 자동으로 처리되도록 하였으며 본 연구에서 제안한 방법을 소프트웨어 개발에 적용함으로써 실제 생산현장의 검증은 받도록 하였다. 본 논문에서 제안된 방법은 플랫바 타입의 부재이어야 하고 타입에 대한 Geometry가 표준화 된 코드가 정의되어 있어야 한다.

2. 플랫바의 NC절단

본 논문에서 사용하는 NC가스/플라즈마 절단기(Gas/Plasma Cutting Machine)는 Fig. 2에 보이는 것과 같이 선박 건조 시 보강재로 사용되는 플랫바를 절단하기 위한 플랫바 전용 NC절단기이다. NC가스/플라즈마 절단기는 크게 24개의 가스 토치(Gas Torch)가 세로로 나란히 있는 가스절단기 부분과 한 개의 플

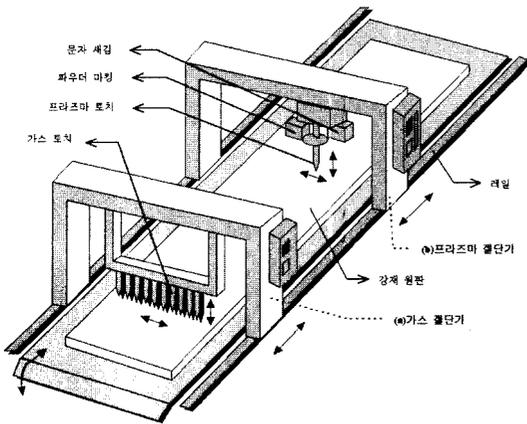


Fig. 2. NC Gas/Plasma Cutting Machine for Flat-Bar.

라즈마 토치(Plasma)가 있는 플라즈마 절단기 두 부분으로 나누어져 있으며 각 절단기가 독립적으로 한 원판의 다른 두 부분을 동시에 가공할 수 있도록 제작되었다^[2].

플랫바의 가공비용을 절감하기 위하여 절단 경로가 단순하고 비교적 긴 가로방향의 절단은 절단속도가 비교적 느리지만 여러 개의 토치에 의한 절단이 용이하고 비용이 적게 드는 가스 절단 방법을 사용한다. 절단 경로가 비교적 복잡한 세로방향의 엔드컷 절단은 절단 변형과 열 영향부가 적고 절단속도가 빠른 플라즈마 절단 방법을 사용한다^[9].

하나의 원판이 NC가스/플라즈마 절단기에서 플랫바로 가공되는 절차(Fig. 3)는 가스 절단기에 부착된 24개의 토치(Torch)를 스트립 절단할 직선의 폭과 일치시킨 후 가스 절단기 전체를 가로 방향으로 평행 이동하여 플랫바의 위,아래 부분을 동시에 평행하게 절단한다. 여러 개의 가스 토치가 스트립 절단을 하는 동안 하나의 플라즈마 토치는 플랫바의 엔드컷 형상의 프로파일에 따라 절단을 한다. 이 두 동작은 동시에 연동하도록 되어 있다. 플라즈마 절단기의 절단속도는 약 2000-3000 mm/min인데 비해 가스절단기는 약 300-400 mm/min밖에 안되기 때문에 여러 개의 가스 토치가 느린 속도로 가로 방향의 스트립을 절단해 나가면 뒤에서 플라즈마 토치가 빠른 속도로 가공경로가 복잡한 엔드컷을 절단하므로 플랫바와 같이 폭이 좁고 긴 부재를 많이 절단할 때 절단가공시간을 현저하게 단축할 수 있다^[2]. 그러나 안전 사고 및 기계파손 방지를 위해 가스토치와 플라즈마 토치의 일정 거리 제어를 위한 NC코드를 적절하게 만들어 주어야 한다.

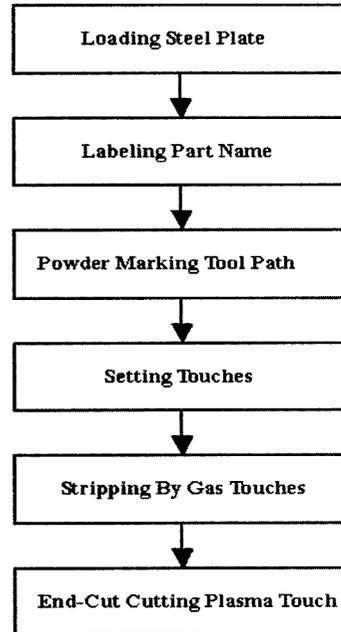


Fig. 3. Work Process of NC Machine for Gas-strip-Cutting and Plasma-End-Cutting.

3. 플랫바의 자동 네스팅과 가공경로 생성

3.1 제안된 시스템의 개요

본 논문에서 제안하는 플랫바의 자동 네스팅과 가공경로 생성 시스템의 흐름은 Fig. 4와 같다. 먼저 선박용CAD 시스템(TRIBON)에서 플랫바 목록(Flat-bar List)을 추출하고 각 부재에 대한 호선(선박의 번호)과 송선(이동해야 할 다음 공정 번호) 정보를 가지고 있는 트리데이터(Tree Data)를 참조하여 “호선-블록-부재 명-송선”의 형식으로 플랫바 명을 변환하여 수정된 플랫바 목록을 생성한다.

플랫바와 원판의 데이터가 준비되면 플랫바의 자동 네스팅을 수행한다. 네스팅 단계별로 로그 파일을 만들어 주며 네스팅이 완료되면 네스팅 결과 및 상태 파일을 생성한다. 네스팅 결과는 상위 CAD데이터 베이스로 보고하기 위해 IGES형태로 변환되어 데이터 베이스에 저장됨과 동시에 네스팅 결과대로 NC절단을 하기 위한 포스트 프로세싱을 한다. 문자 새김 장치로 원판에 부재 명 등을 새겨주는 문자새김 작업과 파우더마킹 장치로 절단 가공할 경로를 미리 그려주는 마킹 작업 그리고 가스 절단기의 스트립 가공작업 및 플라즈마 절단기의 토치의 엔드컷 가공 작업 등에 대한

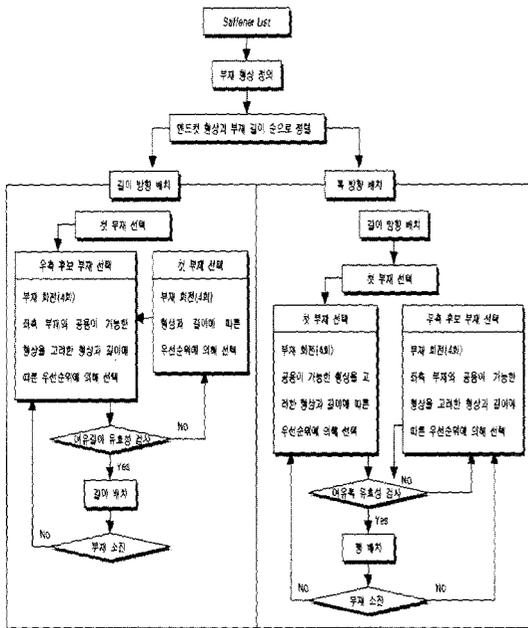


Fig. 4. An Example of Selection Methods.

NC코드를 생성한다.

제안된 시스템에서 “자동 네스팅” 부분을 살펴보면 스트립 절단을 위한 경로를 고려한 네스팅 시스템은 이미 제안된 바 있다. Fig. 5처럼 두께가 똑같은 부재를 선별하여 길이 순으로 정렬한 후 이미 배치된 부재에 배치하면서 Method 1과 같이 길이가 가장 짧은 부재배치를 선택하는 방법은 이미 제안된 바 있는 “길이 방향의 네스팅”이다^[2]. 제안된 “길이방향 네스팅”은 낮은 간재 비율의 부재 배치가 가능하도록 하였지만 플랫폼의 엔드컷 가공의 효율성과 폭 방향으로 진행되는 플라즈마 토치의 연속 절단 경로는 고려되어 있지 않다.

일반적으로 엔드컷 부분의 가공 경로를 생성할 때 몇가지 고려할 사항이 있다. 엔드컷 가공 경로를 단순히 플라즈마 토치의 반지름만큼 오프셋(Offset)하여 가

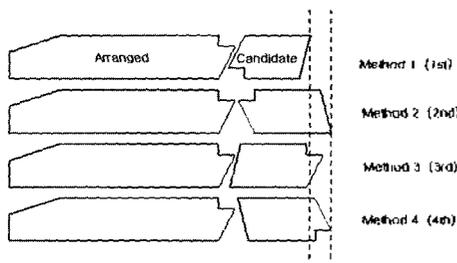


Fig. 5. Overall Process of Nesting Process.

공 경로를 형성할 경우 가스 토치의 반지름이 상대적으로 작기 때문에 경로에 제한이 생긴다. 또한 플라즈마 토치가 방향을 바꾸면서 플랫폼의 모서리 부분을 과절단하거나 옆면에 흠집이 발생할 수 있다. 따라서 엔드컷 부분에서는 모서리 부분의 형상을 유지하기 위하여 직선 및 원호를 위한 각각의 가공 경로를 모두 지나가지 않고 적당한 여유를 두고 다음 경로로 이동하도록 한다.

이러한 가공 방식은 두 플랫폼 사이에 일정한 여유를 두고 Fig. 6와 같이 두 번의 경로로 절단을 한다. 한 곳에 머물러 있는 시간이 길수록 플랫폼에 과절단이 일어나거나 옆면에 흠집이 발생할 수 있으므로 이를 방지하기 위해 여유공간을 두고 접근하였다가 완전히 가공이 끝난 후에도 여유공간을 두고 빠져 나오게 하였다. 각 기계마다 특성이 있으므로 접근 거리와 빠짐 거리 등은 파라미터화하여 경험적으로 얻어진 값으로 변경이 가능하도록 하여 과절단이 일어나지 않도록 한다. Fig. 6(a)는 두 플랫폼 부재 사이의 엔드컷을 절단하는 경로를 보인 것이다. Fig. 6(b)와 같이 하나의 강판에 있는 여러 부재(플랫폼)를 절단하려면 플라즈마의 토치가 엔드컷의 수 또는 그 이상 회수의 On/Off가 실시된다. 플라즈마는 수 초의 예열 시간을 가지고 On 된다. 또한 Off 되는 순간이나 그 전에 절단 후 남은 작은 스크랩이 컨베이어로 빠지면서 플라즈마 토치 끝단부를 과손하는 경우가 많이 발생한다. 즉, 이는 Fig. 7(a)와 같이 엔드 컷의 형상이 유사하게 인접한 경우에 Fig. 7(b)와 같이 한번의 공용 경로로

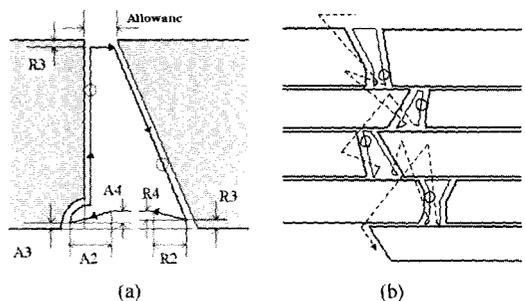


Fig. 6. Old Method for Generating Cutting Path.

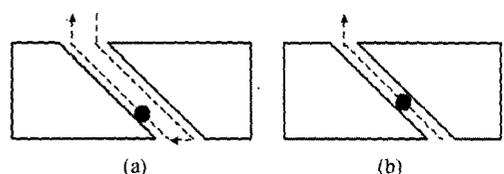


Fig. 7. 2-way Path and Common Path.

절단하면 스크래핑 발생하지 않아 토치 끝단 부를 보호하는 효과를 얻을 수 있다.

3.2 개선된 엔드컷 형상의 절단과 부재배치

기존의 “길이방향 자동 네스팅” 부분에서 추가로 “폭 방향 네스팅”을 수행하는 방식으로 공용절단과 연속절단이 가능하도록 폭 방향 배치를 고려한 플랫폼 네스팅 방법을 제안한다.

3.2.1 공용절단

공용절단은 서로 대칭되고 인접되어 있는 두 플랫폼의 엔드컷 형상에 대하여 적용할 수 있다. 즉, 한면의 절단 경로로 동시에 인접한 두개의 엔드컷 형상이 절단된다. 공용 절단은 여유 공간이 필요 없고 남은 부위가 없어 플라즈마 토치의 손상을 방지할 수가 있다. 이밖에 경로 길이가 짧아지고 접근과 빠짐이 없으므로 보다 가공 거리를 줄여 준다. 플랫폼의 엔드컷 Geometry는 패턴의 번호와 파라미터로 관리하는 경우가 많다. 공용절단을 위해서는 CAD 단계에서 공용이 가능한 엔드컷 Geometry가 생성되어 있어야 한다. 그렇지 않다면 네스팅 및 CAM(경로 생성) 단계에서 자동으로 엔드컷의 Geometry를 공용 가능한 모양으로 변환해 주는 과정이 필요하다.

본 연구에서 적용한 조선 업체의 경우 설계의 표준이 적용되는 기간과 기존 설계된 데이터의 이용 등을 감안하여 두 번째 방식으로 공용 및 연속 절단 네스팅 및 절단 경로 시스템을 구성하였다. 실제로 경로 생성 단계에서 Fig. 8(a)는 Geometry 변화가 필요 없으나 Fig. 8(b)와 같은 경우는 Fig. 8(c)와 같은 파라미터를 이용한 Geometry 변환이 필요할 수 있다. 예 하

면 Fig. 8(b)와 같이 플랫폼의 공용 절단 시 직선경로가 꺾이지면서 토치의 이송 속도에 따라 형상이 왜곡되어 절단되는 경우가 발생할 수 있는데 실제 절단과 정에서 Fig. 8(c)의 R1,R2 등의 반경 값을 이용하여 각이 있는 부분을 없애고 플라즈마 토치의 반경을 고려하여 일정한 각도로 꺾이는 부분에는 모두 L1,L2,N 등의 길이를 가지는 직선과 접하는 원호경로를 추가하면 된다. 단, 공용 절단을 위한 경로와 설계 도면의 Geometry의 차이가 절단 후공정에서 문제가 없도록 가공 및 설계부서가 협의하여 엔드컷의 Geometry를 결정한다.

3.2.2 연속절단

플랫폼의 엔드컷 가공과정에서 플라즈마 절단기는 지정된 NC 경로를 따라 한 지점에서 다른 한 지점으로 이동할 경우에는 플라즈마 토치를 끄고 상승한 후 일정거리를 이동한 후 다시 플라즈마 토치에 점화를 한 후 내려와서 절단을 진행한다. 이처럼 토치가 XY방향의 절단 경로로 이동하기 위해 먼저 Z 방향으로 강판에 구멍을 내는 과정을 피어싱(Piercing)이라 부르기도 한다. Fig. 9의 둥근 점이 피어싱 포인트인데 Fig. 9(a)는 다른 종류의 엔드컷을 가진 플랫폼의 연속 절단 경로이며 Fig. 9(b)는 같은 종류의 엔드컷에 대한 것이다. 피어싱은 토치 부착품의 수명에 영향을 줄 뿐만 아니라 플라즈마 토치가 예열하는 시간이 소요되고 예열 중 하강할 때 노치가 생길 수도 있다.

연속 절단은 플라즈마 토치로 플랫폼 엔드컷 형상을 절단할 때 원판의 폭 방향에서 위 부재 엔드컷 형상의 절단경로의 끝점과 아래 부재 엔드컷 형상의 절단경로 시작 점을 일치시켜 피어싱 포인트를 줄여 준다. 또 상대적으로 접근 빠짐 거리가 없기에 절단 거리가 줄고 피어싱 포인트가 줄어들어 가공시간이 단축되며 피어싱 포인트에서 플라즈마 토치가 예열하면서 하강할 때 생기는 노치가 줄어든다.

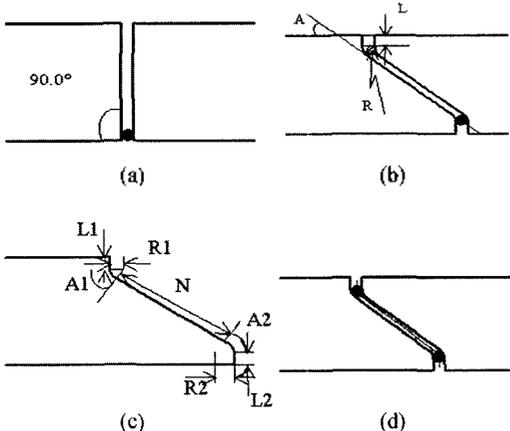


Fig. 8. Examples of Common Cutting Path.

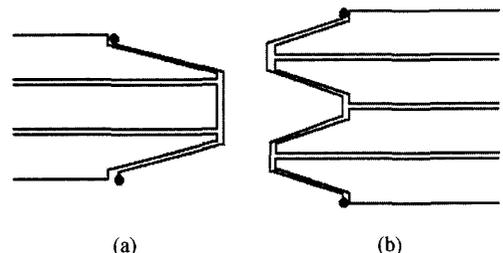


Fig. 9. Examples of Continuous Cutting Path.

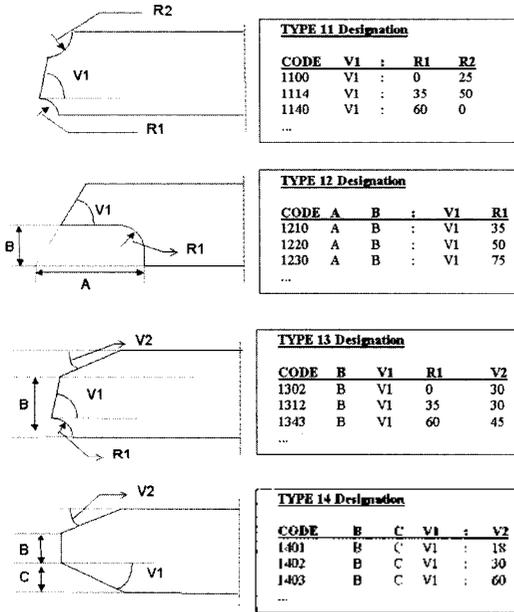


Fig. 10. Examples of End-cut Type-No. and Geometry.

3.2.3 공용 및 연속 절단을 위한 배치

플랫폼은 선박에서 보강재로 주로 사용된다. 완성된 선박의 비율(중량)로는 10% 정도 내외이지만, 수반돈 규 컨테이너선이나 벌크선의 경우 수천개에서 수만개의 플랫폼이 필요하게 된다.

플랫폼은 비슷한 길이의 부재의 수도 많고 엔드컷의 형상을 설계 단계에서 표준화하여 Fig. 10과 같이 코드와 해당하는 Geometry의 파라미터를 이용하는 경우가 많다. Fig. 10의 11xx 타입과 13xx 타입에서 1100번과 1302번은 Fig. 8과 Fig. 9에서 공용 절단과 연속 절단에 예제로 사용된 패턴이다. 이 같은 코드를 이용하여 다음과 같은 플랫폼의 기본 정보를 보관하면 부재에 대한 Geometry를 얻을 수 있다.

```

Typedef struct
{
    double width; // 폭
    double length; // 길이
    int end_a; // 왼쪽 엔드컷 타입번호
    int end_b; // 오른쪽 엔드컷 타입번호
} FLATBAR_GEOMETRY
    
```

길이 방향 배치는 폭과 길이로 그루핑하여 Fig. 5와 같은 폭이 같은 것을 길이 방향으로 후보 부재들로 선택하여 스크랩이 최소화되는 것을 선택하여 배치하였

	1순위	2순위	3순위	4순위	5순위	6순위
1302	1302	1100	1101	1102	1103	1104
1100	1100	1101	1102	1103	1104	1105
1101	1101	1102	1103	1104	1105	1105
1102	1101	1102	1103	1104	1105	1105
1103	1101	1102	1103	1104	1105	1105
1104	1101	1102	1103	1104	1105	1105

Fig. 11. An example of Layout Table.

다. 본 연구 과정에서는 공용 및 연속 절단을 위해 적절한 결과를 얻기 위해 폭과 길이로 그루핑 된 것을 다시 길이와 폭으로 재정렬하여 길이가 같은 부재를 폭 방향으로 우선 배치하는 방법을 이용하였다. 단, 인접하는 위 또는 오른쪽 부재를 선택할 때 만족하는 길이와 폭의 후보 부재가 여러 개일 때 Fig. 11과 같은 우선 선택 기준 테이블을 사용하였다. 이 테이블은 2차원 배열인데 각 요소의 값은 엔드컷의 타입 번호를 가진다. 위(폭방향)로 배치할 때와 오른쪽(길이방향)으로 배치할 때 각기 다른 테이블을 가지며 이 테이블의 값에 따라 네스팅의 기준이 바뀔 수 있다. 공용절단의 기준은 이 테이블에 의해 결정된다. 본 연구의 구현 과정에서 테이블은 현장의 숙련자에 의해 경험인 방법으로 작성되었으나 Geometry의 타입에 따라 통계적인 산출 방법도 가능할 것이다.

Fig. 11의 테이블은 좌측 부재가 이미 결정되고 우측 부재를 결정하는 경우의 테이블이다. 예를 들면, 폭이 200이고 타입이 1302인 부재 오른쪽에 폭이 200인 부재가 5개 있을 때 타입번호가 1302, 1100, 1102, 1103, 1104, 1105 순서로 선택될 수 있다는 것이다. 위로 배치될 때는 폭과 관계없고 길이가 같은 후보 중에서 배치 기준 테이블에 의해 적절한 엔드컷을 가진 부재를 선택한다. 또한, 선박의 우현(Starboard)과 좌현(Port)에 모양이 같은 부재가 대칭으로 있는데 플랫폼을 원판에서 180도 회전시켜 배치하면 공용절단이 가능하게 되는 부재는 더욱 많아진다.

이와 같은 배치를 실시하면 길이 또는 폭이 같은 부재에 대해서는 공용과 연속 절단이 가능한 배치가 이루어진다. 부재의 길이가 모두 같지 않으므로 연속 절단을 위해 공용 절단이 완료된 후 허용 오차 안에서 부재를 좌우로 이동시키는 절차를 수행한다.

비록 연속절단으로 네스팅하는 과정에서 플랫폼 사이에 길이 방향으로 일정한 여유공간이 생기게 되어 부재 배치의 효율성을 떨어뜨리는 단점이 있지만 우수한 가공 품질과 짧은 가공시간의 효과가 더 크다. 하지만 지나치게 많은 부재의 연속절단을 추구하게

되면 배치의 효율성이 너무 급속히 저하되거나 앞에서 언급한 공용 절단을 포기하여야 하는 경우가 발생할 수 있다. 또한 후 공정도 고려하는 경우가 있기 때문에 작업자로 하여금 효율적인 부재 배치가 이루어진 후 부재 배치의 효율성과 연속절단으로 이루는 작업 효율성을 비교하여 최적의 부재 배치방식을 선택할 수 있도록 해야 한다.

3.2.4 플랫폼의 폭 방향 배치

일반적인 플랫폼의 자동 네스팅 과정에서는 플랫폼을 원판의 길이 방향으로 정렬한 다음 원판의 길이 끝까지 배치한 후 더 이상 배치할 공간이 없을 때 위쪽으로 쌓아올리는 방법으로 배치한다. 이런 부재 배치 과정을 “길이 방향 배치”라 한다.

“길이 방향 배치”와는 다르게 원판의 길이방향과 수직인 폭 방향에서 제일 왼쪽 아래 위치부터 순차적으로 부재를 폭 방향으로 쌓아 올라가며 배치하는 배치 방법을 “폭 방향 배치”라고 한다. 본 논문에서의 “폭 방향 배치”는 “길이 방향 배치” 네스팅이 완료된 원판에서 폭 방향으로 잔재가 많이 남거나 같은 폭을 가진 길이가 비슷한 플랫폼들이 많은 경우에 진행한다.

제안된 배치 방법은 잔재의 형태 또한 길이 방향이 아닌 폭 방향으로 부재의 배치가 발생하도록 보장해 준다. 폭 방향 배치는 길이 방향 배치 후 길게 배치된 부재들을 뒤에서 끌어서 위로 쌓아 올림으로써 잔재의 형상을 위 쪽이 아닌 오른쪽으로 치우쳐 발생이 되도록 한다(Fig. 11). 실제로 NC절단기에서 절단하는 부재는 길이 방향인 X방향이 5000~10000 mm의 길이의 원판이기에 잔재의 형태가 폭 방향으로 남는 것이 재활용 가능성이 훨씬 크다.

“폭 방향 배치”는 후보 부재의 선택에 있어서 아래 쪽부터 차근차근 쌓아올리는 것이 아니라 원자재의 원편부터 배치하는 것이므로 길이 방향 배치와는 다르게 유효성의 검사는 여유 폭으로 이루어진다. 이렇게 행으로 배치가 되어진 후에 원판의 폭이 여유가 없을 경우 오른쪽에 부재를 선택하게 된다. 길이 방향과는 다르게 첫번째 열의 배치가 먼저 계속 되므로 공용을 고려하는 경우는 가장 원편에 행이 모두 배치가 된 후 고려된다.

3.2.5 네스팅 방법과 절차

공용 절단과 연속 절단 및 폭 방향 배치를 부재 배치 시에 적용할 때 부재 배치의 효율성과 상반되는 경우가 있지만 가공 품종과 가공 경로를 줄임으로써 시간의 단축을 가져 온다. 공용 절단과 연속 절단을 추

구하기 위해서는 부재 배치에서부터 고려하여야 함으로 효율적인 부재배치 방법을 필요로 한다.

본 논문에서는 공용절단 경로와 연속절단 경로를 모두 고려한 효율적인 배치를 위해 공용절단을 고려한 길이방향 배치를 완성한 후 폭 방향 배치를 적당하게 고려한 효율적인 플랫폼 네스팅 방법을 제안한다. 제안된 방법은 기존의 길이 방향 네스팅 방법의 낮은 잔재비율을 거의 유지하면서 공용 및 연속 절단 경로의 생성이 가능한 효율적인 부재배치를 진행할 수 있다.

제안된 플랫폼 네스팅 방법을 구현하기 위한 프로시저를 단계별로 정리하면 다음과 같다.

(단계1) 그룹화(Grouping): 전체 플랫폼의 목록에서 재질과 두께, 폭, 엔드컷 형상을 기준으로 플랫폼을 그룹화한다.

- 플랫폼은 재질과 두께에 따라 별도의 원판에 네스팅 되어야 하고 한 원판에 대해서는 스트립 절단을 고려하기 위해 폭을 기준으로 그룹을 나눈다.
- 같은 폭을 가지는 플랫폼 그룹 내에서 엔드컷 형상에 따라 다시 재그룹화 한 후 길이 순으로 정렬한다.

(단계2) 후보 플랫폼 선택(Selecting Candidate): 같은 재질과 두께를 가지는 전체 플랫폼 가운데서 길이가 제일 긴 플랫폼을 처음 배치될 부재로 선택한 후 원판의 제일 왼쪽 아래에 배치한다. 부재가 긴 것일수록 배치할 위치가 제한되므로 먼저 제일 긴 것을 선택한다.

(단계3) 네스팅(Nesting): 선택된 후보 플랫폼들 기준으로 선택된 플랫폼 그룹내에서 가장 효율적인 배치가 이루어질 수 있는 플랫폼을 선택하여 최적으로 배치한다.

- 선택된 후보 플랫폼의 오른쪽 엔드컷 형상을 기준으로 선택된 후보 플랫폼과 같은 폭을 가지는 플랫폼그룹 내에서 선택된 플랫폼의 오른쪽에 부재를 배치한다. 공용절단의 가능여부와 길이방향으로 최적으로 배치할 수 있는 가능성여부 순으로 여러 가지 엔드컷 타입의 형상 그룹들에 우선 순위를 부여한다.
- 선택된 부재의 오른쪽 편에 놓일 후보 부재의 선형에서 우선 그룹의 순위와 길이에 근거하여 후보 부재를 선택한다. 엔드컷 형상이 공용 절단이 되는가를 판단하여 공용 절단이 가능한 부재를 배치하고 그렇

지 않으면 공용이 안 되는 부재 중에 우선 순위가 가장 높은 부재를 선택한 후 최적으로 배치한다.

- 후보 부재의 길이가 원판의 크기를 벗어나는가를 체크하여 벗어나는 경우에는 선택된 부재의 위쪽의 좌측부터 배치되고 나머지 후보 부재들의 순위대로 적합한 부재를 위의 두 절차를 반복하면서 배치한다.
- 그룹내의 후보 플랫바가 소진될 때까지 단계3의 과정을 반복한다.
- 한 그룹내의 후보 플랫바가 소진되면 다음 그룹에 대해 배치를 해야 하는데 선택할 다음 그룹이 없을 때까지 단계2부터 다시 같은 단계를 수행한다. 원판의 여유 공간이 없거나 부재가 모두 배치되어진 경우에는 종료한다.

(단계4) 편집(Manual Editing): 특정부재의 삭제 또는 오작 부재의 추가를 위해 수동으로 자동 배치를 수정하고 수동으로 공용 절단과 연속 절단을 최적화 한다. 이때는 부재의 이동시에 자동 이동거리를 계산해주는 Snap기능을 추가하였다.

4. 적용사례

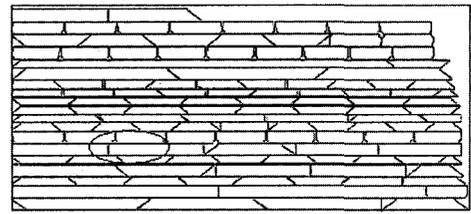
4.1 네스팅 배치 결과

Fig. 12(a)는 제안된 방법에 의해 배치된 도면의 예이다. Fig. 12(b)는 플라즈마 절단 경로만을 보인 것인데 Fig. 12(c)에서 Fig. 12(b)의 동그라미 부분을 확대하여 보이고 있다. 여기서 공용절단 가능한 부분은 플라즈마 토치의 직경만큼만 떨어져 배치되어 있고 불가능한 부분은 두번의 절단 경로에 맞게 큰 여유 값만큼 떨어져 배치되었음을 볼 수 있다.

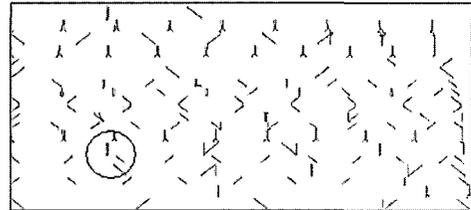
네스팅은 가공 후 조립라인을 고려하여 주로 블록 단위로 묶어서 이루어지는 한 블록에 플랫바가 많은 경우 Fig. 13(a)과 같은 배치 결과와 Fig. 13(b)와 같은 가공 경로를 얻을 수 있다.

4.2 기대 효과

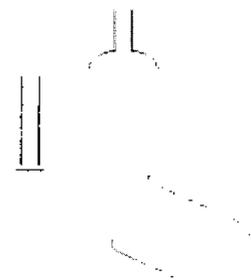
제안된 시스템은 기존의 설계 방식에 전혀 변화를 주지않고 적용이 가능하며 가공 생산성의 향상을 기대할 수 있다. 선박 부재의 가공 생산성은 여러가지 수치로 표현될 수 있는데 다음과 같은 항목들을 주로 사용한다.



(a)

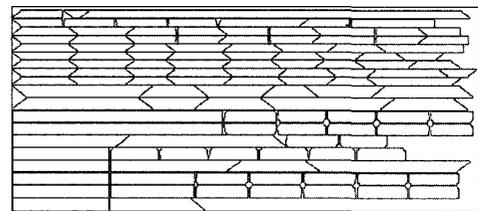


(b)

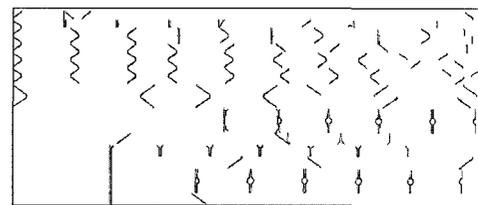


(c)

Fig. 12. An Example of Layout With Considering Common and Continuous Cutting (Ex.1).



(a)



(b)

Fig. 13. An Example of Layout With Considering Common and Continuous Cutting (Ex.2).

$$\text{마킹시간(분)} = \text{CLEN}/\text{FEED}$$

$$\text{IDLE TIME(분)} = (\text{CLEN})/\text{FEED} \times 1000$$

$$\text{플라즈마 피어싱(분)} = (\text{부재수량} \times 10\text{초})/60$$

(단, CLEN = 절단가공거리(mm), FEED = 절단 속도(mm/min))

위의 항목은 작업 시수와 품셈적용 작업시간 그리고 시수비율과 예산시수를 결정하는 중요한 항목들이다. 실제로 예제로 적용한 4만톤급 컨베이어선에서 플랫폼바는 부재 중량으로 전체의 약 10%를 차지하고 수량으로 40%의 이상의 비율을 차지하였다. 제안 시스템을 적용한 결과 피어싱 회수는 부재 개수의 70%수준이었다. 실제로 플랫폼바의 피어싱은 한 부재에 2회 발생하고 모든 부재의 흠의 횡수만큼 피어싱의 횡수는 추가된다. 적용된 선박의 플랫폼바는 10000여개 이상인데 따라서 계산상으로 최소 $10000 \times 10\text{초}/60 \times 30\% = 500\text{분}$ 이상의 가공 시간 단축을 기대할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 선박용 플랫폼바를 NC절단할 때 스트립 방향과 엔드컷 형상의 공용 및 연속 절단 가공 경로를 지원하기 위한 효율적인 부재 배치 방법을 제시하였다.

제안된 방법은 부재의 잔재 비율을 낮추면서 플랫폼바 가공에 적용하는 NC절단 속도(feed rate)와 플라즈마 토치(torch) 비용 등을 고려한 공용 절단과 연속 절단이 가능하도록 배치 방법을 사용한다. 기존의 길이 방향으로 배치된 부재를 같은 강재에 다시 폭방향으로 배치하는 절차를 사용하여 잔재율의 변화가 거의 없이 가공 시간 및 경로를 단축하고 절단 장비인 플라즈마 토치의 수명을 연장할 수 있다.

제안된 방법은 실제로 S조선의 선박용 플랫폼바 배치 및 가공 시스템에 적용되어 사용 중이며 생산성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 한윤근, 장장두, "개선된 유전알고리즘을 이용한 부

2. 이철수, 박광렬, "선박용 플랫폼바의 자동 네스팅 및 가스/플라즈마에 의한 NC절단," 산업공학, Vol. 3, No. 9, pp. 283-297, 1996.
3. 강현구, "불규칙한 선박용 부재의 최적배치," 석사학위 논문, 전남대학교, 1998.
4. 한국찬, 나석주, "레이저 절단공정에서 절단부재의 최적배치를 위한 네스팅 알고리즘," 대한용접학회지, Vol. 12, No. 2, pp. 11-19, 1994.
5. 조경호, 이진우, "임의 형상의 여러 원자재 위에서의 효과적인 배치방안," 대한기계학회논문집, Vol. 19, pp. 1854-1868, 1995.
6. 양성모, 임성극, 고석호, 김현정, 한관희, "2차원 공간에서의 휴리스틱 배치 알고리즘 및 구현에 관한 연구, 한국 CAD/CAM학회 논문집, Vol. 4, No. 3, pp. 259-268, 1999.
7. 한창봉, 박제웅, "과라메트릭 매크로를 이용한 부재 생성 및 네스팅에 관한 연구," 한국해양공학회지, Vol. 13, No. 2, pp. 176-185, 1999.
8. 한국찬, 나석주, "레이저 절단공정에서의 최적절단 경로에 관한 연구," 대한기계학회 논문집(A), Vol. 20, No. 6, pp. 1827-1835, 1996.
9. Yunyoung Kim, "Smart-nesting system with optimal cutting path planning considering minimum heat effect," Kyushu University Doctorial Thesis, Oct. 2002.
10. 김상현, 정경렬, "PC를 이용한 철판자동절단시스템 개발," 한국정밀공학학회지, Vol. 13, No. 1, pp. 29-37, 1996.
11. 나석주, "플라즈마를 이용한 용접 및 절단," 대한용접학회지, Vol. 6, No. 2, pp. 1-8, 1988.
12. 임기원, 김동조, "플라즈마 아크를 이용한 판재료의 절단현상에 관한 연구," 대한용접학회지, Vol. 9, No. 4, pp. 69-74, 1991.
13. 엄두간, 노태경, 한국찬, 나석주, 나규환, "플라즈마 아크절단용 CAD/CAM시스템 개발에 관한 연구," 대한용접학회지, Vol. 9, No. 3, pp. 52-61, 1991.
14. 이철수, "CAD/CAM형상모델링에서 NC가공까지," 터보테크 출판부, 1997.
15. 대한조선학회, "조선공학개론," 동명사, 1990.
16. E. paul Degarmo/JT. Black/Ronald A. Kohser, *Materials and Processes in Manufacturing*, Prentice Hall, 1998.



이철수

1984년 한양대학교 산업공학과 학사
1986년 한국과학기술원 산업공학과 석사
1990년 한국과학기술원 산업공학과 박사
1990년~현재 전남대학교 산업공학과 교수
관심분야: CAD/CAM과 CNC 콘트롤러



박성도

1990년 중국 북경화공대학 기계공학과 학사
1997년 중국 길림공업대학 기계공학과 석사
2000년~현재 전남대학교 기계공학과 박사과정
1990년~1993년 중국 길림화공연구원 연구원
1993년~현재 중국 연변대학교 화공과 조교수
관심분야: CAD/CAM, NC가공



박광렬

1993년 전남대학교 산업공학과 학사
1997년 전남대학교 산업공학과 석사
2001년 전남대학교 산업공학과 박사
2001년~현재 씨에스캠(주)
관심분야: CAD/CAM, NC, 설계 및 생산자동화



임태완

2000년 전남대학교 산업공학과 학사
2002년 전남대학교 산업공학과 석사
2001년~현재 씨에스캠(주) 제품 개발실 연구원
관심분야: CAM, FA, PLM



양정희

2001년 동신대학교 산업공학과 학사
2003년 전남대학교 산업공학과 석사
관심분야: CAM, FA