

H-beam 로봇 절단용 3차원 시뮬레이터의 개발과 이를 이용한 절단 최적화에 관한 연구

박 주 용^{*,†} · 김 용 옥^{*}

^{*}한국해양대학교 조선해양시스템공학부

A Study on Development of 3-D Simulator for H-Beam Robot Cutting and Optimization of Cutting Using the Simulator

Ju-yong Park^{*,†} and Yong-uk Kim^{*}

^{*}Div. of Naval Architecture and Ocean System Engineering, Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

[†]Corresponding author : jypark@hhu.ac.kr

(Received August 2, 2012 ; Revised August 6, 2012 ; Accepted August 13, 2012)

Abstract

H-beam used for stiffening the upper structure of ocean plant is cut in the various shapes. The cutting process of the H-beam is done manually and requires a long time and high cost. Therefore, automation of H-beam cutting is an important task. This research aims to develop a 3-D simulator to build the automatic H-beam cutting system and to determine the optimal cutting method. The automatic H-beam cutting system composes of 6 robots including 2 cutting robots hang to a crane and 1 conveyer. The appropriate system layout for covering the various sizes and types of H-beam was tested and determined using the simulator. The H-beam cutting system uses a hybrid type of plasma and gas cutting because of special cutting shapes of H-beam. The cutting area of each cutting method should be properly divided according to the size and shape of H-beam to shorten the total cutting time. Additionally the collision between a robot and a robot or a robot and H-beam should be avoided. The optimal cutting method for the shortest cutting time without the collision could be found for the various cutting conditions by use of the simulator. 2 simulation samples shows the availability of the simulator to find the optimal cutting method.

Key Words : H-beam cutting, robot cutting system, hybrid cutting, optimal cutting method, cutting simulation

1. 서 론

해양플랜트 제작 시 바다 위 상부 구조에는 제작이 쉽고 유지보수가 용이한 H-beam 형강이 많이 사용된다. 해양플랜트에서 이용되는 H-beam은 웹 깊이가 100~900mm, 플랜지 깊이가 100~400mm에 이를 정도로 크기가 매우 다양하며 절단되는 형태 또한 복잡하고 종류가 대단히 많다. 이러한 다양함과 복잡함 때문에 H-beam 절단은 전량 수작업으로 이루어지고 있으며 이로 인한 낮은 생산성과 품질 불량 및 작업자의

근·골격계 질환 발생은 큰 문제가 되고 있다¹⁾. 최근 국내 조선소에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 H-beam 절단을 자동화하는 연구 및 자동화 설비 도입을 추진하고 있다.

본 연구에서는 H-beam 절단시스템의 효율적 구축을 위해 디지털 매뉴팩처링 기술을 적용하여 가상의 공간에 H-beam 절단을 위한 설비를 구축한 H-beam 절단 시뮬레이터를 개발하였다.

디지털 매뉴팩처링은 생산 시스템의 물리적, 논리적 구성 요소들과 거동을 엄밀하게 컴퓨터상에서 모델링하여 통합된 디지털 모델을 구성하고 다양한 정보 기술들

을 활용하여 전체 생산 공정을 가상으로 구현하는 기술이다. 이를 통해 각 공정에 대한 오류와 비효율을 사전 검증하고 생산공정의 최적화를 달성할 수 있다²⁾.

공장 설비를 구축하는 과정에서 실제 설비를 설치한 후 수정이 필요하게 되면 많은 시간과 경제적인 손실이 발생한다. 특히, H-beam은 다양한 형태로 절단되며 각 절단 형상에 따라 상이한 절단 로봇의 동작이 요구된다. H-beam 절단 시뮬레이터는 디지털 메뉴팩처링의 장점인 오류 및 효율성의 사전 검증 기능을 활용하여 결정된 2대의 절단 로봇, 크레인, 컨베이어 및 부수적인 장치로 구성되어 있으며 다양한 환경에서 H-beam 절단에 적합한 레이아웃으로 구축되어 있다.

H-beam 절단 시뮬레이터는 상용 로봇 시뮬레이션 솔루션인 IGRIP으로 구축되었다. IGRIP은 인터페이스 작업이 용이하고 다양한 소프트웨어와 데이터 교환이 가능한 반면 사용자가 로봇의 동작을 위한 교시점을 직접 생성해야 하는 불편함이 있다³⁾. H-beam의 경우 웹과 플렌지 각각에 대해 수십여 가지의 절단 형상이 있으며 이를 조합할 경우 수백여 종의 다른 절단 형태를 가진 H-beam이 존재하게 된다. 이러한 모든 경우에 대해 작업자가 직접 교시점을 생성하는 것은 비효율적이므로 이를 자동 생성하는 프로그램이 필요하다. 본 연구에서는 선행연구를 통해 개발된 H-beam 3차원 절단형상 가시화 프로그램을 연계하여 시뮬레이터에서 활용할 수 있는 인터페이스 프로그램을 작성하여 추가하였다.

2. H-beam과 시스템 layout

2.1 H-beam

H-beam은 넓고 두꺼운 플렌지(flange)와 얇고 깊은 웹(web)으로 구성되어 단면의 성능이 우수하고 조립 및 접합이 용이하여 구조용 강재로 널리 쓰인다. 해양플랜트에 주로 사용되는 H-beam의 규격은 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 매우 다양하다. 이러한 H-

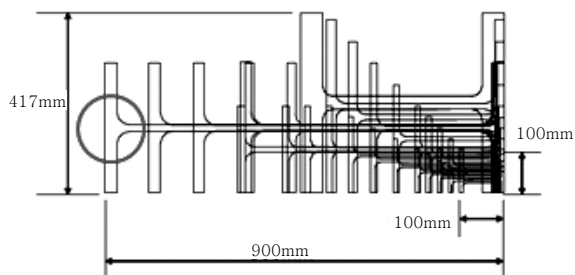


Fig. 1 Various Size of H-beam



Fig. 2 Examples of real H-beam cut

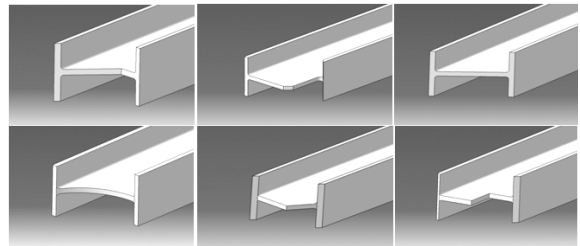


Fig. 3 Examples of various cutting shapes of H-beam

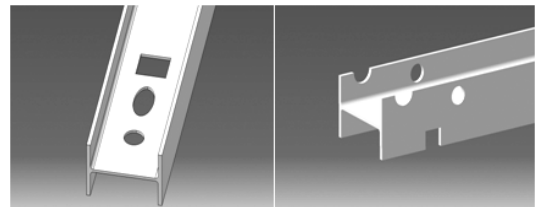


Fig. 4 Examples of hole cutting

beam은 사용되는 위치와 목적 또는 다른 구조물과의 용접을 위해 Fig. 2, 3과 같이 양 끝 부분을 여러 가지 형태로 절단하고 있다.

H-beam 양 끝단의 형상 외에도 Fig. 4와 같이 web과 flange 면에 다양한 형태의 홀 가공이 필요한 경우들이 있다.

2.2 Hybrid 절단 시스템

일반적인 자동 절단 시스템의 경우 고속절단이 가능한 플라즈마 절단법을 사용하고 플라즈마 토치가 장착된 로봇 1기를 사용하기 때문에 시스템이 단순하고 로봇의 충돌 위험이 적다. 그러나 H-beam 절단의 경우 Fig. 5에서 나타난 것과 같이 플라즈마 토치가 직경이 크기 때문에 접근할 수 없는 절단 영역이 있어 플라즈마 절단을 적용할 수 없다. 플라즈마 토치에 비해 상대적으로 작은 직경의 토치 사용이 가능한 산소-아세틸렌 절단법의 경우 모든 영역에 대해 절단이 가능하나 절단 속도가 느린 단점이 있다. 따라서 본 시스템에서는 두 절단법을 병행하는 하이브리드 방식을 적용하였다.

단, 로봇 오작동에 의한 충돌위험과 고사양의 제어장

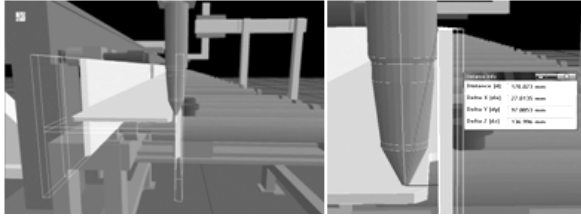


Fig. 5 Access limitation of the plasma torch

치 요구로 인해 두 절단 로봇은 동시 작업을 하지 않고 한 로봇의 작업이 종료되면 홈 위치로 회피한 후 다음 로봇의 작업이 진행되도록 하였다.

2.3 시스템 레이아웃

H-beam 절단 시스템의 레이아웃은 Fig. 6과 같이 크게 3부분으로 구분된다. 즉, 작업물을 절단 시스템에 공급하는 오른쪽의 Infeed 영역과 절단작업이 이루어지는 Cutting area, 절단된 부재를 내보내는 Outfeed 영역으로 이루어져 있다. Infeed 영역에서는 수평이송 컨베이어, 부재의 크기를 측정하는 측정장치, 절단영역으로 부재를 이송하는 부재이송로봇으로 구성되어 있다. 절단영역에서는 H-beam의 web 상단에 부재정보를 출력하는 프린팅 로봇과 크레인 및 크레인에 장착된 2대의 6축 절단로봇, 절단 시 슬래그 및 스파터를 제거하는 청소로봇이 있다. Outfeed 영역은 절단된 부재를 내보내는 수평이송 컨베이어가 있는 영역이다. 크레인 및 6축 절단로봇은 다양한 H-beam 크기와 모든 절단 영역에 접근이 가능하도록 크기 및 위치를 결정하였다.

3. 시뮬레이션

3.1 H-beam 절단 정보 생성

로봇 절단 시뮬레이션을 구현하기 위해 사용한 솔루션

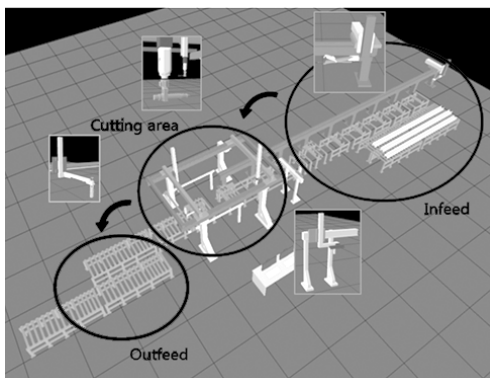


Fig. 6 Layout of H-beam cutting system

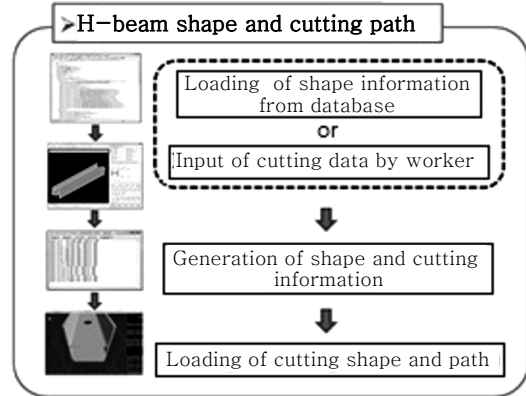


Fig. 7 Generation of cutting information

선인 IGRIP의 경우 형상 정보에 대한 고유의 파일 형식을 지니고 있기 때문에 다른 CAD/CAM 프로그램에서 생성된 형상 정보를 직접 사용할 수는 없으나 VRML, STL, STEP, IGES 등의 형상 정보 파일을 변환하여 사용할 수 있다.

본 연구에서는 H-beam 절단 형상 가시화 프로그램을 사용하여 절단형상을 나타내고 이 절단형상에 로봇 교시점을 표시하여 형상 및 절단 정보를 생성하였다⁴⁾. 이 정보들은 XML과 VRML 형식으로 전환되어 IGRIP에서 로딩된다. Fig. 7에 요약되어 있는 이 절단정보 생성과정은 간편하면서도 신속하여 복잡한 H-beam 절단정보 생성에 적합하다.

3.2 시뮬레이션을 통한 절단 시스템의 안정성 검증

본 시스템에서는 Gantry 형태의 절단 로봇 2기를 비롯하여 총 6기의 로봇이 사용된다. 이 가운데 절단 영역 내에서는 절단 로봇 2기와 청소로봇, 컨베이어 시스템 그리고 H-beam 이렇게 총 5개의 개체가 위치하게 된다. 좁은 영역내에서 다수의 개체가 이동하며 작

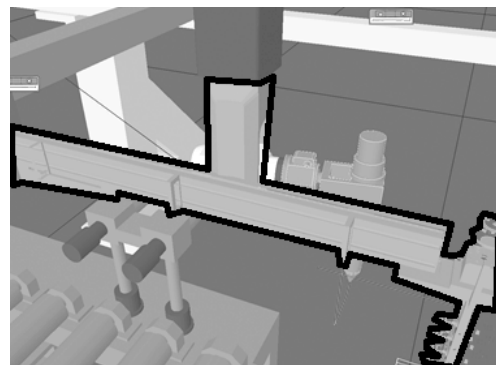


Fig. 8 Example of robot collision

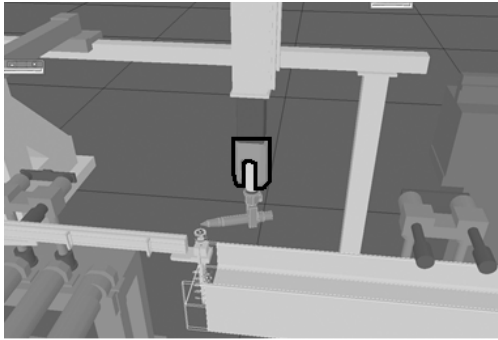


Fig. 9 Out of range of work area

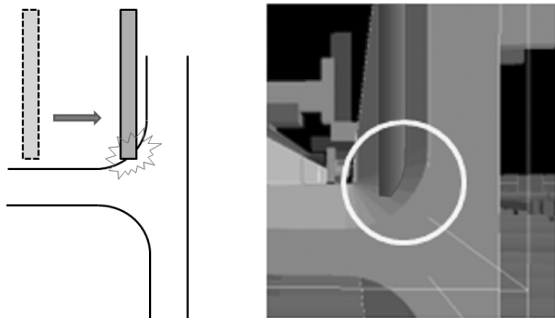


Fig. 10 Example of collision of cutting torch

업이 이루어지기 때문에 서로에 대한 간섭 여부의 사전 확인이 반드시 필요하다. 이 시뮬레이터에서는 Fig. 8의 경우와 같이 로봇이 다른 부재와 충돌하거나 Fig. 9와 같이 로봇의 작업영역을 벗어난 경우에 붉은 색(굵은 선으로 둘러싸인 부분)으로 표기된다⁵⁾. 이러한 간섭 체크기능을 사용하여 간섭이 없고 다양한 H-beam에 대한 모든 작업영역이 확보되는지를 확인하였고 문제가 있는 경우 각 설비의 재배치 및 위치 조정을 통해서 해결하였다.

H-beam 절단 시 발생하는 문제 중 하나는 web과 flange가 만나는 부분의 형상이 일정 곡률 반경을 갖는 곡면으로 되어 있기 때문에 이를 고려하지 않을 경우 Fig. 10과 같이 절단 토치가 부재에 부딪히는 경우가 발생할 수 있다. 이 곡면의 곡률반경은 H-beam의 규격에 따라서 Table 1에서와 같이 표준단면치수에 따라 다른 값을 갖는다.

절단토치는 부재 표면에서 대략 7mm 정도 떨어진 거리를 유지하며 절단하게 되는데 본 연구에서는 절단 토치가 부재에 부딪히는 것을 방지하기 위해 곡률 반경을 감안하여 토치가 곡면을 따라 움직이도록 절단 경로를 생성하였고 시뮬레이션을 통해 충돌이 되지 않는 것을 확인하였다.

Table 1 Standards of H-beam size

Size(mm)	Standard Dimension			
	H×B	t _H	t _B	r
150×75	150×75	5	7	8
100×100	100×100	6	8	10
125×125	125×125	6.5	9	10
		⋮		
400×400	388×402	15	15	22
	428×407	20	35	22
900×300	890×299	15	23	28
	912×302	18	34	28

3.3 시뮬레이션에 의한 최적 작업량 배분

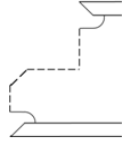

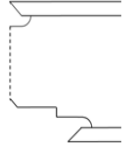

플라즈마 절단법과 가스 절단법은 부재 종류, 부재 두께, 토치 직경, 불꽃 또는 전류의 세기 등에 따라 절단속도가 서로 다르다. 통상 플라즈마 절단이 가스 절단에 비해 2~8배 가량 절단속도가 빠르며 두께가 커질수록 절단속도의 차이는 줄어든다. 본 연구에서는 웹 및 플랜지의 두께가 20mm인 강판 H-beam 절단을 대상으로 하여 플라즈마 절단은 25mm/s, 가스 절단은 5mm/s의 절단 속도를 적용하였다.

절단작업의 생산성을 높이기 위해서는 절단작업에 소요되는 시간을 최소화하여야 한다. 단순히 절단 시간만을 고려하면 속도가 빠른 플라즈마 절단 영역을 최대화하는 것이 유리하다. 하지만 직경이 큰 플라즈마 토치의 경우 작업이 불가능한 영역이 있어 이곳은 반드시 가스 절단법을 적용해야 하며 이 영역은 절단 형상에 따라 크기가 달라진다. 또한 가스 절단과 플라즈마 절단은 절단 단면의 특성이 차이가 나므로 절단부분의 모서리 사이의 직선 및 곡선부분은 절단법을 변경하지 않는 것이 좋다.

이러한 요인 외에도 가스절단영역의 크기가 절단형상에 따라 다르고 절단법이 변경될 때 로봇이 작업을 위해 이동하는 시간을 고려하면 플라즈마 절단을 적용하는 영역이 크지 않을 때 가스절단만 적용하는 것이 더 유리할 수도 있다. 따라서 생산성을 높이기 위해서는 다양한 절단형상에 대해 두 절단법을 어떻게 배분할 것인가 하는 것이 중요한 문제가 된다.

본 연구에서는 Table 2에 보여진 2가지 H-beam의 크기와 절단 형상에 대해 절단법을 다르게 배분했을 때의 전체 절단시간을 조사하였다. 웹 형상에서 점선으로 표시된 부분을 플라즈마 절단법을 적용하고 실선부는

Table 2 2 cases of H-beam cutting

Code	Web	Flange	Size
P1			300×300 ×20×20
P2			300×300 ×20×20

가스절단법을 적용한 경우와 웹의 전체 절단영역을 가스절단법을 적용한 경우를 비교하였다. 플랜지에 대해서는 두 경우 모두 절단 작업 시 부재와의 간섭이 없어 절단 속도가 빠른 플라즈마 절단법을 적용하였다.

Table 3, 4는 시뮬레이션 결과로 각 절단법에 대해 로봇의 움직임에 소요되는 시간인 motion과 절단 작업에 소요되는 시간인 cut, 그리고 전체에 대한 작업시간을 보여주고 있다.

Table 3의 P1에 대한 절단 작업 시간에 있어서 속도가 빠른 플라즈마 절단을 병행하는 것이 절단시간이 짧았으나, Table 4에 표시된 P2의 경우는 가스 절단만을 사용하는 경우가 절단시간이 더 짧았다. 일반적으로는 웹의 폭이 깊을수록, 두께가 작을수록 플라즈마로는 웹의 폭이 깊을수록, 두께가 작을수록 플라즈마

Table 3 Result of case P1

	Plasma		Gas		Total time (s)
	motion	cut	motion	cut	
only gas	121.6	24.2	85.7	97.2	328.7
gas + plasma	159	52.2	89.4	23.5	324.1

Table 4 Result of case P2

	Plasma		Gas		Total time (s)
	motion	cut	motion	cut	
only gas	124.3	24.2	86	78.4	312.9
gas + plasma	163.6	36.3	89.8	51.6	341.3

적용 영역을 확대하는 것이 유리하나 절단형상, H-beam의 크기와 길이에 따라 로봇의 이동시간의 비중이 커지므로 직관적으로 판단하기는 어려운 경우가 많다. 이러한 경우 본 시스템을 이용하여 다양한 경우에 대해서 시뮬레이션 해 봄으로써 절단시간을 최소화할 수 있는 각 절단법의 배치와 충돌을 회피할 수 있는 절단경로를 결정할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 디지털 매뉴팩처링 기술을 활용하여 H-beam 절단 시뮬레이터를 개발하였다. 이 시뮬레이터는 6기의 로봇과 컨베이어로 구성되어 있으며 다양한 크기와 형상의 H-beam의 절단이 가능하고 각 구성품의 충돌과 간섭이 배제되도록 배치하였다. 또한 시뮬레이터의 효율성을 높이기 위해 3차원 절단 형상 가시화 시스템을 활용하여 절단정보의 생성을 용이하게 하였다.

H-beam의 절단은 가스절단법과 플라즈마절단법이 모두 적용되어야 한다. 본 시뮬레이터의 활용을 통해서 H-beam 절단 시 각 구성품 간의 충돌을 회피할 수 있고 가스절단법과 플라즈마절단법이 적절히 배분된 최적의 절단방법을 결정할 수 있다.

참 고 문 헌

1. S. H. Mun et al., A Development of Profile Cutting Robot System, Proceedings of the KSME 2007 fall annual meeting, 2007, 113-116 (in Korean)
2. H. L. Jung et al., Construction of a Verified Virtual NC Simulator for the Cutting Machines at Shipyard Using the Digital Manufacturing Technology, Journal of the Society of Naval Architects of Korea **42-1** (2005), 64-72.2 (in Korean)
3. S. J. Lee, S. H. Lee and J. K. Park : Development of Automation Program Module for OLP based Industrial Robot Simulation, Transactions of the KSMT **18-1** (2009) 13~21 (in Korean)
4. J. Y. Park, H. J. Joe, J. H. Lee and J. Y. Park : Development of 3D Modeling System to Display the Cutting Shape of H-Beam Used in Ships and Ocean Plants, The Korea Committee for Ocean Resources and Engineering **23-3** (2011) 47-52 (in Korean)
5. J. Y. Park and Y. K. Lee : A Study on the Determination of Cutting Work Envelope of Articular Robot for H-beam Cutting, Journal of KWJS. **27-6** (2009) 55-61 (in Korean)