



### 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

객체지향 정보모델을 기반으로 한 H-beam 자동 절단  
프로그램 및 3차원 시뮬레이션 연구

A study of H-beam automation cut program and 3-D simulation  
based on object-oriented data model



지도교수 박 주 용

2010년 8월

한국해양대학교 대학원

조선해양시스템공학과

김 용 욱

本 論 文 을 김 용 옥 의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

위원장 : 공학박사 조 효 제

위 원 : 공학박사 박 주 용

위 원 : 공학박사 남 중 호



2010년 8월

한 국 해 양 대 학 교 대 학 원

조 선 해 양 시 스템 공 학 과 김 용 옥

# 목 차

List of Tables .....	I
List of Figures .....	II
Abstract .....	III
제 1 장 서 론 .....	1
1.1 연구 배경 및 필요성 .....	1
1.2 연구 내용 .....	2
제 2 장 H-beam과 시스템 layout .....	4
2.1 H-beam .....	4
2.2 시스템 특징 .....	6
제 3 장 객체지향 정보 모델링 .....	9
3.1 객체지향 모델링 기법(OMT : Object Modeling Technique) .....	9
3.2 객체와 클래스 .....	11
3.2 UML 정의 .....	17
3.3 UML 다이어그램 .....	17
제 4 장 프로그램 개발 .....	19
4.1 H-beam 절단 형상 정보 .....	19
4.2 교시점 생성 .....	20
제 5 장 시뮬레이션 .....	21
5.1 공정 시뮬레이션 .....	21
5.2 시뮬레이션 모델링 .....	22
5.3 시뮬레이션을 통한 시스템 안정성 확인 .....	27
5.4 시뮬레이션을 통한 작업량 배분 결정 .....	29
제 6 장 결 론 .....	34
참고문헌 .....	35

# List of Tables

Table 1 Standards of H-beam .....	29
Table 2 Cutting speed of plasma and gas cut .....	29
Table 3 Simulation conditions .....	30
Table 4 Result of working time for W1 from simulation .....	31
Table 5 Result of working time for W2 from simulation .....	32
Table 6 Result of working time for W3 from simulation .....	33



## List of Figures

Fig. 1 Ratio of musculoskeletal disorders among industrial disaster victims	1
Fig. 2 Various size of H-beam	4
Fig. 3 Several kinds of cutting shape	4
Fig. 4 Example cutting shapes of H-beam	5
Fig. 5 Several kinds of hole cutting shape	5
Fig. 6 Example hole cutting shapes	5
Fig. 7 Limit of a plasma torch	6
Fig. 8 Diameter of each torch	7
Fig. 9 Gantry type robot	8
Fig. 10 Example of print	8
Fig. 11 Stage of Object Oriented Technique	9
Fig. 12 3-models of Object Oriented Modeling	10
Fig. 13 Example of Class and Objects	11
Fig. 14 Class with attributes and operations	11
Fig. 15 One-to-one association and links	12
Fig. 16 Many-to-many association	13
Fig. 17 Association between RobCut and RobSim	13
Fig. 18 Example of aggregations	14
Fig. 19 Multi-level aggregation	14
Fig. 20 Aggregations of system	15
Fig. 21 Example of Generalization and Inheritance	16
Fig. 22 Class diagram of system	17
Fig. 23 Sequence diagram	18
Fig. 24 Definition of cutting shape and XML data	19
Fig. 25 Conversion of H-beam model data	19
Fig. 26 Process of making cutting information	20

Fig. 27 Process of robot modeling .....	21
Fig. 28 System layout .....	22
Fig. 29 Model of Measuring Robot .....	23
Fig. 30 H-beam sensing and grabbing .....	23
Fig. 31 Model of Cutting Robot .....	24
Fig. 32 Model of plasma and gas torch .....	24
Fig. 33 Model of print robot .....	25
Fig. 34 Model of air blower .....	25
Fig. 35 Work of air blower .....	26
Fig. 36 Model of conveyer unit .....	26
Fig. 37 Example of robot crash and out of range .....	27
Fig. 38 Round area expecting crash .....	28
Fig. 39 Example of crash in simulation .....	28
Fig. 40 H-beam expression .....	30




# A study of H-beam automation cut program and 3-D simulation based on Object-Oriented data model

*Yong-Uk, Kim*

Major in Naval Architecture and Ocean Systems Engineering  
The Graduate School of Korea Maritime University

## Abstract



H-beam used for stiffening upper structure of Ocean Plant is cut in various shapes. This process has been done manually and there has been no optimized robot system for the automation of H-beam cutting. To increase productivity and quality, an automation system has been requested. In general, the automation cutting system uses plasma for cutting, but the system in this study uses hybrid of plasma and gas because of special cutting shapes of H-beam. In the process of developing new system, process is improved and evaluated by simulation. In spite of the advantages of simulation, it spends too much time to organize the environment of simulation for each H-beam shapes and there is a number of cutting shapes. To solve that problem, we developed a program organizing the simulation environment automatically, including the function of making shape information of H-beam. This program has a visualization function of cutting shape to prevent input mistakes by workers. All data can be reused from the database.



# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경 및 필요성

해양플랜트 제작 시 바다 위 상부 구조에는 제작이 쉽고 유지보수가 용이한 H-beam 과 같은 형강이 많이 사용 된다. 일부 형강에 대해서는 자동 절단 시스템을 적용하고 있으나 H-beam의 경우 전량 수작업 생산중이며 이로 인한 낮은 생산성과 품질 불량 및 작업자의 근골격계 질환을 초래하는 문제가 있다. Fig. 1은 산업현장에서의 한국과 미국의 총 산업재해자 수 중 근골격계질환자의 비율을 나타내고 있다.

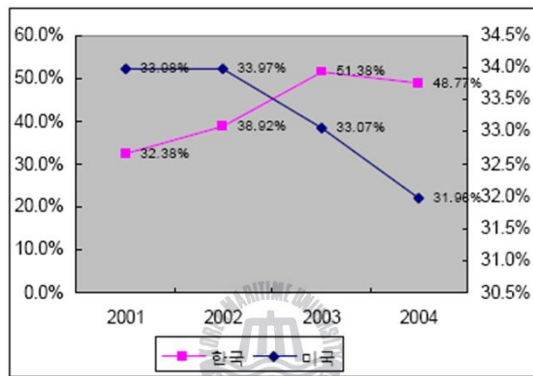


Fig. 1 Ratio of musculoskeletal disorders among industrial disaster victims

현재 자동절단 시스템은 네덜란드나 프랑스와 같은 유럽 선진국들이 이미 그 기술을 가지고 있어 많은 로열티를 지불하며 사용하고 있다. 이로 인해 시스템에 문제가 발생해도 빠른 대처가 어려워 생산라인이 멈추는 경우도 발생하고 있다. 특히 H-beam의 경우 완전한 자동 절단 로봇 시스템이 없다. 이렇듯 기존에 존재하지 않는 H-beam에 최적화된 로봇 자동 절단 시스템을 구축하기 위해서는 현재 존재하는 여러 로봇에 대한 적용 가능성을 검토하고 필요에 따라 새로운 타입의 로봇을 제작하는 것이 요구된다. 그러나 검토 가능한 모든 로봇에 대한 직접적인 검토와 새로운 타입의 로봇을 제작하여 검토하는 것은 많은 시간과 경제적인 소모가 예상되어 이를 컴퓨터의 가상공간에서 수행하는 디지털 생산 기술을 적용한 시뮬레이션을 수행하였다. 이 과정에 있어서 객체 지향 정보 모델을 통해 전체 공정과 시스템에 대한 분석을 수행하였다.

## 1.2 연구 내용

생산성 저하와 품질 불량 또는 근골격계 질환의 초래와 같은 문제를 해결하기 위해 H-beam 자동 절단 시스템을 구축하는 과정에서 본 연구를 수행하였다.

### (1) 객체지향 모델링 기법을 적용한 공정 분석

공정 프로세스 분석 방법으로 객체지향 모델링 기법(Object-Oriented Modeling Technique)을 사용하였다. 객체지향 모델링 기법은 실세계에서 일어나는 여러 문제들을 기존의 방법인 데이터 처리 절차 중심으로 분석한 것이 아니라, 객체라는 개념을 도입하여 객체 중심으로 모델링하는 새로운 방법이다. 본 연구에서 사용한 UML(Unified Modeling Language)은 사실상의 업계 표준 객체 모델링 언어로 초기 객체지향 분석 설계 방법을 통합, 발전시킨 것이다. UML 기법의 Class 다이어그램과 Sequence 다이어그램을 이용하여 전체 공정을 분석하였다.

### (2) H-beam 절단 형상 가시화 프로그램 개발

H-beam 자동 절단 작업은 우선 작업자에 의해 원하는 H-beam 절단 형상 정보가 시스템에 입력된 후 이 정보를 전달 받은 절단 로봇에 의해 이루어진다. 이때, 작업자의 입력 오류에 의한 불량품 생산으로 불필요한 부재 소모 및 공정 계획에 차질을 초래할 수 있다. 이러한 문제 해결을 위해 작업자가 입력한 H-beam 절단 형상 정보와 일치하는 가상의 H-beam 형상을 시각화하여 작업자가 재확인할 수 있도록 하는 프로그램을 개발하였다. 이와 함께, 입력된 H-beam 절단 형상 정보를 지정된 경로에 저장하여 재사용이 가능하도록 하였다.

### (3) 시뮬레이터 구축

공정 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. 이러한 복잡한 절단 시스템의 구축 과정에서 요구되는 다양한 정보와 직관적인 예측이 불가능한 상황에 대한 정보 획득 등의 목적으로 가상의 시뮬레이터를 구축하였다. 시뮬레이터에서 제공된 정보를 통해 각 unit의 home position 및 작업 순서를 결정하였으며 작업 소요 시간 예측을 통해 차후 공정 계획에 반영할 수 있도록 하였다. 또한 앞으로 추가되는 새로운 절단 형상에 대한 사전 평가도 수행 할 수 있다.

본 연구에서는 현재 상용화 되어 있는 로봇 시뮬레이션 솔루션 중 IGRIP을 통해 시

플레이션을 구성하였다. IGRIP의 경우 인터페이스 작업이 용이하고 다양한 소프트웨어와 데이터 교환이 가능한 반면 사용자가 로봇의 동작을 위한 교시점을 직접 생성해야 하는 불편함이 있다. 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 기능과 시뮬레이션에 사용될 H-beam 형상 정보를 생성하는 자동화 프로그램을 함께 개발하였다.



## 제 2 장 H-beam과 시스템 layout

### 2.1 H-beam

H-beam은 넓고 두꺼운 플렌지(flange)와 얇은 웹(web)으로 구성되어 단면의 성능이 우수하고 조합 및 접합이 용이하여 구조용 강재로 널리 쓰인다. 해양플랜트에 주로 사용되는 H-beam의 규격은 Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 매우 다양하다. 이러한 H-beam은 사용되는 위치와 목적 또는 다른 구조물과의 용접을 위해 양 끝 부분을 여러 가지 형태로 절단할 필요가 있으며 대표적인 형상으로는 Fig. 3에 나타난 것과 같다. Fig. 4는 이러한 형상들이 실제로 절단된 H-beam의 사례를 보여주고 있다.

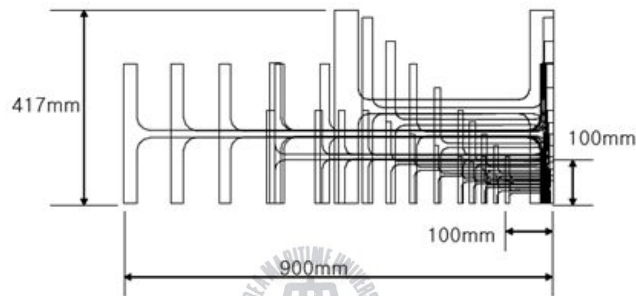


Fig. 2 Various size of H-beam

Shape	1	2	3	4	1	2	3	4
WA								
	A	AaRrr	AbRrr	AaRrrRrr	CaKosHw	CaKosHwbRrr	CbKosHw	CaRrrKosHw
	a	aar	abr	aarrr	caKh	caKhr	cbKh	caRrrKh
	1	2	3	4	5	6	7	8
WC								
	BaBoHw	BaBoHwRrr	BaBoHwbRrr	BaBoHwRrbRrr	CaKosHwWw	CaKosHwWwRrr	CaKosHwWwbRrr	CaKosHwWwRrrRrr
	baBh	baBhr	baBhr	baBhrRrr	caKh	caKhr	caKhr	caKhrRrr
	5	6	7	8	9	10	11	12
WB								
	BbBoHw	BaRrrBbBoHw	BbBoHwRrr	BaRrrBbBoHwRrr	CbKosHwWw	CaRrrBbBoHwWw	CbKosHwWwRrr	CaRrrBbBoHwWwRrr
	bbBh	baRrrbbBh	bbBhr	baRrrbbBhr	cbKh	caRrrcbKh	cbKhr	caRrrcbKhr

Fig. 3 Several kinds of cutting shape



Fig. 4 Example cutting shapes of H-beam

또한 H-beam 양 끝단의 형상 외에도 web과 flange 면에 다양한 형태의 홀이 절단된다. Fig. 5에서는 다양한 형태의 홀을 보여주고 있으며 Fig. 6은 웹과 플렌지 상에 홀이 절단 된 모습을 컴퓨터상에서 모델링한 것이다.

number	1	2	number	1	2	number	9	10
HW			HF			HF		
number	3	4	number	3	4	number	11	
HW			HF			HF		
number	5	6	number	5	6			
HW			HF					
number	7	8	number	7	8			
HW			HF					

Fig. 5 Several kinds of hole cutting shape

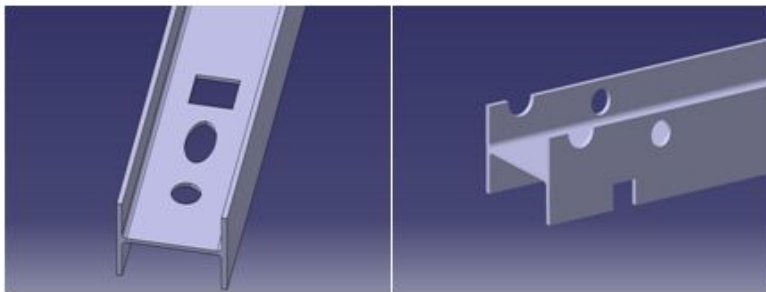


Fig. 6 Example hole cutting shapes

## 2.2 시스템 특징

### (1) Hybrid 절단 시스템

일반적인 자동 절단 시스템의 경우 플라즈마 절단법을 이용하는 로봇 1기를 사용하기 때문에 시스템이 단순하고 로봇의 충돌 위험이 적다. 그러나 H-beam 형상의 특성상 대직경의 플라즈마 토치의 접근이 어려운 영역이 있어 원하는 형상을 절단 할 수 없다. Fig. 7은 플라즈마 토치의 접근이 불가능한 위치와 대표적인 사례를 나타내고 있다.

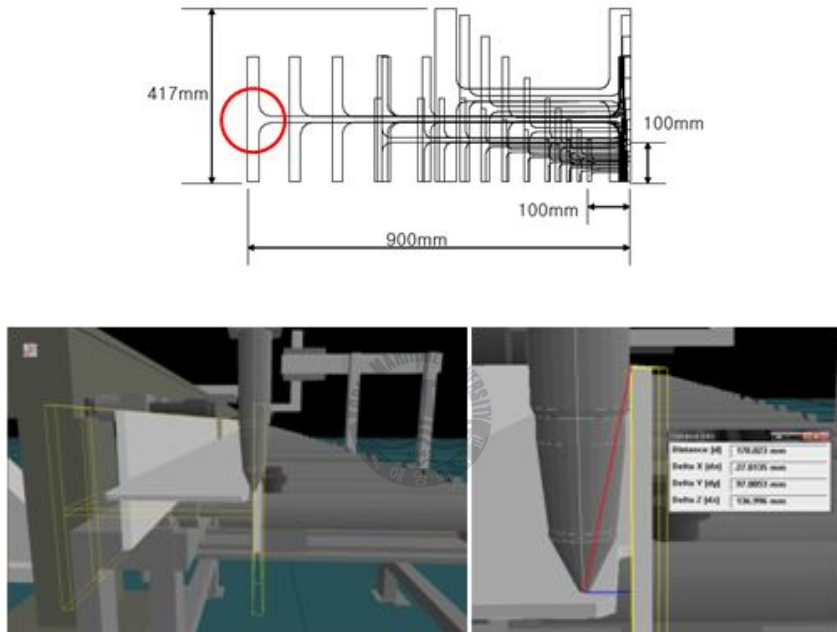
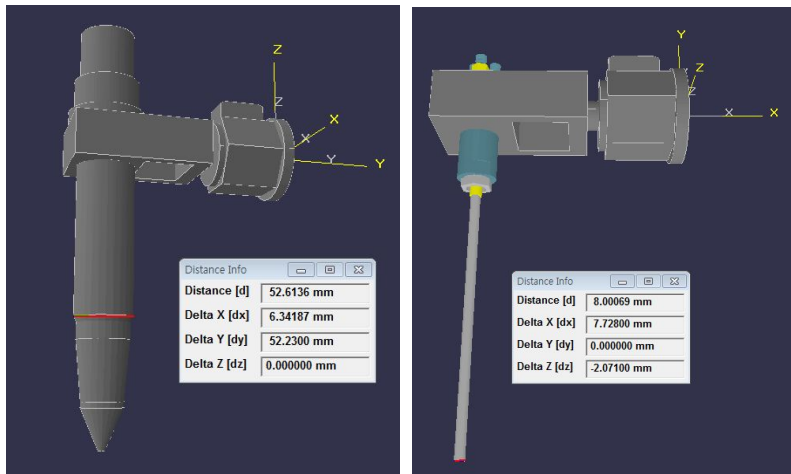


Fig. 7 Limit of a plasma torch

산소-아세틸렌 절단법의 경우 플라즈마 토치에 비해 상대적으로 작은 직경의 토치 사용이 가능하다. Fig. 8은 플라즈마와 가스 토치의 직경을 비교하여 나타내고 있다. 따라서 산소-아세틸렌 절단은 플라즈마 절단이 불가능한 영역에 있어 절단 작업이 가능하나 절단 속도가 느린 단점이 있어 이 두 절단법을 병행하는 하이브리드 방식을 적용하였다. 로봇 오작동에 의한 충돌우려와 고사양의 제어장치 요구로 인해 두 절단 로봇은 동시 작업이 아닌 한 로봇의 작업 종료 및 회피 후 다음 로봇의 작업이 진행되도록 하였다.



플라즈마 토치 직경 : 약 50mm      가스 토치 직경 : 약 8mm

Fig. 8 Diameter of each torch

## (2) 절단 시스템 설비

### 1) 부재 이송 장치

H-beam을 입고에서 절단 후 출고할 때까지 이송시켜 주는 장치로 설치 위치에 따라 in feeder, cutout, out feeder conveyor로 구성된다.

### 2) Sensing device

H-beam의 규격을 측정하고 절단 작업을 위한 위치로 정밀 이송하는 장치

### 3) Marking device

해당 부재에 대한 정보(호선, 블록, 파트, serial no. 등)를 web 상면에 프린트 하는 장치

### 4) 절단 로봇

Gantry 타입으로 X, Y, Z 각 축에 대해 회전과 병진의 총 6축으로 구성되어 있다. 2기의 로봇이 설치되어 각각 플라즈마 절단과 산소-아세틸렌 절단을 수행한다. Fig. 9는 사용된 gantry 타입의 로봇 형상을 보여주고 있다.

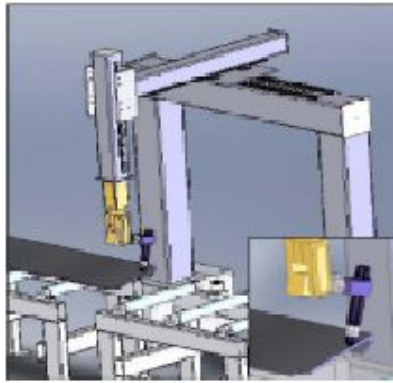


Fig. 9 Gantry type robot

### (3) 부재정보 print

절단된 H-beam은 사용되는 위치와 목적에 따라 호선, 블록, 파트 등의 부재 정보를 갖는다. 이러한 부재 정보는 일반적으로 절단이 끝난 후 작업자에 의해 기록되는데 생산성 향상과 작업자 편의를 위해 H-beam이 절단 위치로 이송되는 중 marking device에 의해 기록되도록 하였다. Fig. 10은 실제 출력된 모습이다.



Fig. 10 Example of print



## 제 3 장 객체지향 정보 모델링

### 3.1 객체지향 모델링 기법(OMT : Object Modeling Technique)

객체지향 모델링 기법은 구조화된 모델을 사용하여 실세계에서 일어나는 여러 문제들에 대해 생각하는 새로운 방법으로 객체(Object)를 기본 구조로 한다. 객체지향 모델은 문제의 이해, 작업자간의 의사소통, 문서화 그리고 프로그램과 데이터베이스의 설계에 유용하다. 공통적인 속성(Attribute)을 지니는 객체(Object)를 하나의 클래스(Class)로 정의하고, 링크(Link), 연관화(Association), 일반화(Generalization), 상속(Inheritance), 집단화(Aggregation) 등을 이용하여 클래스와 클래스 또는 객체와 객체간의 관계를 정의한다. 객체지향 모델링 기법을 사용하여 실세계의 문제를 해결하는 과정은 Fig. 11에 나타난 4 단계로 이루어진다.

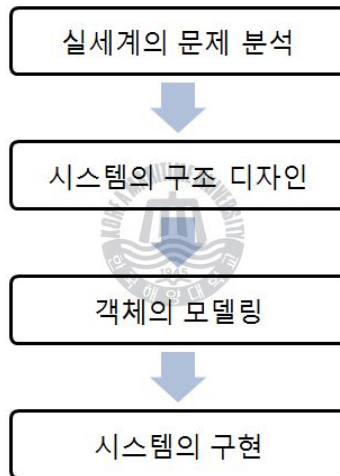


Fig. 11 Stage of Object Oriented Technique

첫 번째 단계는 실세계의 문제를 분석하여 문제 해결을 위한 시스템 구현의 가능성 및 구현 방법에 대한 판단을 하게 된다. 두 번째는 시스템의 전반적인 구조를 결정하는 단계로서 각 서브시스템들의 구성과 그 기능에 대한 결정이 이루어진다. 다음으로 세 번째에서 두 번째 단계까지 구성된 모델에 대하여 상세한 내용을 모델링하게 되며 시스템에서 필요한 객체 및 클래스를 비롯한 속성(Attribute), 기능(Operation) 그리고 객체들의 상관관계에 대해서 모델링 한다. 마지막 네 번째 단계에서는 이전 단계에서 모델링 된 객체와 클래스의 속성(Attribute), 기능(Operation) 등을 이용하여 문제 해결을 위한 소프트웨어 또는 하드웨어를 구현하게 된다.

Fig.12 에 나타난 것과 같이 모델링 단계에서는 객체 모델(Object Model), 동적 모델(Dynamic Model), 기능 모델(Functional Model)의 3가지의 모델이 사용된다. 이 모델들은 서로 완벽히 독립되지는 않지만 큰 범주에서 그 자신만으로 검토, 이해될 수 있으며 다른 모델간의 상호접속은 제한되며 명시적이다.

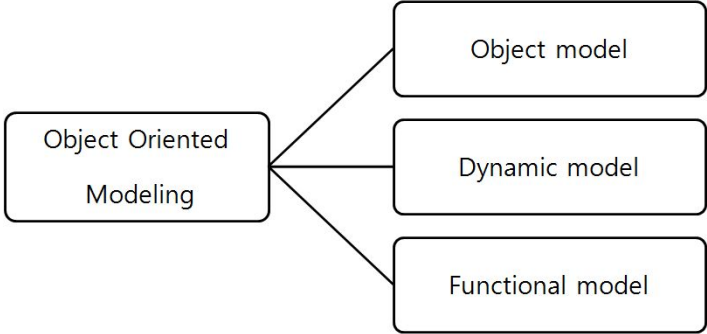


Fig. 12 3-models of Object Oriented Modeling

**(1) Object Model**

객체 모델은 시스템에서 객체의 구조(주체성, 다른 객체와의 관계, 속성 및 기능)를 나타내며, 동적 모델과 기능 모델이 위치하게 될 필수적인 framework를 제공한다. 객체 모델은 object class들을 포함한 Object diagram으로 표현되며 class는 각 object instance에 의해 동반되는 속성 값과 수행하는 기능(operation)을 정의한다.

**(2) Dynamic Model**

System을 모델링할 때 시간의 흐름에 따른 객체와 그 관계의 변화를 고려하는 관점을 Dynamic modeling이라고 한다. Dynamic model은 state diagram으로 표현되며, 각 diagram은 시스템에서 한 클래스에 대해 허용된 상태와 사건의 결과를 보여준다.

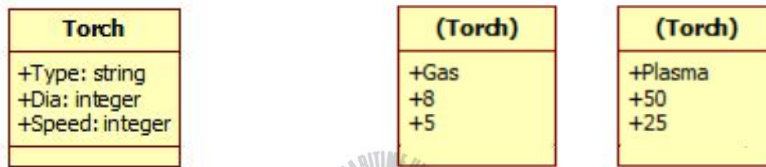
**(3) Functional Model**

기능 모델(Functional Model)은 시스템이 언제, 어떻게 하는지는 전혀 고려하지 않으며 무엇을 하는지를 포착하여 value의 변환과 관련된 시스템 측면을 나타낸다. Function은 Dynamic model 안에서 동작으로 선언되어지고, object model에서는 object의 operation과 같이 나타난다.

## 3.2 객체와 클래스

### (1) 객체(Object)

객체는 어떤 대상에 대한 concept, 추상적 개념 그리고 뚜렷한 경계와 명확한 의미를 갖는 구체적인 개념을 말한다. 객체는 다른 객체와 구별되어 독립적이며 유일하다. 이러한 객체는 서로 구분하기 위한 하나의 객체명과 하나 이상의 속성(Attribute)으로 구성되어 있다. Fig. 13의 예는 각 절단법에 사용된 절단 토치 클래스와 객체의 정의를 나타낸다. Torch라는 이름의 클래스는 절단법의 종류와 토치의 직경 그리고 절단 속도라는 속성을 가지고 있으며, 이 클래스의 두 Object는 각각 가스 절단, 직경 8mm, 절단 속도 5m/s 와 플라즈마 절단, 직경 50mm, 절단 속도 25m/s 라는 값(value)을 갖는다.



Class with attributes

Objects with values

Fig. 13 Example of Class and Objects

### (2) 클래스(Class)

클래스는 동일한 속성(Attributes)과 기능(Operations)을 갖는 객체들의 집합을 의미한다. 클래스와 객체가 가지고 있는 객체명, 속성에 더하여 기능(Operations)이라는 요소를 가진다. 이 기능(Operations)은 클래스로부터 생성될 객체의 구체적인 거동을 나타내는 역할을 한다. Fig. 14는 Print 클래스의 속성과 기능을 나타내고 있다.

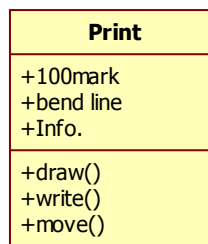


Fig. 14 Class with attributes and operations

위 Print 클래스는 100mark와 bend line이라는 속성 값에 대한 draw()라는 기능 그리고 출력될 정보에 대한 속성인 Info.에 대한 write()라는 기능을 가진다. 즉, Print 클래스의 한 객체는 100mark, bend line과 Info.라는 속성의 값(value)을 가지고 draw(), write() 그리고 move()라는 거동을 하게 된다.

### (3) 링크(Link)와 연관화(Association)

링크(Link)와 연관화(Association)는 개체와 클래스 사이에 관계를 형성하는 것을 의미한다. 링크는 객체 사이의 물리적, 개념적인 연결으로 연관화의 객체라고 할 수 있다. 즉, 연관화는 공통적인 구조와 의미를 가진 링크의 집단을 나타낸다. 모든 링크는 같은 클래스의 개체를 연결한다. 연관화는 보통 특정 방향을 나타내지만 근본적으로 양방향성을 지닌다. Fig. 15는 일대일(1:1)의 링크와 연관화를 나타내고 있다. Class diagram에서 Country와 City라는 클래스 사이에 Has-capital이라는 연관화를 형성하였고, Instance diagram에서 나타난 링크의 집합과 일치한다. 의미가 분명할 경우 링크와 연관화의 이름은 생략될 수 있다.

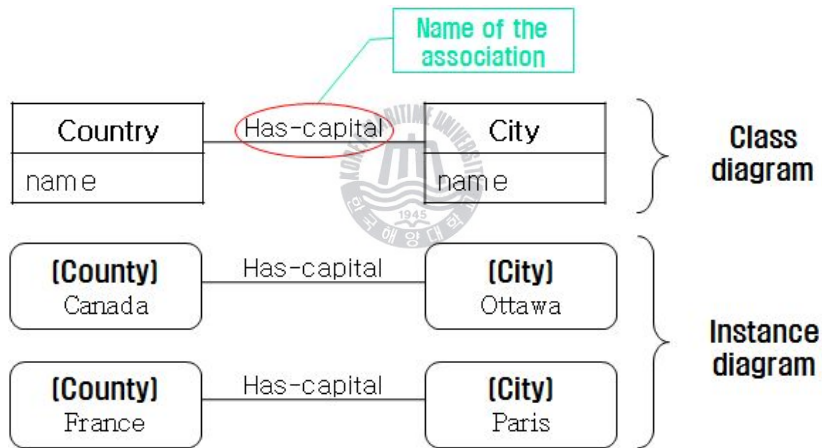


Fig. 15 One-to-one association and links

Fig. 16은 다대다(n:n)의 링크와 연관화를 나타내고 있다. Line 클래스와 Point 클래스는 2개 이상의(2+)의 Line 객체가 교차(Intersects) 하는 곳에 Point 클래스의 객체가 존재하는 연관화(Association)를 이루고 있다.

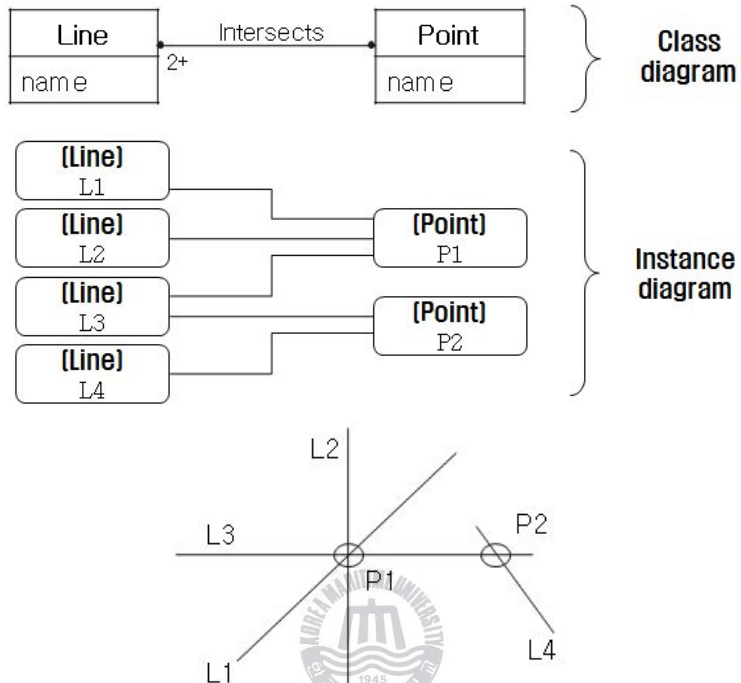


Fig. 16 Many-to-many association

Fig. 17은 RobCut 클래스와 RobSim 클래스 사이의 연관화를 보여준다. 이 두 클래스는 RobCut 클래스로부터 RobSim 클래스로 정보를 보내주는 Association을 맺고 있다.



Fig. 17 Association between RobCut and RobSim

#### (4) 집단화(Aggregation)

집단화(Aggregation)는 연관화(Association)의 특별한 형태로 연관화가 대개 독립적인데 비하여 부분-전체로 강하게 묶여진 관계를 의미하며 “a-part-of” relationship이라고 할 수 있다. 집단화는 Fig. 18과 같이 association의 끝에 다이아몬드 모양으로 표기한다.

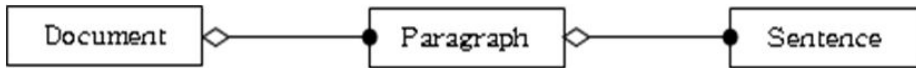


Fig. 18 Example of aggregations

또한 Fig. 19와 같이 다수의 부분을 조합할 수 있다.

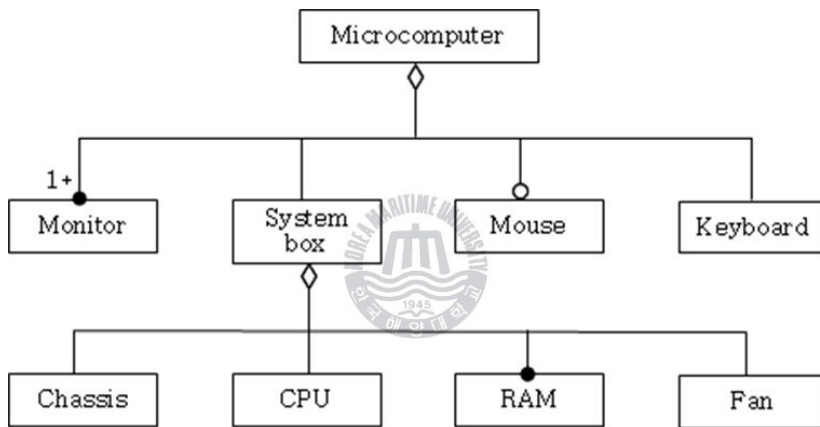


Fig. 19 Multi-level aggregation

Fig. 20은 위에서 설명한 집단화 개념을 본 시스템에 적용한 다이어그램이다. RobSim 이라는 전체 시스템은 Gantry, Conveyor, Print 그리고 Measuring 로봇에 대한 각 클래스와 집단화 관계를 맺고 있으며, 그 중 Gantry 클래스는 Torch, Hand 클래스와 다시 집단화 관계를 맺고 있다.

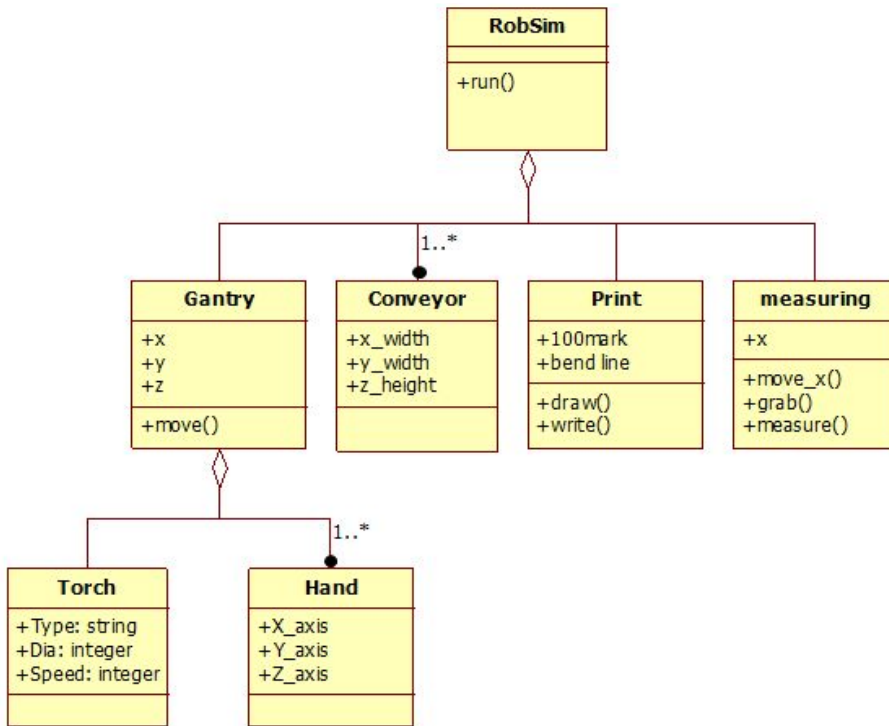


Fig. 20 Aggregations of system

## (5) 일반화(Generalization)와 상속(Inheritance)

일반화와 상속은 class 사이의 차이는 보호하고 유사성은 공유하기 위해 추상화 하는 단계라 할 수 있다. 유사한 속성들을 포함하고 있는 상위클래스(Superclass)와 독특하게 구별되는 속성을 포함한 하위클래스 (Subclass)로 구분하는 것이 일반화이며 상속은 하위클래스가 상위클래스로부터 추출된 공통적인 속성과 기능을 물려받는 것을 말한다. 일반화는 "a-kind-of" 또는 "is-a" relationship 이라고 할 수 있으며, Superclass에서 subclass로 연결하는 부분을 삼각형으로 표기한다.

Fig. 21은 Gantry와 Conveyor 클래스에 대한 일반화 및 상속의 사례를 보여주고 있다. 왼쪽 그림은 H-beam의 절단 작업을 수행하는 Plasma와 Gas 절단 로봇에 해당되는 각 클래스는 Gantry 클래스의 기본적인 속성과 기능을 공유하고 있다. 오른쪽 그림은 Conveyor 클래스를 Superclass로 갖는 Infeed, Cutout, Outfeed Subclass의 관계를 표현하고 있다. Conveyor class가 갖는 기본적인 속성을 공유하며 사용되는 위치, 목적에 따른 구별되는 속성과 기능을 가지고 있다.

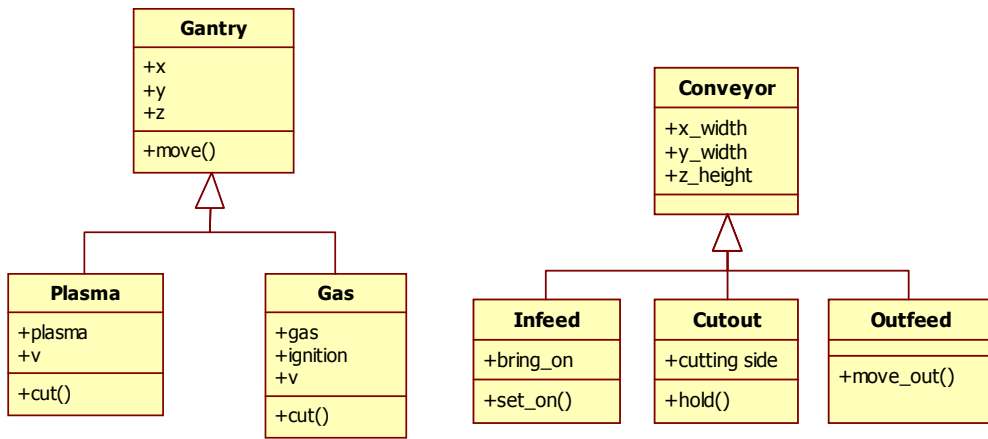


Fig. 21 Example of Generalization and Inheritance





### 3.2 UML 정의

UML은 객체 관련 표준화기구인 OMG에서 1997년 객체 모델링 기술(OMT), OOSE 방법론 등을 연합하여 만든 통합 모델링 언어로 객체 지향적 분석 및 설계 방법론의 표준 지정을 목표로 하고 있다. 요구 분석, 시스템 설계, 시스템 구현 등의 과정에서 생길 수 있는 개발자간의 의사소통의 불일치를 해소할 수 있으며 모델링에 대한 표현이 강하고 모순이 적은 논리적인 표기법을 가진 언어라는 장점이 있다. Usecase diagram, Class diagram 등 8개의 다이어그램을 기반으로 하고 있다.

### 3.3 UML 다이어그램

UML 다이어그램은 크게 정적, 기능적, 동적, 물리적이라는 4가지 측면으로 나눌 수 있다. 여기서는 정적 측면에 대한 Class diagram과 시스템이 제공하는 기능을 기술하는 기능적 측면의 Sequence diagram을 작성하였다.

#### (1) Class diagram

Fig.22의 Class diagram은 모델링된 시스템의 전체 또는 일부에 대한 구조를 나타내는 다이어그램이다. 시스템에 요구되는 객체들의 관계를 보여줘 시스템의 정적인 구조를 파악하게 한다.

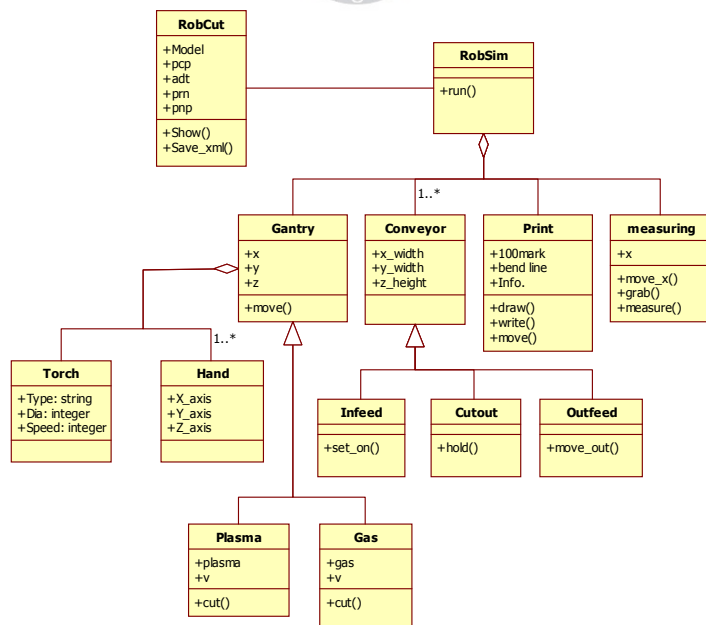


Fig. 22 Class diagram of system

## (2) Sequence diagram

Fig.23의 Sequence diagram은 문제 해결을 위해 필요한 객체를 정의하고, 객체간의 동적 상호관계를 시간 순서에 따라 정의하여 문제를 해결하는 모델이다. 제어기로부터 시작하여 메시지 통신을 통한 작업의 흐름을 보여주고 있다.

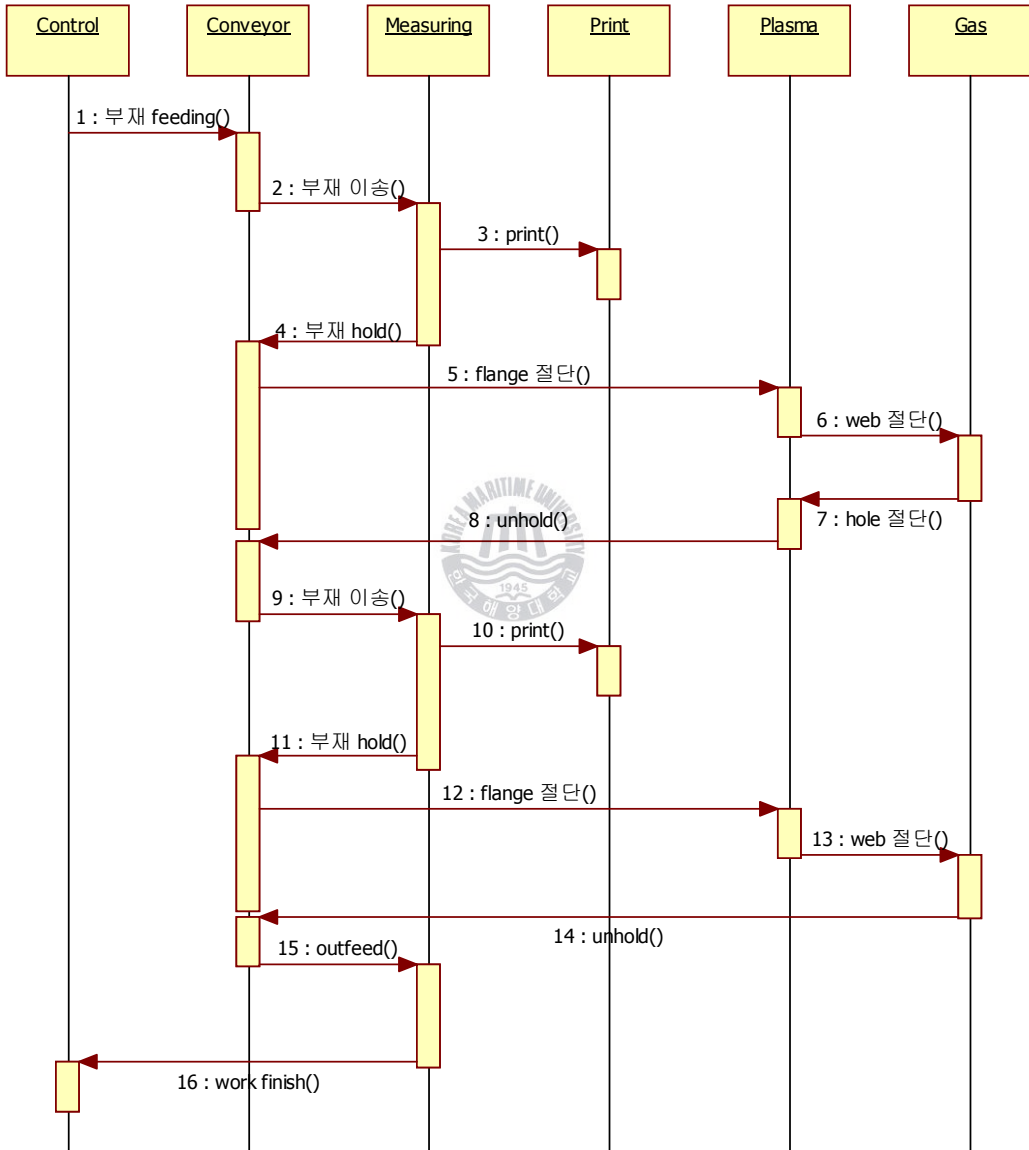


Fig. 23 Sequence diagram

# 제 4 장 프로그램 개발

## 4.1 H-beam 절단 형상 정보

Microsoft사의 C#과 그래픽 오픈 라이브러리인 Open Cascade를 이용하여 H-beam 절단 형상을 VRML 형식으로 생성하는 프로그램을 개발하였으며, 또한 이 프로그램을 통해 시뮬레이션에 사용될 교시점 정보도 함께 저장된다. Fig. 24는 이 프로그램의 사용자 인터페이스에 의해 새로운 절단 형상을 정의 및 XML 형식의 파일을 생성 할 수 있으며, 또한 생산 설계과정에서의 CAD data를 읽어 들여 사용할 수도 있다는 것을 보여준다.

로봇 절단 시뮬레이션을 구현하기 위해 사용한 솔루션인 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. 따라서 Fig. 25에 나타난 것과 같이 프로그램을 통해 가시화 된 3차원 H-beam 형상을 VRML 형식의 형상 정보 파일로 저장할 수 있도록 하였다.

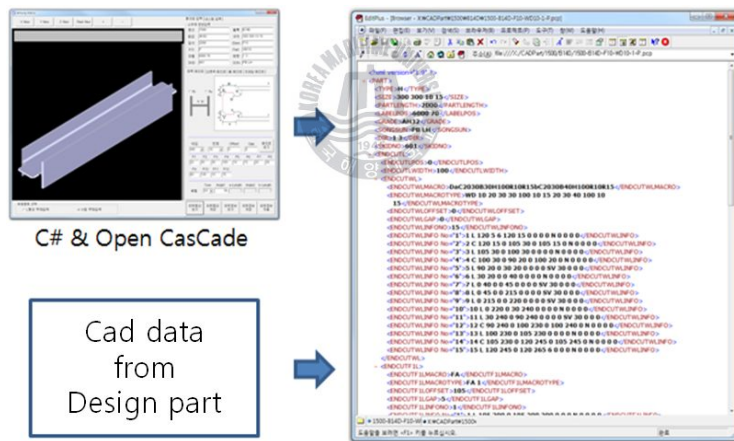


Fig. 24 Definition of cutting shape and XML data

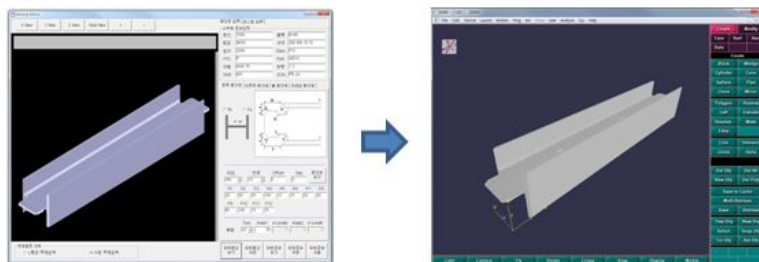


Fig. 25 Conversion of H-beam model data

## 4.2 교시점 생성

설계 부서로부터 제공된 형상정보 또는 사용자에 의해 프로그램에서 정의된 형상정보로부터 교시점의 이름, x, y, z 축 좌표, 그리고 x, y, z 축에 대한 orientation 정보를 지정된 경로에 저장한다. 시뮬레이션의 초기 단계에서 이 정보를 기반으로 교시점을 생성하게 된다. Fig. 26은 H-beam 절단 형상 및 절단 정보의 흐름을 나타내고 있다.

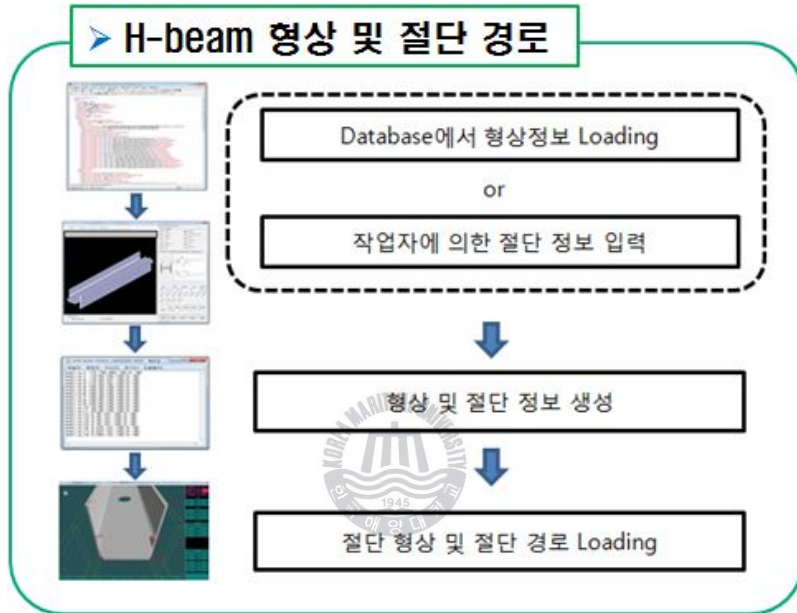


Fig. 26 Process of making cutting information

# 제 5 장 시뮬레이션

## 5.1 공정 시뮬레이션

시뮬레이션은 실제 상황에 대한 모의실험으로서 컴퓨터 프로그래밍 언어를 사용해 표현한 모델을 시간의 경과에 따라 변화시켜서 시스템의 동적 거동과 구조, 운용절차, 의사 결정 규칙 등을 효과적으로 결정함으로써 적절한 의사 결정과 정책 수립에 도움을 주며 이러한 목적의 물리적 모델을 시뮬레이터(Simulator)라고 한다.

가상생산에서 얻을 수 있는 가장 강력한 장점은 What-if 시뮬레이션이다. 실제 생산 공정을 대상으로 테스트하는 경우 시간과 비용이 많이 소모되므로 이를 컴퓨터상의 가상 모델을 통해 시뮬레이션 해 봄으로써 원하는 정보를 얻을 수 있다. 전 세계적으로 자동차 및 항공 업계에서는 디지털 생산을 선택이 아닌 필수적인 작업으로 여기며 채택하고 있으며, 점차 제조업 전반에 걸쳐서 필수적이며 강력한 솔루션으로 자리매김하고 있다.

## 5.2 시뮬레이션 모델링

### (1) 모델링 프로세스



로봇 시뮬레이션 솔루션인 IGRIP을 사용자 인터페이스로 한 시뮬레이터는 플라즈마 절단 로봇, 산소-아세틸렌 절단 로봇과 부재 이송을 위한 장치로 이루어지며 위 Fig. 27과 같은 과정을 통해 구성하였다.

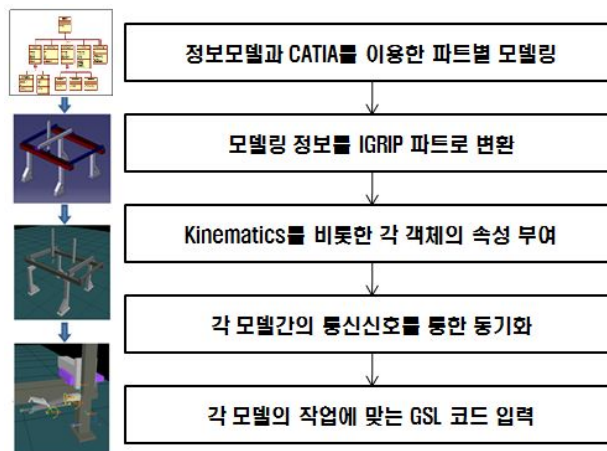


Fig. 27 Process of robot modeling

## (2) 시스템 layout

Fig. 28은 전체 절단 시스템의 layout을 보여주고 있다. 오른쪽의 infeed 영역을 시작으로 H-beam은 부재 계측 및 이송 장치에 의해 절단 작업이 이루어지는 영역으로 옮겨진다. 이 과정에서 print 로봇에 의해 부재 정보가 H-beam의 상단에 출력되며, 그 후 절단 로봇에 의해 절단 작업이 수행된다. 마지막으로 outfeed 영역으로 절단된 H-beam이 이송되어 작업을 종료하게 된다.

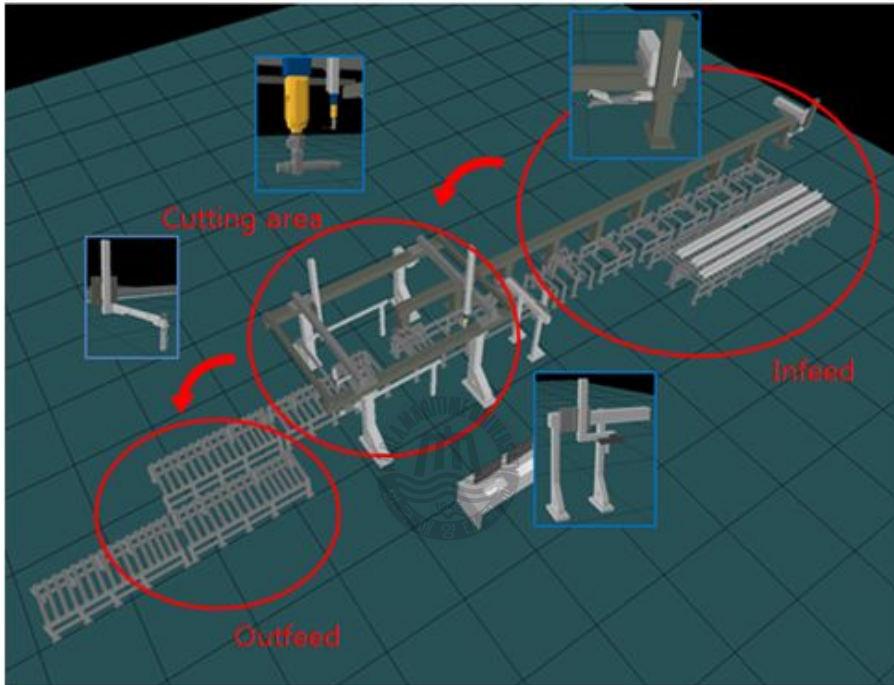


Fig. 28 System layout

## (3) Sensing Robot

Sensing robot은 이송 준비가 된 H-beam의 규격과 위치를 확인하고, 절단 작업을 위한 위치까지 H-beam을 이송하는 역할을 한다. 6개의 축으로 이루어져 있으며 이동 속도는 100mm/s 이다. Fig. 29는 sensing robot의 모습과 각 축을 나타내고 있다.

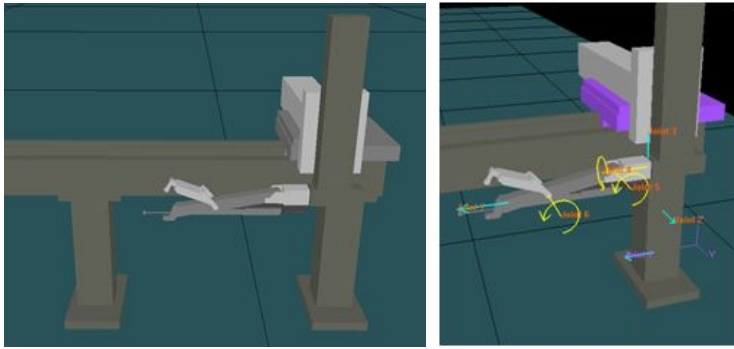


Fig. 29 Model of sensing robot

Fig. 30은 sensing robot이 H-beam 규격과 위치를 확인하며 이송하기 위해 grip하는 과정을 나타내고 있다.

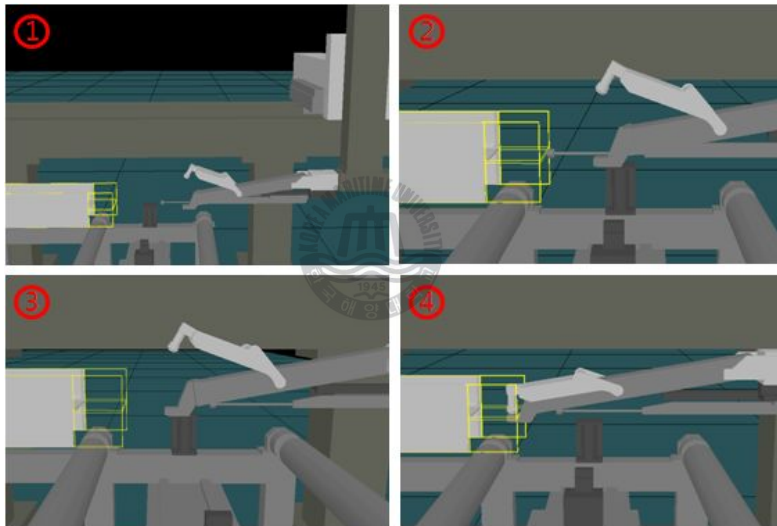


Fig. 30 H-beam sensing and grabbing

#### (4) Cutting Robot

Cutting robot은 Fig. 31에 나타난 것과 같이 젠트리 크레인 2기에 회전 3축 관절로 구성된 파트를 추가한 형상으로 각각 플라즈마 절단법과 산소-아세틸렌 절단법을 위한 토치를 가지고 있다. 각 토치의 형상은 Fig. 32와 같으며, 절단 속도는 플라즈마 절단이 25mm/s 그리고 가스 절단이 5mm/s 이다. 또한 젠트리 크레인의 이동속도는 100mm/s이다.

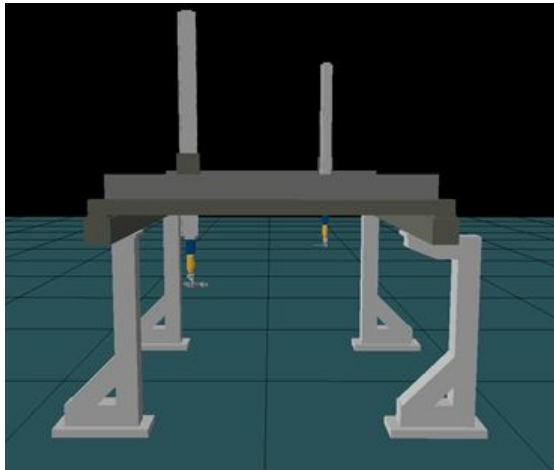
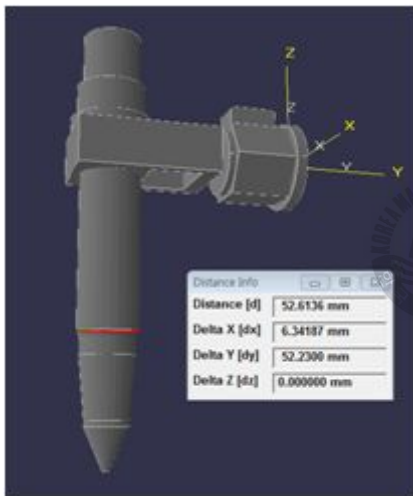
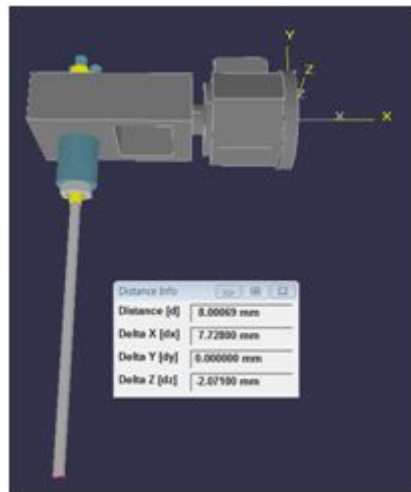


Fig. 31 Model of Cutting Robot



< Plasma 토치 >



< Gas 토치 >

Fig. 32 Model of plasma and gas torch

### (5) Marking device

Marking device는 웹 상면에 해당 부재에 대한 bend line, frame line 그리고 label 과 같은 정보를 기록한다. Fig. 33은 marking device의 형상과 marking 하게 되는 모습 및 위치를 보여주고 있다.



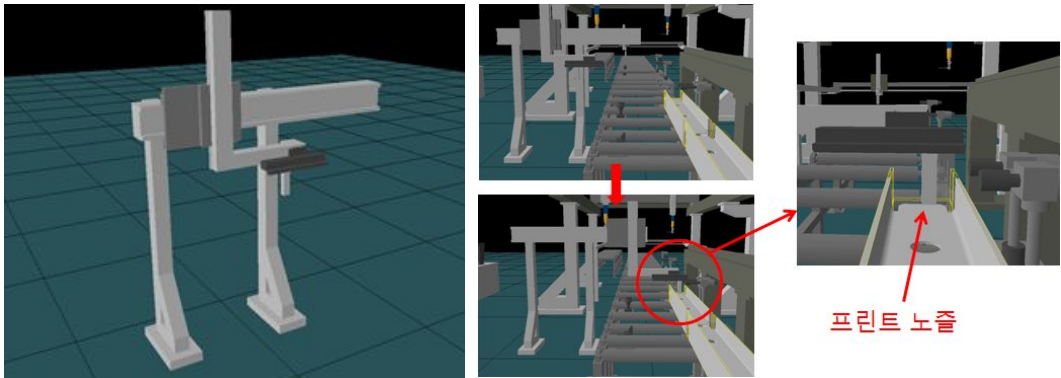


Fig. 33 Model of marking device

## (6) Air blower

Air blower는 플라즈마에 의한 플렌지 절단 시 H-beam의 양 플렌지 사이로 이동하여 강한 air를 내보내 절단 작업으로 인해 발생하는 이물질을 제거하는 역할을 한다. x, y, z 축에 대한 병진 운동을 하는 3축으로 이루어져 있으며 전체 형상은 Fig. 34에 나타난 것과 같다. Fig. 35는 절단 작업 시 사용되는 모습을 보여주고 있다.

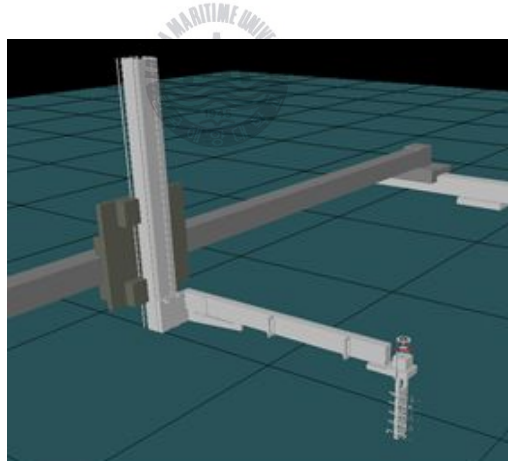


Fig. 34 Model of air blower

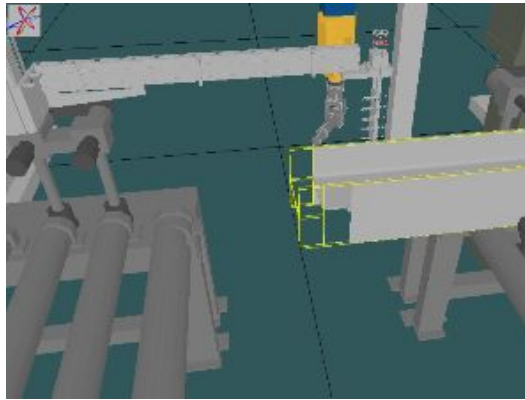


Fig. 35 Work of airblower

## (7) Conveyor

Conveyor는 절단되기 전 H-beam의 입고에서 부터 절단 후 H-beam의 출고까지 이송시켜주는 장치로 infeed, cutout, outfeed의 세 영역으로 나눌 수 있다. Infeed 영역은 절단 전 H-beam을 공급 받아서 sensing robot이 작업을 시작하는 위치로 이동시키는 역할을 수행한다. Cutout 영역의 conveyor는 절단 작업 영역에 위치하여 절단 작업시 H-beam을 고정시켜 주는 역할을 수행하며, outfeed 영역의 conveyor는 절단 작업이 완료 된 H-beam을 적재하기 위한 위치로 이동시킨다. Fig. 36은 각 conveyor를 보여주고 있다. 왼쪽 상단부터 차례로 infeed, cutout, outfeed conveyor 이다.

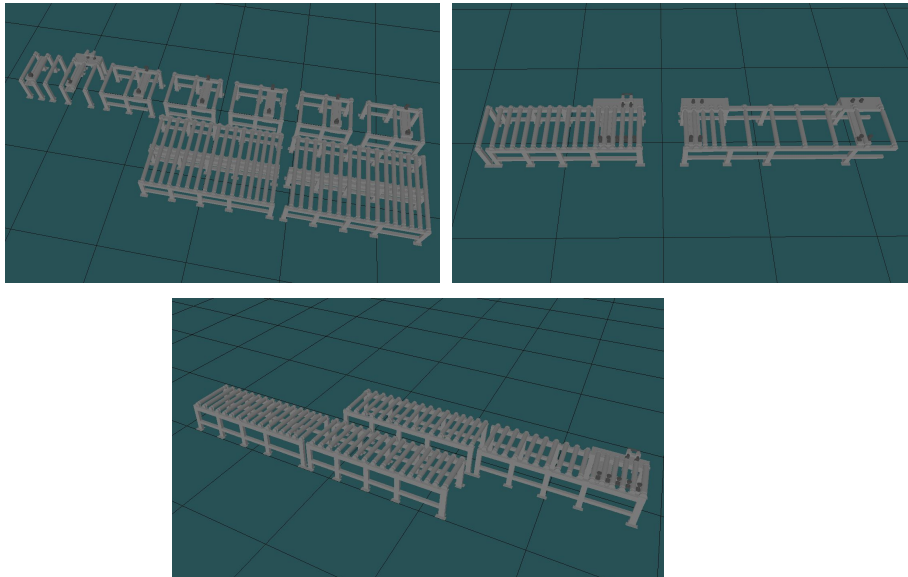


Fig. 36 Model of conveyor unit

### 5.3 시뮬레이션을 통한 시스템 안정성 확인

본 시스템에서는 gantry 형태의 절단 로봇 2기를 비롯하여 총 6기의 로봇이 사용된다. 이 가운데 절단 영역 내에서는 절단 로봇 2기와 air blower 로봇, 컨베이어 시스템 그리고 H-beam 이렇게 총 5개의 개체가 위치하게 된다. 좁은 영역 내에서 다수의 개체가 이동하며 작업이 이루어지기 때문에 서로에 대한 간섭 여부의 사전 확인이 반드시 이루어져야 한다. 시뮬레이션 수행 중 로봇과 로봇 또는 로봇과 부재 사이에 충돌이 발생할 경우 시뮬레이션은 중지되며 충돌이 발생한 위치가 표시된다. Fig. 37은 시뮬레이션 중 로봇간의 충돌, 작업 수행 불가능 상태의 사례를 보여주고 있다.

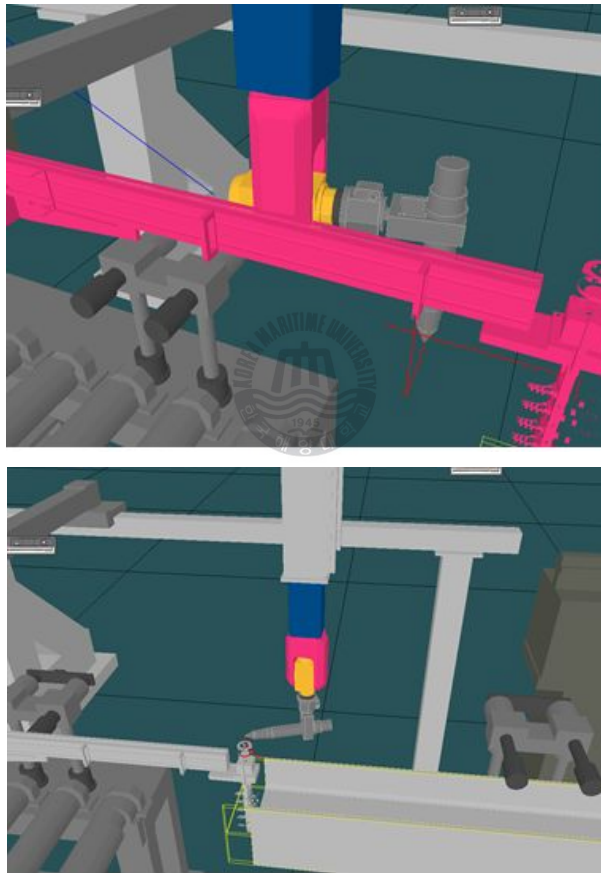


Fig. 37 Example of robot crash and out of range

가스 토치는 H-beam과 약 7mm 떨어진 거리에서 절단하게 되는데 Fig. 38에 표시된 부분을 절단하기 위해서는 플렌지와 웹 사이의 곡률 부분에 가까이 접근하게 된다. 이 곡률 반경을 고려하지 않을 경우 가스 절단 토치가 H-beam의 곡률 부분과 충돌하여 토치 손상은 물론 H-beam의 절단 불량을 야기한다. 따라서 곡률 반경을 고려한 절단 경로를 생성하도록 하였고, 시뮬레이션을 통해 충돌 여부를 확인하였다.

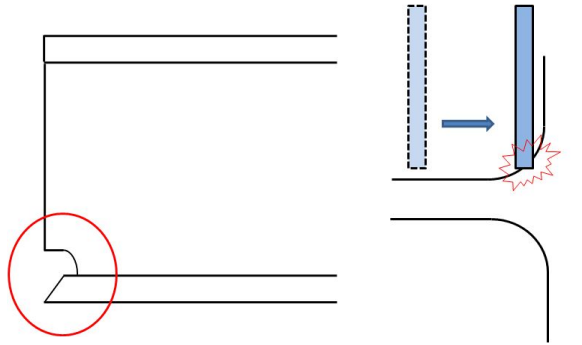


Fig. 38 Round area expecting crash

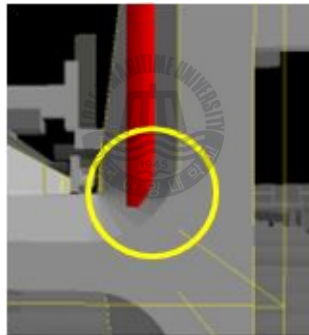


Fig. 39 Example of crash in simulation

Fig. 38, 39에 나타난 web과 flange가 만나는 부분의 곡률 반경은 H-beam의 규격에 따라서 매우 다양해진다. Table. 1은 각 규격에 따른 H-beam의 단면치수를 보여준다.

Table. 1 Standards of H-beam

공칭 Size(mm)	표준 단면 치수			
	HxB	t1	t2	r
150x75	150x75	5	7	8
100x100	100x100	6	8	10
125x125	125x125	6.5	9	10
		⋮		
400x400	388x402	15	15	22
	428x407	20	35	22
900x300	890x299	15	23	28
	912x302	18	34	28

#### 5.4 시뮬레이션을 통한 작업량 배분 결정

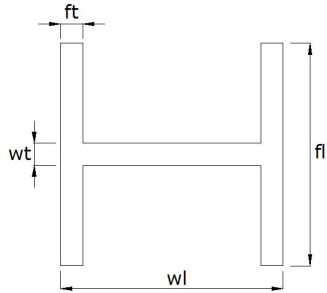
플라즈마 절단법과 가스 절단법의 경우 H-beam의 두께에 따라 Table. 2 와 같은 절단 속도를 가진다. 이 절단 속도는 절단 조건 및 장비에 따라 다를 수 있다.

Table. 2 Cutting speed of plasma and gas cut

두께(mm)	Plasma(mm/s)	Gas(mm/s)
6	68.2	6.0
12	48.2	4.9
16	39.8	4.4
22	32.3	4.0
35	23.1	3.3

이와 같은 절단 속도의 차이로 인해 각 절단법에 작업량을 배분하는 정도에 따라 전체 작업시간의 차이 즉, 생산성의 차이가 발생하게 된다. 단순히 절단 시간만을 고려하면 속도가 빠른 플라즈마 절단 영역을 최대로 하는 것이 최적일 것이다. 그러나 웹 절단에 반드시 가스 절단이 사용되어야 하는 만큼 웹의 플라즈마 절단 적용 영역이 적은 경우에는 로봇의 이동 시간을 고려할 경우 가스 절단으로 한 번에 작업을 수행하는 것이 더 효율적일 수 있다. 그리고 H-beam의 두께에 따른 절단 속도 차이도 전체 작업 시간에 영향을 미칠 가능성이 있다. 이에 대해 확인하기 위해 시뮬레이션을 통해 웹 절단에 있어 플라즈마 토치의 접근 가능 영역을 플라즈마로 절단하고 나머지를 가스 절단하는 경우와 웹 전체를 가스로 절단하는 경우를 비교하였다. 플랜지에 대해서는 두 경우 모두 절단 작업 시 부재와의 간섭이 없어 절단 속도가 빠른 플라즈마에 의해

절단되도록 하였다. H-beam의 규격 표시는 Fig. 40과 같이 나타난다.



$$wl \times fl \times wt \times ft(\text{mm})$$

Fig. 40 H-beam expression

Table. 2는 시뮬레이션을 통해 평가한 세 가지 경우에 대해 나타내고 있다. 먼저 W1과 W2의 경우를 살펴보면 두 절단법을 병행할 경우에 가스 절단 길이는 동일한 반면 플라즈마 절단 길이에 큰 차이가 있다. 즉, 가스 절단만을 사용할 경우 W1이 W2에 비해 많은 영역에 플라즈마 절단을 적용할 수 있어 작업 시간을 많이 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 다음으로 W1과 W3을 비교하여 보면 전체 절단 길이는 비슷하나 W3의 경우 플라즈마 절단을 적용할 수 있는 영역이 상대적으로 적은 것을 확인 할 수 있다. W2와 W3은 전체 절단 길이 중 가스 절단만을 적용 가능한 길이의 비율에 큰 차이가 있다. 웹 형상에서 점선으로 표시된 부분이 플라즈마 절단 적용 가능 영역을 의미한다.

Table. 2 Simulation conditions

case	웹 형상	플렌지 형상	플라즈마 절단 길이	가스 절단 길이	전체 절단 길이	규격(mm)
W1			0	1631.2	1631.2	400x300x6x15 400x300x12x15 400x300x16x15 400x300x22x15 400x300x35x15
			1380	251.2		
W2			0	831.2	831.2	
			580	251.2		
W3			0	1587.6	1587.6	
			520	1067.6		

Table. 3, 4, 5는 각 case에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. Plasma와 Gas는 각 절단법을 의미하며 motion은 로봇 이동시간, cut은 절단에 소요된 시간을 의미하며 총 작업시간에서 두 방법의 차이 값을 괄호 안에 표시하였다. 이는 0보다 큰 경우 가스 절단법만을 사용하면 더 짧은 작업시간을 가지는 것을 의미한다.

먼저 Table. 1을 살펴보면 가스 절단을 적용하던 영역 중 플라즈마 절단으로 대체한 영역의 길이가 길어 가스 절단의 단축된 시간이 다른 부분의 증가된 시간보다 큰 것을 확인할 수 있다. 즉, 이 경우 웹 절단에 플라즈마 절단과 가스 절단을 병행하는 것이 더 유리하게 나타났다.

Table. 3 Result of working time for W1 from simulation

size	cut type	Plasma		Gas		working time(s)
		motion	cut	motion	cut	
400x300 x6x15	only gas	198.2	30.6	118.0	157.6	504.4
	gas + plasma	232.8	55.4	141.6	52.8	482.6(-21.8)
400x300 x12x15	only gas	198.2	30.6	118.0	183.1	529.9
	gas + plasma	232.8	59.1	141.6	61.3	494.8(-35.1)
400x300 x16x15	only gas	198.2	30.6	118.0	199.1	545.9
	gas + plasma	232.8	65.0	141.6	66.9	506.4(-39.6)
400x300 x22x15	only gas	198.2	30.6	118.0	221.0	567.8
	gas + plasma	232.8	73.0	141.6	74.2	521.7(-46.2)
400x300 x35x15	only gas	198.2	30.6	118.0	251.8	597.6
	gas + plasma	232.8	89.7	141.6	84.6	548.7(-49.9)

다음으로 Table. 4를 살펴보면 전체 절단 길이 중 플라즈마 절단 적용 가능 영역의 비율은 높지만 그 길이가 길지 않아 가스 절단의 단축된 시간보다 각 로봇의 동작과 플라즈마 절단에 증가된 시간이 더 크게 나타났다. 따라서 전체 작업시간을 비교한 경우 가스 절단만을 사용하는 것이 더 짧은 작업 시간을 가지게 된다.

Table. 4 Result of working time for W2 from simulation

size	cut type	Plasma		Gas		working time(s)
		motion	cut	motion	cut	
400x300 x6x15	only gas	201.0	30.6	123.4	87.2	442.2
	gas + plasma	231.8	43.6	143.4	52.8	471.6(+ 29.4)
400x300 x12x15	only gas	201.0	30.6	123.4	101.1	456.1
	gas + plasma	231.8	44.5	143.4	61.3	481.0(+ 24.9)
400x300 x16x15	only gas	201.0	30.6	123.4	109.7	464.7
	gas + plasma	231.8	46.8	143.4	66.9	489.0(+ 24.2)
400x300 x22x15	only gas	201.0	30.6	123.4	121.8	476.8
	gas + plasma	231.8	51.2	143.4	74.2	500.7(+ 23.8)
400x300 x35x15	only gas	201.0	30.6	123.4	138.8	493.8
	gas + plasma	231.8	59.3	143.4	84.6	519.1(+ 25.3)



Table. 5에 나타난 W3의 경우 W1과 전체 절단 길이는 비슷하고, W2와 플라즈마 절단 적용 영역의 길이가 같지만 전체 절단 길이에 대한 플라즈마 절단 적용 영역의 비율이 상당히 작다. 이 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 보면 H-beam의 두께에 따라 유리한 작업 방법이 변하는 것을 확인할 수 있다. 이는 전체 절단 영역 중 가스 절단만을 적용할 수 있는 영역이 크기 때문에 전체 절단 시간에서 플라즈마 절단을 사용함으로써 줄어드는 절단 시간의 비율이 크지 않게 작용하기 때문으로 생각된다.

Table. 5 Result of working time for W3 from simulation

size	cut type	Plasma		Gas		working time(s)
		motion	cut	motion	cut	
400x300 x6x15	only gas	195.6	30.6	118.4	151.2	495.8
	gas + plasma	230.4	42.0	138.4	99.0	509.8(+ 14.0)
400x300 x12x15	only gas	195.6	30.6	118.4	175.6	520.2
	gas + plasma	230.4	42.6	138.4	115.2	526.6(+ 6.3)
400x300 x16x15	only gas	195.6	30.6	118.4	191.0	535.6
	gas + plasma	230.4	44.8	138.4	125.4	539.0(+ 3.4)
400x300 x22x15	only gas	195.6	30.6	118.4	211.8	556.4
	gas + plasma	230.4	48.0	138.4	139.2	556.0(-0.4)
400x300 x35x15	only gas	195.6	30.6	118.4	241.4	586.0
	gas + plasma	230.4	55.0	138.4	158.8	582.6(-3.4)

Table. 3, 4, 5의 결과를 전체적으로 살펴보면 H-beam의 두께가 두꺼워질수록 가스 절단만을 사용하는 것 보다 플라즈마 절단을 함께 사용하는 것이 조금씩 유리해 지는 경향을 확인할 수 있다.

## 제 6 장 결 론

본 연구에서는 H-beam 자동 절단 시스템을 개발하는 과정에 있어 객체지향 정보모델링 기법을 적용하여 실제 문제 해결을 위한 모델링을 수행하였다.

자동 절단 시스템에 대한 절단 정보 입력 시 작업자의 입력 오류로 인해 원하지 않는 형상이 절단되어 불필요하게 원자재가 소모 되는 경우가 있었다. 이를 방지하기 위해 Microsoft사의 C# 그리고 그래픽 라이브러리인 Open Cascade를 이용하여 자체 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램에서는 작업자가 절단 형상에 대한 정보를 입력하면 그에 대응하는 H-beam의 형상을 컴퓨터의 가상공간에서 3D 모델링을 통해 가시화하였으며 VRML 형식의 데이터로 저장하여 시뮬레이션에 사용하도록 하였다.

실제 공정 설비의 설치 후에 요구되는 수정으로 인한 시간 및 경제적인 손실을 예방하기 위하여 이를 컴퓨터상의 가상 환경에서 미리 수행할 수 있는 시뮬레이터를 구축하였다. 이를 통해 로봇의 충돌 및 작업 불능 자세와 같은 각종 오류의 사전 검증과 개선을 할 수 있었다. 또한 직관적인 판단이 어려운 작업량 배분에 대한 시뮬레이션을 수행하여 생산성을 향상을 위한 방법을 제시하였으며 H-beam의 각 영역 및 전체에 대한 작업 시간을 예측할 수 있어 생산 계획의 수립 과정에 효율적으로 반영할 수 있다. 그리고 이러한 결과를 통해 생산 공정에 대한 시뮬레이션 수행의 필요성을 보여줄 수 있었다.

본 연구를 통해 개발된 H-beam 자동 절단 시스템은 로봇 오동작으로 인한 충돌 예방과 과도한 로봇 제어 시스템에 대한 요구로 인해 두 절단 로봇은 동시 작업이 아닌 개별적으로 절단 작업을 수행하게 된다. 그러나 더 나은 생산성을 위해서는 향후 동시 작업에 대한 시도가 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 박주용, 차태인, 강현진, 김혜정, “선박조립과정의 3차원 시뮬레이션에 관한 연구”, 한국시뮬레이션학회 춘계학술대회 논문집 2002
2. Kim S.H., 2007, "High performance hybrid profile cutting robot system" Final Report of Samsung Heavy INDUSTRIES CO. LTD Korea
3. 이광국, 신종계, 우중훈, 최양렬, 이장현, 김세환, “디지털 생산을 기반으로 한 조선 소조립 공정 모델링 및 시뮬레이션”, 한국시뮬레이션학회 추계학술대회 논문집 2003
4. 차태인, “객체지향 정보모델에 기반한 선박조립공정의 3차원 시뮬레이션에 관한 연구”, 한국해양대학교 대학원 석사논문 2002
5. S.J.Lee, S.H.Lee, J.K.Park "Development of the Shape Steel Automatic Cutting Program based on IGRIP for Gantry Type Robot"
6. Soo Jun Lee, Se-Han Lee, Jong-keun Park, "Development of Automation Program Module for OLP based Industrial Robot Simulation" Transaction of the Korean Society of Machine Tool Engineers 2009
7. Su Jin Park, Gyu Bong Lee, Jong Hun Woo, Jong Gye Shin, "Analysis and Simulation of Assembly Line of Powertrain Parts Using Object-Oriented Tools" The Korean Society of Automotive Engineers 2003
8. James Rumbaugh, Michael Blaha, William Premerlani, Frederick Eddy, William Lorenzen, "Object-Oriented Modeling and Design", Prentice-Hall, Inc., 1991
9. 윤훈용, 송미진, “산업현장에서의 한국과 미국의 근골격계질환 현황 분석”, 대한인간공학회 추계 학술대회 2006