

선박 및 해양 플랜트용 H-빔 절단을 위한 3차원 형상 모델링 구현 시스템 개발

박주용* · 조효제* · 이지훈* · 박지용*

*한국해양대학교 조선해양시스템공학부

Development of 3D Modeling System to Display the Cutting Shape of H-Beam Used in Ships and Ocean Plants

Ju-Yong Park*, Hyo-Jae Jo*, Ji-Hoon Lee*, Ji-Yong Park*

Division of Ocean Systems Engineering, Korea Maritime University, Busan, Korea*

KEY WORDS: H-Beam cutting H-빔 절단, 3D modeling 3차원 모델링, Boolean operation 불리언 연산, Automatic cutting 자동절단

ABSTRACT: 3D geometric modeling has a lot of advantages in the field of design and manufacturing. Many manufacturing processes and production lines are using 3D geometric modeling technique. These help reduce the cost and time for manufacturing. The purpose of this study is the realization of a 3D cutting shape for an H-Beam used in ships and ocean plants. The complex 3D cutting shapes could be represented by using the boolean operation of basic figures. Graphic functions with parameters were used to simply define the basic figures. The developed system can show the complex cutting shape of an H-beam simply and quickly. This system can be utilized for the automatic cutting system for an H-beam.

1. 서 론

그래픽 기술의 발달은 기계, 자동차, 우주항공, 조선해양분야에 획기적 발전을 가져왔다. 그 중 3차원 그래픽 기술은 상기 분야의 다양한 곡면의 표현(홍명우 등, 1994, 이상현과 이진우, 1996)은 물론 더 나아가서 가공 및 접합을 통한 복잡한 곡면부 생산의 자동화 시스템에도 활용되고 있다(정동원과 이상제, 1999). 선박이나 해양 플랜트에서 사용되는 형강재 절단의 경우 최근 자동화 시스템의 도입이 시도되고 있다. 형강재의 자동 절단 시스템은 작업자로부터 절단 경로를 입력 받아, 절단 로봇이 그 경로에 따라 절단한다. 절단은 절단 룸 안에서 이루어지며, 입력된 경로에 의해 절단이 진행되므로 절단이 완료되기 전까지는 절단 형상의 정확도 유무를 판별하기가 쉽지 않다. 특히 절단 경로를 잘못 입력한 경우, 시간과 비용적인 측면에서 큰 손실을 가져오게 된다. 절단 룸 안에 카메라를 설치하여 작업자가 절단 과정을 관찰하는 경우 절단 과정 중에 오류를 발견하면 절단 과정을 바로 취소시킴으로써 시간의 낭비를 줄일 수 있으나 상당한 손실을 감수할 수밖에 없어 절단 오류를 방지할 수 있는 근본적인 방법이 필요하다.

본 연구는 절단 작업 전에 작업자가 입력한 절단정보를 3D 형상으로 구현하여 절단 형상을 확인함으로써 절단 오류를 방지하는 데에 그 목적이 있다. 이를 위해 형강재의 3D 형상을 표현하기 적절한 방법을 고안하고 이를 절단 시스템에 적용하였다.

2. 3차원 형상 구현 방법

2.1 OpenCascade

본 논문에서는 절단 형상 구현을 위한 그래픽 라이브러리로 OpenCascade를 사용하였다. OpenCascade는 누구나 제한 없이 사용가능한 오픈 소프트웨어이면서도 3D 기하학적 형상의 표현에 탁월한 기능을 갖추고 있어 기계분야, 특히 CAD/CAM 분

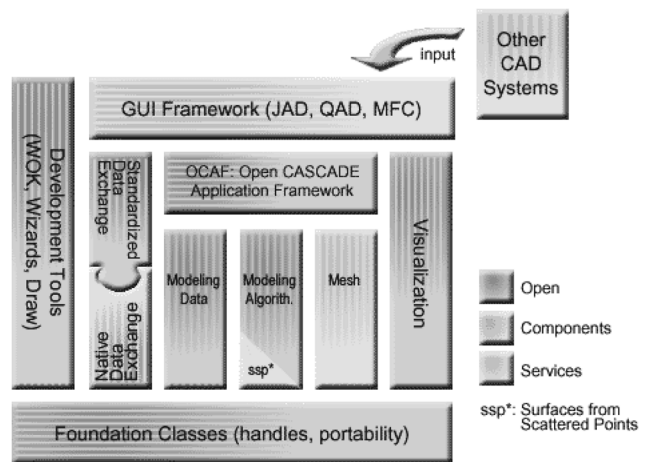


Fig. 1 Modular structure of OpenCascade

아에 널리 활용되고 있다(양정삼 등, 2002). OpenCascade는 Fig 1 과 같은 구조를 가지고 있으며 3D CAD, CAM, CAE 용 소프트웨어 개발 플랫폼으로 다양한 타입의 오브젝트들을 2D 및 3D 기하학 정보로 모델링 할 수 있다. 또한 이 오브젝트들을 디스플레이 하기 위한 가시화 서비스, 비 기하학적 데이터와 기하학적인 데이터의 결합, 표준 파일포맷(IGES, STEP)들의 Import와 Export 를 통한 데이터 교환 서비스를 제공하여 개발자가 보다 빠르게 어플리케이션을 개발하도록 도와준다.

2.2 형상 구현 방법

H-빔(H-beam)의 절단 부분의 형상은 다양한 도형들로 이루어진 복합 다양체 모델이라고 말할 수 있다. 복합 다양체 모델을 생성하고 조작하는 방법은 다음의 세 가지 방법이 있다.

2.2.1 위상요소를 이용한 방법

위상요소를 이용하는 방법은 Fig. 2와 같이 Vertex, Edge, Face 등의 위상요소를 이용하여 모델의 형상을 생성하고 수정하는 것이다. 이 방법은 모델을 조작하기 위한 가장 기본적인 방법이

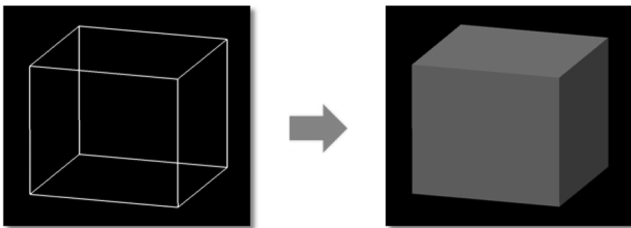


Fig. 2 Method of using vertex, edge and face

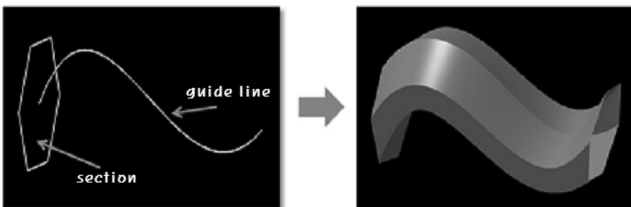


Fig. 3 Method of using sweep

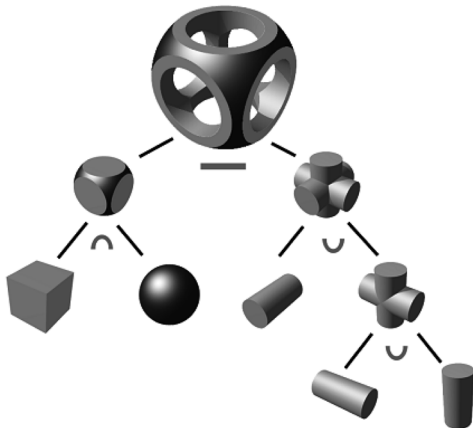


Fig. 4 Method of boolean operation of basic figures

나, 구현하려는 형상이 복잡할 경우 실제 사용자가 조작하기 어려운 단점이 있다.

2.2.2 Sweep작업을 이용하는 방법

Sweep작업을 이용하는 방법은 Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 임의의 단면(Section)을 경로(Guide line)에 따라 움직이는 Sweep작업을 이용하여, 3차원 형상을 생성하는 것이다. 이 방법은 경로를 따라 일정한 단면 형상을 갖는 입체 형상을 생성하는데 효과적이다. 그러나 복합 다양체와 같이 단면형상이 다양하게 구성된 입체 형상의 표현은 복잡하다.

2.2.3 Boolean operation을 이용하는 방법

세 번째 방법은 Merge, Intersection, Subtraction 등의 Boolean operation 을 이용하는 방법이다. 서로 다른 차원의 모델 사이에서의 Boolean operation 이 가능하고, 단순한 모델의 조합으로, 복잡한 모델을 표현하기가 용이하다(이상현 등, 2002).

본 논문에서는 위의 세 가지 방법 중, Fig. 4에서 볼 수 있는 바와 같이 단순한 모델을 먼저 생성한 후 이들 간의 Boolean operation을 통하여 복잡한 모델을 용이하게 형성할 수 있고 작업에 소요되는 시간도 단축할 수 있는, Boolean operation을 이용한 형상 모델링 방법을 적용하였다.

2.2.4 기본 도형의 정의

원하는 형상구현을 좀 더 쉽게 구현하기 위하여 기본 도형이라는 개념을 두었다. 기본 도형이란 기본적인 3차원 형상들로 삼각기둥, 사각기둥과 같은 다각기둥과 원기둥을 포함하는 부채꼴기둥, 그밖에 구나 볼 등의 비교적 간단한 파라미터를 이용하여 나타낼 수 있는 형상들을 의미한다. 본 연구에서는 위상요소와 Sweep을 이용하는 방법을 사용하여 기본 도형을 구성하였으며 이 기본 도형들을 Boolean operation으로 조합하여 복잡한 형상을 구현하였다.

현재 조선소에서 사용되는 모든 H-빔의 절단형상을 분석한 결과 Fig. 5에서 나타낸 삼각기둥, 사각기둥 및 부채꼴기둥의 세 가지 기본 도형의 조합으로 모든 절단형상의 표현이 가능하였다.

2.2.5 기본 도형 함수

삼각기둥, 사각기둥 및 부채꼴기둥은 Fig. 6과 같이 간단한 파라미터를 도입한 함수로 표현할 수 있으며 이를 통해 손쉽게 형상화할 수 있다.

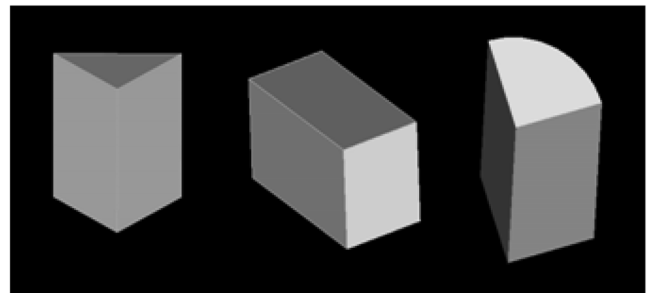


Fig. 5 Basic figures for H-beam cutting

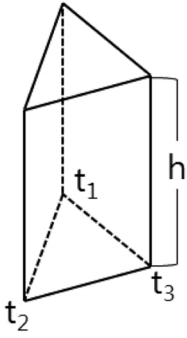
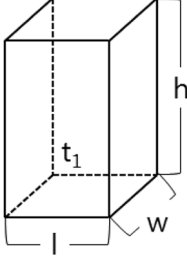
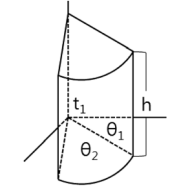
Basic Figures	Function
 <p>triangular column</p>	$T_n(t_1, t_2, t_3, h)$ where, $\begin{cases} t_1, t_2, t_3 : 3 \text{ points of triangle} \\ h : \text{height} \end{cases}$
 <p>rectangular column</p>	$R_n(t_1, l, w, h)$ where, $\begin{cases} t_1 : \text{start point of rectangle} \\ l, w : \text{length, width of rectangle} \\ h : \text{height} \end{cases}$
 <p>sectoral column</p>	$C_n(t_1, \theta_1, \theta_2, h)$ where, $\begin{cases} t_1 : \text{origin of cylinder} \\ \theta_1 : \text{angle from y-axis to start of sector} \\ \theta_2 : \text{angle from start to end of sector} \\ h : \text{height} \end{cases}$

Fig. 6 Definition of basic figures by function with parameters

각각의 기둥은 4개의 파라미터를 갖는 함수로 표현되며 각 파라미터는 기본도형을 구성하는 요소들이다. 삼각기둥의 파라미터는 삼각형을 이루는 밑변의 세 점의 좌표와 높이이며, 사각기둥의 파라미터로는 기준점과 가로, 세로, 높이가 해당된다. 그리고 부채꼴기둥은 중심점과 두 각, 높이를 파라미터로 가진다. 편이상, 삼각기둥의 세 꼭지점은 xy, yz, zx 중 한 평면 위에 모두 위치해 있으며, 사각기둥의 밑면은 직사각형이며 가로는 글로벌 좌표계의 x축, 세로는 y축과 평행하다. 부채꼴기둥의 파라미터 중 θ_1 은 y축을 기준으로 한 시계방향 각도이고 θ_2 에서부터 θ_1 까지가 생성되는 부채꼴의 각도이다.

H-빔의 절단 형상은 위와 같이 정의된 기본도형 함수의 조합으로 간편하게 표현할 수 있다.

3. H-빔 절단 형상 표현

3.1 H-빔 절단 형상의 일반화

선박 및 해양 플랜트에 사용되는 H-빔들은 사용 용도에 따라 규격이나 절단 형상이 Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 다양하다. H-빔은 하나의 웹(Web)과 두 개의 플랜지(Flange)가 결합된 형태로 되어 있다. 웹과 플랜지는 각각의 양 끝부분이 서로 다

른 형상으로 절단되며 중간에 여러 형태의 홀(Hole)이 뚫여져 있는 경우도 많다. 따라서 H-빔의 절단 형상은 웹과 플랜지 절단 형상과 함께 가운데 홀 형상의 조합으로 이루어지므로 대단히 다양한 절단 형상을 이루고 있다.

이러한 다양한 절단형상을 표현하기 위해서 본 논문에서는 2.2.5절의 기본 도형 함수를 활용하여 임의의 절단 형상을 기본 도형 함수들의 선형대수합으로 표현하는 방법을 고안하였다.

절단형태가 다양한 웹을 예로 들면 절단 전의 형상을 W_0 로 둘 때 임의의 웹 절단 형상 W 는 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$W = W_0 \pm \sum_{i=0}^n T_i \pm \sum_{j=0}^m R_j \pm \sum_{k=0}^l C_k \quad (1)$$

여기에서 $\pm \sum_{i=0}^n T_i$ 는 도형함수의 파라미터로 표현된 위치에서 이전의 도형으로부터 복수의 삼각기둥을 추가 또는 제거하는 것을 의미한다. 마찬가지로 $\pm \sum_{j=0}^m R_j$ 와 $\pm \sum_{k=1}^l C_k$ 는 각각 삼각기둥과 부채꼴기둥을 추가 또는 제거하는 것을 의미한다. 이러한 방식으로 임의의 절단 형상을 모두 간편한 수식으로 표현할 수 있다.

3.2 절단 형상의 수식적 표현

3.2.1 수식화를 통한 절단 형상 구현

작업자로부터 입력받는 형상정보로는 Fig. 8의 입력화면에서 볼 수 있는 바와 같이 원부재의 규격(Web, Flange의 Length와 Thickness)과 부재 길이, 기타 부재정보 같은 원부재 정보와 절단 형상 정보가 들어간다. 절단 형상 정보는 다시 웹 형상, 플랜지 형상, 홀 형상이 포함하며 각 형상에 따라 0~12개의 파라미터를 입력받는다.

먼저 위에서 입력받은 부재 정보와 절단 형상 정보를 이용하여 형상을 만든다. 각 기본도형을 만들기 위한 좌표 정보 및 수치들은 입력받은 파라미터를 이용하여 산출된다.

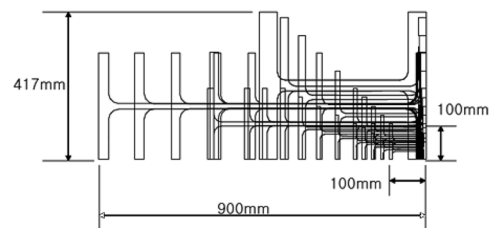


Fig. 7 Wide variety in size and cutting shape of H-beam

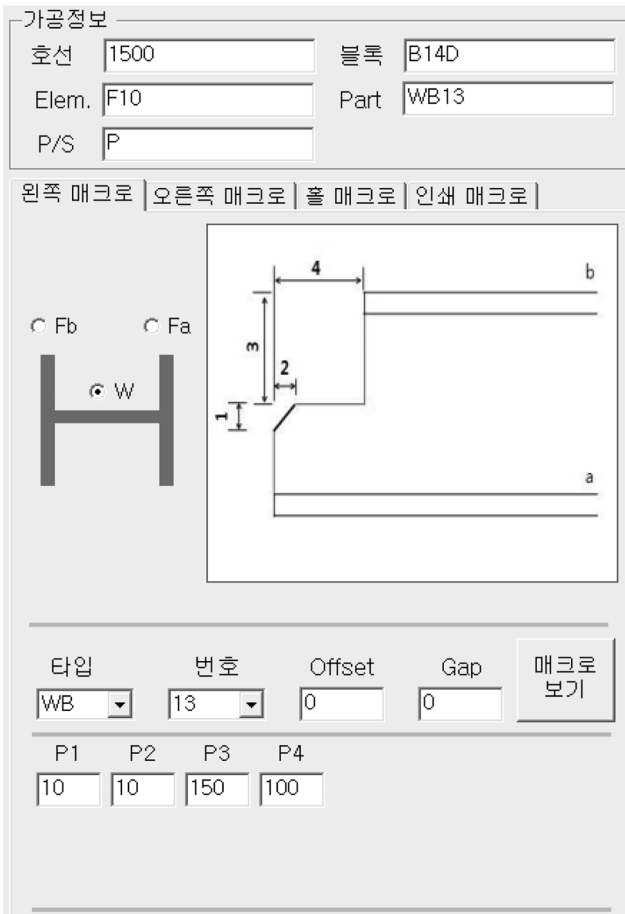


Fig. 8 Input of shape parameters

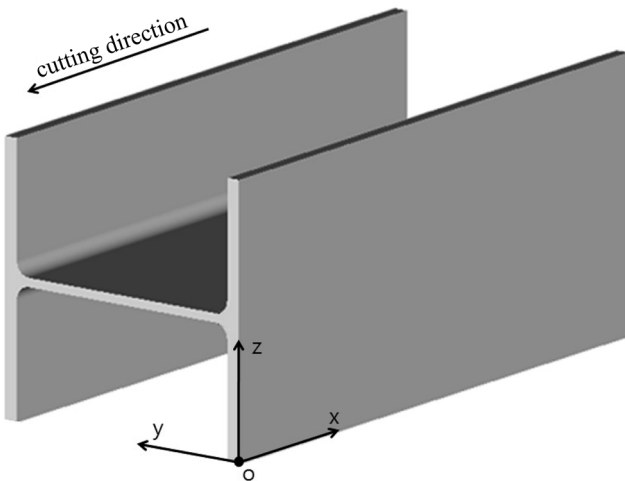


Fig. 9 Coordinates of H-beam

기본 도형의 파라미터들은 점이나 치수로 주어지게 되는데 이때의 좌표는 Fig 9는 같이 절단 진행방향의 반대 방향을 x축으로 하고 웹 방향을 y축, 플랜지 방향을 z축으로 하였다.

Fig 10은 일반적인 H-빔 웹 절단형상으로 주어진 도면 중 한 예이다. 이 형상은 주어진 H-빔의 웹에서 사각기둥 한 개와 삼

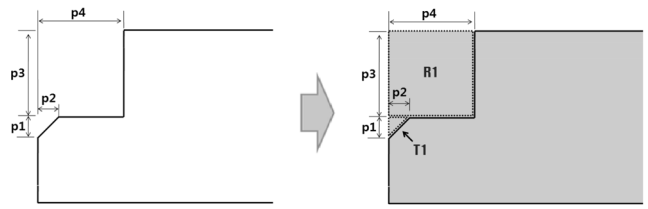


Fig. 10 Simple cutting shape of a web and its parameters

각기둥 한 개를 제거한 형상이다. 이 도면에서 주어진 p1에서 p4의 수치로 사각기둥과 삼각기둥의 파라미터를 구하면 웹의 절단 형상은 식 (2)로 간편하게 나타낼 수 있다.

$$W = W_0 - R_1 - T_1 \tag{2}$$

$$T_1(t_1, t_2, t_3, h) \begin{cases} t_1(0, wl - p3 - p1, \frac{(fl - wt)}{2}) \\ t_2(p2, wl - p3, \frac{(fl - wt)}{2}) \\ t_3(p2, wl - p3, \frac{(fl - wt)}{2}) \\ h = wt \end{cases}$$

$$R_1(r_1, l, w, h) \begin{cases} r_1(0, wl - ft, \frac{(fl - wt)}{2}) \\ l = p4 \\ w = p3 \\ h = ft \end{cases}$$

where, $\begin{cases} p1 \sim p4 : \text{parameter} \\ wl, wt : \text{length, thickness of web} \\ fl, ft : \text{length, thickness of flange} \end{cases}$

식 (2)에서 W_0 는 절단 전의 웹 형상이고 W 는 절단 후의 웹 형상이다. 그리고 삼각기둥과 사각기둥에 필요한 각각의 파라미터 값을 p1~p4와 기타 변수들을 통하여 계산되어진다.

Fig 11은 좀 더 복잡한 형상을 갖는 웹 일반화의 절단 형상 및 파라미터다. Fig. 11의 절단형상은 원래의 웹 형상에서 삼각기둥 1개(T1), 사각기둥 3개(R1, R2, R3), 부채꼴기둥 1개(C1)를 제거함으로써 구현할 수 있다. 이를 수식으로 표현하면 식 (3)과 같다.

식 (3)은 Fig 11의 절단 형상을 구현하기 위한 수식들이다. 위와 마찬가지로 각각의 기본도형에 들어가는 요소들의 값이 원부재 정보와 입력된 파라미터, 그 밖에 기본 변수들의 조합에 의해서 구성되는 것을 확인할 수 있다.

웹뿐 아니라 플랜지도 위와 같은 과정을 통하여 절단 형상을 만들게 된다. Fig 12는 플랜지 일반화중 하나의 절단형상 및 파라미터다. 위의 절단 형상을 구현하기 위해서는 2개의 삼각기둥이 필요하다.

식 (4)는 두 개의 플랜지 중 아래쪽 (절단 진행방향 기준) 플랜지의 절단 형상을 수식화 한 것이다. 이를 이용하여 생성된 기본 도형과 절단 형상은 Fig 12와 같다. 이렇게 만들어진 절단 형상을 수식화하면 다음과 같다.

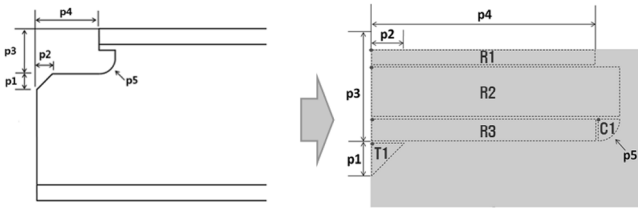


Fig. 11 Complex cutting shape of a web and its parameters

$$W=W_0-T_1-R_1-R_2-R_3-C_1$$

$$T_1(t_1, t_2, t_3, h) \begin{cases} t_1(0, wl - p3, \frac{(fl - wt)}{2}) \\ t_2(p2, wl - p3, \frac{(fl - wt)}{2}) \\ t_3(0, wl - (p1 - p3), \frac{(fl - wt)}{2}) \\ h = wt \end{cases}$$

$$R_1(t_1, l, w, h) \quad (3)$$

$$\begin{cases} t_1(0, wl - ft, \frac{(fl - wt)}{2}) \\ l = \text{torch radius} \\ w = p4 \\ h = wt \end{cases}$$

$$R_2(t_1, l, w, h)$$

⋮

$$C_1(t_1, \theta_1, \theta_2, h)$$

$$\begin{cases} t_1(p4, wl - (p3 - p5), \frac{(fl - wt)}{2}) \\ \theta_1 = 90^\circ \\ \theta_2 = 180^\circ \\ h = wt \end{cases}$$

$$F = F_0 - T_1 - T_2$$

$$T_1(t_1, t_2, t_3, h)$$

$$\begin{cases} t_1(0, 0, 0) \\ t_2(p2, 0, 0) \\ t_3(0, 0, p1) \\ h = ft \end{cases}$$

$$T_2(t_1, t_2, t_3, h)$$

$$\begin{cases} t_1(fl - p3, 0, 0) \\ t_2(fl, 0, 0) \\ t_3(fl, 0, p4) \\ h = ft \end{cases}$$

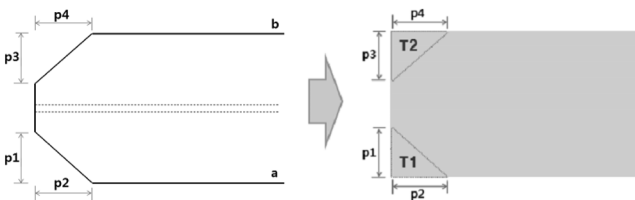


Fig. 12 Cutting shape of a flange and its parameters

식 (4)는 두 개의 플랜지 중 아래쪽 (절단 진행방향 기준) 플랜지의 절단 형상을 수식화 한 것이다. 이를 이용하여 생성된 기본 도형과 절단 형상은 Fig 12와 같다. 이렇게 만들어진 절단 형상을 수식화하면 다음과 같다.

F_0 는 절단 전의 플랜지 형상이고 F 는 절단 후의 플랜지의 형상을 의미한다. 반대쪽 플랜지도 동일한 방법으로 생성된다.

웹과 플랜지가 만나는 부분은 조인트(Joint)로 부르며 아크형태의 곡면을 취하고 있는데 웹과 플랜지의 길이와 두께에 따라 곡률이 정해진다.

사용자가 형상 정보를 입력할 때 일반화를 선택함으로써 프로그램 내부에서는 기본 도형의 연산 방법이 정해지고, 파라미터를 입력받음으로서 기본 도형을 만드는데 필요한 값들이 연산되어 형상 구현을 하는데 필요한 수식이 만들어지게 된다. 절단 형상을 구현하는 데에 수식으로 만들어지기 때문에 사용자로부터 최소한의 정보를 입력받아 다양한 절단 형상을 손쉽게 만들 수 있게 된다.

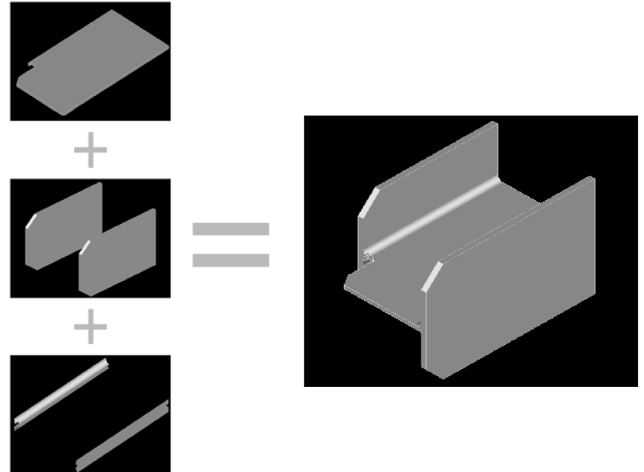


Fig. 13 Union of web and flange cutting shape

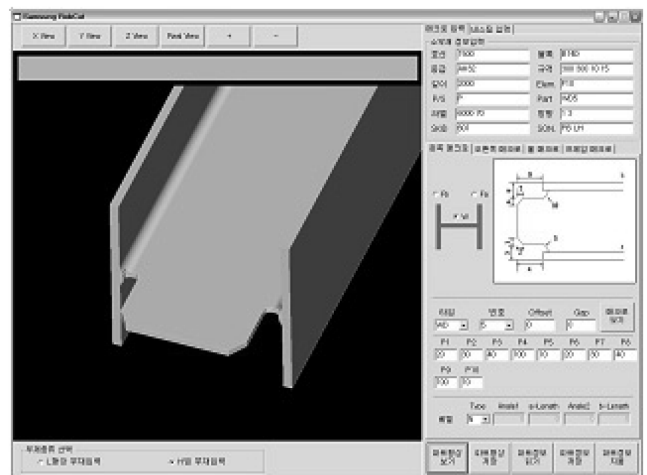


Fig. 14 3D graphic program to display the cutting shape of H-beam

3.2.2 각 부분의 결합을 통한 H-빔 전체 절단 형상 구현

H-빔 전체 절단 형상은 Fig 13과 같이 전술한 웹과 플랜지 형상에 조인트 부분이 합쳐져서 이루어진다. 따라서 H-빔의 전체 절단형상은 식 (5)로 나타낼 수 있다.

H=W+2F+4J (5)

위의 식 (5)에서 H는 H-빔의 전체 절단 형상이고 W, F, J는 각각 웹, 플랜지, 조인트의 절단 형상을 의미한다. 플랜지는 동일형상으로 좌우 두 개가 있으므로 2F로 표기하였으나 형상이 달라지면 F1 과 F2로 표현된다. 조인트 부분도 웹의 상하좌우에 4개가 있으므로 4J로 표기될 수 있다.

3.3 절단 형상 구현 프로그램

Fig 14는 본 연구를 통해 개발한 절단 형상 구현 프로그램의 실행 화면이다. 프로그램 우측 부분에 원부재 정보 및 절단 형상 정보가 기입하며 이를 통하여 좌측에 크게 보이는 창에 절단 형상이 3차원 형상으로 보이게 된다. 작업자는 이 3차원 형상을 이용하여 절단 형상을 확인함으로써 입력 오류를 사전에 확인할 수 있다.

4. 결 론

3D graphics를 적용하여 얻을 수 있는 장점은 무수히 많다. 공장을 건설하기 전에 설계도에 따라 미리 3D 형상으로 구현하고 시뮬레이션 하여 공장의 건설 과정이나 건설 후에 발생할 수 있는 문제점들을 파악하여 이를 사전에 방지 할 수 있다. 이 외에도 산업 전반의 제조 과정에서 3D 형상 구현을 통하여 제조 과정에서 발생 할 수 있는 문제점들을 미리 파악하여 대처함으로써 시간과 비용을 절약할 수 있다.

본 연구에서는 H-빔 자동 절단 시스템 개발과정에 있어 C# 언어와 그래픽 라이브러리인 Open Cascade를 이용하여 절단 형상 구현 프로그램을 개발하였다. 자동 절단 시스템에 대한 절단 정보 입력 시 작업자의 입력 오류로 시간과 비용의 손실이 있었다. 이를 방지하기 위한 절단 형상 구현 프로그램에서는 입력된 절단 파라미터에 대응하는 H-빔의 형상을 가시화하였다. 작업자는 이를 통하여 절단 정보 입력 전에 절단 형상을 미리 파악함으로써 오류로 인한 시간과 비용을 절감할 수 있게 되었다.

또한 절단 형상을 수식화 하여 표현함으로써 전체 형상이 어떻게 구현되었는지를 파악하기가 쉬워진다. 개발자 측면에서는

오류를 찾아내기가 쉬워지고, 사용자 측면에서는 형상 구현 원리를 보다 쉽게 이해할 수 있기 때문에 시스템 사용을 보다 능률적으로 할 수 있다는 이점이 있다. 또한 본 절단 형상 구현 시스템이 객체지향을 기반으로 하고 있기 때문에 웹이나 플랜지 일반화 중 일부를 수정할 경우 수식화 부분에서도 바뀐 부분만 수정되게 된다. 그리고 파라미터의 입력오류로 인한 부분도 수식에서 어떤 부분이 잘못 되었는지를 쉽게 파악할 수 있기 때문에 유리한 측면이 많다. 그러나 아직 수식화 한 정보를 출력하고 수정하는 데에 대한 인터페이스가 구축되어 있지 않기 때문에 차후에 이를 보완한다면 전체적인 시스템 완성도가 높아질 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 지원한 “실시간 3차원 형상 측정 및 고속 절단용 로봇 시스템 개발” 사업을 통해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

이상헌, 이강수, 박상근 (2002). “선택적 불리안 연산자를 이용한 솔리드 모델의 다중해상도 구현”, 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, pp 833-835.
양정삼, 한순홍, 최영, 박상호 (2002). "OpenCASCADE를 이용한 CAD 모델의 오류 진단 시스템의 개발", 한국자동차공학회논문집, 제10권, 제3호, pp 151-158.
홍명우, 남성현, 서태정, 김상원, 김창현, 김태균 (1994). “도면의 3차원 형상 모델링”, 한국정보과학회 춘계학술발표논문집 제21권 제1호, pp 719-722.
이상헌, 이근우 (1996). “비다양체 형상 모델링을 위한 간결한 경계 표현 및 확장된 오일러 작업자”, 한국 CAD/CAM 학회지, Vol 1, No 1, pp 1-19.
정동원, 이상제 (1999). "기하학적 방법을 이용한 초기 박판형상 추정", 한국해양공학회지 제13권, 제3호, pp 12-20.

2011년 3월 25일 원고 접수

2011년 6월 15일 심사 완료

2011년 6월 20일 게재 확정