



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.

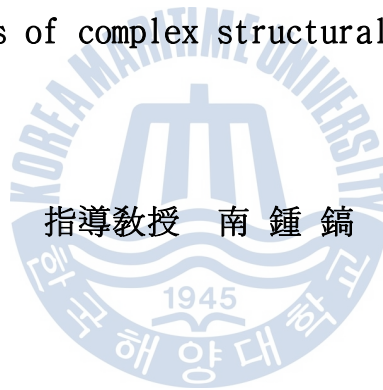
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

복합형상구조물의 구획 분류 및
기하학적 요소 정의

Classification and definition of geometric parameters of
compartments of complex structural body models



指導教授 南 鍾 鎬

2014年 2月

韓國海洋大學校 大學院

造船海洋시스템工學科

朴 寅 夏

본 논문을 박인하의 공학석사 학위논문으로 인준함.



위원장 이 승 재 (인)

위 원 남 종 호 (인)

위 원 우 종 훈 (인)

2014년 2월

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	v
Abstract	vii
1. 서 론	1
2. 개발 도구	
2.1 개요	4
2.2 기하학적 모델	4
2.3 NURBS 모델링	5
2.4 IGES	8
2.5 Open CASCADE	10
2.5.1 개요	10
2.5.2 구조	15
3. 알고리즘 개발	
3.1 개요	18
3.2 모델링 정보 입출력	21
3.3 모델링 객체 절단	24
3.4 절단된 단면 위의 선 분할	26
3.5 겹치는 선 및 돌출된 선 제거	29
3.6 구획을 구성하는 선 그룹화	30
3.7 구획을 구성하는 선 그룹의 반시계방향 확인	33

3.8 구획을 구성하는 선 그룹의 면 변환	36
3.9 구획을 구성하는 단면간의 연결성 확인	38
3.10 구획의 기하학적 요소	39
4. 결 론	48
참고문헌	49



List of Tables

Table 1 Open CASCADE를 기반으로 한 캐드시스템 현황	12
Table 2 체적 결과 비교	43
Table 3 X축의 체적 1차 모멘트(G_{xx}) 결과 비교	44
Table 4 X축의 관성 모멘트(I_{xx}) 결과 비교	45
Table 5 X축의 회전반경(r_x) 결과 비교	46
Table 6 X축의 체적중심(\bar{x}) 결과 비교	47



List of Figures

Fig. 1-1 Sikob프로그램을 위한 오프셋 정보 입력 양식	2
Fig. 2-1 NURBS모델링과 Polygon모델링의 비교	6
Fig. 2-2 NURBS의 매개변수 t 를 이용한 점 획득	7
Fig. 2-3 NURBS곡면의 곡부수정	8
Fig. 2-4 IGES형식의 모델링 정보	9
Fig. 2-5 AutoCad	11
Fig. 2-6 NX	1
Fig. 2-7 Open CASCADE의 구조	61
Fig. 3-1 닫힌 면 구조	8
Fig. 3-2 면과 면이 교차하여 연장된 구조	9
Fig. 3-3 알고리즘 흐름도	0
Fig. 3-4 TopoDS_Shape 클래스의 계층구조	32
Fig. 3-5 자율무인잠수정(AUV)	42
Fig. 3-6 절단된 단면 위의 선과 점	3
Fig. 3-7 절단된 복합형상구조물	8
Fig. 3-8 선 A 분할 전	2
Fig. 3-9 선 A 분할 후	2
Fig. 3-10 절단된 단면 위의 선 분할 흐름도	8
Fig. 3-11 돌출된 선	9
Fig. 3-12 점 U의 이동	0
Fig. 3-13 구획을 구성하는 선 그룹화 알고리즘	1
Fig. 3-14 두 벡터의 내적	3
Fig. 3-15 시작점의 진행방향에 따른 구획 분할 오류	3
Fig. 3-16 반시계방향 판단 오류	4
Fig. 3-17 반시계방향 판단을 위한 법선벡터	5
Fig. 3-18 선 그룹의 반시계방향 진행 _v 판단	5

Fig. 3-19 선의 형상에 따른 구획단면 분할 오류	3
Fig. 3-20 자유곡면의 단면 중심과 매개변수 t 가 (0.5, 0.5)인 점	7 3
Fig. 3-21 단면 K 와 $K+1$ 사이의 연결성 확인	8 3
Fig. 3-22 모든 절단된 단면의 연결성 확인	9
Fig. 3-23 구획을 구성하는 각 단면의 넓이 그래프	4
Fig. 3-24 기하학적 요소 결과 비교 모델	4



Classification and definition of geometric parameters of compartments of complex structural body models

Park, In Ha

Department of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering
Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

For a safety estimation of complex structural body models, definition of geometric parameters such as a volume and center of volume is essential. Thus, it should change modeling information of face structure to B-rep or CSG form for definition of geometric parameters through each section categorization on the commercial CAD systems. But, complex structural body models can cause error while it is transformed to B-rep or CSG or too much time is spent for each face selection. And, CAD system using in almost ship yard is uncomfortable to input offset information as manual to define for each section volume, geometric parameters and then that CAD system is outside program which is paying license fee every year. Therefore, this research has developed automatic system which calculate geometric parameters each section and classify each section of complex structural body models without limitation for solid modeling and section information.

KEY WORDS: Open CASCADE; NURBS; Geometric parameters 기하학적 요소;
Classification of compartments 구획분할; Watertight compartments 수밀구획;
CAD;



제 1 장 서 론

현재 고유가시대가 지속됨에 따라 심해 자원 시추 및 탐사를 위한 AUV(Autonomous Unmanned Vehicle) 및 ROV(Remotely Operated Vehicle)와 같은 수중 복합형상구조물에 대한 연구가 산학연으로 활발히 진행 중이다. 따라서 이러한 복합형상구조물의 복원성 계산 및 밸러스트 변화에 따른 거동예측 등의 안정성과 관련된 연구도 활발히 진행 중이다. 하지만 복합형상구조물의 안정성과 관련된 필수요소인 각 구획별 체적 및 무게중심과 같은 기하학적 요소의 계산은 상용 캐드시스템을 활용시에 비효율적으로 진행되는 경우가 있다. 예를 들어 일반적으로 설계자는 설계 편의를 위해 주로 면 기반 모델링(Surface-based modeling)을 한다. 이러한 면 기반 모델링은 단위형상(Primitive)의 조합만으로 객체를 구성하기 때문에 시각적으로 보이는 것과는 다르게 물체의 내부와 외부를 구분하지 못해 캐드시스템상에서 기하학적 요소를 계산할 수 없다. 따라서 차후작업으로 면 기반 모델을 기하학적 요소가 포함된 솔리드 모델(Solid model)로 변환해야 한다. 변환을 위해 변환하고자 하는 구획에 포함된 각 면을 수작업으로 선택해야 하며, 복잡한 형상의 경우 많은 시간이 소요된다. 이러한 차후작업은 CATIA 및 NX와 같은 고가의 상용 캐드시스템에서도 필수이며, 차후작업 없이는 각 구획별 기하학적 요소를 계산할 수 없다.

조선해양 분야 캐드시스템의 경우 최근에 출시된 AVEVA-Marine과 같은 3차원 캐드시스템 이전에는 설계 정보가 와이어프레임 모델(Wireframe model) 또는 면 기반 모델로 구현되기 때문에 기하학적 요소를 계산하기 위해 모델링 정보를 오프셋 정보로 변환하거나, 오프셋 정보의 별도 입력 과정이 필요하다. 또한 조선분야 기본설계의 선박계산에 사용되는 Sikob프로그램은 GUI가 존재하지 않고, 콘솔 형태의 프로그램임에 따라 Fig. 1-1과 같이 오프셋 정보 입력과

정이 불편하고, 많은 작업시간이 소요된다. 최근 대형 조선소에서 많이 사용되는 기본설계 선박 계산 프로그램인 Napa의 경우 GUI가 지원되어 편리한 사용자 인터페이스를 제공하지만, 핀란드 Napa社에서 제작된 외부 프로그램임에 따라 매년 많은 라이선스 비용과 유지보수 비용을 지출한다.

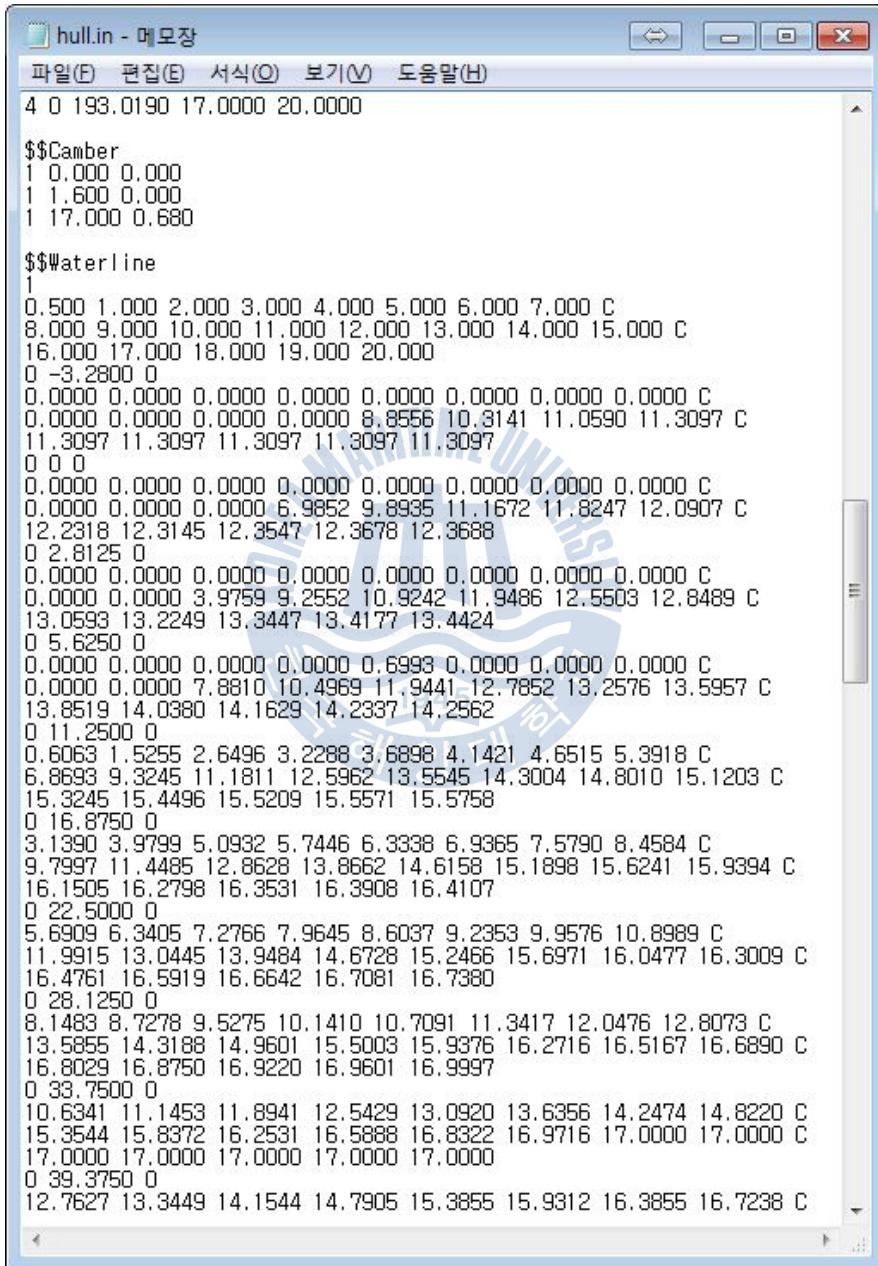


Fig. 1-1 Sikob프로그램을 위한 오프셋 정보 입력 양식

따라서 본 연구에서는 상용 캐드시스템에서 지원되지 않는 별도의 구획 정보 입력 없이 복합형상구조물을 구획 별로 자동 분류하는 알고리즘을 개발하고, 매년 많은 라이선스 비용 지출을 발생하게 하는 조선해양 분야 선박 계산 프로그램의 구획 별 체적 및 기하학적 요소 정의 부분을 대체할 수 있는 시스템을 개발하는 것이 목적이다.



제 2 장 개발 도구

2.1 개요

복합형상구조물의 구획 분류 및 기하학적 요소 정의를 위한 알고리즘 및 프로그램 개발은 C++기반의 MFC로 GUI를 제작하며, 입력되는 모델링 정보는 공용 캐드 포맷인 IGES(Initial Graphics Exchanges Specification)를 사용하고, 캐드 정보 처리를 위해서는 NURBS(Non-uniform rational B-spline) 기반의 오픈 소스인 Open CASCADE 그래픽 라이브러리를 사용한다.

2.2 기하학적 모델

캐드시스템에서 3차원 정보를 지니고 있는 객체에 대한 기하학적 특성을 표현하는 방법은 와이어프레임 모델(wireframe model), 면 기반 모델(surface-based model), 솔리드 모델(solid model)로 구분된다.

와이어프레임 모델은 물체의 외형을 점과 선으로만 표현한다. 따라서 최소한의 정보로만 형상을 나타내기 때문에 표현이 간결하고, 도형처리가 간편하여 연산속도가 빠른 장점이 있다. 하지만 물체가 복잡한 경우 경계 및 내부와 외부의 판단이 어렵고, 질량 계산 및 유한요소의 자동생성 등 추후 작업이 곤란하다.

면 기반 모델은 와이어프레임 모델에서 와이어 사이에 면을 정의한 것으로 면 사이의 상호관계는 저장하지 않고, 면들의 목록과 각 면에 대한 곡면 방정식을 유도할 수 있는 정보만을 저장한다. 따라서 와이어프레임 모델에서 다루

지 못하는 단면도의 작성이나 숨은선 제거가 가능하며, 와이어프레임 모델보다 얻어지는 정보도 그만큼 많다. 하지만 인접 면에 대한 정보가 없으므로 교차선 계산 등 추후 정보 산술 시 많은 계산이 필요하여 연산시간이 많이 걸리고, 면들의 단순한 집합으로 물체의 외형을 표현하기 때문에 복잡한 물체를 일관성 있게 다루기가 쉽지 않으며, 물체의 내부와 외부를 구분하기 곤란하다.

솔리드 모델은 모양만이 아닌 물체의 다양한 성질을 좀 더 정확하게 표현하기 위해 고안된 방법으로 면에 방향성을 부여하여 모델의 내부와 외부를 구분한다. 솔리드 모델은 데이터 구조에 따라서 B-rep(Boundary representation)과 CSG(Constructive Solid Geometry)기법으로 나눌 수 있다. B-rep 기법은 면을 둘러싼 모서리 선에 오른쪽 나사선이 진행되는 방향으로 벡터를 줌으로써 입체 모델을 나타낸다. CSG기법은 체적을 가진 3차원의 단위형상(Primitive)을 조합하여 나타내는 방법으로 각각의 단위형상에 대한 합, 차, 곱의 집합연산을 수행해 솔리드를 표현한다.

본 연구에서는 서론에서 언급한 것처럼 복합형상구조물에 대한 별도의 구획 정보 없이 면 구조 모델링 정보만을 이용해 수밀구획 분류 및 기하학적 요소를 정의한다. 따라서 상용 캐드시스템에서 복잡한 형상의 기하학적 정보를 얻기 위해 수작업으로 면을 선택하여 B-rep이나 CSG같은 솔리드 모델로 변환하는 과정이 필요 없다.

2.3 NURBS 모델링

2.2절에서 언급한 기하학적 모델의 구성요소인 면을 표현하는 방식은 크게 NURBS모델링과 Polygon모델링으로 나눌 수 있다. Polygon모델링은 모든 면을 삼각형 면을 조합하여 만드는 방식으로 면의 수를 원하는 만큼 조절할 수 있어 NURBS모델링에 비해 연산속도가 빠르지만, 정밀하고 부드러운 표현을 위해서는 수많은 삼각형 면이 필요하므로 수정이 까다로운 단점이 있다.

NURBS는 Non-Uniform Rational B-Spline의 약자로 3차원 기하 체를 수학적으로 재현하는 방식 중 하나이다. 2차원의 간단한 선분 원, 호, 곡선부터 매우 복잡한 3차원의 유기적 형태의 곡면이나 덩어리까지 매우 정확하게 표현할 수 있으며, 편집이 무척 쉽다. 따라서 3차원상의 선형(Hull) 모델링과 같은 부드러운 곡면 모델링이 필요한 작업의 경우 NURBS모델링이 적합하다. Fig. 2-1이 NURBS모델링과 Polygon모델링으로 구현된 구(Sphere)를 보여준다.

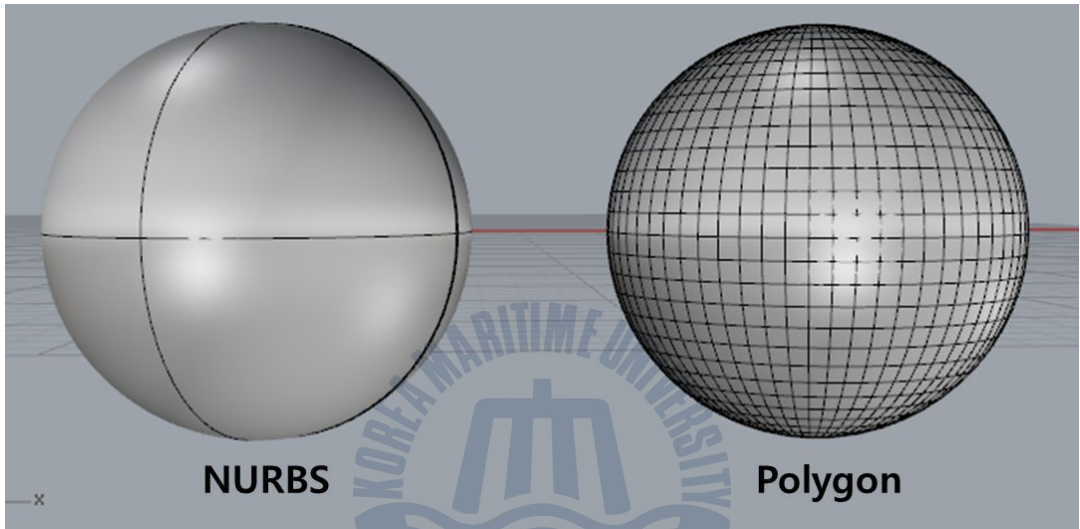


Fig. 2-1 NURBS모델링과 Polygon모델링의 비교

NURBS는 Bézier curves에서 발전하였으며, 매개변수 방정식 형태의 기저함수를 사용하고, 차수(degree), 제어점(control points), 매듭(knots)에 의해 제어된다. 매개변수 방정식 형태의 기저함수를 사용함에 따라 Fig. 2-2와 같이 매개변수 t 에 따른 선위의 각 점을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 이러한 특징을 구획 분류 알고리즘에 이용한다.

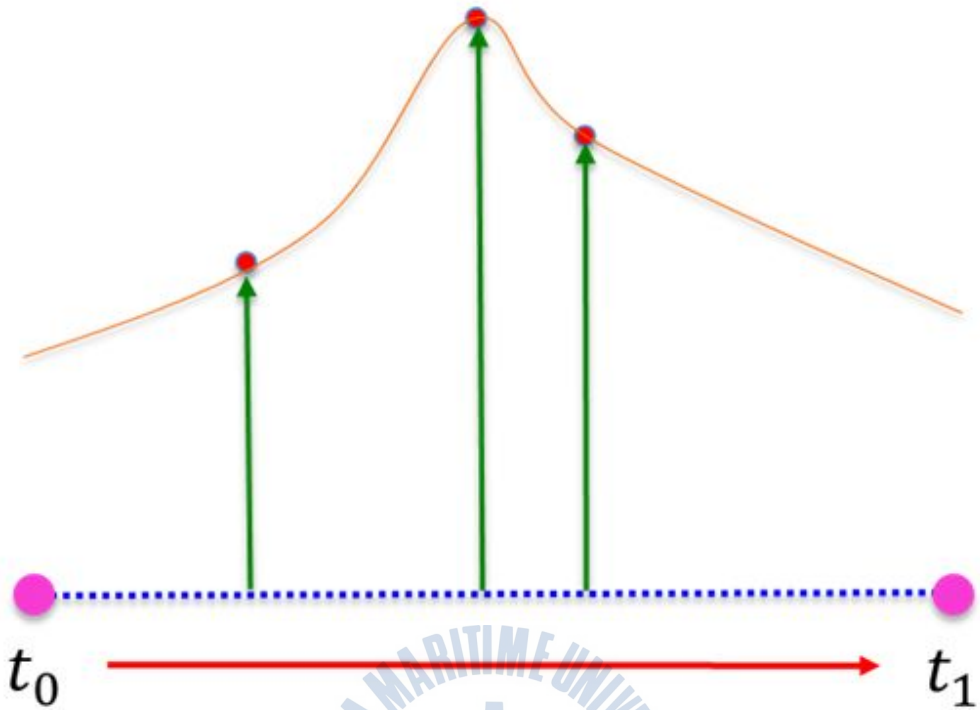


Fig. 2-2 NURBS의 매개변수 t 를 이용한 점 획득

NURBS는 제어점과 매듭을 이용해 곡부 수정이 가능하다. Fig. 2-3는 곡면의 곡부수정을 하는 그림이고, 2차원의 선이 아닌 3차원의 곡면으로 확장됨에 따라 매개변수도 Fig. 2-2와 같이 t 만 존재 하는 것이 아니라 u, v 방향으로 존재 한다.

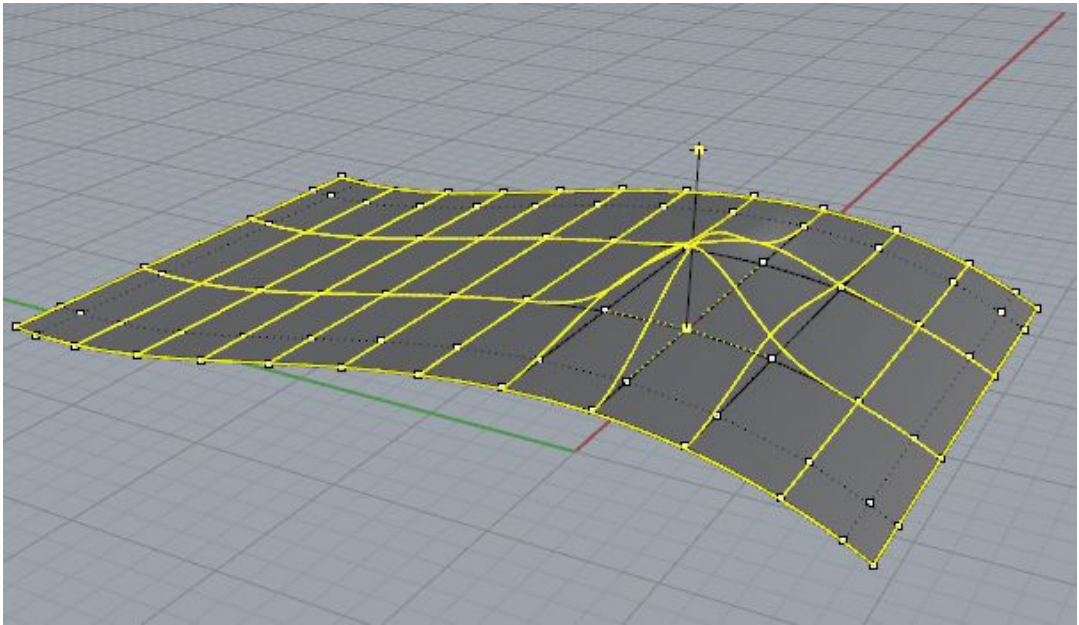


Fig. 2-3 NURBS곡면의 국부수정

NURBS의 보다 자세한 사항은 참고문헌(Piegl & Tiller, 1997)을 참고한다.

2.4 IGES

IGES는 Initial Graphics Exchange Specification의 약자로서 1979년 Boeing, General Electric, 미국 국방성 등이 다양한 캐드시스템에서 상호 호환할 수 있는 중립을 위해 개발하였다. 미국표준협회(ANSI)가 제정하였으며 지원하는 캐드 시스템이 많아 실질적인 세계 표준이기도 하다. IGES(초기 그래픽스 교환 명세)가 규정하는 도형 요소는 지금까지 나와 있는 각종 CAD데이터를 모두 포함한다. IGES파일은 전반부(디렉터리 엔트리부)에 데이터에 포함되는 도형 요소를 열거하여 상호 관계를 기록하고, 후반부(매개변수 데이터부)에 각 도형 요소의 좌표 데이터를 기록한다. IGES는 규격의 사용 방법을 엄밀하게 규정하고 있지 않아 해석이 일치하지 않거나 지원 부분이 서로 다른 문제가 발생하므로 데이터를 교환하는 이용자 간에서 IGES의 운용 규약을 정하고 있다. (한국정보통신 기술협회, 2006)

Fig. 2-4는 IGES확장자의 모델링 파일을 워드패드로 열었을 때의 그림이다. 곡면이나 곡선과 같은 모델링 정보를 텍스트 형식으로 양식에 맞게 저장된 것을 확인할 수 있다. NURBS기반의 현존하는 모든 카드시스템은 IGES확장자를 지원하기 때문에 본 연구에서는 모델링 파일의 입출력을 위해 IGES확장자를 사용한다.

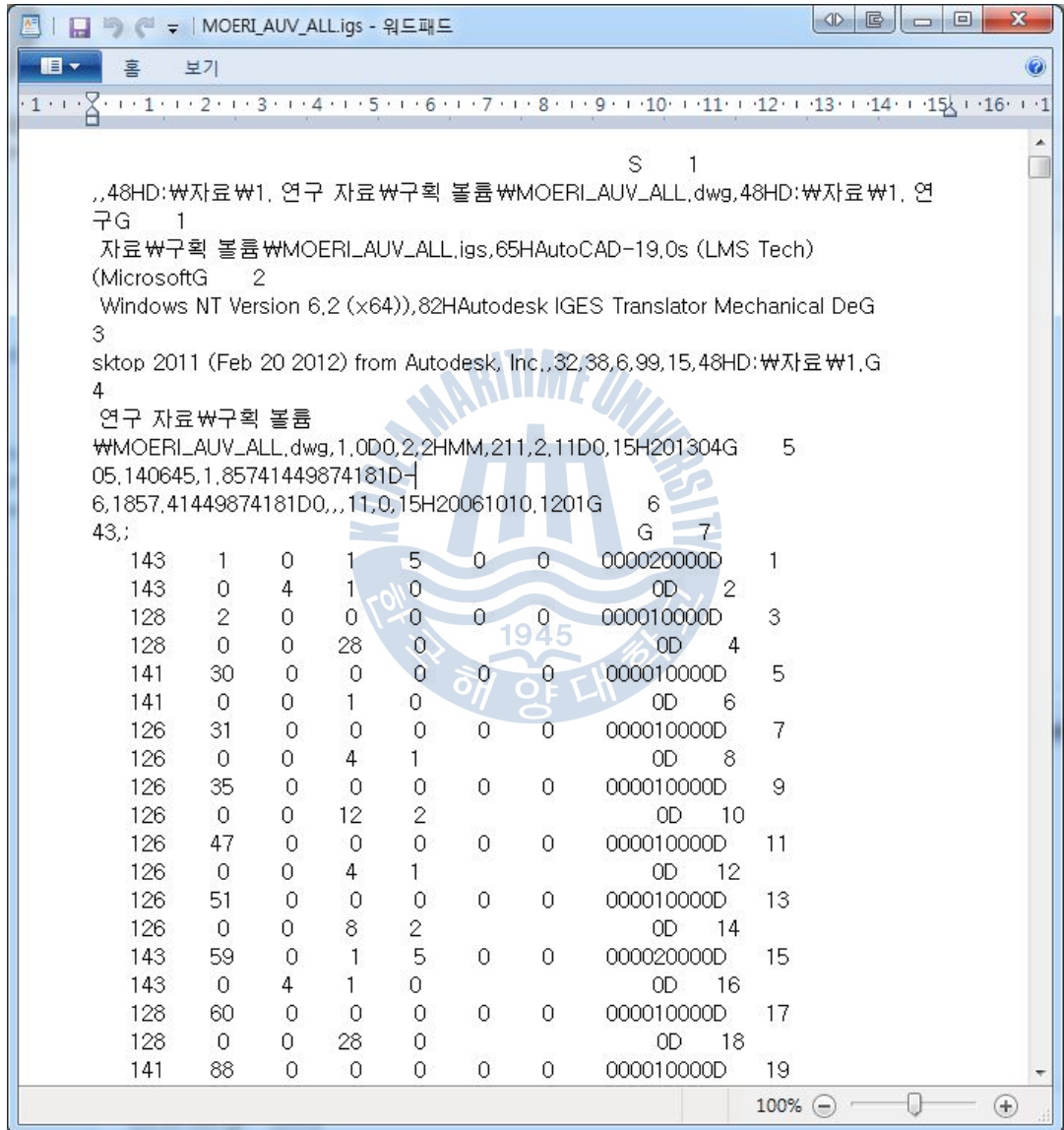


Fig. 2-4 IGES형식의 모델링 정보

2.5 Open CASCADE

2.5.1 개요

캐드시스템과 같이 3차원 그래픽의 출력이 요구되는 프로그램들을 효율적으로 개발하기 위해서는 그래픽 라이브러리가 필요하다. Open GL은 대표적인 그래픽 라이브러리로 다양한 OS와 프로그램 언어에서 적용할 수 있기 때문에 많은 3차원 그래픽 프로그램에 사용되고 있다. 하지만 Open GL은 가장 기본적인 그래픽 처리 기능만 하도록 개발된 저수준 그래픽 라이브러리로 모델링된 물체를 화면에 그려내는 작업인 렌더링에 적합하도록 설계되어 있어 Open GL을 이용하여 복잡한 물체를 표현하기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하다. 이런 이유로 3차원 캐드시스템 개발에는 Open GL을 기반으로 개발된 고수준의 그래픽 라이브러리인 Open Inventor, VRML, Java 3D 등들이 적용되고 있다. 이들 고수준 그래픽 라이브러리들은 점, 선, 다각형 등 기본요소를 정의하고 조합하여 복잡한 물체를 설계하는 작업인 모델링 기능들이 있어 3차원 그래픽 프로그램을 보다 효율적으로 개발할 수 있는데 도움을 준다. 특히 Siemens 社의 Parasolid나 Spatial 社의 ACIS의 경우 상용되는 유명 캐드시스템 대부분의 그래픽 라이브러리가 되는 뛰어난 커널이다. Fig. 2-5의 AutoCad(ACIS 기반)와 Fig. 2-6의 NX(Parasolid 기반)가 대표적인 프로그램이다. 하지만 Open GL은 소스가 공개된 무료 그래픽 라이브러지만 고수준의 그래픽 라이브러리들은 비싼 비용으로 구매해야 할 뿐 아니라 개발된 프로그램을 배포할 때에도 라이선스 비용을 요구하는 것이 대부분이다. (<http://honestengineer.tistory.com/24>, 2010)

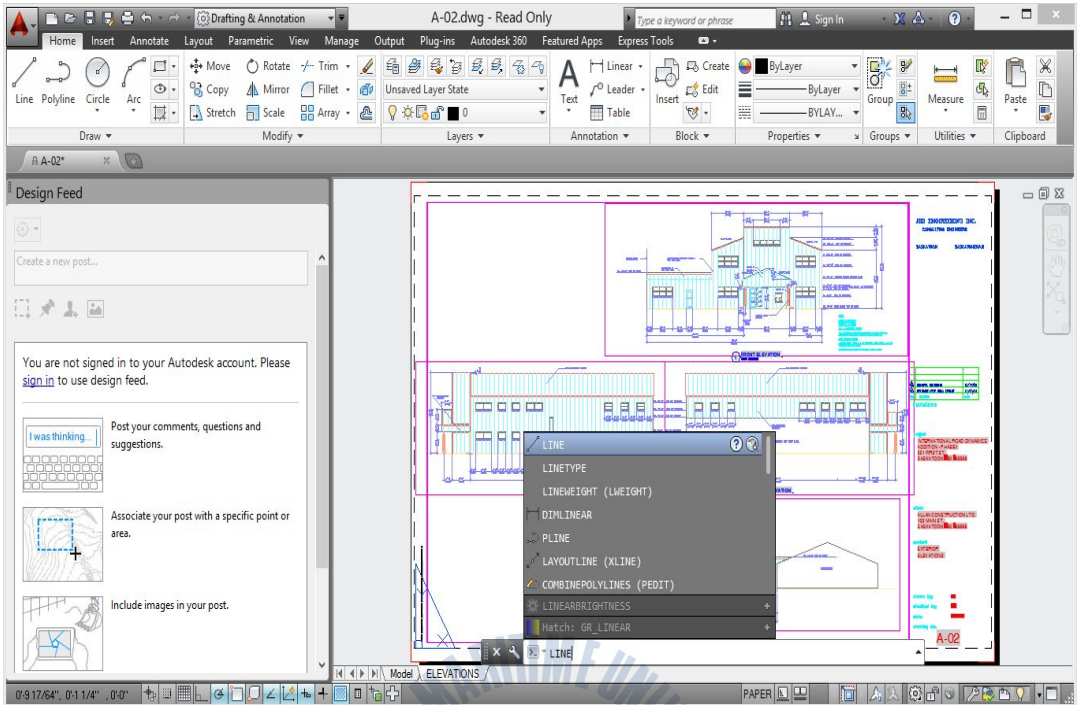


Fig. 2-5 AutoCad

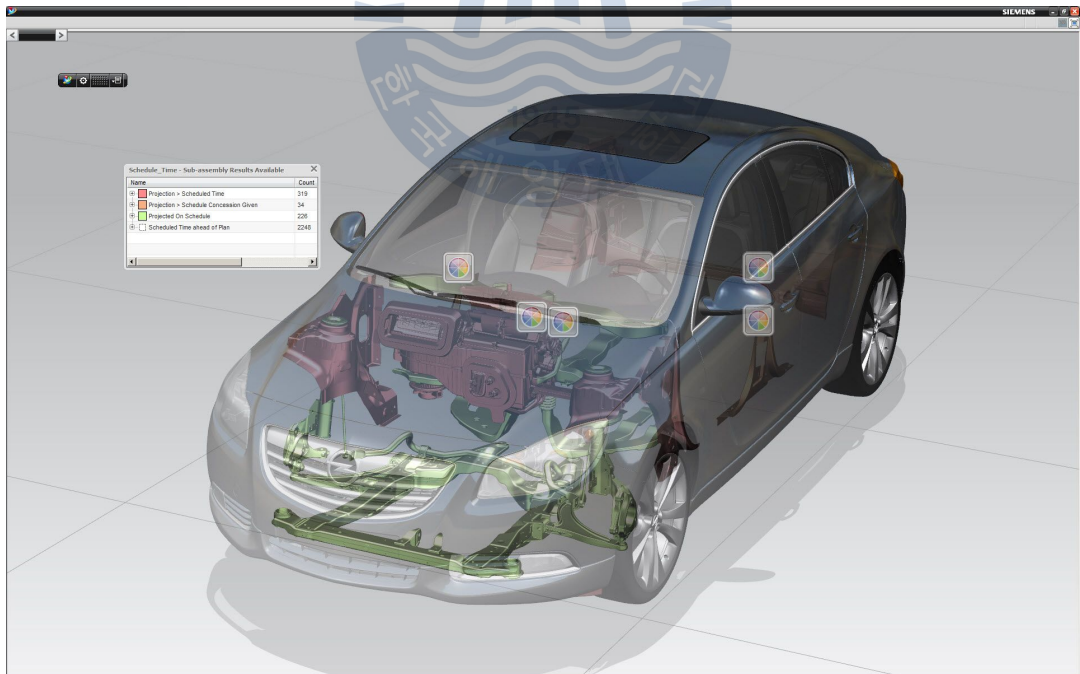


Fig. 2-6 NX

Open CASCADE는 Open GL기반의 고수준 그래픽 라이브러리이다. Open CASCADE는 다른 그래픽 라이브러리와는 달리 무료로 사용이 가능해 3차원 캐드시스템을 개발하는데 유용하게 사용되고 있다. Open CASCADE의 전신인 CAS.CADE(Computer Aided Software for Computer Aided Design and Engineering)는 90년대 초반 프랑스의 Matra Datavision 社에서 개발된 캐드시스템인 Euclid Quantum 개발을 위한 플랫폼으로 개발되었다. 이후 Matra Datavision 社는 경쟁이 심한 캐드시스템의 판매 대신 CAS.CADE를 기반으로 한 소프트웨어의 개발 및 서비스 분야로 비즈니스 모델을 바꾸면서 자사에서 개발한 캐드시스템은 CATIA로 유명한 프랑스의 다소시스템에 1998년도에 매각하는 대신 CAS.CADE를 Open CASCADE라는 공개 프로그램으로 출시한다. 이후 Matra Datavision 社는 약 100여 명의 직원으로 Open CASCADE의 개발 및 교육 사업에 집중하고 있다.

Open CASCADE가 출시되면서 Matra Datavision 社의 가장 큰 고민은 개발자들이 공개 프로그램에 대해 가지고 있는 선입관이었다고 한다. 일반적으로 공개 라이브러리의 경우 그 완성도가 떨어지고 지속적인 기능 향상이 되지 않지만, 상용 라이브러리들은 비용은 들으나 완성도와 기술 지원이 원활하게 제공된다. 이런 이유로 Matra Datavision 社도 Open CASCADE를 출시 초기에는 많은 고전을 하였다. 하지만 24시간 고객 지원과 같은 서비스 강화 및 지속적인 제품의 기능 향상을 통해 신뢰를 확보하였으며 지금은 많은 회사가 3차원 그래픽 프로그램들을 개발에 Open CASCADE를 적용하고 있다. 본 연구에서도 알고리즘 개발을 위해 ACIS나 Parasolid의 적용을 고려하였지만 많은 라이선스 비용 지출과 연구 개발 목적인 기술의 국산화에 대한 문제로 Open CASCADE를 기반으로 연구를 진행하였다. Open CASCADE를 기반으로 캐드시스템을 개발하고 있는 회사는 Table 1과 같다.

Table 1 Open CASCADE를 기반으로 한 캐드시스템 현황

Field of business	Corporation
-------------------	-------------

Energy	AREVA
	CEA (Commissariat à l'énergie atomique)
	EDF (Électricité de France)
	IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire)
Aeronautics and Space	EADS CCR
	Alcatel Space
	Snecma Moteurs
	THALES
	GKN Aerospace Engineering Services
	PACE Aerospace Engineering & Information Technology
Automotive	BMW
	Yazaki/Nippon Steel Solutions
	TATA Motors
	DaimlerChrysler
Naval Certification	RINA (The Royal Institution of Naval Architects)
	BV (Bureau Veritas)
	KRS (Korean Register of Shipping)
CAD/CAM/CAE/GIS Software Edition and Services	Samtech
	MIDAS IT
	4M
	QuickPEN
	NIC (National Informatics Centre)
	GIT (General Integration Technology)

	DBM Reflex
	Mecalog (Radioss Group)
	Alma Group
	Flow Solutions
	C4W
	Ricardo Software
	OPTIS
	Aleker
	ELSYCA
	Argo 21
	BRGM
	Beicip Franlab
	Tecnos GA
	CAD-Schroer
	P+Z Engineering
	Ingeciber
Heavy Industry and Mechanical Engineering	USINOR
	CETIM (Technical Center for Mechanical Industries)
	HOMAG
	LPKF Laser & Electronics
	Tekla Oyj
	SCM
Co-ordinate Measuring	Mitutoyo UK

Machines	Mahr Multisensor
	MTWZ (Messtechnik Wetzlar)
	Werth Messtechnik
	External-Array Software
	Metronics
	Wilcox Associates
	ESS (Entelligence Software Solutions)
Applied Mathematics and Computational Engineering	IMACS (International Association for Mathematics and Computers in Simulation)
	SINTEF
	RIKEN / Systems Planning
Medical	CIRTES

Table 1에 있는 한국선급(KRS)은 Open CASCADE를 기반으로 선박설계 및 건조 평가 프로그램인 SeaTrust를 개발하였고, 산적화물선 및 이중 선체 유조선에 대한 공통 구조규칙 적용프로그램인 SeaTrust-CSR, 다종의 선박에 대한 구조 안정성 평가프로그램인 SeaTrust-Holdan 및 전선구조해석 프로그램인 SeaTrust-ISTAS 등 총 7종이 포함돼 있다. 특히 SeaTrust-CSR 프로그램은 2006년에 개발되어 현대중공업, 대우조선해양, 삼성중공업 등 국내 대형조선소, 선박설계회사 및 대학교 등에 무료 배포돼 선박의 설계 및 검증 작업에 대한 신뢰성과 생산성 향상에 사용되고 있다. 현재(2013. 10) 6.6.0버전까지 공개되었으며 본 연구에서는 6.5.3버전을 이용해 연구를 진행하였다.

2.5.2 구조

Fig. 2-7은 Open CASCADE의 모듈 구조를 보여주는 다이어그램이다.

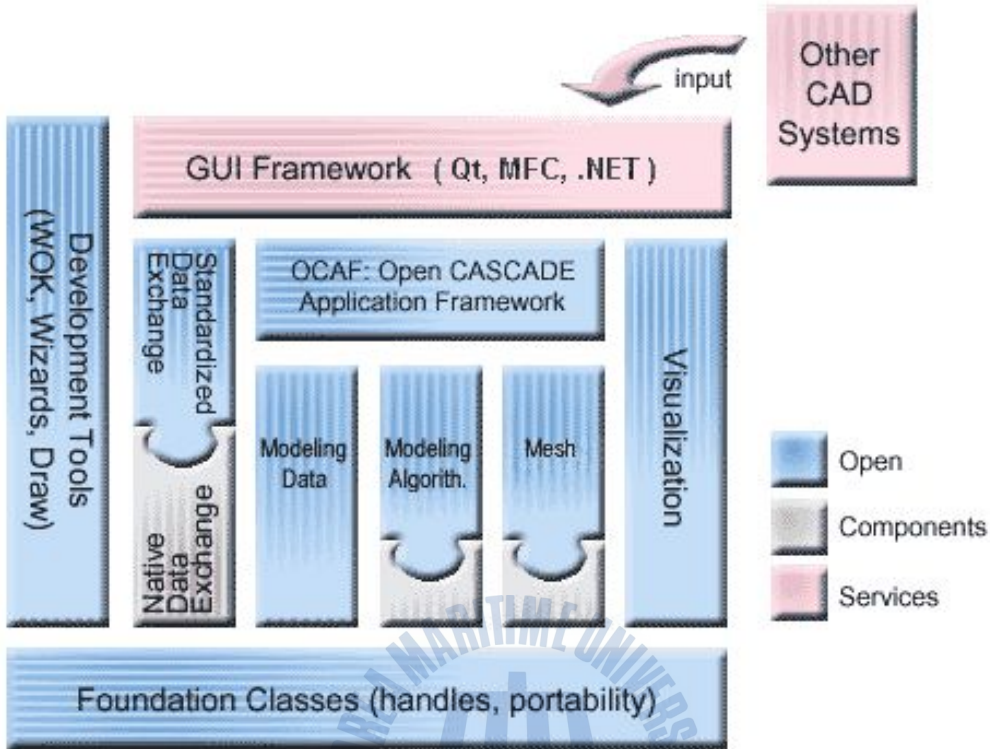


Fig. 2-7 Open CASCADE의 구조

OCAF는 Open CASCADE Application Framework의 약자로서 응용 프로그램의 GUI를 개발하기 위한 틀킷으로 제공된다. C++ 언어 기반의 MFC와 Qt, .net의 C# 언어를 공식 지원하고, 비공식으로 Java 언어를 지원한다. 또한, 1개의 프로그램 화면에 많은 문서를 관리 할 수 있는 Multiple Document Interface(MDI)를 지원하고, 동시에 여러 작업을 할 수 있는 멀티 뷰를 지원한다. 개발자의 편의를 위해 다양한 자료형을 지원하고, 힙 메모리(heap memory), 예외 처리를 자동으로 해주며, 벡터나 행렬의 계산에 필요한 수학적인 도구를 지원한다.

입출력이 가능한 모델링 확장자는 STEP, IGES, BREP 및 CSFDB가 있으며, 입력된 데이터는 유형에 따라서 Bezier 또는 B-spline으로 분류되고, 2차원 객체는 Geom2d 클래스에 3차원 객체는 Geom3D 클래스에 저장된다. 또한, 입력된

데이터를 Vertex, Edge, Wire, Face, Shell, Solid, Compound로 각각 분류하여
클래스화 할 수 있어 개발자의 편의를 돕는다.



제 3 장 알고리즘 개발

3.1 개요

서론에서 설명한 것처럼 상용 캐드시스템에서 객체의 기하학적 요소를 정의하기 위해서는 면 기반 모델을 기하학적 요소를 포함하는 솔리드 모델 형식의 B-rep(Boundary representation) 또는 CSG(Constructive Solid Geometry)의 형태로 변환해야 한다. 따라서 복잡한 형상을 변환할 경우 각각의 면을 수작업으로 선택해야 하므로 많은 시간을 소모하는 단점이 있다. 또한, 변환하고자 하는 형상은 Fig. 3-1과 같이 완벽히 닫힌(Close) 면 구조일 경우에만 변환할 수 있으며, 완벽히 닫힌 면 구조라 하여도 Fig. 3-2와 같이 면과 면이 교차하여 연장되는 경우 추가적인 형상처리 없이 솔리드 모델 형식으로 변환할 수 없다.

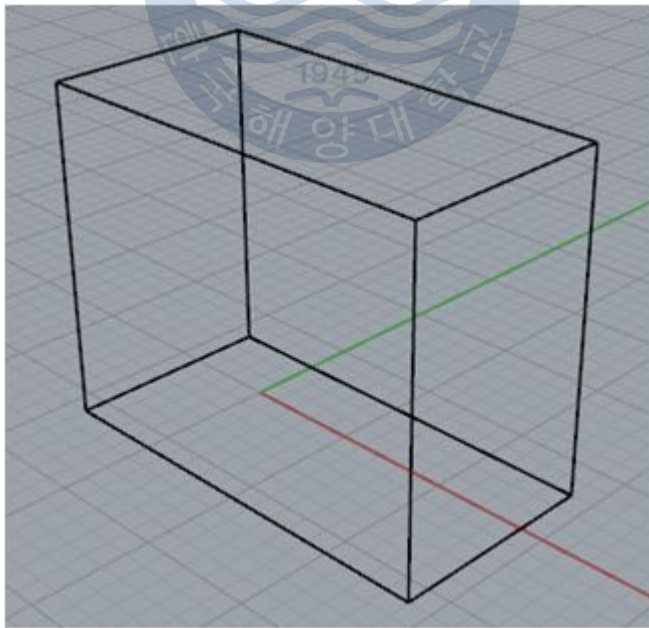


Fig. 3-1 닫힌 면 구조

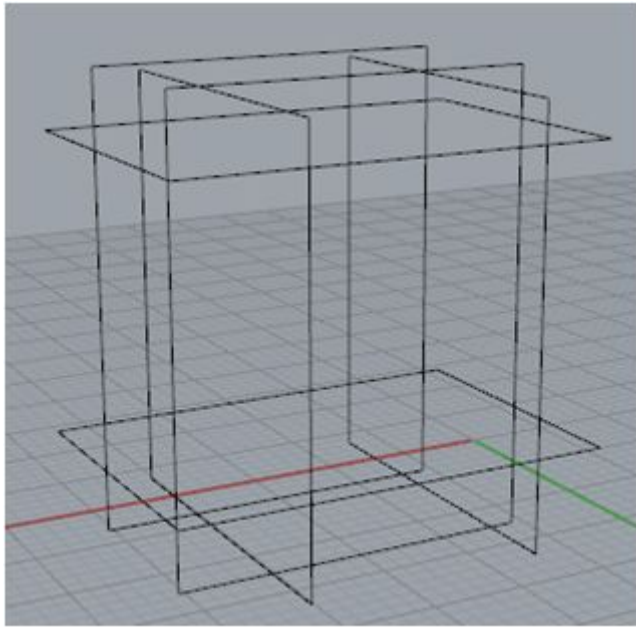


Fig. 3-2 면과 면이 교차하여 연장된 구조

따라서 본 연구에서는 불러온 모델의 복잡도, 면 구조 또는 솔리드 모델, 구획 정보의 제약과 관계없이 각 구획 분류 및 기하학적 요소를 정의하기 위해 Fig. 3-3의 흐름도에 따라 연구를 진행하였다.

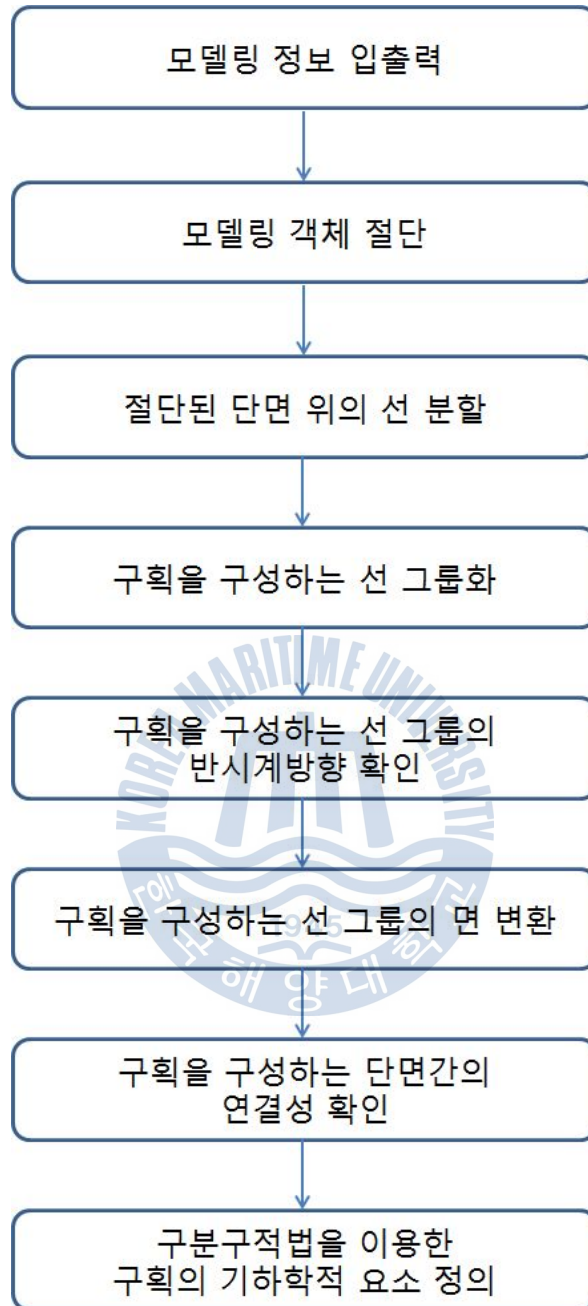


Fig. 3-3 알고리즘 흐름도

3.2 모델링 정보 입출력

Open CASCADE는 입출력하는 파일의 확장자에 따라 입출력 클래스가 각각 정의되어 있으며, IGES 확장자의 경우 IGESControl_Reader 클래스를 사용한다. 아래의 코드가 사용 예이다. IGESControl_Reader 클래스를 선언해주고, 클래스에 속해 있는 ReadFile 함수를 사용하여 IGES 파일을 불러온다.

```
IGESControl_Reader reader;  
  
IFSelect_ReturnStatus stat = reader.ReadFile("filename.igs");
```

아래의 코드는 불러온 IGES 파일이 오류가 있는지 확인한다. Check 함수를 통해서 오류가 없으면 true를 반환하고, 있으면 false를 반환한다. PrintCheckLoad 함수를 통해서는 오류에 대한 이유를 반환하며, 반환되는 이유에 대한 모드를 설정할 수 있다. IFSelect_xxx의 xxx를 ItemsByEntity, CountByItem, ShortByItem, ListByItem, EntitiesByItem 중에서 선택 가능하고, 기본값은 ItemsByEntity로서 IGES 개체 당 모든 오류 메시지를 순차적인 리스트로 반환한다.

```
Standard_Boolean ok = reader.Check(Standard_True);  
  
Standard_Boolean failonly = Standard_True or Standard_False;  
  
IFSelect_PrintCount mode = IFSelect_xxx;  
  
reader.PrintCheckLoad (failonly, mode);
```

IGESControl_Reader 클래스를 통해서 불러온 모델링 정보를 점, 선, 면으로 각각 분류하여 저장하기 위해 TopoDS_Shape 클래스로 다시 넘겨준다. Fig. 3-4는 TopoDS_Shape 클래스에 소속된 하위 클래스들의 계층 구조를 보여주는 그림으로서 점, 선, 면, 솔리드, 복합체 등으로 나누어져 있다. Fig. 3-3 흐름도의 불러온 모델을 X 방향 일정한 간격으로 절단 후, 절단된 면에 투영되는 각 선이 복합 선(두 개 이상의 선이 연결)이 아닌 단일 선이 되기 위해서는 잘리기

전의 객체도 복합체, 복합 면, 솔리드가 아니어야 한다. 따라서 TopExp_Explorer 클래스를 이용하여 각각의 면으로 나누어 TopoDS_Face에 저장한다. 아래의 코드가 그 예이다.

```
TopExp_Explorer anExp;  
for ( anExp.Init(mySection.Shape(), TopAbs_FACE; anExp.More(); anExp.Next())  
{  
    TopoDS_Face divided_Face = TopoDS::Face(anExp.Current());  
}
```

복합체 mySection에서 면만을 얻고 싶으면 for 문의 조건절에 TopAbs_FACE 을 입력하여 TopExp_Explorer 클래스의 Current 함수를 이용하여 면을 반환받는다. 만약 점만을 반환받고 싶으면 조건절에 TopAbs_VERTEX를 입력하고, 선만을 반환받고 싶으면 TopAbs_EDGE를 입력한다.



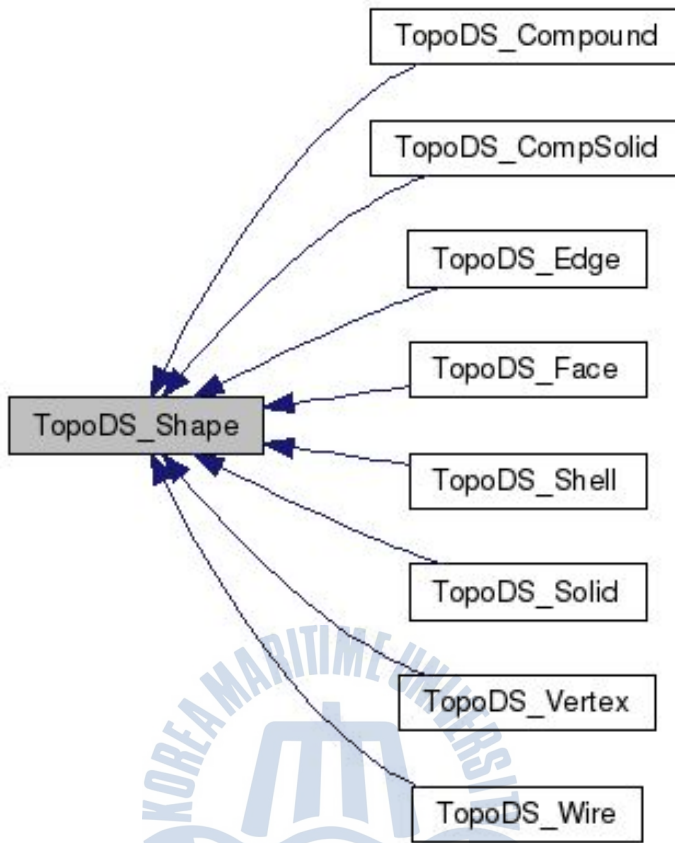


Fig. 3-4 TopoDS_Shape 클래스의 계층구조

Fig. 3-5는 IGES 확장자로 저장된 자율무인잠수정(Autonomous Unmanned Vehicle: AUV) 모델을 위 과정을 통해서 불러온 화면이다.

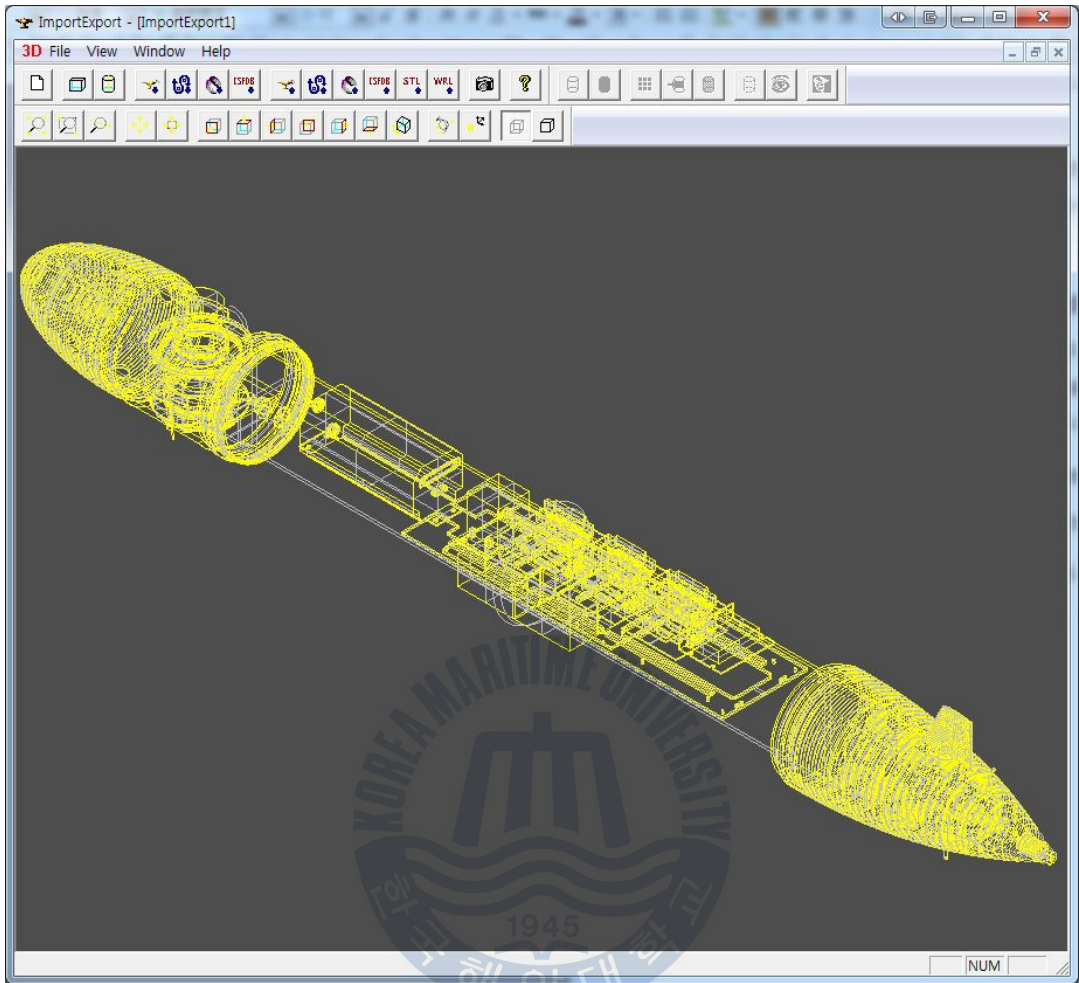


Fig. 3-5 자율무인잠수정(AUV)

3.3 모델링 객체 절단

구분 구적법의 형태로 입력된 모델의 기하학적 요소를 정의하기 위해 모델을 X 방향 일정한 간격으로 절단한다. 이를 위해 사용되는 클래스는 BRepAlgo_Section 클래스로서 절단될 면과 절단하는 면을 설정하고 Build 함수를 사용하게 되면 Fig. 3-6과 같이 절단하는 면 위에 투영되는 선과 점이 TopoDS_Shape 형태로 반환받게 된다. 이것을 다시 TopExp_Explorer 클래스를

이용해 TopoDS_Vertex와 TopoDS_Edge로 분할하여 저장한다. Fig. 3-7은 복합
형상구조물 전체를 절단하여 출력한 그림이다.

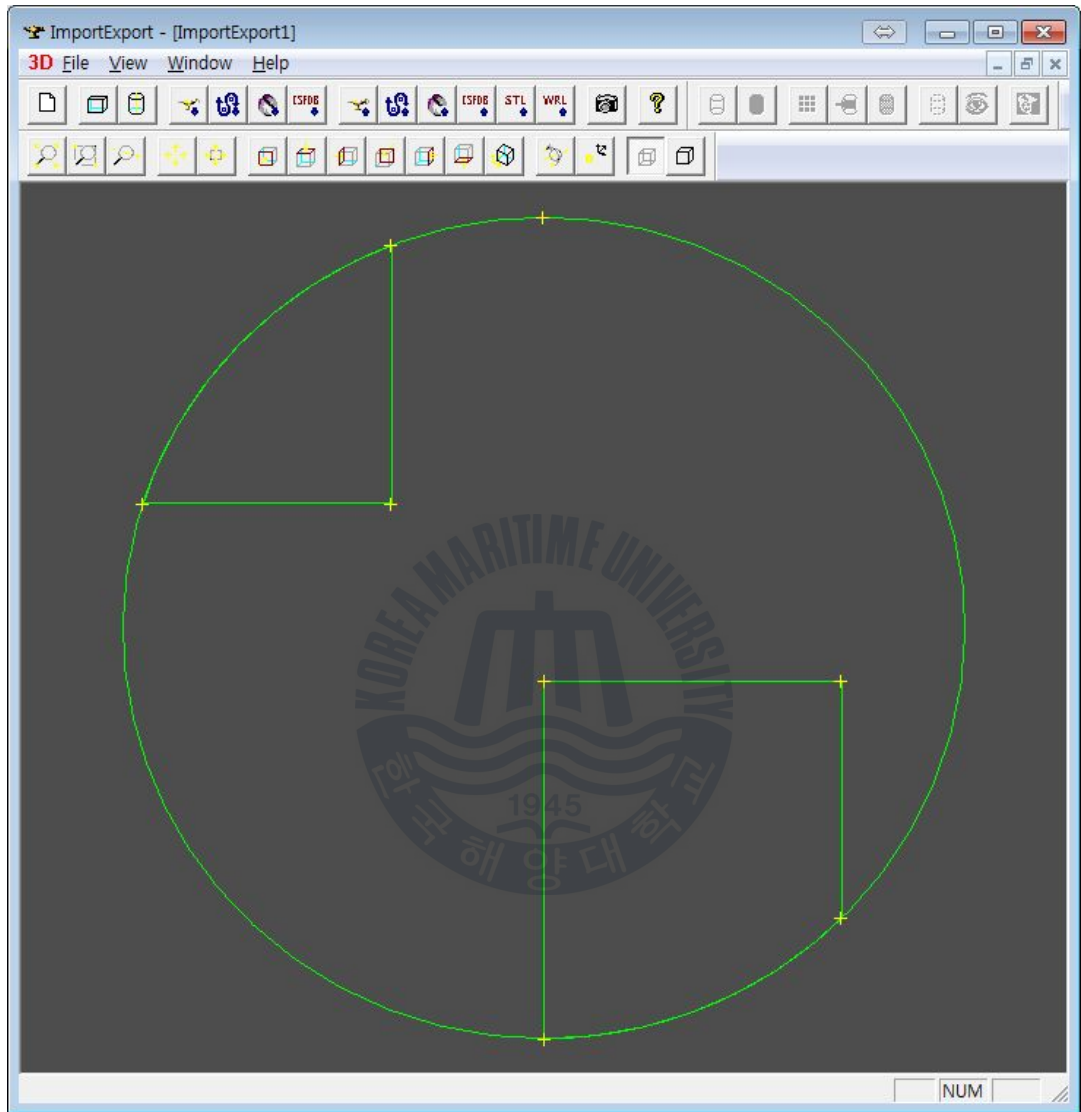


Fig. 3-6 절단된 단면 위의 선과 점

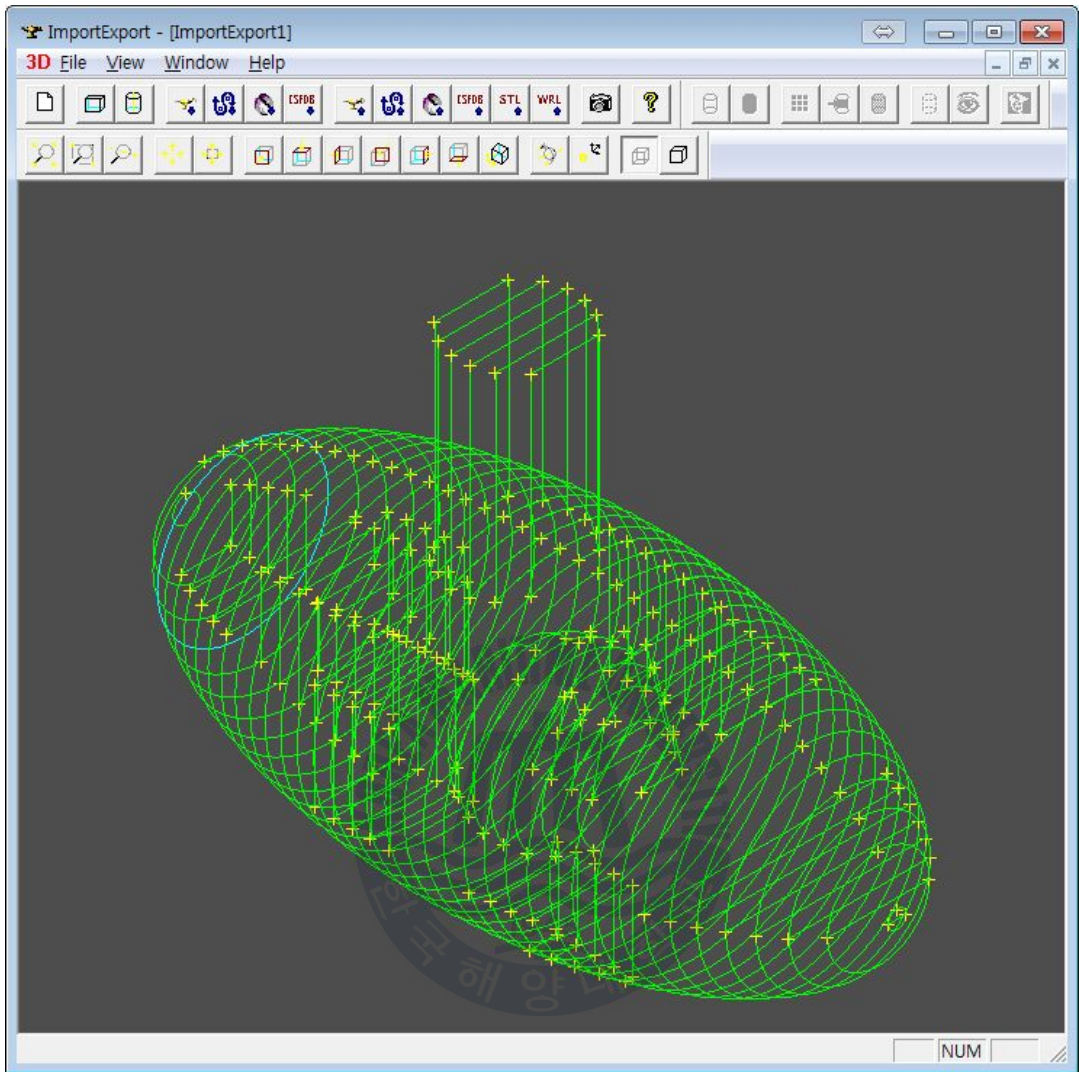


Fig. 3-7 절단된 복합형상구조물

3.4 절단된 단면 위의 선 분할

절단된 단면의 구획을 분류하기 위한 선과 선사이의 연결성을 확인하기 위해 Fig. 3-8의 선 A가 시작점과 끝점 이외의 곳에서는 다른 선들과 연결되지 않게 Fig. 3-9의 선 A-1, A-2, A-3으로 분할해야 한다.

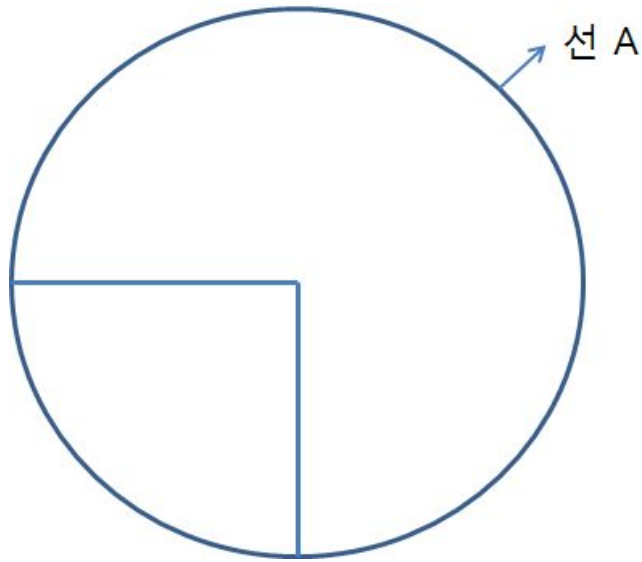


Fig. 3-8 선 A 분할 전

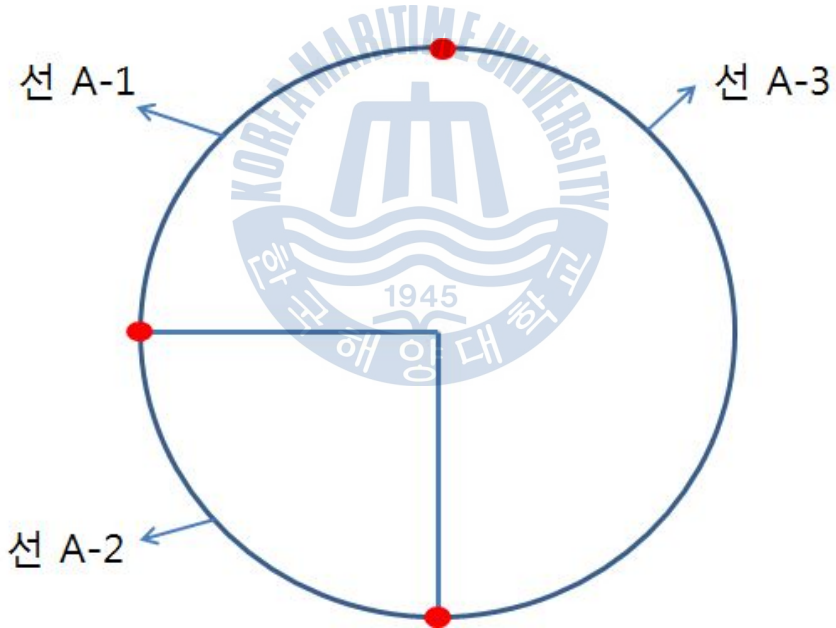


Fig. 3-9 선 A 분할 후

따라서 Fig. 3-10의 흐름도에 따라서 단면 위의 선을 분할한다.

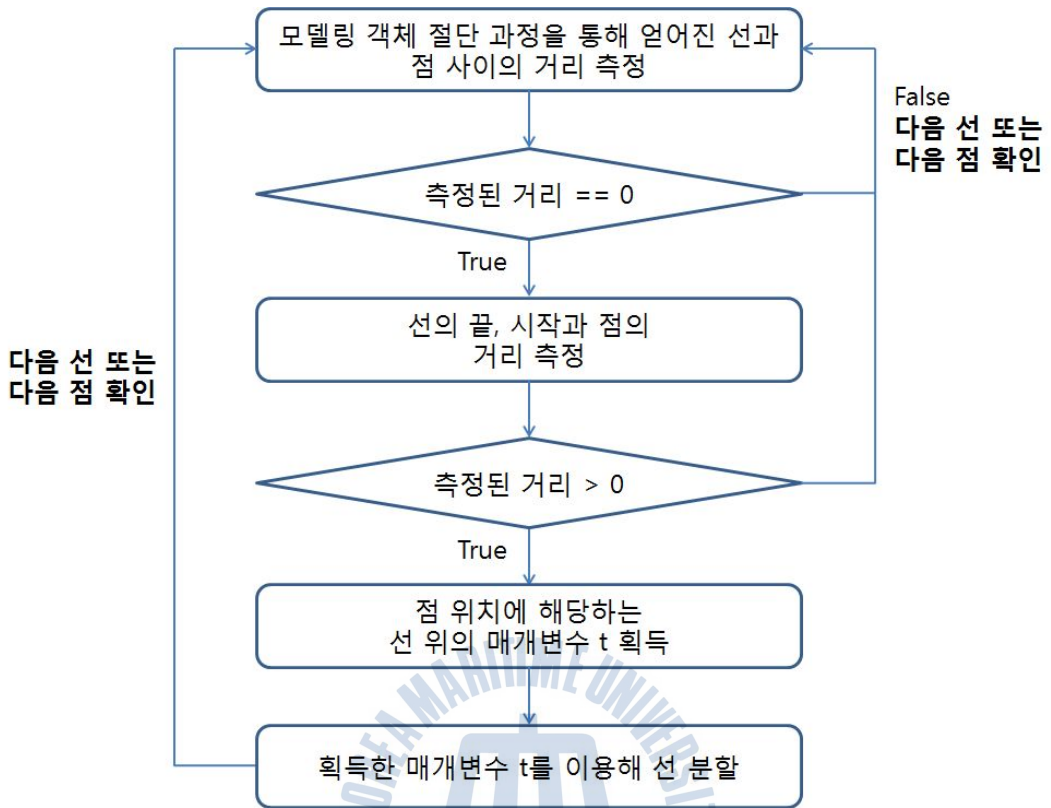


Fig. 3-10 절단된 단면 위의 선 분할 흐름도

모델링 객체 절단 과정을 통해 얻은 선과 점 사이의 거리는 BRepExtrema_DistShapeShape 클래스를 이용해 double 자료형으로 반환받는다. 측정된 거리가 0이라는 것은 점과 선이 붙어 있다는 것을 뜻하고, 공차를 0.001로 설정하였다. 2장 개발도구에서 언급한 것처럼 NURBS는 매개변수 방정식 형태의 기저함수로 구성되기 때문에 매개변수 t를 이용해 선을 분할 할 수 있다. GeomAPI_ProjectPointOnCurve 클래스의 LowerDistanceParameter 함수를 이용하여 점 위치에 해당하는 선 위의 매개변수 t를 획득한 후, Geom_TrimmedCurve 클래스를 이용해 분할하고자 하는 선과 매개변수 t를 입력하여 분할된 선을 반환받는다. 예를 들어 한 선의 매개변수 범위가 0 ~ 1일 때, 0.5를 입력하면 매개변수의 범위가 0 ~ 0.5, 0.5 ~ 1인 두 개의 선을 반환받는다.

3.5 겹치는 선 및 돌출된 선 제거

블러온 모델링 객체의 형상이나 그룹화 여부에 따라서 절단된 단면 위의 선 분할 후에 동일하거나 겹치는 선이 나타날 수 있다. 이것은 불필요한 계산이나 계산의 오류가 발생할 수 있다. 또한, Fig. 3-11과 같은 객체의 경우 선으로 둘러싸인 사각 영역을 검출해 내기 위해 선 A, B같이 돌출된 선은 불필요하므로 제거해야 한다.

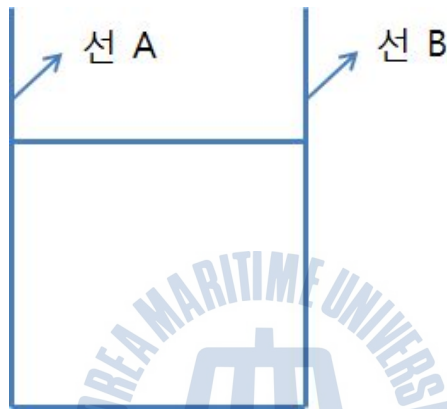


Fig. 3-11 돌출된 선

따라서 두 선의 시작점과 끝점이 동일한 위치에 있는지 확인하고, 만약 동일한 위치에 있다면 BRepGProp 클래스의 LinearProperties 함수를 이용해 선의 길이를 구해 길이가 동일하다면 겹치는 선이라 보고 두 선 중 하나를 삭제한다. BRepGProp 클래스는 LinearProperties, SurfaceProperties, VolumeProperties 함수가 존재하고 함수별로 선, 면, 솔리드에 대한 기하학적인 요소를 GProp_GProps 클래스에 반환해준다. 이때 GProp_GProps 클래스에 반환되는 기하학적 요소는 질량(선: 길이, 면: 면적, 솔리드: 체적), 질량 중심, 단면 모멘트, 관성 모멘트, 회전 반경이다.

이전 과정에서 절단된 면 위의 선을 분할하였기 때문에 선과 선의 연결은 항상 서로의 시작점과 끝점을 통해서만 연결되게 된다. 따라서 돌출된 선은 시작

점 또는 끝점 둘 중 하나라도 다른 선과 연결되지 않았다면 돌출된 선으로 간주하고 제거한다.

3.6 구획을 구성하는 선 그룹화

절단된 단면 위의 구획을 분류하기 위해 먼저 분할된 선들의 연결성을 확인해 그룹화한다. 그룹화 방법의 개요는 다음과 같다. Fig. 3-12와 같이 절단된 단면 위의 한 선에 점 U를 놓는다. 다음은 각 선을 이동 경로라고 생각하고 점 U를 이동시킨다. 이동 중에 점 U가 선과 선의 교차점에 왔을 경우는 그동안 이동해왔던 선을 기준선으로 놓고 만나는 선들과의 반시계방향 각도를 구하여 각도가 가장 큰 선 1개를 선택하여 이동시킨다. 만약 만나는 선이 1개일 경우에는 반시계방향 각도와 상관없이 그 선위로 점 U를 이동시킨다. 점 U가 원위치로 돌아오면 그 이동 경로를 한 객체로 인식하고, 선 1~9까지 순차적으로 진행하면 결과적으로 한 면을 구성하는 각 선의 그룹들(α : 1-2-3-10, β : 6-5-4-3-2-1-11, γ : 8-7-6, δ : 7-9-5)을 얻을 수 있다. 이 방법을 전산처리에 적용하기 위해 Fig. 3-13의 흐름도에 따라 진행하였다.

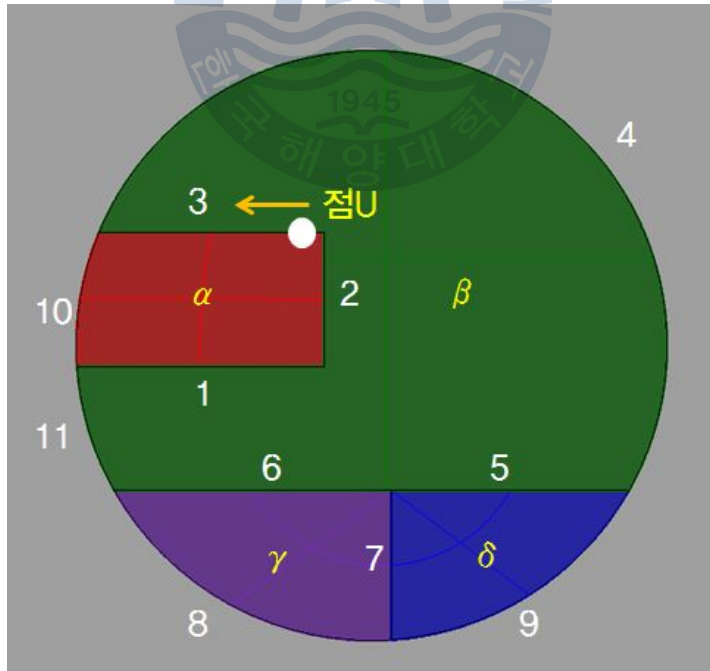


Fig. 3-12 점 U의 이동

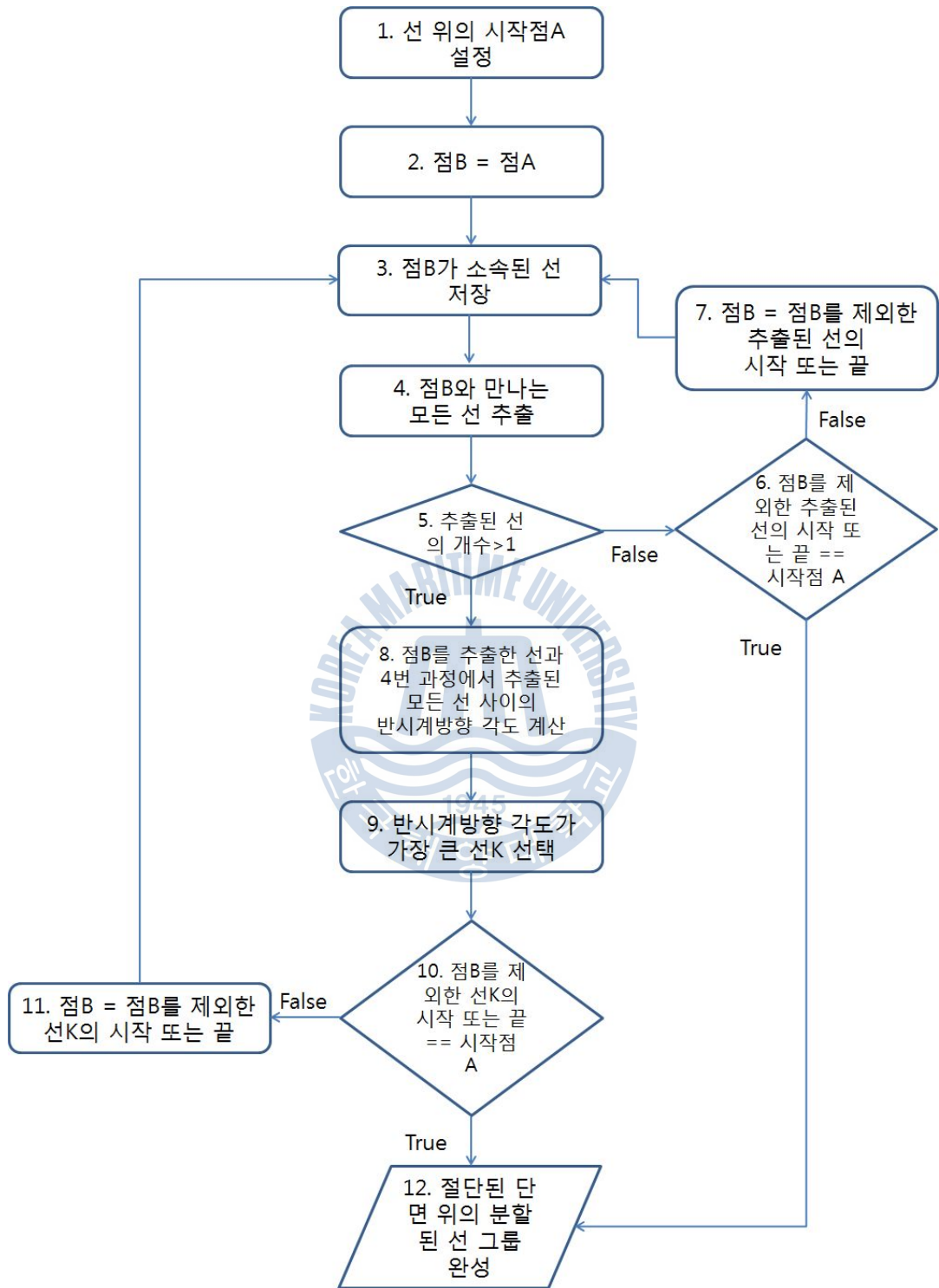


Fig. 3-13 구획을 구성하는 선 그룹화 알고리즘

흐름도에서 = 기호는 동일한 점을 새로 생성하는 것을 뜻하고, == 기호는 동일한지 확인하는 것을 뜻한다. 1번 과정은 임의의 기준선을 선택하여 그 선의 시작 또는 끝에 시작점 A를 설정한다. 3번 과정은 2, 7, 11과 같이 점 B가 새로 생성될 때마다 점 B가 속해있는 선을 메모리에 저장하게 되고, 알고리즘이 종료되었을 때 메모리에 저장된 선들이 구획을 구성하기 위한 그룹이 된다. 4번 과정인 점 B와 만나는 모든 선을 추출하는 방법은 기준선을 제외한 나머지 선의 시작 또는 끝의 거리가 0(공차 0.001)이면 만나는 선으로 간주하였다. 추출된 선이 1개인 것은 6번 과정으로 진행되고, 6번 과정에서 참(True)이면 점 B가 선 위를 이동하다가 시작점 A로 되돌아온 것을 뜻하고, 거짓(False)이면 교차하는 선이 1개이므로 8번 과정의 반시계방향 각도 계산 필요 없이 3번 과정으로 진행한다. 8번 과정의 반시계방향 각도 계산은 계산하고자 하는 두 선의 바로 이전 매개변수에 해당하는 점을 생성하고, 그 점과 점 B 사이의 벡터를 각각 생성하며, 생성된 두 벡터를 내적 하여 각도를 계산한다. 하지만 Fig. 3-14과 같은 경우 기준 벡터가 D일 때 구하고자 하는 각도는 반시계방향으로 진행하는 N 각도이지만 내적을 하면 항상 작은 값으로 계산되어 시계방향의 M 각도가 계산된다. 따라서 외적을 하여 z 항의 값이 0보다 크거나 같으면 반시계방향의 각도이므로 값을 그대로 사용하고, 0보다 작으면 시계방향의 각도이므로 360에서 값을 빼준다. 10번 단계의 거짓은 6번 단계와 동일하게 점 B가 시작점 A로 돌아오지 않은 것을 뜻하여 7번 단계로 진행하고, 참은 점 B가 시작점 A로 되돌아온 것을 뜻하여 선 그룹을 저장한다. 만약 1번 단계에서 시작점 A를 선의 매개변수가 가장 작은 시작에 설정했다면 선의 매개변수가 가장 큰 끝에 시작점 A를 다시 설정하여 알고리즘을 다시 시작한다. 그 이유는 Fig. 3-15의 왼쪽 그림처럼 시작점 A를 U 점에 설정하면 시작점이 단면 중심을 기준으로 반시계방향으로 이동하여 구획 분할에 오류가 없지만, 오른쪽 그림처럼 W 점에 설정하면 시계방향으로 이동하여 구획분할에 오류가 발생한다. 따라서 선의 시작과 끝에서 시작점 A를 모두 설정하여 오류가 발생한 선의 그룹까지 저장한 후 3.7절에서 오류가 발생한 그룹은 삭제한다. 이와 같은 절차를 각 선 모두 적용하면 모든 구획의 선 그룹을 획득할 수 있다.

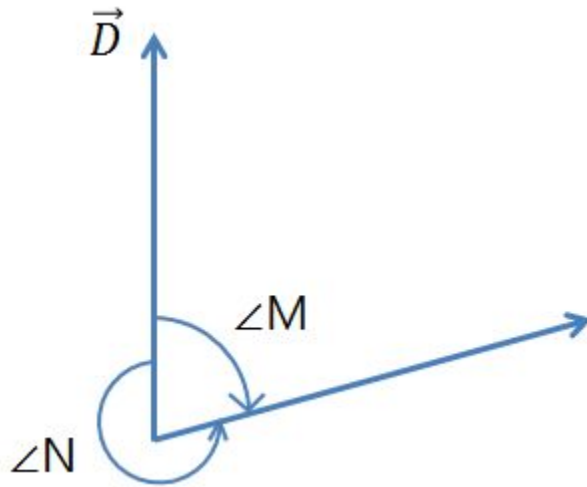


Fig. 3-14 두 벡터의 내적



Fig. 3-15 시작점의 진행방향에 따른 구획 분할 오류

3.7 구획을 구성하는 선 그룹의 반시계방향 확인

구획을 구성하는 선 그룹의 반시계방향으로 진행한 그룹인지 확인하기 위해 Fig. 3-16 왼쪽 그림의 도형은 단면 중심에서 선 그룹 진행방향 위의 점들을

외적을 통하여 진행방향이 반시계방향인지 확인할 수 있지만, 오른쪽 그림의 경우 단면중심이 단면 외부에 존재해 점 A와 B를 외적 할 경우 선 그룹 위를 움직이는 점들의 흐름은 반시계방향으로 진행하고 있지만, 시계방향으로 진행하는 것으로 잘못된 판단을 할 수 있다. 따라서 선 그룹 내에 존재하면서 반시계방향 확인 시에 오류가 없는 점을 구하기 위해 법선벡터를 이용한다. 법선벡터를 구하기 위해서는 구하고자 하는 선의 1차, 2차 도함수를 이용한다. 선의 1차, 2차 도함수는 TopoDS_Edge 클래스에 저장된 선을 Geom_Curve 클래스에 넘긴 후 D2 함수를 이용하면 반환받을 수 있다. 그림 3-17와 같이 1차, 2차 도함수의 외적을 통해 중법선벡터를 구한 후, 중법선벡터와 접선벡터를 다시 외적 하면 법선벡터를 얻을 수 있다.

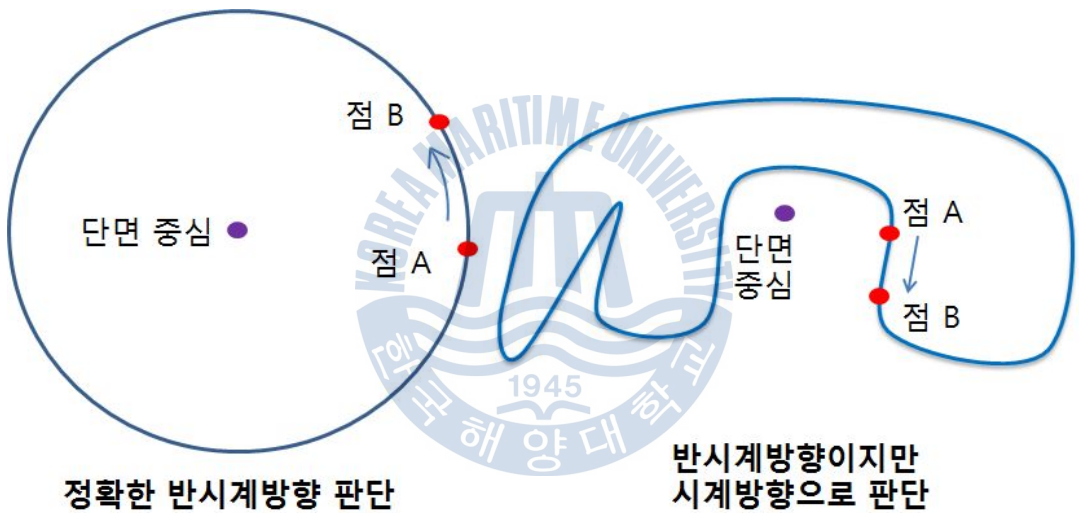


Fig. 3-16 반시계방향 판단 오류

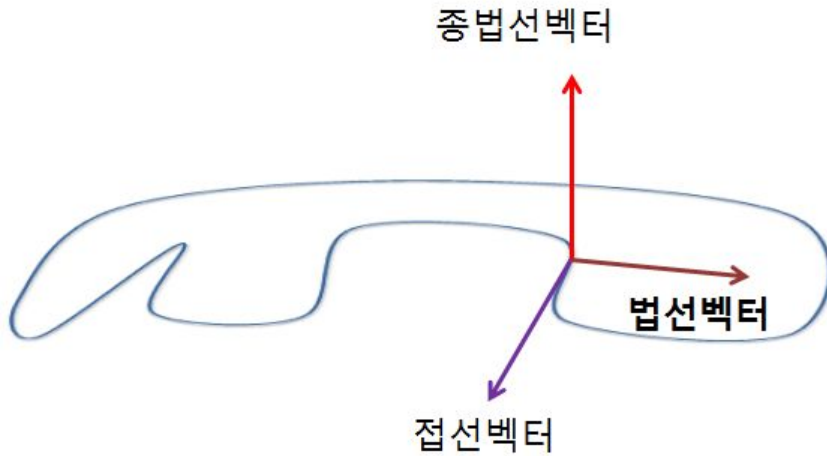


Fig. 3-17 반시계방향 판단을 위한 법선벡터

다음은 Fig. 3-18과 같이 법선벡터와 구획을 구성하는 선 그룹과의 모든 교차점을 찾고, 각 교차점 사이의 중간점 A, B, C, D를 찾는다. 중간점 A, B, C, D 중에 법선벡터가 생성된 기준점과 가장 가까우면서 구획 단면 위에 있는 점 D를 찾는다. 이 점D를 외적을 위한 기준점으로 하면 반시계방향으로 진행된 선 그룹인지 판단할 수 있다.

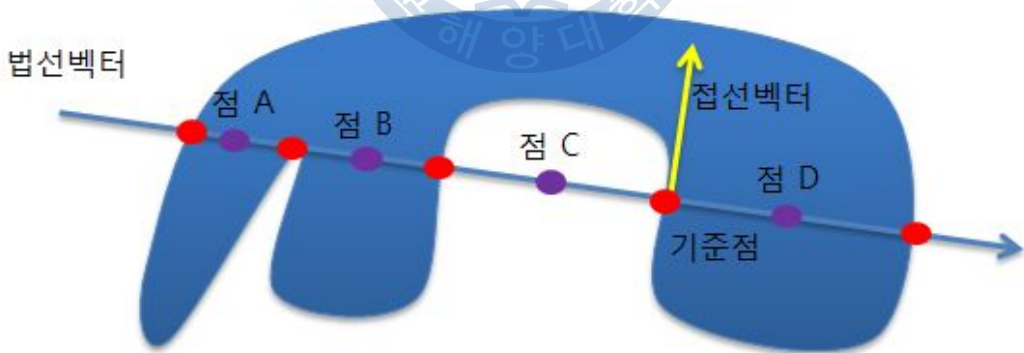


Fig. 3-18 선 그룹의 반시계방향 진행 판단

3.8 구획을 구성하는 선 그룹의 면 변환

Open CASCADE에서 선 그룹을 면으로 변환하기 위해서는 ShapeExtend_WireData 클래스를 이용해서 선 그룹을 하나의 와이어로 묶어주고, 이 와이어를 BRepBuilderAPI_MakeFace 클래스를 이용해 면으로 변환한다. 와이어를 생성하기 위한 선과 선의 연결점에서의 공차는 0.001로 하였다.

3.6절의 과정에서 만약 사각형의 선 그룹이 있다면 4개의 선을 한 번씩 그룹화 알고리즘을 적용하기 때문에 동일한 그룹이 4개가 생성되어 구획을 구성하는 면도 동일한 것 4개가 생성된다. 따라서 1개를 제외한 동일한 면을 제거하기 위해 BRepGProp 클래스의 SurfaceProperties 함수를 이용해 면적과 면적 중심이 같은 면은 제거한다.

위와 같은 모든 과정을 진행하여도 절단된 단면의 형상이 Fig. 3-19과 같이 A 구획의 선 그룹이 B 구획의 선 그룹과 연결되지 않고, 감싸는 경우 완벽한 구획 분할이 되지 않는다. 따라서 A와 B 구획 중 큰 구획에서 작은 구획이 겹치는 부분을 제거해야한다. 이를 위해 면의 u, v 매개변수가 중간인 점을 획득하고, 그 점과 거리가 0인 면을 찾아 두 면의 넓이를 비교해 넓이가 큰 면에서 작은 면을 제거한다. 만약 면이 원의 형태인 경우 매개변수 u, v 의 중간점이 아닌 면의 중심점을 사용할 수 있지만, Fig. 3-20과 같이 불규칙한 자유곡면인 경우 면의 중심은 면 외부에 위치할 수 있으므로 매개변수 u, v 의 중간점을 사용한다. 점과 면의 거리측정은 BRepExtrema_DistShapeShape 클래스를 이용하였고, 겹치는 면의 제거는 BRepAlgoAPI_Cut 클래스를 이용하였다.

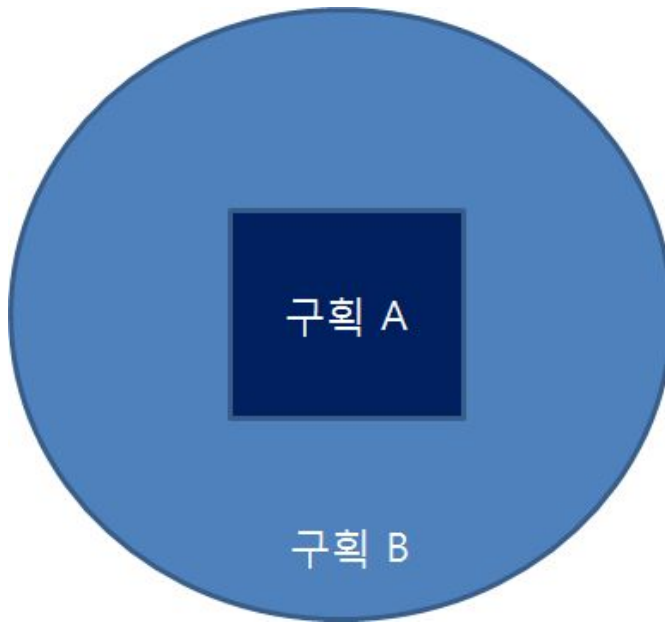


Fig. 3-19 선의 형상에 따른 구획단면 분할 오류

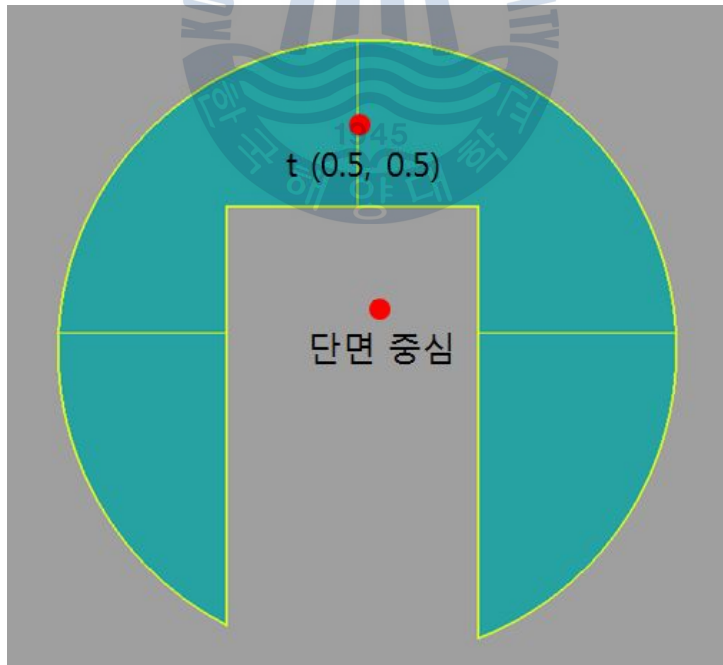


Fig. 3-20 자유곡면의 단면 중심과 매개변수 t가 (0.5, 0.5)인 점

3.9 구획을 구성하는 단면간의 연결성 확인

절단된 단면을 통해 얻은 구획 단면의 기하학적 요소들을 구분구적법의 방식으로 3차원 구획의 기하학적 요소로 합산하기 위해 각 구획 단면의 연결성을 확인해야 한다. 먼저 각 면의 매개변수 u, v 가 중간인 점을 획득한다. 다음은 Fig. 3-21과 같이 단면 K에서의 u, v 중간점 A와 단면 K+1에서의 u, v 중간점 B, C 사이에 선들을 생성했을 때 그 선이 임의의 면을 뚫고 지나가는 횟수가 0 또는 짝수이면 같은 구획의 면으로 인식하고, 뚫고 지나가는 횟수가 홀수이면 다른 구획의 면으로 인식한다.

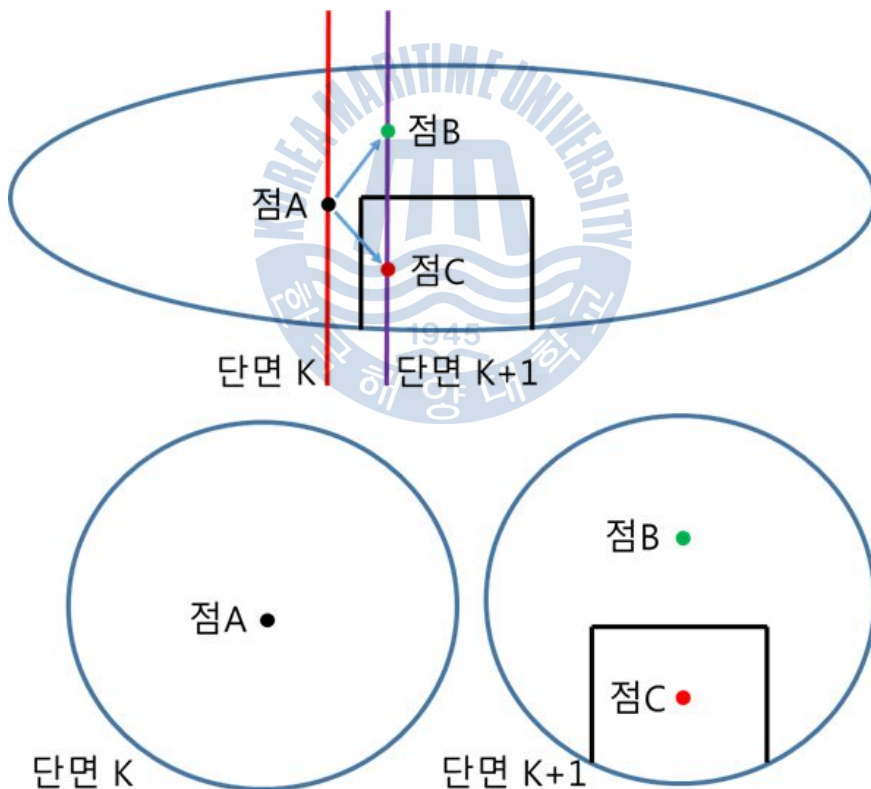


Fig. 3-21 단면 K와 K+1사이의 연결성 확인

이러한 과정을 Fig. 3-22과 같이 절단된 단면 전체에 걸쳐서 연결성을 확인하여 각 구획을 구성하는 구획 단면들을 메모리에 저장한다.

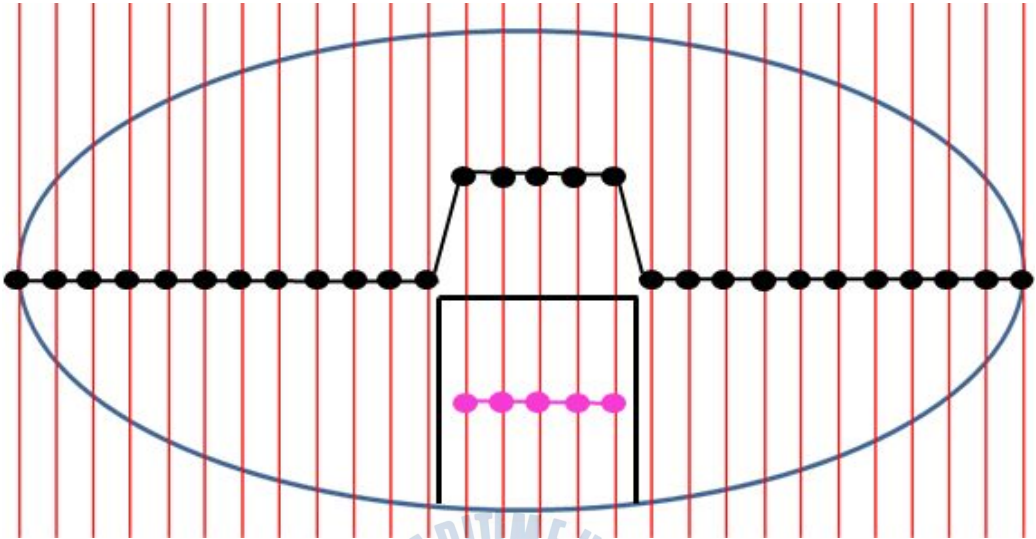


Fig. 3-22 모든 절단된 단면의 연결성 확인

3.10 구획의 기하학적 요소

구획의 기하학적 요소인 체적은 식 (1)을 이용하여 계산한다. 원리는 Fig. 3-23처럼 구획을 구성하는 각 단면의 넓이를 그래프로 표현하고, 그래프의 밑넓이를 구분구적법의 방식으로 합산하여 체적을 계산한다.

$$\sum_{k=0}^{n-1} (f(x_{k+1}) + f(x_k)) \times (x_{k+1} - x_k) \div 2 \quad (1)$$

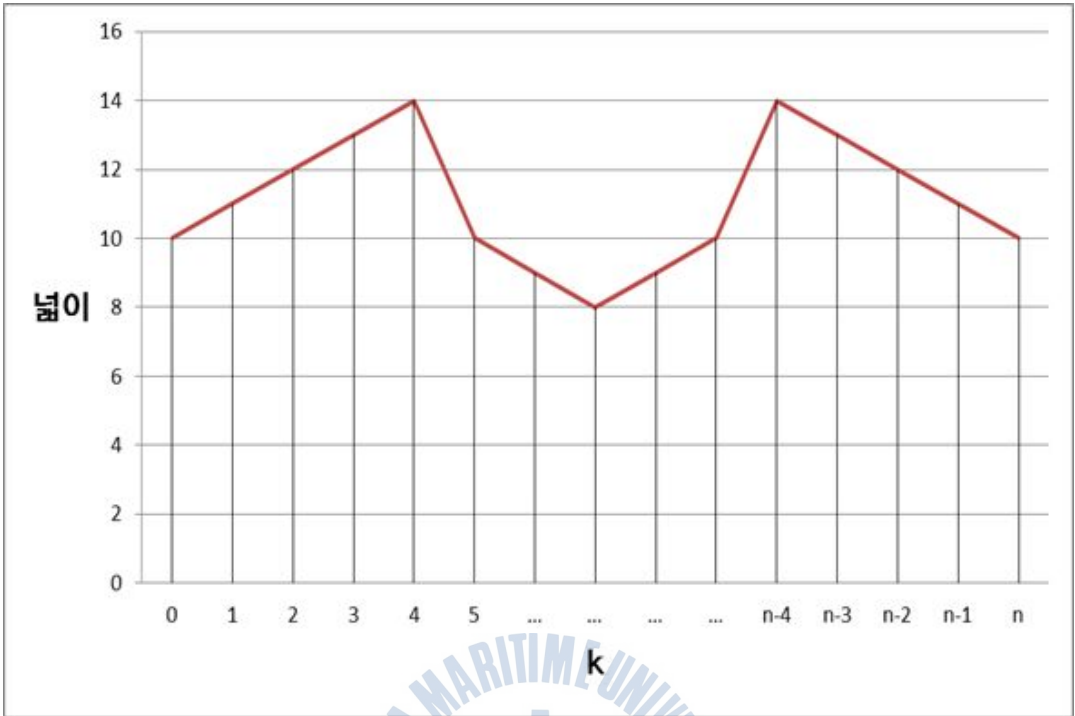


Fig. 3-23 구획을 구성하는 각 단면의 넓이 그래프

식 (2)는 관성 모멘트의 식이다. 회전축으로부터 미소질량까지의 거리 제곱을 미소질량에 관해 적분하면 구할 수 있다. 미소질량 dM 은 식 (3)과 같이 밀도 ρ , 미소면적 dA , 미소길이 dL 로 분해할 수 있고, 회전축으로부터 미소질량까지의 거리 제곱 r^2 은 x^2 와 y^2 로 분해 가능하다. 식 (4)의 x^2 와 y^2 의 미소면적 dA 에 관한 적분은 x, y 축에 관한 단면 2차 모멘트 I_x, I_y 이고 둘의 합은 단면 2차 극 모멘트이다. 결국, 식5와 같이 단면 2차 극 모멘트를 미소면적 dL 에 관해 적분하고 밀도 ρ 를 곱하면 관성 모멘트가 계산된다. 본 연구에서는 식 (5)를 구분구적법 형태로 변형해 식 (1)의 x 항에는 구획의 길이를 $f(x)$ 항은 구획을 구성하는 단면의 2차 모멘트 I_x, I_y 의 합으로 하여 구획의 관성 모멘트를 계산한다. 구획을 구성하는 단면의 2차 모멘트는 BRepGProp 클래스의 SurfaceProperties를 통해 얻을 수 있다.

$$\int r^2 dM \quad (2)$$

$$= \rho \times \iint r^2 dA dL \quad (3)$$

$$= \rho \times \int (\int x^2 dA + \int y^2 dA) dL \quad (4)$$

$$= \rho \times \int (I_x + I_y) dL \quad (5)$$

위와 유사한 방법으로 체적 1차 모멘트 또한 계산할 수 있다. 식 (6)은 x 에 관한 체적 1차 모멘트 식이고, 식 (7)과 (8)로 변형할 수 있다. 따라서 구분구적법의 방식으로 구획을 구성하는 단면의 1차 모멘트를 길이 방향으로 적분하여 구획의 체적 1차 모멘트를 계산한다.

$$\int x dV \quad (6)$$

$$= \iint x dA dL \quad (7)$$

$$= \int G_x dL \quad (8)$$



구획의 회전반경 r 는 앞에서 구한 관성 모멘트와 식 (9)을 통해 계산한다.

$$r = \sqrt{\frac{I}{M}} \quad (M: \text{질량}) \quad (9)$$

구획의 체적중심 \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} 는 식 (9)와 같이 체적 1차 모멘트를 체적으로 나누어 계산한다.

$$\bar{x} = G_x \div V, \quad \bar{y} = G_y \div V, \quad \bar{z} = G_z \div V \quad (10)$$

Table 2, 3, 4, 5, 6은 Fig. 3-24의 모델을 본 연구를 통해 얻은 각 구획의 체적, 관성 모멘트, 체적 1차 모멘트, 무게중심, 회전 반경 결과와 상용 캐드시스템인 과의 결과를 비교한 표이다. 표에서 보는 것과 같이 구분구적법의 형식을 이용하기 때문에 어느 정도 오차가 존재하지만, 절단되는 단면의 간격이 더 미소해지면 정확도가 향상하는 것을 확인할 수 있다. 3번째 객체의 경우 직육면체이기 때문에 오차 없이 상용 캐드시스템과 동일한 결과가 나오는 것을 확인할 수 있다.

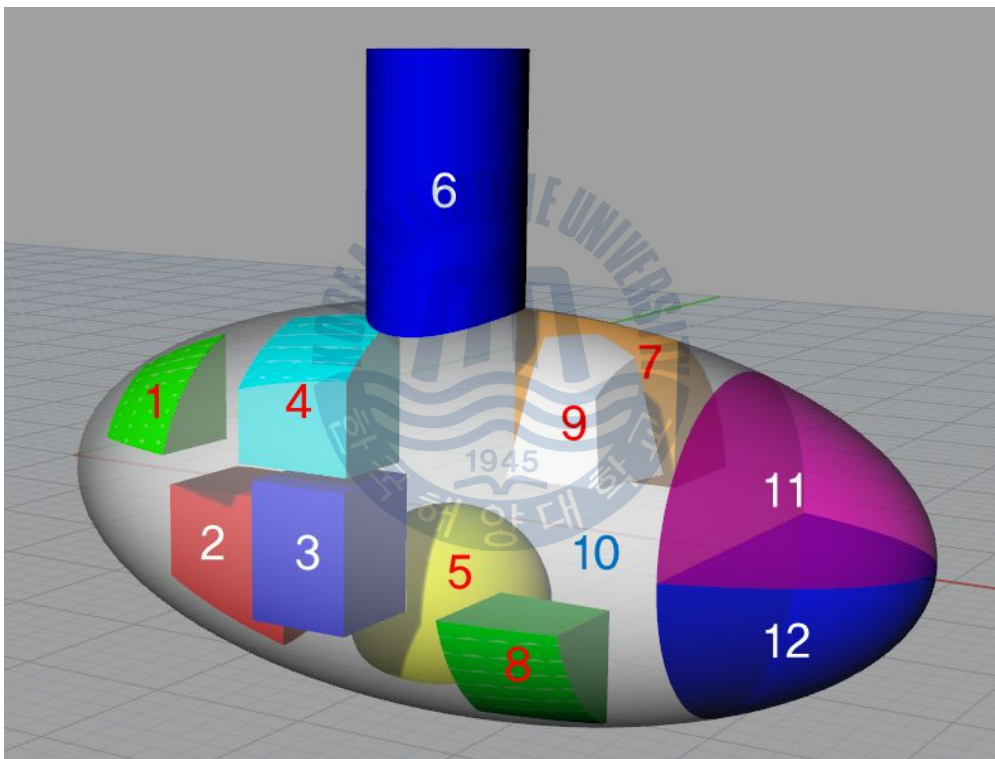


Fig. 3-24 기하학적 요소 결과 비교 모델

Table 2 체적 결과 비교

객체	상용CAD	절단 간격 = 1			절단 간격 = 0.1		
		체적	오차	오차율(%)	체적	오차	오차율(%)
1	35.75	37.54	1.79	5.01	35.74	0.01	0.02
2	142.82	141.71	1.11	0.78	142.72	0.10	0.07
3	111.05	111.05	0.00	0.00	111.05	0.00	0.00
4	91.82	91.91	0.09	0.10	91.79	0.02	0.02
5	208.03	205.71	2.32	1.11	205.78	2.25	1.08
6	311.39	308.62	2.77	0.89	308.58	2.81	0.90
7	166.08	166.02	0.06	0.04	166.00	0.08	0.05
8	63.04	62.76	0.28	0.44	63.02	0.02	0.03
9	65.43	54.31	11.13	17.01	64.31	1.13	1.72
10	4159.02	4075.75	83.27	2	4160.22	1.2	0.03
11	270.22	267.29	2.93	1.08	269.94	0.28	0.10
12	270.22	267.30	2.93	1.08	269.94	0.28	0.10

Table 3 X축의 체적 1차 모멘트(G_{xx}) 결과 비교

객체	상용CAD	절단 간격 = 1			절단 간격 = 0.1		
		1차 모멘트	오차	오차율 (%)	1차 모멘트	오차	오차율 (%)
1	293.49	299.19	5.70	1.94	293.99	0.50	0.17
2	1177.74	1182.06	4.33	0.37	1178.29	0.55	0.05
3	1786.28	1785.48	0.80	0.04	1786.34	0.06	0.00
4	1446.75	1454.29	7.54	0.52	1446.58	0.18	0.01
5	3462.36	3432.38	29.98	0.87	3425.26	37.11	1.07
6	6052.25	5991.54	60.71	1.00	5996.85	55.40	0.92
7	4008.42	3997.30	11.12	0.28	4005.84	2.58	0.06
8	1619.36	1611.95	7.42	0.46	1618.49	0.87	0.05
9	1740.34	1443.76	296.58	17.04	1710.37	29.97	1.72
10	77117.97	76740.12	377.85	0.49	77289.47	171.5	0.22
11	9237.21	9064.64	172.57	1.87	9219.43	17.78	0.19
12	9237.21	9064.48	172.74	1.87	9219.00	18.22	0.20

Table 4 X축의 관성 모멘트(I_{xx}) 결과 비교

객체	상용CAD	절단 간격 = 1			절단 간격 = 0.1		
		2차 모멘트	오차	오차율 (%)	2차 모멘트	오차	오차율 (%)
1	63.74	60.52	3.22	5.05	61.44	2.30	3.62
2	604.28	585.49	18.80	3.11	588.22	16.06	2.66
3	483.25	483.25	0.00	0.00	483.25	0.00	0.00
4	298.35	297.32	1.03	0.35	297.58	0.78	0.26
5	1058.30	976.63	81.67	7.72	1026.91	31.39	2.97
6	3412.60	3319.65	92.95	2.72	3376.42	36.17	1.06
7	736.66	733.54	3.12	0.42	733.39	3.27	0.44
8	162.79	160.98	1.81	1.11	162.00	0.79	0.49
9	183.38	145.88	37.51	20.45	173.11	10.28	5.60
10	114380.68	110715.38	3665.30	3.20	113264.25	1116.43	0.98
11	2669.58	2715.65	46.06	1.73	2630.96	38.63	1.45
12	2669.58	2715.75	46.16	1.73	2630.71	38.87	1.46

Table 5 X축의 회전반경(r_x) 결과 비교

객체	상용CAD	절단 간격 = 1			절단 간격 = 0.1		
		회전반경	오차	오차율 (%)	회전반경	오차	오차율 (%)
1	1.3352	1.3005	0.0348	2.60	1.3110	0.0242	1.81
2	2.0570	2.0327	0.0243	1.18	2.0301	0.0268	1.31
3	2.0861	2.0861	0.0000	0.00	2.0861	0.0000	0.00
4	1.8026	1.7986	0.0040	0.22	1.8005	0.0021	0.12
5	2.2555	2.1789	0.0766	3.40	2.2339	0.0216	0.96
6	3.3105	3.2797	0.0308	0.93	3.3078	0.0026	0.08
7	2.1061	2.1020	0.0041	0.19	2.1019	0.0042	0.20
8	1.6070	1.6016	0.0054	0.33	1.6033	0.0036	0.23
9	1.6741	1.6390	0.0351	2.10	1.6407	0.0334	2.00
10	5.2442	5.2120	0.0323	0.62	5.2178	0.0264	0.50
11	3.1431	3.1874	0.0443	1.41	3.1219	0.0212	0.67
12	3.1431	3.1875	0.0444	1.41	3.1218	0.0213	0.68

Table 6 X축의 체적중심(\bar{x}) 결과 비교

객체	상용CAD	절단 간격 = 1			절단 간격 = 0.1		
		회전반경	오차	오차율 (%)	회전반경	오차	오차율 (%)
1	8.2090	8.3607	0.1517	1.85	8.2246	0.0156	0.19
2	8.2465	8.3417	0.0952	1.15	8.2559	0.0094	0.11
3	16.0859	16.0787	0.0072	0.04	16.0865	0.0005	0.00
4	15.7569	15.8230	0.0661	0.42	15.7588	0.0019	0.01
5	16.6437	16.6854	0.0417	0.25	16.6455	0.0017	0.01
6	19.4361	19.4141	0.0220	0.11	19.4336	0.0025	0.01
7	24.1361	24.0778	0.0583	0.24	24.1320	0.0042	0.02
8	25.6887	25.6853	0.0034	0.01	25.6838	0.0049	0.02
9	26.5969	26.5854	0.0115	0.04	26.5968	0.0000	0.00
10	18.5423	18.8285	0.2861	1.54	18.5782	0.0359	0.19
11	34.1835	33.9122	0.2713	0.79	34.1534	0.0301	0.09
12	34.1835	33.9120	0.2715	0.79	34.1517	0.0318	0.09

제 4 장 결 론

잠수체나 부유체와 같은 복합형상구조물의 수중 안정성 확인을 위해 각 구획별 기하학적 요소의 계산은 필수이다. 하지만 현재 모든 상용 캐드시스템은 자동화된 구획별 기하학적 요소 계산 기능이 존재하지 않음에 따라 수작업을 통한 면 기반 모델의 솔리드 모델 변환과 같은 차후작업이 필요하다. 이러한 차후작업은 모델의 복잡도가 증가할수록 많은 시간을 소요하기 때문에 Open CASCADE 그래픽 라이브러리와 NURBS의 특징을 이용해 복합형상구조물의 구획 분류 및 기하학적 요소를 정의하는 자동화된 프로그램을 완성하였다. 구분구적법이 근사법임에 따라 기하학적 요소 결과가 완벽하지는 않지만 자르는 단면의 간격을 미소하게 할수록 정확도가 높아지는 것을 확인하였다. Open CASCADE가 상용 캐드시스템 개발을 위해 많이 사용되고 있기는 하지만 오픈소스임에 따라 오류가 존재하였다. 특히 객체 간의 교차를 구하는 연산은 많은 오류가 존재하였으며, 입력되는 모델의 복잡도가 높을수록 오류가 증가하였다. 만약 상용 그래픽 라이브러리인 Parasolid나 ACIS와 같은 고가의 라이브러리를 사용한다면 시스템의 완성도나 결과의 정확도가 증가할 것으로 기대된다. 향후 과제로 구분구적법에 따른 체적 계산이 아닌 각 구획을 구성하는 면을 각각 분류하고, 분류된 면을 솔리드로 변환하여 그래픽 라이브러리에 있는 기하학적 요소 계산 함수를 사용한다면, 상용 캐드시스템과 유사한 결과 정확도를 얻을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 박인하 & 남중호, 2013. 곡면모델링된 복합형상구조물의 수밀구획 체적 정의, 한국해양과학기술협의회 공동학술대회.
- 강태선, 2011. 복합 기하 모델의 체적 산정을 위한 기하학적 해석기법 개발. 석사학위 논문. 부산: 한국해양대학교.
- Reed, K., Harrvd, D. & Conroy, W., 1990. Initial Graphics Exchanges Specification (IGES) version 5.0, CAD-CAM Data Exchange Technical Centre.
- OCCT, 2013. Open CASCADE Technology documentation. Available at: <http://www.opencascade.org/>.
- Open CASCADE 소개, 2010. Available at: <http://honestengineer.tistory.com/24>.
- Piegl, L. & Tiller, W., 1997. The NURBS book, 2nd ed. New York: Springer.
- ACIS Documentation, 2013. Spatial Corporation. <http://www.spatial.com/>.
- Parasolid Documentation, 2013. Siemens Corporation. <http://www.siemens.com/>.