

1. 서론

선박 구조설계에 있어 CAD (Computer-Aided Design) 시스템과 CAE (Computer-Aided Engineering) 시스템은 필수 불가결한 요소가 되었다. CAD 시스템은 선박 건조를 빠르고 정확하게, 또한 효율적으로 수행하기 위해 생산설계 기반의 조선전용 CAD 시스템이 사용되고 있으나, 선박 체적에 비해 얇은 판들로 구성된 선체 구조의 특성상 솔리드보다는 와이어 프레임으로 구조모형을 표현하기 때문에 모델링 관점에서는 진정한 3D 모델링이 아닌 2.5D 모델링이 사용되고 있으며, 그 적용 단계 또한, 상세설계 내지는 생산설계 단계에 특화되어 있다 (Son et al., 2014).

구조설계에서의 CAE는 유한요소(FE; Finite Element) 모델을 이용한 정적구조해석 및 선급규칙기반 부재치수 산정(Rule Scantling) 등이 기본구조설계 단계에서 이루어지며, 3D 모델과 2D 모델이 각각 사용된다. 즉, Rule Scantling과 구조기본설계는 2D 모델 기반으로 진행되고, FE 모델은 3D 기반으로 진행된다. 즉, 동일한 선박의 설계과정에서도 설계단계별로 다양한 소프트웨어에서 다양한 형태의 모델이 각각 생성되어야 한다 (Son et al., 2016(1)).

최근 기존 조선 CAD와 같은 블록 단위 모델링이 아닌, 전선 기반의 모델을 3D 환경에서 빠르게 모델링 할 수 있는 기본구조설계 3D CAD가 개발되었다. 대표적으로 NAPA사의 NAPA Designer/Steel, Intergraph사의 S3D, 타임텍사의 TTM ISD (Park, 2013)가 있다. 기본구조설계 단계에서 3D CAD 모델을 활용할 수 있게 되면서 구조도면 자동화, 중량 추정, 물량 산출, FE 모델 생성 시수 절감 등의 이점으로 기본구조설계에 빠르게 3D 모델링이 도입되고 있다. 이러한 추세에 더하여, 기본구조설계 단계에서 생성된 모델이 조선소에서 사용중인 조선전용 상세설계, 생산설계 CAD에서 재사용될 수 있고, 선급 구조평가 소프트웨어 및 상용 구조해석 소프트웨어와 모델 호환이 된다면, 설계단계에서 일관화된 3D 모델의 활용이 가능하다. 본 논문에서는 이러한 취지로 산업통상자원부 국가연구개발과제로 개발되고 있는 "한국형 조선CAD" 시스템에서 일관된 3D모델을 활용한 CAE 인터페이스에 대해 소개하고자 한다.

2. 3D모델기반의 선박설계지원 일관시스템 개요

앞의 원고와 같이, 3D모델기반의 선박설계지원 일관시스템은 총 4개의 단위 CAD시스템으로 구성된다. 기본구조 CAD, 선체생산 CAD, 기본의장 CAD, 의장생산 CAD이며, 크게 적용 분야에 따라 선체와 의장으로 구분되고, 설계단계에 따라 기본, 생산으로 구분된다. 설계의 흐름에 따라 기본설계단계에서부터 3D 모델을 생성하여 생산설계까지 단위 CAD 시스템이 변경되더라도 재사용이 가능한 것이 핵심개념이다. 본 원고에서는 선체분야의 기본설계단계에서 사용하는 기본구조 CAD를 주요 대상으로 설명한다.

기본구조 CAD는 선형설계 단계에서 생성된 기본계산 평가 소프트웨어인 NAPA로부터 생성된 3D 선형 곡면 또는 본 과제 참여기과인 서울대학교에서 개발한 오프셋테이블 기반의 선형생성기의 곡면을 입력받아 전선모델링을 3D 모델링 환경에서 빠르게 수행하고 그 모델을 선체생산 CAD에서 받아들여 블록단위로 분할하고, 더욱 정교하게 모델링을 완성하여 네스팅, 곡면전개 등에까지 활용될 수 있도록 개발되었다.

상세설계 및 생산설계에서 모델의 재활용뿐만 아니라, 기본구조설계 단계에서 생성된 3D모델은 CAD 시스템 내에서 중량 추정, 물량 산출, 자동 구조도면 생성 등에 사용된다. 또한 3D모델은 기본구조설계의 주요 업무인 Rule Scantling 및 구조해석에 3D 모델이 활용될 수 있다. 이를 위해서는 CAD/CAE 인터페이스 개발이 필요하다. 이러한 인터페이스는 3D모델을 특정 포맷을 이용하여 이종 소프트웨어 간에 모델을 재사용하는 방법과, 목적에 맞는 모델 정보만을 추출, 가공하여 특정 형식으로 상호교환하는 방법이 있다. 본 원고에서는 두가지 방법 모두를 활용한 사례를 소개한다.

그림 1에서는 앞서 설명한 3D모델기반의 선박설계지원 일관시스템의 개요를 설명하고 있다. 다음 장에서는 그림 1의 하단에 나와 있는 3D CAD 모델을 이용한 CAE 인터페이스에 대해 설명한다.

3. 3D CAD 모델을 활용한 CAE 인터페이스

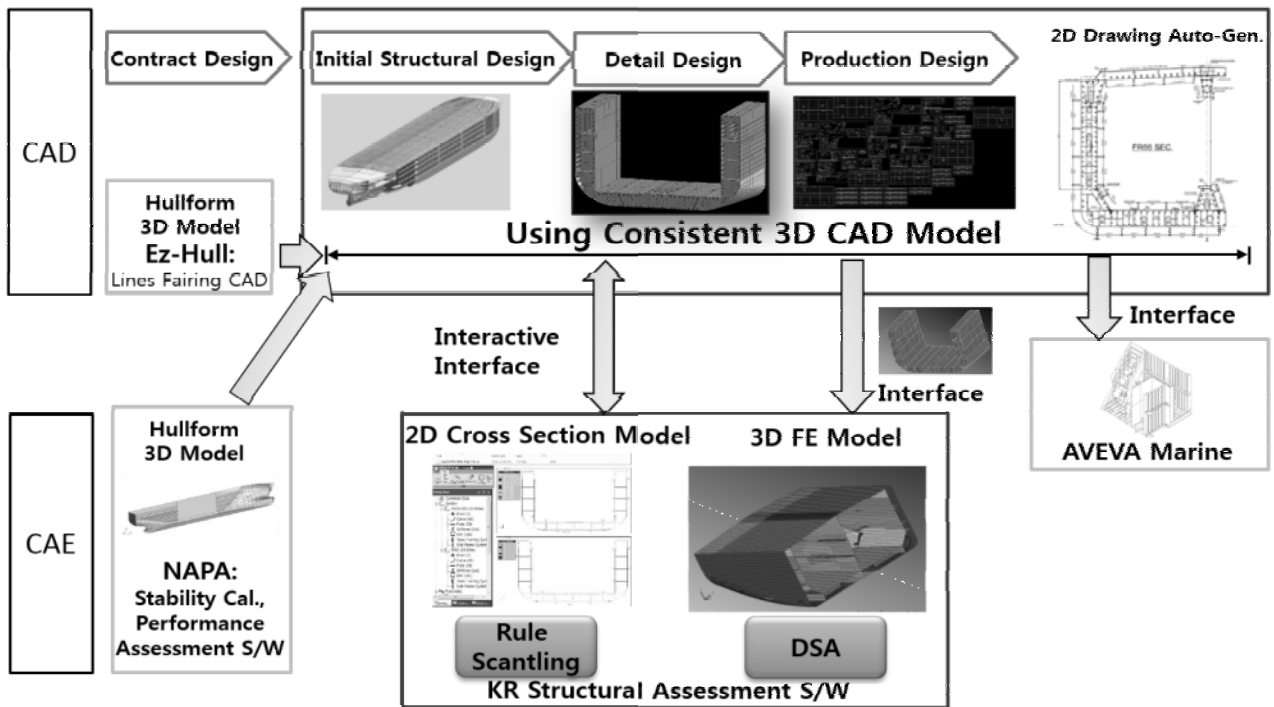


그림 1 3D모델기반 선박설계지원 일관시스템의 개요

선급의 규칙에 근거하여 부재치수를 산정하고 평가하는 Rule Scantling 소프트웨어는 각 선급에서 개발하여 제공하고 있다. 또한, 직접구조강도를 평가하는 DSA 전용 소프트웨어도 별도로 각 선급에서 개발하여 제공한다. 본 원고에서는 한국선급에서 개발한 SeaTrust-HullScan과 앞장에서 설명한 기본구조 CAD와의 인터페이스 개발을 설명한다.

SeaTrust-HullScan은 산적화물선 및 유조선 공통구조규칙 (CSR-BC & OT; Common Structural Rule for Bulk Carrier and Oil Tanker) (IACS, 2015)과 KR 규칙 기반으로 선박 구조를 평가할 수 있는 소프트웨어로 2014년 출시되어, 국내 조선소 기본구조설계 부서에서 사용되고 있다. 크게 Rule Scantling 모드와 DSA 모드로 구성되어 있다. Rule Scantling 모델을 생성할 수 있는 2D Section 모델링 기능과 횡부재 모델 생성이 가능한 PSM (Primary Support Member) 모델링 기능이 있고, 2D Section을 이용한 3D 구획 모델링이 가능하다. DSA 모드는 3D 모델링 환경에서 FE 모델을 생성하고, 외부에서 생성된 FE 모델을 읽을 수 있으며, FE 모델 수정, 속성, 그룹 생성, FE 자동생성 기능과 항복강도, 좌굴, 피로 평가 등이 가능하다 (Park, 2015).

기본구조 CAD에서 생성된 3D 모델과 Rule Scantling 모드의 인터페이스는 한국선급과 타임텍에서 공동 개발한 포맷 (SSI: SeaTrust-HullScan Ship CAD Interoperable File)을 활

용하여 HullScan의 자료구조에 맞게 2D Section 모델을 주고 받는다.

인터페이스용 자료구조는 크게 Section 모델 자료구조, 판 모델 자료구조, 보강재 모델 자료구조, 일반정보 자료구조, Frame Space, Web Space, 격벽 위치 인터페이스 자료구조로 세분된다.

섹션모델 자료구조는 선체횡단면 모델 위치, 양현대칭여부, 이름과 판 모델들의 집합으로 구성된다.

판 모델 자료구조는 모델정보 및 곡선 기하 정보, 판 속성 정보로 구성되며 세부적으로는 아래와 같다.

- * ID
- * TTM ISD part ID
- * TTM ISD panel 이름
- * 2D Curve 타입
- * 섹션 멤버 타입
- * 2D Curve 시작점, 끝점, 중간점 (Arc, Circle)
- * 곡률 (Arc, Circle)
- * 컨트롤 포인트 (B-Spline)
- * 양 끝점 Tangent 벡터
- * 판 두께
- * 판 Material Key

보강재 모델 자료구조는 모델정보 및 판, 보강재 위치 및 속성으로 구성되며 세부적으로는 아래와 같다.

- * TTM ISD part ID
- * TTM ISD panel 이름
- * 판 ID
- * Stiff. 타입
- * Stiff. 위치
- * Curve 파라미터(길이기준)
- * Web 길이, Web 두께
- * Flange 길이, Flange 두께, Flange 오프셋
- * Web 방향, Flange 방향
- * Stiff. 부착 방향
- * 보강재 Material Key

General Info. 자료구조는 선박명, 조선소, Hull No., 작성자, 운항환경, 선박주요제원 (LBP, LSC, Breadth, Depth, LBP, Max. Speed, Dead Weight, Bilge keel 여부), Hatch Coaming 정보, Freeboard 정보로 구성되어 있다.

기본구조 CAD에서 사용자가 지정한 위치의 선체횡단면 모델을 SSI 파일로 생성할 수 있다. 이 파일은 HullScan의 Section 모드에서 Import를 하면 Rule Scantling 평가를 위한 Section 모델이 자동 생성된다. 평가 결과 부재 치수, 재질, 부재 타입 등의 변경이 필요할 때는 Section 모드의 모델링 수정 기능을 이용하여 간단히 수정하고 평가를 진행할 수 있다. 평가가 만족된 모델은 Section 모드에서 SSI 파일로 Export할 수 있다. CAD 모델 ID가 SSI 파일의 자료구조에 포함되어 있기 때문에, SSI 파일을 기본구조 CAD에서 읽으면 변경모델과 그 상세내역을 확인할 수 있다 (그림 2) (Son et al., 2016(1)).

이렇게 변경된 3D 모델로부터 다시 다양한 위치의 선체횡단면을 생성하여 Rule Scantling을 반복적으로 수행할 수 있기 때문에, 최적설계를 위한 Rule Scantling 작업이 한결 효율적으로 진행될 수 있다.

HullScan의 DSA 모드 인터페이스는 타임텍에서 제공하는 3D 모델 포맷 (THS)을 사용하여 3D모델 자체를 재사용할 수 있도록 개발되었다.

3D 모델의 기하정보 표현을 위한 자료구조로는 Vector 3D (3차원 좌표(x, y, z)에 대한 자료구조 및 파일 입출력 구조체), Segment 2D (2차원 좌표(x, y)와 3 points arc에서의 amplitude값에 대한 자료구조 및 파일 입출력 구조체), Segment 3D (3차원 좌표(x, y, z)와 3차원 벡터(x, y, z)로 구성된 단위모델의 자료구조 및 파일 입출력 구조체), Transform(모델의 좌표변환을 위한 행렬 (4 x 4) 구조체),

Curve 2D (Segment 2D를 동적 array (vector)로 가지고 있는 2D Curve 기본단위 구조체), Curve 3D (Segment 3D를 동적 array (vector)로 가지고 있는 3D Curve 기본단위 구조체)가 있다.

기본구조 CAD의 Stiffener 모델 정의를 위한 기본 자료 구조체인 Profile 구조체는 다음과 같은 정보를 정의할 수 있다.

- Serialize를 통한 파일 입출력 정의
- Profile 타입
- Web 길이, 두께
- Flange 길이, 두께
- Bulb Bar Radius 1, Radius 2
- Shell Stiffener의 양끝점의 twist 각도
- Web의 방향 (Vector 3D 형식), 즉 Stiffener의 normal
- Flange의 방향 (Vector 3D 형식)
- Stiffener의 길이방향 trace line: route path (3D Curve 형식)

판 자료 구조는 평판과 곡판으로 나누어 정의된다. 평판은 Planar Plate 구조체에 아래와 같은 정보를 포함하고 있다.

- Serialize를 통한 파일 입출력 정의
- 판 두께
- 2D Curve로 정의되는 판 경계 Curve
- Vector 3D로 정의되는 평판의 normal
- Vector 3D로 정의되는 평판의 u-v 방향
- 2D Curve의 동적 배열로 저장되는 Opening 형상

곡판은 Curved Plate 구조체에 아래의 정보로 구성되어 있다.

- Serialize를 통한 파일 입출력 정의
- 판 두께
- 3D Curve로 정의되는 판 경계 Curve
- Vector 3D로 정의되는 곡판 상의 점군

3D 모델은 최상위 HullShape Data 아래에 여러 개의 Object로 구성되고 Object는 여러 개의 Part로 구성되며, Part는 여러 개의 Element로 구성된다. Element에는 Profile, Plate, Curved Plate 등이 정의될 수 있다.

HullScan에서는 이러한 자료 구조에 따라, Object, Part, Element 순으로 이어지는 Hierarchy 및 Group을 생성하고, Element에서는 Plate, Stiffener에 대한 인터페이스 단위 함수 개발하였으며, 요소 자료구조에 대한 각각의 인터페이스 함수 개발하였다. 판은 판 경계 Curve를 이용하여 Surface로 생성하면서, 판 속성(두께, 재질)을 포함할 수 있도록 자료 구조를

구성하였다. 보강재는 Curve를 통해 Stiffener의 몰드라인 위치 및 Traceline을 정의하고 빔 요소를 이용하여 Stiffener의 속성정보를 저장하였다. CAD 모델의 부재이름과 Block 이름을 이용하여 각각의 Group을 생성할 수 있도록 하며, SSI 파일의 Frame Space 인터페이스와 동일하게 Frame Space를 CAD로부터 읽어올 수 있게 하였다. 개발된 3D 모델 CAD/CAE 인터페이스는 그림 3과 같이 기하모델을 1차 생성 후, HullScan의 각종 기능을 이용하여 FE 모델을 생성하는 프로세스로 이뤄진다.

3D모델은 목적에 따라 Opening 정보를 가감할 수 있으며, Surface, Curve 자체를 HullScan의 DSA 기하 모델링 기능을 이용하여 수정할 수 있다. 또한 DSA의 고급모델링의 CAD Cleaning 기능과 자동 FE 모델링 기능(그림 4)을 활용하면 손쉽게 구조해석을 위한 FE 모델을 생성할 수 있다. 보강재 및 인접부재 제약조건을 만족시키는 곡면을 이용한 메쉬 생성, 곡면 분할/병합, 노드 기반의 메쉬/빔 요소 수정 기능 등이 있으며, 각 기능의 상세한 내용은 관련연구에서 찾아볼 수 있다 (Son et al, 2016(2)).

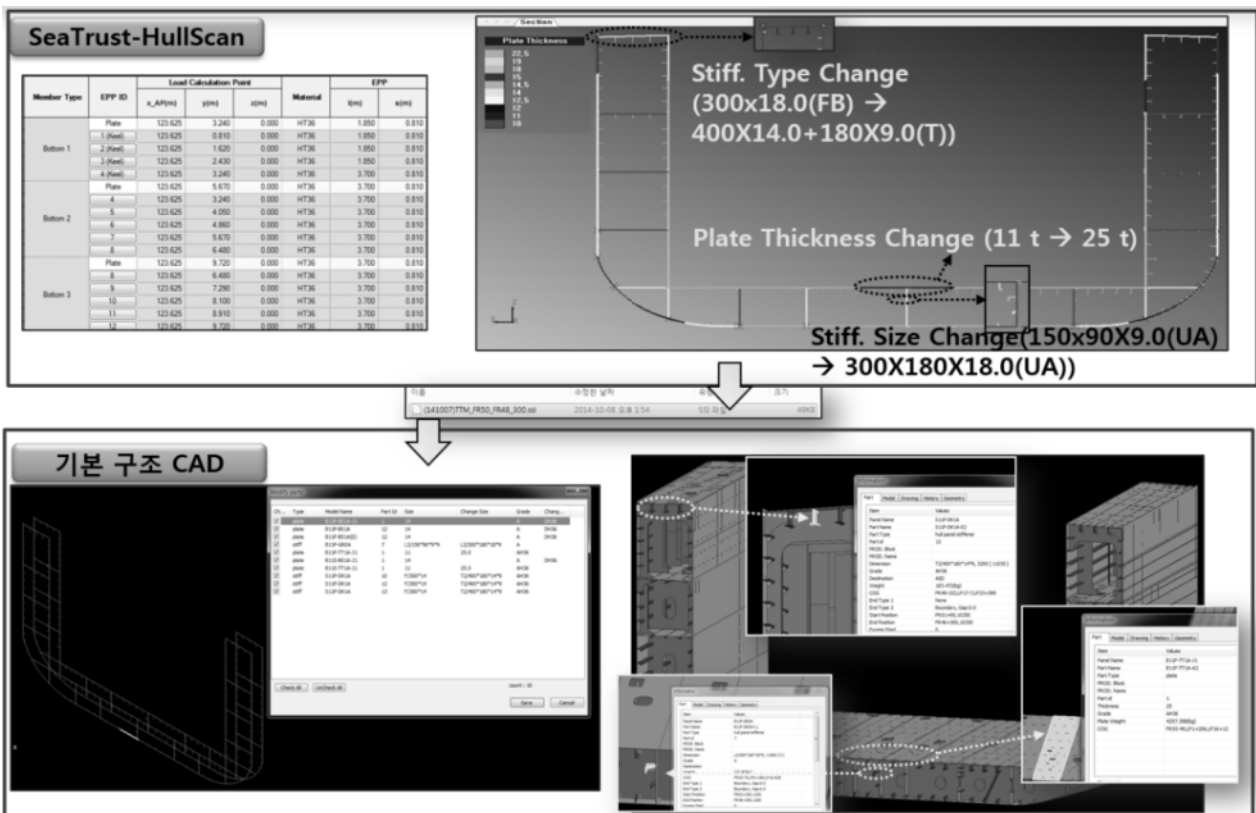


그림 2 Rule Scantling을 위한 CAD/CAE 2D 양방향 인터페이스

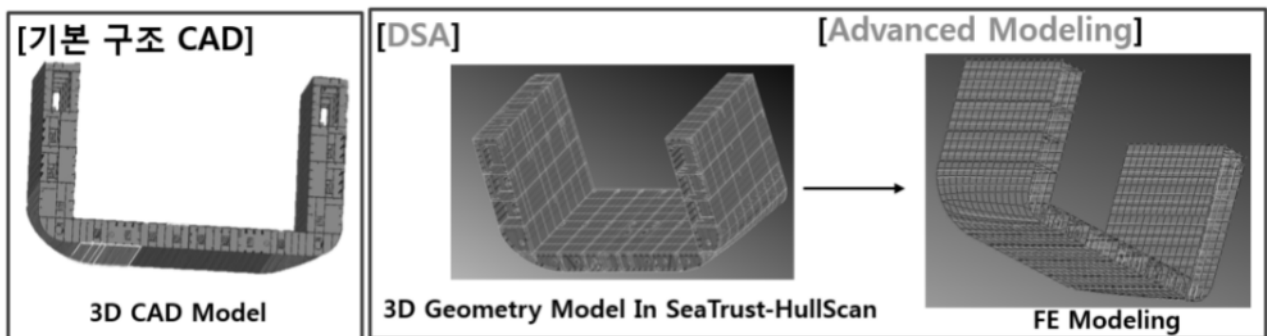


그림 3 DSA를 위한 CAD/CAE 3D 모델 인터페이스

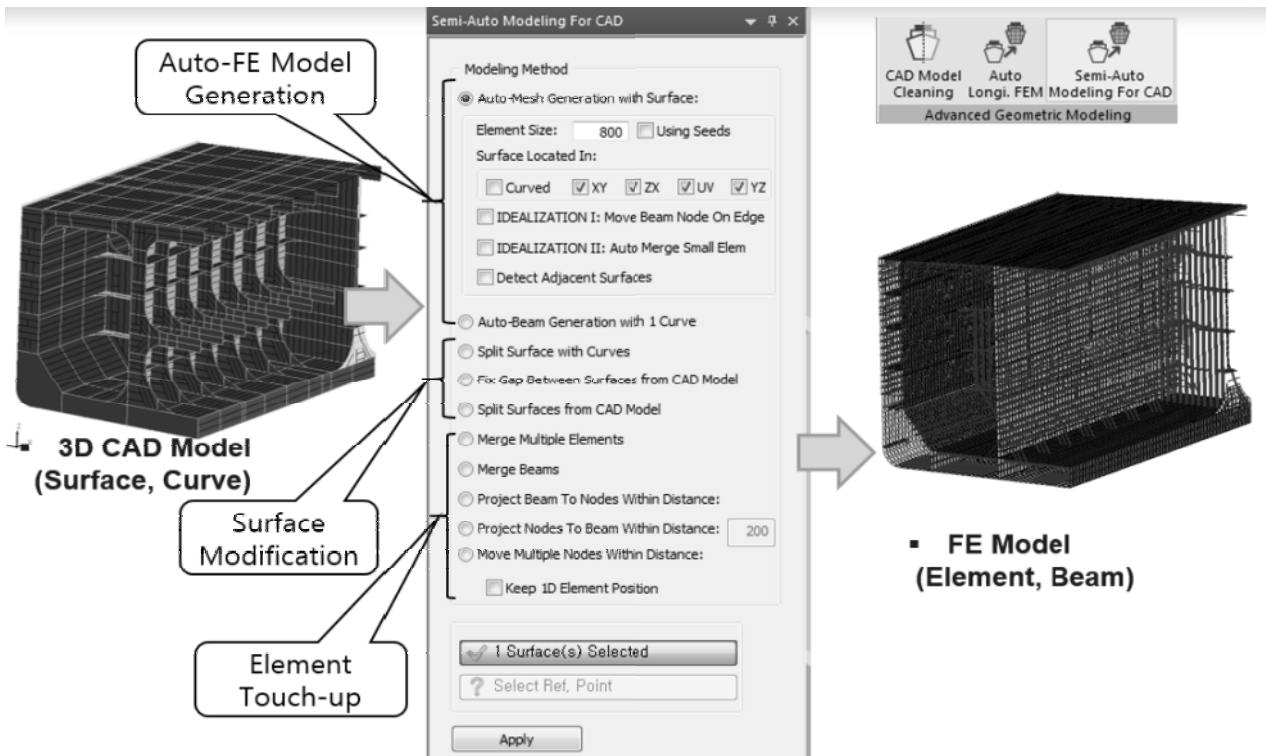


그림 4 SeaTrust-HullScan의 DSA 모드에서 제공하는 CAD 모델용 자동 FE 모델링 기능

4. 결론

기본구조설계 단계에서부터 3D CAD 모델을 생성할 수 있는 저변이 마련되면서, 기본구조설계 단계에서 필수적으로 수행해야 하는 Rule Scantling 및 구조해석 소프트웨어와의 모델의 재사용이 가능하게 되었다. 본 연구에서는 선박구조설계 전 단계에서 3D 모델이 생성되고 관리되어 일관되게 사용될 수 있는 시스템적 환경 구축을 위해 3D모델기반 선박설계지원 일관시스템 개발의 개요에 대해 소개하였다. 그 일환으로 3D CAD 모델을 CAE 소프트웨어에 활용할 수 있는 인터페이스에 대해 설명하였고, 구체적인 응용분야로 KR의 SeaTrust-HullScan과 기본구조 CAD와의 Rule Scantling 및 DSA 인터페이스 개발 결과를 제시하였다.

향후 연구로는 기본구조 CAD 모델을 선박의 운동성능 분석을 위한 CAE 소프트웨어 및 CFD 소프트웨어와의 인터페이스 개발을 진행할 계획이다.

감사의 글

본 논문은 산업통상자원부 산업핵심기술사업(과제번호:

10052708) "3D모델기반의 선박설계지원 일관시스템 개발" 연구 결과의 일부임을 밝히며, 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

- IACS, Common Structural Rules for Bulk Carrier and Oil Tankers, 1st January 2015 Issue: International Association of Classification Societies, (2015)
- Park, D.Y., Innovative Collaboration Between Initial Structural and Production Design, International Conference on Computer Applications in Shipbuilding 2013, Busan, Korea, 26-28 September 2013, (2013)
- 박호균, 설계 생산성 및 품질 향상을 위한 선체구조 설계 평가시스템 개발, 제 43회 선박해양설계 연구발표회, 부산, (2015)
- 손명조, 강형우, 김태완, "조선 선체 블록 모델의 재사용을 위한 AVEVA Marine Scheme기반 모델링", 한국 CDE학회 논문집, 19권, 1호, pp.41-49, (2014)
- 손명조, 이정렬, 박호균, 김종오, 우정재, 이정현, "조선 기본구조설계 단계에서의 3D CAD/CAE 인터페이스 개발", 한국

CAD/CAM학회 논문집, 21권, 2호, pp.186-195. (2016 (1))
 Son, M.J., Park, H.G., Lee, J.Y., Lee, J.H., Kim, J.O. &
 Woo, J.J., "Development of Auto FE Modeling for
 enhancement of the productivity in modeling based on
 CSR-H", The 13th International Symposium on Practical
 Design of Ships and Other Floating Structures,
 Copenhagen, Denmark, 4-8 September 2016. (2016 (2))



손명조

- 1981년생
- 2004년 서울대학교 조선해양공학과 학사
- 2013년 서울대학교 조선해양공학과 박사
- 현 재 : 한국선급 IT융합연구팀 책임
- 관심분야 : FE 자동화, CAD/CAE 인터페이스
- 연 락 처 : 070-8799-8571
- E - mail : mjson@krs.co.kr



박호균

- 1975년생
- 1998년 울산대학교 조선해양공학과 학사
- 2001년 울산대학교 조선해양공학과 석사
- 현 재 : 한국선급 IT융합연구팀 책임
- 관심분야 : CAE, CAD, Computer Graphics
- 연 락 처 : 070-8799-8576
- E - mail : hgpark@krs.co.kr



이정렬

- 1962년생
- 1985년 서울대학교 조선공학과 학사
- 2006년 충남대학교 선박해양공학과 박사
- 현 재 : 한국선급 IT융합연구팀 팀장
- 관심분야 : CAD, CAE, IT융합 기술
- 연 락 처 : 070-8799-8570
- E - mail : jyilee@krs.co.kr



김종오

- 1981년생
- 2005년 한양대학교 기계공학과 석사
- 현 재 : 한국선급 IT융합연구팀 책임
- 관심분야 : CAD, CAE, Buckling Strength, 3D surface construction,
- 연 락 처 : 070-8799-8583
- E - mail : jokim@krs.co.kr



이정현

- 1979년생
- 2003년 순천향대학교 화학과 학사
- 현 재 : 한국선급 IT융합연구팀 책임
- 관심분야 : 조선 CAD/CAE
- 연 락 처 : 070-8799-8579
- E - mail : jhlee79@krs.co.kr



우정재

- 1979년생
- 2002년 한국해양대학교 기계공학과 학사
- 2004년 한국해양대학교 기계공학과 석사
- 현 재 : 한국선급 IT융합연구팀 책임
- 관심분야 : 선급기술규칙 SW
- 연 락 처 : 070-8799-8580
- E - mail : woojj@krs.co.kr

**대한조선학회논문집(한국연구재단 등재학술지)에
 회원 여러분들의 많은 논문 투고를 부탁드립니다.**