

잠수함 디지털 목업 형상화 시스템 개발

Development of the CAD Modelling System for the Submarine Digital Mockup

김 성 용*
Kim, Sung Yong

ABSTRACT

In the countries of USA, UK, etc, which have the advanced submarine design technologies, the digital mockup actively applies in the naval ship and the submarine design, because it has many advantages such as the reduction of shipbuilding periods and costs, the potential of easier design changes, the combination of visualization with realistic behavior and so on. This paper includes the architecture development methods of digital mockup system and presents the S/W and H/W architecture scheme and the methods of 3D CAD modelling system of a submarine hull and machineries for the conceptual design verification.

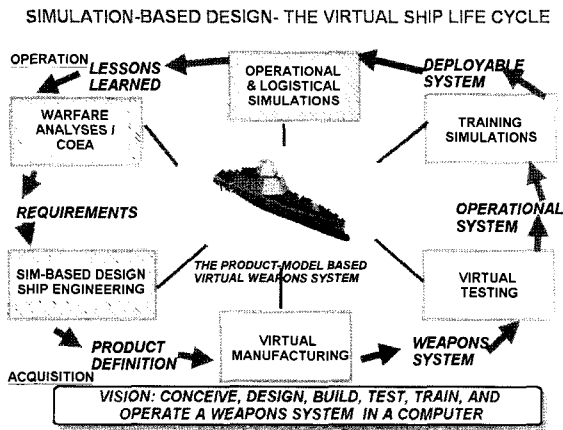
주요기술용어 : Submarine(잠수함), Digital Mockup(디지털 목업), SBD(시뮬레이션 기반 설계)

1. 서 론

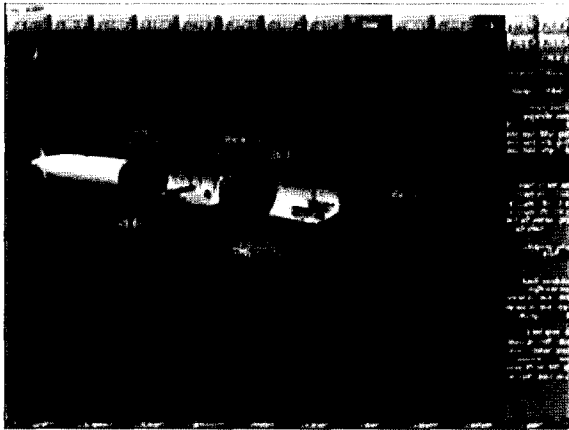
미국, 영국 등 잠수함 개발 관련 기술 선진국에서는 기존의 설계 수단과 최근에 각광받고 있는 가상 현실(virtual reality) 기술 및 동시공학(concurrent engineering) 기술을 접목하여 신속하게 개념 및 기본 설계를 수행할 수 있는 시뮬레이션 시스템을 개발하여 설계에 활용하고 있다. 특히 미국에서는 1992년부터 DARPA 주관으로 SBD(Simulation Based Design) 사업을 수행하여 그림 1과 같이 함정 및

잠수함의 설계 단계에서부터 운용 및 폐기 단계까지 수명주기 전 과정에 대한 성능 시뮬레이션을 수행하여 함정 무기체계의 개발 및 성능 향상 그리고 운용 효과를 극대화하기 위한 연구를 진행하고 있다.⁽¹⁾ General Dynamics Electric Boat Division에서 수행한 NSSN급 잠수함 설계의 경우 실제 목업을 제작하지 않고 그림 2와 같은 디지털 목업(Digital Mockup)을 이용하여 설계 검증을 시도하였다. 컴퓨터를 이용해 구현된 가상공간 내에서 잠수함 선체 및 장비의 CAD 모델로 구성되는 디지털 목업은 실제 목업 제작에 비해 기간 단축 및 비용 절감 효과뿐만 아니라 설계 수정이 용이하고 성능 및 세부기능 시뮬

* 국방과학연구소 연구원



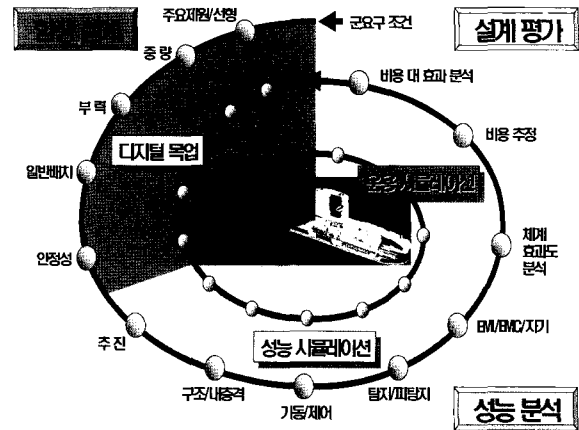
[그림 1] 미 해군의 시뮬레이션 기반 설계 시스템 개념도



[그림 2] 미국 NSSL급 잠수함의 디지털 목업 시스템

레이션의 동시 수행이 가능한 점 등 많은 장점을 가지고 있다.⁽²⁾

국내의 경우 돌고래급 잠수정 설계 및 건조 경험과 209급 잠수함의 기술도입 생산을 통하여 잠수함 건조 능력은 보유한 상태이나 설계 기술 측면에서는 잠수함 개발 관련 기술 선진국과 비교하여 기술적 격차가 있는 것이 사실이다. 이를 극복하고 잠수함의 국내 개발 능력을 확보하기 위해서는 기술 선진국에서 현재 까지 개발하여 잠수함 설계에 적용하고 있는 잠수함

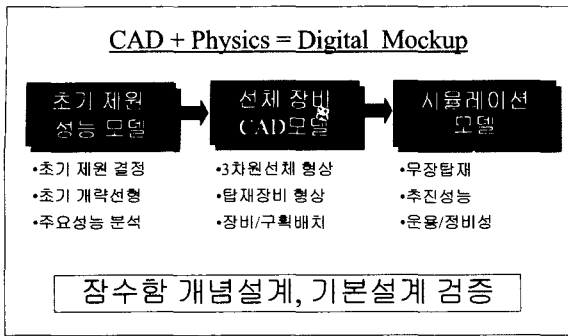


[그림 3] 잠수함 Design Spiral

시스템 설계 기술의 확보와 함께 선진국의 잠수함 설계기술 발전 추세인 컴퓨터 기반의 가상세계(Virtual World)에서 함정설계 및 성능분석을 반복적으로 수행하여 단기간에 최적의 잠수함을 설계할 수 있는 시뮬레이션 기반(Simulation Based)의 잠수함 개념설계 기술을 개발하는 것이 필요하다.⁽³⁾

잠수함 설계는 그림 3과 같이 '설계 → 성능 분석 → 평가'의 단계를 반복 수행하여 최적설계안을 도출해 나가게 된다. 이러한 기존의 잠수함 설계과정은 '디지털 목업 → 성능 시뮬레이션 → 운용 시뮬레이션'으로 구성된 시뮬레이션 시스템을 통해 모델링될 수 있을 것이다. 잠수함 디지털 목업은 CAD 모델과 실제 대상 시스템의 물리적 수치들이 결합된 형태로 전체 잠수함 설계 시뮬레이션 수행 과정중 함설계 단계에서 3차원 형상화 및 배치 설계기능 등을 담당하게 되며 성능 및 운용 시뮬레이션 단계에서는 각각의 시뮬레이션 결과 검증 및 시각화 도구로써 운용될 것이다.

본 연구에서는 잠수함 개념설계 및 기본설계 검증용 도구로써 이용될 디지털 목업 시스템의 기본 개념 및 구성 방안을 제시하였고 특히 디지털 목업을 구성



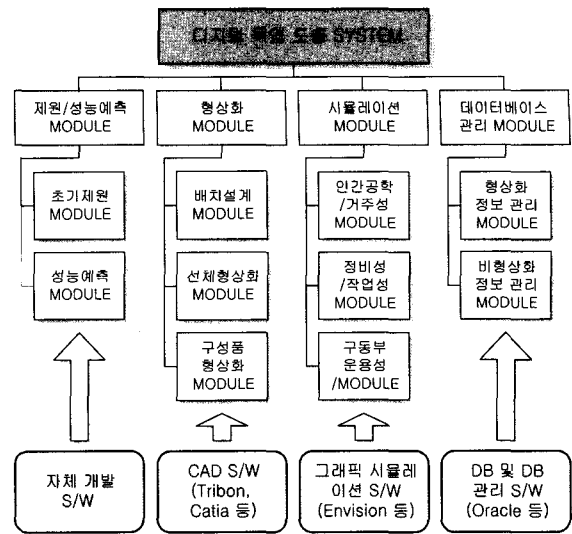
[그림 4] 디지털 목업 개념도

하는데 있어서 핵심이 되는 3차원 형상화 시스템에 대해 구체적인 구성 및 수행 방안을 도출하였다.

2. 디지털 목업 시스템의 구성

잠수함 디지털 목업 도출 시스템은 제원 및 선형을 예측하고 선체와 구획, 장비의 배치모델을 생성하여 성능 및 배치평가를 통한 설계 및 검증 기능을 가져야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 디지털 목업 시스템을 제원/성능예측 모듈, 형상화 모듈, 시뮬레이션 모듈, 그리고 데이터베이스 관리 모듈로 나누어 구성하였다.

제원/성능예측 모듈은 개발 대상 잠수함의 개념이 구체화되지 않은 설계 초기 단계에서 설계 및 개발 개념을 신속하게 확정하고 개발대상 잠수함의 제원 및 성능을 신속하게 평가하여 설계 업무를 지원하기 위한 설계 도구로서 이 단계에서 구해진 초기제원 및 선체 치수들은 형상화 모듈에서 구체화되어진다. 형상화 모듈은 잠수함의 3차원적인 형상을 컴퓨터 상에 구현하기 위한 모듈로서 디지털 목업 시스템을 사용하는 설계자 및 운용자가 실제의 잠수함 내부 환경과 동일 또는 유사하게 인식할 수 있도록 구현하는 기능



[그림 5] 디지털 목업 도출 시스템 구성도

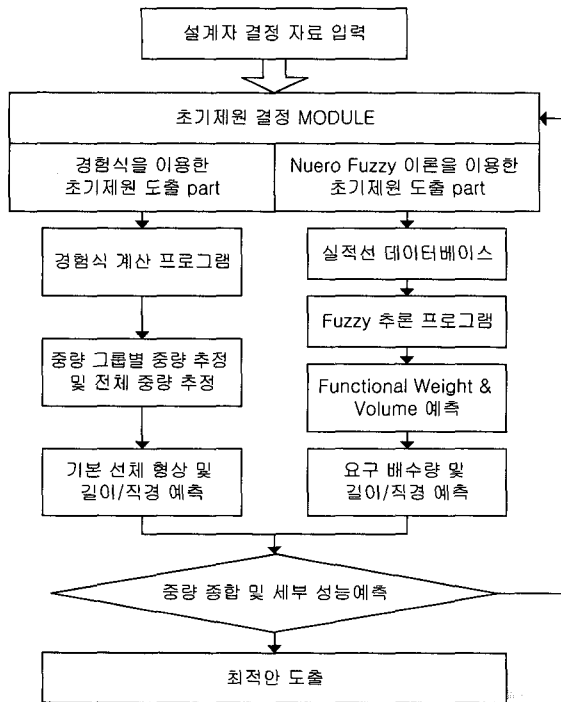
부분이다. 시뮬레이션 모듈은 3차원 CAD 소프트웨어(S/W)로 구현된 잠수함 디지털 목업을 기반으로 잠수함의 운용시 발생하는 각종 사건 및 작업성, 정비성 등을 실시간 시각적으로 시뮬레이션을 수행하게 된다. 그리고 이들 모듈들에서 얻어진 각종 형상화 정보(CAD데이터) 및 비형상화 정보(치수, 중량, 문서 등)들은 데이터베이스 관리 모듈을 이용하여 잠수함 데이터베이스로 구축된다.

2.1 제원/성능예측 모듈

제원/성능예측 모듈은 잠수함의 중량 및 체적을 예측하고 예측된 결과가 기본 요구성능을 만족하는지 여부를 판단하는 기능을 가지며 초기제원 및 성능예측 모듈로 구성되어진다.

(1) 초기제원 모듈

초기제원 모듈은 운용목적, 탑재장비의 특성 등을 기초로 개발대상 잠수함의 제원을 개략적으로 예측하는 부분으로 주요 기능구획의 중량 및 체적의 예측이

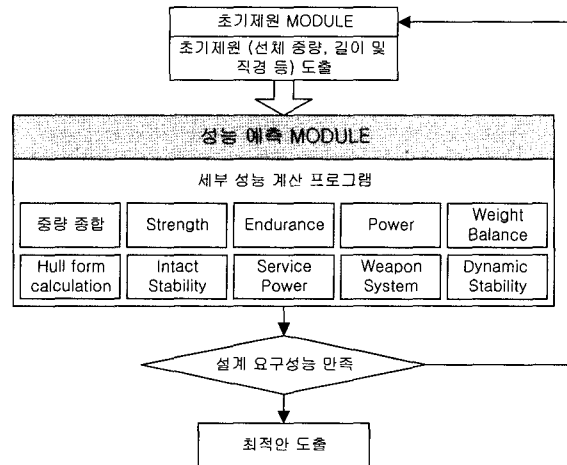


[그림 6] 초기제원 결정 모듈 구성도

중요한 부분을 차지한다. 잠수함 설계는 건조 실적 및 경험에 대한 의존도가 높으며 여러 실적선들의 제원 및 배치 등이 설계의 중요한 자료가 된다. 따라서 초기제원 예측을 위해 기존 실적선의 자료를 참조하는 방법을 사용하였고 이는 다시 경험식을 이용하여 계산하는 방식⁽⁴⁾과 Fuzzy 이론을 사용하여 실적선 데이터로부터 최적해를 추론하는 방식⁽⁵⁾으로 나누어 수행하였다. 그리고 구해진 중량 및 체적은 성능예측 모듈에서 세부성능 예측 및 평면 다각형을 이용한 Balance Check를 통해 검증 과정을 거치게 된다.

(2) 성능예측 모듈

성능예측 모듈은 초기제원 모듈에서 도출된 제원을 이용하여 잠수함의 기본성능을 예측하고 설계 요구 성능을 만족하는지 여부를 판단하는 기능을 담당한다.



[그림 7] 성능예측 모듈 구성도

[표 1] 성능예측 SW 세부 계산기능 구성

중량 종합 기능	구획별 중량 종합 및 MBT 용량 계산
Offset 생성 기능	외부선체 및 압력선체 offset (선형 및 치수) 생성
정적 안정성 기능	단면 특성에 따라 계산
개략 저항특성 예측 기능	수중 및 스노클 항해시 저항 추정 및 소요마력 계산
항속거리 계산 기능	모터 소요마력, 배터리 및 발전기 동력 특성 계산을 통한 항속거리 계산
평면다각형 작성 기능	평면다각형 작성을 통한 보상능력 및 중량분포의 적절성 검증

성능예측 모듈을 구성하는 세부 계산기능은 표 1과 같으며 성능예측 S/W는 계산 모듈 또는 라이브러리의 추가 및 수정이 가능하도록 구성하였다.

2.2 형상화 모듈

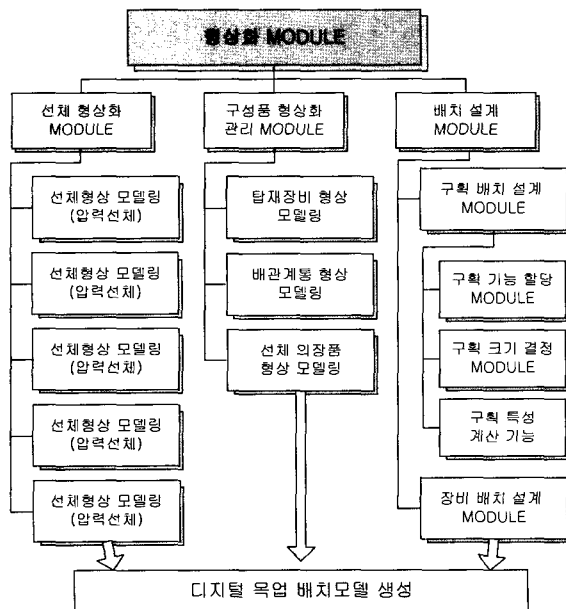
형상화 모듈은 디지털 목업의 3차원 CAD모델을 생성하는 역할을 담당하는 모듈로써 제원/성능예측 모듈에서 도출된 선체 길이 및 직경 등을 이용하여 선체를 형상화시키는 모듈과 잠수함에 탑재되는 주요 장비의 CAD 모델을 생성하는 모듈 그리고 함내 각 구획의 배치 및 구획내 장비들의 최적 배치해를 구해 내는 배치설계 모듈로 구분되어진다. 형상화 및 배치 설계 작업은 디지털 목업 시스템 중 가장 작업시간이 길고 비용 및 투입인력 비용이 높으며 형상화 정도에 따라 전체 디지털 목업 시스템의 정도가 결정되어지는 가장 중요한 부분이다. 형상화 시스템의 구성 및 구체적인 수행방안은 3장에서 다루었다.

2.3 시뮬레이션 모듈

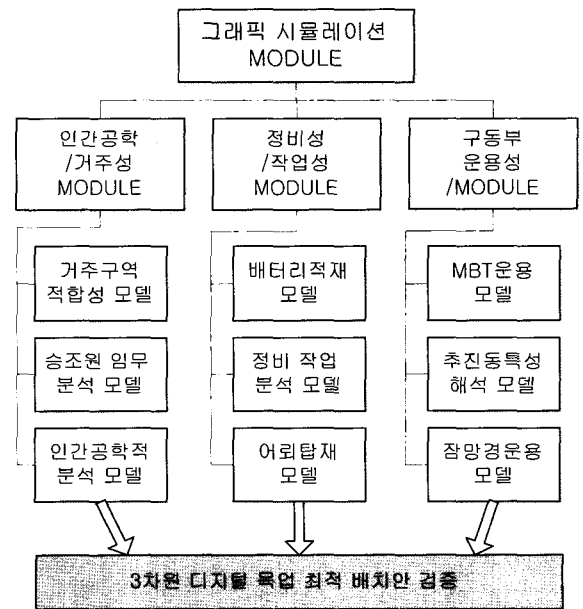
시뮬레이션 모듈은 형상화 모듈을 통해 생성된 디지털 목업 CAD 모델을 이용한 그래픽 시뮬레이션을

수행하여 구획 및 장비 배치의 적절성, 공간 활용성, 기동성 등을 검증하고 이를 통하여 최적 배치안을 도출하는 기능을 담당한다.

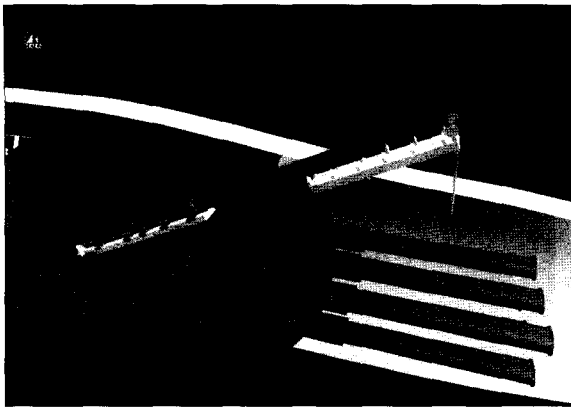
본 연구에서는 시뮬레이션 모듈을 인간 공학/거주성 모듈, 정비성/작업성 모듈 그리고 구동부 운용성 모듈로 구분하여 구성하였다. 인간공학/거주성 모듈은 시뮬레이션 소프트웨어에서 제공하는 인체모델을 이용하여 침실 및 식당 구역의 공간 활용성, 통로 크기 및 동선 배치, 임부 분석 등을 시뮬레이션하며, 정비성/작업성 모듈은 배터리, 어뢰 및 각종 장비들의 탑재 및 취외 작업, 함 내 수리작업 등을 시뮬레이션하여 장비배치 및 구획배치의 적절성, 수리작업 등의 편리성을 평가하는 역할을 담당한다. 그리고 구동부 운용성 모듈은 잠망경, 방향타, 무장부 등 탑재 장비들의 운용성을 평가하고 추진부와 부력탱크들의 수치 시뮬레이션 모듈을 이용하여 잠수함의 거동 및 추진 특성 등을 시각적으로 시뮬레이션하는 기능을 담당하



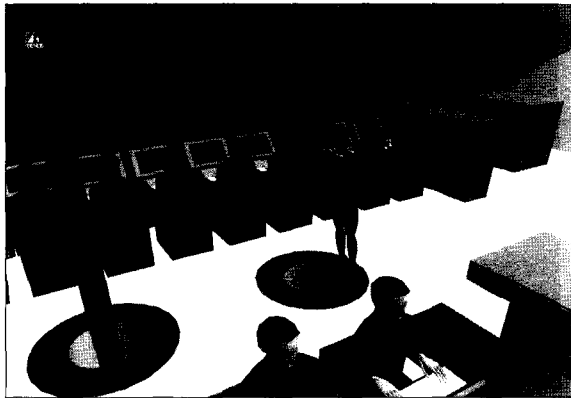
[그림 8] 형상화 모듈 구성도



[그림 9] 그래픽 시뮬레이션 모듈 구성도



(a)



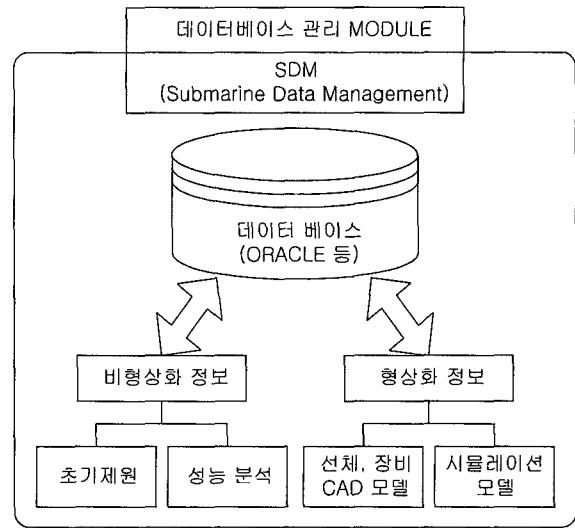
(b)

[그림 10] 디지털 목업을 이용한 그래픽 시뮬레이션

게 된다. 그림 10은 실제 시뮬레이션 수행 장면으로 (a)는 어뢰탑재작업을 시뮬레이션하여 어뢰구획의 적절성 및 장비 배치를 검증하기 위한 것이며 (b)는 CIC 구획내의 장비배치 및 작업성 등을 평가하기 위한 시뮬레이션 수행장면이다.

2.4. 데이터베이스 관리 MODULE

데이터베이스 관리 모듈은 잠수함 디지털 목업 생성과정에서 얻어지는 모든 데이터(CAD 모델, 도면, 해석 데이터 등)를 잠수함 설계 프로젝트 또는 설치



[그림 11] 데이터베이스 관리 모듈 구성도

구획별로 구분하여 관리해주고 제원/성능 예측 모듈의 계산 S/W 및 형상화 CAD S/W 그리고 시뮬레이션 S/W와 연계되어 각각의 S/W 모듈에서 데이터베이스에 저장된 자료의 검색, 열람 및 활용, 저장이 가능하도록 구성되어졌다.

3. 디지털 목업 형상화 시스템

3.1 형상화 시스템의 구성

형상화 시스템은 그림 12와 같이 제원/성능 예측 모듈에서 도출된 선형 및 선체 치수 데이터를 이용한 선형 생성, 선체 및 구획 CAD 모델 생성, 주요장비 CAD 모델 생성 그리고 생성된 CAD 모델들을 3차원 공간에 배치하는 단계로 구성되어진다. 선형생성 및 선체와 장비 CAD 모델의 생성은 Tribon, Catia, AutoCad 등의 CAD S/W를 사용하게 되고 최종 배치작업은 3차원 그래픽 시뮬레이션 S/W에서 수행하였다.

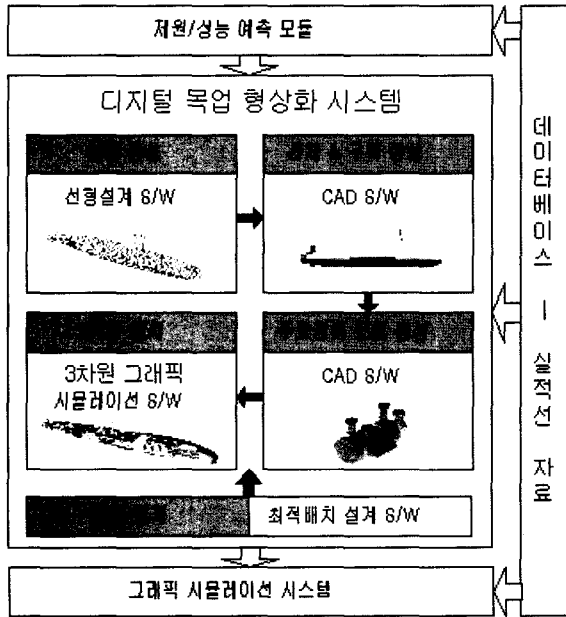
형상화 작업 및 시뮬레이션 작업을 수행하기 위한

하드웨어(H/W)는 그림 13과 같이 구성하였다. 각 H/W 시스템은 네트워크로 연결되어 데이터를 공유하고 이들 데이터는 데이터베이스 서버에 탑재된 데이터베이스에 저장되어 데이터베이스 관리 시스템에 의해 관리되어진다. H/W 구성 및 성능은 제반비용과 목표성능에 따라 달라질 수 있으며 디지털 목업의 정

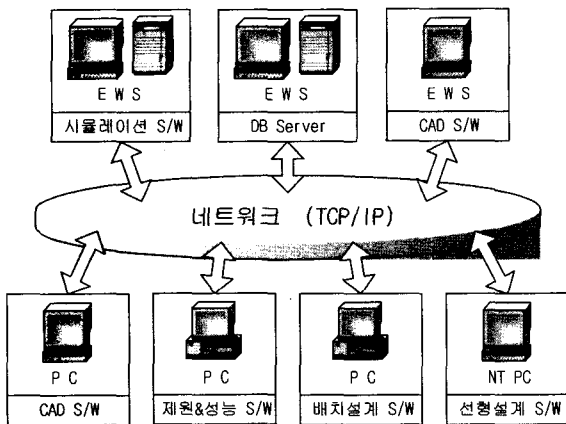
도 및 활용범위에 영향을 미치므로 제한된 H/W 성능을 최대한 이용할 수 있도록 시스템을 최적화하는 방안이 요구되어질 것이다.

(1) 선형 생성

잠수함 디지털 목업 형상화를 위한 첫 번째 단계는 3차원 선형을 생성하는 단계로 제한/성능예측 모듈로부터 도출된 선형 및 선체 직경/길이 데이터를 바탕으로 선형 생성 S/W를 이용하여 외부선체 및 압력선체의 3차원 선형을 생성하게 된다. 현재 구성되어진 시스템에서 선형 설계는 기존 실적선들의 설계 데이터 및 선형을 참조하게 되나 실제 선형의 설계는 요구되어지는 공간, 장비/구획 배치뿐만 아니라 추진성능 및 소음특성 등 여러 가지 함 성능과 밀접한 관계가 있으므로 향후 각 분야별 해석 및 데이터가 종합/분석되어 선형 설계가 이루어지도록 구성되어질 것이다. 선형이 결정되면 선박용 선형설계 S/W를 이용해 그림 14와 같은 3차원 선형 모델을 생성하게 되고 생성된 선형 모델은 CAD S/W로 전송되어 surface 또는 solid화 작업을 거쳐 3차원 CAD 모델로 완성되어진다.



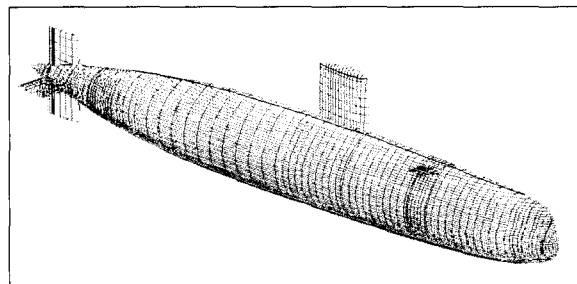
[그림 12] 디지털 목업 형상화 시스템 구성도



[그림 13] 형상화 시스템 H/W 구성도

(2) 선체 및 구획 생성

두 번째 단계는 생성된 선형 데이터를 이용하여 외



[그림 14] 선형설계 S/W를 이용한 선형생성 화면



(a)



(b)

[그림 15] CAD S/W를 이용한 외부선체 생성

부선체 및 압력선체의 3차원 CAD 모델을 생성하는 단계이다. 선형설계 S/W로 생성된 선형은 CAD 표준 형식(IGES형식 등)으로 CAD S/W로 보내지고 변환도구를 이용해 CAD 모델로 변환된다. 그림 15-a는 선형설계 S/W에서 생성된 선형모델을 CAD모델로 변환한 화면이다. 변환된 CAD 모델은 수정/보완 작업 및 surface화 작업을 통해 그림 15-b와 같은 3차원 CAD 모델로 완성되어진다.

압력선체 내부 구획 결정은 유사 실적선 구획 배치 자료를 이용하거나 배치설계 모듈을 이용하여 이루어지게 되고 구획이 결정되면 CAD 상에서 각 격벽 및



[그림 16] 압력선체 구획배치 CAD모델

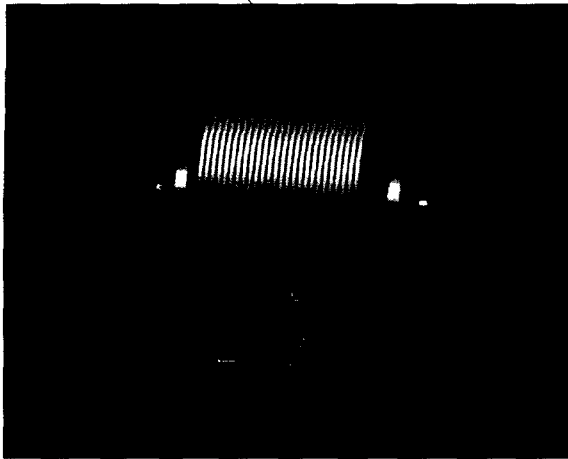
Deck를 CAD 모델화하여 압력선체를 완성하게 된다. 그림 16은 CAD S/W를 이용해 압력선체 및 내부 구획을 생성한 화면이다.

(3) 주요 장비 생성

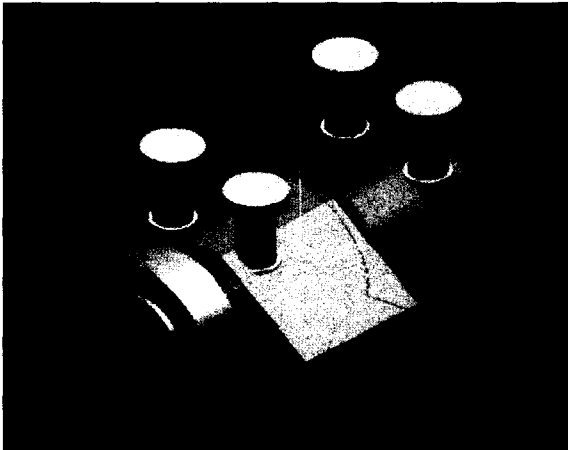
디지털 목업 형상화 시스템의 세 번째 단계는 잠수함 내부의 주요 장비들을 그림 17과 같이 CAD 모델로 형상화하는 단계이다. 모델링되는 장비의 사양은 데이터베이스에 저장된 실적선 장비 데이터 중 설계대상 잠수함에 적합한 형태 및 성능의 장비 사양이 선정된다. CAD 모델파일은 치수, 체적, 설치위치 등의 형상화 정보와 중량, 재질 등의 비형상화 정보를 동시에 저장할 수 있으며 첨부되는 사양서, 도면 등은 데이터베이스 관리 시스템을 통해 CAD 파일과 동시에 관리되어진다.

(4) 3차원 배치

네 번째 단계는 생성된 선체 및 주요장비의 CAD 모델들을 3차원 배치 및 시뮬레이션 S/W를 이용하여 컴퓨터상의 가상공간에 배치시키는 단계이다. 선체구획 및 장비 배치는 유사 실적선의 배치를 참조하거나 배치설계 모듈에서 도출된 배치안을 따르게 되며 배



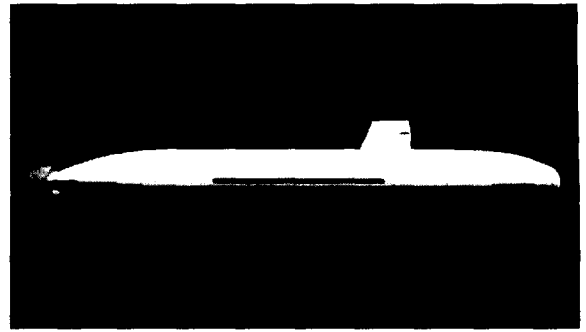
(a) TASS 원치



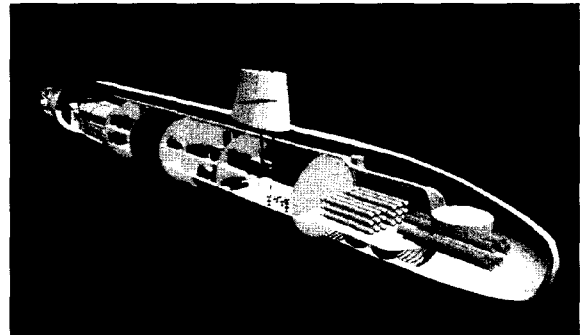
(b) 추진 모터

[그림 17] 잠수함 탑재 장비 형상화 예

치되는 위치정보는 기준점에 대한 상대적인 거리로써 표현된다. 위치정보의 입력 방법은 CAD모델 작업시 각각의 모델 자체에 포함시키거나 3차원 배치시 디지털 목업 모델에 포함시키는 방법이 있으며 본 시스템에서는 배치설계 모듈과 연동을 통해 도출된 배치안에 따라 디지털 목업 내의 구획 및 장비들의 재배치가 자동적으로 이루어지도록 하기 위해 디지털 목업 모델에 위치정보를 입력하는 방법이 사용된다.



(a) 외부 배치도



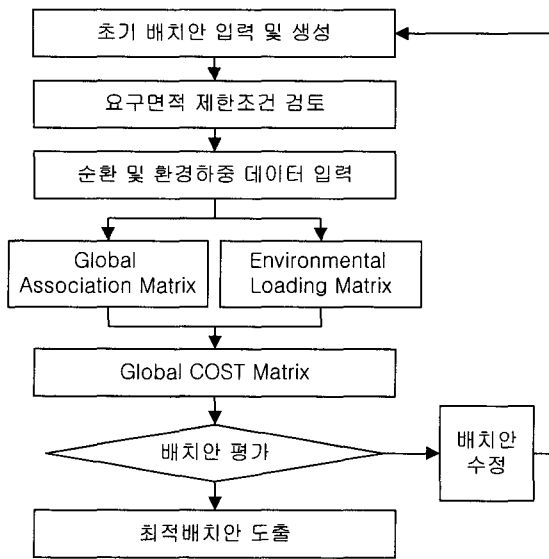
(b) 내부 배치도

[그림 18] 잠수함 디지털 목업 3차원 배치화면

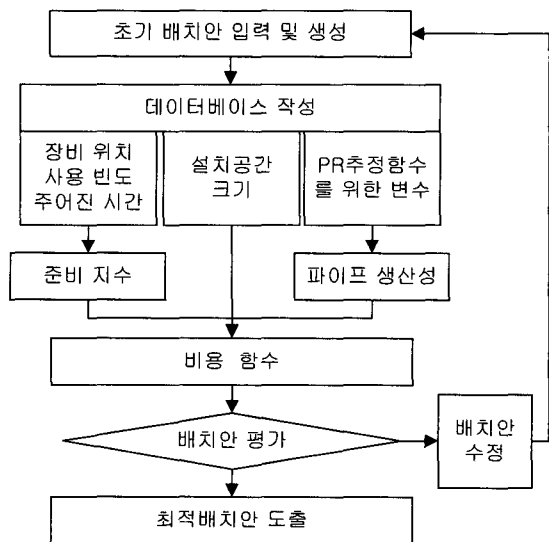
(5) 배치 설계

배치설계는 구획 배치설계와 장비 배치설계 S/W로 구성되어지며 3차원 배치 S/W와 연동모듈을 통해 데이터를 공유하여 도출된 배치안에 따라 CAD모델의 위치가 변경되도록 구성되어진다.

구획 배치설계 S/W는 그림 19와 같은 알고리즘으로 이루어졌다. 초기배치안이 입력되면 면적 요구조건을 검토하고 기계소음, 승조원 이동거리, 진동 등의 환경변수들을 고려해 최적배치안을 도출하게 되며 환경변수들은 정량적인 평가가 어려우므로 Fuzzy이론을 이용하여 정성적 평가방법을 사용하였다.⁽⁶⁾ 장비 배치 S/W는 설치공간의 공간 활용성, 작업성 및 설치/제거 편의성 등이 우선 고려사항이며 전체적인 계산 알



[그림 19] 구획 배치설계 알고리즘



[그림 20] 장비 배치설계 알고리즘

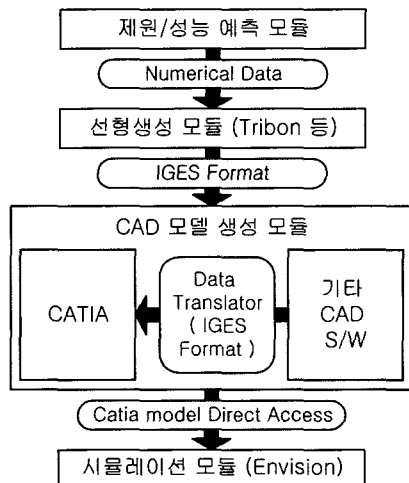
고리즘은 구획 배치설계 S/W와 유사하다.

3.2 형상화 시스템 최적화

잠수함 디지털 목업은 외부 선체, 압력 선체 및 각

종 탑재 장비 등 많은 CAD 모델들을 가상공간 내에 배치시키므로 H/W의 그래픽 성능이 부족할 경우 화면 전환, 이동, 삭제 등의 작업 및 시뮬레이션 수행시 속도저하가 발생하며 시스템 성능저하의 원인이 된다. 이를 해결하기 위해 본 디지털 목업 시스템에서는 3차원 그래픽 시뮬레이션 S/W(Envision)에서 제공하는 CAD 데이터 축소 기능을 사용하여 CAD 모델의 중복되거나 불필요한 면, 선 등을 제거하고 보상하는 작업을 통해 데이터 경량화를 수행하였다.⁽⁷⁾ 또한 시뮬레이션 수행시에는 실제 시뮬레이션의 대상이 되는 장비들과 선체를 제외한 나머지 CAD 모델들을 숨김(hidden), 선형화(wire frame) 처리 등을 함으로써 데이터를 줄이는 방법을 사용하였다.

선체 및 장비의 CAD 모델링 작업에는 Tribon, Catia, AutoCad, IDEAS 등 많은 CAD S/W가 사용되어진다. 이들 S/W들은 최종 CAD 모델 출력 형식이 서로 상이하므로 데이터 공유를 위해서는 표준형식(IGES 등) 또는 특정 공유형식으로 데이터를 변환해주는 작업이 필요하며 이와 같은 변환 작업은 각 CAD S/W에서 자체적으로 제공하는 데이터 변환기 또는 외부 변환기를 통해 이루어지게 된다. 본 형상화 시스템에서는 IGES 형식을 사용해 데이터를 공유하였으나 변환 과정에서 특정 CAD 데이터 형식과 IGES 형식과의 차이로 인해 데이터 손실이 발생하였다. 이와 같은 데이터 손실을 최소화하기 위해 그림 21과 같은 구조로 데이터의 공유 및 변환작업을 수행하였다. 본 형상화 시스템에서 3차원 배치를 위해 사용된 그래픽 시뮬레이션 S/W(Envision)는 Catia 모델 파일의 경우 변환작업 없이 Catia 자체 CAD 엔진을 사용하여 직접 접근해 사용할 수 있다.⁽⁷⁾ 따라서 Catia 외 CAD S/W에서 작성된 모델들을 IGES 형식으로 변환한 후 Catia에서 수정/보완 작업을 함으



[그림 21] 형상화 시스템의 CAD 데이터 변환 및 공유 구조

로써 데이터 손실을 보상하는 방법을 사용하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 잠수함의 제원도출 및 성능평가, 그리고 배치설계를 수행하는 디지털 목업 시스템과 디지털 목업 구현의 핵심요소인 형상화 시스템의 구성 및 수행방안을 제시하였다. 개발된 디지털 목업 시스템은 장비 및 구동부의 상호간섭 및 승조원과 장비간의 연동 분석 등 2차원적 설계에서 고려하기 어려운 작업들을 수행하게 되며 잠수함 수중운동 해석 S/W, 구조해석 S/W, 추진특성해석 S/W 등 잠수함 상세성능 해석용 S/W와 결합되어 종합적인 잠수함 설계 및

검증을 위한 도구로써 활용될 것이다. 그리고 Head display, Motion tracker, Cyber-glove 등 다양한 VR(Virtual Reality) 장비들과 연결되어 잠수함 함내 환경에 대한 가상환경 구현 시스템을 구축하게 될 것이다.

참 고 문 헌

1. Otto P. Jones, etc "Using virtual environments in the design of ships", Naval Engineers Journal, May 1994.
2. James S. Boudreaux, "Naval ships and simulation based design", SNAME Transaction Vol.103, 1995
3. 한광섭, 정희석, "가상현실을 이용한 함정설계 현황 및 전망", 제2회 해상무기 발전 세미나, 1998, 국방과학연구소
4. Patrick C. Hale, "Computer aided conceptual design of submarine", MIT, 1984
5. 김수영 외, "뉴로퍼지 모델링을 이용한 초기 주요요목 결정 및 선형 생성", 한국해양공학회지, 제12권3호, 1998
6. 김수영, 목학수, "함정배치설계 분석/평가 및 Modular 설계기술 연구", 국방과학연구소 보고서, 2000
7. "Envision online documents", DENEb