

특집

해양플랜트 지원선 크레인 HILS (Hardware-In-the-Loop Simulation) 구축 연구

차주환, 하솔 (목포대학교),
노명일, 함승호, 조로만 (서울대학교)

1. 서론

1.1 해양플랜트 지원선 (OSV; Offshore Support Vessel) 크레인의 용도 및 제어 기술

해양플랜트 지원선은 Fig. 1과 같이 해양에서의 석유, 가스 시추 및 해양플랜트의 이동, 설치, 운용 및 유지보수, 해체 등의 해양작업을 지원하는 선박이다. 해양플랜트의 발주 및 운용 증가에 따라 해양플랜트 지원선의 수요가 점차 확대되고 있으며, 평균적으로 시추선 1기당 3~5척의 해양플랜트 지원선을 필요로 한다. 이 중 해양플랜트 지원선 크레인은 해양플랜트의 설치, 유지보수 작업을 수행하고 관련 부품의 이송 및 하역을 위해 운용되며, 효율적이고 정밀한 작업을 수행하기 위한 제어 기술이 중요하다.



Fig. 1 Examples of OSVs (a platform support vessel and an anchor handling tug supply)

1.2 해양플랜트 지원선 크레인 운용 및 AHC (Active Heave Compensator)에 대한 HILS의 필요성

해양플랜트 지원선 크레인의 작업성 및 안전성을 평가하기 위해서는 제어기 하드웨어에 대한 면밀한 검증을 진행하여 기능 검증 및 최적화를 수행해야 하나, 실제 해양플랜트 지원선에 탑재한 후 해양 환경에서 검증 작업을 수행하기에는 시간과 비용의 제약이 크다. 따라서 제어기 하드웨어와 가상의 해양 환경 및 물리 현상을 접목한 시뮬레이션을 통해 기능과 성능을 검증 및 평가하는 방법이 널리 사용되고 있으며, 이를 HILS(Hardware-In-the-Loop Simulation)라고 한다. 해양플랜트 크레인 운용 HILS를 통해 설계 초기 단계나 제작 단계에

서 제어시스템의 설계 오류 및 오작동으로 인한 사건 또는 사고의 발생을 미연에 방지할 수 있으며, 해양플랜트 지원선 크레인 및 기자재의 제작 지원, 성능 평가 및 국산화에도 기여할 수 있다.

해양플랜트 지원선의 주요 작업 중의 하나가 바로 심해저 장비의 설치이다. 크레인에는 심해저 장비를 들어 올린 후 충돌로 인한 손상 없이 정해진 위치에 안착시키기 위해 상하 운동 보상 장치(AHC; Active Heave Compensator)가 존재한다. AHC는 MRU(Motion Reference Unit)로부터 선박의 운동 정보를 입력 받아, 크레인 붐의 회전각도 등을 고려하여 끝단의 위치를 역산한다. 그리고 이 정보를 기반으로 심해저 장비의 위치 또는 하강 속도가 일정하게 유지될 수 있도록 winch를 제어한다. Fig. 2는 OSV 크레인과 크레인에 설치된 AHC를 보여준다.

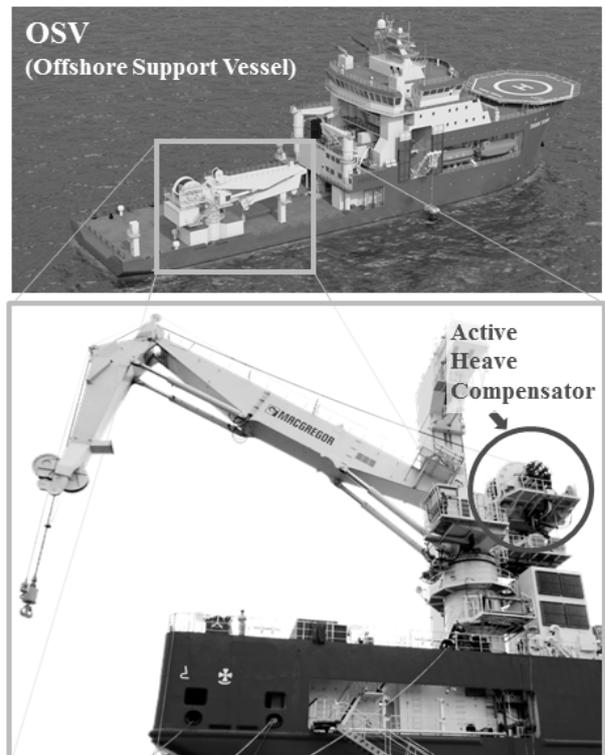


Fig. 2 OSV crane and active heave compensator

앞서 크레인의 운용 관점에서 설명한 것과 유사하게 AHC의 winch 제어를 개발하는 데에도 HILS가 활용될 수 있다.

이는 실제 선박과 크레인이 없는 상황에서 제어기의 성능을 시험 검증해 볼 수 있다는 점에서 시간과 비용을 절감하는 효과를 기대할 수 있다. 또한, 해양플랜트 지원선이 작업하는 해역에서의 다양한 환경 조건(풍속, 파고, 파주기 등)을 고려하여 사전에 제어에 필요한 요소를 계산할 수 있으며, 제어가 불가능한 상황에 대한 지침을 제시할 수 있다.

다음 절에서는 해양플랜트 지원선 크레인 HILS 구축 기반 기술과 이에 대한 적용 사례를 소개한다.

2. 해양플랜트 지원선 크레인 HILS 구축 기반 기술

일반적으로 제어가 포함된 기계 장비는 Fig. 3과 같이 하드웨어에 해당하는 제어 시스템(control system)과 제어의 대상이 되는 플랜트(plant)로 구성되어 있다. 여기서 플랜트는 실제 제작되거나 설치된 모델을 의미한다. HILS에서는 플랜트를 가상의 HIL simulator로 대체하게 되며, 제어기에 필요한 센서의 입력을 생성하거나 제어 신호를 처리하는 역할을 수행한다.

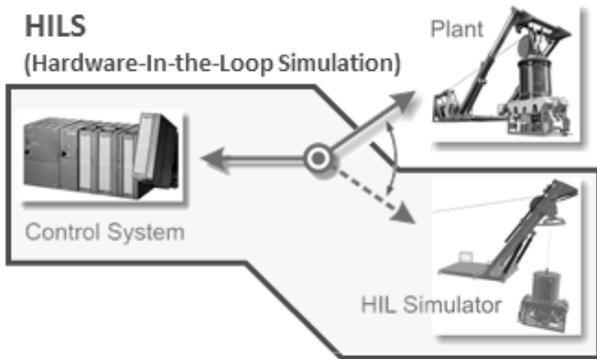


Fig. 3 Control system, Plant and HIL simulator

해양플랜트 지원선 크레인 HILS 구축을 위해서는 크레인 HIL simulator를 구축해야 한다. 이를 위해 Fig. 4와 같이 다양한 기반 기술이 필요하다.

해양플랜트 지원선 크레인 HILS 구축의 기반 기술은 크게 4가지로 구분된다.

① 가상현실 기술(virtual reality): 가상현실은 사용자의 몰입감과 현실감을 증대시키기 위한 기술이다. 크레인 작업자의 명령을 전달하기 위한 사용자 입력 장치(user input device), 크레인 외부의 전경을 보여주기 위한 가상화 시스템(display system), 화면에 나타날 실제와 유사한 배경 또는 모델에 대

응되는 디지털 콘텐츠(digital contents)로 구성된다.

② 다물체계 동역학(multibody system dynamics) 해석 기술: 둘 이상의 물체가 서로 관절로 연결되어 있는 계를 다물체계라 하고, 다물체계의 운동을 해석하기 위한 학문 분야가 다물체계 동역학이다. 해양플랜트 지원선 크레인의 경우 다물체로 구성되어 있기 때문에 다물체계 동역학 해석 기술이 필수적이다.

③ 부유체 운동 해석(vessel motion analysis) 기술: 해양플랜트 지원선 크레인을 사용한 작업은 대부분 해상에서 이루어지며, 이 때 해양 환경에 의한 유체정역학적/유체동역학적 힘(hydrostatic & hydrodynamic force)을 받게 된다. 따라서 유체 외력에 의한 부유체의 운동을 해석할 수 있는 기술이 필요하다.

④ 시스템 통합(system integration) 기술: 여러 가지 기술 간 데이터를 공유하고, 이를 통합하기 위한 기술이다. 여러 대의 PC를 통해 데이터를 주고받기 위해 네트워크를 통한 데이터 전송 및 시간 동기화 기술이 필요하다.

이상에서 해양플랜트 지원선 크레인 HILS 구축을 위한 기반 기술에 대해 살펴보았다. 다음 절에서는 설명한 기반 기술의 적용 사례에 대해 설명한다.

3. 해양플랜트 지원선 크레인 운용 시뮬레이터 구축

3장에서는 해양플랜트 지원선 크레인의 운용 HILS 수행을 위한 시뮬레이터 구축 사례를 소개한다. 전체 시스템은 Fig. 5와 같이, 해양플랜트 지원선 크레인 운용 시뮬레이션 환경, 해양플랜트 지원선 운용 시뮬레이션용 초고속 계산 시스템, 수중/수상 및 극한 환경 시뮬레이션 장비의 3가지로 구성된다.

해양플랜트 크레인 운용 시뮬레이션 환경에서는 3D Scanner 혹은 DMU(digital mock-up)를 이용하여 시뮬레이션 대상인 크레인 및 기자재를 가상 제작하고 시험 평가하는 환경을 제공한다. 해양플랜트 지원선 운용 시뮬레이션용 초고속 계산 시스템에서는 부유체 운동 해석, 다물체계 동역학 해석, 임베디드 역학 계산, 휴리스틱 최적화 등을 수행하기 위한 고성능 분산/병렬 컴퓨터 시스템을 구축하여, 해양플랜트 지원선 크레인 및 기자재의 운동 계산 및 해석을 수행한다. 수중/수상 및 극한 환경 시뮬레이션 장비에서는 해양플랜트 지원선 크레인 또는 기자재가 운용되는 가상

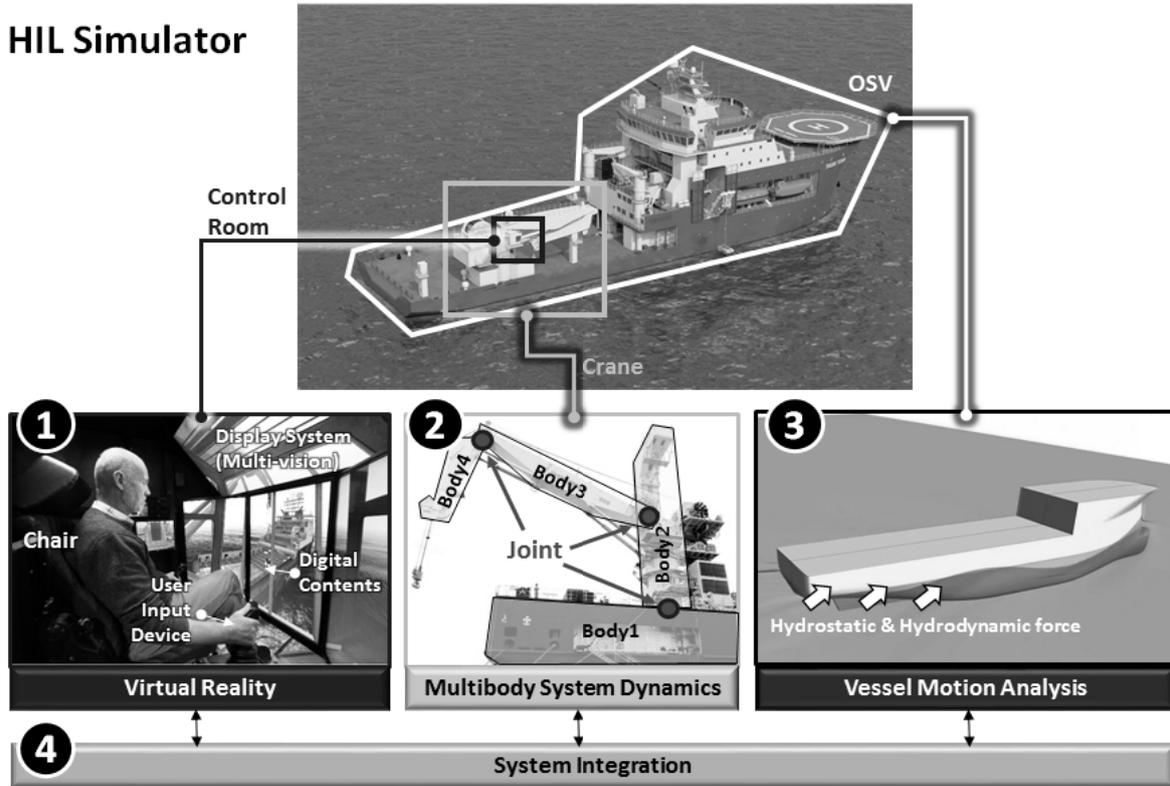


Fig. 4 Technologies for crane HIL simulator

환경의 기상 상태 및 지리적 정보, 해양플랜트 지원선에 발생할 수 있는 다양한 긴급 상황 등을 설정하여 사실적으로 가시화 하는 기능을 제공한다.

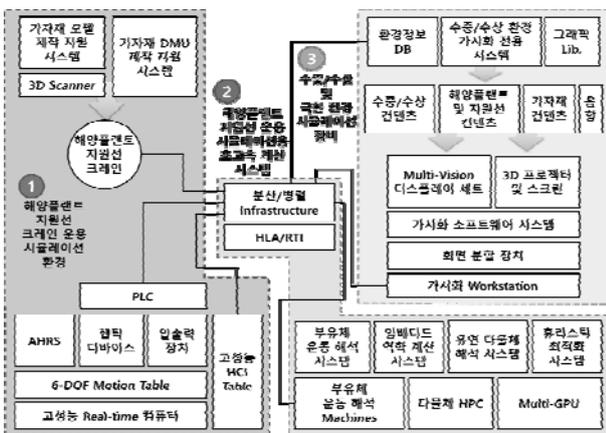


Fig. 5 Configuration of OSV crane operation simulator

위의 구성 중 몇 가지 필수 요소만으로 간단한 테스트를 진행할 수 있는 프로토타입을 구축하였다. Fig. 6과 같이 프로토타입

타입에는 수중/수상 콘텐츠, 해양플랜트 지원선 콘텐츠 등 시뮬레이터의 시각적인 부분과 부유체 운동 해석을 위한 역학 기반의 초고속 해석 시스템을 구성하였다. 그리고 현실적 몰입감 증대를 위한 75인치 디스플레이 세트를 구축하여 작업 공간에 대한 현장감을 주고, 다양한 시뮬레이션 환경을 실행하고 제어할 수 있는 시뮬레이션 통제 시스템 즉, IOS(instructor operation station)와 체험 및 훈련을 할 수 있는 OSV 크레인 조종석을 구축하였다.



Fig. 6 OSV crane simulator prototype

Fig. 7과 같이 베젤(bezel) 두께가 얇은 75인치 대형 디스플레이 5개를 연동하였으며, Unity3D를 이용하여 Fig. 8과 같이 반잠수식 시추선과 재화중량 2,900톤급 다목적 해양플랜트 지원선 콘텐츠를 모델링하였다. 그리고 augmented formulation 기반의 다물체계 동역학 운동 방정식을 구성하여 크레인 운동 해석을 수행하였으며, 시간 영역 3D Rankine panel method를 사용하여 부유체 운동을 해석하였다.

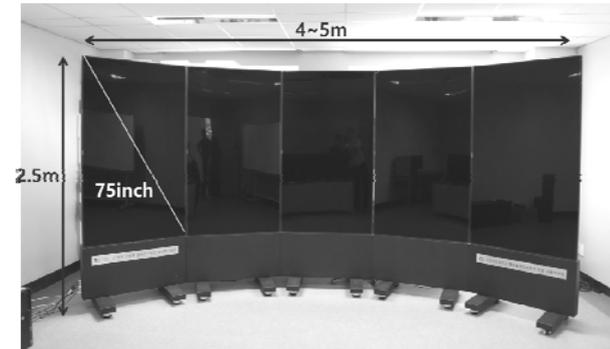


Fig. 7 Multi-vision display set



Fig. 8 3D contents of a semi-submersible rig and a OSV

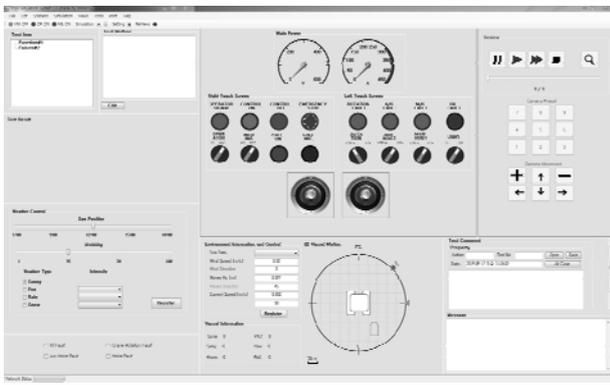


Fig. 9 Instructor operation station of OSV crane operation

그리고 시뮬레이션 시작부터 종료까지의 항목들을 관리하고, 시뮬레이션의 기상 환경, 해상 환경, 시험 평가 조건, 시험 평가 기록 등을 설정할 수 있는 IOS를 Fig. 9와 같이 개발하였다. 또한, Figure 10과 같이 크레인 조종을 위한 산업용 조이스틱, 각종 버튼을 위한 터치스크린 등을 조종석에 구축하였다.

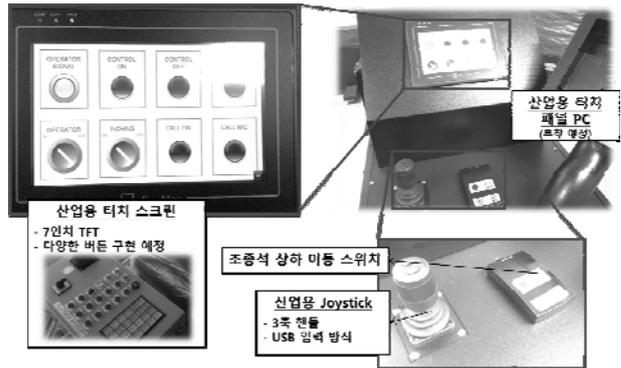


Fig. 10 Joysticks and touch-screens of OSV crane cockpit

구축된 해양플랜트 지원선 크레인 운용 시뮬레이터를 사용하여 Fig. 11의 크레인 선회 시나리오로 운용 시험을 진행하였으며, 시험 과정은 Fig. 12와 같다.

- ① 크레인 조종석 탑승
- ② OPERATOR IN 버튼 누름 -> (OPERATOR SIGNAL 점등)
- ③ CONTROL ON 버튼 누름 -> (크레인 조작 시작)
- ④ 조이스틱으로 오른쪽방향으로 크레인 선회 -> 제자리로 이동
- ⑤ 조이스틱으로 왼쪽방향으로 크레인 선회 -> 제자리로 이동
- ⑥ CONTROL OFF 버튼 누름 -> (크레인 조작 종료)

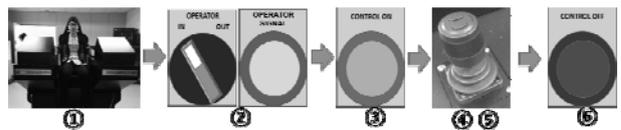


Fig. 11 A scenario of OSV crane turning test



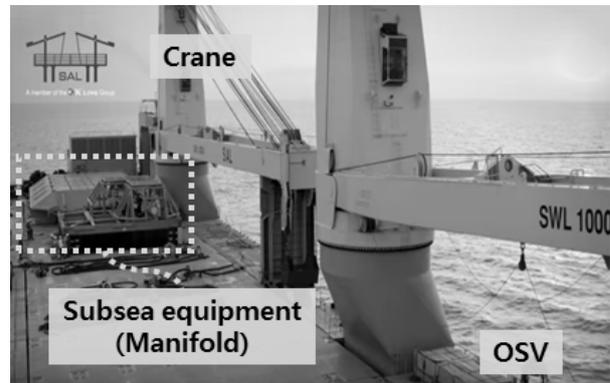
Fig. 12 Procedure of OSV crane turning test

4. 해양플랜트 지원선 크레인 Active Heave Compensator HILS 구성

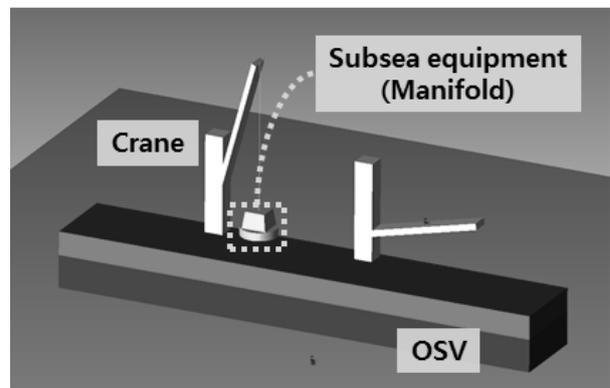
4장에서는 해양플랜트 지원선 크레인의 AHC HILS 구성에 대해 간략히 소개한다. AHC는 앞서 설명한 것과 같이 심해저 장비를 내리는 중 해양플랜트 지원선의 운동으로 인한 심해저 장비의 수직 동요(heave motion)를 최소화하기 위한 장비이다. AHC는 크레인에 설치된 winch를 사용하여 실시간으로 쇠파줄(wire rope)의 길이를 늘이거나 줄임으로써 제어를 수행한다.

제어 시스템으로는 PLC(programmable logic controller)가 주로 사용된다. PLC는 ladder program을 사용하여 자유롭게 제어 로직(control logic)을 구성하고, 이를 CPU에 다운로드 시키는 방식으로 사용된다. 따라서 제어 로직의 개발, 수정, 보완이 용이하다는 장점을 가지며, 실제 산업 현장에서도 널리 사용되고 있다.

HIL simulator로는 AHC를 가지는 해양플랜트 지원선 및 크레인이 모사되어야 한다. 아래 Fig. 13에는 실제 대상 지원선 및 심해저 장비의 이미지와 이를 시뮬레이션을 위해 단순화시킨 모델을 나타내었다. 지원선은 박스 형태의 바아지로 가정하였고, 크레인은 2개의 body로 구성된 것으로 가정하였다. 이와 같은 HIL simulator를 모사하기 위해서 다물체계 동역학 과 부유체의 운동 해석 기능이 동시에 필요하다.



(a) Actual models



(b) Simplified models

Fig. 13 Actual and simplified models for AHC HILS

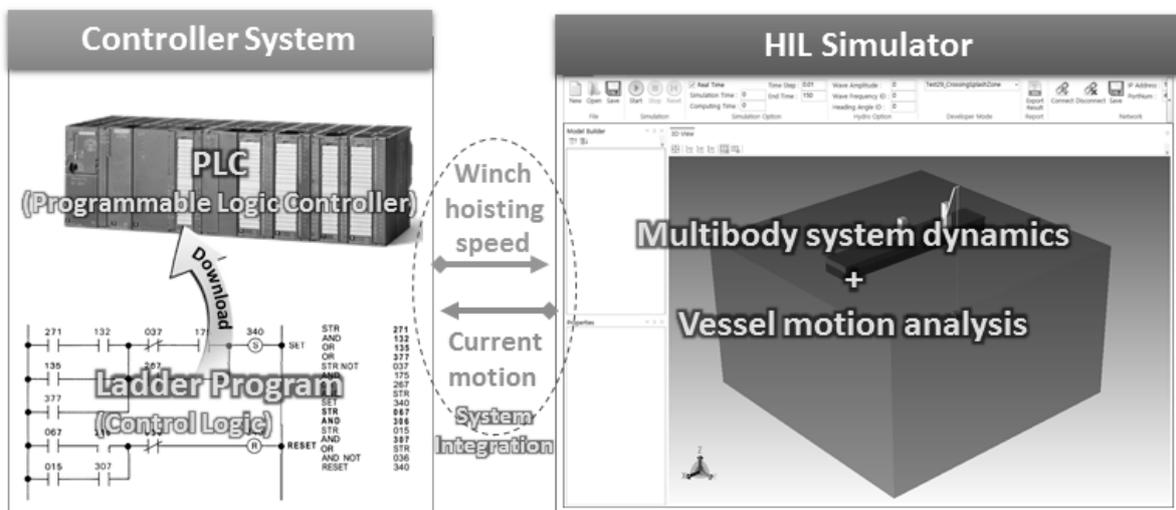


Fig. 14 System configuration for AHC HILS

제어 시스템과 HIL simulator의 동작 과정을 살펴보자 (Fig. 14 참고). 우선 HIL simulator는 매시간 해양플랜트 지원선의 위치와 자세가 계산한다. 이 정보는 제어 시스템의 입력되며,

내부에 구현된 제어 로직에 의해 winch에서 심해저 장비에 연결된 쇠파줄을 감거나 푸는 속도를 계산한다. 제어 시스템 으로부터 계산된 결과는 다시 HIL simulator로 전달되어 쇠파

줄의 길이를 조정한다. 이후 HIL simulator는 다시 외력을 고려하여 다음 시간에서의 해양플랜트 지원선의 위치 및 자세를 계산한다. 전체 시스템은 이러한 과정이 순차적으로 매시간 반복하면서 시뮬레이션을 수행한다.

한편, 제어 시스템과 HIL simulator 간 정보 교환을 위해서는 시스템 통합이 필요하다. 본 연구에서는 PLC에서 제공하는 COM(component object model)을 사용하여 PLC와 개발된 프로그램 간 정보 교환이 가능한 인터페이스를 개발하였다.

5. 결론

HILS 기술은 선박 및 해양플랜트 기자재 개발에 널리 활용될 수 있는 핵심 기술로서 해양플랜트 지원선 크레인 운용 및 AHC 등에 적용할 수 있다. 특히 해양플랜트 크레인 운용 시험 평가를 통해 크레인 제어기 개발 및 성능 평가, 작업자 훈련 등에 활용될 수 있음을 확인하였다.

AHC HILS는 크게 제어 시스템에 해당하는 PLC와 HIL simulator에 해당하는 해석 모듈로 구성되며, 두 시스템 간의 데이터 교환을 위해 별도의 인터페이스가 필요하다. 이러한 구성을 가지는 AHC HILS를 활용하여 해상 상태에 따른 제어 시스템의 성능을 분석할 수 있었으며, 비례-적분-미분 제어 로직을 사용할 경우에는 제어 파라미터의 조율(tuning)도 가능한 것을 확인할 수 있었다. 그리고 사전에 문제점을 점검하여 개발 시간을 단축시키고, 제어 시스템의 현장 적용 시점을 앞당길 수 있다는 점에서 다시 한 번 HILS의 필요성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

Lee, CH, Cha, JH, Park, JH, Kim, EK [Development of an Operation Simulator Prototype for Hardware-in-the-Loop Simulation of a Crane on an Offshore Support Vessel] (2015)

Ham, SH, Roh, MI, Kim, KS, Zhao, L, Ha, S [Integrated simulation framework based on multibody dynamics, realistic visualization, and hardware for shipbuilding production and offshore installation] (2015)

Ham, SH, Roh, MI, Zhao, L, Ha, S [Ship motion simulation in integrated environment of physics-based analysis, virtual reality, and motion platform] (2015)

Ham, SH, Roh, MI, Zhao, L, Li, X, [Collaborative simulation of the block turn-over operation based on multibody system dynamics and virtual reality] (2015)

차주환, 구남국, 박광필, 이규열 [부유체 위에서 회전하는 시스템의 다물체계 동역학 기반 운동방정식 구성] (2010)

차주환, 박광필, 구남국, 이규열 [연성된 과대 경사 각도를 고려한 부유식 구조물의 비선형 유체정역학 힘과 자세 계산] (2010)

차주환, 오승환 [해양플랜트 지원선 기자재 운용 시뮬레이터 구축 및 응용 분야 소개] (2013)

함승호, 김기수, 조로만, 이성, 노명일, 하솔 [물리 기반 해석-가상 현실-하드웨어 통합 시뮬레이션 기술 개발] (2015)

함승호, 노명일, 이성, 조로만 [조선 해양 분야 적용을 위한 해석, 하드웨어 및 가상화 기반의 실시간 시뮬레이션 방법] (2015)



차 주 환

- 1979년생
- 2002년 서울대학교 조선해양공학과 졸업
- 현 재 : 목포대학교 해양시스템공학과 조교수
- 관심분야 : 해양 설계, 다물체 동역학
- 연 락 처 : 061-450-2733
- E - mail : jhcha@mkpo.ac.kr



하 솔

- 1981년생
- 2003년 서울대학교 조선해양공학과 졸업
- 현 재 : 목포대학교 해양시스템공학과 조교수
- 관심분야 : 시뮬레이션, 해양공정시스템
- 연 락 처 : 061-450-2735
- E - mail : solha@mkpo.ac.kr



노 명 일

- 1974년생
- 1998년 서울대학교 조선해양공학과 졸업
- 현 재 : 서울대학교 조선해양공학과 부교수
- 관심분야 : 최적 설계, 시뮬레이션 기반 설계
- 연 락 처 : 02-880-7328
- E - mail : miroh@snu.ac.kr



함 승 호

- 1981년생
- 2007년 서울대학교 조선해양공학과 졸업
- 현 재 : 서울대학교 조선해양공학과 박사과정
- 관심분야 : 다물체계 동역학, 가상 현실
- 연 락 처 : 02-880-8378
- E - mail : hsh0930@snu.ac.kr



조 로 만

- 1990년생
- 2012년 목포대학교 조선공학과 졸업
- 현 재 : 서울대학교 조선해양공학과 박사과정
- 관심분야 : HILS, 제어
- 연 락 처 : 02-880-8378
- E - mail : luman@snu.ac.kr