

특집

선박/해양플랜트 생산성 및 품질 향상을 위한 HILS 기술

이광국, 박준수 (경남대학교), 김상현 (현대중공업(주))

1. 서론

액화천연가스운반선(Liquefied Natural Gas Carrier, LNGC), 셔틀탱커(Shuttle tanker), 드릴쉽(Drillship)과 같이 고부가가치 선박 및 해양플랜트일수록 자동화에 대한 선주의 요구가 다양하게 변화(Fig. 1)하고, Fig. 2와 같이 해양플랜트 공사에 적용되는 통합시스템의 복잡도가 증가할수록 소프트웨어의 오류 발생 빈도는 증가하고 있다. 향후 선박 및 해양플랜트 통합시스템 소프트웨어의 복잡도는 계속 증가할 것으로 예상되며, 이를 해상 시운전으로 대체하는 것은 한계가 있으므로 통합시스템의 고장 및 오작동을 테스트하기 위한 검증체계가 필요하다.

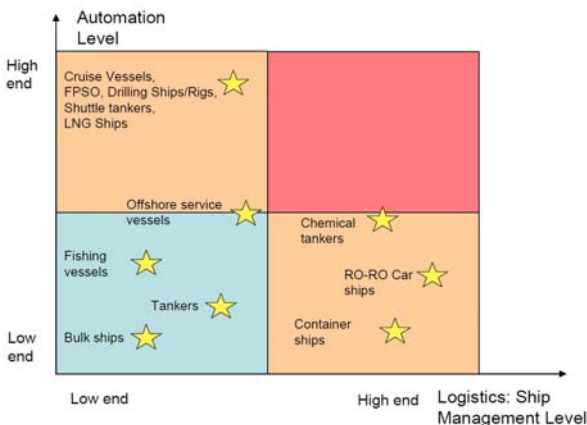


Fig. 1 Low-end and high-end market segments within automation and ship management(Sørensen 2013)



Fig. 2 High complexity of marine software

International Marine Contractors Association(IMCA)에서 발간한 "DP station keeping incidents" 보고서(2012)에 따르면 2010년 41척 중 DP(dynamic positioning) 관련사고가 56 회로 집계되었고, 사고의 주요 요인이 전기적 오류 21%, 컴퓨터 오류 11%, 전력문제 9%로 나타났다. 이로 인한 선박 및 해양플랜트에서 복잡한 제어 시스템의 안전 및 신뢰성이 주요 이슈로 자리매김하고 있다.

고부가가치선 및 해양플랜트의 통합시스템 신뢰성 향상을 위해 소프트웨어 및 하드웨어 테스트 검증체계인 SILS (Software In-the-Loop Simulation) 및 HILS (Hardware In-the-Loop Simulation)의 요구사항은 지속적으로 늘어나지만, 국내 관련 기업 및 연구소 단체에서 수행할 수 있는 기술력이 확보되지 않아 가격이 높은 해외 타 기관에 의뢰하고 있는 실정이다.

검증된 개별 시스템의 통합화 과정에 다수의 오류를 내포하게 되고, 통합 제어 소프트웨어에 대한 안전성, 신뢰성 부분 검증의 필요성이 강조된다. 특히 Fig. 3과 같이 개별 시스템에 대한 FAT¹⁾ 인증은 수행되지만 두 개 이상의 시스템 통합에 대한 인증 수행에는 많은 어려움이 동반되고 있다. 야드 건조 단계에서 소프트웨어 오류로 인한 공정 지연과 더불어 시운전 단계 또는 운영 단계에서의 시스템 다운은 더욱 치명적이다.



Fig. 3 Malfunction of the ballast system

1) FAT: Factory Acceptance Test

앞서 제기된 문제점을 개선하기 위해 ABS(American Bureau of Shipping), DNV-GL(Det Norske Veritas and Germanischer Lloyd) 등의 외국선급에서는 선박 또는 해양프로젝트에 적용되는 소프트웨어 기반 시스템 개발 및 각 시스템 통합 과정에 있어 검증 프로세스와 가이드라인을 제공하고 있다.

따라서 본 연구에서는 선급에서 제시한 선박 및 해양플랜트 시스템의 개발 프로시저를 되짚어 보고, 개발 과정에서의 HILS의 정의와 역할이 무엇인지 소개하고자 한다. 아울러 HILS 기술의 필요성 및 최신 개발 사례를 언급함으로써 앞으로 나아가야 할 방향을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 선박 및 해양플랜트 소프트웨어 이슈

International Council on System Engineering(INCOSE, 2012)은 시스템 개발 방법론으로 Fig. 4와 같이 V모형을 제안하고, 이에 따른 하드웨어 및 소프트웨어의 개발 프로시저를 선급에서도 차용하여 쓰고 있다. 소프트웨어 개발 프로시저를 중심으로 분석해 보면 하드웨어 개발 프로시저와 달리 Fig. 5와 같이 조선소에게 시스템 통합으로 인계 받기 전까지 소프트웨어를 테스트할 수 있는 기회가 주어지지 않는다.

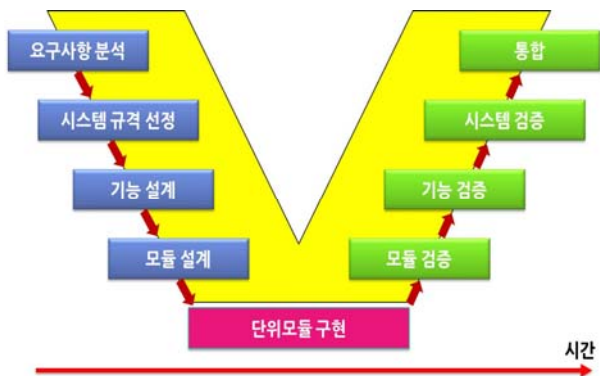


Fig. 4 System development process

FAT 단계가 되어서 비로소 소프트웨어의 구현된 모습을 볼 수 있고 안벽공정에 이르러서야 해당 시스템을 통합 테스트함으로써 오류를 찾는 시운전을 수행하게 된다. 소프트웨어에 대한 사전 검증이 이루어지지 않고 안벽공정에서 소프트웨어 통합테스트(SIT²⁾)를 함에 따라 타 시스템과의 인터페이스로

인한 소프트웨어 오류 등 다양한 문제들이 발생하게 된다. 이러한 요인으로 야드 측에서는 안벽공정이 증가하여 시간 및 비용 측면에서 손해를 보게 되고 선주 측에서는 제시기에 인도받지 못함에 따른 비생산적 손실에 직면하게 된다.

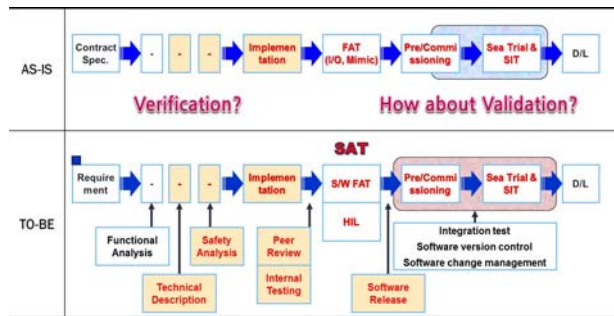


Fig. 5 Improved system development process

ABS-ISQM(Integrated Software Quality Management), DNV-ISDS(Integrated Software Dependent System) Notation (DNV 2012; ABS 2014)에 따르면 소프트웨어 개발 시 요구사항 분석, 기능분석, 기술설명, 안전요소 분석 결과를 공유함으로써 소프트웨어 검증 및 확인(Verification & Validation, V&V) 절차를 강화하고 있다.

개선된 절차는 건조 공정 후반부에 집중되는 소프트웨어 검증을 상기 두 규정에서는 Fig. 5와 같이 선행 단계에서부터 검증을 실시하여 소프트웨어 오류를 최소화하고 공정을 개선하고자 하는데 그 목적이 있다. 소프트웨어를 선행 단계에서 검증하기 위해서 발생하는 제약은 테스트 장비와 타 장비와의 인터페이스 부재에서 비롯되고, 이와 같은 제약조건을 극복하기 위하여 도입된 소프트웨어 검증 기법이 HILS이다.

HILS(Hardware In-the-Loop Simulation)는 복잡한 실시간 시스템을 개발 또는 테스트하기 위한 시뮬레이션 기법으로 HIL 시뮬레이션 또는 HIL 테스트도 같은 의미로 쓴다. 또한 이 시뮬레이션 기법(Wikipedia 2015)은 시험 대상의 제어상태를 효과적으로 테스트할 수 있는 플랫폼을 제공하고, 제어할 복잡한 대상은 시험 및 개발에 동적인 시스템 모델을 동작함으로써 시험 대상의 기능을 확인할 수 있다.

2.2 HILS 기반 소프트웨어 신뢰성 검증 프로세스

소프트웨어 신뢰성을 확보하기 위해 ISDS에서 제시한 개발 단계별 행위들을 Fig. 6에서 확인할 수 있다. 총 5단계로 나누

2)SIT: Software Integration Test

어지고, 조선소와 선주는 PQMP³⁾, Confidence level, Operation scenario, RAMS⁴⁾ criteria를 1단계에서 선정한다.

1단계에서 수립된 문건을 기반으로 각 시스템을 공급하는 제조사(Vendor)에서는 소프트웨어 관리에 관한 PQMP를 수립하고, 각 소프트웨어가 갖추어야 하는 기능을 FDD⁵⁾/TD⁶⁾에 기술한다. 그리고 운영시나리오(Operation Scenario)에 맞게 각 시스템의 운영 절차를 유스케이스로 나타낸다. FDD/TD, 유스케이스가 소프트웨어 구현에 주요 문서가 된다.

이후 아드와 선주가 결정한 추적 매트릭스에 맞춰 소프트웨어 코딩 및 내부 테스트를 수행하여 하드웨어 FAT 단계에 이르기까지 검증을 완료한다. 소프트웨어 검증은 소프트웨어 구현이 완료된 이후 SAT(Software Acceptance Test) 단계에서 SW FAT 또는 HIL test를 통하여 이루어진다. HIL test를 통하여 소프트웨어를 검증하는 경우 정상모드의 기능, 고장모드의 기능 뿐만 아니라 시나리오 기반 소프트웨어 테스트도 수행한다.

V&V 과정에서 통합 제어시스템의 소프트웨어 검증을 SI(System Integrator)인 조선소가 수행을 하고자 하는 경우 소프트웨어 코드는 공개되지 않은 환경에서 검증을 수행하여야 하고 앞서 언급한 테스트 환경의 제약 조건을 고려할 때 블랙박스 테스트의 성격을 지닌 HIL test가 소프트웨어 검증에 안전하고 효율적이다.

2.3 조선해양분야에서의 HILS 적용 사례

HIL의 장점으로 크게 세 가지로 분류될 수 있다. 첫째는 안정성 및 품질 향상 측면에서 HIL은 넓은 테스트 범위를 확보할 수 있고, 위험을 최소화할 수 있기 때문에 가혹환경 테스트 능력을 증가시킬 수 있다. 둘째는 제품에 대한 인도 일정을 최소화할 수 있다. 시운전 시 소요되는 검증 단계 단축시키고, 개발 초기의 요구사항에 대한 검증 및 확인이 가능하다. 셋째는 시스템 개발 비용 절약 측면으로 개발 주기를 앞당길 수 있을 뿐 아니라 시스템 개발 후 코멘트 감소로 인한 선주에 대한 신뢰를 확보할 수 있다(한국선급, 2013).

최근 HIL 시뮬레이션 기술은 타 산업에서도 널리 활용되고 있다. 특히 자동차를 비롯한 항공 산업에서 HILS의 활용이 대표적이다. MicroNova(Ragonesi et al, 2007)는 Fig. 7과 같이 LabVIEW FPGA⁷⁾를 응용하여 BMW 12 기통 Hydrogen 차량의 엔진 ECU⁸⁾를 테스트하는 HIL 시스템 구현하였고, 이를 통하여 차량을 개발하였다. 에어버스에서는 Fig. 8과 같이 랜딩 기어의 거동에 대한 모델링 및 시뮬레이션을 수행하였고, 조타기능, 전기적인 요소, 컨트롤 및 모니터링 시스템을 검증하기 위해 HILS 기술을 활용하였다(Verzichelli, 2008).

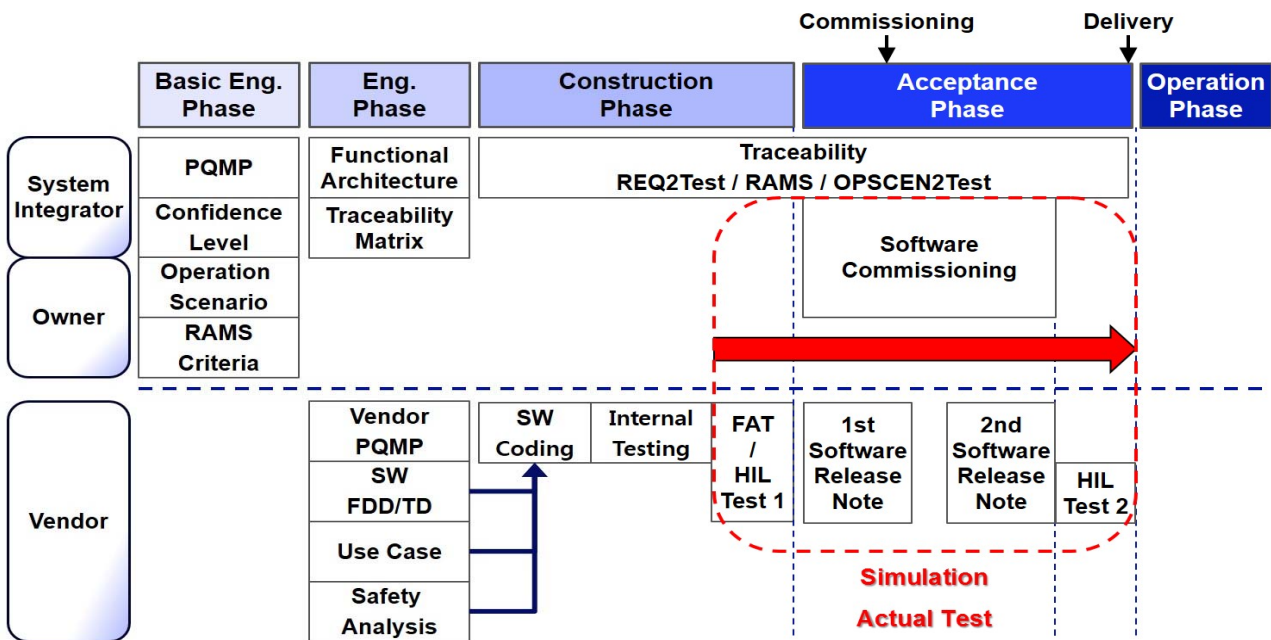


Fig. 6 Software quality assurance process with HIL

3) PQMP: Program Quantitative Management Plan
 4) RAMS: Reliability, Availability, Maintainability and Safety
 5) FDD: Functional Decomposition Diagram
 6) TD: Technical Description

7) FPGA: Field-Programmable Gate Array
 8) ECU: Electronic Control Unit



Fig. 7 HIL test system for BMW Hydrogen 7 (Ragonesi et al, 2007)

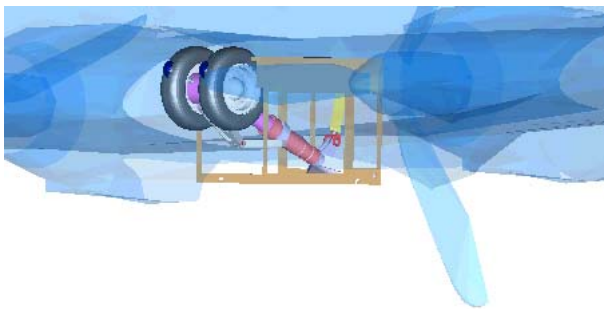


Fig. 8 Aircraft and Landing Gears Model with Steering System in Modelica-Dymola (Verzichelli, 2008)

조선해양 분야에서는 HILS 기술을 확보하고 HIL test를 수행하는 기업으로 Marine cybernetics가 손꼽힌다. Marine cybernetics는 2014년 DNV-GL로 합병되면서 기업의 진가가 부각되기도 하였다. 현재 해양 시스템이 여러 컴퓨터 기반의 제어시스템화 되어가고 있고, 하위 시스템간 통합화가 필수이기 때문에 HILS를 통해 선박 및 해양플랜트에 적용된 주요시스템에 대해서 신뢰성 확보를 위한 단계를 밟고 있다. 더불어 하드웨어 및 소프트웨어 성능에 대한 품질 보증 및 테스트 프로시저 개발도 같이 동반된다.

Marine Cybernetics는 dynamic positioning HIL testing을 비롯하여 다수 시스템에 대한 시뮬레이션 기술에 대한 DNV 인증을 받았다. DP-HIL은 2004년, PMS-HIL 관련은 2006년 수행하였고, 그 외 시스템들로 확장해 나아가고 있다. HILS기술은 MODU(Mobile Offshore Drilling Unit, 이동식 해상자원 시추선) 및 OSV(Offshore Support Vessel, 해양작업지원선)의 주요 장비로 적용되어지는 DP, PMS⁹⁾, Propulsion & Thruster(P&T) System testing 등에 주로 적

9) PMS: Power Management System

용이 되고 있으며, 일례로 Stena 드릴쉽 같은 경우에도 선주사 공급으로 1호선(DP only), 2호선, 3호선(DP, PMS System only)에 모두 적용하고 있는 실정이다.

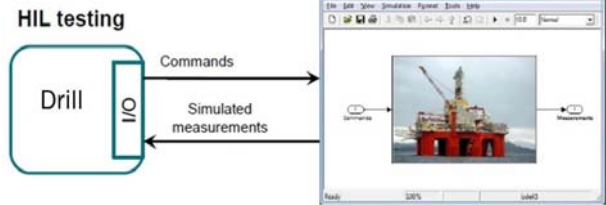
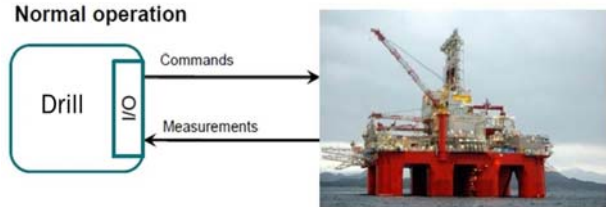


Fig. 9 Drill HIL test for Semi-Rig (Marine cybernetics, 2013)

현재 해양 분야에서는 HILS가 강제규정으로 아직 적용되지 않은 상태이고, 현재로서는 선주나 야드에서 요구 시에만 수행한다. 하지만 추후 선박 및 해양플랜트 자동화는 진행될 예정이므로 추후 조선소는 강제 규정화에 대비해야 한다. 그럼에도 불구하고 국내의 경우에는 HILS 기술을 상용화하여 실적은 가진 기업은 없다. 하지만 정부의 적극적인 지원으로 몇몇 기업은 DP HIL 사업을 수행한 바 있고, 현대중공업을 비롯한 3사에서도 HILS 기술 개발에 박차를 가하고 있다.

경남대(박준수, 2013)가 수행한 결과 보고서에 따르면 해양플랜트·조선 관련 지원 및 기술에 대한 필요성을 느끼는 기업은 300개 중 112개이고, 이 중 전담기관이 필요하다고 응답한 기업이 77개, 해양플랜트 관련 기자재 기술과 제품개발이 필요하다는 기업이 84개, 제어 및 모니터링 기술이 필요하다는 기업이 89개, HIL 및 SIL의 시뮬레이션 기술 필요 기업이 75개로 파악되었다.

특히, 4가지 모두를 필요하다고 응답한 기업은 48개로 조사되었고, 이들 기업은 선박 및 해양플랜트에 대한 관심도가 높은 기업으로 HILS 기술의 장점을 살려서 널리 알리는 전략

이 필요할 것으로 보인다. Table 1은 HILS 적용 분야로 해당 기술을 전문으로 하는 기업일수록 HILS 개발에 유리한 측면이 있을 것으로 사료된다.

분야	적용 (예)
선박 및 해양플랜트	<ul style="list-style-type: none"> • 동적자세 제어시스템 • 전력관리 시스템 • 조타 추력 및 추진시스템 • 시추 제어시스템 • 크레인 제어시스템 • 비상정지 시스템 • 선박관리 및 모니터링 시스템
자동차	<ul style="list-style-type: none"> • ECU 개발 및 시험 • 자동차 검증을 위한 가상현실 • 자동차 동적 제어시스템 • 브레이크 동역학
항공기 및 인공 위성	<ul style="list-style-type: none"> • 인공위성 위치 제어시스템 개발 및 검증 • 항공기/헬리콥터 비행 제어 시스템 • 무인항공기 제어시스템
발전	<ul style="list-style-type: none"> • 태양광 패널 제어시스템 개발 및 검증 • 발전소 내 제어시스템 검사

3. 결론

본 연구에서는 선급에서 제시한 선박 및 해양플랜트 시스템의 개발 프로시저를 되짚어 보고, 시스템 개발 과정상에서의 HILS의 정의와 역할이 무엇인지 소개하였다. 아울러 HILS 기술의 필요성 및 최신 개발 사례를 언급하였듯이 HILS 기술은 앞으로도 다양한 분야에 적용 가능할 것이다. 따라서 현재 단위 시스템에 머물러 있는 HILS 과제에서 벗어나 Fig. 10과 같이 선박 및 해양플랜트의 통합시스템에 대한 HILS 기술에 대한 연구 및 상용화가 필요할 것으로 사료된다.

선박 및 해양플랜트에 대한 HILS를 활용한 테스트는 선박이나 해양플랜트의 설계 초기 단계나 제작 도중 또는 운용 중 제어시스템의 설계 오류나 오작동 등을 진단하고 성능을 평가하고, 그 결과로 성능 분석을 포함해 오작동으로 인한 사건이나 사고의 발생을 미리 방지할 수 있다. 또한 인벵공정에서 수행하는 시스템 통합의 전통적인 검사 방법과 비교하여 막대한 비용절감효과를 줄 수 있기 때문에 선사 및 선주들의 커다란 관심을 받고 있다. 나아가 HILS 기술은 자동차, 항공기 및 발전소 등 타 분야에도 적용 시 해당 제어시스템의 안전성, 신뢰

성 및 성능 평가에 대한 컨설팅이 가능할 뿐만 아니라 선박 및 해양플랜트 건조/시운전/설치/유지보수 등의 고부가가치 시장진출 및 기자재 국산화를 향상에 기여할 것으로 기대된다.

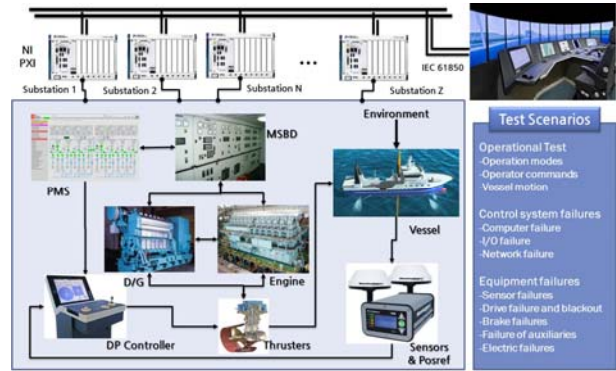


Fig. 10 Integrated PMS HIL Simulator

참고 문헌

ABS [INTEGRATED SOFTWARE QUALITY MANAGEMENT (ISQM)](2014)
 Asgeir J. Sørensen [Marine Control Systems] (2013)
 DNV [Offshore standard DNV-OS-D203: Integrated software dependent systems (ISDS)] (2012)
 International Marine Contractors Association [DP station keeping incidents] (2012)
 International Council on System Engineering [Systems Engineering Handbook] (2012)
 International Marine Contractors Association(IMCA) [DP Station Keeping Incidents] (2012)
 Wikipedia, <https://ko.wikipedia.org/wiki/HILS>
 박준수 [해양플랜트, 조선 ICT 융합 산업진흥원 기반 구축 사업 타당성 조사] (2013)
 (사) 한국선급 [HILS 적용분야: (사) 한국선급 녹색산업기술원 뉴스레터 2013-3호] (2013)



이 광 국

- 1976년생
- 2008년 서울대학교 조선해양공학 박사
- 현 재 : 경남대학교 조선해양공학과 조교수
- 관심분야 : 생산관리, HILS, M&S, PLM
- 연 락 처 : 055-249-2583
- E - mail : kklee@kyungnam.ac.kr



박준수

- 1970년생
- 2005년 부산대학교 조선해양공학과 졸업
- 현 재 : 경남대학교 조선해양T공학과 조교수
- 관심분야 : 파랑모니터링, 유체충격, M&S
- 연 락 처 : 055-249-2655
- E - mail : unsoopark@kyungnam.ac.kr



김상현

- 1981년생
- 현 재 : 현대중공업 의장시스템연구실 팀장
- 관심분야 : System Integration, HILS
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : sanghyun_kim@hhi.co.kr

국제논문집 Elsevier와 연계 발간

회원 여러분의 적극적인 관심과 성원에 힘입어 우리 학회의 국제논문 International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering이 꾸준히 성장하고 있습니다.

우리 IJNAOE는 앞으로 더 큰 도약을 이루고자 2016년부터 학술지 전문 해외 출판사인 Elsevier와 연계하여 논문집을 발간하기로 하였습니다. 따라서 논문집의 온라인 발간에 Elsevier의 앞선 시스템과 마케팅을 활용할 수 있게 되었습니다.

이에 IJNAOE의 홈페이지가 새단장 되었으며, Elsevier의 선진화된 온라인 논문 투고 시스템을 사용하게 되었습니다. 앞으로 IJNAOE에 많은 논문 투고 부탁드립니다.

<http://ijnaoe.org>