

특집

선박 해양플랜트용 위치 제어시스템 소프트웨어 신뢰성 평가

김상현, 장광필 (현대중공업㈜),
천상규, 김주원 (PANASIA), 이광국 (경남대학교)

1. 서론

1.1 통합제어시스템의 특징

최근 건조 되는 선박 및 해양플랜트의 경우 자동화 시스템의 적용 범위가 확대되고 있으며, 다수의 시스템이 통합제어시스템을 중심으로 통합, 원격 운전되는 특성을 띠고 있다. 시스템 통합 정도와 복잡도는 정량적인 수치인 I/O Point로 가능할 수 있는데 초대형 컨테이너선의 I/O Point가 1,500~2,000, LNG 운반선 6,000~7,000, LNG FSRU 12,000, Drillship 16,000 정도 수준으로 Drillship의 경우 초대형 컨테이너선의 대략 10배에 달하는 수치이다. 시스템의 복잡도가 증가한 것에 비례하여 시스템 자체에 오류를 내포할 가능성이 높아졌으며, 다수의 시스템을 통합하는 과정에서 잠재적인 오류도 증가하고 있다. 이러한 오류들은 각 시스템의 설치가 완료된 이후 커미셔닝 단계의 시스템 통합 테스트(Integration Test) 과정에서 발견되어 안벽 공정 지연의 주요 원인으로 작용되고 있다.

기존 건조 공정을 살펴보면 Fig.1에서 볼 수 있듯이 기기 장비와 같은 하드웨어에 대해서는 시스템 발주에서 설계, 테스트까지 체계적으로 조선소에서 관리가 된다.

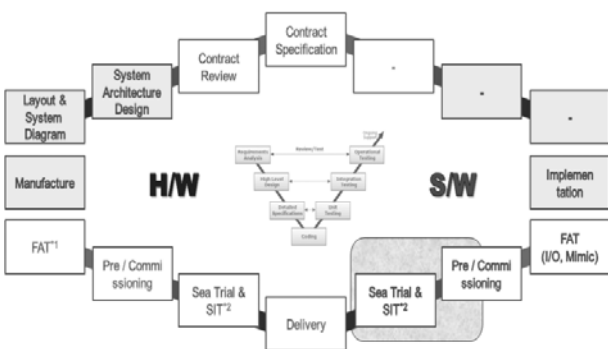


Fig. 1 선박 건조 공정 과정

이와 반면 통합제어시스템의 경우 발주 후 소프트웨어 설계, 구현이 시스템 공급업체에 의하여 수행되고 SW FAT(Factory Acceptance Test)에서 일부분의 기능만 검사가 진행되고 대부분의 소프트웨어 기능 검사는 건조 공정 후반부에 집중적으로 이루어진다. 소프트웨어 관련 일련의 건조 공

정 과정에서 주체는 조선소이기보다 통합제어시스템 공급업체인 것이 현재의 실상이다.

1.2 HIL 테스트의 필요성

공정 후반부에 집중되는 통합제어시스템 소프트웨어 에러를 개선하기 위하여 DNV-GL, ABS 선급에서는 ISDS(Integrated Software Dependent System), ISQM(Integrated Software Quality Management)와 같은 소프트웨어 규정을 제정하여 현재 다수의 MODU(Mobile Offshore Drilling Unit) 프로젝트에 적용하고 있다. ISDS, ISQM 규정은 선박, 해양 플랜트에 적용되는 소프트웨어 기반 시스템 개발 및 각 시스템 통합 과정에 있어 설계(Design), 건조(Construction), 커미셔닝(Commissioning), 시운전(Sea Trial), 운용(Operation) 각 단계에서 필요한 소프트웨어 개발, 검증 관련 가이드라인을 제공한다. 두 규정의 핵심적인 부분은 통합제어시스템의 선행 테스트를 통한 시스템의 신뢰성 향상이다.

선박, 해양플랜트의 경우 기존의 소프트웨어 개발 산업과 달리 다음과 같은 특성이 있다. 통합제어시스템 내부의 소프트웨어를 개발하는 주체와 이를 검증하여야 하는 주체가 상이하다는 점이다. 이로 인하여 소프트웨어 검증은 Black-box 테스트를 하여야 한다. 환경조건의 제약, 안전상의 문제로 테스트를 할 수 없는 소프트웨어 기능이 있다. 대형설비가 통합제어시스템에 의하여 제어되는데 테스트 과정에서 소프트웨어 상에 에러가 발생하게 되면 기기의 손상, 안전사고를 유발할 수 있어 본선에서의 소프트웨어 검증은 상당한 위험요인이 도사리고 있다. 이러한 산업의 특성을 고려해볼 때 현재 자동차, 항공 산업에서 광범위하게 활용되고 있는 HIL(Hardware-In-the-Loop) 기술이 통합제어시스템 소프트웨어 검증에 사전테스트 방법으로 가장 현실적인 대안이다.

HIL은 제어 대상 하드웨어(자동차, 항공기, 선박, 기계)를 가상의 모델로 구현하고 이를 제어하는 실제 제어시스템을 시험 플랫폼에 연동시켜 실시간 시뮬레이션을 하는 기술이다. 일반적으로 HIL은 복잡한 로직, 프로세스를 가진 시스템을 개발하고 시험할 때 사용되며 제어시스템의 유효성 및 안정성, 성능을 평가하는 기술이다. 조선/해양 산업에서 HIL 테스트는 현재 노르웨이 Marine Cybernetics가 독점하고 있으며 DP(Dynamic Positioning) HILLS를 포함하여 총 10여개의 통합

제어시스템에 대한 HIL 테스트를 제공하고 있다. Marine Cybernetics는 2004년 “Viking Poseidon” OSV(Offshore Support Vessel)의 DP HIL 테스트를 시작으로 2010년까지 대략 50여척의 선박/해양플랜트의 HIL 테스트를 독점적으로 수행하였으며 테스트 당 약 10억 수준의 비용이 소요된다.

HIL는 일반적인 시뮬레이션과 달리 제어시스템에 의하여 구동되는 가상의 모델이 실제 구동과 유사성 여부가 중요하다. 이를 특성을 고려해 보았을 때 현재 조선/해양 산업에서 활용되고 있는 HIL 테스트 중 DP(Dynamic Positioning) HIL, PMS(Power Management System) HIL을 국산화하는 것이 시장에서 경쟁력을 가질 것으로 판단된다. 본고에서는 Shuttle Tanker, OSV, Drillship, Semi-Rig 등과 같이 해상 작업을 위하여 특정 위치를 유지하는데 적용되는 DP 시스템을 위한 DP HIL에 대해 살펴보고자 한다.

2. DP System의 기능 및 구성

HIL 테스트는 일반적으로 Fig.2와 같이 Control system, Simulation of actuators, Simulation of sensors, Real-time model로 구성된다.

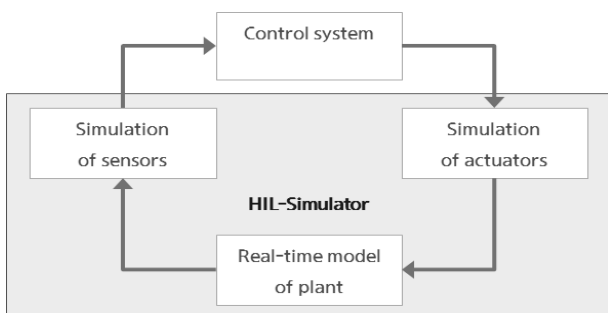


Fig. 2 Schematic diagram of a HIL-Simulation

DP HIL의 경우 Control system 부분은 본선에 설치되는 실제 DP Controller가 되고 Simulation of actuators는 DP Controller에 의해서 제어가 되는 Thruster가 이에 해당한다. 선박/해양플랜트에 미치는 가상의 환경외력과 Thruster의 구동에 의한 추력에 의한 운동을 모사하는 부분이 Real-time model이 된다. 선박/해양플랜트의 위치 센서, 선수방향 센서, 모션 센서가 Simulation of sensors에 해당한다. DP HIL의 구성요소는 크게 DP Controller 부분과 Sensor, Actuator, Real-time model이 구현되어 있는 HIL 시뮬레이터 부분으로 나뉜다.

DP HIL 시뮬레이터를 구현하기 위해서는 먼저 대상 시스템인 DP Controller의 주요기능, 시스템구성, 인터페이스 분석이 필요하다. DP 시스템의 주요 기능은 바람, 해류, 파랑에 의하여 선박, 구조물에 발생하는 외력에 대하여 Thruster 및 Propeller와 같은 추진기를 이용하여 설정된 위치와 선수 방향을 유지하는 것이다. ABS ‘Guide for thrusters and dynamic positioning systems’ 규정에 의하면 DP 시스템은 다양한 환경 외력에 대하여 자동 또는 수동으로 중앙에서 제어하여 특정 범위 내에서 선박의 위치와 선수방향을 유지시키는 Hydro-dynamic System으로 정의된다.

Fig.3은 DP 시스템의 전체 간략 구성도 이며 DP 시스템을 구성하는 주요 제어시스템은 DP Control, PMS, Thruster Control이다. DP Control부는 특정 위치와 선수를 유지하기 위하여 환경외력에 대응하는 Thruster 추력과 각도를 계산하여 Thruster Control로 커맨드를 전송하는데 이때 유효전력 값 이상으로 Thruster 가동할 경우 발생하는 선내 Blackout을 방지하기 위하여 PMS로부터 유효전력 값을 수신하여 소요전력이 유효전력을 초과하지 않도록 Thruster 추력과 각도를 설정하는 DP 시스템의 핵심 요소이다. 위에서 언급한 DP Controller는 Fig. 3의 DP Control을 의미한다.

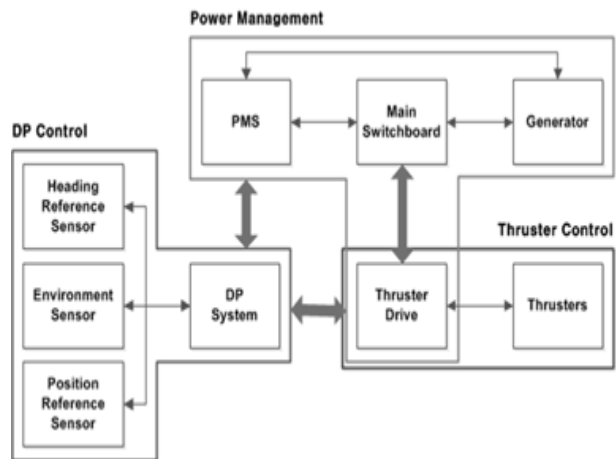


Fig. 3 Basic system configuration of DPS

DP 시스템에서 DP Controller의 주요 기능을 정리하면 다음과 같다. DP HIL 시뮬레이터는 아래에 열거된 DP Controller의 기능을 정상모드와 고장모드에 대한 테스트를 수행할 수 있어야 한다.

- Station keeping function
 - Station keeping

- Joystick
- Auto position and auto heading mode
- Approach
- Environment force compensation
- External force compensation
- Dead reckoning
- Thruster function
 - Thruster allocation
 - Force and moment calculation
- Sensor function
- Position reference system function
- Power function
 - Power load monitoring
 - Blackout prevention function
- HMI & Alarm
- Network performance

DP Controller의 상세 인터페이스는 Fig.4와 같다. 1~3은 센서부로 선박/해양플랜트의 종류에 따라 일부 차이가 발생한다. 센서는 선수센서, 위치센서, 환경 센서 등이 있다. 7번인 Riser Angle 인터페이스는 Drilling, Production 기능이 있는 선박/해양플랜트의 경우에만 적용된다. 6번인 외부 제어시스템과의 인터페이스이며 PMS, IAS(Integrated Automation System), Thruster Control과 DP Controller는 인터페이스 된다. 상기 DP Controller의 주요 기능 테스트를 위해서는 최소한 센서부의 1,2,3과 외부 제어시스템 부분인 PMS, Thruster 부분은 DP HIL 시뮬레이터로 구현되어야 한다.

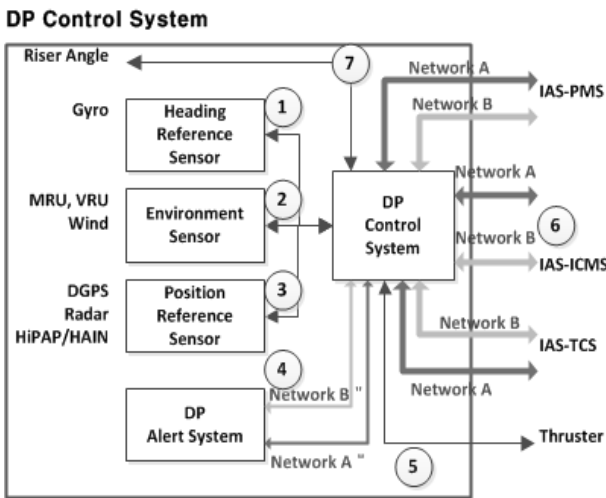


Fig. 4 Interface of DP controller

3. DP HIL Simulator

DP Controller의 HIL 테스트를 위하여 DP HIL 시뮬레이터는 Fig.5와 같이 PMS, Thruster 시뮬레이터(①), 네트워크 통신 모듈(②), 센서 시뮬레이터(③), 가상 선박/해양플랜트 시뮬레이터(④) 구성된다.

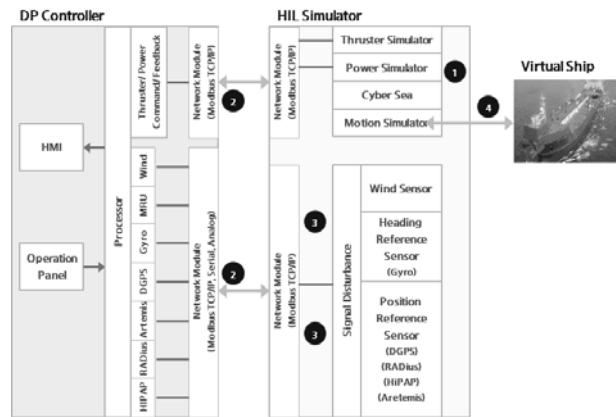


Fig. 5 DP HIL simulator – Concept design

DP Controller는 Thruster 구동과 Blackout 방지를 위하여 PMS 시뮬레이터로부터 Generator power, Breaker, Bus-tie breaker, Thruster breaker, Thruster load 정보를 입력 받는다. 따라서 PMS 시뮬레이터 모듈에서는 Generator, Bus-tie, Switchboard break 설정이 각 테스트 환경에 맞추어 설정이 가능하여야 한다.

Thruster 시뮬레이터는 DP Controller로부터 RPM / Pitch /Load /Force /Azimuth Angle 커맨드를 수신하여 가상 선박/해양플랜트 시뮬레이터 상에 가상 선박의 운동 시뮬레이션으로 연결한다. 그리고 Thruster 시뮬레이터는 DP Controller로부터 받은 커맨드에 대하여 Feedback 신호를 DP Controller에 송신하여야 한다. Thruster 고장모드 테스트를 위하여 Thruster 시뮬레이터에서 DP Controller로부터 수신 받은 커맨드와 차이가 나는 값을 Feedback을 할 수 있어야 한다. Thruster 시뮬레이터에는 DP Controller의 커맨드 대비 추력 정보를 입력해주어야 하며 Thruster의 모터 응답속도와 Rotating angle speed를 시뮬레이터에 반영하는 경우 실제 거동과 유사성을 높일 수 있다.

네트워크 통신 모듈 부분은 DP Controller와 DP HIL 시뮬레이터 간의 인터페이스를 위한 모듈이다. 이는 HIL 테스트 대상 시스템의 통신 프로토콜과 I/O에 맞게 HIL 시뮬레이터를 구현하여야 한다. 통신 모듈 부분은 DP Controller를 공급하

는 제조사, 프로젝트, 모델별로 차이가 있으므로 HIL 시뮬레이터를 이에 맞게 수정하여야 한다. DP Controller와 HIL 시뮬레이터를 인터페이스 하는 방안은 3가지가 있다. Fig.6 a)는 실제 선박/해양플랜트에 설치되는 구성과 유사하게 하는 것이다. 센서 시뮬레이터를 제외한 DP HIL 시뮬레이터는 DP Controller의 I/O Module과 인터페이스 되어 통신을 하는 것이다. 일반적으로 센서값은 Serial 통신으로 DP Controller에 인터페이스 되므로 센서 시뮬레이터는 DP Controller에 직접 인터페이스를 하는 방안이다. Fig.6 b)는 DP Controller에 DP HIL 시뮬레이터용 인터페이스 모듈을 설치하는 것이다. 이는 앞에서 언급된 DP Controller의 제조사, 모델, 프로젝트마다 변경되는 인터페이스 부분을 DP HIL 시뮬레이터와 분리함으로써 소프트웨어 수정으로 인한 시뮬레이터의 오류를 최소화할 수 있으나 DP Controller 제조사의 지원이 필요하다. 마지막으로 Fig.6 c)의 방안은 a)의 I/O Module을 거치지 않고 DP Controller에 해당 부분을 소프트웨어로 구현하여 DP HIL Simulator와 인터페이스하는 방안이다.

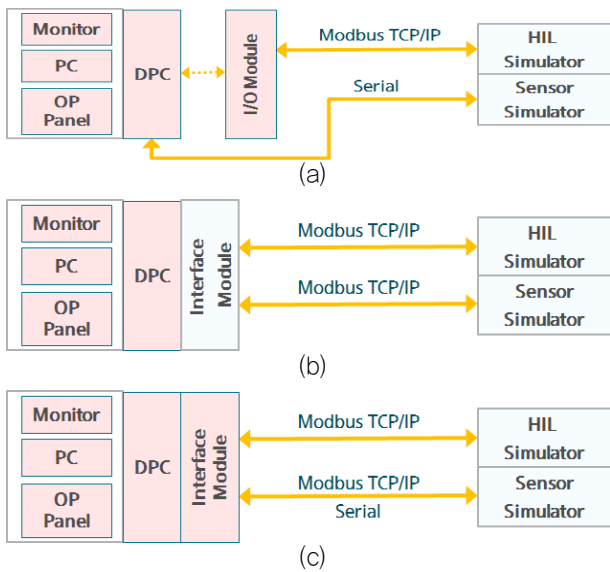


Fig. 6 DP HIL simulator ↔ DP controller interface

가상 선박/해양플랜트 시뮬레이터는 환경외력, Thruster의 추력에 의한 가상 선박/해양플랜트의 동적운동을 시뮬레이션 한다. General arrangement, Lines를 이용하여 선박/해양플랜트를 모델링하여 다양한 환경 외력 조건에 대한 전처리를 통하여 데이터를 생성한 후 시뮬레이션 시 실시간으로 특정 환경 조건에 해당하는 정보를 로딩 하여 동적 운동을 가상으로 묘사하게 된다. HIL 테스트는 일반적인 시뮬레이션과 달리 실제 선박/해양플랜트의 운동과 시뮬레이션 상의 운동의 유사

성이 중요하다. 운동 시뮬레이션을 위한 상세 내용은 본 특집 기고의 "해양환경 시뮬레이션"을 참조하기 바란다.

센서시뮬레이터는 DP Controller에 인터페이스 되는 센서를 가상으로 구현한 것으로 실제 센서와 동일한 주기로 DP Controller에 센서시뮬레이터가 신호를 전송한다. 센서의 종류는 선종에 따라 약간의 차이가 발생하나 Shuttle Tanker 기준으로 구현되어야 하는 센서의 종류는 다음과 같다.

- DGPS
- DARPS
- Artemis
- RADIUS
- HIPAP
- Wind
- Gyro
- MRU
- Hawser Tension

센서시뮬레이터에서는 센서 상에 발생 할 수 있는 신호 왜란을 발생시킬 수 있어야 하며 대표적으로 Signal Freeze, Ramp, Bias, Wild-point등이 있다. DP Controller에서 동일한 센서 값이 계속 입력되는 경우도 Signal Freeze로 간주하므로 센서시뮬레이터에서는 센서 값에 미미한 변화를 주어야 한다.

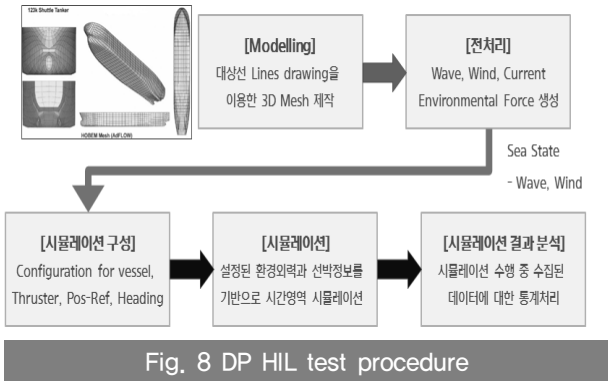
Fig. 7 Sensor simulator

DP Controller는 센서의 고장에 대비하여 동일한 복수의 센서로부터 값을 입력 받아 운용되는데 두 개의 센서 값이 정의된 오차 범위를 넘어서는 경우, 입력되는 센서 값이 2초 이상 오류가 있는 경우에 "Sensor prediction error", "Sensor dropout"과 같은 알람을 발생시킨다. 이와 같은 경우 정상 모드의 센서로부터 신호가 입력될 수 있도록 변경하거나 내부 모델의 센서 값을 이용하는데 이를 센서 시뮬레이터를 통하여 확인할 수 있어야 한다.

현재 상용 DP Controller의 세부기능까지 HIL 테스트하는 것을 고려해 보았을 때 내부 분석에 의하며 DP HIL 시뮬레이터는 약 280가지의 기능이 구현이 필요하다.

DP HIL 테스트는 앞서 소개한 DP HIL 시뮬레이터와 테스트 프로그램으로 구성되는데 테스트 프로그램은 DP

Controller의 Function description, DP operation philosophy, 선주측에서 요구하는 Operation scenario, Failure scenario, 마지막으로 FMEA test procedure를 기반으로 생성한다. DP HIL 테스트의 전체적인 절차는 Fig. 8을 참조하기 바란다.



5. 결론

본고에서는 조선/해양산업에서의 HIL 필요성을 피력하고 조선/해양산업에 적용되는 다양한 HIL 테스트 중 DP HIL 테스트를 위한 시뮬레이터 구현에 관하여 기술하였다.

DP HIL 시뮬레이터의 핵심요소는 가상 선박/해양플랜트의 동적 운동을 모사할 수 있는 운동 해석 모듈 부분과 실제 DP Controller와의 인터페이스 파트이다. 첫 번째 부분 관련하여 국내 조선소의 경우 다수 선박의 DP 성능 평가와 시운전을 수행하므로 다양한 선박에 대한 정보가 축적되어있다. 이는 해당 정보를 활용할 경우 가상 선박의 운동과 실제 선박의 운동 간의 오차를 최소화할 수 있음을 의미한다. 두 번째 부분은 국내에 DP Controller 제조사의 부재로 다소 해당 정보를 파악하기에 어려움이 있으나 유관 문서가 조선소에 도면으로 제공되므로 현재 조선/해양산업에 적용되고 있는 HIL 시뮬레이터 중 DP HIL 시뮬레이터는 국내 기술로 도전을 해볼 만한 부분이다. 단시간 내 경쟁력 있는 DP HIL 시뮬레이터 개발을 위해서는 운동해석, 시뮬레이터 소프트웨어, DP 시스템등 해당 분야의 전문가 조합이 필요하며 이를 뒷받침해 줄 연구 인 프라 조성이 필요하다. DP HIL뿐만이 아니라 다양한 HIL 시뮬레이터가 국내 기술로 개발되어 해당 통합제어시스템에 활용된다면 통합제어시스템의 설계, 테스트 방법이 개선되어 현재 조선소가 직면하고 있는 공정 지연, 기본 설계 역량 부족을 일부 해소할 수 있을 것으로 기대한다.

참고 문헌

Basics of Dynamic Positioning, DYNAMIC POSITIONING CONFERENCE (1998)
 Christian Graf [Real-time HIL-Simulation of Power Electronics] (2008)
 David Bray [Dynamic Positioning] (2011)
 Hardware-in-the-loop testing of marine control systems, MODELING, IDENTIFICATION AND CONTROL (2006)
 [(사) 한국선급 녹색산업기술원 뉴스레터 2013-3호] (2013)



김 상 현

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



장 광 필

- 1969년생
- 현 재 : 현대중공업 의장시스템연구실 실장
- 관심분야 : 신뢰성 해석, 선박 가스시스템
- 연 락 처 : ***-***-****
- E - mail : kpchang@hhi.co.kr



천 상 규

- 1972년생
- 현 재 : (주)파나시아 부설연구소 연구소장
- 관심분야 : 전기공학
- 연 락 처 : ***-***-****
- E - mail : nd@worldpanasia.com



김 주 원

- 1976년생
- 현 재 : (주)파나시아 소프트웨어개발팀 실장
- 관심분야 : 컴퓨터 공학
- 연 락 처 : ***-***-****
- E - mail : nd@worldpanasia.com



이 광 국

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