해양플랜트 환경모사를 위한 실증시험 시스템 구축에 관한 연구

(Study on the Control System of Verification Test for Offshore Installation Simulation)

주휘동*, 김태오*, 강규홍*, 하연철**

(H.D. Ju, T.O. Kim, G.H. Kang, Y.C. Ha)

요약

해양플랜트에 대한 설계 엔지니어링 기술을 확보하는데 있어 신뢰성 있는 평가 수행이 중요한 위치를 차지하고 있다. 국내 해양플랜트 공정설계 및 기본설계기술의 자립화를 위해서는 신뢰성 평가 기반의 설계검증 기술개발이 필요하고, 이를 위해 신뢰성 있는 실증실험 데이터 확보가 중요한 요소이다. 따라서, 신뢰성 있는 데이터를 확보하기 위해서는 해양플랜트 환경모사 실증시험 시스템이 구축되어야 한다. 본 연구에서는 해양플랜트 공정모듈 환경모사 시스템 구성을 위한 환경제어 및 측정변수 분석과 도출된 변수를 기반으로 데이터 수집장치 및 제어시스템의 설계 계획안을 연구한다.

■ 중심어 : | 해양플랜트 | 실증시험 | 데이터수집장치 | 제어시스템 |

Abstract

A reliable test of offshore plant hold a key post in offshore engineering technology. The offshore self-supporting of process module design and basic design technology needs engineering verification based on the reliable test. And also reliable verification test data is very important. Therefore, verification test system for offshore installation simulation is necessary. This paper explains design of data acquisition system and control system based on the parameter of measured and controlled variable which is for establishing offshore installation simulation system.

■ keyworld : | Offshore Plant | Verification Test | Data Acquisition System | Control System |

Ⅰ. 서 론

해양플랜트는 해저 유전 또는 가스전의 개발 및 석유 또는 천연가스를 생산/저장하는 해상 생산시설을 말하며, 각종 생산시설들이 설치된 Topside(상부구조)와 물속에 잠겨서 Topside를 지지하는 Hullside(선체구조)로 구성되어 있다.

해양플랜트 제품은 선박 시장에서의 중국의 강세를 만회할 한국 조선해양산업의 주력 고부가가치 제품으로 금융위기 이후에도 심해유전 개발의 수요 증가와 천연가스 수요 증가 및 국제유가 상승 등으로 발주량이 꾸준히 증가하고 있는 실정이다.

해양플랜트 Topside는 한정된 공간을 최대한 활용하기 위해 각종 생산설비들이 밀집되어 설치되어 있으며, 운전 중 발생할 수 있는 작은 사고가 심각한 해양오염과 인명 및 재산 손실을 야기하는 대형사고로 이어질 수 있기 때문에 초기설계 단계에서부터 발생 가능한 각종사고에 대한 위험도 기반 엔지니어링 기술이 필수적으로 적용되고 있다.

최근 해양플랜트 설계 엔지니어링 기술의 개발동향을 살펴보면 사고 영향을 정량적으로 분석하여 사고 위험도를 계량화하기 위해서 전산유체역학(CFD)기술과 비선형 유한요소해석(Nonlinear Finite Element Analysis) 기술의 적용이 요구되고 있으며, 모형시험결과 및 사고사례 등의 실증데이터를 활용해 신뢰성을 확보하고 있는 추세이다[1][2][3].

이러한 신뢰성 데이터 확보를 위해 사고 영향의 정량적 분석과 수치시뮬레이션 그리고 실증시험에서 수집된 정보는, Topside 공정설계 및 기본설계를 위한 근간이 되며 고위험 사고에 대한 엔지니어링 기술의 확보를 위한 신뢰성 있는 데이터가 될 수 있다.

본 논문은 설계 엔지니어링 기술의 바탕이 되는 신뢰성 있는 실증시험 데이터 확보를 위한 시스템 구성에 관한 것으로서 실증시험 데이터 수집, 사고 발생 환경모사 제어 시스템 설계를 위한 환경제어 및 측정변수 도출, 도출된 각 변수에 의해 기능별 구성요소 설계와 통합 모니터링 구축 등 단계별로 설계방안을 연구하고자 한다.

* 정회원, 한국조선해양기자재연구원 그린전력IT연구센터

**정회원, 부산대학교 선박해양플랜트기술연구원

이 논문은 지식경제부 산업융합원천기술개발사업으로 지원된 연구임.(10041090, 해양플랜트 Topside 고위험 사고 실증을 통한 QRA 기반 설계검증 기술개발)

접수번호 : #2012-02-21-0006

접수일자 : 2012년 02월 21일

심사완료일 : 2012년 03월 23일

교신저자 : 주휘동, e-mail : hdju@komeri.re.kr

Ⅱ. 본 론

국내 조선 및 해양플랜트 분야 기자재 산업은 시장의 높은 진입장벽과 기술력에서 선진사의 적게는 5년에서 10년의 기술력차를 보이고 있다. 이는 국내 조선-해양플랜트 기자재업체의 기술적인 측면뿐만 아니라 개발하고자 하는 제품의 성능 측정을 위한 인프라가 부족한 원인 중에 하나이다. 또한, 국내 해양플랜트 엔지니어링 기술에 대한 전반적인 이해 및 경험이 부족하고 기자재의 경우 90%이상 수입에 의존하고 있으며 핵심부품의 경우 해외의존도가 매우 높아, 엔지니어링 기술개발에 필요한 인력, 시험·인증 인프라 및 실증 DB의 개발이 필요한 시점이다[4].

1. 해양 플랜트 공정모듈 환경모사 제어 시스템

본 장에서는 해양플랜트 엔지니어링 기술의 바탕이 되는 신뢰성 있는 실증시험 데이터 확보를 위한 해양플랜트 공정모듈 환경모사 제어시스템 구성으로써, 실증시험 데이터 수집과 사고 발생을 위한 환경모사 제어 시스템 설계에 대하여 논의한다.

가. 환경 제어변수 분석 및 측정변수 도출

데이터수집 및 제어 시스템을 통해 실제 환경 모사를 위한 환경제어변수 분석과 측정변수를 도출한다.

첫째, 환경제어변수는 제어 모듈의 기능에 따른 컴포넌트 구성요소와 밀접한 관련이 있으며, 실제 환경과유사한 환경모사를 수행 하는데 중요한 요소가 된다.

제어변수 도출을 위한 모듈 리스트는 고압 밸브, 가스 및 워터펌프, 액츄에이터, 제어 동력반 및 계장장치, 점화원 발생장치, 전기설비 등이 있다. 이러한 제어 관련 모듈 또는 시스템은 환경모사에 대한 최적의 제어 수준을 유지할 수 있도록 현상태의 검출, 회로보호 등의 기능과 이에 따른 제어로직 상의 파라미터의 정의를 통해 미리 정의된 신호포맷으로 인터페이스 간 신호의 송수신을 수행하고 적절한 제어가 될 수 있도록 한다.

일례로 그림 1은 로직 다이어그램에서의 탱크수위 제어 중 pause 기능에 대한 시퀀스 스텝을 보여주고, 표 1은 각각 정의된 파라미터에 의해 수행되는 시퀀스 스텝에 대한 수정자(시작 비트)를 보여준다.

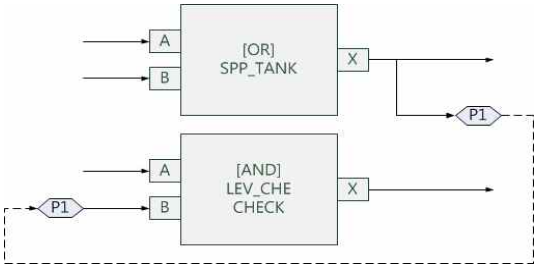

그림 1. 수위 확인기능에 대한 시퀀스 스텝(예시)

표 1. 개별 시퀀스 스텝에 대한 파라미터 명칭 정의

수정자	설명
_PSD	일시정지(Paused)
_EXT	나가기(Exit)
_RDY	준비(READY)
_CMD	명령(Command)
_RES	재개(Resume)
_CHE	확인(Chechk)

시스템 별로 로직에 대한 시퀀스 스텝에 따른 파라미터의 추가적인 정의가 필요하다.

둘째, 측정변수는 실증시험을 통해 발생되는 데이터를 수집하기 위한 시스템 설계의 파라미터를 정의하며, 화재, 폭발, 가스, 중량물낙하 시 발생되는 데이터 측정과 그에 따른 센서종류 및 사양선정 그리고 센서 및 수집 시스템의 설치에 필요한 고려사항 등을 설계에 반영할 수 있다.

실증시험 시 주요 측정요소는 표2의 내용과 같다.

표 2. 측정 요소 분류

측정요소	내용
Temperature	화재/폭발 시 온도 측정 측정 범위 : -10에서 1200℃ 까지
Pressure	임계값에 의한 전기적 신호 출력 측정 범위 : 2Mpa 이상 온도 조건 : -10에서 150℃ 이상
Heat Flux	열유량 측정 측정 범위 : 100Kw/m^2 이상
Load	중량물 낙하에 따른 로드쉘 측정 운용 조건 : 60에서 75℃ 이상
Concentration	가스확산에 따른 위치별 농도 측정
Sound Level	가스분출 소음 및 폭발음 측정 측정 범위 : 130dB 이상
Wind Velocity	실증시험 모듈의 내부 및 외부 풍속 측정

나. 제어시스템 구성요소

도출된 각 변수들은 데이터수집과 환경모사 제어를 위한 파라미터로 정의 되며, 제어시스템의 기능별 블록다이어그램 정의 및 컴포넌트별 구성요소 설계에 반영한다.

제어 시스템 모듈은 자동화를 위한 고압 밸브 사이클 제어기, Pump PLC(Programmable Logic Controller) 제어기, 센서 및 액츄에이터, 제어 동력반 및 계장장치 인터페이스로 구성된다.

첫째, 고압 밸브 제어는 SCADA 기반 자동화 제어 로직 및 제어 컴포넌트를 통해 자동화 제어가 수행되며, 시험 수행 시 데이터 수집에 대한 샘플링 횟수를 반영한 고압 밸브 사이클 제어를 수행한다.

둘째, 가스 및 워터 펌프 제어를 위한 PLC 제어 컴포넌트는 각종 탱크 레벨 게이지 제어 로직과 가스 분사 압력 노즐 제어 로직, 가스 및 워터 혼합 분사 및 분사량 제어 로직을 통해 펌프를 제어한다.

셋째, 액츄에이터 구동을 위한 제어 동력반 및 계장장치의 인터페이스는 환경변수를 측정하는 각종 센서 네트워크와 통신 토폴로지, 액츄에이터 제어 로직, 각종 장치의 구동에 필요한 적절한 용량을 갖는 제어 동력반 그리고 계장장치의 입출력 시스템을 통해 정의 된다.

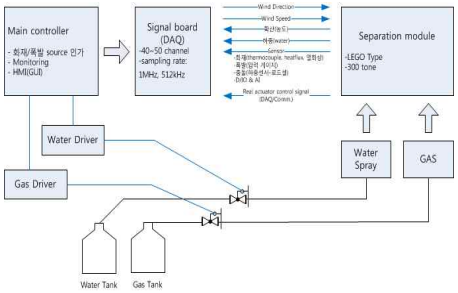

그림 2. 제어 시스템 기능별 구성도

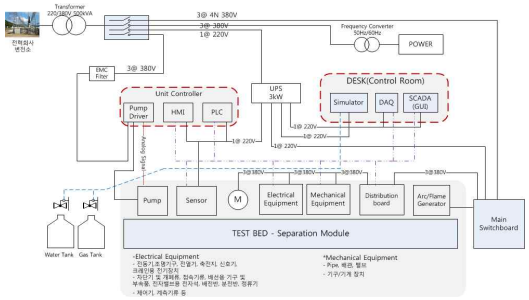

그림 3. 사고환경 모사 제어부 설계

그림 2, 3은 제어 시스템의 기능별 구성도와 제어시스템의 컴포넌트별 정의에 따른 사고환경 모사 제어부의 설계도면이다.

다. 데이터 수집 시스템

사고 발생에 대한 환경모사 제어와 적절한 제어를 수행하기 위해, 도출된 변수 및 파라미터 적용에 의한 데이터 수집 시스템의 설계가 필요하다.

센서 기반 사고발생 인자 데이터 수집 장치 구성으로서, 실증실험 시 각종 센서는 화재 및 폭발 상황의 열악한 환경에서 모니터링 할 수 있도록 설계되어야 하므로 특수 하우징 설계 및 개발이 필요하다.

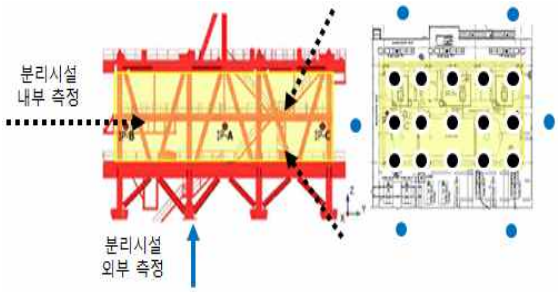

그림 4. 실증시험 모듈의 측정 방법

온도, 열유량, 열화상, 폭발, 중량물 하중, 가스확산, 소음/풍속에 대한 데이터 수집 시스템은 적절한 설치위치를 선정하고 로컬로 구성한다. 표 2의 측정요소에 따라 내부 측정과 외부 측정으로 나눌 수 있으며, 온도 및 압력센서는 실증시험 모듈의 각 설비에 위치하고 탱크 내부 온도 및 압력과 화염원의 측정변수에 따라 데이터를 수집한다. 실증시험 모듈에서 가스확산 및 폭발음을 측정하기 위해 5 [m] 간격으로 2대의 소음계를 설치하고, 바람의 영향을 고려하기 위해 풍속계를 내·외부에 각각 설치한다. 화재/폭발 시 화염의 온도와 모듈에서 분출되는 가스에 의한 화염의 크기 및 운도분포 등을 관찰하기 위해 약 60 [m] 이격되어 열화상 카메라와 시험 장면의 녹화 및 시험감시 위해 동영상 카메라 및 CCTV 카메라를 설치한다.

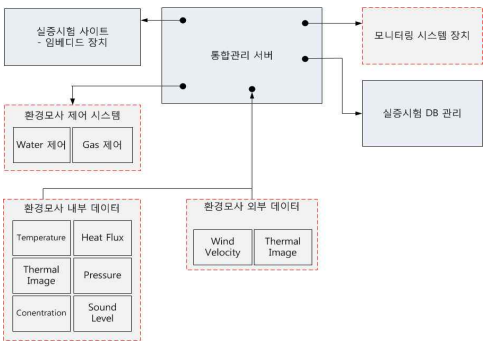

그림 5. 환경모사 데이터 수집 및 제어 흐름

데이터 수집 시스템 설치 시 고려되어야 할 점은 센서와 수집시스템 간 전송 인터페이스를 최대한 동일한 임피던스를 가지도록 설계하고, 수집시스템과 센서의 거리를 최대한 밀착시켜야 한다. 그리고 장비의 보호 대책 및 노이즈에 의한 데이터 손실 위험방지를 위한 차폐가 필요하다.

각종 환경 데이터를 측정하고 수집하는 로컬 시스템들은 각기 동기화 되어야 하고, 해상도는 16 [bit]이상, 시간축에서의 변화 해석이 용이 하도록 Sampling rate을 500 [KHz] 이상으로 설정되어야하며, 데이터 전송에 필요한 채널수는 최소 30 [ch] 이상으로 설계되어 한다. 실증실험 시 방대한 양의 데이터가 발생하며, 데이터 용량을 산정하기위해 실증시험 모듈에 설치되는 센서 개수(약 50여개)를 산출하고, 데이터 수집의 신뢰성을 높이기 위해 전송속도 및 수집 시스템의 데이터 수용 용량의 산정이 중요한 요소가 된다.

데이터 수집장치 설계 시 데이터 전송 속도뿐만 아니라 각종 오류제어 등의 제어정보가 포함되는 유효 데이터 전송 속도 또한 고려해야 한다.

라. 통합 모니터링 시스템

실증시험용 데이터수집 및 제어 시스템을 통합한 모니터링 시스템을 구축한다. 시스템을 구성하기 위해 가스 및 워터 펌프 제어와 관련된 SCADA 시스템용 GUI를 제작하고 실증 데이터 수집장치와 SCADA 시스템의 연동, 센서 및 액츄에이터, 제어 동력반, 계장장치의 SCADA 시스템을 연동한다.

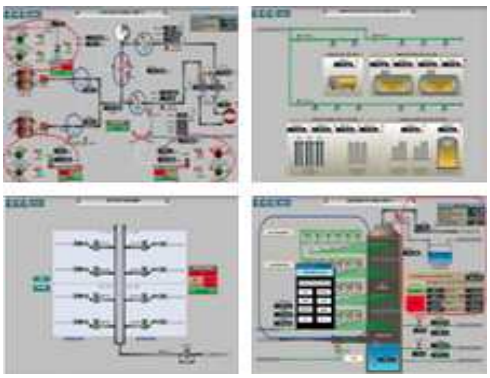

그림 6. 통합 모니터링 시스템(예시)

그림 6은 모니터링 컴포넌트 기본설계에 따른 기능별 GUI를 보여준다.

표 3. 모니터링 컴포넌트 기본설계

기본설계 부분	구성요소	내용
Gas/Water Pump	·Gas/Water Tank ·제어동력반 ·계장장치	사고환경 모사위한 Gas, Water Valve 장치 모니터링 및 Tank Level 상태
Fire/Explosion/Falling Load/Gas Sensor	·Thermocouple ·heat flux ·load shell ·pressure gauge ·concentration meter module ·Unit Controller ·Data Acquisition	시험설비 내 온도, 압력, 농도센서 데이터 모니터링
Electric Equipment	·Motor ·Switch Gear ·Transformer	전기설비별 상태 동작상태 온도변화
Ignition Source Generator	·Arc/Flame Generator ·Simulator	점화원 동작상태

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 해양플랜트 심해저 기자재 및 부품 검증과 해양플랜트 공정 모듈의 설계 검증을 위한 신뢰성 있는 실증시험 데이터 확보를 위해 실제 환경과 유사한 실증시험 시스템 구축방안을 살펴보았다.

실증시험 환경모사 시스템 구축을 위해 제어 시스템 및 데이터 수집 장치의 설계 방안을 위한 각종 제어변수 도출과 각 시스템의 구성요소 설계 시 고려되어야 할 점에 대하여 논의하였다.

향후, 실증시험을 위한 각 구성 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 적인 구현을 통하여 실증시험 데이터를 확보하고, 환경모사 제어 시스템의 성능 검증을 위한 운영 프로세스 설계와 시험운영을 통한 문제점을 도출 하고 모듈별 수정 보완을 수행하여 안정성을 강화해 나갈 예정이다.

참 고 문 헌

[1] Jon Espen Skogdalen, Jan Erik Vinne, “Combining precursor incidents investigations and QRA in oil and gas industry”, *Reliability Engineering & System Safety*, 2012.

[2] Jan Erik Vinnem, “Evaluation of methodology for QRA in offshore operations”, *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 61, Issues 1 - 2, pp. 39-52, July - August 1998.

[3] Paik, Jeom Kee, “Some Recent Advances and Future Trends in Nonlinear Structural Mechanics for Ships and Offshore Structures”, *Society of Naval Architects and Marine Engineers* (*SNAME*), vol. 47, pp. 17-26, January 2010.

[4] 전성규, “해양플랜트기자재산업 경쟁력 강화방안”, *한국기계산업진흥회 특집호*, pp. 23-30, 2011년 5월

저 자 소 개

주휘동(정회원)

2006년 순천대학교 정보통신공학과 학사 졸업.

2008년 순천대학교 정보통신공학과 석사 졸업.

2010년 순천대학교 정보통신공학과 박사 재학중.

2010년 ~ 현재 한국조선해양기자재연구원 그린전력IT연구센터 선임연구원

<주관심분야 : 조선해양-IT, Sensor Networks, USN>

김태오(정회원)

2001년 울산대학교 제어계측공학과 학사 졸업.

2003년 울산대학교 제어계측공학과 석사 졸업.

2009년 울산대학교 전기전자정보시스템공학과 박사 졸업.

2011년 ~ 현재 한국조선해양기자재연구원 그린전력IT연구센터 선임연구원

<주관심분야 : 산업용네트워크, 스마트그리드, 전력변환장치>

강규홍(정회원)

1992년 창원대학교 전기공학과 학사 졸업.

1994년 창원대학교 전기공학과 학과 석사 졸업.

2001년 창원대학교 전기공학과 학과 박사 졸업.

2009년 ~ 현재 한국조선해양기자재연구원 그린전력IT연구센터 책임연구원

<주관심분야 : 조선해양 전기전자, Electric Machine, 조선해양 IT>

하연철(정회원)

1998년 창원대학교 전자공학과 학사 졸업.

2000년 창원대학교 전기전자제어공학과 석사 졸업.

2007년 창원대학교 전자공학과 박사 졸업.

2007년 ~ 2010년 (주)월드이엔지 기술연구소 연구소장

2010년 ~ 현재 부산대학교 선박해양플랜트기술연구원 연구교수

<주관심분야 : 미디어처리, 상황인지 컴퓨팅 ,스마트워크>