특집

고장사례 기반의 보전시스템 개발

이순섭, 유승열, 이수봉(경상대학교)

1. 서 론

금융 위기로 인한 세계 경기 침체가 본격화 된 이후에 대부분의 에너지 및 자원들에 대한 개발 계획이 지연되고 있다. 특히, 2014년 이후 갑작스런 유가의 폭락으로 인해 해양플랜트 시장이 급속히 냉각되고 있지만 석유, 가스 등과 같은 에너지 자원들은 모든 방면에서 사용되고 있기 때문에 새로운 에너지 개발, 육상보다는 해양에서 더욱더 활발히 이루어질 전망이기 때문에 해양플랜트 수요도 같이 증가할 것으로 예상된다.

하지만 최근까지도 유가의 하락은 지속되어 해양플랜트 운영회사는 장비들의 운영에 소요되는 비용을 절감하기 위해서 새로운 유지보수에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 있다.

해양플랜트에 설치되어 있는 장비들 마다 사용 연한이 다르고, 환경이나 사용조건, 부하 등에 따라 열화내용이나 열화속도가 다르므로, 진단, 평가, 예지, 보전 등의 유지보수를 위한 정보들의 수집 및 통합을 기반으로 한 지속적인 지식과 기술 확보가 필수적으로 요구된다. 따라서 기존의 유지보수 방법이 아닌 장비들의 상태변화에 따라 유지보수 방법을 달리 세우고 실행하는 상태기반유지보수(CBM, Condition Based Maintenance) 방법이 주목받고 있다.

상태기반유지보수방법의 실효성을 위해서는 장비들에 대한 고장사례가 많아야 하는데 이에 대한 정보의 수집이 쉽지 않은 상황이다. 이에 설계단계에서 많이 사용하는 OREDA와 WOAD를 이용하여 장비별 고장사례 데이터를 수집하고 부족한 부분에 대해서는 해당 장비사별로 보유하고 있는 정보들을 활용하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 해양플랜트 플랫폼에 탑재되어 있는 장비들의 유지보수 활동의 신뢰성을 확보하기 위해서 고장사례기반의 보전시스템을 개발하였다. 개발시스템에서는 유지보수 활동을 수행할 주요 장비들을 먼저 식별하였고 식별된 장비들의 고장사례 정보들을 OREDA, WOAD 및 장비사로부터 수집, 분석하여 데이터베이스화 하였다. 이들 데이터를 활용하여 장비들의 고장분석 및 최적의 유지보수 방안을 결정하기 위한 경제성평가 등을 수행하도록 하였다.

2. 해양플랜트의 고장사례들

해양플랜트의 장비 및 설비들에 대한 속성, 고장형태, 고장원인, 고장심각도 및 신뢰도 값 등을 OREDA, WOAD 및 장비업체를 통해서 수집하여 고장사례를 분석하였다.

2.1 OREDA를 이용한 고장사례 분석

표 1에서는 해양플랜트 Topside 공정 중에 유정에서 올라온 원료가스로부터 가스, 기름 및 물을 분리하는 Inlet system을 구성하는 장비 중에서 압축기에 대한 고장사례를 정리한 것이다. 해양플랜트의 Topside에 설치되는 장비들에 대한 고장자료가 매우 부족하여 이들 장비들에 대한 고장유형, 고장률 데이터 등을 정리해 놓은 OREDA(Offshore REliability DAta) 데이터베이스를 활용하여 분석하였다.

표 1 Major activities of configuration management

장비명	심각도 수준	고장모드	고장률		
			최소	평균	최대
COMPRESSOR	CRITICAL	AIR	0.85	8.46	22.84
		BRD	0.07	8.46	28.24
		ELU	2.62	16.91	41.59
		STP	5.77	16.91	32.79
		INL	0.21	4.23	12.66
		UST	0.05	12.68	48.72
	DEGRADED	LOO	3.47	12.68	26.62
	INCIPIENT	AIR	3.47	12.68	26.62
		ELU	9.83	101.47	275.96
		STP	0.21	4.23	12.66
		INL	0.06	198.71	870.9
		SER	5.77	16.91	32.79
		OHE	0.21	4.23	12.66
		VIB	0.21	4.23	12.66
		OTH	0.21	4.23	12.66

2.2 WOAD를 이용한 고장사례 분석

WOAD(World Offshore Accident Databank)는 해양플랜트 산업에서 1970년 1월부터 2007년 12월까지 일어난 6451건의 해양사고에 대한 데이터를 저장/관리 데이터베이스로 해양플랜트 해양사고에 대한 위험성평가를 수행하는데 필요한 자료로 활용하고 있다.

WOAD에서 다루고 있는 사고의 종류는 'Foundation problem', 'Equipment Malfunction Failure' 등 19개로 분류할 수 있고 19개의 사고를 발생하는 근본적인 원인요소는 크게 인적요인, 장비요인 및 기타로 나눌 수 있다. WOAD에서 다루는 사고를 발생시키는 인적요인 비율은 13.33%(860건)이고 장비에 의한 요인은 43.82%(2828건), 그 외에 요인에 의해서 발생하는 확률은 42.85%(2763건)이었다.

그림 1에서는 장비에 의한 원인요소에 의해서 발생한 사고를 나타낸 그림으로서, 장비에 의해서 발생하는 사고는 인적요소에 비해 다양한 종류에 의해서 발생되고 장비에 의한 원인요소에 따라 발생하는 사고들 중에서 장비들의 고장이 가장 많이 발생함을 알 수 있다.

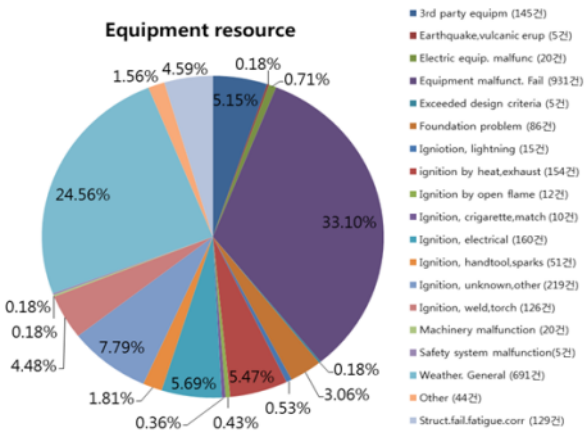

그림 1 Accidents caused of equipment failure

WOAD에서 사고가 발생하였을 경우에 사고결과의 심각도를 인적, 물적 관점에서 정의하고 있으며, 인적관점에서의 심각도는 인명의 사망과 부상의 정도로 구분하여 정리되어 있으며, 인명이 1명 이상 사망사고가 발생한 경우를 가장 큰 피해로 정의하고 있다. 물적관점에서의 심각도는 선체의 피해정도 및 화물의 피해정도로 구분할 수 있으며, WOAD에서는 선체의 피해정도만을 정리하고 있다. 물적관점에서의 심각도는 'No damage', 'Minor damage', 'Severe damage', 'Significant damage' 및 'Total loss'와 같이 5단계로 구분하고 있으며, 'Total loss'는 선박의 전손을 의미하고 있다.

2.3 장비사의 고장사례 분석

해양플랜트의 장비들에 대한 고장사례를 OREDA와 WOAD를 통해서 조사, 분석하였을 뿐만 아니라 직접적인 정보를 수집하기 위해 육상플랜트를 운영하고 있는 공장 또는 엔지니어링사를 방문하여 장비들 및 설비들의 운영정보 및 고장정보를 확보하였다.

이중에서도 LNG-FPSO 선박의 Pump Tower 고장유형과 원인요소를 파악하기 위해 선사 및 엔지니어링사를 통해 고장사례를 조사한 결과 Pump Tower에 대한 고장사례는 지금까지 1건만 존재하였는데 이는 Pump Tower가 LNG 카고탱크 내에 설체되어 있기 때문에 액화천연가스의 유동에 의한 피로하중 증가가 예상되기 때문에 설계단계에서 슬로싱해석, 유한요소 해석, 피로해석, 진동해석 등 각종 해석을 통해 좀 과도한 설계를 실시하였고 Pump Tower 설계 시 많은 보강이 원인인 것으로 나타났다.

Pump Tower의 고장유형은 구조적 결함(Crack)와 Pump Tower 하부 과도한 진동(excessive vibration)으로 나타났고 구조적 결함의 원인은 Thermal stress, Sloshing load, Fatigue load, 설계 결함 및 과도한 진동으로 나타났고 Pump Tower 하부 과도한 진동의 원인으로는 Pump 구동과 점검 미숙으로 나타났다.

그림 2는 '구조적 결함'이란 고장유형에 대한 원인요소를 관계를 정의한 위험모델을 나타낸 것으로 이 위험모델은 '구조적 결함' 고장이 발생확률을 계산할 경우에 사용된다.

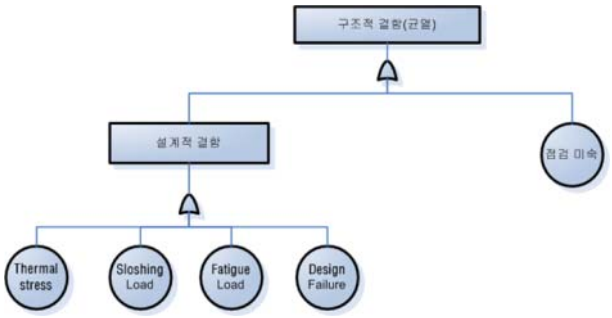

그림 2 Model of failure probability calculation

3. 보전시스템의 개발

개발 시스템에서 지원하는 상태기반유지보수 활동과정을

간략하게 살펴보면 그림 3과 같다. 상태기반유지보수 활동의 첫 단계는 유지보수 활동을 수행할 시스템 또는 장비들을 정의하는 것이며, 장비가 결정되면 정의되는 장비들의 고장사례를 수집한다. 세 번째 단계로는 정의된 시스템과 고장사례를 이용하여 고장분석을 수행하는 과정으로 기존의 고장 또는 위험요소 파악에 공통적으로 사용되는 기법을 이용한다. 다음으로는 고장분석 결과를 이용하여 장비들의 유지보수 방법 및 주기를 결정하여 후보군을 결정하고 이들 후보군들에 대한 경제성평가를 실시한다. 경제성평가에 사용되는 비용은 전생애 주기비용을 사용한다. 최적의 유지보수 방법과 주기가 결정되면 이를 실행시키고 그 결과는 Feedback한다.

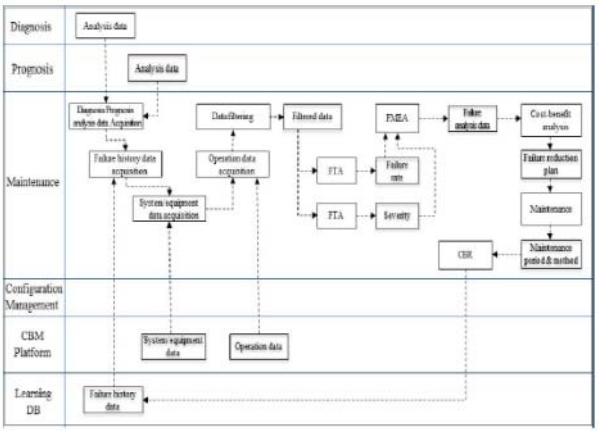

그림 3 Procedure of system execution

그림 4에서는 LNG-FPSO 선박에 설치, 운영되는 장비들의 유지보수 활동을 지원하는 보전시스템의 전체 구성도를 나타내었다. 개발된 시스템은 크게 고장사례 및 유지보수 계획들을 저장, 관리하는 데이터베이스 모듈, 보전활동을 지원하기 위한 고장분석 및 평가를 수행하는 해석모듈, 진단과 예지시스템, 형상관리시스템등과의 인터페이스를 위한 API 모듈 및 사용자인터페이스모듈로 구성되어 있다. 이들 구성 프로그램들은 데이터베이스 및 그래픽 사용자 인터페이스를 통해서 서로 연관되어 수행되며, 시스템의 효율적인 관리 및 유지보수를 위해서 모든 프로그램들은 모듈화 하였다.

그림 5에서는 LNG-FPSO 선박에 탑재된 여러 개의 장비들로 구성된 서브시스템 및 시스템의 신뢰도를 계산하기 위한 화면을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 시스템의 구성을 시스템 블록다이어그램으로 표현하였고 구성된 각 장비들의 고장률 또는 신뢰도 값을 이용하여 계산되도록 하였다. 시스템의 구성형태는 장비들의 구성모양에 따라 직렬시스템, 병렬시스템 및 직렬과 병렬을 포함함 비직렬 시스템으로 구분하여 정의하도록 하였으며, 사용자의 편의를 위해 사용자가 직접 시스템을 구성하도록 하였다. 또한, 복잡한 시스템의 정의를 위해 줌인/줌아웃(Zoom-in/Zoom-out) 기능을 구현하였다.

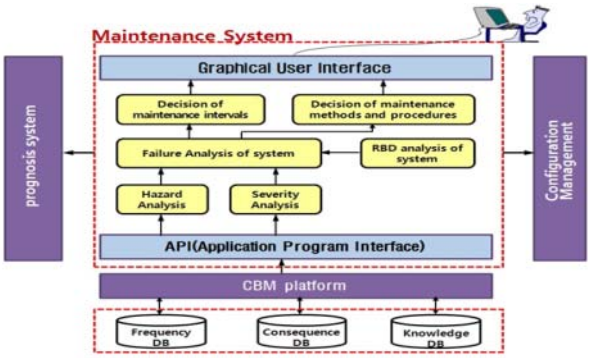

그림 4 System configuration

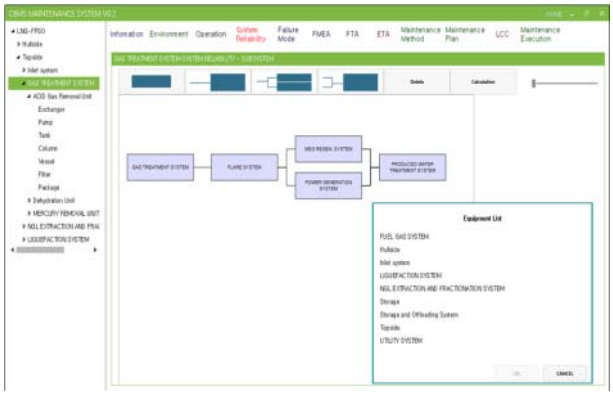

그림 5 Calculation of system reliability

그림 6에서는 해양플랜트에 탑재된 장비들에 대한 고장발생 원인들을 정의하고 이를 통해서 고장이 발생할 확률을 계산하는 과정을 나타내었으며, 본 연구에서는 이를 위해 FTA 분석과정을 프로그램화 하였다. 개발시스템은 Onboard 시스템을 목표로 개발되었기 때문에 고장발생확률을 계산하기 위한 고장형태별 고장발생모델을 미리 정의하여 시스템에 저장하여 두었다. 고장형태별 고장발생모델은 OREDA에서 제공하는 고장형태와 고장원인들을 기반으로 장비업체에서 제공한 고장형태와 고장원인들을 추가하여 정의하였고 새로운 모델을 정의할 수 있도록 사용자가 시스템에서 제공하는 고장발생모델을 수정할 수 있도록 하였다. 또한 장비들에 대한 자세한 고장사례 정보가 없이 간단한 고장횟수 및 시간만 있을 경우에도 쉽게 고장률을 계산하도록 하였다.

그림 7에서는 고장이 발생한 장비들에 대한 피해규모의 심각도를 계산하는 과정을 나타내었다. 본 연구에서는 장비고장에 따른 피해를 인명, 화물, 선박 및 해양오염 관점에서 그 피해규모를 계산하였으며, 고장형태에 따른 고장률은 고장발생모델에서 계산한 값을 사용하고 만약 고장발생모델로부터 계산하지 않은 경우에는 OREDA의 평균고장률을 사용하도록 하였다. 고장이후의 전개과정은 FTA 분석과정과 같이 미리 고장심각도 모델을 시스템에 저장하여 사용하도록 하였으며, 사용자가 수정을 할 수 있도록 하였다.

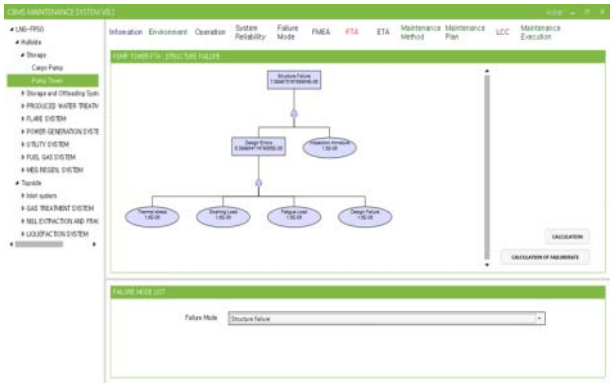

그림 6 Fault tree analysis of equipment

그림 7 Event tree analysis of equipment

4. 결 론

육지에서 멀리 떨어져 설치되어 있는 해양플랜트는 고장수리에 대한 신속한 대응이 미흡하기 때문에 장비 및 설비들의 고장은 오일 및 가스 생산성에 매우 치명적인 원인이 된다. 따라서 해양플랜트에 적합한 유지보수 방법으로 상태기반유지보수방법이 적합하다는 것을 알 수 있었다.

하지만 상태기반유지보수방법을 실행하기 위해서는 많은 고장사례정보가 필요한데 이에 대한 정보는 운영사만 보유하고 있고 이마저도 거의 활용도가 떨어져 사용하기 힘든 상태이다.

상태기반유지보수방법의 정확도 및 신뢰도를 향상시키기 위한 장비들 고장사례 정보 수집을 위해 본 연구에서는 OREDA, WOAD 및 정비사의 정보를 수집 분석하였다. 이렇게 수집된 정보들의 데이터베이스화 하여 개발 중인 보전시스템과 연동시켜 고장분석의 입력데이터로 활용하여 그 가능성을 확인하였다.

향후에는 개발시스템의 신뢰성 향상을 위한 고장사례 및 장비운영데이터의 지속적인 수집을 위한 노력이 계속될 것이다.

참 고 문 헌

Anthony M. and Glenn R. [RCM Gateway to World Class Maintenance, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford] (2004)

Dongnam Leading Industry Office [Systems for Offshore Plant-Part II LNG-FPSO Topside Systems, Dongnam Global Offshore Cluster] (2012)

GE Energy [Offshore Platforms & FPSOs, GE Energy, Nevada] (2013)

Kim, J.W. and Lee, S.S. [Development of Maintenance System for Equipments of LNG-FPSO Topside, Proceedings of Annual Autumn Conference of the Korean Society of Ocean Engineering, pp. 174-177] (2014)

Lee, D.H. [Research of Design Improvement, in Particular Lng Containment System for Floating LNG, PH. D Thesis, Pusan National University] (2014)

Lee, S.S. and Kim, J.W. [Case Study for Development of Maintenance System for Equipment of LNG-FPSO Topside, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 28, No. 6, pp. 533-539] (2014)

Park, J.S. Kim, H.C. Jang, D.W. Park, Y. and Lee, H.W. [Reliability Centered Maintenance for Traction Power Systems, Report of Korea Railroad Research Institute(KRRI 07-097)] (2007)

SINTEF [OREDA(Offshore Reliability Data), OREDA Participants, Norway] (2009)

이 순 섭

■ 1966년생
■ 1989년 부산대학교 조선공학과 졸업
■ 현 재 : 경상대학교 조선해양공학과 부교수
■ 관심분야 : 안전설계, 위험성평가, 유지보수 시스템엔지니어링, ICT 융합
■ 연 락 처 : 055-772-9191
■ E - mail : gnusslee@gnu.ac.kr

유 승 열

■ 1991년생
■ 2017년 경상대학교 조선해양공학과 졸업
■ 현 재 : 경상대학교 해양시스템공학과 석사과정
■ 관심분야 : 위험성평가, 신뢰성기반 유지보수
■ 연 락 처 : 055-772-9197
■ E - mail : holdcury@hotmail.com

이 수 봉

■ 1988년생
■ 2015년 경상대학교 조선해양공학과 졸업
■ 현 재 : 경상대학교 해양시스템공학과 석사
■ 관심분야 : 위험도 기반 안전설계, 무선측위, ICT 융합
■ 연 락 처 : 055-772-9197
■ E - mail : lsbreplay@gmail.com

회원 정보 변경 안내

이메일, 핸드폰 번호등 신상변동이 있으시면 분은 학회 홈페이지(www.snak.or.kr)에 방문하시어 개인 정보를 수정하여 주시기 바랍니다.

문의처

전화 : 02-3452-2370, E-mail : general@snak.or.kr