

### 해양플랜트 주요 장비의 조건기반 고장 진단 시스템

[글] 이장현<sup>1</sup>, 황세윤<sup>2</sup>  
인하대학교

<sup>1</sup>jh\_lee@inha.ac.kr, <sup>2</sup>seyun.hwang@gmail.com

#### 1. 서 론

해양플랜트는 해상에 설치되면 25년 이상 동안 원유를 시추하여 Oil 또는 Gas를 생산하기 위해서 다양한 장비들이 조밀하게 배치되어 있다. 이는 지속적으로 생산 활동에 이용되기 때문에, 생산 장비의 고장은 막대한 경제적 손실을 초래할 수 있으며, 인명피해 및 환경오염 등과 같은 막대한 손실을 초래할 수 있는 위험을 동반한다. 이러한 이유로 운영단계에서 장비의 정상적인 가동 및 구조물의 건전성을 지속적으로 감시하고 진단하여 앞으로 발생할 수 있는 위험에 철저히 대비함으로써 잠재적으로 존재하는 위험에 대해 사전에 인지하고 이에 대한 대책을 수립할 필요가 있다. 이러한 관점에서 해양플랜트 장비의 운영 및 유지보수를 위해 많은 비용과 노력은 필연적이며, 이는 해양 플랜트의 건조에 소요되는 비용을 훨씬 뛰어 넘는 수준이다. 유지보수 측면에서 살펴보면, 해양플랜트의 주요 장비는 장비마다 사용 목적과 사용 연한이 다르고, 환경이나 사용조건, 외력, 부하 등에 따라 대상 장비마다 각각의 정보수집과 그 정보에 따른 전문가적 진단이 다르게 이루어져야 한다(Carero, 2005; Mobley, 2002). 따라서, 해상상태의 운영 환경과 운영되는 장비의 상태를 관찰하기 위해서 각 장비의 주요부위에 센서를 부착하고, 각 센서로부터 수집된 장비의 운영 신호를 이용

하여, 고장 가능성을 진단하고 잔존 수명을 예측하기 위한 예지보전(Condition Based Maintenance) 방법이 대표적이다. 예지보전은 장비의 상태 신호를 분석하고 이를 장비 별 고장 유형 및 고장 징후와 비교 평가함으로써 장비 고장 가능성을 예측하는 방법이다. 조건기반 예지보전은 기존의 시간기반보전(time based maintenance)과 달리 대상 장비에 대한 지속적 감시를 통해 현재의 상태를 진단하고 미래를 예측함으로써 보다 적극적으로 유지보수 활동을 펼칠 수 있는 방법론으로서 각종 대상 장비 및 구조물에 부착된 센서로부터 송신되는 신호 및 제어에 필요한 정보를 통합 관리 방법이다. 이는 센서로부터 수집된 정보를 기반으로 설비의 상태를 진단/예측하고 이를 바탕으로 보전활동을 위한 의사결정을 내리는 과정으로 구성된다. 본 기사에서는 예지보전 시스템 중 대상장비의 고장상태를 판단하기 위한 진단시스템을 소개하고자 한다.

#### 2. 고장 진단시스템

##### 2.1 고장의 유형

대상 장비에서 발생하는 고장의 유형을 살펴보면, 그림 1에서와 같이 발생하는 고장의 영역을 초기 고장, 우발적 고장, 마모 고장과 같이 3가지 형태로 분류할 수 있다. 초기 고장의 경우 장비의 조립결함, 설치오차, 불량부품, 등과 같이 장비의 제작과정 및 설치과정에 발생하는 고장으로서 그 빈도는 비교적 높은 편이다. 또한 우발고장의 경우 외부로부터 발생하는 갑작스러운 부하, 등으로 인해 발생하는 고장으로서 일반적으로 발생빈도는 낮으나 고장의 원인을 발견하기 힘든 경우가 많다. 또한 마모고장의 경우 장비가 가동되는 수명주기 동안 기계적 마모, 피로, 부식, 등으로 인해 발생하는 고장으로서 일반적인 고장 진단시스템에서 고려하는 대상이 되는 고장모드이다. 따라서 조건기반 고장진단 시스템에 주로 고장이 발생하는 장비 및 주요부위에 센서를 부착하여 신호를 실시간으로 획득하고 이를 감시하여 이상유무를 판단하고 이상신호가 감지될 경우 진단

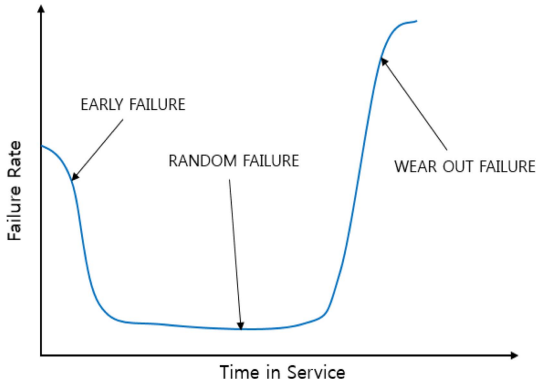


그림 1. 고장의 유형

시스템을 가동시켜서 획득된 이상신호에 대한 고장 진단을 수행한다.

## 2.2 진단 시스템의 개요

예지보전 방법에 기반하여 진단시스템을 구축할 경우 진단시스템의 흐름은 그림 2에서와 같이 대상 장비별로 고장을 유발할 수 있는 신호, 등의 정보를 센서로부터 획득되어 SCADA 시스템에 저장되어 보관된다. SCADA 시스템에 저장되는 데이터는 바람, 파도 및 조류와 같은 환경 데이터와 플랫폼의 운동, 계류라인의 인장력, 진동, 온도, 등의 실계측 데이터 들이며 진단시스템에서는 이를 전달 받아 진단에 적용하기 위한 데이터 가공을 수행한다. 적절한 데이터 가공은 얻고자 하는 데이터의 종류에 따라 다양하게 나타나는데 노이즈 및 센서의 오작동을 제거하기 위한 사전 필터링 작업이 기본적으로 수행되며,

필터링이 끝난 신호에 대해 다양한 형태의 가공이 수행된다. 이때 필터링된 신호를 대상으로 누락된 정보나 새로운 정보를 생성시키기 위해서 학습기반 (Heuristic) 기법에 기반 한 신호처리 기법이 사용된다. 학습기반 기법을 통해 재 가공되거나 새롭게 생성된 데이터는 진단 단계로 전달되어 대상 장비의 고장 여부 진단에 사용되게 된다.

## 2.3 진단 알고리즘의 분류

고장 진단 알고리즘은 진단하고자 하는 대상장비의 특성 및 획득되는 신호의 유형에 따라 그림 3에서와 같이 크게 4가지로 나뉘어 진다. 첫 번째는 통계적인 모델(Stochastic Model)을 사용하는 방법으로서, 획득된 데이터를 기반으로 통계적 분포 모델을 찾고, 이에 기반하여 이상유무를 판단하는 방법이다. 두 번째 방법은 데이터 주도 모델(Data driven model)을 사용하는 알고리즘으로서 획득된 데이터를 이용하여 관리하고자 하는 시스템의 신뢰성 및 건전성에 대한 정보를 획득된 데이터에 기반하여 진단하는 방법이다.

앞서 언급한 두 방법의 경우 물리적 손상 모델을 구현하기 어려운 다변량 시스템에 적용이 가능하다는 장점이 있지만, 훈련을 위해 많은 양의 데이터가 필요하다는 단점이 있다.

그리고 물리적 모델 기반 모델(Physics based model)은 예를 들면 구조물의 강도, 균열, 회전장치에서의 진동, 등 대상장비의 종류 및 고장 특성에 따라 진단방법을 정의하여 진단하는 방법이다. 이 방

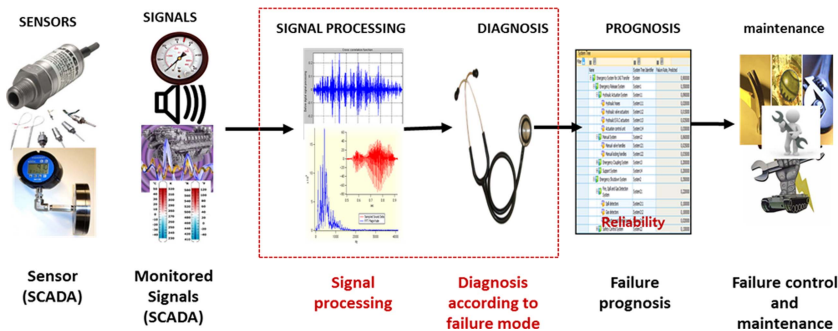


그림 2. 진단 시스템의 개요

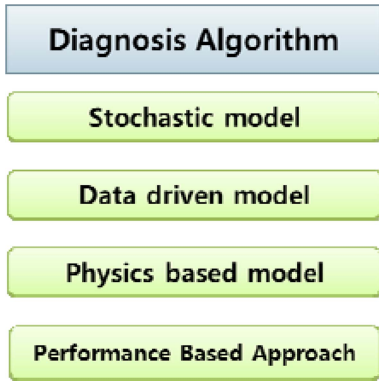


그림 3. 진단 알고리즘의 분류

법은 장비의 물리적인 특성을 고려하여 진단을 수행하기 때문에 다른 방법에 비해 비교적 정확도가 높으며 적은 양의 데이터로 고장 진단이 가능하며, 모델의 변수를 바꿔줌으로써 다양한 운영 환경에서도 적용 가능하다. 그러나, 고장 메커니즘 파악이 어렵거나 모델 변수의 수가 매우 많은 경우 모델이 실제 고장 메커니즘을 온전히 구현하지 못하므로 적용 분야가 한정적이다. 또한 효율 기반 모델(Performance based model)은 가동중인 전체 시스템에서 생산량 또는 성능 등의 효율을 나타내는 지표에 기반하여 진단을 하는 방법이다.

진단 방법은 각 대상장비의 특성 및 운용환경에 따라 적절한 알고리즘을 적용하여 진단을 수행하여야 한다.

### 3. 고장진단 시스템 구현

#### 3.1 진단 시스템 구성

조건기반 예지보전 방법에 기반하여 구축한 진단 시스템은 그림 4에서와 같이 대상 장비별로 고장을 유발할 수 있는 신호, 등의 정보를 센서로부터 획득되어 SCADA 시스템에 저장되어 보관된다. SCADA 시스템에 저장되는 데이터는 바람, 파도 및 조류와 같은 환경 데이터와 플랫폼의 운동, 계류라인의 인장력, 진동, 온도, 등의 실제측 데이터들이며 진단시스템에서는 이를 전달 받아 진단에 적용하기 위한

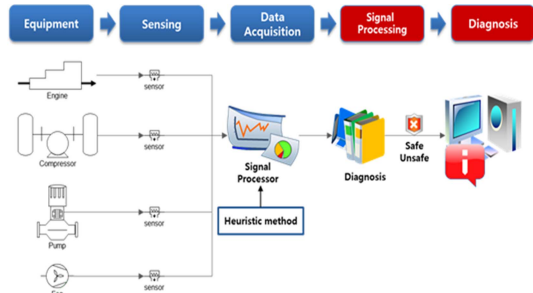


그림 4. 진단시스템 구현 안

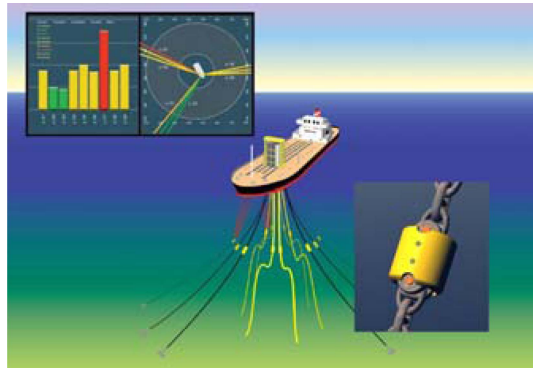


그림 5. Mooring Line의 개념도

데이터 가공을 수행한다. 적절한 데이터 가공은 얻고자 하는 데이터의 종류에 따라 다양하게 나타나는데 노이즈 및 센서의 오작동을 제거하기 위한 사전 필터링 작업이 기본적으로 수행되며, 필터링이 끝난 신호에 대해 다양한 형태의 가공이 수행된다. 이때 고장진단 방법에 따라 필터링된 신호를 대상으로 누락된 정보나 새로운 정보를 생성시키기 위해서 학습기반(Heuristic) 기법에 기반 한 신호처리 기법이 사용된다. 학습기반 기법을 통해 재 가공되거나 새롭게 생성된 데이터는 진단 단계로 전달되어 대상 장비의 고장 여부 진단에 사용되게 된다.

#### 3.2 진단 대상 장비

해양플랜트 대상장비에 대한 고장진단 시스템구성을 위하여 대상장비는 그림 5에서와 같이 구조물 장비인 Mooring line 대상으로 적용하였으며 대상장비의 고장을 유발하는 외력조건은 파랑하중에 의한

Mooring Tension이 대표적이다. 지속적인 파랑하중은 대상장비에 피로손상을 유발 시킬 수 있고, 대상 장비에 초기 결함인 균열이 있을 경우, 균열을 진전시키면서 피로 파손의 치명적인 피해를 초래할 수 있다. 따라서 대상 장비의 진단을 수행하기 위해서 대상장비에서 응력신호가 계속되었을 경우 이를 바탕으로 대상 장비의 고장모드를 정의하고 이에 따른 진단 알고리즘을 구성하였다.

### 3.3 고장진단 시스템 구현

대상 장비를 해양플랜트의 주요 구조물인 Mooring Line으로 선정하고 대상 장비의 고장진단 시스템을 구성하였다. 해양플랜트 구조물의 고장진단 시스템은 구조물에서 발생할 수 있는 고장모드를 아래와 같이 강도, 피로, 균열 관점에서 3가지로 분류하고 각 모드별로 고장 진단시스템을 구축하였다(Hwang et al., 2015).

- Strength Failure
- Fatigue Damage
- Crack Propagation

Strength Diagnosis 방법은 재료의 강도 관점에서 재료내부에 발생하는 응력이 재료의 항복응력 또는 허용응력을 초과하는지에 대해서 검토하고, Fatigue Damage Diagnosis 방법은 재료에 가해지는 피로하중을 재료의 S-N 선도와 비교하여 외력이 구조물의 피로수명에 가하는 영향을 평가하는 방법이다. 그리고 Fracture Propagation Diagnosis 방법은 구조물에 초기 균열이 있을 경우 균열진전과 이 균열이 구조물의 피로수명에 어떻게 영향을 미치는지에 대해서 평가하는 방법이다. 위 세가지 평가방법은 반복적인 외력으로 인해 대상 구조물의 건전성을 평가하기 위한 방법으로서, 대상 구조물에 가해지는 외력에 대해서 구조물을 진단하기 위한 대표적인 방법들이다. 피로손상 평가의 진단 과정은 그림 5에서와 같이 검토하고자 하는 구조물을 선정하고, 평가방법을 선택하여 평가를 수행한 후 그 결과를 검토하는 과정으로 진행된다(Hwang et al., 2015).

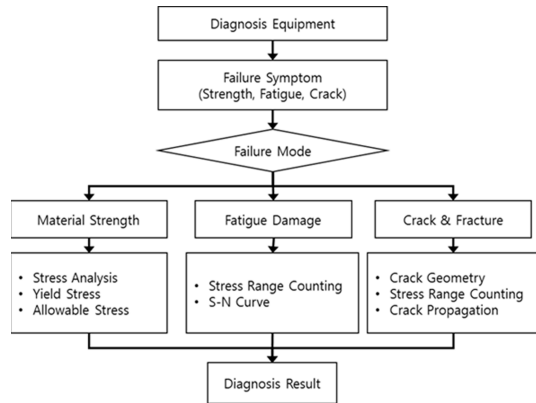


그림 5. Mooring line 고장진단 시스템 절차

## 4. 맺음말

해양플랜트 예지보전 시스템에서 주요 장비의 건전성을 판단하기 위해서 고장 가능성을 진단하고 잔존 수명을 예측하기 위한 진단 시스템에 대해서 소개하였다. 특히 진단 과정에서 신호의 불확실성을 극복하기 위한 대상장비에 따른 다양한 접근방법에 대해서 검토하고 제시된 방법에 기반하여 구축된 사례도 소개하였다. 추후 본 연구에서 제시된 방법 이외에 다양한 알고리즘 및 접근방법을 적용하여 시스템을 개발을 지속하여 통합된 상태기반 유지보수 시스템을 구축 할 예정이다.

## 참고문헌

1. Carero, M.C., "Selection of diagnostic techniques and instrumentation in a predictive maintenance program, A case study". *Journal of Decision Support Systems*, Vol. 38, pp. 539-555, 2005.
2. Hwang, S.Y. Kim, Y. Choi, M.G. and Lee, J.H., "Development of Diagnosis System for Structural Equipment based on Condition Based Maintenance", *Proceedings of the Korean Society of Ocean Engineers(Spring)*, 2015.
3. Mobley, R.K., "An Introduction to Predictive Maintenance". *Butterworth-Heinemann*, 2002.