

허균영 경희대학교 원자력 공학과 부교수

| e-mail : gheo@khu.ac.kr

박규해 전남대학교 기계공학부 교수

| e-mail : gppark@jnu.ac.kr

김주형 인하대학교 기계공학과 부교수

| e-mail : joohyung.kim@inha.ac.kr

이 글에서는 최근 3년간(2013-2015) PHM Society에서 발표된 논문에 기반하여 분석된 고장예지기술의 연구 동향 및 도전과제에 대해 소개하고자 한다.

PHM기술은 특정 학문이나 산업분야에 국한되지 않는 다학제적 학문이다. PHM기술의 성공적 개발을 위해서는 고장모드 열화에 관련된 도메인 지식을 바탕으로 신뢰성공학, 신호처리, 기계학습, 불확실성 모델링은 물론 빅데이터, 사물인터넷, 사이버물리시스템에 이르기까지 많은 학문의 지식습득이 요구된다. 이를 반영하듯 PHM 학술대회에서는 참가자에게 다양한 형태의 교육기회를 제공하고 있는데, 대표적으로 학술대회 기간 전후에 별도로 1-2일간 실시하는 단기강좌와 학술대회 기간 중에 실시하는 튜토리얼이 있다. 또한 PHM의 목표가 고장을 정확히 예측하는 것이므로, 여러 전문기관이나 산업체에서 제공한 실제 고장 데이터를 이용하여 가장 정확히 고장을 예지한 팀을 시상하는 Data Challenge 대회도 진행하고 있다. 본 원고에서는 지금까지 PHM Society에서 진행했던 이들 세 행사에 대해 간략히 소개하고자 한다.

### PHM 단기강좌

PHM 단기강좌(PHM Short Course 이하 단기강좌)는 PHM Society의 부속 프로그램이면서도 독립적으로 운영되는 특징을 가지고 있다. 단기강좌는 소수

의 산학연 전문가가 팀을 이뤄 1-2일 정도의 커리큘럼으로 PHM에 대한 기본부터 중급 정도에 이르는 이론과 실무를 설명하는 방법으로 진행된다. 주로 산학연 기술전문가에게 활용도가 높은 강좌이지만, 시스템 운영 부서에서도 비즈니스 측면의 다양한 아이디어를 얻을 수 있다. 단기강좌는 PHM Society 부속 프로그램으로는 비교적 최근에 시작하였으며, 2014년에 미국 텍사스에서 개최된 PHM Society에서 처음으로 도입되고 그 이후로 내용이 한층 세련되고 체계적으로 변화하고 있다. 2015년부터는 PHM Society 유럽 학회에서도 단기강좌를 시작하여 호평을 받았다. 전체적으로 단기강좌의 구성은 기초적인 개념 소개, 방법론, 기술 현안, 워크숍, 사례 연구 등으로 구성되어 있다. 한편 미국에서는 PHM 단기강좌를 기술사 계속교육(Continuing Professional Development)으로서 인정해 주고 있다. 지난 3년간 진행되었던 단기강좌 내용을 요약하여 훑어보고, 2017년 우리나라에서 열릴 PHM Asia Pacific에서 진행될 단기강좌의 내용도 소개하고자 한다.

○ 2014년 프로그램(강의자: G. Vachtsevanos, K. Reichard, J. R. Celaya, M. Orchard, M. A.

- Powell, A. Saxena 등)
- PHM 패러다임
  - FMECA 등 주요 방법에 대한 설명을 포함한 CBM+ 소개
  - PHM에 사용되는 센서의 원리와 응용
  - 데이터마이닝
  - 데이터기반 및 물리모델기반의 고장 진단
  - PHM을 위한 수치해석 모델
  - 성능지표
  - PHM 사례 연구

- 2015년 프로그램(강의자: G. Vachtsevanos, K. Reichard, P. Sandborn)
- PHM 용어(Taxonomy) 설명
  - CBM+ 기술
  - PHM 적용을 위한 요건, 기술기준
  - PHM 방법론: 진단, 예지 등
  - PHM에 사용되는 센서의 원리와 응용
  - 비용편익 분석
  - 성능지표
  - 기술 현안 및 교환

- 2016년 프로그램(강의자: G. Vachtsevanos, N. Eklund)
- PHM 소개: 용어, 범위, 기초 내용 등
  - CBM+ 기술
  - PHM 적용을 위한 요건, 기술기준
  - PHM 방법론: 진단, 예지 등
  - 데이터 어널리틱스
  - 비용편익 분석
  - 성능지표
  - 그룹별 PHM 연습
  - 기술 현안 및 교환
  - PHM 사례 연구: 실제 산업체 사례를 중심으로

내년부터는 PHM의 Asia Pacific 지역학술대회가 격년으로 개최될 예정이며 첫 대회가 7월에 제주도에서 개최된다. 이 대회에서도 유사한 단기강좌를 준비하고 있는데, 호주 The University of New South Wales의 Robert B. Randall 명예교수가 강의를 맡을 예정이다. 이번 강좌에서는 Randall 교수의 저작인 Vibration-based Condition Monitoring: Industrial, Aerospace and Automotive Applications를 참고 교재로 하여 ① 기본적인 신호처리, ② 진동 감시 및 진단, ③ 고장 시뮬레이션, ④ 설비 및 부품에 특화된 PHM 등으로 진행된다. 이는 미국이 진행하는 강좌와 달리 고장예지보다는 신호처리 및 고장진단에 관한 것으로 PHM 첫단계에 해당되는데, 아직 PHM 개발이 본격화되지 않은 국내 산업체 입장에서는 오히려 더 중요한 주제라고 생각한다. PHM 단기강좌에 대한 상세한 사항은 진행을 맡고 있는 경희대 허균영 교수(gheo@khu.ac.kr)에게 문의하면 되겠다.

## PHM 튜토리얼

매년 PHM conference에서는 학계 및 업계 전문가들의 참여를 통해 상태진단의 다양한 연구 및 현장 적용에 관한 무료 기술 튜토리얼 교육을 제공한다. 튜토리얼은 학회 참가자를 위한 교육 행사로서, 학회가 진행되는 동안 매년 PHM 관련 3-4개의 주제를 선정, 관련 강의를 제공되고 있다. 최근 튜토리얼에서는, 상태진단의 기본 주제인 Diagnostics, Prognostics, Health management, Uncertainty Management뿐만 아니라 Big data for PHM, Cybersecurity, Cost-Benefit analysis, Data-Mining, Electronics PHM, Bayesian Filtering for Prognosis 등 PHM 관련 전문 주제와 PHM 최신 기술을 종합적으로 다루고 있다. 튜토리얼은 상태진단 초보자, 학생, 연구자 및 실무자를 위해 제공되며, 이론 및 관련분야의 현장 적용 강의를 통해 관련분야 최신 연구 성과를 소개하고 미래

PHM기술 개발의 발전 방향을 소개하는 방식으로 진행된다. 지난 3년간 진행되었던 튜토리얼 내용을 아래와 같이 요약 정리했으며, 이를 토대로 2017년 제주도에 개최되는 PHM Asia Pacific 학술대회의 튜토리얼을 준비하고 있다. 아시아의 첫 대회인 만큼 되도록 초보자들의 이해를 돕기 위해 진단, 예지 기본적 내용으로 각각 한 세션, 그리고 두 개의 전문가 세션으로 구성할 예정이다.

#### 2014 튜토리얼

- Diagnostics (Eric Bechhoefer, GPMS)
- Model-based Prognostics (Matthew Daigle, NASA Ames)
- PHM for Electronics (Patrick Kalgren, Impact Technologies)
- Open Systems Architecture for Condition Based Maintenance (Karl Reichard, Penn. State University)
- Data Mining (Nikunj Oza, NASA Ames)
- Perspectives on Creating Cost-Benefit Analyses for PHM Systems (Chris Pomfret, MFPT)

#### 2015 튜토리얼

- Dynamic Model-Based PHM Design and Model-Based Diagnostics (Matt J. Smith, Impact Technologies)
- Prognostics (강의자: Kai Goebel, NASA)
- Feature Engineering for PHM applications (강의자: Weizhong Yan, GE global research)
- Cost/Benefit Tradeoffs for the Inclusion of Prognostics and Health Management (PHM) in Systems (Peter Sandborn, University of Maryland)

#### 2016 튜토리얼

- Diagnostics(강의자: Matthew Daigle, NASA Ames)
- Data-driven Prognostics of Engineered Systems(강의자: Jamie Coble, U. of Tennessee)
- Security Prognostics(강의자: Scott Evans, GE Global Research)
- Big Data Analytics(강의자: John Patanian, GE Power)

### PHM Data Challenge

Data Challenge는 산업계에서 흔히 발생하는 고장의 발견과 그에 대한 예지진단을 포함하여 문제해결을 할 수 있는 능력을 포함하고 있다. 참가자는 주어진 시간 내에서 공장의 문제점을 파악하고 그 위치를 알아내는 능력과 향후 발생할 수 있는 문제가 혼합되어 있는 상황 하에서 정확하게 문제를 파악하고 예측을 얻어내는 능력을 평가받는 것이다.

이미 미국과 독일을 중심으로 한 PHM Society에서는 문제해결능력을 위해 매 Conference마다 이러한 Data Challenge를 열고 있으며 해마다 많은 수의 참가자가 팀을 이루어 주어진 문제해결능력을 검증받고 있다.

지난 3년간 진행된 Data Challenge 내용을 요약하여 설명하고자 한다.

#### 2014년도 Data Challenge

기차시스템에서의 문제점을 찾아내고 예측하는 Data Challenge가 진행되어 5개의 data set를 제공하고 이중에 각각의 상황에 따라 주어진 data를 기반으로 예측을 하고 이를 통해 얻어진 결과를 e-mail로 제출하도록 진행되었다.

다음의 조건하에서 발생하는 여러 가지 상황에 대해서 각각 주어진 data set을 이해하고 문제를 찾아내

고 예측하는 것으로 진행되었다.

- ① 기차-부품사용 ② 기차-사용중 ③ 기차-고장 발생 ④ 테스트-사용중 ⑤ 테스트-간이

우승은 팀 Diligent가 차지했고, 우수한 성적을 낸 팀들은 그 결과를 기반으로 하여 International Journal of Prognostics and Health Management(ijPHM)에 논문이 발표되도록 기회 또한 부여되었다.

관련정보: <https://www.phmsociety.org/events/conference/phm/14/data-challenge>

2015년도 Data Challenge:

공장기반의 고장발생에 대한 가능성을 측정하는 것을 기반으로 한 문제가 출제되었으며, 주어진 데이터는 ① 공장제어에 필요한 부품에서 시간에 따라 측정된 센서값과 기준값이 되는 신호 ② 공장에서 고정된 숫자만큼의 측정값을 기반으로 주어지는 추가적인 대표적 데이터를 기반으로 공장의 고장발생을 예측하고 찾아내는 것으로 Data Challenge가 진행되었다.

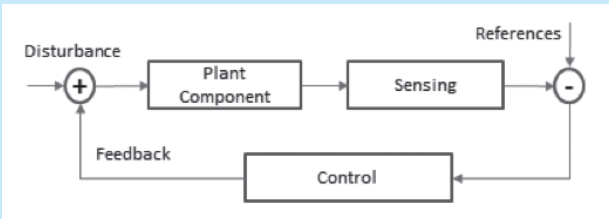


그림 1 2015년 PHM Data challenge에서 제시된 공장진단에 대한 문제

관련정보: <https://www.phmsociety.org/events/conference/phm/15/data-challenge>

2016년도 Data Challenge(2016년 10월 4일-7일):

물리기반의 모델링과 통계기반의 접근방법을 이용

해서 예측을 하는 것에 관련한 문제가 출제되었다. 특히 반도체 공정에서 사용되는 Chemical-Mechanical Planarization(CMP) 기반의 웨이퍼 공정을 진행하는 시스템에 관련하여 다양한 부품의 건강상태를 예측하는 것에 대한 내용이 제시되었다.

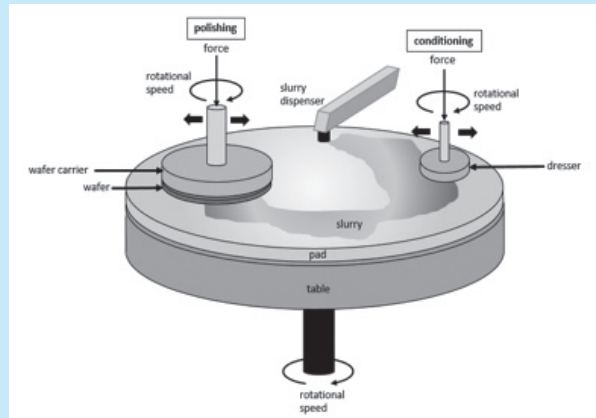


그림 2 2016년 PHM Data challenge에서 제시된 반도체 공정 CMP시스템

관련정보 : <https://www.phmsociety.org/events/conference/phm/16/data-challenge>

2017년 7월 12일부터 제주도에서 개최될 PHM Asia Pacific(PHMAP-17)에서 한국기반의 공공시설 및 발전소, 공장 등에서 발생하는 문제점을 기반으로 Data Challenge가 준비되고 있다. Data Challenge Competition에 있어서 전제조건은 협력을 통한 주어진 문제의 예측진단이다. Data Challenge팀은 학생, 연구자 및 기술분야의 전문가로 구성된 어떠한 조합도 가능하며, 결과는 Data Challenge Committee에 의해 평가를 받아 순위가 결정되어 가장 우수한 점수를 획득한 팀은 학회에서 특별세션 및 시상상을 누리는 영광을 얻게 된다.