

회전기기 고장진단을 위한 PCA 기반 FCM 클러스터링 분석

PCA-based FCM Clustering Analysis for Fault Diagnosis in Rotational Systems

김동환* · 손석만* · 김연환* · 배용채†

Donghwan Kim, Seok-Man Sohn, Yeon Whan Kim, and Young-chaе Bae

1. 서 론

전기의 효율적인 생산, 우수한 품질 및 작업환경의 안정성 확보를 위해서는 발전소 설비에 대한 유지·관리는 필수요소이다. 미흡한 설비의 유지·관리로 인하여 발전소 설비의 고장이 발생한다면 전기 생산성의 손실을 초래하게 된다. 따라서 최근 예방수리(Preventive maintenance, PM) 기술은 큰 관심을 받고 있으며 그 중에서도 조건 기반 유지 관리(Condition-based maintenance, CBM)는 실시간으로 설비의 유지관리 필요성을 확인하기 위해 작동조건을 연속적으로 감시하는 방법으로 고장이 인지되는 시점에서만 설비에 대한 유지·관리가 이루어지므로 전체적인 유지비를 절감할 수 있는 이점을 가지고 있어 실제 산업장비에 적용 가능한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 설비 유지관리를 위한 이러한 접근법은 아직 연구실 환경에서 실험하는 것에 국한되어 있으며 아직까지 산업현장에서 실증한 사례는 많지 않다[1].

따라서 본 연구에서는 회전체 시스템에서 얻은 진동 신호를 활용하여 PCA(Principle Component Analysis) 기법을 통해 시스템의 특성을 잘 반영하는 요소를 선별한 후 FCM(Fuzzy C-means)으로 회전체의 상태를 분류하는 진단 연구를 수행하였다.

2. 연구 내용

2.1 실험장치 설계

Fig 1은 본 연구에 사용한 실험장치 설치 형상이다. Rotor Kit RK4 시스템은 한 개의 축과 축을 지지하는 두 개의 원형 베어링 및 Disk 2개와 구동부(Motor)로 구성되어 있다. 본 실험에서는 구동부에 모터의 회전속도를 측정하고 조절할 수 있는 센서를

장착 하였으며 베어링의 하우징 부분의 단축 가속도계를 부착하였다. 또한 기동 중 회전축의 진동을 측정하기 위하여 X, Y축에 Gap Sensor를 설치하였다. 실험 장치에 부착된 센서로부터 데이터를 취득하기 위해서 Bently & nevada사의 ADRE DSP 장치를 사용하였다.

일반적으로 회전체에 발생할 수 있는 이상 상태는 크게 Rubbing(마찰), Bow(축의 휨), Unbalance(질량 불균형), Misalignment(오정렬), 등이 있으며 Fig 1 아래 부분의 실험 장치는 터빈로터 시스템에서 많이 발생하는 결함 요소들의 특성을 모사할 수 있도록 인위적으로 여러 종류의 결함을 부가하여 장치를 설계한 후 실험에 사용하였다.



Fig 1. Experimental setup of a rotational system.

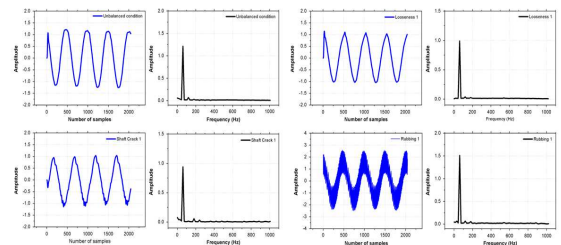


Fig 2. Typical time/FFT responses evolution of a fault rotor system.

† 교신저자; 정회원, 한국전력 전력연구원
E-mail : baeych@kepcoco.kr
Tel : 042-865-5620, Fax : 042-865-5627
* 한국전력 전력연구원

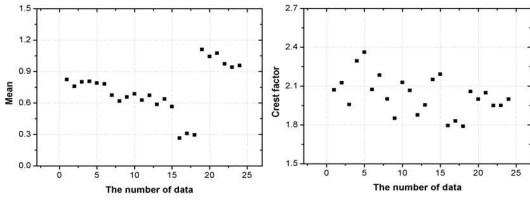


Fig 3. Feature values from each fault data.

2.2 데이터의 획득 및 가공

각 상태(정상/이상)별로 3600 RPM에서 10초 동안의 Time data을 Low/High Pass Filtering을 사용하여 3~1000 Hz의 주파수 영역만 추출하였고 이를 바탕으로 시간 영역(Time domain)의 데이터를 가공하였다(Fig 2 참조). 신호처리를 통해 획득한 데이터는 너무나 큰 차원으로 인해 가공되지 않은 형태로 사용하는 것은 불가능하다. 그러므로 신호 데이터를 대표할 수 있는 특성(Feature)을 구하는 것은 이러한 거대한 차원을 줄이기 위해 본 연구에서는 시간 영역에서 측정된 진동의 크기를 기준으로 Mean, Standard deviation, Crest factor, Skewness, Kurtosis, Entropy와 같은 특성을 사용하여 다양한 형태의 통계적 파라미터를 사용하였다[2].

회전기기 시스템에서 획득한 진동 신호를 기반으로 시간 영역 통계적 파라미터를 적용하여 각 상태별 20개의 샘플을 추출 후(단위 고장유형별 20 개 × 고장유형 8 가지 = 총 160 개의 데이터) 데이터군의 평균값을 도출하여 3개의 통계적 파라미터값을 뽑아내어 특성(Feature)을 표현하였다(Fig 3 참조).

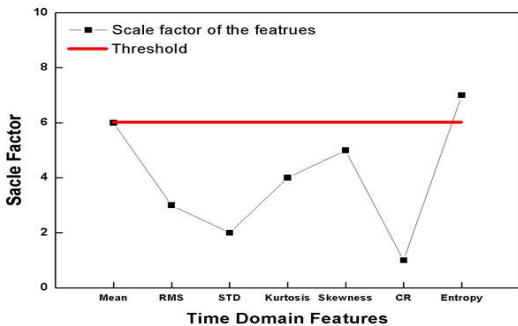


Fig 4. Feature selection criteria by PCA method.

2.3 진단 과정

진단의 효율성 및 처리 시간을 감소하기 위해 PCA를 응용하여 시스템의 상태를 잘 반영하는 특성을 선택(Selection)하였다. Scatter matrix로부터 데이터 사이의 분산의 정도를 표현하는 Projection

Vector를 계산하고 고유값을 구하게 되면 각각의 차원 분산량은 고유값에 비례하기 때문에 이 값을 내림차순으로 정렬하여 가장 우선순위에 있는 차원을 특성으로 선택하게 된다(Fig 4 참조). 여기에서 구한 특성 인자 두 가지를 사용하여 FCM 기법에 적용하는 과정을 진행하여 고장의 종류를 분류하였다. 이 기법은 기본적으로 수학적 (1)의

$$J = \sum_{i=1}^c J_i = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m d_{ij}^2 \quad (1)$$

값을 최소화하는 과정을 진행하면서 데이터 집합의 군을 분리해 내며 그 결과는 Fig 5를 통해 질량 불평형, 접촉마모, 축 크랙, 베어링 풀림에 대한 분류가 이루어짐을 확인할 수 있다.

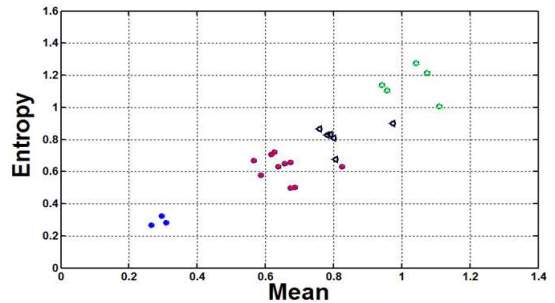


Fig 5. The projection of the training data on the first two selected features.

3. 결론

본 연구에서 활용한 PCA기반 FCM 기법은 회전기기의 다양한 고장의 종류를 분류할 수 있었으며 추후 고장의 원인 및 정도를 파악하기 위해 응용될 수 있음을 확인하였다.

후기

본 연구는 ‘초초임계압 화력발전소 통합운영지원 및 감시시스템 개발’ 과제의 연구 결과 중 일부이며, 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Tran, V., Yang, B., An intelligent condition based maintenance platform for rotating machinery, Expert Systems With Applications, 39(3), pp. 2977-2988, 2012.
2. 장미, 이종민, Condition monitoring of rotating machine with a change in speed using hidden Markov model, 소음진동공학회논문집 제22권 5호, pp.413~421, 2012.