한국소음진동공학회 창립 20주년 기념 2010년 춘계학술대회논문집, pp.292~293

회전기기 최적 결함 특성 추출

Optimal Extraction of Fault Characteristics in Rotating Machinery

정래혁†·이도환*·박성근**·채장범***

Jeoung Rae-Hyuck, Lee Do-Hwan, Park Sung-Geun, Chai Jang-Bom

1. 서 론

최근 연구에서는 지능형 결함 진단 알고리즘과 같이 시스템의 각종 부품 결함을 조기에 진단하거나 결함 진전 상태를 검출할 수 있는 다양한 기술들이 제시되고 있다. 그러나 실제 현장에서 이러한 기술들을 적용하기 위해서는 진단 알고리즘의 성능을 나타내는 신속한 처리속도와 분류 능력의 정확성이 크게 요구된다. 이들을 결정하는 요소에는 여러 가지가 있으나 주요 성능변수로서 최적의 특성 파라미터 선택 문제가 고려되고 있다. 그러므로 이를 위해서는 시스템의 손상 유형에 의한 이상 거동 특성을 잘 반영시킨 최적의 입력 파라미터들을 추출하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 일반적으로 알려져 있는 회전기기의 결함 원인들을 대상으로 최적의 입력 파라미터들을 결정하기 위해 시간영역과 주파수영역의 각종 통계 특성 파라미터들을 구한 후 Z-SCORE 기법을 적용하여 최적 특성 파라미터 유형을 추출하였다. 그리고 2차 분류기를 이용하여 특성 파라미터의 분류 성능을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 실험 장치

회전기기의 결함 유형을 모사하기 위한 실험장치를 구성한 후 일반적으로 발생 빈도수가 높은 불평형질량, 베어링결함, 축굽힘, 축크랙, 접촉마모, 풀림 결함에 대해서 실험하였다. 시편은 결함을 인위적으로 제공하기 위해서 가공처리하였다. 결함 유형에 따른 진동 특성 변화를 살펴보기 위해서 샘플링 주파수 25kHz인 단축 가속도 센서(ACC)를 실험베어링 하우징에 3축 방향으로 각각 설치하였으며, 또한 샘플링 주파수 10kHz인 3축 가속도 센서를 시스템 베어링 하우징에 설치하였다.

† 교신저자; (주)엠앤디
E-mail : rhjeoung@e-mnd.com
Tel : (042)861-3823, Fax : (042) 933-3828
* 한전 전력연구원
** 한전 전력연구원
*** 아주대학교

3.1 신호 처리 및 특성 파라미터

결함 유형별로 가속도 센서를 통해서 취득된 데이터들은 전처리 후 그림1의 절차에 따라 처리되었다. 본 연구에서는 표1.과 같이 "Fukunaga. K. 1972"에 의해 제시된 통계 파라미터들과 최근 상태 진단 연구 분야에서 진동 신호 특성을 추출하기 위해 사용된 WNL과 NNL 파라미터를 포함하여 총 21개가 사용되었다. 최적 특성 파라미터는 결함 유형간의 통계적인 거리가 평가되는 Z-SCORE기법에 의해서 확인되었다.

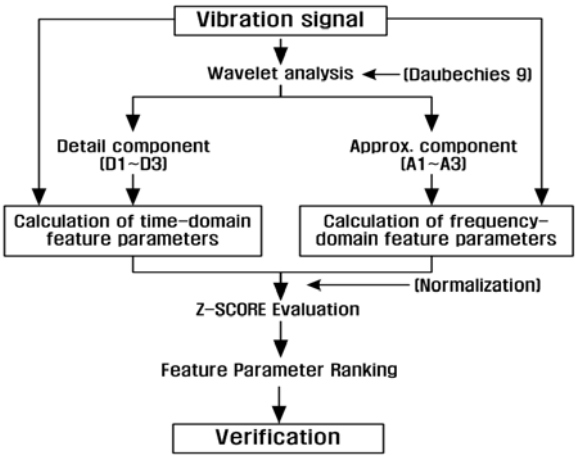

그림 1. 신호 처리 과정

표 1. 통계량 특성 파라미터

분석 파라미터	
시간 영역 (12ea)	MN(Mean), RMS(Root mean square), SF(Shape factor), CF(Crest factor), SKEW(Skewness), KURT(Kurtosis), EE(Entropy estimation), EEE(Entropy estimation error), LB(Lower-bound), UB(Upper-bound), WNL(Weibull negative log-likelihood), NNL(Normal negative log-likelihood)
주파수 영역 (9ea)	P1(Frequency center), P2(Variance frequency), P3(Root mean square frequency), P4, P5, P6(P2/P1), P7, P8, P9

4.1 결과 고찰

결함 유형별 가속도데이터를 이용하여 분석 파라미터와 신호 유형별 통계 특성을 계산하였고, 이들로부터 그림 2.와 같은 Z-SCORE값의 평균 분포를 구하였다. 전반적으로 Z-SCORE값이 원신호에서 도출된 통계 특성들이 웨이블릿 분해레벨(L) 1~3차 신호에서 도출된 통계 특성들 보다 비교적 큰 값을 가지는 것으로 나타났고, 시간영역 보다는 주파수영역 통계 특성들의 Z-SCORE값이 큰 것으로 확인되었다.

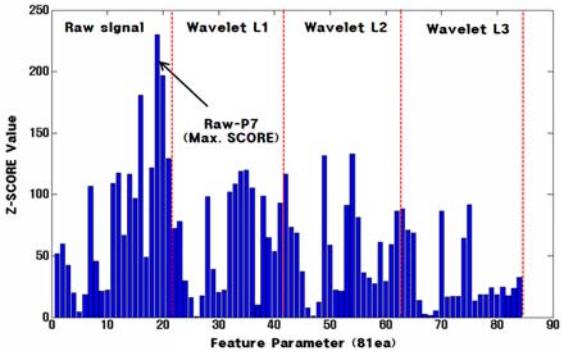

그림 2 통계 특성별 Z-SCORE값 분포

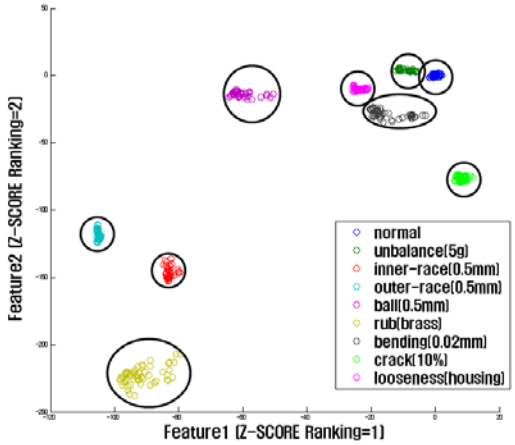

그림 3 결함 그룹 분류(Z-SCORE Ranking=1,2)

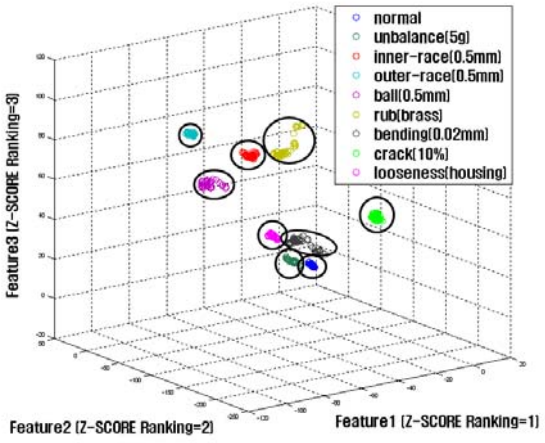

그림 4 결함 그룹 분류(Z-SCORE Ranking=1,2,3)

전체 84개의 통계 특성들 중 원신호에서 추출된 P7, P8, P4, P9, P6, NNL과 웨이블릿 2차의 NNL, EE 및 웨이블릿 1차의 P2, P1이 비교적 높은 Z-SOCRE값을 갖는 것으로 나타났다. 이에 Z-SCORE값이 가장 큰 통계 특성 3개(원신호 P7, P8, P4)를 이용하여 결함 유형별 분포(그림 2, 그림 3)를 확인한 결과, 모든 결함 유형들 상호간이 완전히 분리되어 각각의 결함 특성이 잘 반영된 매우 효율적인 통계 특성인 것으로 확인되었다. 이를 토대로 2진분류기인 QDA(Quadratic discriminant classifier)에 Z-SCORE값의 크기에 따른 통계 특성들을 입력하여 결함 분류 에러율을 최종 확인하였다. 분석 결과, 아래 표 2.와 같이 Z-SCORE값의 크기가 큰 통계 특성 일수록 결함 분류 에러율이 작아지는 것으로 나타났다. 이것은 Z-SCORE값이 클수록 결함 유형간 평균 거리가 멀어지고, 각 결함 내부의 데이터 분산 정도가 작아지기 때문이다. 따라서 본 연구를 통해서 확인된 통계 특성들 중 회전기기 결함에 의해 발생한 진동 특성이 잘 반영된 16개의 유형을 살펴보면 아래 표 3.과 같다.

표 2. Z-SCORE값의 크기에 따른 분류 에러율

Z-SCORE Ranking	1~15	35~50	70~84
Classification error	0~1.5%	4~15%	37~85%

표 3. Z-SCORE값 Ranking별 통계 특성 유형

Ranking	Parameter	Ranking	Parameter
1	RAW-P7	9	WT1-P1
2	RAW-P8	10	RAW-NNL
3	RAW-P4	11	WT1-P9
4	WT2-NNL	12	RAW-P2
5	WT2-EE	13	RAW-WNL
6	RAW-P9	14	WT1-NNL
7	RAW-P6	15	RAW-EE
8	WT1-P2	16	WT1-WNL

* Raw : 원신호, WT1,2 : 웨이블릿 분해 레벨 1,2성분

4. 결 론

회전기기에 대한 결함 진단 알고리즘의 입력 자료로 활용될 수 있는 최적의 통계 특성들을 추출하기 위하여 본 연구가 수행되었으며, 결론은 다음과 같다. 가속도 신호를 이용한 통계 특성 추출시 시간영역 데이터 보다는 주파수 영역의 데이터를 사용하는 것이 보다 효율적임을 알 수 있었다. 또한 원신호로부터 통계 특성을 추출하는 것이 가장 좋으나 만일 웨이블릿에 의해 분해된 신호를 사용할 경우에는 분해레벨이 작은 신호를 사용하는 것이 비교적 좋은 통계 특성을 얻을 수 있으며 결함 분류에 용이하다는 사실을 확인하였다.