

유도 전동기의 이상 진단 시스템

홍순덕, 조상진, 정의필, 손창호
울산대학교 컴퓨터정보통신공학부

Fault Diagnosis System of Induction Motors

Soondeog Hong, Sangjin Cho, Uipil Chong, Changho Sohn
School of Computer Engineering and Information Technology, University of Ulsan

요 약

회전 기계(Rotor)는 여러 분야의 산업 현장에서 중요한 역할을 하는 기기중 하나로 운전 중인 회전 기계의 동작, 감시, 진단은 설비의 효율적인 운용 및 사고 방지 등을 위해 매우 중요한 일이다. 본 논문에서는 회전 기계 중 가장 널리 사용되는 유도 전동기의 운전 중 발생하는 정상 신호와 이상 신호들의 특징을 비교 분석하고 그 결과를 바탕으로 스펙트럼 평균, 고역 통과 필터, 대역 통과 필터, 스펙트럼 밀도 등을 적용하여 이상 신호를 검출하고 진단하는 시스템을 구성하였으며 알고리즘 시뮬레이션 결과 올바른 분류된 결과를 얻을 수 있었다.

I. 서 론

산업 현장에는 다양한 기기가 운전 중이며 양질의 제품 생산을 위해서는 무엇보다 기기의 안정 운전이 매우 중요하다. 회전 기계(Rotor)는 여러 분야의 산업 현장에서 중요한 역할을 하는 기기중 하나로 운전 중인 회전 기계에 이상이 발생할 경우 막대한 경제적 손실이나 인명 피해를 가져올 수 있다. 따라서 회전 기계의 운전 중에 그 동작을 감시하고 이상을 진단하는 것은 설비의 효율적인 운용 및 사고 방지 등을 위해 매우 중요한 일이다.

회전기계의 이상 진단은 전문가의 경험에 의거한 청각, 또는 시각 등을 활용한 방법이 예전부터 활용되어 왔고, 최근에는 기술 발전으로 진동 신호를 취득하여 이상을 표시 또는 경고하는 진단 시스템이 사용되고 있으나 이 또한 사람이 데이터의 상태를 보고 경험에 의해 상태를 결정하는 방식을 취하고 있다. 이러한 이상 진단의 문제점을 보완하기 위해 다양한 센서를 이용하거나, 센서로부터 취득된 데이터를 여러 가지 서로 다른 방법으로 분석하는 방법이 필요하다[1].

본 논문에서는 가장 널리 사용되고 있는 회전기계인 유

도 전동기의 이상 진단 연구를 위해 유도 전동기의 정상 상태와 이상 상태의 진동 데이터를 비교 분석하였다. 스펙트럼 평균을 이용하여 입력 신호들을 3개의 그룹으로 분류한 후 고역 통과 필터와 대역 통과 필터, 그리고 스펙트럼 밀도를 이용하여 이상 진단 시스템을 구현하였다.

II. 이상 진단 시스템

1. 이상 데이터

진동기는 다른 회전기계에 비하여 비교적 간단한 구조를 가지고 있는데 주로 이상이 발생하는 부분으로는 베어링(Bearing), 회전자축(Shaft), 회전자(Rotor) 등이 있다. 본 논문에서 사용된 진동 데이터는 부경대학교 지능기계연구실에서 제공된 것으로 그 이상 현상들을 간단히 정리하면 다음과 같다[2].

1) 베어링 결함(Faulty Bearing, fbo)

회전축을 지지하는 베어링이 오랜 운전으로 열과 마찰 등으로 마모되는 상태로 회전자의 편심을 유도하므로 다른 고장을 일으킬 수 있다. 실험에서는 베어링의 외륜(Outer Race)에 결함을 주었다.

2) 굽은 회전축(Bowed Rotor Shaft, br)

기기를 장시간 가동 하지 않았거나 정렬불량의 상태로

운전했을 때 회전축이 휘거나 굽혀지는 현상으로 실험에서는 회전축에 강제적으로 힘을 가해 최대 0.075mm 굽혀서 진동신호를 측정하였다.

3) 회전축 정렬 불량(Misalignment)

정렬 불량은 기계의 조립 시 또는 열 변형 등에 의해 발생하는 것으로 회전축의 정렬이 평행하지 않은 상태이다. 크게 회전축이 평행한 방향으로 놓여있지 않고 서로 다른 각도를 가진 상태인 각 정렬 불량(Angular Misalignment, amis)과 회전축의 높이가 어긋난 수평 정렬 불량(Parallel Misalignment, pmis)으로 분류할 수 있다.

4) 질량 불 평형(Mass Unbalance, mun)

회전체의 기하학적 중심축과 질량 중심이 일치하지 않는 경우에 발생하며 제작시의 오류 또는 운전시의 마모나 부식이 원인이 되어 발생한다. 실험에서는 회전자(Rotor)에 질량이 8.4g인 물체를 부착하여 질량 불 평형 상태를 만들었다.

5) 회전자봉 균열(Broken Rotor Bar, brb)

유도 전동기의 회전자(Rotor)는 여러 개의 회전자봉(Rotor Bar)으로 구성되어 있는데, 이들 중 일부 회전자봉에 손상 또는 균열이 생겨 발생하는 것으로 실험에서는 34개의 회전자봉 중에서 12개의 봉에 길이 15.0mm 지름 0.5mm의 균열을 발생시켜 측정하였다.

2.시스템개요

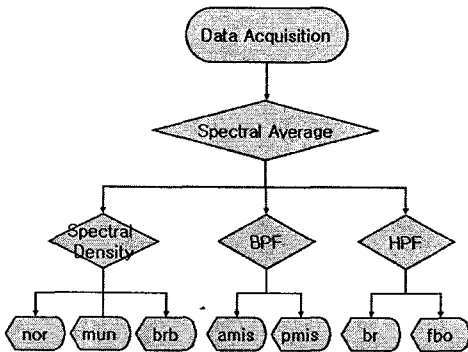


그림 1. 시스템 흐름도

데이터 수집 장비를 통하여 진동신호를 취득하고 이를 0.5초 마다 한 번씩 처리한다. 입력 신호는 8000Hz 샘플링 한 것으로 4000개의 샘플 단위로 처리된다. 먼저 입력 신호의 스펙트럼 평균을 구하고 임계값과 비교한 후에 3개의 그룹 즉, 각 정렬 불량과 수평 정렬 불량 또는 굽은 회전축과 베어링 결함, 질량 불평형과 회전자봉 균열과 정상신호로 분류한다. 분류된 결과에 따라 스펙트럼 밀도 함수, 대역 통과 필터, 고역 통과 필터에 의해 다시 각각 분류되어 최종적으로 정상신호인지 또는 이상 신호라면 어떤 이상 신호인지 결정된다.

3.이상검출알고리즘

1) 스펙트럼 평균(Spectral Average)

스펙트럼 평균은 입력 신호를 푸리에 변환하여 그 결과를 평균한 것이다. 본 논문에서 사용된 이산 푸리에 변환은 식 (1)에 나타내었고 이를 평균한 스펙트럼 평균은 식 (2)에 표현하였다.

$$X(k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, \quad k=0,1,\dots,N-1 \quad (1)$$

$$S = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{\frac{N-1}{2}} |X(k)| \quad (2)$$

스펙트럼 평균을 통하여 정상 신호와 이상 신호를 3개의 그룹으로 분류할 수 있었는데 그 임계값을 0.18, 0.08로 결정하였다. 스펙트럼 평균이 0.08 이하이면 정상 신호이거나 질량 불 평형 이거나 회전자봉 균열 중 하나이고, 0.08 이상 0.18 이하 이면 각 정렬 불량이거나 수평 정렬 불량이고, 0.18 이상이면 굽은 회전축이거나 베어링 결함이다.

이렇게 분류된 결과에 따라 대역 통과 필터, 고역 통과 필터, 스펙트럼 밀도 함수를 거치게 된다.

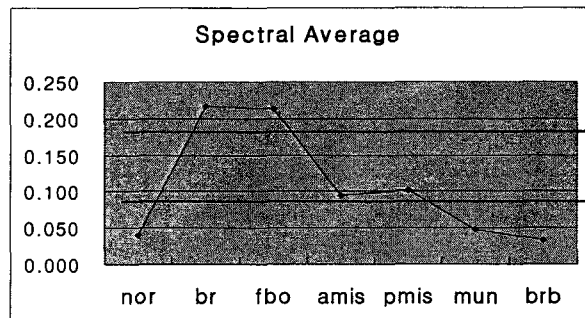


그림 2. 스펙트럼 밀도

2) 스펙트럼 밀도(Spectral Density)

스펙트럼 밀도는 시간영역에서의 상관함수(Correlation Function)을 푸리에 변환 한 것으로 두 신호 사이의 상관성을 표현한다. 상관함수는 식 (3)에 나타내었고 스펙트럼 밀도는 식 (4)에 표현하였다.

$$R_{xy}(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)y(k+n) \quad (3)$$

$$S_{xy}(w) = \sum_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(n)e^{-jwn} \quad (4)$$

본 논문에서는 정상 신호와의 스펙트럼 밀도의 피크를 이용하여 정상 신호와 질량 불 평형, 회전자봉 균열을 분류하였다. 각 임계값은 4와 8이며 피크가 4이하이면 회전자봉 균열이고, 8 이상이면 질량 불 평형이며 그 사이 값이면 정상신호이다.

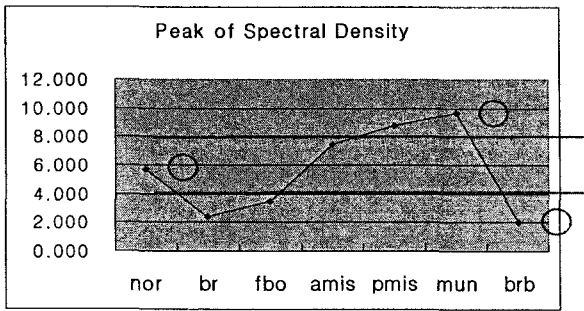


그림 3. 스펙트럼 밀도의 피크

3) 필터링(Filtering)

입력 신호를 버터워스 필터에 통과 시켜 그 결과를 제곱 평균한 값으로 이상 신호를 분류하였다.

$$H(z) = \frac{1}{S^2 + \sqrt{2}S + 1} \quad (3)$$

대역 통과 필터를 사용하여 회전축의 각 정렬 불량과 수평 정렬 불량을 검출하였는데 임계값은 0.3이며 0.3 이상이면 수평 정렬 불량이고 그 이하이면 각 정렬 불량이다. 또한 고역 통과 필터를 통과 한 값으로는 굽은 회전축과 베어링 결함을 검출하였는데 그 임계값은 0.12이며 0.12 이상이면 굽은 회전축이고 이하이면 베어링 결함이다.

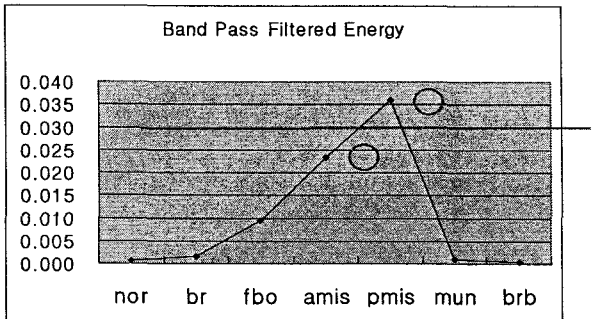


그림 4. 대역 통과 필터의 제곱 평균

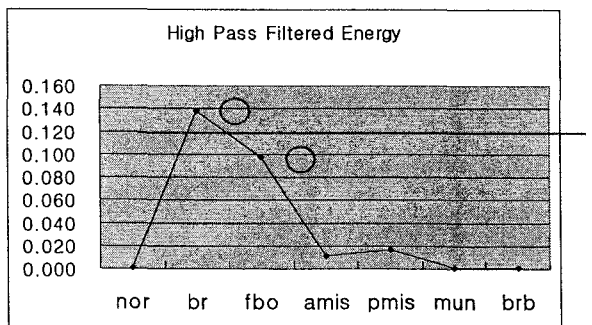


그림 5. 고역 통과 필터의 제곱 평균

III. 실험 및 결과

데이터 수집 보드를 통하여 정상 신호와 이상 신호들 중 하나를 입력한 후 입력 신호의 이상 유무를 검출하고 이상 신호라며 어떤 이상인지를 진단하였다. 실험에는 각 신호별로 6개의 데이터가 사용되었다. 즉 모두 42개의 데이터가 사용되었고 길이는 모두 2.133초 이었다. 그 결과 실험에 사용된 모든 데이터에 대해 이상을 정확히 진단하였다.

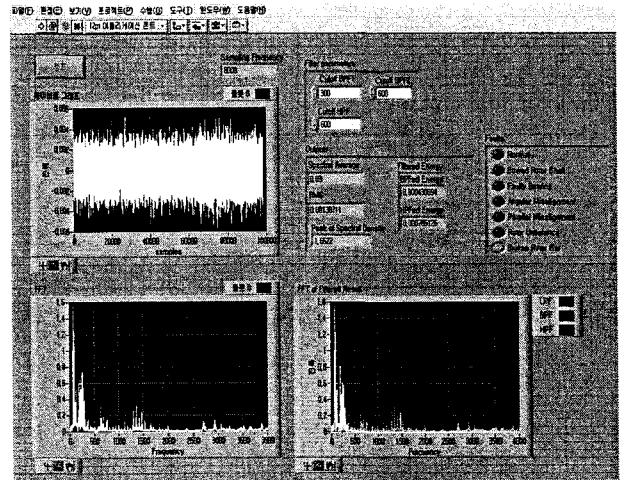


그림 6. LabVIEW를 이용한 이상 진단 시스템

표 3 함수별 신호 분석

	Spectral Average	Spectral Density	Band Pass Filtered Energy	High Pass Filtered Energy
nor	0.040	5.663	0.001	0.001
br	0.224	2.427	0.002	0.134
fbo	0.213	3.496	0.010	0.097
amis	0.094	7.476	0.023	0.011
pmis	0.102	8.774	0.036	0.017
mun	0.048	9.694	0.001	0.001
brb	0.034	1.995	0.000	0.001

IV. 결론

대표적인 회전 기계인 유도 전동기의 정상 신호와 이상 신호를 분석하여 이상을 검출하고 진단하는 시스템을 구성하였다. 먼저 7가지 모의 신호를 비교 분석하여 이상 진단에 사용할 4가지 함수들을 결정하였다. 이는 각각 스펙트럼 평균(Spectral Average)과 스펙트럼 밀도(Spectral Density), 대역 통과 필터(Band Pass Filter) 그리고 고역 통과 필터(High Pass Filter)이다.

시스템에 입력된 신호는 스펙트럼 평균값에 따라 나머지 3가지 함수 중 하나를 통과하게 되고 그 결과 값에 따라 정상 신호인지 또는 이상 신호라면 어떤 이상 신호인지 판단된다. 이는 실험에 사용된 데이터 내에서 정확한 진단 결과를 보였다.

유도 전동기의 다른 이상 신호들도 비교 분석하여 시스템에 추가한다면 운전 중 이상을 진단하는 시스템 또한 구현할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 이재열, “웨이브렛 변환과 특징 벡터 추출을 이용한 회전기계의 이상 진단”, 울산대학교 석사학위 논문, 2004.
- [2] 김광진, “데이터 융합과 Dempster-shafer이론을 이s 용한 유도전동기의 결함진단”, 부경대학교 석사학위 논문, 2004.
- [3] M. P. Norton, D. G. Karczub, “Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers”, Cambridge University Press, 2003.
- [4] 서예진, 조상진, 손창호, 정의필, ‘발전소의 누설음향 석을 통한 설비진단’, 전력전자학술대회 논문집, p628-630, 2005년 7월.
- [5] Janos J. Gertler, “Fault Dection and Diagnosis in Engineering Systems, Marcel Dekker, Inc, 1998.
- [6] 광두영, “컴퓨터 기반의 제어와 계측 LabVIEW Express”, Ohm, 2003.
- [7] 이성상, “LPC를 이용한 발전소 회전기기의 고장진단 시스템”, 울산대락교 석사학위 논문, 2004.
- [8] Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schafer, “Discrete-time Signal Processing”, Prentice Hall, 1999.