

마하라노비스 거리를 이용한 모터 불량품 검출 방법에 관한 연구

A Study on the Detection of Defective Motors by Using Maharanobis' Distance.

장한기[†] · 홍석인* · 박성근** · 구치욱***
H.-K. Jang, S.-I. Hong, S.-G. Park and C.-W. Gu

Key Words : Maharanobis distance(마하라노비스 거리), Motor inspection system(모터 검사 시스템), Pattern Recognition Technology (패턴 인식 기술)

ABSTRACT

In this paper, Maharanobis distance was used to distinguish defective motors from good motors. Maharanobis distance was calculated from the noise data of good motors and the test motor that were measured in 1/3 octave band from 25 Hz to 20 kHz frequency range. The suggested method was applied to the detection of defective air-conditioner motors.

1. 서 론

모터는 많은 기계 및 전기 제품에서 동력원으로 사용되는 주요 부품으로서 그 자체가 불량일 경우 제품 전체의 품질에 심각한 영향을 주게 된다. 따라서 생산 단계에서 모터의 불량 여부를 정확히 판별해 내는 것은 매우 중요하다. 회전체의 이상 여부를 판별하는 방법에는 여러 가지가 있지만 모터에서 발생하는 소음, 진동, 전류 신호 등을 개측기로 측정분석하는 것이 보통이다⁽¹⁻⁴⁾. 그러나 결과의 정확성과 신뢰성이 높을수록 판정하는데 시간이 많이 소요되는 것이 보통이고, 시스템의 이상 발생에 대한 정보가 적거나 판정에 사용되는 변수의 상관관계가 존재하는 경우 판정하기가 어려워지는 문제가 있다. 이와 같은 이유로 아직도 대부분의 현장 라인에서는 훈련된 작업자들이 작동되는 모터의 진동이나 소리를 취득해서 관능적으로 불량 여부를 판단하고 있는 것이 현실이다. 사람이 직접 소리를 듣고 모터의 불량품을 검사하는 경우 검사자의 건강, 심리상태 등의 요소에 따라 불량품 판정 기준이 달라질 수 있기

때문에 검사를 했다 하더라도 양품을 불량으로 불량을 양품으로 판정할 확률이 변동되는 문제점이 있다.

본 논문에서는 마하라노비스 거리(Maharanobis distance)⁽⁵⁾를 이용하여 비교적 빠르고 간편하게 모터의 양품 불량 판정을 할 수 있는 방법을 제안하며 실제로 에어컨 실외기 모터에 이 방법을 적용하여 모터의 불량 여부를 진단하였으며 그 결과에 대해 서술하였다.

2. 마하라노비스 거리(Maharanobis Distance)

마하라노비스 거리는 특성을 잘 알고 있는 어느 집단(기준 집단)과 특성을 알고 있지 못한 집단을 간단히 비교하는 유효한 방법으로 변수들의 확산 정도를 측정하는 지표로서 변수들의 상관성을 고려하여 계산한다는 특징이 있다. 주로 사용되는 유클리디안 거리(Euclidean distance)와 비교해 보면 Fig. 1과 같이 그 차이를 확인할 수 있다. 기준 집단 X가 X₁과 X₂의 변수로 이루어진 집단이라 했을 때 유클리디안 거리와 마하라노비스 거리에서 등가 거리 곡선의 형태가 각기 다른 것을 볼 수 있다.

예를 들어 X₁을 신장이라고 하고, X₂를 체중이라고 가정하자. 일반적으로 신장과 체중의 정상범위를 별개로 지정한 경우의 정상 범위는 원의 형태로 결정된다. 그러나 현실적으로 키가 큰 경우는 체중도 더 나가는 것이 현실적으로 타당하며, 이와 같은 변수들 사이의 상관관계를 고려할 경우 타원형의 영역이 정상 영역이라고 보는 것이 타당할 r

† 장한기, 고등기술연구원 제품기술연구센터
E-mail : hkjang@iae.re.kr
Tel : (031) 330-7435, Fax : (031) 330-7116

* 고등기술연구원 제품기술연구센터

** AB&S(주)

*** 대우일렉트로닉스

서이다. 마하라노비스 거리는 이와 같이 상관관계가 존재하는 변수로 구성되는 공간의 중심점으로부터 변수의 위치를 계산한 것이며, 식 (1)에 표현되어 있다.



Fig. 1 Maharanobis distance and Euclidean distance

$$MD = \frac{1}{k} Z_j^T C^{-1} Z_j \quad (1)$$

여기서,

$$Z_j = \frac{X_{ij} - m_i}{s_i}$$

MD : 마하라노비스 거리

Z_j : 표준화된 측정값

i : 변수의 순서($i=1 \sim k$)

j : 측정 데이터의 순서($j=1 \sim n$)

X_{ij} : i 번째 변수의 j 번째 측정값

m_i : i 번째 변수의 평균

s_i : i 번째 변수의 표준편차

$*$: 전치행렬

C^{-1} : 상관행렬의 역행렬

k : 변수의 개수

이다.

마하라노비스 거리는 또한 표준화된 변수들에 대해 아주 민감하게 반응하기 때문에 기준 집단에 대해 표준화된 변수가 조금이라도 차이를 보이게 되면 마하라노비스 거리는 크게 증가하게 된다.

마하라노비스 거리의 이 특징을 이용하여 두 집단간의 패턴을 비교하는 방법으로 모터의 불량품을 검출하는 시스템을 고안하였다.

3. 마하라노비스 거리의 응용

마하라노비스 거리를 이용한 모터 불량품 검출 시스템의 기본 원리는 모터의 소음을 관심주파수 범위 내에서 1/3 옥타브 밴드별로 측정된 후 각각의 1/3 옥타브 밴드별 소음을 각각 독립변수로 사용하는 것이다. 먼저 미리 양품이라고 검정된 모터들로부터 관심주파수 내에서 1/3 옥타브 밴드별 소음을 측정하여 양품 모터의 소음 데이터를 확보한다. 그리고 나서 검사할 모터의 소음을 1/3 옥타브 밴드별로 측정하여 이를 양품모터들의 소음 데이터(기준 데이터)로부터의 마하라노비스 거리를 계산하게 된다. 마하라노비스 거리가 1에 가까울수록 양품일 확률이 높으며 마하라노비스 거리가 기준 거리(신뢰수준에 의해 결정)보다 크게 되면 불량일 확률이 높다.

양품 모터들의 소음 데이터는 1/3 옥타브 밴드별로 각각 정규분포를 따른다고 할 때 스케일링을 하지 않은(변수의 개수로 나누지 않은) 마하라노비스 거리는 카이제곱분포(Chi square distribution)를 따르게 되므로 검사대상 모터의 마하라노비스의 거리를 측정함으로써 이 모터가 양품 또는 불량품일 확률을 계산할 수 있다.⁽¹⁾

4. 모터의 불량 판정에의 응용

4.1 시험장치 구성

먼저 Fig.2와 같이 무향실에서 모터를 지그 위에 올려 놓고 마이크로폰(Microphone B&K 4165, Pre-amplifier B&K 2669, Microphone Power Supply B&K 5935)을 모터로부터 측 방향으로 30 cm 정도 떨어진 지점에 설치하여 모터 소음을 측정하였다. 마이크로폰으로부터 측정된 신호는 LabVIEW의 Sound & Vibration toolkit으로 직접 제작한 프로그램으로 25 Hz 부터 20 kHz 범위 내에서 1/3 옥타브 밴드별로 분석된다. 미리 양품 모터들로부터 측정된 소음들을 기준으로 하여 검사할 모터의 1/3 옥타브 밴드별 소음의 마하라노비스 거리를 계산하여 양,불량 여부를 판단하게 된다

4.2 양품 모터 소음 측정

양품으로 판정된 모터를 준비한다. 이들 양품 모터로부터 25 Hz부터 20 kHz 범위 내에서 1/3 옥타브 밴드별 소음을 측정하였다. 양품 모터의 소음 데이터는 독립변수인 측정주파수 범위 내의 1/3 옥타브 밴드 수보다 많아야 하므로 다량의 양품 모터의 소음 데이터가 필요하다. 다량의 양품 모터의 소음 데이터를 확보하기에 시간이 많이 소요되므로 양품모터의 소음 데이터가 각각의 1/3 옥타브 밴드 내에서 정규분포를 따른다는 가정 하에

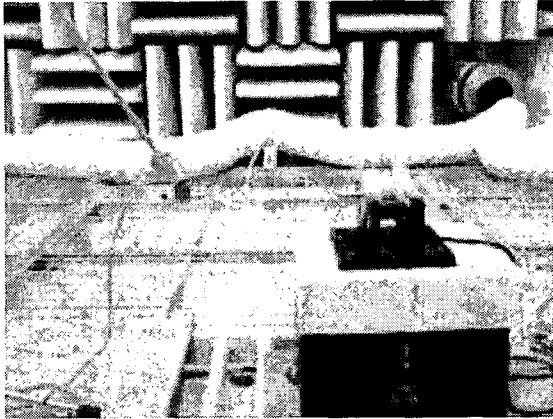


Fig. 2 Experimental set-up

측정한 양품 데이터의 평균과 표준편차로부터 가우시안 랜덤(Gaussian random) 방식으로 다량의 양품 데이터를 생성하여 데이터베이스화 하였다. 이렇게 생성된 양품 모터의 1/3 옥타브 밴드별 소음 데이터를 Fig. 3에 최대, 최소, 25%, 75%, 평균 등으로 도시하였다. 이 양품 모터의 1/3 옥타브 밴드별 소음 데이터들을 표준화한 후 상관행렬을 만들고 다시 이 상관행렬의 역행렬을 계산하여 보관한다.

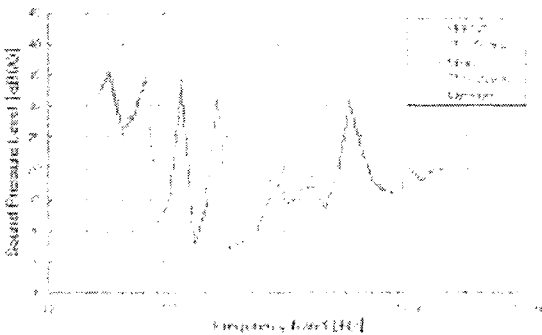


Fig. 3 Reference data of a good motor group

4.3 마하라노비스 거리 측정 결과

테스트 할 모터로는 생산라인에서 무작위로 선별한 모터 10개와 일부로 불량품으로 간주된 모터 5개를 사용하였다. 모터 소음의 재현성 확인을 위해 이들 모터의 소음을 각각 2회씩 반복 측정하였다. 25 Hz에서 20 kHz의 주파수 범위내에서 1/3 옥타브 밴드별로 소음을 측정하여 식 (1)에 의해 마하라노비스 거리를 계산하였다. 계산한 마하라노비스 거리를 Fig. 4에 도시하였다.

카이제곱 분포로 99.0% 신뢰수준(불량품으로 검출된 모터의 99.0%가 불량품일 확률)으로 설정할 경우 마하라노비스 거리가 1.653 이상인 경우 이 시스템에서는 불량

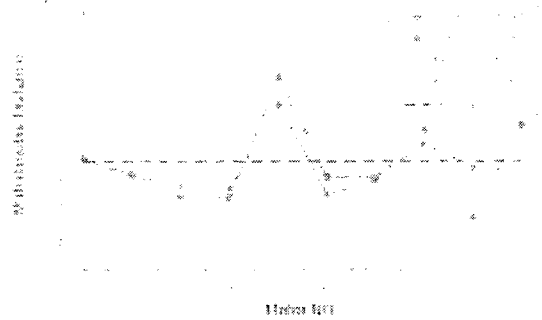


Fig. 4 Maharanobis distances of the test motors

으로 판정하게 된다. 생산라인에서 무작위로 선별한 모터 10개중 3개의 모터가 불량품으로 판별되었으며 1개의 모터는 경계선상에 위치하여 판별이 유보되었고 6개의 모터가 양품으로 판정되었다. 실제로 불량품으로 판별된 모터 중 마하라노비스 거리가 가장 큰 5번 모터에서는 커로도 판별되는 이음이 발생하였으며 나머지 불량 모터에서도 검사한 결과 발란스 등의 문제가 있는 것으로 판정되었다.

일부로 불량품으로 만든 모터에서는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 라인에서 생산되어 무작위로 선정된 모터에 비해 마하라노비스 거리가 30배 이상으로 상당히 크게 발생하여 뚜렷한 구분을 지을 수 가 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 마하라노비스 거리를 이용하여 모터의 소음을 1/3 옥타브 밴드별로 측정하여 양품의 소음 데이터를 기준으로 모터의 양품 불량 판정을 비교적 빠르고 간편하게 판정할 수 있는 모터 불량품 검출 시스템을 제안하고 실제 에어컨 실외기에 사용되는 모터를 가지고 실험을 통해 검증하였다. 이 실험 결과로 마하라노비스 거리를 이용한 모터 불량품 검출 시스템은 상당한 신뢰성을 갖는 것으로 판별되었다.

마하라노비스 거리를 이용한 모터 검사 시스템은 초기에 다량의 양품 데이터를 확보해야 한다는 점과 불량이 발생했을 경우 그 불량의 원인이 무엇인지를 밝혀내지 못하는 단점을 가지고 있다. 그리고 소음을 측정함으로써 발생하는 추가적인 문제(압소음)를 해결해야 하는 부분도 문제점으로 가지고 있다. 그러나 이러한 단점은 시스템이 간단하고 소음진동에 전문적인 지식이 없는 사람도 누구나 쉽게 사용할 수 있다는 장점 등으로 상쇄가 가능한 것으로 판단

된다. 또 측정하는 물리량도 소음과 같이 외부 환경에 민감하지 않는 물리량을 사용하면 기존의 문제점을 해결할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- (1) Yong-Chae Bae, Won-Gul Hwang and Chang-Doo Kee, 1995, "A Study on an Automatic Diagnosis System Using the Abnormal Vibration Characteristics of Rotating Machine," Proceeding of KSNVE Spring Conference, pp.360-366.
- (2) Sang-Kwon Lee, 1998, "Fault Diagnosis in Gear Using Adaptive Signal Processing and Time-Frequency Analysis," Journal of KSNVE, Vol.8, No.4, pp.749-756.
- (3) J.-W. Mo and J.-E. Oh, 1997, Diagnostoc Method for Automobile parts, Patent No.10-0116747.
- (4) H. Choi, 2004, Automatic vibration and sound quality evaluation system, Patent No. 10-0436573.
- (5) Taguchi, G. and Jugulum, R., 2002, The Maharanobis-Taguchi Strategy : A Pattern Technology system, John Wiley & Sons, Inc., New York.