

# Minimum Entropy Deconvolution을 이용한 회전체 시스템의 결함 모니터링

Condition Monitoring of Rotating Machinery using Minimum Entropy Deconvolution

곽대호\* · 안종효\* · 곽봉환†

Dae-Ho Kwak, Jong-Hyo Ahn and Bong-Hwan Koh

## 1. 서 론

본 연구에서는 사용 중인 베어링의 진동신호를 측정하여 베어링 내륜(inner race)에 발생한 결함을 탐지하는 알고리즘을 개발하고자 한다. 이를 위해 실험 장치를 구현하고, 롤러 베어링에 인위적인 결함을 가한 뒤, 결함이 없는 상태의 같은 종류의 베어링과 비교하며 연구를 수행하였다. 특히, 다양한 신호처리 기법을 활용하여 베어링의 진동신호를 분석하였으며, 이를 통해 결함의 발생 유무를 효과적으로 확인하는 탐지기법을 제시하고자 한다.

베어링 내륜에 결함(defect)이 있는 경우와 결함이 없는 healthy case의 진동신호 (50 kHz)로 샘플링하여  $2^{14}$ 개의 데이터로 취득한 뒤 그 신호에 대한 kurtosis(첨도)값을 측정하였다. 또한 MED (Minimum Entropy Deconvolution)와 TKEO (Teager-Kaiser Energy Operator) 기법을 활용하여 kurtosis 값이 변화 특성을 파악하고자 하였다.

먼저, kurtosis의 정의는 다음과 같다. 임의의 변수  $x$ 의  $k$ 차 승에 대한 기댓값을  $x^k$ 의 기댓값을  $x$ 의  $k$ 차 적률,  $x$ 의 기댓값을  $\mu$ 라고 하면  $(x - \mu)^k$ 의 기댓값을  $x$ 의  $k$ 차 중심적률이라고 한다. 이때 4차 중심적률을 kurtosis라고 한다. kurtosis는 데이터 분포의 중심위치 근처에서의 솟아오른 정도를 의미하며, 베어링 신호의 결함에 의한 peak를 정량화해준다.

MED는 임의의 신호  $y$ 의 convolution된 요소를 분리하는 과정에서 신호의 무질서도(Entropy)를 최소화 하고, kurtosis값을 최대화 하는 알고리즘이다.

TKEO은 비선형고역필터 (non-linear high pass filter)의 하나로 저주파수의 백그라운드 (background) 신호의 변화폭을 약하게, 고주파수의 과도신호 (transient signal)의 변화폭을 크게 하여 이 둘을 분리하는 역할을 한다. 1차원 시계열 모델의 TKEO 알고리즘은 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$\psi(x[n]) = x^2[n] - x[n-1]x[n+1] \quad (1)$$

본 논문에서는 결함이 존재하는 베어링의 진동신호에 대하여 MED 및 TKEO를 이용하여 kurtosis값의 변화를 분석하고자 한다.

## 2. MED를 활용한 베어링 신호분석

### 2.1 MED 및 TKEO를 통한 Kurtosis 변화

본 연구에서는 결함이 있는 damage case 4개(D1, D2, D3, D4)와 결함이 없는 상태의 베어링 2개(H2, H7)의 신호를 측정하고, 그 신호의 kurtosis 값을 비교하였다. 아래의 그림 Figure 1과 Figure 2는 그중 damage case와 healthy case를 plot한 것이다.

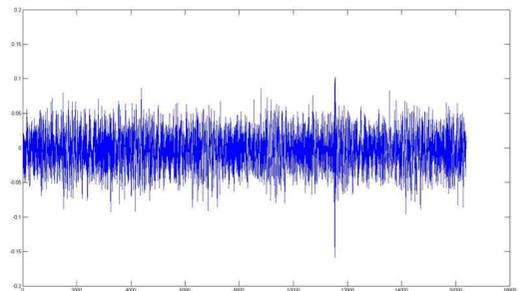


Figure 1. Original Damage Signal D1

† 교신저자; 정회원, 동국대학교 기계로봇에너지공학과

E-mail : bkoh@dongguk.edu

Tel : 02-2260-8591, Fax : 02-2263-9379

\* 동국대학교 기계로봇에너지공학과

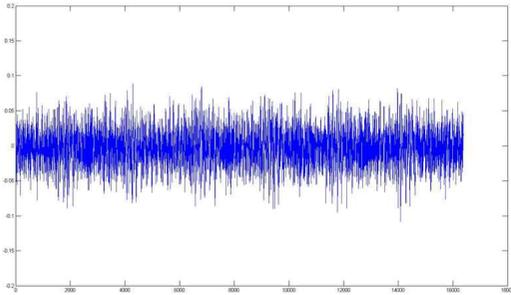


Figure 2. Original Healthy Signal H2

총 6개의 신호에 MED와 TKEO를 이용하여 모두 5가지 CASE에 대한 kurtosis값의 변화를 확인하였다. (Original signal의 kurtosis, MED만을 사용한 후에 kurtosis, TKEO만을 사용하였을 때 kurtosis, MED를 먼저 사용하고, TKEO를 사용하였을 때 kurtosis, TKEO를 먼저 사용하고, MED를 사용하였을 때 kurtosis) Figure 3은 이 중에서 원본 신호에 MED만을 사용한 경우를, Figure 4는 TKEO만을 사용한 경우를 plot한 것이다.

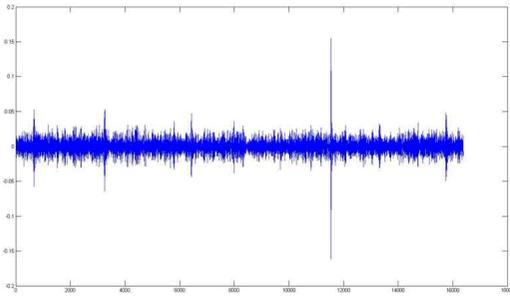


Figure 3. Damaged bearing signal after MED

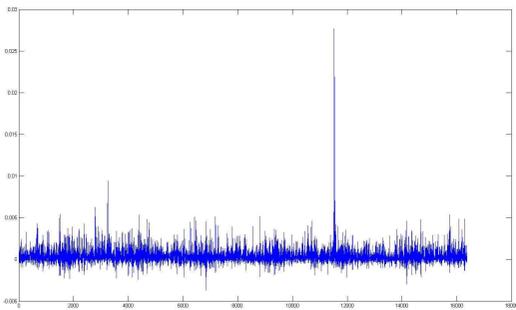


Figure 4. Damaged bearing signal after TKEO

그리고 각 베어링에 각 경우마다 kurtosis값을 조사하여 비교하면 Table 1과 같다. 그리고 이것을 그래프

로 나타내면 Figure 5 와 같다.

Table 1. Comparison of kurtosis for MED and TKEO

	D1	D2	D3	D4	H2	H7
Original	3.2	3	2.9	3.9	3.2	3
Only MED	16	3.4	3.3	37.4	3.4	4
Only TKEO	161.1	10.6	8.2	35.1	10.1	12.3
MED → TKEO	1222	22.4	14.3	3431.5	12.6	59.9
TKEO → MED	481.9	10.9	8.6	233	10.4	12.6

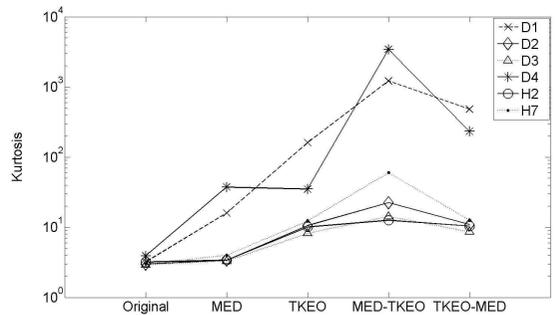


Figure 5. Kurtosis value for the original, MED, TKEO, and the combination of each method

### 3. 결 론

일반적으로 damaged case 베어링 신호의 kurtosis 값이 healthy case 베어링 신호의 kurtosis 값보다 크지만 이번 실험에서는 그 차이가 미미하다. 그렇기 때문에 여러 가지 알고리즘을 사용하여 kurtosis 값의 차이를 알아보려고 했다. 실험 결과에서 관찰되듯이 원 신호의 kurtosis 값 보다 MED와 TKEO를 사용한 이후의 kurtosis 값이 더 커지는 것을 알 수 있다. 그 중에서도 MED를 먼저 통과한 후에 TKEO를 거친 신호의 kurtosis 값이 제일 커지는 것을 확인하였다.

### 후 기

본 연구는 국토해양부 “진동신호를 이용한 고속 열차용 감속기 이상진단 알고리즘 개발”의 일환으로 수행되었습니다.