

우연잡음환경속에서 작은진폭저주파유효 신호의 시작시간포착방법

김일광, 성재균

어떤 장치의 동작상태를 판정할 때 그 장치에서 발생하는 음향신호들을 접수하고 그로부터 장치동작에서 나타나는 몇가지 특징들을 평가하는 여러가지 방법[1-3]들이 현재까지 많이 연구되어 리용되고있다. 가장 일반화된 방법으로서 신호대잡음의 특성을 반영하는 우도비를 평가하는 방법이다.

주어진 기계장치가 동작하는 과정에는 그 부분품들에서 고유한 여러가지 음향신호들이 발생한다. 음수감부를 통하여 수신한 신호속에는 백색잡음, 기계장치의 저주파기반진동잡음, 부분품의 동작에 의한 음진동 등이 포함된다. 이러한 잡음환경속에서 부분품의 동작이 시작될 때 발생하는 세기가 매우 약한 어떤 저주파유효신호의 시작순간을 효과적으로 검출하는 문제가 제기되곤 한다. 유효신호의 검출을 위하여 상사 혹은 수자식려파기를 리용하여 잡음을 제거한다. 그러나 유효신호의 대역너비가 좁은 경우에 주파수령역대역통과려파기의 경사도가 매우 커야 하는데 이것은 장치규모를 크게 하거나 연산시간의 실시간성보장을 어렵게 하는 결함이 있다.

그림 1에 각이한 진동주파수대역에 있는 신호들의 모양을 보여주었다.

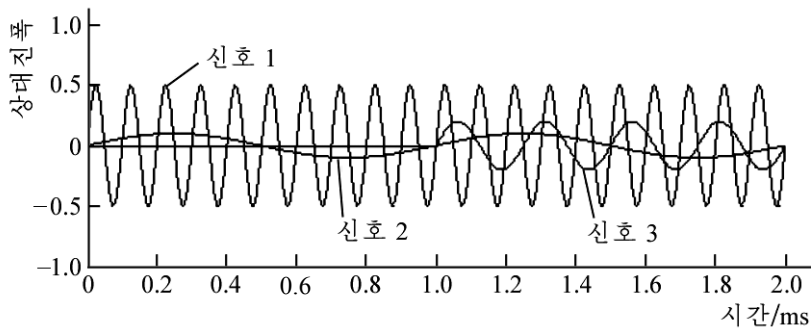


그림 1. 각이한 진동주파수대역에 있는 신호들의 모양

그림 1에서 신호 1은 진폭이 큰 고주파잡음, 신호 2는 기계장치의 기반진동잡음, 신호 3은 1ms후부터 나타나는 작은 진폭의 유효신호이다.

백색잡음은 전 대역에 걸쳐 스펙트르진폭밀도가 균일하게 분포되어있지만 저역통과려파기로 려파하는 경우 저역성분이 대단히 작아지므로 고주파신호로 모형화할수 있다.

신호모형에 리용된 고주파잡음신호 1의 주파수는 10kHz, 진폭은 0.5이고 기반진동잡음 2의 주파수는 1kHz, 진폭은 0.1이며 유효신호의 주파수는 4kHz, 진폭은 0.2이다.

그림 2에 합성된 수신신호의 모양을 보여주었다.

그림 2에서 보는바와 같이 합성된 신호로부터 유효신호의 시작점을 정확히 알아내는 것은 쉽지 않다는것을 알수 있다.

그림 2에서 보여준 신호의 특징은 다음과 같다.

- ① 유효신호구역을 명확하게 구별하기 어렵다.

② 합성신호에는 가우스분포의 백색잡음과 함께 유효신호보다 더 낮은 주파수의 기 반진동잡음도 포함되어 있다.

③ 유효신호의 대역은 잡음스펙트르대역너비보다 훨씬 좁다.

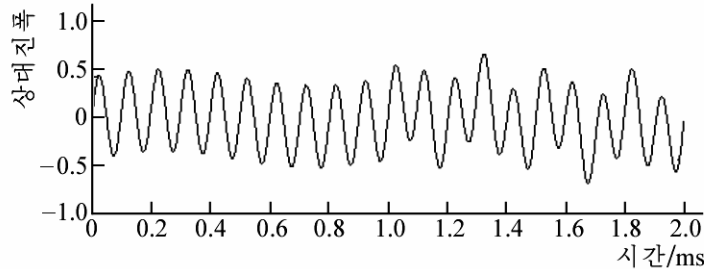


그림 2. 합성된 수신신호의 모양

논문에서는 위와 같은 특징을 가지는 우연신호로부터 주파수가 낮은 유효신호의 시작순간을 효과적으로 포착하는 한가지 방법을 제기하였다.

먼저 그림 1의 신호의 특징에 기초하여 수신신호의 수학적모형화를 진행하고 그것에 기초하여 유효신호의 시작시간을 판정하는 방법을 보자.

신호의 전체 시간구간 $[0, t_e]$ 를 첫 시간구간 $[0, t_e/2]$ 와 마감시간구간 $[t_e/2, t_e]$ 로 나누고 첫 시간구간에서 신호는 고주파조화진동신호(백색잡음)와 저주파조화진동신호(기 반진동잡음)의 합

$$y(t) = \sum_{i=1}^2 a_i \sin(\omega_i t), \quad 0 \leq t < t_e/2 \quad (1)$$

로만 이루어져있고 마감시간구간에는 식 (1)과 같은 조화진동신호와 함께 저주파조화진동신호(유효신호)가 혼합되어있다고 하고 이것을 수식으로 표시하면 다음과 같다.

$$y(t) = \sum_{i=1}^3 a_i \sin(\omega_i t), \quad t_e/2 \leq t < t_e \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서 a_i 와 ω_i 는 조화진동진폭과 각진동수이다.

신호들의 특성으로부터 다음과 같은 조건을 줄수 있다.

$$a_1 \gg a_3 > a_2, \quad \omega_1 \gg \omega_3 > \omega_2 \quad (3)$$

위와 같은 수학적모형은 시간순간 $t_e/2$ 에 있는 첫 신호에 비하여 진폭이 매우 작은 저주파조화신호가 신호의 구성성분으로 끼여든 현상을 표현하는 간단한 신호모형이다.

다음 고주파잡음제거방법에 대하여 보자.

신호의 전체 시간구간 $[0, t_e]$ 에서 다시 임의의 작은 토막시간구간 $[t', t'']$ 를 설정하고 그 시간구간에서 식 (2)를 적분하면

$$z(t', t'') = \sum_{i=1}^3 \int_{t'}^{t''} a_i \sin(\omega_i t) dt \quad (4)$$

로 표시되고 이것을 계산하면 다음과 같다.

$$z(t', t'' + \Delta t) = \sum_{i=1}^3 \left[-\frac{a_i}{\omega_i} (\cos(\omega_i t' + \omega_i \Delta t) - \cos(\omega_i t')) \right] \quad (5)$$

식 (5)에서 합기호안의 첫항과 둘째 항을 보면 모양은 같고 위상이 $\omega_i \Delta t$ 만큼 차이나는 코시누스함수로서 고주파신호를 제거하기 위해서는 다음의 조건을 만족하면 된다는 것을 알 수 있다.

$$\omega_i \Delta t = 2\pi m, \quad m = 1, 2, \dots \quad (6)$$

그림 3에 그림 2의 신호에서 식 (6)을 만족하는 시간구간 Δt 를 택하여 적분한 결과 신호의 모양을 보여주었다.

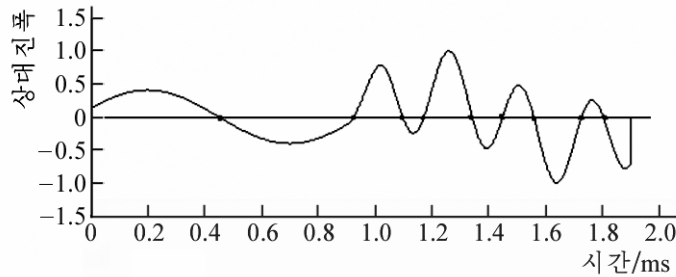


그림 3. 시간구간 Δt 를 택하여 적분한 결과신호의 모양

그림 3에서 보는바와 같이 진폭이 큰 고주파잡음신호는 효과적으로 제거된다는 것을 알 수 있다.

다음으로 저주파기반진동잡음을 제거하는 방법을 보자.

그림 3에서 보면 신호는 저주파기반진동잡음만 있는 시간구간과 그 잡음에 유효신호가 합성된 구역으로 이루어져있으며 저주파기반진동잡음은 유효신호에 비하여 주파수가 상대적으로 낮으며 령기준선으로 신호를 절단할 때 나타나는 사림점사이의 거리가 유효신호구역에서보다 더 길어진다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 특징을 리용하여 령선과의 사림점거리가 유효신호의 사림점거리보다 클 때에는 그 구간에서의 신호의 크기를 령으로 설정해주면 저주파기반진동잡음을 제거하고 유효신호의 시작점이 뚜렷한 신호를 얻을 수 있다.(그림 4)

그림 4에서 보는바와 같이 유효신호구간에는 기반진동잡음이 포함되어 그림 1의 3번 유효신호와 모양이 완전히 같지는 않지만 신호의 시작점을 찾는 데는 지장이 없다는 것을 알 수 있다. 또한 기반진동의 진폭이 유효신호의 진폭보다 높은 경우에는 시작점이 뒤로 밀릴 수 있으므로 정확한 시작점을 찾기 위해서는 유효신호의 진폭이 적어도 기반진동의 진폭보다는 커야 한다는 것을 알 수 있다.

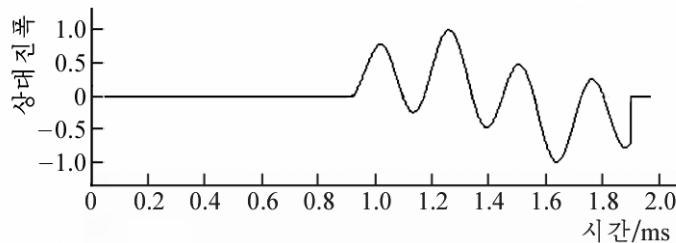


그림 4. 기반진동잡음을 처리한 후 신호의 모양

우와 같은 고찰에 기초하여 실지음향신호의 모양에 보다 더 접근한 수학적모형을 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$y(t) = \sum_{i=1}^2 a_i \sin(\omega_i t + \varphi_i(t)), \quad 0 \leq t < t_e/2 \quad (7)$$

$$y(t) = \sum_{i=1}^3 a_i \sin(\omega_i t + \varphi_i(t)), \quad t_e/2 \leq t < t_e \quad (8)$$

식 (1)과 (2)에서와는 달리 식 (7)과 (8)에 들어있는 위상 $\varphi_i(t)$ 는 시간적으로 우연값을 취하면서 변할수 있다. 그러므로 위상 $\varphi_i(t)$ 는 시간에 따라 서로 다른 속도로 요동하는 값으로 선정할수 있다.

$$\varphi_i(t) = f_i \cos(b_i \omega_i t) \quad (9)$$

식 (9)에 의하여 위상값 $\varphi_1(t)$ 와 $\varphi_2(t)$ 를 시간에 따라 심하게 요동시키면서 식 (7)과 (8)을 리용하여 표시한 신호곡선들에 대하여 토막시간구간적분값들을 계산하여 낮은 주파수유효신호의 시작시간판정가능성을 확인할수 있다.

$f_1 = 2\pi$, $b_1 = 2$ 인 경우 해당한 신호모양은 그림 5와 같으며 적분토막시간을 $\Delta t = 0.1\text{ms}$ 로 선정하고 이 시간구간에서 적분값을 구하면 그림 3과 같은 모양을 나타낸다.

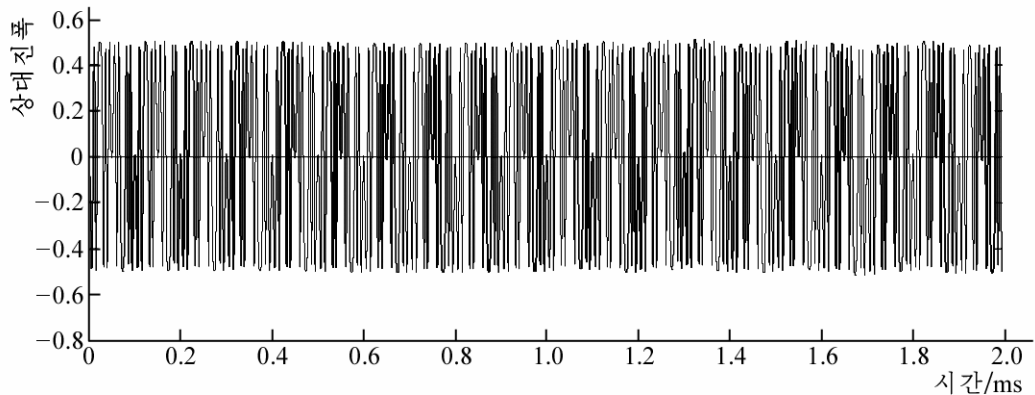


그림 5. 합성신호파형

그림 5에서 보는바와 같이 신호와 잡음의 진폭비는 50배로서 대단히 큰 차이를 가지며 강한 잡음속에서 유효신호가 전혀 보이지 않는다는것을 알수 있다. 그리고 저주파기 반진동잡음을 제거한 후의 유효신호모양도 그림 4와 같다는것을 알수 있었다.

이상의 고찰에 기초하여 측정실험을 진행하고 결과를 분석하였다.

그림 6에 음향수감부로부터 수신된 유효음향신호가 섞여있는 신호의 모양을 보여주었다.

음향신호의 수감은 1차공진주파수가 25.3kHz, 반공진주파수가 29.6kHz인 티탄산바리움압전진동자를 리용하여 진행하였다. 이때 수감된 음향신호의 주파수대역은 압전수감소자의 공진주파수보다 훨씬 아래구역에 있다.

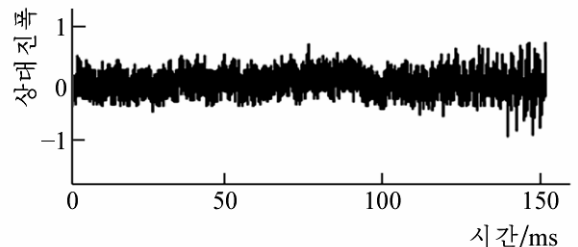


그림 6. 유효음향신호가 섞여있는 신호의 모양

수감된 음향신호에 대하여 앞에서 제기한 토막시간구간적분방법을 적용하여 그림 6과 같은 신호를 잡음려파 및 제거처리한 다음 얻어진 유효신호의 파형은 그림 7과 같다.

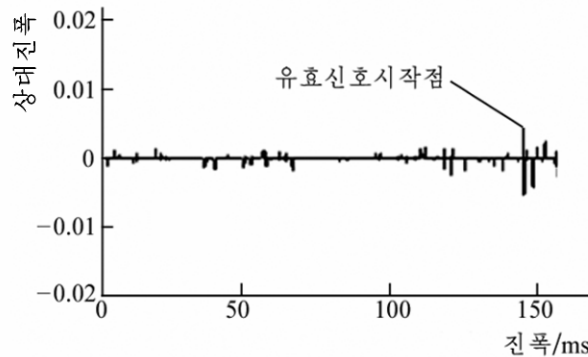


그림 7. 잡음려파 및 제거처리한 다음 얻어진 유효신호의 파형

그림 7로부터 잡음이 효과적으로 제거되고 유효신호의 시작시간을 명백히 관측할 수 있다는 것을 알 수 있다.

맺 는 말

상대적으로 세기가 매우 약한 저주파음향신호가 그에 비하여 비교적 큰 우연잡음이 나 기반진동잡음속에 섞여 나타나는 경우 유효신호의 출현순간을 정확하게 포착하는 한 가지 방법을 제기하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. Barkat; Signal Detection and Estimation, Artech House, 38~43, 1991.
- [2] R. G. Lyons; Understanding Digital Signal Processing, Prentice Hall, 129~135, 2011.
- [3] S. Bashir et al.; Acoust. Soc. Am., 133, 1281, 2013.

주체110(2021)년 5월 5일 원고접수

A Method for Finding of Starting Point of the Effective Low Frequency Signal Mixed by Random Noise

Kim Il Gwang, Song Jae Gyun

We proposed a method for finding of starting point of the effective low frequency signal mixed by random noise.

Keywords: random noise, band pass filter, finding of starting point