

치차쌍에서의 힐베르트스펙트르분석의 한가지 방법

주광명, 최동철

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학연구부문에서는 나라의 경제발전과 인민생활향상에서 전망적으로 풀어야 할 문제들과 현실에서 제기되는 과학기술적문제들을 풀고 첨단을 돌파하여 지식경제건설의 지름길을 열어놓아야 합니다.》(《신년사》 주체103(2014)년 1월 1일 단행본 8페이지)

기계설비의 만가동, 만부하운전을 보장하기 위한 과학기술적문제들을 해결하는것은 나라의 경제발전과 인민생활을 향상시키는데서 중요한 문제로 나선다.

선행연구[1]에서는 힐베르트스펙트르에 의하여 진동신호특성을 해석하였다.

실제계에서 얻어지는 진동신호에는 잡음성분이 많이 섞여있고 EMD방법에 의하여 얻은 경험모드함수들의 주파수대역이 넓기때문에 힐베르트스펙트르 그자체를 통하여서는 주기성을 찾아보기 힘들며 특히 전문가체계에 의한 치차감속기진동진단체계를 확립하는데서 일정한 문제가 제기된다.

론문에서는 무리분석법을 리용하여 힐베르트스펙트르의 주기성을 고찰하는 한가지 방법에 대하여 고찰하였다.

1. 치차쌍의 동력학적응답

치차쌍의 자유도모형은 그림 1과 같다.

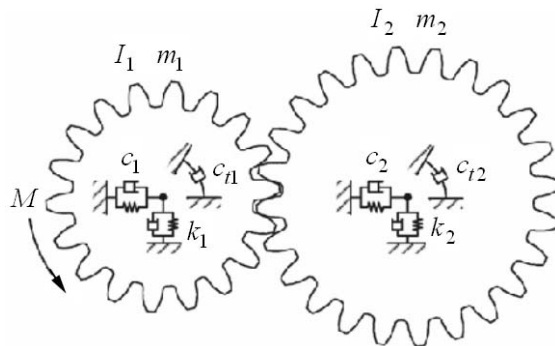


그림 1. 치차쌍의 6자유도모형

그림 1에서 본 치차쌍의 동력학방정식을 얻으면 그 결과는 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 m_1(\ddot{x}_1 - \varepsilon_1 \ddot{\theta}_1 \sin \theta_1 - \varepsilon_1 \dot{\theta}_1^2 \cos \theta_1) + c_1 \dot{x}_1 - c_m \dot{\delta} \sin \alpha + k_1 x_1 - k_m \delta \sin \alpha &= 0 \\
 m_1(\ddot{y}_1 + \varepsilon_1 \ddot{\theta}_1 \cos \theta_1 - \varepsilon_1 \dot{\theta}_1^2 \sin \theta_1) + c_1 \dot{y}_1 - c_m \dot{\delta} \cos \alpha + k_1 y_1 - k_m \delta \cos \alpha &= 0 \\
 (I_1 + m_1 \varepsilon_1^2) \ddot{\theta}_1 - m_1 \varepsilon_1 (\ddot{x}_1 \sin \theta_1 - \ddot{y}_1 \cos \theta_1) + c_{t1} \dot{\theta}_1 + c_m R_1 \dot{\delta} + k_m R_1 \delta &= M \\
 m_2(\ddot{x}_2 - \varepsilon_2 \ddot{\theta}_2 \sin \theta_2 - \varepsilon_2 \dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2) + c_2 \dot{x}_2 + c_m \dot{\delta} \sin \alpha + k_2 x_2 + k_m \delta \sin \alpha &= 0
 \end{aligned}$$

$$m_2(\ddot{y}_2 + \varepsilon_2\ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 - \varepsilon_2\dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2) + c_2\dot{y}_2 + c_m\dot{\delta} \cos \alpha + k_2y_2 + k_m\delta \cos \alpha = 0$$

$$(I_2 + m_2\varepsilon_2^2)\ddot{\theta}_2 - m_2\varepsilon_2(\ddot{x}_2 \sin \theta_2 - \ddot{y}_2 \cos \theta_2) + c_{t2}\dot{\theta}_2 + c_mR_2\dot{\delta} + k_mR_2\delta = 0$$

여기서 $\delta = (x_2 - x_1)\sin \alpha + (y_2 - y_1)\cos \alpha + R_1\theta_1 + R_2\theta_2$ 는 치차이발의 맞물림변형을 나타낸다.

방정식에서 치차의 고장은 맞물림억제기(k_m)와 편심의 크기(ε_i , $i=1, 2$)에 의하여 표현된다. 치차쌍의 주동치차에 1mm의 편심이 있을 때와 이발에 0.1mm의 마모가 있는 경우의 진동응답을 동력학방정식으로부터 얻으면 각각 그림 2, 3과 같다.

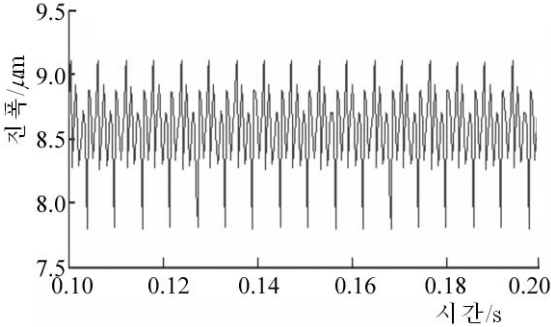


그림 2. 주동치차에 1mm의 편심이 있는 경우의 응답

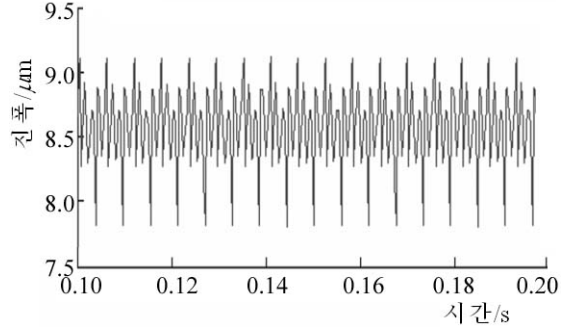


그림 3. 치차이발에 0.1mm의 마모가 있는 경우의 응답

그림 2, 3에서 보는바와 같이 치차의 맞물림주기성분이 명백히 나타난다는것을 알수 있으나 진동과형만으로는 고장을 구분하기 어렵다는것을 알수 있다.

이러한 문제를 진동응답의 힐베르트스펙트르를 통하여 해결할수 있다.

2. 힐베르트스펙트르에 의한 치차함의 고장진단

힐베르트변환에 의한 신호처리방법[1]을 리용하여 그림 1, 2에서 본 응답의 힐베르트에너지스펙트르를 얻으면 그림 4, 5와 같다.

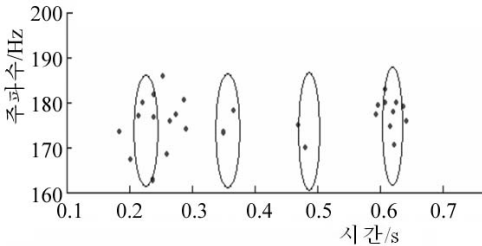


그림 4. 주동치차에 1mm의 편심이 있는 경우의 힐베르트에너지스펙트르

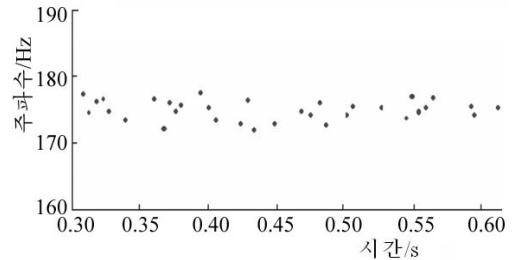


그림 5. 치차이발에 0.1mm의 마모가 있는 경우의 힐베르트에너지스펙트르

그림 4, 5에서 보는바와 같이 치차쌍에 편심고장이 나타나면 맞물림주파수의 근방에서 그 회전주기에 따르는 특성이 나타나며 마모가 있는 경우에는 주기성이 나타나지 않는것을 알수 있다.

이 스펙트르들은 실제신호에 대하여 매우 복잡하게 얻어지며(그림 6) 이를 분석하여 주기성을 분석하기 위한 방법이 필요하다. 그러므로 힐베르트스펙트르에 무리분석법을 적용하여 스펙트르에 나타나는 자료점들의 주기성을 고찰하였다.

그림 6에서 본 실제체의 스펙트르에 대하여 Q형무리분석을 진행한 결과는 다음과 같다.

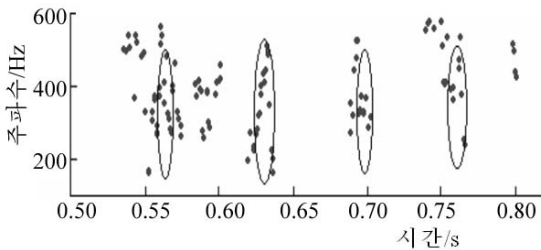


그림 6. 실제치차쌍의 진동응답에 대한 힐베르트스펙트르

개체들사이 류사성척도는 유클리드거리로 정의한다.

2개의 개체를 각각 $x_r = (x_{1r}, \dots, x_{pr})'$, $x_s = (x_{1s}, \dots, x_{ps})'$ 라고 할 때 유클리드거리는

$$d_{rs} = \left[\sum_{i=1}^p (x_{ir} - x_{is})^2 \right]^{1/2} \text{으로 된다.}$$

우의 스펙트르에서 우리가 고찰하려는 주파수구간인 $(340 \pm 50)\text{Hz}$ 안의 38개의 자료

점들을 무리분석방법에 의하여 평가하였다. 이때의 에네르기기준척도는 1.1이다.

프로그램 Matlab 7.0의 무리분석함수 Clusterdata를 리용하여 계산한 결과 38개의 자료점들 가운데서 첫 21개의 자료점들이 첫번째 무리를 구성하고 22번째 자료점부터 26번째 자료점까지는 두번째 무리, 27번째 자료점으로부터 33번째 자료점까지 세번째 무리를 구성하며 34번째부터 38번째 자료점까지 4번째 무리를 구성한다는것을 알수 있다.

시간축에서 무리중심의 위치는 매 무리에서 각각 0.551 7, 0.621 6, 0.692 5, 0.764 6이며 린접한 무리의 중심들사이거리는 0.069 9, 0.070 9, 0.072 2이고 그것들사이 평균거리는 0.071로 얻어졌다. 이 크기는 우리가 연구한 실제치차쌍의 주동치차회전속도(0.067)와 근사한 주기를 나타내며 주동치차에 편심이 있다는것을 알수 있다.

이것을 통하여 실천에서 진동신호의 힐베르트스펙트르가 복잡하게 얻어지는 경우에 무리분석법이 효과적이라는것을 알수 있다.

무리분석의 결과 무리중심사이거리가 회전주기와 같으면 치차에는 편심이 있다는것을 알수 있으며 무리개수가 1이면 치차이발에 마모가 있다는것을 알수 있다.

이와 같이 논문에서는 무리분석법을 리용하여 힐베르트스펙트르의 주기성을 고찰하면 스펙트르분석을 아주 효과적으로 할수 있다는것을 확증하였다.

편심의 경우뿐만아니라 균렬의 경우에도 이러한 방법을 리용할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] S. Riemenschneider et al.; Mechanical Systems and Signal Processing, 20, 718, 2006.

주체103(2014)년 6월 5일 원고접수

An Analysis Method of Vibration Signal in Gearbox using Hilbert Spectrum

Ju Kwang Myong, Choe Tong Chol

We studied the vibration diagnosis method using Hilbert spectrum with cluster analysis to detect the faults in the gearbox and demonstrated that this method is more useful than FFT to detect faults.

Key words: gearbox, Hilbert spectrum, fault diagnosis