

구조물의 에너지 전달 특성 연구

Study on the Characteristics of the Energy Transmission in a Structure

김 병 건* · 김 윤 철* · 채 장 범†

Byungghun Kim, Yunchul Kim and Jangbom Chai

Key Words : LPMS(Loose Part Monitoring System), Flow noise(유동장 노이즈)

ABSTRACT

In this paper, the new algorithm which eliminates structural noise and extracts the impact signature from the measured vibration signal is developed. We studied how the transient vibration signal due to the impact is distorted while propagating through the structure. Also the characteristics of noise generated by flow and the mechanical components are analyzed. The developed method is verified in the model plenum and the flow system in the laboratory. Results show the significant improvement in the sensitivity and accuracy.

1. 서론

금속 이물질에 의한 충돌을 감지하기 위해서는 금속 이물질의 충돌이 발생하였는지에 대한 여부를 정확하게 판단하는 것이 중요하다. 현장의 각종 기계에서 발생하는 노이즈와 유동에 의하여 발생하는 노이즈뿐만 아니라 발생된 금속 이물질의 충돌 신호가 구조물을 통하여 전파하면서 왜곡되는 구조적 노이즈를 제거하고 측정된 신호에서 충격 신호를 검출하는 기법이 요구된다.

2. 금속 이물질 충돌 검출

2.1 유동장 노이즈가 포함된 신호 특성 분석

현장에서와 유사한 노이즈를 재생하기 위하여 그림 1에서와 같이 현장 모사 모형과 유동장을 제작하였고 실험이 수행되었다. 그림 2는 실험모형에 연결된 유동장을 작동시켜 기계 노이즈 및 유동 노이즈를 발생시키면서 금속 이물질의 충돌을 임펄스 해머로 모사한 실험 결과이다.

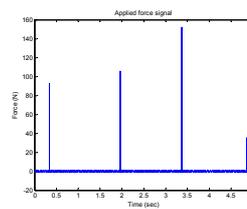


(a) 현장 모사 모형

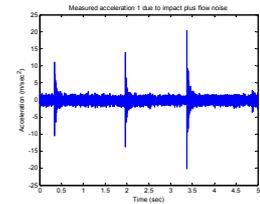


(b) 모형 아래에 센서가 부착된 모습

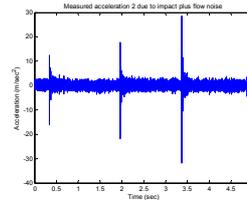
그림 1. 실험 장치와 가속도 센서가 부착된 모습



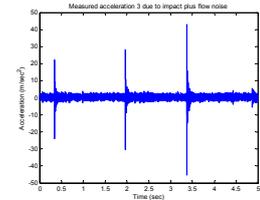
(a) 충격힘



(b) 가속도계 1의 가속도 신호



(c) 가속도계 2의 가속도 신호



(d) 가속도계 3의 가속도 신호

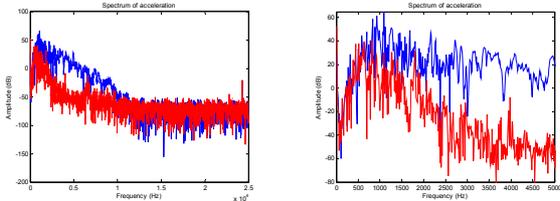
그림 2. 유동장 노이즈가 존재하는 경우 충격힘과 세 지점에서 측정된 가속도 신호

† 책임저자; 아주대학교 기계공학부
E-mail : jbchai@ajou.ac.kr
Tel : (031) 219-2349, Fax : (031) 219-7108

* 아주대학교 기계공학부

그림 2 (a)에서와 같이 충돌힘은 임펄스 해머로 가진하며 측정하였기에 노이즈와는 관계없이 깨끗한 파형을 보이고 있다. 그러나 가속도로 측정된 신호는 노이즈에 의하여 손상된 것을 알 수 있다. 특히 4번째 충돌 힘은 약 35N정도 되는데 이로 인하여 발생한 진동은 크기가 작아서 측정된 구조물의 진동이 측정 위치에 따라 조금 다르기는 하지만 노이즈에 가려져 있음을 알 수 있다. 따라서 금속 이물질의 충돌 신호를 노이즈 레벨이 높은 경우에도 노이즈와 분리하여 찾아내는 다시 말해 신호 대 노이즈 비가 낮더라도 감지 능력을 향상시켜 금속 이물질의 충돌 현상을 파악해 내는 것이 중요하다.

이를 위하여 충격힘 신호가 큰 경우인 그림 2 (a)의 두 번째 충격힘으로 인한 가속도 신호와 유동장 노이즈 신호의 주파수 성분을 그림 3에서 비교하였다. 유동장 노이즈도 가속도 신호와 마찬가지로 주파수 영역에 넓게 분포하고 있고 2000Hz까지는 그 크기가 커서 충격에 의한 가속도 신호를 많이 손상시키는 것으로 나타났다.

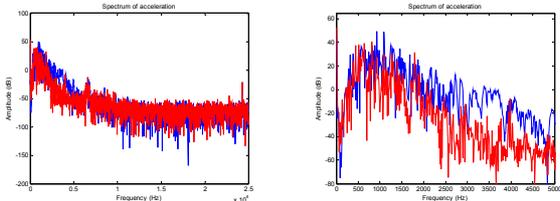


(a) 주파수 스펙트럼

(b) 5000Hz까지의 주파수 스펙트럼

그림 3. 유동장 노이즈가 포함된 신호(파란색)와 유동장 노이즈 신호(붉은색)의 스펙트럼 비교

이러한 현상은 충격힘이 작은 경우 더욱 두드러져 나타난다. 그림 4는 충격힘 신호가 가장 작은 그림 2 (a)의 네 번째 충격힘으로 인한 가속도 성분을 분석한 것이다. 그림 4 (a)에서 보듯이 주파수 성분이 유동장 노이즈의 주파수 성분과 상당히 유사한 것을 알 수 있다. 에너지가 많이 분포하는 5000Hz까지 확대한 그림 4 (b)에서도 그 차이가 크지 않다. 이는 단순한 주파수 분석을 통한 필터링으로는 충격힘으로 인한 가속도 신호와 노이즈 신호를 분리해 낼 수 없음을 시사한다.



(a) 주파수 스펙트럼

(b) 5000Hz까지의 주파수 스펙트럼

그림 4. 유동장 노이즈가 포함된 신호(파란색)와 유동장 노이즈 신호(붉은색)의 스펙트럼 비교

2.2 구조물 특성에 의한 영향

진동은 구조물을 통하여 전달되면서 구조물의 모달 파라미터(공진 주파수, 댐핑, 모달 크기)에 의하여 변화된다. 그림 5에 표시한 바와 같이 충격힘은 구조를 통과면서 구조물의 모드에 의하여 1개의 모드를 거칠 때마다 새로운 4개의 파라미터가 더해져 에너지가 퍼져있는 중요 주파수 영역에서의 새로운 파라미터의 영향을 구조물의 특성을 고려하여 제거하는 것이 필요하다.



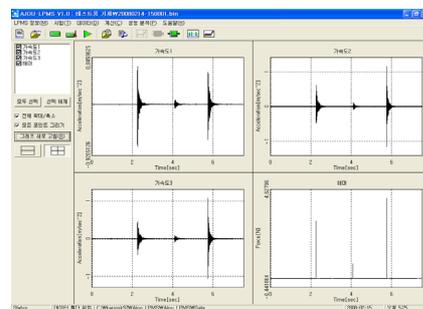
- $x(t) = \sin(2\pi f_0 t) e^{-\beta_0 t}$
- Parameter : f_0, β_0
- $h(t) = \sum_m \psi_m^s \psi_m^0 \sin(2\pi f_m t) e^{-\beta_m t}$
- Parameter : $f_m, \beta_m, \psi_m^s, \psi_m^0, m=1,2,3,\dots$
- $y(t)$
- Parameter : $f_0, \beta_0, f_m, \beta_m, \psi_m^s, \psi_m^0, m=1,2,3,\dots$

그림 5. 진동 신호가 구조물을 통해 전달되면서 구조물의 특성으로 인하여 증가되는 파라미터 관계

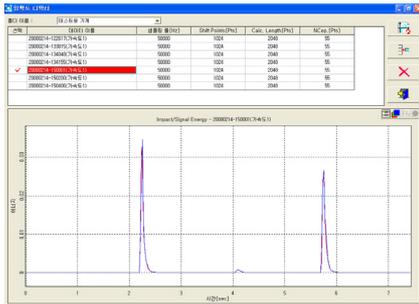
또한 금속 이물질 충돌에 의하여 발생한 진동을 측정하는 가속도 신호는 시간에 따라 널리 퍼져있고 구조물의 영향으로 주파수에 따른 증폭과 감쇠가 있기 때문에 구조물의 감쇠 특성에 맞게 일정 시간동안 분포된 가속도 성분의 에너지를 구하는 것이 중요하다.

2.3 충돌 신호 감지

그림 7 (a)는 노이즈가 존재하지 않는 상태에서 충격힘을 가한 경우의 충격힘과 가속도 신호를 나타낸다. 그림 7 (b)에서 나타난 바와 같이 기존의 계산방법과 민감도의 차이가 크지 않다.

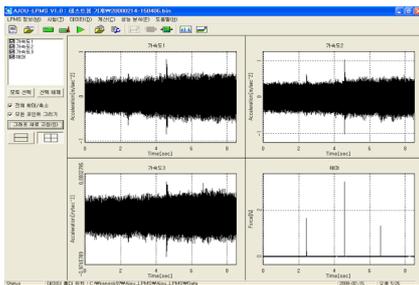


(a) 가속도계 1,2,3의 신호와 충격힘 신호

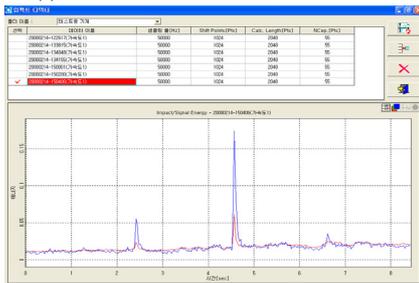


(b) 기존방법(붉은색)과 개발방법(파란색)에 따른 분석결과
그림 7. 노이즈가 없는 경우 계산 방법에 따른 가속도 신호의 에너지

그림 8 (a)에서는 유동장 노이즈와 구조물을 가진기를 이용하여 노이즈를 직접 발생시키면서 실험한 경우이다. 그림 8 (b)의 기존의 계산방법(붉은색)은 기본적인 노이즈 레벨의 변화가 크고 기본적 노이즈 레벨에 비하여 충격 신호가 존재 시 신호의 에너지가 크지 않아 감지의 민감도가 낮다. 이에 반하여 그림 8 (b)에 표시한 새로운 방법(파란색)은 기본 노이즈 레벨이 거의 일정하고 충격 신호가 존재 시 기본 노이즈 레벨에 비하여 상대적으로 높은 신호를 제공하기 때문에 충격 신호 감지 민감도가 높고 자동적 감시에 적합한 방법이라고 하겠다.



(a) 가속도계 1,2,3의 신호와 충격임 신호



(b) 기존방법(붉은색)과 개발방법(파란색)에 따른 분석결과
그림 8. 노이즈가 존재할 경우 계산 방법에 따른 가속도 신호의 에너지

4. 결 론

유동장 노이즈와 각종 기계 노이즈가 포함된 금속 이물질의 충돌 신호를 구조물의 외벽에 부착된 가속도계에서 측정된 신호를 이용하여 찾아내는 방법이 연구되었다. 이를 위하여 충돌 신호가 구조물을 따라 전파하면서 왜곡되는 현상을 연구하였고 또한 각종 노이즈의 특성을 연구하였다. 이를 바탕으로 충돌 신호의 왜곡 현상과 노이즈 성분을 제거하는 알고리즘을

개발하였으며 이를 실험실에서 검증하였다. 개발된 방법은 그 정확도와 충돌 신호 감지의 민감도 측면에서 기존의 방법에 비하여 상당한 우수성을 보였다.

후 기

이 연구는 전력산업연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Richard H. Lyon, 1984, Machinery Noise and Diagnostics, MIT press.