

노이즈에 둔감한 레이저 진동계측기용 실시간 신호처리 장치에 관한 연구

박승규*, 백성훈*, 김철중*

A Study on the Robust Real-Time Signal Processor of a Laser Doppler Vibrometer for Noises

Seung-Kyu Park*, Sung-Hoon Baik*, Cheol-Jung Kim*

ABSTRACT

A laser Doppler vibrometer based on the laser heterodyne interferometry is employed to measure the vibration velocity of vibrating objects. In this paper, we propose a real time analog signal processor of a laser Doppler vibrometer to reduce the degradation of Doppler signals mainly caused by environmental noises. In the proposed real time signal processor of an laser Doppler vibrometer, a pre-processor and a logical motion direction detector are designed to reduce the detection errors of the object motion direction. Also, a noise detection and rejection circuit is designed to reject the unfiltered noises.

Key Words : laser Doppler vibrometer(레이저도플러진동계측기), pre-processor(전처리기), signal processor(신호처리장치), motion direction detector(이동방향검출장치), noise detection(노이즈검출), noise rejection circuit(노이즈제거회로)

1. 서론

기계 가동에 수반되는 진동은 기계 수명과 가공 정밀도 등에 영향을 미치는 중요한 변수이므로, 발생하는 진동을 측정 분석함으로써 그 내부 상태를 알 수 있는 진동측정 기술은 현재 널리 쓰이고 있는 측정 분야이다. 또한 산업체에서 진동을 측정하고 조절하는 것은 안정된 시스템의 개발과 품질관리 및 안전차원 면에서 중요한 기술 중의 하

나이다⁽¹⁾. 진동측정용으로 널리 사용되고 있는 가속도계는 트랜스듀서(transducer)를 사용하여 진동에 의해 발생하는 압력파동을 전기적인 신호로 바꾸어 주는 방법으로 진동을 측정한다. 비교적 저가인 가속도계는 측정하고자 하는 물체에 가속도계가 완전히 접촉되어야 하고, 가속도계와 제어 시스템 사이에 신호선이 연결되어야 하므로 측정 대상 물체에 가속도계를 설치하는 것이 항상 쉬운 일 만은 아니다. 특히 전자기파 간섭에 민감하고

* 한국원자력연구소 원자력광기전기술개발팀

부하효과(loading effect)가 문제되는 유연한 물체 등에는 적용이 어려운 단점을 안고 있다.

레이저 진동 계측기는 레이저에서 주사되는 일정한 주기의 빛을 움직이는 물체의 표면에 조사하면 반사되는 빛은 측정 물체의 움직이는 속도에 대한 도플러(Doppler) 변이를 일으키므로, 이 변경된 주기를 측정하여 진동을 비접촉식으로 측정하는 장치이다⁽²⁻³⁾. 이 장치는 레이저빔을 이용하여 원격 비접촉식으로 진동을 측정하므로써 전자기파나 방사선 등의 노이즈에 크게 영향을 받지 않는 장점이 있다⁽⁴⁻⁶⁾. 그러나 레이저 도플러 진동계측기를 이용한 진동측정 과정에서 유입된 노이즈에 의하여 레이저 도플러 신호가 불안정해 질 경우 속도 출력 신호에 오차가 커질 수 있으며, 진폭이 큰 노이즈가 레이저 빔의 진행 과정이나 레이저 진동계측기 자체에 유입될 경우 광센서에 수신되는 레이저 도플러 신호는 진폭 값이 갑자기 작아지므로 레이저 진동계측기의 출력 신호가 발진하는 특성이 있어, 진동 해석시 측정환경에 따라 어려움이 있을 수 있다. 이와같이 노이즈의 유입이나 수신되는 도플러 신호의 진폭값이 작아서 발진하는 특성을 줄이기 위하여, 신호처리부는 다양한 형태의 저주파통과필터(low pass filter) 혹은 대역통과필터(band pass filter)를 사용하여 유입되는 신호에 대하여 측정환경에 따른 주파수 대역별로 적합한 신호처리를 수행한다⁽²⁾⁽⁷⁾. 그러나 이러한 방법은 90°의 위상차를 가지는 두 레이저 도플러 신호 자체가 노이즈에 의하여 변형되었을 때 발생하는 오차를 보정할 수 없다.

본 논문에서는 레이저 진동계측기 주위의 진동 노이즈나 레이저 빔 진행 경로상에 노이즈가 유입되는 환경에서도 노이즈에 대한 측정 신호의 비율이 높은 레이저 진동계측기용 실시간 신호처리 장치를 제안하였다. 제안된 실시간 신호처리장치에는 노이즈 유입에 의하여 불안정해질 수 있는 레이저 도플러 신호의 검출 오차를 줄이기 위하여 노이즈 제거용 진동체 이동 방향 검출회로가 고안되었으며, 또한 진폭이 큰 노이즈의 유입 시 이를 검출하여 저주파 특성의 신호는 보존하면서 노이즈를 제거하는 노이즈 제거 회로를 실현하였다.

2. 레이저 진동 계측기의 동작 원리

사용된 레이저 진동계측기는 레이저빔이, 기준빔과 신호빔으로 나누어져 각기 다른 광경로를 진행한 후 다시 합쳐져 간섭무늬를 형성하는 마이켈슨(Michelson) 간섭계의 원리를 이용하며 Fig. 1과 같은 구성을 가진다. 레이저 진동계측기는 레이저 광원과 이 광원을 신호빔과 기준빔으로 분리시키는 광분리기(beam splitter), 신호빔을 진동체의 원하는 측정위치로 이동시키는 주사장치(scanning system), 진동체로부터 반사된 신호빔과 내부의 기준빔을 편광 성분에 따라 분리하는 편광 광분리기(polarized beam splitter), 각각의 간섭무늬의 이동을 전기적인 신호로 변환시킨 후 이로부터 진동체의 진동 속도 신호를 추출하는 신호처리장치로 구성되어 있다.

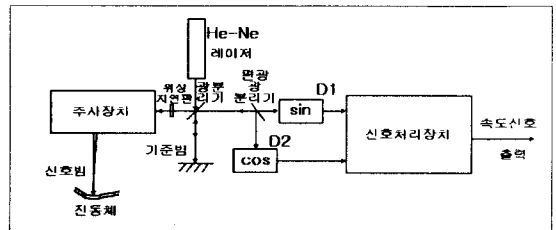


Fig. 1 System configuration of the laser Doppler vibrometer

측정대상체가 움직일 때 기준빔과 신호빔 사이에는 경로차가 변하게 되는데, 이것은 기준빔과 신호빔이 생성하는 간섭무늬의 이동으로 나타나게 되며, 따라서 이 간섭무늬를 검출하는 광검출기의 신호는 세기 변조(intensity modulation)된 신호를 형성한다. 세기 변조된 신호의 완전한 한 주기는 광원인 He-Ne 레이저빔의 반파장 만큼에 대한 표면의 움직임에 대응한다. 그러므로, 측정대상체의 표면속도 v 에 대응하는 세기 변조된 신호의 주파수 F_d 는 다음 식 (1)과 같다.

$$F_d = 2v / \lambda \quad (1)$$

식 (1)에서 λ 는 레이저빔의 파장을 의미하며, F_d 는 측정대상체의 표면 속도 v 에 대한 도플러 주파수를 의미한다. 재결합된 레이저 간섭무늬는 독립된 두 개의 광검출기 센서로 입력된다. Fig. 1에서 광분리기와 주사장치 사이에는 위상지연판

(phase retarder)이 설치되어 있어 신호빔의 두 개의 편광성분은 90°의 위상 차이를 가지고 광검출기로 입사되며, 따라서 광검출기에서 추출되는 도플러 간섭무늬 신호는 서로 90°의 위상 차이를 갖게된다. 그러므로 두 광검출기의 신호 D1, D2는 서로 90°의 위상 차이를 가지며, 측정대상체의 움직이는 방향에 따라 그 위상이 서로 반전된다.

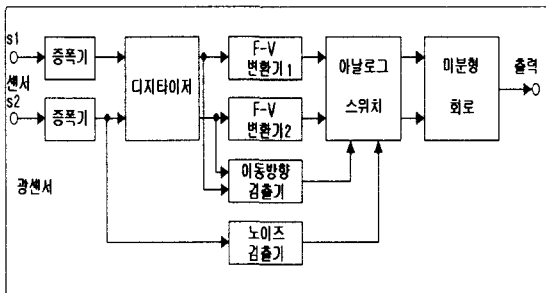


Fig. 2 Block diagram of the real-time signal processor

측정대상체가 레이저 신호빔의 진행방향과 반대 방향으로 움직일 경우 신호처리장치의 광센서 s1에 입력된 도플러 신호 D1의 위상이 광센서 s2에 입력된 도플러 신호 D2 보다 위상이 빠르다고 가정하면, 측정 대상체가 레이저 신호빔의 진행 방향과 같은 방향으로 움직일때 광센서 s1에 입력된 도플러 신호 D1의 위상이 광센서 s2에 입력된 도플러 신호 D2 보다 위상이 느리게 된다. 이러한 도플러 신호 D1과 D2는 전기적인 신호로 변환되어 신호처리장치에 입력된다. 신호처리장치는 입력된 도플러 신호 D1과 D2의 위상을 검출하여 측정대상체의 움직이는 방향을 판단한다. 진동체의 이동속도는 식(1)에서 보는바와 같이 레이저 도플러 신호의 주파수에 비례하므로 신호처리장치는 카운터와 같은 전기적인 회로를 활용하여 측정대상체의 움직이는 속도에 대응하는 전기적인 아날로그 속도 전압 신호를 생성한다⁽⁷⁾.

3. 노이즈에 둔감한 실시간 신호처리 장치의 구성

레이저빔을 이용한 원격 비접촉식 진동 측정시

유입되는 노이즈의 영향을 감소시키기 위하여 본문에서 제안한 레이저 진동계측기용 실시간 신호처리장치의 블록 구성도는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서, 광센서 s1, s2에 입력된 광신호의 세기 변화는 전기적인 세기 변화로 변환되고, 각각의 신호는 분리된 전선을 통하여 대응되는 각각의 증폭기로 전달된 후, 원하는 크기의 진폭 값으로 증폭된다. 증폭된 각각의 도플러 신호는 분리된 전선을 통하여 각각의 디지털이저로 입력된 후, 디지털화된 도플러 신호로 변환된다. 디지털이저의 출력신호인 디지털화된 도플러 신호는 진동체 이동방향 검출기 회로로 입력되며, 이동방향 검출기는 측정대상체의 움직이는 방향이 레이저 신호빔의 진행 방향인지 아니면 반대 방향인지를 판단한다. F-V 변환기 회로 각각은 측정대상체의 움직이는 방향에 따라 이동 속도에 대응하는 전기적인 아날로그 속도 신호를 생성한다. 아날로그 스위치는 2개로 구성되어 있으며, 대응하는 각각의 F-V 변환기의 출력신호를 혼합시킴으로써 진동체의 움직이는 속도에 대응하는 완전한 전기적인 속도 신호를 생성한다.

진동체의 진동속도를 측정하는 동안에, 진폭이 큰 노이즈가 유입될 경우 노이즈 검출 회로는 이를 실시간으로 검출한다. 노이즈 검출 회로가 진폭이 큰 노이즈가 유입되었다고 판단할 때, 동시에 ON된 두 개의 F-V변환기 및 아날로그 스위치에 의하여 필터와 미분형 회로로 구성된 노이즈 제거회로는 유입된 노이즈를 제거한다.

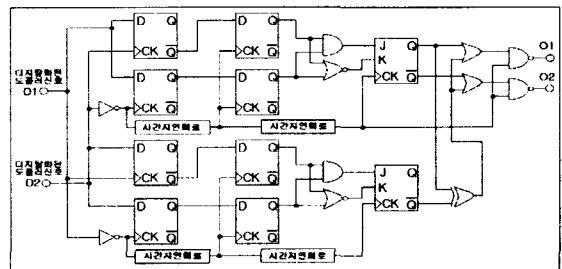


Fig. 3 Schematic diagram of the proposed motion direction detector for the real time signal processor

본 논문에서 제안한 레이저 진동계측기용 실시간 진동체 이동방향 검출기 회로도도 Fig. 3에 보여진다. Fig. 4에 보이는것 처럼 두 개의 디지털화된 레이저 도플러 신호는 Fig. 3에 보이는 D-플립플롭으로 입력된다. Fig. 4에서 신호 3은 디지털화된 도플러 신호 D1이고 신호 4는 디지털화된 도플러 신호 D2이다. Fig. 3에 보이는 3단계 이동방향 검출 회로는 레이저 도플러 신호 D1이 D2보다 위상이 빠른지 혹은 늦는지를 구분하여 진동체가 레이저 신호빔의 진행 방향과 반대방향으로 이동하는지, 아니면 진동체가 레이저 신호빔의 진행 방향으로 이동하는지를 판단한다.

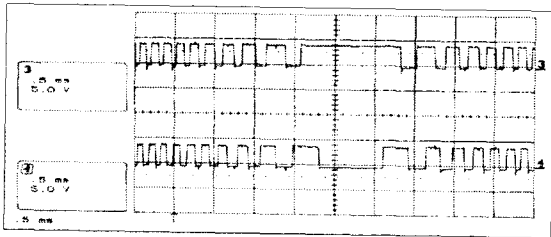


Fig. 4 Digitized laser Doppler signal

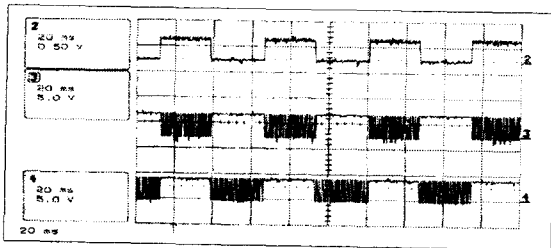


Fig. 5 Motion direction signal of the proposed motion direction detect circuit

실시간 신호처리장치 내부의 이동방향 검출 회로는 두 개의 디지털화된 도플러 신호(D1, D2) 각각의 상승경계선과 하강경계선에서 서로의 위상을 비교한다. 이동방향의 최종 판단은 3단계의 논리적 검사에서 모두 참 일 경우에 이동방향을 결정하며, 3단계 과정의 논리적 검사는 전기적인 회로에 의하여 실시간으로 수행된다.

첫번째 단계의 논리적 검사는 도플러 신호 D2의 상승경계선과 하강경계선에서 도플러 신호 D1이 도플러 신호 D2보다 위상이 빠른지 늦는지를

비교하는 것이다. 도플러 신호 D2의 상승경계선과 하강경계선 위치에서 도플러 신호 D1에 대한 D2의 위상 비교 결과가 서로 반대의 값이면 첫 번째 단계의 논리적 검사 결과는 참으로 설정하고, 서로 같은 값이면 거짓으로 설정한다. 예를들어 도플러 신호 D2의 상승경계선에서 위상 비교한 결과로 D1이 빠르고, 도플러 신호 D2의 하강경계선에서 위상 비교한 결과로 D1 신호가 느리면 첫 번째 단계의 논리적 검사의 결과는 참으로 설정하고, 위상 비교 결과 D1신호가 D2신호 보다 모두 빠르거나 모두 느리면 거짓으로 설정한다. 두 번째 단계의 논리적 검사는 도플러 신호 D1의 상승경계선과 하강경계선에서 도플러 신호 D2가 도플러 신호 D1보다 위상이 빠른지 느린지를 비교하는 것이다. 도플러 신호 D1의 상승경계선과 하강경계선에서 위상 비교한 결과가 서로 반대 값이면 두 번째 단계의 논리적 검사 결과는 참으로 설정하고 위상 비교 결과가 서로 같으면 두 번째 단계의 논리적 검사 결과는 거짓으로 설정한다. 세 번째 단계의 논리적 검사는 각 신호의 상승경계선에서의 위상 검출 결과가 서로 반대이면서 동시에 하강경계선에서의 위상검출결과가 서로 반대이면 참값으로 설정하고 그 외는 거짓으로 설정한다. 첫 번째, 두 번째, 세 번째 단계의 논리적 검사 결과가 모두 참일 경우에만 이동방향검출 회로는 진동체의 이동방향을 판정하며, 그 외는 이동방향 판정을 유보하며 직전의 과거 이동방향을 유지한다.

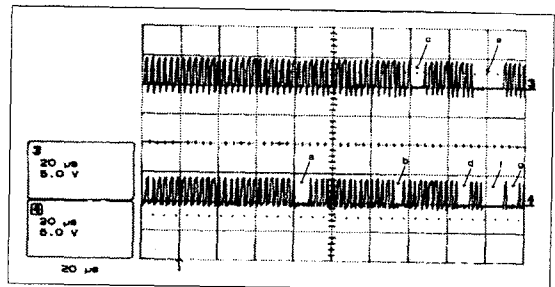


Fig. 6 Noise induced digitized laser Doppler signal

Fig. 3에 보이는 이동방향검출 회로의 출력 01은 레이저 도플러 신호 D1의 위상이 레이저 도플러 신호 D2보다 빠른 시간 동안의 디지털화된

레이저 도플러 신호이며, 출력 o2는 레이저 도플러 신호 D1의 위상이 레이저 도플러 신호 D2 보다 느린 시간 동안의 디지털화된 레이저 도플러 신호이다. Fig. 5에서 신호 2는 진동체의 이동 방향을 보여주며, 진동체가 레이저 신호빔의 진행 방향과 반대 방향일 경우에 신호 2는 1의 값을 나타내며, 진동체의 이동 방향이 레이저 신호빔의 진행 방향과 동일한 방향일 경우에 0의 값을 나타낸다. Fig. 5에서 신호 3은 진동체의 이동방향이 레이저 신호빔의 진행 방향과 반대 방향일 경우의 디지털화된 도플러 신호이며, 신호 4는 진동체의 이동방향이 레이저 신호빔의 진행 방향과 동일한 방향일 경우의 디지털화된 도플러 신호이다.

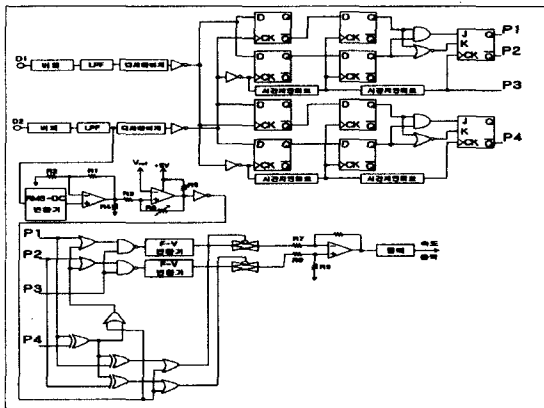


Fig. 7 Schematic diagram of the proposed real time signal processor for the laser Doppler vibrometer

유입된 노이즈가 레이저 진동계측기의 진동 측정에 영향을 미칠 때, 레이저 도플러 신호는 Fig. 6에 보이는 것처럼 불규칙적인 신호로 변한다. Fig. 6에서 신호 3은 노이즈 영향을 받은 도플러 신호 D1이고, 신호 4는 노이즈 영향을 받은 도플러 신호 D2이다. 제안된 이동방향 검출 회로는 노이즈가 유입되지 않을 경우에는 일반적인 이동방향 검출회로와 같이 동작된다. Fig. 6에 보이는 것처럼 유입된 노이즈가 진동 측정 신호에 영향을 미칠 경우, 본 논문에서 제안된 이동방향 검출 회로는 노이즈가 유입되는 순간에는 진동체의 이동방향을 판정하지 않고 노이즈 유입 직전의

진동체 이동 방향을 유지한다. 예를들어 노이즈가 유입된 Fig. 6의 도플러 신호에서, 제안된 이동방향검출 회로는 노이즈가 유입되는 순간인 a,b,c,d,e,f,g 의 시간 동안에는 진동체의 이동 방향을 판정하지 않고 노이즈가 유입되지 않았던 직전의 이동방향 정보를 유지한다. 제안된 이동방향 검출 회로는 3단계에 의한 논리적 위상 검사 결과가 모두 참일 경우에만 진동체의 이동방향을 판정하므로, 노이즈가 측정신호에 유입되지 않는 동안에는 일반적인 이동방향 검출회로와 같이 정상적으로 이동 방향을 검출하며, 도플러 신호 D1 혹은 D2에 노이즈가 유입된 동안에는 진동체의 이동 방향을 판정하지 않고 노이즈가 유입되지 않았던 직전의 진동체 이동 방향을 유지한다.

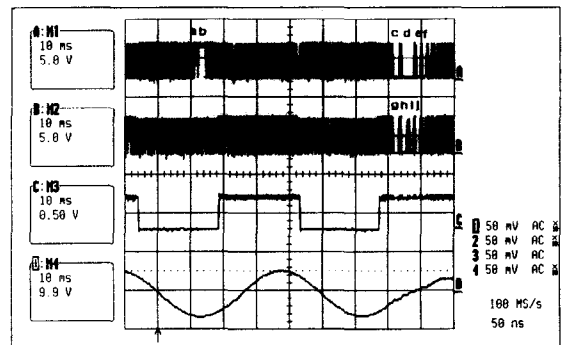


Fig. 8 The output of the motion direction detect circuit and real-time signal processor

Fig. 7은 본 논문에서 제안된 노이즈 영향을 줄이기 위한 레이저 진동계측기용 실시간 아날로그 신호처리장치의 회로도도를 보여준다. F-V변환기 회로는 Fig. 3의 이동방향 검출 회로의 출력인 디지털화된 도플러 신호 o1, o2를 아날로그 속도신호로 변환시킨다. 아날로그 스위치와 미분형 회로는 두 F-V변환기 회로의 출력 신호인 아날로그 속도 전압신호를 혼합함으로써 진동체의 이동속도에 대응하는 완전한 전기적인 속도 전압 신호를 생성한다. RMS-DC변환기 및 레벨 검출기로 구성된 노이즈 검출 회로는 레이저 도플러 신호 D2의 RMS 값을 실시간으로 검출함으로써 진폭이 큰 노이즈의 유입을 검출한다. 진폭이 큰 노이즈의 유입시 레이저 도플러 신호의 RMS 값은 갑자기

작아지므로, 레벨 검출 회로에서 설정된 기준값보다 레이저 도플러 신호의 RMS 값이 작아지면 노이즈 검출 회로는 노이즈가 유입되었다고 판단한다. 노이즈 검출 회로가 노이즈가 유입되었다고 판단하면, 필터와 미분형 회로로 구성된 출력회로는 두 개의 F-V변환기와 아날로그 스위치를 동시에 ON시켜서 노이즈 성분은 제거하고, 동시에 저주파 성분의 신호 성분은 유지하면서 아날로그 속도 전압 신호를 생성한다.

4. 실험 및 결과

본 논문에서는 레이저 진동계측기를 이용한 진동 실험을 위하여 상업용 레이저 진동계측기(OMETRON, VS1000)와 본 논문에서 제안한 아날로그 실시간 신호처리장치를 사용하였으며, 지름 200mm, 두께 7mm의 원형 두랄루민 판이 부착된 전기적 진동 가진기를 준비하였다. 진동 가진기는 레이저 진동 계측기와 약 2m의 거리에 떨어져 있으며 20Hz로 원형 판을 가진하였다.

Fig. 8은 노이즈가 진동 측정 신호에 영향을 미칠 경우에 본 논문에서 제안한 실시간 아날로그 신호처리 장치의 동작 결과를 보여준다. Fig. 8의 신호 A, B는 노이즈가 유입된 디지털화된 도플러 신호이며, 신호 C는 진동체의 이동 방향을 나타내는 이동방향 검출 회로의 출력을 보여주며, 신호 D는 신호처리 장치의 최종 출력인 아날로그 속도 전압 신호이다. Fig. 8의 신호 3은 노이즈가 유입된 순간 a, b, c, d, e, f, g, h, i, j 시간 동안에는 진동체의 이동방향을 판정하지 않고 노이즈가 유입되지 않았던 직전의 진동체 이동방향을 유지함을 보여준다. 노이즈 유입에 의하여 레이저 도플러 신호에 왜곡이 발생하는 경우, 일반적으로 레이저 진동계측기는 왜곡된 신호를 그대로 받아들여 진동체의 이동방향과 이동속도를 판정하므로 이동방향이 순간적으로 반복하여 반전될 수 있으며 신호처리부의 출력신호인 진동체의 이동속도 신호가 불안정하게 발전하는 특성을 나타낸다. 그러나 본 논문에서 제안한 신호처리장치는 과거의 진동체 이동방향을 그대로 유지하며 레이저 도플러 신호에 대하여 저주파 통과 필터를 활용하여 고주파 성분을 제거함으로써 반사되어 수신되는

레이저 도플러 신호가 어느 정도의 진폭을 유지한다면 F/V변환회로는 정상출력 속도를 유지하고 만약 반사되어 수신되는 레이저 도플러 신호의 진폭이 0에 가까우면 서서히 0으로 떨어지는 속도를 유지한다. 만약 진동체의 이동방향 반전 시점에 일치하여 레이저 도플러 신호에 왜곡이 발생한다면 본 논문에서 제안한 신호처리장치는 이동방향에 판정에 에러를 발생하나 레이저 도플러 신호의 왜곡이 없어지는 순간 바로 이동방향을 새롭게 판정한다. 그러므로 짧은 시간동안의 노이즈 유입에 의하여 레이저 도플러 신호의 왜곡이 발생하는 측정환경에서는 일반적인 레이저 진동계측기용 신호처리장치 보다 본 논문에서 제안한 신호처리장치를 효과적으로 활용할 수 있다.

노이즈가 유입되지 않은 정상적인 환경에서의 측정결과는 Fig. 9와 같다. Fig. 9의 신호 1은 상업용 레이저 진동 계측기를 이용하여 측정한 결과이며, 신호 2는 본 논문에서 제안된 실시간 아날로그 신호처리장치를 이용하여 측정한 실험 결과이다. 실험에서는 상업용 레이저 진동계측기와 아날로그 신호처리 장치의 최종 출력단 필터의 컷-오프(cut-off) 주파수를 500Hz로 제한하였다.

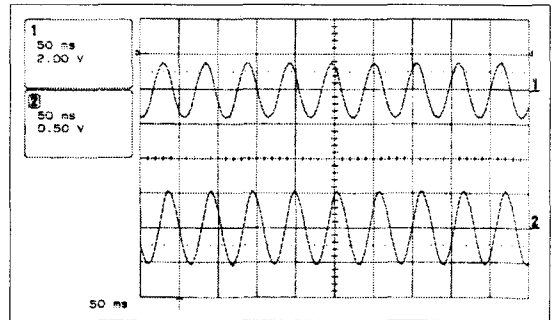


Fig. 9 Vibration measurement results from the commercial laser Doppler vibrometer and the proposed system at the normal state

Fig. 10은 진폭이 조금 큰 순간적인 노이즈가 유입 되었을때의 실험결과를 보여준다. Fig. 10의 신호 1은 순간적인 노이즈가 유입되었을 때 상업용 레이저 진동계측기의 측정 결과이며, 신호 2는 본 논문에서 제안한 실시간 아날로그 신호처리 장치를 이용한 측정결과이다. Fig. 10의 신호 3

과 4는 F-V변환 회로의 출력 신호이며, 노이즈가 유입되는 순간에 F-V변환기는 유입된 노이즈를 제거하기 위하여 동시에 ON 됨을 보여준다. Fig. 10의 실험 결과에서처럼, 노이즈 검출 회로가 노이즈가 유입되었다고 판단하면, 필터와 미분형 회로로 구성된 출력 회로는 두 개의 F-V변환기와 아날로그 스위치를 동시에 ON시켜서 노이즈 성분은 제거하면서, 동시에 저주파 성분의 신호 성분은 보존한다. 그러므로 본 논문에서 제안한 실시간 신호처리 장치는 3단계 과정의 논리적 이동방향검출 회로를 사용하여 레이저 도플러 신호에 유입된 노이즈에 의해서 발생할 수 있는 출력 신호의 오차를 최소화 시켰으며, 노이즈 검출 및 제거 회로를 사용하여 진폭이 큰 노이즈의 유입시 보통 불규칙적으로 발진하는 출력 파형을 노이즈는 제거하면서 저주파의 신호성분은 보존된 신호로 만듦으로써 진동신호의 측정 후 해석이 용이한 신호를 생성한다.

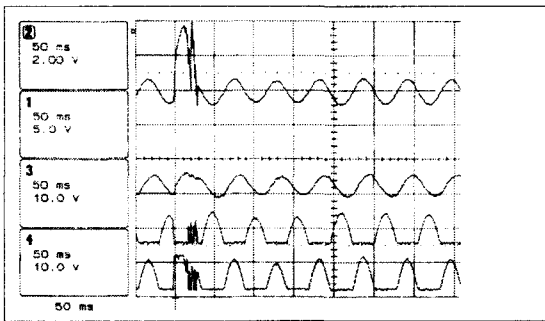


Fig. 10 Vibration measurement results from the commercial laser Doppler vibrometer and the proposed system at the noise induced state

5. 결 론

본 논문에서는 레이저 진동 계측기를 이용한 진동체의 진동신호 측정에 있어서, 3단계 논리적 검사를 수행하는 이동방향 검출회로를 사용하여 진폭이 작은 노이즈가 레이저 도플러 신호에 유입되어 발생할 수 있는 속도 전압 출력 신호의 오차를 최소화 시켰으며, 노이즈 검출 및 제거 회로를 사용하여 진폭이 큰 노이즈 유입시 일반적으로 발

생하는 출력 전압 신호의 불규칙적인 발진을 방지하였고, 저주파의 신호 성분을 보존하면서 노이즈를 제거함으로써 주파수 해석과 같은 진동신호 해석이 용이한 신호를 생성하였다.

차후의 연구 과제로는 넓은 대역의 주파수 신호에 대해서도 신호처리가 가능한 고품질의 신호 처리장치에 관한 연구가 필요하며, 또한 다양한 형태의 유입 노이즈 성분을 제거할 수 있는 신호 처리장치에 관한 연구가 필요하리라 생각한다. 특히 수중의 진동체에 대한 진동신호를 측정함에 있어, 유입되는 다양한 노이즈를 제거할 수 있는 신호처리 장치에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

후기

본 연구는 과학기술부 후원으로 수행되는 원자력 중장기 연구개발 사업의 일부로 수행되었다.

참고문헌

1. U. sudmersen, J. Runkel, "Condition monitoring of rotor machinery in nuclear power plants," Workshop in the frame & technological cooperation between Germany and Korea, 1996.
2. A. J. Barker, "Non contacting vibration measurement : role in design and industrial applications," SPIE, Vol. 1084, pp293-299, 1989.
3. R. G. Bream, "Application of vibration pattern imaging to modal analysis : a comparison with full-field and point measurement techniques," SPIE, Vol. 1084, pp279-292, 1989.
4. K. J. Maynard, J. A. O'Neil, "Dual axis laser vibrometry of BRUCE B unit six end fittings," OHT research report, No. 93-168-k, 1993.
5. B. A. Tozer, M. J. Little, "Laser metrology systems used for reactor inspection in the CEGB," SPIE, Vol. 863, pp23-30, 1987.
6. J. R. Wootton, G. Waldman, "Laser vibrometer identification friend-or-foe system," United States patent, No. 5,436,668, 1995.
7. X. Wang, J. C. Simpson, "Laser vibrometer," United States patent, No. 5,495,767, 1996.