

Measurement of Vibration Signals of a Gun Barrel Type Structure using Mechanical Filter

류 봉 조* · 구 경 완†
(Bong-Jo Ryu · Kyung-Wan Koo)

Abstract - This paper deals with the method of vibration measurement of a gun barrel structure using mechanical filter. When a bullet with high speed is moving within a gun barrel structure with low bending vibration frequencies, it is difficult to measure the bending vibration signals of the structure. For example, noncontact type sensors such as displacement or velocity sensor are not appropriate for the measurement of vibrational signals because of the movement effect of the equipment frame through the moving structures or effect of the ground vibration. One of contact type sensors such as accelerometer is profitable for measurement of vibrational signals because of its wide measurement ranges. In the case of a gun barrel structure including high vibrational signals like shock waves, however, it is necessary to propose vibration measurement method filtering high frequencies. The purpose of the paper is to propose the proper vibrational measurement technique filtering high frequencies of a gun barrel type structure.

Key Words : Vibration Signals, Mechanical Filter, Gun Barrel Type Structure

1. 서 론

내부에 폐속의 이동물체를 갖는 포신 구조물의 과도(transient) 측정시험에 있어 진동측정은 오랜 동안 다양한 센서 및 측정장비를 이용하여 측정해왔으나, 많은 시행착오를 겪어왔다. 이러한 포신 구조물의 진동측정 초기에는 스트레인 게이지를 주로 사용하여 왔으나 스트레인 게이지의 사용 시 스트레인으로부터 진동변위를 환산하려면 포신의 축 좌표에 대해 이중 적분을 수행하여야 한다. 그러나 과도진동 모드의 형상을 알 수 없기 때문에 2개의 적분상수를 구하는 방법이 어려워 이 방법은 정성적 자료로서의 역할만을 하였다.

이러한 어려운 점 때문에 그 후로는 가속도계를 많이 사용하였다. 그러나, 가속도계의 사용 시 포신의 굽힘 진동신호의 몇 백배에 달하는 충격파(shock wave) 가속도 신호가 잡음(noise)으로 작용하여 사격간 포신진동 측정에는 가속도계 사용이 어렵다고 여겨져 왔다. 스트레인게이지 사용과 가속도계 사용의 두가지 방법을 이용의 어려움 때문에, 그 이후 비접촉식의 변위센서나 속도센서의 적용방안도 시도 되었다 [1],[2]. 그러나, 이 또한 포신의 주퇴운동에 의한 측정오차와 포 발사 시의 충격진동이 센서 지지부에 미치는 영향 등으로 인한 측정오차는 감수할 수 밖에 없었다[3]~[5].

위에 열거한 세가지 방법들에 일장 일단이 있었지만, 최근에는 다시 가속도 센서의 사용이 효과적이라는 결과가 제시되고 있다. 이것은 접촉식 센서가 사격시험과 같은 극한 환경조건에 적합한 이유도 있지만 충격과 전달에 의한 가속

도 신호를 효과적으로 제거할 수 있는 방법이 적용될 수 있을 것이라는 것이 확인되었기 때문이다[6]. 일반적으로 100Hz 미만의 굽힘진동 가속도 신호에 비하여 충격과 전달은 수 kHz에 달하므로 센서를 포신에 부착할 때, 포신과 센서 사이에 고무(rubber)재질과 같은 재료로 절연하여 기계적 필터(mechanical filter)와 같은 역할을 하도록 하고, 이 기계적 필터를 통과한 일부 잡음 신호에 대해서는 여러가지 필터를 설계하여 적용하는 방안들이 제시되고 있다.

따라서 본 연구에서는 포신형상 구조물의 굽힘진동 측정시 비교적 저가인 가속도계를 사용하는 경우, 기계적 필터를 이용하여 고주파 신호를 필터링 할 수 있는 진동측정 방법을 제시한다.

2. 실험장치 및 실험

2.1 실험장치

Fig. 1은 포신형상 구조물의 굽힘진동 신호를 측정하기 위한 실험장치이며, 포신형상구조물의 한쪽 단을 강철판과

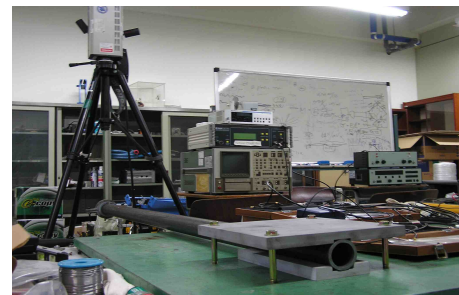


그림 1 포신형상 구조물의 진동신호 측정 실험장치
Fig. 1 Experimental setup for measurement of vibration signals of a gun barrel type structure

* 비 회 원 : 한밭대 기계공학부 교수 · 공박
† 교신저자, 정회원 : 호서대 국방과학기술학과 교수 · 공박
E-mail: alarmkoo@hoseo.edu
접수일자 : 2010년 10월 28일
최종완료 : 2010년 11월 11일

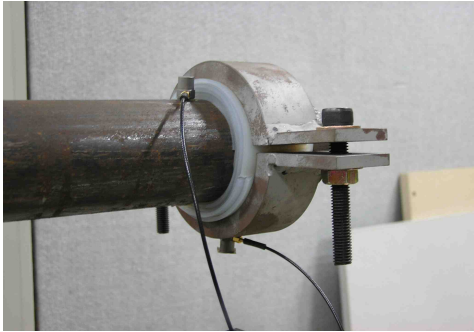


그림 2 기계적 필터 부착 사진
Fig. 2 Photograph of attachment of a mechanical filter

볼트 너트를 사용하여 고정시켰으며 타단은 자유인 상태로 두었다. Fig. 2는 기계적 필터를 사용하기 위해 고무재질의 재료를 포신형상 구조물의 자유단 쪽에 원형형상으로 제작하여 부착한 사진을 보여준다.

2.2 실험

실험은 첫째, 포신형상 구조물에 가속도계를 부착한 상태에서 기계적 필터를 사용하지 않은 경우와 사용한 경우의 두가지에 대해 충격해머의 타격에 의해 응답 가속도 신호를 가속도계로 측정한다. 둘째, 측정된 가속도 신호는 그 신호 자체가 미소하므로 증폭기(amplifier)를 통해 증폭되며, 이 증폭된 출력 신호는 디지털 메모리 오실로스코프 상에 모니터링 된다. 셋째, 모니터링된 신호는 컴퓨터와 연결하여 프린터를 통해 출력하여 진동분석을 행하였다.

일반적으로 포신 구조물과 같이 굽힘진동 주파수가 저주파인 구조물 내를 고속으로 움직이는 물체가 있을 때 사용될 수 있는 센서로는 변위속도센서, 레이저 속도센서, 가속도 센서 등을 들 수 있는데, 이들 중에서 변위속도 센서는 비접촉식이므로 지반진동, 설치프레임 위의 운동 및 구조물의 움직임에 따른 운동영향의 배제가 어렵고, 구조물이 저주파 대역의 진동일 경우 레이저 속도센서의 적용이 가장 바람직 하나 매우 고가이며, 변위센서는 측정범위가 약 5mm 내외로 좁으므로 적용이 어렵다. 가속도 센서는 접촉형이며 측정 범위가 넓어 유리하나 여러 가지 모드의 충격형태의 고주파 진동이 동시에 측정되므로 구조물의 주된 진동영역의 주파수가 저주파 대역일 경우 굽힘 진동 측정이 어렵다. 그러나 이러한 입장일단이 있는 센서들 중 비교적 저가인 가속도계를 측정에 이용하고, 고주파 신호를 필터링할 수 있는 기계적 필터를 부착함으로써 포신형태 구조물의 왜곡되지 않은 굽힘진동 신호를 측정할 수 있다.

2.2.1 가속도계 지지부의 절연에 의한 기계적 필터의 적용

Fig. 3은 일반적 진동 신호 영역을 보여주는 그림으로 가속도계 지지부의 공진점을 구조물의 굽힘 진동 신호 측정영역과 충격과에 의한 고주파 영향을 제거하고 굽힘 진동신호를 측정하여야 하며, 공진영역에 있는 신호는 노치필터(notch filter) 등으로 후에 처리한다.

2.2.2 진동절연의 영향성 검토

기계적 필터를 사용하지 않은 경우와 기계적 필터를 사용한

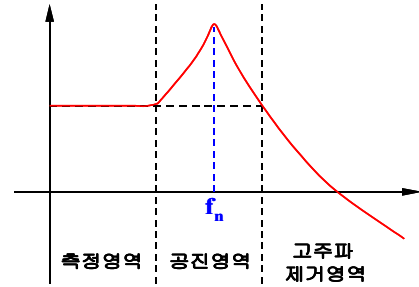


그림 3 일반적 진동신호 영역
Fig. 3 General vibrational signal ranges

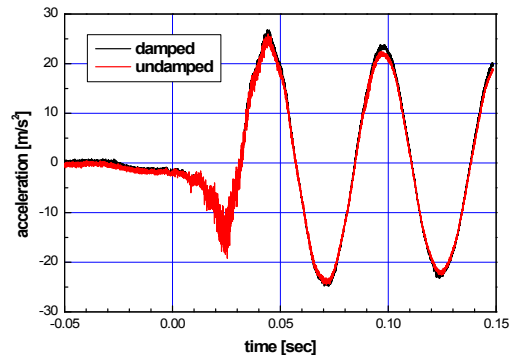


그림 4 기계적 필터존재 및 비존재 경우 진동신호 차이
Fig. 4 Difference of vibrational signals with and without mechanical filter

경우, 가속도 신호의 이동(shifting)관계를 정밀하게 측정함으로써 진동절연으로 인한 영향성을 검토하였다.

Fig. 4는 기계적 필터를 사용한 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 가속도 응답 신호를 보여준다. 실험결과에서 알 수 있듯이 두 경우 굽힘진동신호의 위상이동(phase shift)이 없으므로 본 실험에 대한 측정치구 및 외부의 영향은 없는 것으로 판단되었다.

2.2.3 진동절연 구조물의 대역별 진동신호 결과

Fig. 5에서 Fig. 8은 중대역과 고주파대역 진동신호 결과를 기계적 필터를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우로 나누어 진동 신호에 대한 결과를 보여주는 그림들이다.

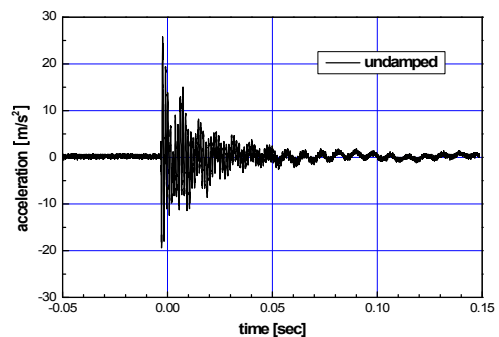


그림 5 기계적 필터가 없는 경우 중주파 영역 진동신호
Fig. 5 Vibrational signals of middle frequency ranges without mechanical filter

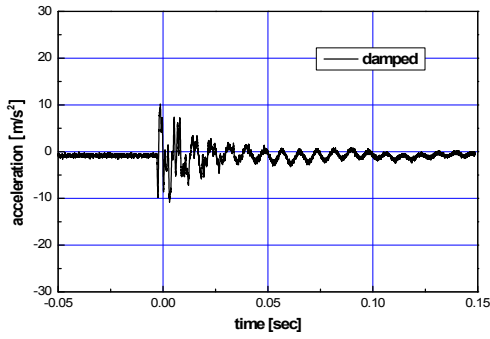


그림 6 기계적 필터가 있는 경우 중주파 영역 진동신호
Fig. 6 Vibrational signals of middle frequency ranges with mechanical filter

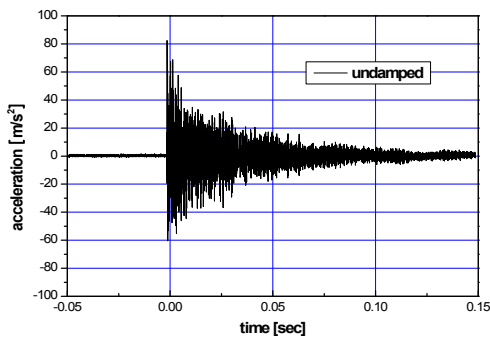


그림 7 기계적 필터가 없는 경우 고주파 영역 진동신호
Fig. 7 Vibrational signals of high frequency ranges without mechanical filter

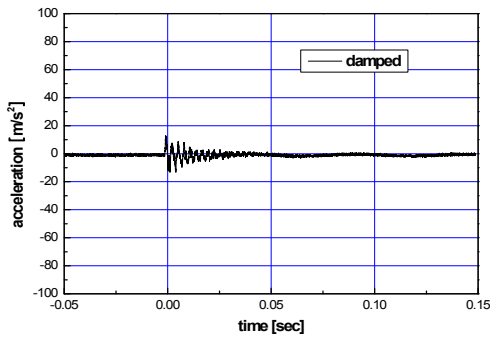


그림 8 기계적 필터가 있는 경우 고주파 영역 진동신호
Fig. 8 Vibrational signals of high frequency ranges with mechanical filter

이 그림들에서 알 수 있는 것은 기계적 필터를 사용함으로써 중대역이든 고주파 대역이든 고주파 신호를 제거할 수 있음을 보여준다.

2.2.4 자유진동 및 충격 진동 시 센서 차이에 따른 진동신호 비교

Fig. 9와 Fig. 10은 자유진동 시, 구조물의 진동신호를 각각 DC오프셋 보상전과 DC오프셋 보상 후의 진동신호를 보여주고 있으며, Fig. 11과 Fig. 12는 충격진동 시, 구조물의 진동신호를 각각 DC오프셋 보상전과 DC오프셋 보상 후의 진동신호

를 보여주고 있다.

이들 그림들에서 자유진동 시의 신호는 충격해머의 고무팁을 사용하여 구조물을 타격한 경우의 신호이며, 충격진동 시에는 강제 팁을 사용하여 구조물에 강한 충격을 준 경우이다. 두 경우 모두에 있어, 각 그림들은 가속도계 신호, 가속도계로 받은 신호를 적분한 신호, 레이저 속도센서로 측정된 신호의 3개의 그래프들로 구성된다.

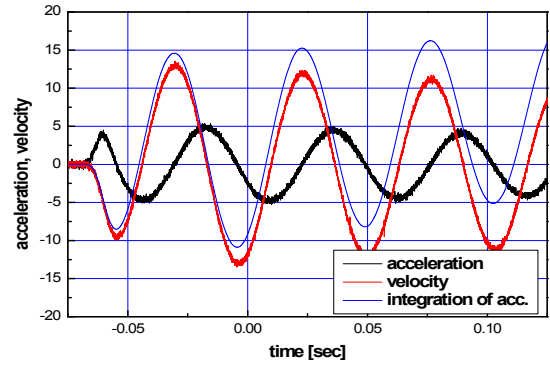


그림 9 DC오프셋 보상 전, 저주파 영역의 진동신호들
Fig. 9 Vibration signals of low frequency ranges before DC offset compensation.

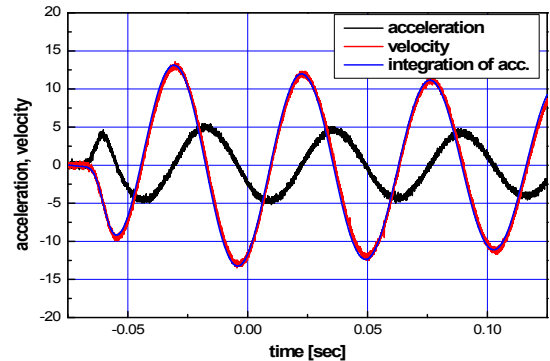


그림 10 DC오프셋 보상 후, 저주파 영역의 진동신호들
Fig. 10 Vibration signals of low frequency ranges after DC offset compensation.

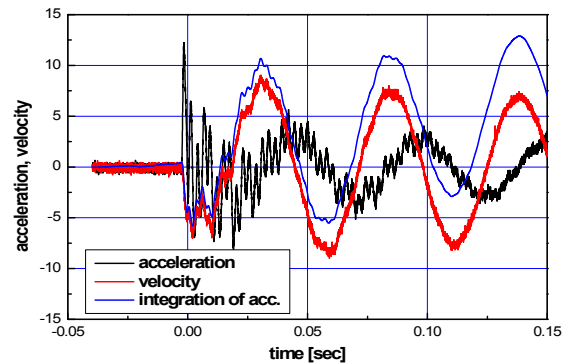


그림 11 DC오프셋 보상 전, 고주파 영역의 진동신호들
Fig. 11 Vibration signals of high frequency ranges before DC offset compensation.

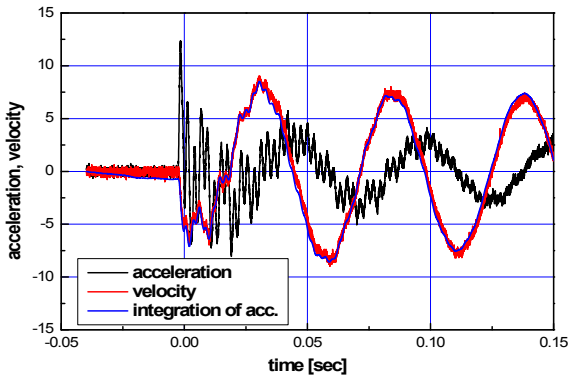


그림 12 DC오프셋 보상 후, 저주파 영역의 진동신호들
 Fig. 12 Vibration signals of high frequency ranges after DC offset compensation.

또한, Fig. 9와 Fig. 10은 저주파대역에서의 신호를 나타내며, Fig. 11과 Fig. 12는 고주파대역에서의 신호를 보여준다. DC 오프셋을 보정한 Fig. 10과 Fig. 12에서 알 수 있듯이 가속도계로 측정된 신호를 적분한 신호와 레이저 속도센서로 측정된 신호는 잘 일치함을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 사용한 기계적 필터를 통해 가속도계를 사용하여 포신형태 구조물 속을 이동물체가 계속으로 이동하는 경우, 포신형태 구조물의 굽힘진동 신호를 왜곡 없이 잘 측정하여 분석할 수 있음을 보여주고 있다.

3. 결 론

포신형태의 구조물과 같이 저주파 영역의 주된 굽힘 진동 신호를 갖는 구조물의 진동측정 시, 첫째, 본 연구에서 제시한 기계적 필터의 설계와 제작으로 가속도계를 이용한 포신형태 구조물의 굽힘진동 신호의 정확한 측정이 이루어졌음을 보였다. 즉, 자유진동 실험(저주파 대역)과 충격진동 실험(고주파 대역) 모두에 있어 진동신호의 DC오프셋을 보상해 줌으로써, 레이저 속도센서를 사용한 경우의 신호와 가속도계를 사용했을 때 이를 적분한 속도신호가 잘 일치함을 알 수 있었다.

둘째, 진동신호를 측정하는 센서들 마다 입장일단이 있지만, 비교적 저가인 가속도계를 사용하여 측정할 경우, 적절한 기계적 필터를 설계하여 적용할 수 있다면 구조물의 굽힘진동 신호를 정량적으로 정확히 측정해낼 수 있는 방법을 제시할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Snowdon, J. C., "Vibration and Shock in Damped Mechanical Systems", Jonh Wiley & Sons Inc. 1968.
 [2] Ruzika, J. E. and Derby, T. F., "Influence of Damping in Vibration Isolation", The United States Government Printing Office, 1971.
 [3] Rao, S. S., "Mechanical Vibrations(4th edition)", Pearson Prentice-Hall, 2003.
 [4] 박영진, "DMRS 를 이용한 전차사격 정확도 향상 방안

연구", 국방과학연구소과제 최종결과보고서, 2002.

[5] 이정필, 한상철, 박병철, 한영희, 박병준, 정세용, "플라이휠 에너지 저장장치의 진동 제어 성능 평가", 대한전기학회논문지, vol. 58, no. 9, pp. 1750-1756, Sep 2009.
 [6] Hamid Reza Karimi, "Optimal Vibration Control of Vehicle Engine-Body System using Haar Functions", International Journal of Control Automation and System, vol. 4, no. 6, pp. 714-724, Dec 2006.

저 자 소 개



류 봉 조 (柳 鳳 祚)

1959년 11월 19일생. 1981년 연세대학교 기계공학과 졸업(학사). 1988년 동 대학원 기계공학과 졸업(박사). 1989년 삼성종합기술원전자기기연구소 선임연구원. 1991년~1992년 오사카부립대학 항공우주공학과 객원교수. 1989년~현재 한밭대학교 기계공학부 교수.

Tel: 042-821-1159

Fax: 042-821-1587

E-mail: bjryu701@hanbat.ac.kr



구 경 완 (丘 庚 完)

1961년 2월 5일생. 1983년 충남대학교 전자공학과 졸업(학사). 1992년 동 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1987년 현대전자반도체연구소 선임연구원. 1994년~2005년 영동대학교 전자·정보공학부 부교수. 2005년~현재 호서대학교 국방과학기술학과 교수.

Tel: 041-540-9541

Fax: 041-540-9548

E-mail: alarmkoo@hoseo.edu