

Stick-Slip 현상에 의한 V-벨트의 진동과 소음에 관한 실험연구 Experimental Study of Vibration and Noise on Stick-Slip phenomenon of V-belt

구정태† · 안세진* · 정의봉** · 강종진***
Jung Tae Koo, Se Jin Ahn, Weui Bong Jeong and Jong Jin Kang

ABSTRACT

Stick-slip of belt-pulley system produces vibration which results in the noise problem. Experimental study was carried out to investigate the phenomenon of stick-slip with simple v-belt system. The optical displacement sensor detected the vibration caused by the stick-slip of which the frequency was significantly dependant on tension of the belt. The rotation speed of pulleys also affected the frequency and magnitude of the stick-slip vibration. Existence of misalignment between the driven and drive pulleys made some difference in the stick-slip frequency, but not much. Further study is necessary to identify the generation of noise from the stick-slip vibration.

1. 서론

엔진벨트 시스템은 차량의 엔진으로부터 동력을 전달시키는 기계요소로서 발전기, 에어컨, 파워스티어링 및 워터펌프 등을 구동하기 위해 사용되고 있다. 벨트와 풀리의 상호작용에 의한 stick-slip 과 마찰에 관련된 미끄럼현상 등으로 인해 각종 진동과 소음을 유발하게 된다.

이러한 진동과 소음은 벨트의 장력(tension)과 풀리(pulley) 사이의 정렬불량(misalignment) 그리고 회전속도 등에 따라 소음진동의 크기와 특성이 달라지게 된다. 그리고 벨트의 형상과 재질은 효과적인 동력전달뿐만 아니라 소음진동을 저감하기 위해 개발되고 있다.

벨트와 풀리 사이의 정마찰계수(coefficient of static friction)과 동마찰계수(coefficient of dynamic friction)의 차이에 의해 발생하는 stick-slip 현상을 규명하기 위해 실험적인 방법과 해석적인 방법으로 연구되어져 왔다⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾. Moon 은 벨트진동의 비선형에 대하여 조사하였으며⁽²⁾, Zhang 은 벨트충격음에 대한 해석과 실험을 비교하였다⁽³⁾. Which 는 회전수가 벨트의 거동에

미치는 영향을 분석하였다⁽⁴⁾. Moon 은 광변위센서(optical displacement sensor)와 마이크로폰을 사용하여 stick-slip 현상에 의한 벨트의 진동과 소음을 측정하고 둘 사이의 상관성에 관한 연구를 하였으며, 또한 이론적인 모델을 개발하여 풀리의 정렬불량에 의한 벨트가진을 해석하였다⁽⁵⁾.

Cheng 은 쿨롱 마찰의 장력조절장치(tensioner)가 장착된 다자유도의 벨트시스템에서 발생하는 소음진동에 대한 장력조절장치 마찰력의 영향을 이론적으로 분석하였다⁽⁶⁾. 이 연구에서 장력조절 장치의 마찰력이 벨트시스템의 동적인 특성에 중요한 영향을 미치는 것으로 결론으로 하고 있다.

본 연구에서는 V-벨트의 stick-slip 현상에 의한 진동을 재현하기 위해 간단한 벨트시스템 장치를 제작하였다. 풀리의 회전속도와 벨트의 장력 그리고 풀리 정렬불량(misalignment)의 유무에 따른 벨트의 변위진동을 측정하여 stick-slip 현상을 분석하였다. 그리고 stick-slip 에 의한 진동이 소음으로 발달되는 현상을 규명하기 위해 풀리의 진동과 풀리 근처 소음의 스펙트럼을 비교하고 상관관계를 조사해 보았다.

2. 실험방법

2.1 실험장치

V-벨트의 stick-slip 현상을 재현하기 위하여 Fig. 1 과 같이 AC 모터(dkm induction motor 91DG3-200FP)로 구동되는 구동풀리와 벨트를 통해

† 부산대학교 대학원 기계설계공학과
E-mail : denverbrncos@hanmail.net
Tel : (051) 510-3088, Fax : (051) 517-3805

* 부산대학교 기계기술연구소

** 부산대학교 기계공학부

*** 동일고무벨트(주) 연구소

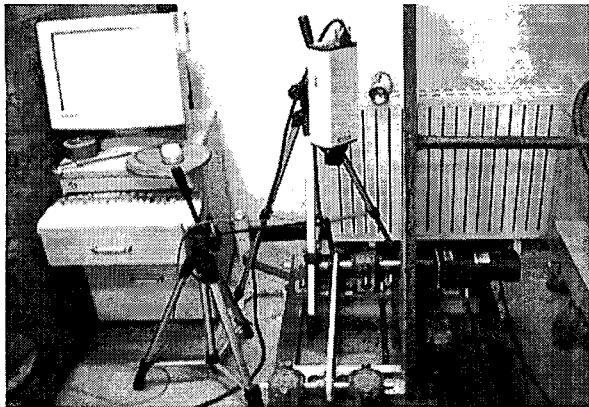


Fig.1 Simple test device measuring noise and vibration of v-belt

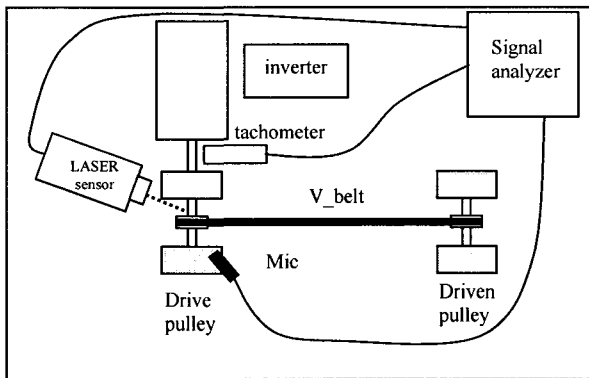


Fig. 2 Schematic figure of experimental setting

전달되는 구동력으로 회전하는 중동풀리를 정반 위에 설치하였다. 인버터(inverter:Samsung FARA MOSCOW G5 CIMR 27P5G5)로부터 전원을 공급받는 AC 모터는 인버터의 공급전압의 주파수를 조정하여 회전수를 조절하였다.

일반적으로 모터동력 전달용으로 사용되는 V-벨트(A-50)를 이용하였으며, 구동풀리의 위치는 고정하고 중동풀리의 위치를 조정하면서 벨트의 장력과 정렬불량의 유무를 조절하였다.

2.2 진동소음 측정

V-벨트의 stick-slip 에 의한 벨트의 진동과 소음을 측정하기 위하여 Fig. 2 와 같이 광변위센서(OFV-303)와 마이크로폰 (Type 4190)을 설치하였다. 그리고 구동축에 타코미터(B&K MM0024)를 설치하여 풀리의 회전속도를 측정하였다. 광변위센서에서 측정된 신호는 신호분석시스템(B&K pulse Type 2825)을 이용하여 시간신호분석 및 주파수분석을 실시하였다.

풀리회전 속도는 200,300,400,450,500rpm 5 가지로 조절하였고, 벨트 장력은 100N 에서 500N 사

이를 50N 간격으로 9 가지로 조절하였다. 그리고 풀리의 정렬불량이 있는 경우는 구동풀리와 중동풀리의 회전 중심을 약 5cm 정도 차이가 나도록 하였다.

Stick-slip 에 의한 벨트의 진동은 광변위센서를 이용하여 구동벨트 중심에서 약 2cm 떨어진 위치에서 측정하였다. 또한 벨트가 구동풀리에서 이탈하는 위치에서 1cm 떨어진 위치에서 음압을 측정하였다. 벨트에 의한 소음과 모터 등에 의한 기계적 작동에 의한 소음을 구분하기 위하여 벨트를 제거한 상태와 벨트를 장착하여 구동하는 상태에서의 소음을 구분하여 측정하고 비교하였다.

3. 실험결과

3.1 Stick-slip 진동

Fig.3 과 4 는 풀리의 장력이 300N 과 450N 일 때 측정된 벨트 진동의 변위를 측정된 시간신호와

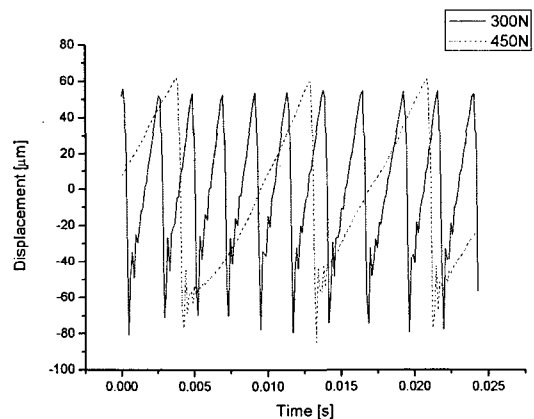


Fig. 3 An example of time history of V-belt vibration caused by stick-slip (rotation speed; 360rpm)

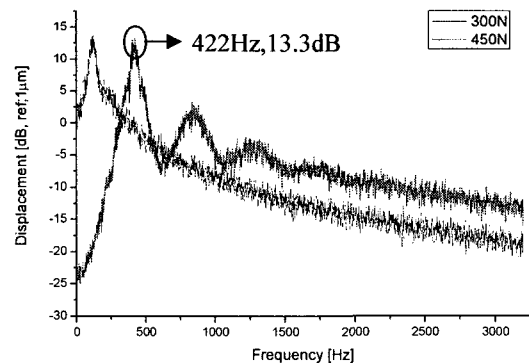


Fig. 4 An example spectrum of V-belt vibration caused by stick-slip (rotation speed ;360 rpm)

스펙트럼을 비교하여 나타낸 것이다. 벨트의 장력이 변함에 따라 stick-slip의 주파수와 spectrum이 달라짐을 관찰할 수 있다.

Fig. 5는 풀리의 정렬불량이 없을 때 stick-slip 주파수에 대한 벨트 장력과 풀리 회전속도 효과를 나타낸 것이다. 그리고 동일한 장력에 대해서는 회전속도가 증가할수록 stick-slip 주파수는 증가하였다. 풀리회전속도와 상관없이 장력이 250N 일 때 최대가 되고, 그 이상이 될 때는 점차적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 6은 풀리의 정렬불량이 있는 경우에 대하여 stick-slip의 크기를 나타낸 것이다. Stick-slip의 크기는 Fig. 4에서 첫번째 기본 주파수에서 피크(peak)의 크기로 하였다. 풀리의 회전속도가 증가함에 따라 stick-slip의 크기는 감소하고, 벨트의 장력변화에는 큰 영향이 없음을 알 수 있다.

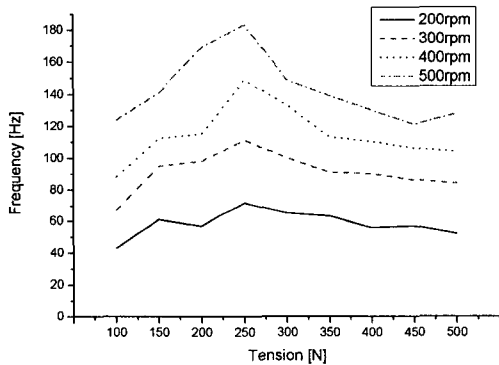


Fig. 5 Frequency of the first peak on stick-slip spectrum without misalignment

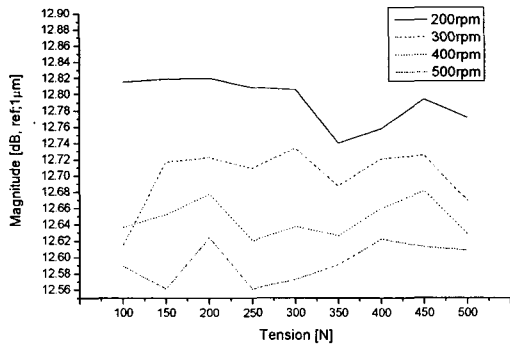


Fig. 6 Frequency of the first peak on stick-slip spectrum with misalignment

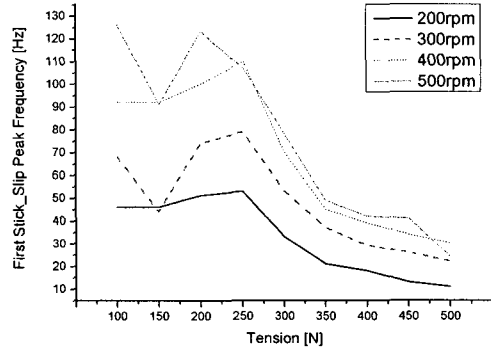


Fig. 7 Frequency of the first peak on stick-slip spectrum without misalignment

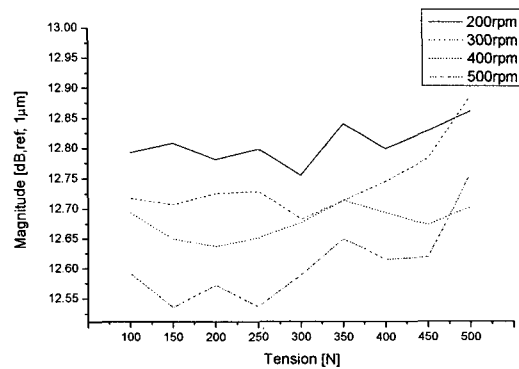


Fig. 8 Frequency of the first peak on stick-slip spectrum with misalignment

Fig. 7과 8은 풀리의 정렬불량이 5cm 있을 때 stick-slip 주파수와 크기를 벨트의 장력과 풀리의 회전속도에 대하여 나타낸 것이다. 장력이 250N일 때 stick-slip 주파수는 커지고 그 이상이 될 때는 감소하였다. Stick-slip 진폭의 크기는 풀리 회전 속도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다

3.2 Stick-slip에 의한 소음

Stick-slip 진동과 소음의 상관성을 분석하기 위하여 구동풀리에서 벨트가 이탈하는 위치 근처에서 음압을 측정하였다. Fig. 9는 풀리 정렬불량 없이 벨트를 장착하지 않은 상태와 벨트를 장착한후 300N으로 둔 상태에서 풀리 회전 속도를 360rpm으로 하였을 때의 소음을 비교한 것이다.

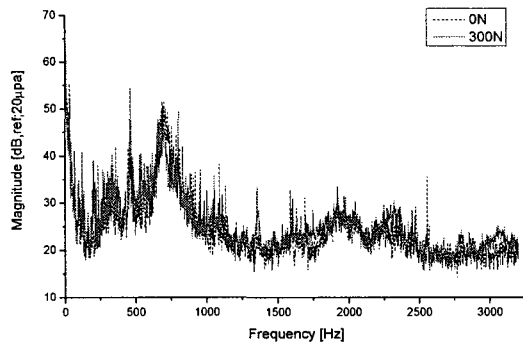


Fig. 9 Measured spectrum of v-belt

두 스펙트럼의 차이가 stick-slip 에 의한 소음인지를 확인하기 위해서는 상관도 분석이 추가적으로 요구된다.

4. 결론

V-벨트의 stick-slip 현상은 벨트의 장력과 풀리의 회전속도 그리고 풀리 정렬불량의 영향을 받을 수 있었다. 벨트가 특정한 장력이 될 때 stick-slip 주파수는 최대가 되고 그 이상에서는 주파수가 감소하였다. 풀리회전 속도가 증가하면 stick-slip 의 주파수는 증가하고 크기는 감소하였고, 풀리 정렬불량이 있을 때와 없을 때의 stick-slip 주파수와 크기는 큰 변화가 없었다.

V-벨트의 stick-slip 에 의한 진동이 벨트 소음을 유발하는 원인 중에 한가지이고, stick-slip 진동이 소음으로 발전하는 과정을 규명하기 위하여 더욱 구체적인 연구가 필요하다.

후 기

본 과제는 교육인적자원부 · 산업자원부 · 노동부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학 육성사업 기술개발과제의 연구결과입니다

참고문헌

- (1) Gerbert, B. G., 1981, Some Notes on V-Belt Drives, Transactions of the ASME, Vol. 103, pp. 8-18.
- (2) Moon, J. and Wickert, J. A., 1997, Non-Linear Vibration of Power Transmission Belts, Journal of Sound and Vibration, Vol. 200(4), pp. 419-431
- (3) Zhang, W. and Koyama, T., 2003, A Study on Noise in Synchronous Belt Drives (Experimental and Theoretical Analysis of Impact Sound), Journal of Mechanical Design, Vol.

125, pp. 773-778.

(4) Whieh, C. J. and Chen, W. H., 2002, Effect of Angular Speed on behavior of a V-Belt Drive System, International Journal of Mechanical Science, Vol. 44, pp. 1879-1892.

(5) Moon, J. and Wickert, J. A., 1999, Radial Boundary Vibration of Misaligned V-belt Drives, Journal of Sound and Vibration, Vol. 225(3), pp. 527-541.

(6) Cheng, G., and Zu, J. W., 2003, Nonstick and Stick-slip Motion of a Coulomb-Damped Belt Drive System Subjected to Multifrequency Excitations, Journal of Applied Mechanics, Vol 70, pp. 871-884.