

Order Tracking 을 이용한 Cogged belt 소음특성의 측정 및 구조변경 설계

Measuring of Noise Character on Cogged Belt Using Order Tracking and Design of Belt Shape

구정태† · 강종진* · 정의봉*** · 안세진***

Jung Tae Koo, Jong Jin Kang, Weui Bong Jeong and Se Jin Ahn

Key Words : Order Tracking, Cogged belt(코그드 벨트), Noise(소음), Order(차수)

ABSTRACT

Cogged belts get unpleasant noise when the speed is up and down. This paper investigates optimum condition for reducing a belt noise that is caused by a belt shape and properties of the material. Order tracking is used analyze belt noise. First step, the pitch length exerts an important influence on the order noise. Second step, material of belt is also important for reducing noise level. The experimental results showed the modified form and material of belts to reduce the noise.

———— 기호설명 ————

ω : 벨트각속도(rad/sec)

N : rpm

R : 구동폴리반지름(mm)

v : 벨트선속도(mm/s)

s : 코그피치(mm)

f_{pulley} : 폴리회전주파수(Hz)

1. 서론

일반적으로 벨트는 동력을 전달시키는 기계 요소로서 V-belt, Timing-belt, V ribbed-belt 등이 있다. 그 중 V-belt 는 굴곡성과 내구력이 떨어지기 때문에 고성능화와 콤팩트화가 요구되는 기계에 대해서는 Cogged belt 의 사용이 더욱 효율적이다. 이런 cogged belt 는 v-belt 에 비해 굴곡성이 뛰어나 내구력이 우수하고, 내열성, 내유성, 내균열성 및 내마모성이 우수하며, 작은 폴리에도 사용이 가능하다. 하지만 cogged belt 는 고유 형상에 의한 order 소음과 재질에 따른 소음의 크기와 특성이 달라지게 된다.

Kubo는 toothed belt의 주기적인 소음발생의 주요원인⁽¹⁾과 여러 요인에 대한 소음저감 방법⁽²⁾을 실험하였고, Moon은 벨트진동의 비선형에 대하여 조사하였으며⁽³⁾, Zhang은 벨트충격음에 대한 해석과 실험을 비교하였다.⁽⁴⁾ Tokoro는 Timing belt의 소음원이 되는 횡진동의 mechanism구현과 벨트진동을

줄이는 방법에 대해 연구하여 벨트의 고유진동수가 치맞물림 주파수와 맞을 때 벨트의 장력과 진폭이 증가하고 진동력은 벨트의 이 부분에서 발생하고 이것이 장력에 영향을 미친다고 하였다.⁽⁵⁾

본 연구에서는 벨트의 정확한 소음원을 찾아내기 위해 벨트 구동 시스템 장치를 제작하고, cog 의 형상의 변화에 따른 Order 소음을 측정하였다. 그리고 벨트의 인자에 따른 재질변경을 하여 소음을 측정하고 이를 비교하여 벨트의 소음에 영향을 많이 미치는 인자와 그 재질에 대해 조사해 보았다.

2. 실험방법

2.1 실험장치

벨트의 소음만을 측정하기 위해 AC 모터로 구동되어지는 벨트 구동시스템을 Fig.1 에 보여지는 바와 같이 개발하였다. 우측 하단의 폴리를 모터와 연결하여 구동시키고 좌측 하단 폴리의 장력조절장치를 사용하여 좌우로의 움직임을 통한 벨트의 장력이 조절 가능하고, 여러 개의 홈을 파놓아서 폴리의 위치를 변경 가능하게 하였다. 또한 가장 중요한 벨트

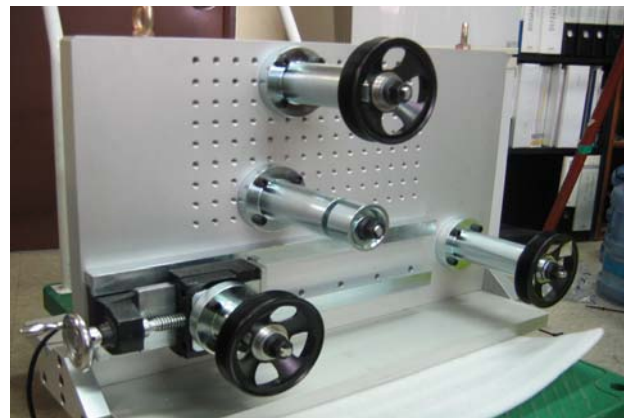


Fig.1 Belt driving apparatus for measuring belt noise and vibration

† 부산대학교 대학원 기계설계공학과

E-mail : denverbroncos@hanmail.net

Tel : (051) 510-3088, Fax : (051) 517-3805

* 동일고무벨트(주)

** 부산대학교 기계공학부

*** 르노삼성자동차

소음을 제외한 다른 소음을 제거하기 위해 복열 앵글러 콘택트 볼 베어링을 사용하여 베어링의 소음을 줄이고, 모터소음을 제거하기 위해 모터를 구동장치와 떨어뜨리고, 차음재를 사용한 case 를 사용하여 밀폐를 시켰다.

2.2 Order tracking 을 이용한 소음 측정

(1) Order Tracking 을 이용한 벨트소음측정

Order Analyzer 는 X 축을 회전 주파수와 관련된 항목으로 정리하는 기능을 수행하며 tachometer 는 회전체의 회전주파수를 측정하는데 사용된다. 또한 tachometer 의 입력은 analyzer 의 주파수 범위를 조정하는 역할을 한다. 결과적으로 회전체의 회전과 관련된 성분들은 분석하는 동안에 고정된 값을 유지하게 되며 이러한 분석법은 회전체의 소음진동 분석에 자주 사용된다.

(2) 코그 반복에 의한 소음주파수(Order) 계산 벨트의 선속도는

$$v = R\omega = R \cdot \left(\frac{2\pi N}{60} \right) \quad (1)$$

이므로 코그가 반복되는 주파수는

$$f(Hz) = \frac{1}{T} = \frac{v (mm/s)}{s (mm)} \quad (2)$$

가 된다. 그리고 코그 반복에 의한 차수는 코그반복 주파수를 풀리의 회전주파수로 나누어 구할 수 있다.

$$Order = \frac{f}{f_{pulley}} \quad (3)$$

(3) 벨트소음측정방법

Fig.2 는 소음측정을 위한 개요도이다. 우측 하단의 구동 풀리는 모터와 연결되어 구동을 하게 되어 있다. 그리고 모터의 진동이 벨트의 진동에 영향을 미치지 않도록 하기 위해 벨트구동시스템과 모터는 조인트를 사용하여 모터의 축을 길게 연결한 후 바닥에 흡음재를 깔아 진동의 전달을 최소화 한다.

소음을 측정하기 위해 마이크로폰을 장치하고, order tracking 을 하기 위해 구동축의 풀리에 반사스티커를 붙이고 반사스티커에서 15cm 정도 떨어진 지점에 타코메타를 설치하여 풀리의 회전속도를 측정한다. 마이크로폰은 구동축의 벨트가 풀리와 접하는 부분에서 약 3cm 떨어진 지점에 마이크로폰 1 을 설치하고 중동축의 벨트가 풀리와 접하는 부분에서

약 3cm 떨어진 지점에 마이크로폰 2 를 설치한다. 마이크로폰에서 측정된 신호는 신호분석시스템에서 타코메타에서 받은 회전수에 의해 order tracking 을 실시한다.

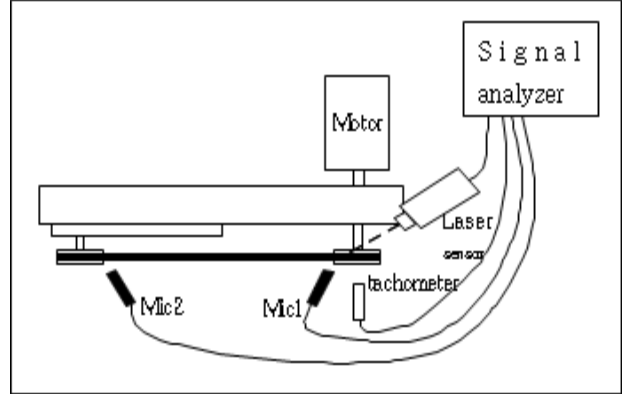


Fig.2 Schematic figure of experimental setting

2.3 실험방법

(1) 벨트의 재질 및 형상변경

총 8가지의 샘플을 선정하였으며 Table1에 벨트의 재질변경인자를 나타내었고, Fig.3은 형상변경 벨트에 대한 매트릭스 금형 단면을 그리고 Table2는 매트릭스 금형 단면의 치수를 나타낸다.

샘플 1 에서 6 까지는 벨트의 재질을 변경하면서 실험을 하였고, 샘플 7 과 8 은 cog 의 형상을 변경하여 실험을 하였다. 형상변경실험을 먼저하고 그 후 재질변경에 대한 실험을 하는 순으로 진행하였다. 1000rpm 에서 3000rpm 까지 50rpm 간격으로 데이터를 받았다.

Table 1 Changed factor of test belt

변경인자	샘플1 standard	샘플2	샘플3	샘플4	샘플5	샘플6	샘플7	샘플8	비고
재질	하포(4)	T0400 (1PLY)	T0102	2623	←	←	←	←	←표시는 standard 와 동일
	상포(1)	#11PC (2PLY)	←	←	광각포	←	←	←	
	코드(2)	P.C.C 3×3	←	←	←	2×3	←	←	
	심고무(3)	PM05-A	←	←	←	←	PM05	←	
	하고무	2623(1PLY)	←	←	←	←	←	←	
형상	Cog	개선A	←	←	←	←	매립 50CC	LL#1	

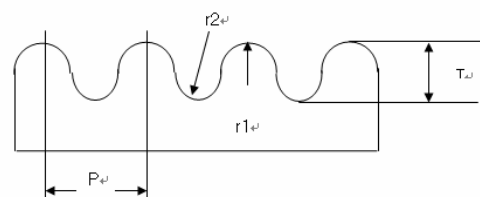


Fig. 3 Cross section of belt

Table 2 Dimensions of test belts

MATRIX형	r1	r2	P	T	θ	모 양
LL#1(HM,A)	1.3	1.0	6.8	2.4	36	2
대림 50cc	1.2	2.2	7.9	3.8	31	2
개선 A	1.5	1.8	6.9	3.6	25	1

3. 실험결과

3.1 형상에 변경에 의한 Order Tracking 결과

Fig.4 과 Fig.5 는 order tracking 을 통한 스펙트럼이다. Fig.4 는 대림 50cc cog 형상에 대한 스펙트럼이고, Fig.5 는 개선 A cog 형상을 사용 하였을 때의 스펙트럼이다. 기존의 벨트는 벨트의 형상특성상 63order 부근에서 사람에게 불쾌감을 주는 소음을 발생하였으나 개선 A 벨트는 72order 에서 소음이 발생하여 사람에게 주어지는 불쾌감을 제거하였다.

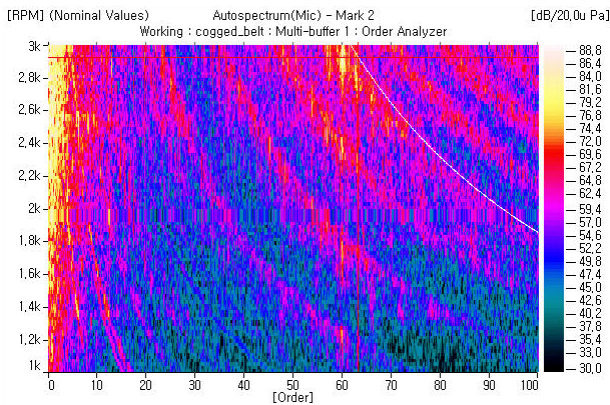


Fig.4 Order tracking of sample7

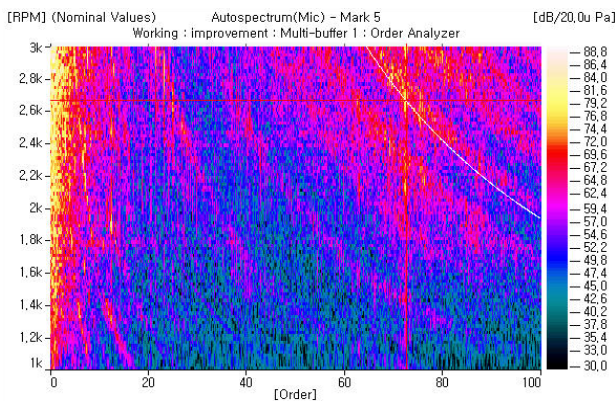


Fig.5 Order tracking of sample1

Fig.6 은 Fig.4 와 Fig.5 의 각각의 소음발생 order 에서의 비교한 것이다. 전체적으로 cog 형상이 개선 A 인 벨트가 5~30db 정도 적은 것을 볼 수 있다.

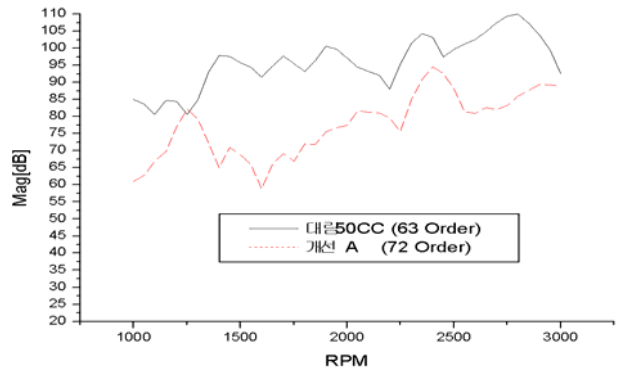


Fig.6 Harmonic slice of sample1 and sample7

3.2 재질의 변경에 의한 Order Tracking 결과

Fig.7 과 Fig.8 은 가속을 할 경우 rpm 의 변화에 따른 각각 샘플들의 소음크기를 나타낸 것이다. 초기장력은 600N 이고 Fig.8 은 구동폴리에서 mic1 으로 측정된 것이고 Fig.9 는 중동폴리에서 mic2 로 측정된 것이다. 구간마다 차이는 있지만 mic1 과 mic2 모두에서 전체적으로 샘플 3 이 가장 적게 측정이 되었다.

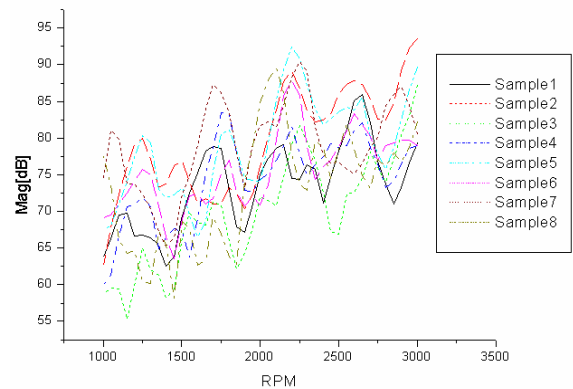


Fig.7 SPLs at Mic1 during speed-up with tension 600N

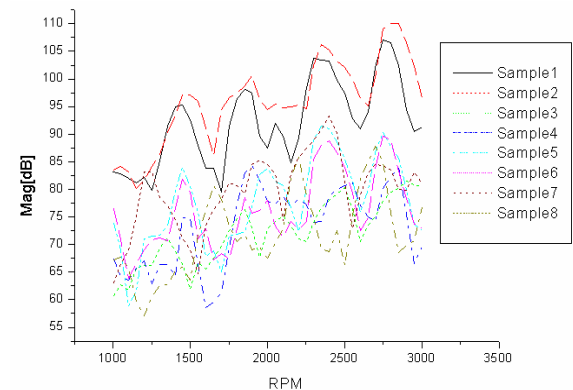


Fig.8 SPLs at Mic2 during speed-up with tension 600N

Fig.9 와 Fig.10 은 감속을 할 경우 mic1 과 mic2 에서 측정 한 것이다. 감속을 할 경우에도 역시 샘플 3 이 가장 적게 측정되었다.

Fig.11 은 표준으로 사용되어진 샘플 1 을 Fig.12 는 가속과 감속의 경우 전체적으로 가장 적게 측정이 된 샘플 3 의 스펙트럼을 나타내었다. 두 스펙트럼에서 모두 72order 부근에서 소음의 크기가 큰 것으로 측정이 되었다.

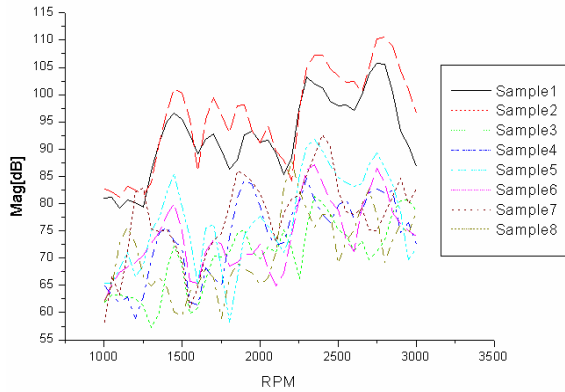


Fig.9 SPLs at Mic1 during speed-down with tension 600N

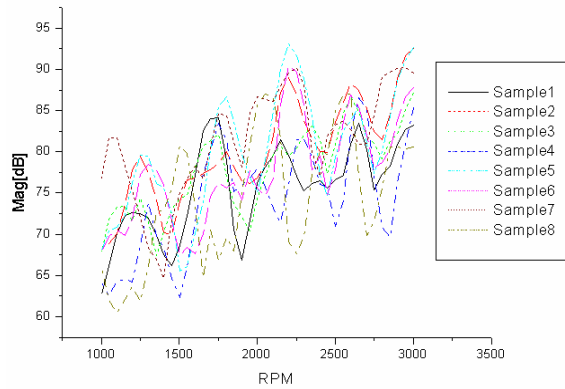


Fig.10 SPLs at Mic2 during speed-down with tension 600N

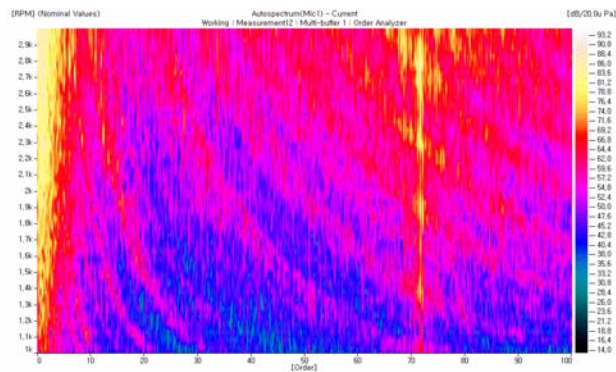


Fig.11 Order tracking of sample1

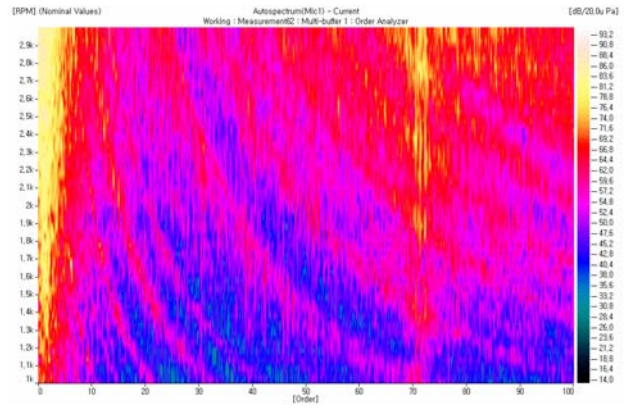


Fig.12 Order tracking of sample3

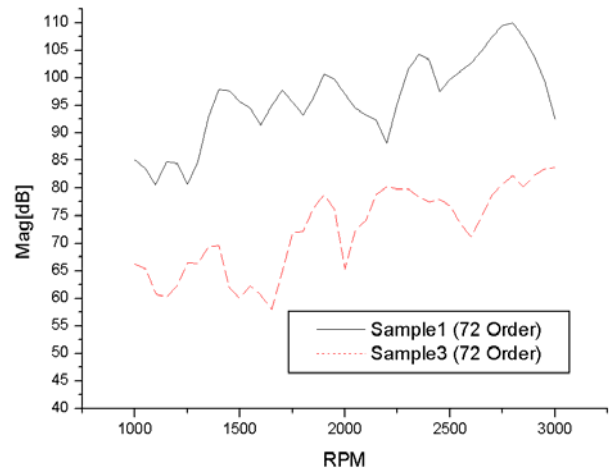


Fig.13 Harmonic slices of sample1 and sample3

Fig.13 은 Fig.11 과 Fig.12 의 스펙트럼으로부터 72order 의 측정값만을 나타내었다. 샘플 3 이 샘플 1 보다 72order 에서의 소음레벨의 크기가 적은 것을 알 수 있다.

4. 결 론

Cogged belt의 order 소음의 성분은 벨트의 형상 특히 벨트cog의 피치간격에 의해 발생하고 피치간격이 작아질수록 높은 order가 발생하는 것을 알 수 있었다. 그리고 이때 발생하는 소음레벨의 크기는 벨트인자의 재질의 변경에 의해 저감을 시킬 수 있는데 그 중 하포의 재질 변경에 의한 소음저감이 다른 재질의 변경 보다 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

후 기

본 과제는 산학협력중심대학 육성사업 기술개발 과제의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

(1) Kubo, A. and Ando, T., 1971, “ On the Running Noise of Toothed Belt Drive (1st Report)” The Japan Society of Mechanical Engineers, Vol.14, No. 75, pp. 991~997

(2) Kubo, A. and Ando, T., 1971, “ On the Running Noise of Toothed Belt Drive (2nd Report)” The Japan Society of Mechanical Engineers, Vol.14, No. 75, pp. 998~1007

(3) 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

(4) 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.

(5) Tokoro, H. and Nakemura, M., 1997, “ Analysis of transverse vibration in engine timing belt” JSAE Review 18, pp. 33~38.