

볼 형태의 가동플랜지를 갖는 건식 무단변속기에 대한 연구

A Study on the Dry CVT with Movable Flange of Ball Type

권영웅*† · 최상수**

Young-Woong Kwon*† and Sang-Soo Choi**

(접수일 : 2012년 10월 19일, 수정일 : 2012년 12월 11일, 채택확정 : 2012년 12월 18일)

Abstract : Dry CVT consists of a driving pulley and a driven pulley joined by rubber V-belt. Each pulley consists of a fixed flange and a movable flange. The movable flange moves toward a fixed flange under the actuation of a centrifugal roller, as the driving pulley speed increases. The important claim which have an influence on the performance of the Dry CVT is the wear of the centrifugal roller. In this study ball type is proposed instead of roller type of movable flange to resolve the claim. Simulation is carried out for new model to verificate performance, experiments are carried out for new model to evaluate performances.

Key Words : Dry CVT, Flange, Roller Wear, Contact Force, Centrifugal Ball

— 기호 설명 —

μ : Coefficient of friction between belt and flange

α : Total groove angle

F_R : Axial force at driving pulley

F_N : Axial force at driven pulley

θ_R : Total wrap angle on driving pulley

θ_N : Total wrap angle on driven pulley

1. 서 론

이륜자동차에 장착되어 대중화된 건식 무단변속기는 구조가 간단하며 가격이 저렴하고, 유지보수가 쉽기 때문에 건식 무단변속기를 장착한 이륜자동차가 아시아 지역에서 급격히 대중화되고

있다.¹⁾ 그러나 저속구간에서의 동력전달 불안정, 등판 시 엔진토크의 증가와 변속성능 저하 등 실차적용에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.²⁾

우리나라에서는 아직까지 독자 개발한 건식 무단변속기 모델이 없으며, 일본의 혼다, 스즈끼 등 제조사의 제작도면에 의해 제품을 생산하고 있는 실정이다. 이러한 이유로 소비자의 성능불만, 유지보수나 시장 클레임에 대해 능동적으로 대처하지 못하고 있다.^{3,4)} 이륜자동차의 건식 무단변속기에 대한 시장 클레임 중에서 가장 심각한 것은 구동폴리축 가동플랜지내 롤러의 마모이다. 롤러마모가 심각하게 진행됨에 따라 변속이 불가능하게 되어 변속기 자체의 기능이 불가능하게 된다.

이러한 심각한 시장클레임을 해결하기 위해 본 연구에서는 구동폴리축 가동플랜지 부품인 롤러를 대신하여 볼 형태로 제안하였다. 볼 형태의 가

*† 권영웅(교신저자) : 서일대학 자동차과

E-mail : ywkwon@seoil.ac.kr, Tel : 02-490-7418

**최상수 : 국민대학교 자동차공학전문대학원

*† Young-Woong Kwon(corresponding author) : Department of Automobile Engineering, Seoil College.

E-mail : ywkwon@seoil.ac.kr, Tel : 02-490-7418

**Sang-Soo Choi : Graduate School of Automotive Engineering Kookmin University

동플랜지를 갖는 건식 무단변속기에 대하여 기존 제조 도면을 기초로 시뮬레이션을 수행하였고, 볼 형태의 부품들을 제작하고 실험을 수행한 결과 마모를 줄이고 변속이 안정적으로 이루어짐을 확인 할 수 있었다.

2. 변속특성 및 롤러마모

2.1 변속특성

건식 무단변속기의 대표적인 식으로서 Kim²⁾은 Lutz의 실험을 근거로 건식 무단변속기 구동폴리의 벨트에 장력변화를 일으키는 활동영역과 장력 변화를 일으키지 않는 비활동영역으로 구분하여 변속비-부하토크-축력 관계식을 구하였다.

$$\overline{F}_R = \frac{1+\lambda}{4} \theta_R \left[\frac{1-\mu \tan \frac{\alpha}{2}}{\mu + \tan \frac{\alpha}{2}} \right] \quad (1)$$

$$\overline{F}_N = \frac{1-\lambda}{4} (\theta_N - \theta_{N_c}) \left[\frac{1-\mu \tan \frac{\alpha}{2}}{\mu + \tan \frac{\alpha}{2}} \right] + \frac{\lambda}{2\mu} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \quad (2)$$

식(1)와 (2)에서 폴리와 벨트사이의 마찰계수는 구동 중에 0.35와 0.45사이에서 변화하는 것으로 알려져 있다.^{2,3)}

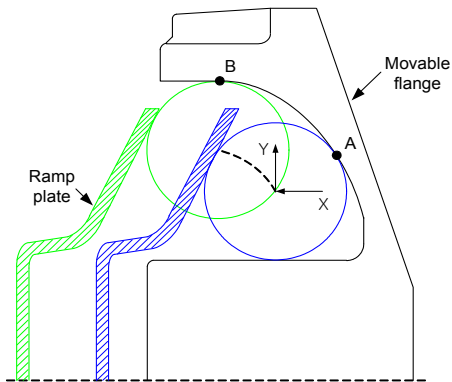
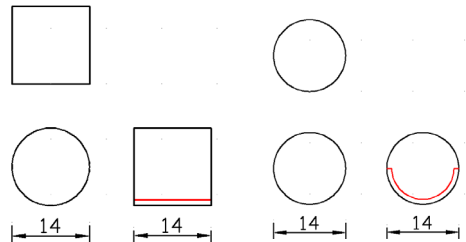


Fig. 1 Rolling in movable flange

Fig. 1은 현재 상용되고 있는 건식 무단변속기에 사용되는 구동폴리 측의 가동플랜지, 램프 플레이트와 롤러를 나타낸다. 변속시점과 종점을 이어주는 원호A~B는 롤러가 움직이는 궤적이다. 이 궤적을 따라서 변속이 이루어진다. 엔진 구동으로 발생하는 회전력은 롤러에 원심력을 발생시켜 구동폴리의 가동플랜지와 램프 플레이트 사이를 구르면서 가동플랜지를 축방향으로 밀어내어 변속을 진행하게 된다. 그러나 변속하는 동안 롤러가 가동플랜지와 램프 플레이트를 접촉하면서 마찰에 의해 마모가 발생하게 된다. 수없이 반복되는 회전에 의해 롤러의 마모가 누적되면, 롤러 회전의 저해 요소로 작용하게 된다.

2.2 볼 형태 제안

롤러마모에 의한 시장 클레임을 해결하기 위해 롤러대신 볼 형태를 제안한 이유는 건식 무단변속기의 구동 중에 롤러가 접촉하는 부분이 일직선의 형태이지만 볼은 반원 모양으로 접촉하는 길이가 길고, 자유롭게 회전하면서 구르기 때문에 일정 부분의 마모량을 줄일 수 있기 때문이다. Fig. 2는 50cc급 이륜자동차 건식 무단변속기의 롤러와 볼의 투상도와 가동플랜지와 접촉하는 선을 표시하고 있다. 그림에서 보는데와 같이 롤러의 경우 접촉선이 롤러의 길이인 일직선으로 14mm 접촉하고 있으며, 볼의 경우 반원모양으로 $2 \times \pi \times 7/2 \approx 21.99\text{mm}$ 접촉하게 된다. 롤러대신 볼을 적용할 경우 가동플랜지와 접촉 길이가 길어져 마모량도 줄어들고, 안정적으로 변속이 이루어지리라 기대된다.



(1) Roller (2) Ball

Fig. 2 Comparison of contact line

3. 시뮬레이션

시뮬레이션을 위해 동역학 해석 소프트웨어인 ADAMS를 이용하였다. 모델링을 위한 기초자료는 건식 무단변속기 모델인 SG125의 제작도면을 기초로 하였다. 실제 건식 무단변속기 장착 이륜 자동차는 엔진 RPM이 4500~5000에서 클러치인 하므로 그시기에 롤러의 이동과 동시에 변속이 시작됨을 고려하여 축방향으로 적당한 반력이 있어야 한다.⁵⁾⁶⁾ 또한 가동플랜지의 총이동 거리를 고려하여 스프링 상수와 감쇠계수를 각각 115N/mm, 3N·s/mm로 설정하였다. Fig. 3은 시뮬레이션하기 위한 모델링 도면들이다.

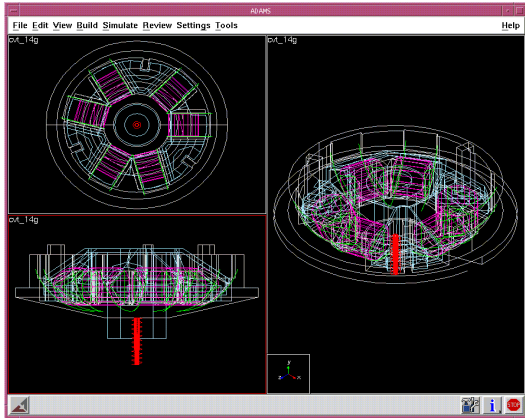


Fig. 3 Diagram of modelling

Fig. 4는 롤러와 볼에 대한 가동플랜지와 접촉력을 나타내고 있다. 롤러의 경우보다 볼의 경우가 접촉력이 더 큰 것을 볼 수 있다. 또한 고회전으로 갈수록 변동이 커지지만 롤러의 경우보다 변동폭이 작다. 접촉력이 크고 변동이 작다는 것은 전달토크가 크고 안정적으로 동력을 전달하며 변속기 자체의 진동이 적어짐을 의미한다.

Fig. 5는 램프 플레이트 즉 고정플랜지와 접촉력을 나타낸다. 이 결과는 가동플랜지와 결과와 같은 경향을 보이고 있다. Fig. 6은 롤러와 볼에 대하여 축방향에 대한 이동거리를 나타내며 Fig. 7은 축력을 나타낸다. 결과에서 거의 차이가 없다. 이는 볼과 롤러의 무게가 같기 때문이다.

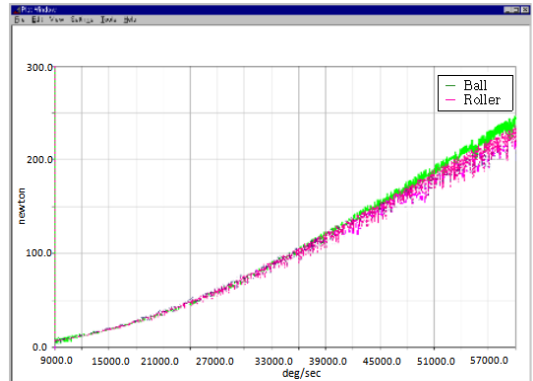


Fig. 5 Contact force for ramp plate with ball and roller

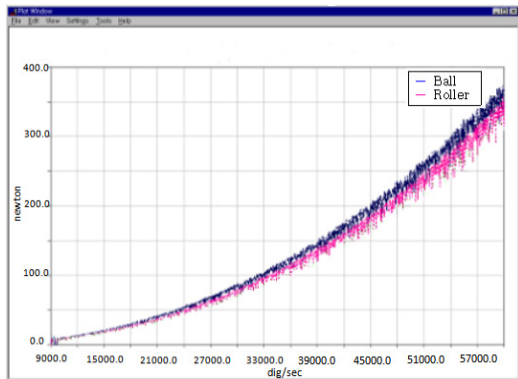


Fig. 4 Contact force for movable flange with ball and roller

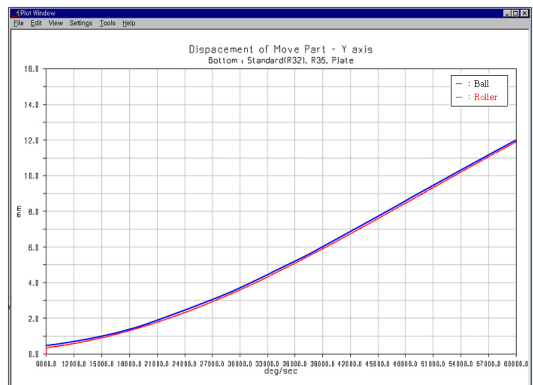


Fig. 6 Axial displacement for movable flange with ball and roller

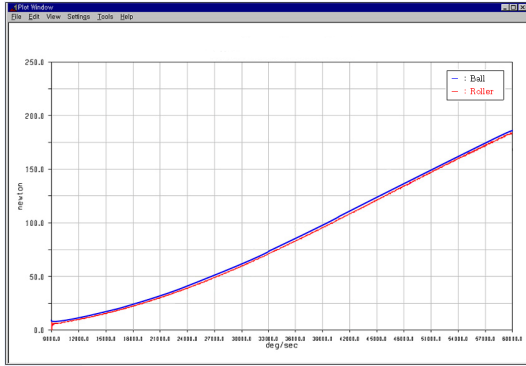


Fig. 7 Axial force for movable flange with ball and roller

시뮬레이션 결과들을 고찰하여 보면 건식 무단 변속기에서 가동플랜지내의 롤러대신 볼 형태로 변동할 경우 가동플랜지, 램프 플레이트와의 접촉력이 증가하고, 축력 및 축 방향으로의 이동거리 는 차이가 미미함을 나타낸다.

4. 실험

4.1 실험장치

건식 무단변속기 각 구성부품의 기능과 영향을 파악하기 위한 건식 무단변속기 전용 다이내모미터의 사진은 Fig. 8과 같다. 무단변속기를 구동시킬 수 있는 모터를 구동원으로 하였고 모터와 구동풀리를 연결하고, 중동풀리 축에는 부하장치가 부착되어 있고 축의 비틀림을 측정하여 전달토크를 얻을 수 있도록 되어 있다.

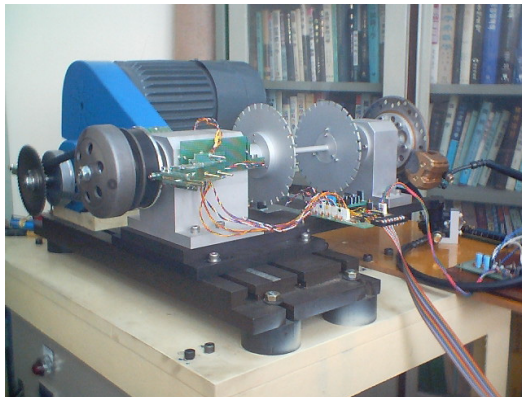


Fig. 8 Photograph of experimental apparatus

실험장치에서 구동풀리와 중동풀리의 회전수, 벨트 회전 피치반경, 전달토크를 얻을 수 있도록 하기 위한 구성요소로서 엔진 구동부를 대신하는 AC모터, 시험 무단변속기, 비틀림 측정 디스크 및 축, 측정센서, 데이터 변환장치, 그리고 데이터 획득장치로 구성되어 있다. 실험장치를 구성하고 있는 각 부품 및 규격은 Table 1에 나타내었다.

본 연구에서 제안한 볼 형태의 가동플랜지를 제작하였다. 치수는 시중에 판매하고 있는 50cc급 스쿠터에 적용하고 있는 D사의 SJ50의 치수를 적용하였다.

Fig. 9는 기존의 롤러 형태와 볼 형태의 가동플랜지이다. 볼의 치수는 롤러와 마찬가지로 직경 14mm로 하였고 12g의 같은 무게와 내마모성 엔지니어링 플라스틱의 같은 재질로 제작하였다. 롤러와 볼의 내부는 납으로 구성되어 있다.

Table 1 Parts list of experiment

No.	Parts list/Specification
1	Motor controller
2	AC motor/1.492KWP
3	Driving pulley/50 cc SJ50 model
4	Driven pulley/50 cc SJ50 model
5	CVT/50 cc SJ50 model
6	V-belt
7	Torsion axle/Diameter 8 mm, aluminum alloy
8	Torsional disk/Diameter 150 mm, thickness 3 mm
9	Rotational bearing
10	Disk brake/Diameter 160mm, thickness 3mm
11	Brake pad
12	Photointerrupter /SG-205
13	Linear potentiometer/50K ohm, max. 35 mm stroke
14	CPU / at90s2333, at90s2313
15	A/D Converter /Resolution 12 bit
16	Data acquisition card /ACL-8111, ISA Type
17	Data acquisition program/DOS version Turbo C++ 3.0
18	PC/Intel Pentium II 166 MHz

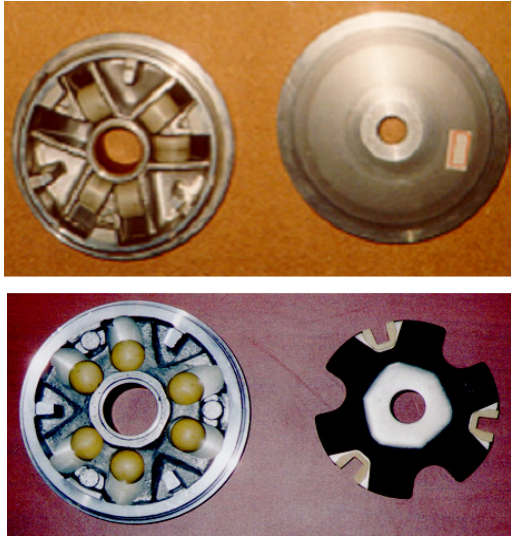


Fig. 9 Movable flange of roller type and ball type

4.2 실험결과

본 연구에서 제안한 볼 형태의 가동플랜지를 이용한 건식 무단변속기에 대한 다이내모미터 실험결과 다음과 같은 결과들을 얻었다.

일반적으로 이륜차용 건식 무단변속기는 엔진 rpm이 4500부근에서 클러치인하여 주행되어 진다. 주행중 일반적인 엔진회전을 고려하여 x축에 모터 rpm을, y축에 이에 따른 변속비를 도시하면 Fig. 10과 같다. 각각의 풀리의 회전수로 계산한 변속범위는 1.65~0.99이며, 무단변속기가 연속적으로 변속이 이루어짐을 알 수 있다.

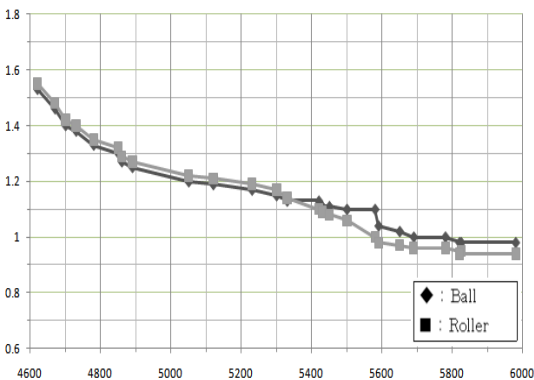


Fig. 10 Speed ratio for roller type and ball type

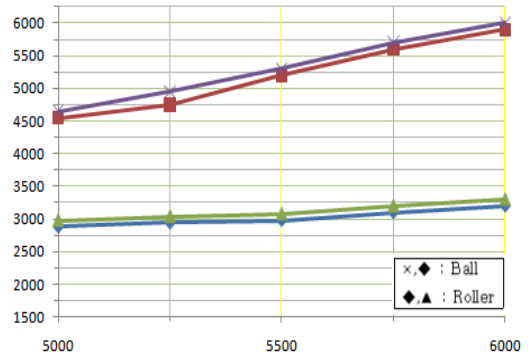


Fig. 11 Torque of driven pulley for roller type and ball type at torque load 2,600 N · mm, 3,900N · mm

결과에서 알 수 있듯이 볼 형태가 연속적이고 안정적으로 변속이 이루어지고 있음을 볼 수 있다.

Fig. 11은 부하조건에 따른 볼 형태와 롤러 형태의 건식 무단변속기의 전달 토크를 나타낸다. 볼 형태의 건식 무단변속기의 전달토크가 약간씩 증가된 것을 볼 수 있다. 일반적으로 전달토크가 증가하면, 동력성능이 향상된다. 따라서 롤러 형태보다 볼 형태의 무단변속기가 중동 풀리의 전달토크가 증가되어 동력성능의 향상 및 연비 향상을 가져올 수 있다.

볼 형태의 가동플랜지를 이용한 건식 무단변속기는 롤러형태보다. 변속이 안정적이이고 선형적으로 이루어지며 이에 동력전달이 확실해지며 벨트의 늘어짐, 하우징 두드림 현상을 줄일 수 있게 된다.

롤러와 볼의 마모형태와 마모량을 관찰하기 위해 각각의 가동플랜지를 전용 다이내모에 장착하여 일정속도에서 하루에 2시간씩 10일을 가동하여 롤러와 볼의 마모량을 측정하였다. 부하토크는 2,600 N · mm, 변속비는 1로 하였으며, 측정시 롤러와 볼의 가장 작은 직경과 큰 직경과의 차이를 마모량으로 간주하였다. 먼저 육안으로 마모된 곳을 찾아 마모주위의 임의의 6곳을 측정하였으며, 이 측정 데이터들의 평균 마모량은 Table 2와 같다.

Table 2 Result of wear experiment

	Roller(mm)	Ball(mm)
Wear	0.81	0.21



Fig. 12 Wear of ball and roller

마모량 측정결과 볼 형태가 마모량이 적었으며 롤러의 경우 한쪽 면이 이미 마모되기 시작하고 있음을 발견할 수 있었다.

5. 결 론

건식 무단변속기의 심각한 클레임 중의 하나인 롤러마모 문제를 해결하기 위해 가동플랜지내의 롤러 대신 볼 형태를 제안하였다. 제안된 볼 형태의 가동플랜지를 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 전용 다이내모미터를 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론들을 얻었다.

- 1) 볼의 경우 롤러의 경우보다 가동플랜지와 램프 플레이트와의 접촉력이 증가하며 접촉력의 변동은 작아진다.
- 2) 볼의 경우 롤러의 경우보다 축력 및 축방향의 이동거리가 약간씩 증가한다.
- 3) 볼 형태의 가동플랜지를 이용한 건식 무단변속기는 롤러 형태보다 변속이 안정적이고 선형적으로 이루어진다.
- 4) 볼 형태의 건식 무단변속기가 롤러 형태보다 전달토크가 상승된다.

접촉력 및 축력이 증가함은 변속기의 전달토크가 증가되며 전달동력 또한 증가하게 된다. 마모

측면에서 볼 형태가 유리하여 변속이 정확히 이루어지며 변속기 수명도 연장된다.

후 기

본 논문은 2012년 서일대학 학술연구비에 의해 연구되었음.

참고문헌

1. T. F. Chen, D. W. Lee and C. K. Sung, 1998, "An Experimental Study on Transmission Efficiency of a Rubber V-Belt CVT", Mech. Mach. Theory Vol. 33, No.4 pp. 351-363.
2. H. S. Kim and K. W. Kim, 1989, "Axial Analysis of V-belt CVT", KSME, Vol. 13, No. 5, pp. 847-854.
3. C. W. Hong, 1996, "Modelling and Fuzzy Autopilot Control Simulation of a Motorcycle with CVT", AVEC'96 International Symposium on Advanced Vehicle Control, pp. 1071-1086.
4. M. Nishigaya, T. Tamura, H. Yasue, S. Kasuga and M. Sugaya, 2001, "Development of Toyota's Super CVT", SAE Paper, 2001010872.
5. S. H. Jung, H. S. Lee, Y. W. Kwon and S. S. Choi, 2011, "A Simulation on the Dry CVT using Movable Flange of Ball Type", KSPSE Proceeding 2011, pp. 265-268.
6. Y. W. Kwon, S. H. Jung, M. J. Kim and S. S. Choi, 2012, "CVT System using the Variable Radius Pulley", KSPSE Proceeding 2012, pp. 173-176.