

소형 전기차량용 구배반응 무단변속기 개발

The Development of Gradient Response CVT for a Small Size Electric Vehicle

김규성*† · 권영웅**
Gyu-Sung Kim*† and Young-Woong Kwon**

(Received 31 July 2015, Revision received 10 December 2015, Accepted 10 December 2015)

Abstract: In this study new CVT(Continuously Variable Transmission) system which is adaptable to a small size electric vehicle is proposed available to gradient response CVT. New pulleys consist of springs adapted driving pulley and driven pulley. At the moment a small electric vehicle drive a slope, new system respond to a gradient as overcoming tensional force of springs. We made prototype of gradient response CVT to test parts performance and travelling performance test. As a result of test, belt pitch diameter varied for high torque direction at the gradient. In the flat travelling, acceleration travelling and gradient travelling performance test, the small electric vehicle with gradient response CVT get improved performance than the small electric vehicle with reduction gear.

Key Words : CVT, Gradient response, Speed ratio, Spring, Pulley

1. 서 론

중국에서 상용화되어 도시를 운행하고 있는 소형 전기차량이 아직까지 국내에서는 대중화되어 있지 않고 있다. 이러한 이유는 언덕이 많은 국내 지형상의 이유 때문이다. 국내의 언덕이 많은 도로를 주행하기 위해서는 등판능력을 비롯한 동력 성능이 개선되어야 하며, 이를 위해서는 전기차량 모터의 용량을 늘려야 한다. 하지만 모터의 성능을 향상시키게 되면, 모터중량이 무거워지고 가격 경쟁력도 저하되기 쉽다. 또한 고성능의 모터를 운영하기 위해서는 배터리의 전력소모가 급격해

지기 때문에 이에 따른 제반문제들이 해결되어야 국내에 적용이 용이하다. 국내에서 시판되고 있는 전기스쿠터들은 일정한 감속비를 지닌 감속기만을 적용하고 있는 실정이다.^{4,5)}

본 연구에서는 국내외에서 상용되고 있는 전기구동 소형 차량인 2인승 전기자동차, 전기자전거, 전기스쿠터, 전동휠체어 및 골프카 등에 아직까지 별다른 변속기가 없는 상황에서 소형 전기차량에 적용할 수 있는 구배반응 무단변속기의 구조를 제시한다. 제시한 구배반응 무단변속기를 제작하여 부품 성능 시험과 주행 성능 시험을 수행하였다. 그 결과 동력성능이 향상되었음을 확인하였다.

*김규성(교신저자) : 서일대학교 스마트기계자동차과
E-mail : gskim@seoil.ac.kr, Tel : 02-490-7419
**권영웅 : 서일대학교 스마트기계자동차과

*†Gyu-Sung Kim(corresponding author) : Department of Smart Mechanics & Automobile, Seoil University.
E-mail : gskim@seoil.ac.kr, Tel : 02-490-7419
**Young-Woong Kwon : Department of Smart Mechanics & Automobile, Seoil University.

2. 구배반응 무단변속기

제안된 구배반응 무단변속기는 모터와 연결된 구동풀리와 구동바퀴와 연결되는 종동풀리로 나뉘어진다. 전기차량이 언덕 등판 시 가해진 부하에 대하여 토크를 증대하기 위해 스프링의 장력을 극복하고 종동풀리 간격을 좁히고, 이에 종동풀리의 벨트풀리 직경이 커지는 쪽으로 변속을 수행할 수 있다. 또한 평지 주행 시 운전자의 의지에 의해 속도를 증가시키고자 할 때 속도조정장치를 작동하여 구동풀리의 간격을 좁혀 벨트피치반경을 크게 하고, 이에 연동하여 종동풀리 측 벨트피치반경을 줄여 속도를 증가시킬 수 있다. 제안된 구배반응 무단변속기 모델은 Fig. 1과 같다.

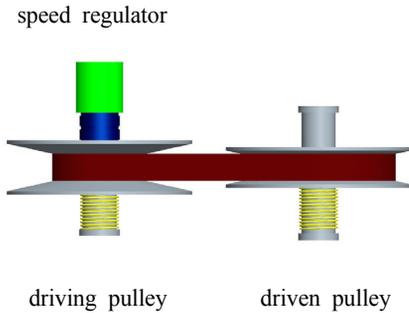


Fig. 1 The model of gradient response CVT

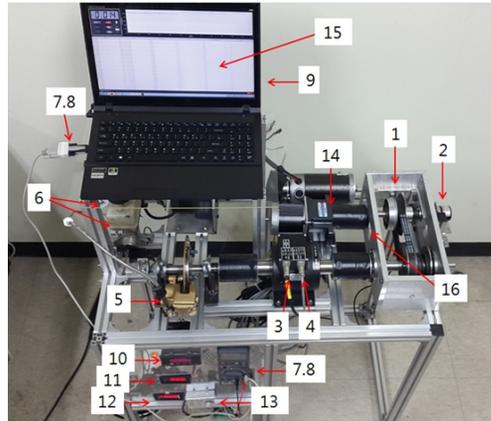
3. 실험

3.1 부품 성능 시험

구배반응 무단변속기를 제작하여 동력성능을 검증하기 위한 부품 성능 시험장치는 Fig. 2와 같으며, 시험 장치에 사용된 주요 부품의 제원들은 Table 1과 같다.

구동축은 모터와 연결하여 동력원으로 이용하였고, 감속기(12.5:1)를 장착하여 토크를 증가시킨 후 실험을 진행하였다. 본 실험에 부하에 따른 토크값 산출을 토크테크놀러지사의 TQB_A_20KM를 사용하여 데이터를 출력하였으며, 출력된 데이터 값은 멀티미터(MAS-345)를 RS232케이블로 연결하여 2초당 1회씩 데이터를 PC로 수집하였다.³⁾ RPM 측정은 엔코더를 이용하여 출력하였고, 종동

축의 RPM은 토크센서 내장형으로 1회전당 60pulse를 출력하는 토크센서의 데이터를 확인하기 위해 펄스메타 MP5W를 이용하여 출력하였다. 부하는 1~3단계까지의 단계를 주었으며, 각 단계별로 0.1942kgf-m, 0.2719kgf-m, 0.3495kgf-m를 조건으로 마스터 실린더를 조절하였다.



1. gradient response CVT
2. anchor of driving revolution measurement
3. anchor of driven revolution measurement
4. torque sensor
5. load apparatus
6. master cylinder
- 7,8. data acquisition system
9. note-book
10. display of driven revolution
11. current of motor
12. voltage of motor
13. control system
14. motor
15. program of real time data acquisition
16. apparatus of axial length control

Fig. 2 Photo. of parts performance apparatus

Table 1 Parts Spec. of parts performance apparatus

Parts	Model or Spec.
Motor model	BD80-N220100
Motor controller	SBDSMS-03
Torque sensor	TQB_A_20KM, 20kgf-m
Driven RPM sensor	Rotary-encoder, HE40B-6-600-3-N-24
Driving RPM sensor	Embedded torque sensor 1Rev. 60pulse
Pulse-meter	Autonics, MP5W

본 연구는 소형 전기차량에 적용이 가능한 새로운 형태의 구배반응 무단변속기 독자모델을 개발하고자 한다. 연구의 당위성을 확인하기 위해 제안한 모델이 구배상태에서 스스로 반응하는 모습을 확인하였다. 이에 부품 성능 시험을 통해서 제안한 독자모델의 구배반응 무단변속기가 부하 상태에서 스스로 변속을 수행하는 예비 실험을 수행하였다. Fig. 3은 중동폴리에서 무부하상태(a)에서는 벨트의 위치가 폴리 안쪽에 위치해 있다가, 부하(b)를 가하게 되면 고토크를 발생시키기 위해 스스로 폴리 바깥으로 이동하여 벨트 피치 반경을 크게 하고 있음을 나타낸다. 이 결과는 부하에 따라 스스로 고토크를 발생하기 위해 반응하고 있음을 반증하고 있다.

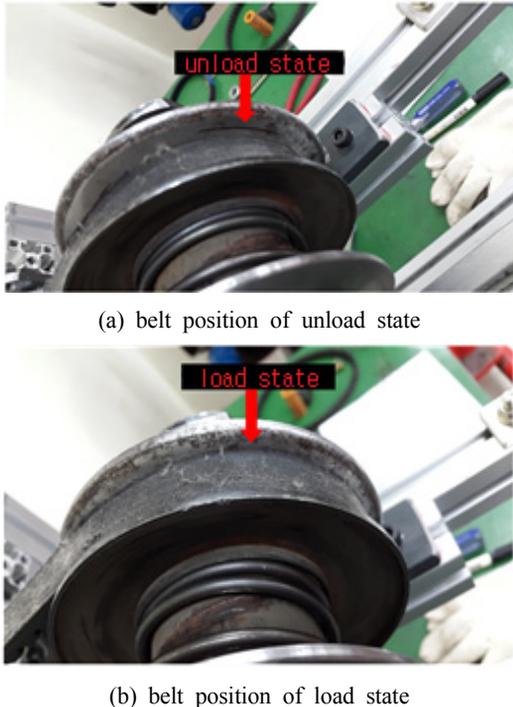


Fig. 3 Variation of belt position according to load

부품 성능 시험장치의 부하토크는 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{부하토크} = \text{힘} \times \text{거리} = \text{압력} \times \text{면적} \times \text{거리} \quad (1)$$

위의 계산식을 이용하여 마스터 실린더 압력계에서 1bar, 1.4bar, 1.8bar일 때 설계제원을 적용하여 0.1942kgf-m, 0.2719kgf-m, 0.3495kgf-m 3종류를 계산하였다. 구배를 재현하기 위한 부하장치의 설계제원은 다음 Table 2와 같다.

Table 2 Spec. of load apparatus

Area of brake pad	784.4mm ²
Friction coefficient of pad	0.35
Distance of disk center with pad center	69.4mm
Pressure of master cylinder	1bar = 0.1MPa(N/mm ²)

시험을 수행한 변속비 구간은 1~2.5로 하였다. 이러한 이유는 50cc급 엔진부착 오토바이 무단변속기의 변속비가 1~2.5임을 근거로 하였다.

각각의 부하조건하에서 변속비 변화에 대하여 스프링상수 변동에 대한 전달토크 결과는 다음 그림과 같다.

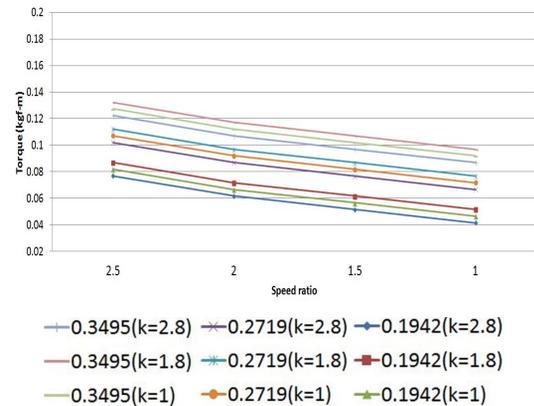


Fig. 4 Torque corresponding to spring constant (belt length=650mm)

Fig. 4는 구동폴리와 중동폴리를 연결하는 벨트 길이를 650mm로 하였고, 각각의 부하조건하에서 구동폴리와 중동폴리에 장착한 스프링의 스프링상수 k가 1kgf/cm, 1.8kgf/cm, 2.8kgf/cm 변화에 대한 전달토크를 나타낸다. 모든 부하조건에서 스프링상수가 가장 큰 2.8kgf/cm일 때 전달토크가 가

장 낮게 나타났다. 이러한 이유는 구동폴리 측에 장착된 스프링은 벨트의 장력을 발생시켜 동력전달하는 역할을 하지만, 중동폴리 측을 누르는 클램프 힘이 벨트에 과도하게 작용하여 전달력을 방해한 결과이다. 스프링 상수 1.8kgf/cm인 경우가 가장 큰 전달토크를 나타내었으며, 가장 작은 스프링 상수 1kgf/cm일 때 클램프 힘이 적게 작용하여 벨트를 슬립하게 하여 전달토크를 작게 하였다. 변속비 2.5에서 가장 큰 전달토크를 나타내었고, 변속비가 1로 작아짐에 따라 전달토크도 작아지고 있다. 전반적으로 같은 변속비에서 부하가 클수록 전달토크도 커짐을 볼 수 있다.^{1,2)}

제안된 구배반응 무단변속기는 소형 전기차량에 적용하기 위한 모델이다. 소형 전기차량은 기본적으로 적용공간이 작아 구조상 크기의 변화가 필수적이다. 이에 대한 실험으로 제안한 구배반응 무단변속기의 크기변화를 주기 위해 구동폴리와 중동폴리의 축간거리를 변화시키기 위해 동력전달 매체인 벨트길이 변화에 대한 실험을 수행하였다. 벨트길이 530mm에 대한 실험결과들은 Fig. 5와 같다.

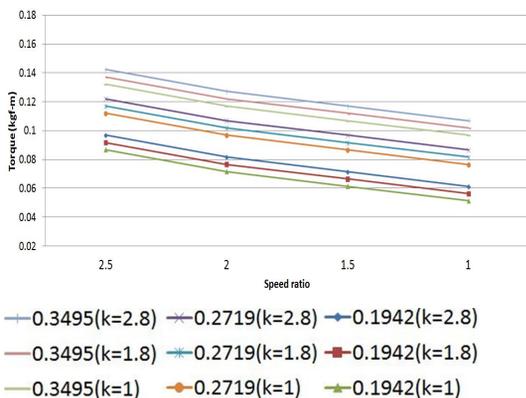


Fig. 5 Torque corresponding to spring constant (belt length=530mm)

Fig. 5에서 보는 바와 같이 부하가 커짐에 따라 전달토크가 커지며, 변속비가 작아짐에 따라 전달토크도 작아짐을 볼 수 있다. Fig. 4와 비교하여 보면 같은 부하에서 스프링상수가 클수록 전달토크도 커짐을 알 수 있다. 즉 벨트길이가 650mm일

때는 스프링 상수가 1.8kgf/cm일 때 전달토크가 가장 컸으나, 벨트길이가 530mm로 작아졌을 때는 스프링 상수값이 가장 큰 2.8kgf/cm일 때 전달토크가 가장 크다. 이러한 결과는 벨트길이가 650mm일 때 지나치게 커다란 스프링 상수는 폴리에에서 동력전달을 방해하였지만, 벨트길이가 530mm일 때는 클램핑 작용보다는 스프링 상수의 확장이 벨트의 장력을 증가시켜 전달토크를 크게 한 것으로 판단된다. 앞의 결과들을 정리하면 제안한 구배반응 무단변속기를 소형 전기차량에 장착할 시 실험에 의한 스프링 상수와 벨트길이를 선정해야 동력전달 효율을 상승시킬 수 있게 된다.

국내의 오토바이 제조업체인 S社와 D社는 원천기술인 일본의 도면을 이용하여 무단변속기를 적용하고 있으나, 축간거리와 축력에 대한 자료를 공개하지 않고 제조사 내의 노하우로 축적하고 있는 사실들도 이러한 결과에 기인한다고 설명할 수 있다.

벨트길이가 줄어들면 구조적으로 동력전달이 확실해져 동력전달 성능이 향상된다. 벨트길이가 650mm에서 530mm로 줄었을 때 변속비나 부하조건에 상관없이 평균 0.01kgf-m 상승함을 알 수 있었다.

기존 오토바이에 적용하고 있는 무단변속기는 축간거리가 좁아지면 벨트의 하우징 두드림이나 소음을 줄일 수 있어 유리하나, 기본적으로 차체의 길이, 엔진의 위치, 뒷바퀴의 위치가 정해져 있어 한계가 있어 무한정 줄일 수 있는 여건은 되지 못하나, 소형 전기차량은 가능한 작은 공간에 변속기를 장착시켜야 하기 때문에 컴팩트한 형태의 무단변속기가 유리하다고 사료된다.

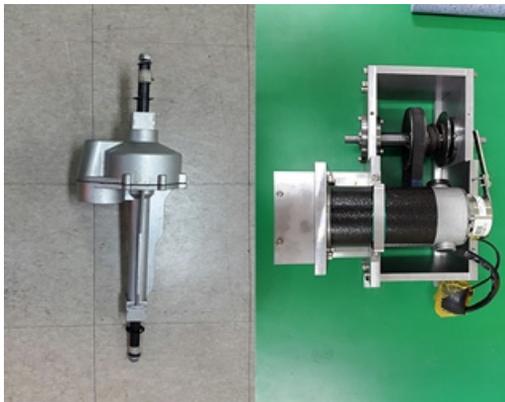
3.2 주행 성능 시험

제안한 구배반응 무단변속기를 소형 전기차량에 장착하여 성능을 확인하기 위해 주행 성능 시험을 수행하였다. 주행 시험에 사용한 소형전기차량의 새시형상은 Fig. 6과 같다. 시험에 사용된 모터는 350W이고, 트랜스 액슬과 시험 제작한 구배반응 무단변속기기를 장착할 수 있는 공간을 둘 수 있도록 제작하였다.



Fig. 6 Chassis of small electric vehicle

구배반응 무단변속기의 성능을 입증하기 위해 기존의 소형 전기차량에 부착되었던 10:1의 감속기를 장착한 트랜스액슬을 사용하여 주행 성능 시험을 수행하였고, 또한 같은 비율의 감속기를 지닌 구배반응 무단변속기를 부착하여 비교 시험을 수행하였다. 기존의 10:1의 감속기가 내장된 트랜스액슬과 모터를 부착한 구배반응 무단변속기의 사진은 다음과 같다.



(a) Trans Axle (b) Gradient response CVT

Fig. 7 Power transmissions used at travelling test

구배반응 무단변속기에 적용한 벨트의 길이는 530mm이고, 구동풀리와 종동풀리에 장착한 스프링의 스프링상수는 2.8kgf/cm이다. 소형 전기차량의 평지 및 가속주행 성능평가를 위해 육상경기용 500m 트랙을 이용하였다. 평지주행 시험은 몸무게 65kg의 운전자가 트랙을 500m 주행할 때 소요시간과 소비 전압을 측정하며 실험을 진행하였

으며, 가속주행 시험은 동일 트랙에서 몸무게 65kg의 운전자가 100m의 거리를 통과할 때 소요 시간 및 소비전압을 측정하며 진행하였다.

등판 주행은 경사 9°의 도로를 몸무게 65kg의 운전자를 태우고 3회 반복 주행하여 이때 소요시간 및 소비전압을 측정하며 시험을 진행하였다.

주행 성능 평가결과는 Table 3와 같다.

제안된 구배반응 무단변속기의 실용화 측면에서 소형 전기차량에 탑재 시 가능한 전체적인 크기를 작게 하는 것이 동력성능을 향상시키고, 소형 전기차량의 차체 설계 시 레이아웃 설정도 유리할 것으로 판단된다.

Table 3 Results of travelling performance test

conditions		Result		
		A	B	
flat traveling velocity	passenger : 65kg	2.94 m/s	3.68 m/s	21.5% ↑
	distance : 500m			
accel.	passenger : 65kg	0.1 m/s ²	0.12 m/s ²	23.6% ↑
	distance : 100m			
gradient velocity	passenger : 65kg	1.73 m/s	1.97 m/s	13.8% ↑
	distance : 38m			
	slope : 9°=20%			

4. 결론

국내의 지형을 고려하여 소형 전기차량의 등판 능력을 향상시키고자 구배반응 무단변속기 모델을 제안하였다. 제작한 구배반응 무단변속기는 변속비 1~2.5이며, 350W 정도의 모터를 사용하는 소형 전기차량에 장착할 수 있고, 감속비는 10~20:1에서 적용이 가능하다. 시작품을 만들어 부품 성능 시험과 더불어 소형 전기차량에 탑재하여 주행 시험을 한 결과 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

1) 제안된 구배반응 무단변속기에서 구동풀리와 종동풀리에 포함된 스프링상수는 동력전달 시

벨트를 클램핑 안 되는 범위 내에서 선정하는 것이 동력전달에 유리하다.

2) 구동폴리와 종동폴리의 축간거리를 짧게 하면 동력전달이 확실하고, 전달토크가 높아진다.

3) 감속기만 탑재된 차량과 비교하여 평지 주행 시 주행속도가 21.5% 향상되었다.

4) 감속기만 탑재된 차량과 비교하여 경사도 20%의 도로에서 주행속도가 13.8% 향상되었다.

5) 감속기만 탑재된 차량과 비교하여 평지에서 가속성능이 23.6% 향상되었다.

후 기

본 논문은 2015년 서일대학교 학술연구비에 의해 연구되었음.

References

1. S. W. Hong and S. H. Choi, 2006, "An Improved Dynamic Model for Multi-stepped Rotor System", No. 2, Proceedings of the KSMTE Fall Conference pp. 107-113.
2. K. H. Kim and S. B. Choi, 2007, "Continuously Variable Transmission Slip and Gear Ratio Simultaneous Control Using Sliding Mode Control", Fall Conference Proceedings of the KSAE, pp. 988-993.
3. Y. W. Kwon et al 4, "Rotating Force Analysis for Rotary Disk of Variable Radius Pulley", 2013 KSPSE Spring Conference, pp. 160-170.
4. Y. W. Kwon, Y. K. Kwon, M. J. Kim, S. H. Yeo and S. H. Ham, 2013, "Simulation for Slot Pattern Variation of Rotary Disk of the Variable Radius Pulley", 2013 KSPSE Fall Conference, pp. 192-193.
5. Y. W. Kwon, Y. K. Kwon, M. J. Kim, S. H. Yeo and S. H. Ham, 2013, "Performance Test of the CVT using the Variable Radius Pulley", 2013 KSPSE Fall Conference, pp. 194-195.