

내장기어허브를 이용한 자전거 자동변속장치의 개발

이만호* · 최준호* · 이건상**†

* 국민대학교 자동차공학전문대학원, ** 국민대학교 기계시스템공학부

The Development of the Automatic Transmission for Bicycle Using Internally Geared Hub

Man Ho Lee*, Jun Ho Choi* and Kun Sang Lee**†

* Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin Univ.,

** School of Mechanical System Engineering, Kookmin Univ.

(Received December 26, 2013 ; Revised January 12, 2014 ; Accepted February 24, 2014)

Key Words: Bicycle(자전거), Internally Geared Hub(내장기어허브), Automatic Transmission(자동변속기)

초록: 본 논문에서는 실제 자전거 주행에 적용 가능한 자동변속장치를 개발하기 위하여 자전거용 변속장치 중 내장기어허브를 이용하여 자전거 자동변속장치를 개발하였다. 개발된 자동변속장치는 주행 중 페달rpm과 주행속도를 측정하여 자동변속을 수행하며, 최대심박수의 ~80% 부근에서 ~150W 정도의 주행 출력을 낼 수 있는 일반적인 이용자가 사용가능하도록 개발되었다. 서울시 한강변 자전거 주행로의 경사를 구현한 실내주행 실험결과 자동변속장치는 자전거 주행시 이용자의 페달rpm을 적정한 수준에서 유지하도록 변속을 수행하였으며, 자전거 이용이 서투른 이용자도 적정한 페달rpm을 유지하며 주행할 수 있었다.

Abstract: In this study, an automatic transmission was developed for a bicycle. This transmission uses the pedal rpm and riding speed information for efficient riding. This transmission was installed on a bicycle using an internally geared hub. The automatic transmission was developed for a beginner to ride with proper gear changes. Indoor ride tests were performed to assess the performance of this transmission. Here, a 'beginner' is defined as a bicycle rider who can maintain a riding power of ~150W with a maximum heart rate of ~80%. Furthermore, 'ride with proper gear change' means that the rider could ride the bicycle while maintaining an efficient pedal rpm by the automatic transmission. One expert and four beginners participated in the ride test. The expert was chosen for the comparison with the beginners. To minimize environmental disturbances, the ride test was performed indoors. In this test, two types of gear changes manual and automatic were tested on two types of roads a road with a gradual incline of 0-3% and a road that simulates the bicycle road along the Han river in Seoul. The results of the ride tests show that the algorithm applied for the automatic transmission helps beginners to ride the bicycle efficiently.

1. 서론

현대사회에서 자전거는 녹색성장에 부합하는 교통수단으로 각광 받고 있다. 자전거의 효율적인 이용을 위해서 대부분의 자전거는 변속장치 장착되어 사용되고 있는데 이는 자전거 이용자의

체력을 효율적으로 사용하기 위해 주행출력과 주행속도에 따라 적절한 페달회전을 유지하기 위한 장치이다. 대부분의 자전거는 이용자가 직접 변속을 조절하는 수동변속방식을 사용한다. 수동변속장치 조작이 익숙하지 않은 이용자는 자전거 주행 시 주행 상황에 따라 변속조작을 수행하지 못하는 경우가 발생하거나 적절한 수준의 기어로 변속을 수행하지 못해서 자전거 주행의 어려움을

† Corresponding Author, kslee@kookmin.ac.kr

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

겪는다. 또한 국내 도로환경에서 자주 나타나는 오르막과 내리막이 많은 주행환경과 정지와 출발이 잦은 도심주행환경은 변속수행을 빈번하게 해야 하는 상황으로 변속이 서투른 이용자들에게는 자전거이용의 불편함으로 여겨질 수 있다.

수동변속이 어렵거나 자전거 이용경험이 적은 이용자들에게 변속을 자동으로 수행해주는 변속장치를 부착한자전거가 도움이 될 수 있다.

선행 연구된 자전거용 자동변속장치들은 주행 속도에 따른 변속을 하는 방법⁽¹⁾과 주행출력과 경사도등의 주행조건에 따라 변속을 하는 방법⁽²⁾이 있는데 속도에 따른 자동변속방식은 변속구현이 비교적 쉽고 장치가 간단하지만 경사로 주행 상황에서는 주행속도가 변한 후에 변속을 수행하므로 반응속도가 느려지는 문제가 있다.

주행 출력과 속도, 경사도정보를 이용한 방식은 이용자의 체력(출력)이 일정하게 유지되는 경우에는 효과적인 변속이 가능하지만 이용자 개개인의 운동능력에 따라 유지가능 출력과 운동유지 시간이 변화하기 때문에 이를 모니터링하고 효과적인 변속을 구현하기 어려운 문제가 있다.

이용자의 체력과 신체특성에 따라 개인차가 크고 특정 출력에서 이용자들이 느끼는 체력적 부담이 다르기 때문에 자동변속장치가 필요한 초보이용자로 그 범위를 한정하고, 초보이용자들이 신체적 부담을 크게 느끼지 않는 상태의 주행속도와 주행출력 범위에서 자동변속을 수행하는 자동변속장치가 필요하다. 자동변속장치는 초보이용자의 페달rpm을 수동변속주행보다 적정한 수준으로 유지하는 것이 가능하여야 하며, 이용자의 체력에 따라 유지 가능한 정도의 주행부하로 주행 가능하도록 변속을 수행해하며 실제 주행이 가능한 수준의 자전거 자동변속장치의 개발이 필요하다.

2. 변속장치와 자전거 선정

2.1 변속장치 선정

자전거의 변속장치는 주행을 하면서 지속적인 변속을 수행하게 된다. 자동변속을 구현하는 경우는 일반적인 수동변속보다 변속의 빈도가 높고 구동력이 전달 중인 상황에서도 변속이 가능해야 한다. 일반적으로 널리 사용되는 드레일러 기어 방식 변속장치는 체인을 이용하여 스프라켓을 이동하면서 기어비를 변화시키는 방식으로 변속을

수행한다. 시스템의 무게가 가볍고 비교적 단순한 구조라는 장점이 있지만, 이는 동력전달을 중지하고 스프라켓 위에서 체인의 탈착과 장착이 이루어져서 변속이 완료된 후 동력을 전달할 수 있는 특성이 있다. 주행 중 구동력이 가해지는 상태에서 변속을 수행해야하는 변속장치로 사용하기 어려운 특성이라고 할 수 있다.

이용자가 자전거 주행을 하면서 구동력이 전달 중인 상황에서 변속이 가능한 장치로는 내장기어허브와 무단 변속장치(CVT)가 있다.

무단 변속장치는 동력전달 효율이 낮고 변속을 수행 할 때 소음과 진동이 발생하는 문제로 자동 변속 구현장치로 사용하기 어렵다.

자전거 자동변속을 구현하기 위해서는 주행 중 구동력이 가해지는 상태에서 변속이 가능하고 동력전달 효율이 높은 장치가 요구되며, 내구성과 적절한 기어비를 가진 변속장치가 필요하다.

주행출력이 그리 높지 않은 초보이용자의 경우 변속장치의 동력전달 효율이 높은 것이 유리하며, 주행 중 이용자의 의지와 상관없이 변속이 일어나더라도 기구적인 문제가 없이 주행이 가능해야 한다. 이러한 조건을 만족시키는 변속장치로 본 연구에서는 내장기어허브를 이용하여 자동변속장치를 개발하기로 하였다. Table 1에 대표적

Table 1 Comparison of bicycle transmission

	드레일러 기어	내장기어허브	무단 변속장치 (CVT)
동력전달 효율	93~98% 높음	93~95% 높음	85~89% 낮음
동력전달	체인-체인링	체인-체인링 벨트- 폴리 샤프트-기어	체인-체인링 벨트- 폴리 샤프트-기어
변속제어	와이어 당김 방식	와이어 당김 방식	원심력 제어
동력전달 단절 (변속수행)	단절 발생	단절 없음	단절 없음
변속제어 방법	수동	수동	장치의 원심력
내구성 (유지보수)	주기적인 유지보수 필요	주기적인 유지보수 불필요	주기적인 유지보수 필요
평가의견	자동변속장치에 사용하기 어려움	자동변속장치에 사용하기 적합	동력전달 효율이 낮아 사용하기 어려움

Table 2 Shimano Nexus 8 speed hub gear ratio (SHIMANO INC)

Gear	1	2	3	4	5	6	7	8
Gear ratio	0.52	0.63	0.74	0.85	1.00	1.22	1.41	1.61
Step(%)	0	22.3	16.0	13.9	17.5	22.3	16.0	13.9

Table 3 Gear ratio and Sprocket teeth(SCOTT SUB35 model)

Gear	1	2	3	4	5	6	7	8
Sprocket (t)	38	31	27	24	20	16	14	12
Gear ratio	1.11	1.35	1.56	1.75	2.10	2.63	3.00	3.50

인 자전거용 변속장치들의 특성을 비교하여 나타내었다. 일반적으로 국내에서 시판되는 3단 내장기어허브의 경우 자전거의 경우 186%의 범위를 가지고 있는데, 초보이용자의 주행속도와 주행출력은 개인차가 크고 그 범위 또한 넓기 때문에 305%의 변속범위를 가지고 8단으로 변속 기어(#)가 나뉘어 있는 내장기어허브를 선정하였다.

자동변속장치 개발에 사용된 SHIMANO INC의 nexus 8단 내장기어허브 각 기어의 기어비는 Table 2와 같다. 변속장치에 입력되는 회전과 출력되는 회전 비율을 표시한 것으로 페달의 회전과 바퀴회전의 비율인 최종적인 기어비는 크랭크의 체인링과 내장기어허브의 스프라켓의 잇수(t)의 조합으로 조절 가능하다.

2.2 자전거 선정

자동변속장치를 장착 하기위한 자전거의 선택은 초보이용자가 편안하게 사용가능하며 주행 효율이 높아야한다. 또한 실험목적의 자전거이므로 다양한 체격의 이용자가 주행가능 하도록 적당한 차체크기를 갖추고 있어야하며, 탐승자세 조절을 위해 핸들과 안장의 높이가 변경 가능해야 한다. 고려사항을 만족시키는 자전거로 신장 160~180cm의 이용자가 이용 가능한 차체 크기를 가진 SCOTT사의 SUB35 모델을 선정하였다. SUB35 모델은 28inch 규격의 바퀴를 사용하고 안장과 핸들의 높낮이와 앞뒤 간격의 조절이 가능하다. 선정된 자전거에 미리 선정한 8단 내장기

Table 4 Riding power and proper pedal rpm

Power (Watt)	0~35	15~50	40~70	50~80	70~110	100~200	170~270
Gear	1	2	3	4	5	6	7
Pedal rpm (RPM)	0~70	50~70	55~75	55~80	60~80	65~85	70~95
Proper Pedalrpm	45	55	60	65	70	75	85

어 허브를 장착하였으며 크랭크 체인링과 스프라켓의 기어비는 고정된 상태로 변하지 않는다. 앞쪽 크랭크 체인링의 잇수(t)는 42t를 사용하였고 스프라켓은 20t를 사용하였다. 내장기어허브의 회전비를 적용하여 드레일러 기어 방식의 스프라켓의 t수에 비교하여 나타내면 Table 3과 같이 기어비(Gear ratio)를 나타낼 수 있다. 기어비는 크랭크 1회전 당 바퀴의 회전수 비율을 나타낸다.

선정된 자전거에 8단 내장기어허브를 장착하면 크랭크 1회전에 대해 바퀴회전이 최소 1.1회에서 최대 3.5회까지 회전하는 범위를 가지게 된다.

3. 자동변속 알고리즘

3.1 효율적인 페달rpm

자전거의 주행출력에 따라 적정 페달rpm을 유지하며 주행하는 것은 자전거주행과 이용자의 부상방지 및 운동효과 개선에 도움을 주는 것으로 알려져 있다. 주행출력에 따라 페달rpm을 50~100 정도로 유지하며 주행하는 것이 적절한 것으로 선행연구들⁽³⁻⁶⁾에서 나타내고 있는데, 주행출력이 200W 이상 경우 페달rpm 90~100 rpm으로 주행하는 것이 효율적인 것으로 나타났고,⁽³⁾ 100W 이하의 비교적 낮은 출력으로 주행하는 경우에는 50~70rpm의 낮은 회전수를 유지하는 것이 효율적인 결과를 나타냈다.⁽⁴⁾

주행출력에 적절하지 않은 높은 페달rpm은 오히려 근육의 피로를 쉽게 쌓이게 하고 운동효과를 저하시키며, 낮은 회전수의 페달rpm은 회전당 근육의 부하가 커져서 운동을 지속하는 것이 어려워지고 근육의 통증을 유발한다.

주행출력에 적절한 페달rpm을 유지하기 위해서는 주행출력이 낮을 때는 40~50rpm 정도로 페달 회전을 시작하여 출력이 증가함에 따라 증가하여 250W 정도의 주행출력에서 90~100rpm을 유지 가

능한 수준으로 변속하는 것이다. 각각의 자전거 주행출력범위에 적절한 페달rpm과 기어단수는 Table 4와 같다.

3.2 자동변속 구현 방법

자전거 자동변속을 위해서는 주행속도와 출력 등 주행환경에 따라 적절한 페달rpm유지가 가능해야하며, 1회전 당 다리가 부담하는 힘을 일정 수준 이하로 유지하며 주행 가능해야한다. 하지만 실제 자전거 주행 환경은 외부적으로는 크고 작은 요철이 자전거 주행 시 진동을 발생 시키며, 이용자는 요철과 장애물이 있는 환경에서 페달회전을 멈추고 안장에 일어서서 주행을 하기도 한다. 실제 주행상황에서 자동으로 변속을 수행하기 위하여 페달rpm 정보를 우선적으로 사용하

며 주행상황에 따라 페달의 회전이 없을 경우 주행속도에 따른 변속을 수행하는 방식으로 실제 주행상황에서 작동하도록 하였다.

개발된 자동변속장치의 작동 알고리즘은 Fig. 1과 같으며, 자동변속 모드를 실행하기위한 세부 알고리즘은 Fig. 3과 같다.

자동변속모드에서는 페달rpm이 감지되면 설정한 rpm에 따라 자동변속을 수행하며 페달rpm이 감지되지 않을 경우에는 주행속도에 따라 변속을 수행한다. 이용자가 정지하거나 내리막 지형을 주행할 때 이용자들은 페달을 회전 시키지 않는 경우가 발생하기 때문에 주행속도에 따른 변속이 필요하다. 주행속도에 따른 변속은 체중 75kg의 이용자의 주행속도에 따른 주행출력을 측정하여 이용자가 다시 발을 구르기 시작할 때 주행출력에 적당한 페달rpm을 유지할 수 있는 기어로 변속을 수행한다.

4. 자전거 자동변속장치의 구성

자전거 자동변속장치는 Fig. 3과 같이 구성되어 있다. 프레임의 중앙에 제어장동부인 메인박스(Main box)가 장착되어있고, 속도센서(Speed sensor)와 페달 rpm 센서(Pedal rpm sensor)는 시트스테이튜브(Seat stay tube)와 체인스테이튜브(Chain stay tube)에 각각 부착되어 있다. 메인박스에는 콘트롤 보드(Control board)와 배터리(Battery)와 전원변압장치(Power converter)로 구성되어 있다. 메인박스의 우측면으로 변속제어장치(Shift control device)가 고정되어있는데 변속제어 와이어와 연결된 회전폴리가 돌출 되어 있다. 주행 중 발생하는 진동으로 인한 오작동을 방지하기 위해서 메인박스 위치는 자전거 중심축 가까이 장착 하였다. Fig. 4는 메인박스에 내장되어있는 부품들을 보여준다. 주행 중 충격과 진동으로부터 콘트롤 보드를 보호하기 위하여 플라스틱 케이스를 제작하여 감싸고 메인박스 내부에 장착하였다.

컨트롤 보드는 임베디드 장치에 사용되는 TI사의 Cortex-m3 계열 LM3S8962칩을 CPU로 사용하는 MI-LM3S8962 보드를 사용하였다.

컨트롤 보드의 명령어 파일은 LabVIEW프로그램을 이용해 프로그래밍을 하고 NI LabVIEW Embedded Module for ARM Microcontroller를 이용하여 Cortex-m3 계열의 CPU에 적용 가능한 hex 파일로 생성한다.

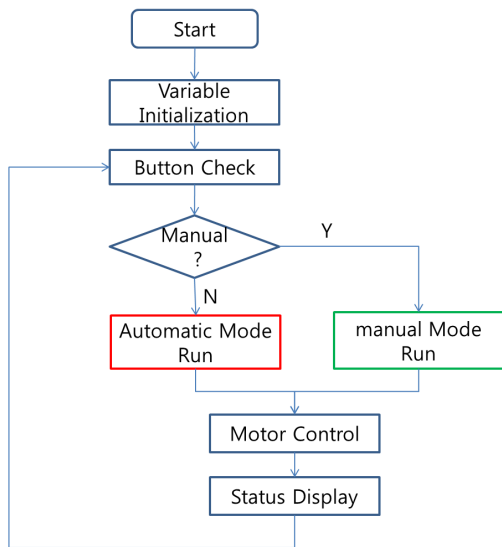


Fig. 1 Bicycle automatic transmission algorithm

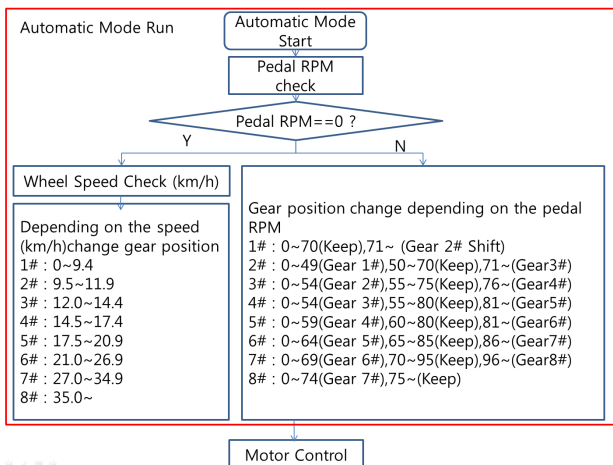


Fig. 2 Automatic mode algorithm flowchart

Depending on the speed (km/h)change gear position

1# : 0~9.4
2# : 9.5~11.9
3# : 12.0~14.4
4# : 14.5~17.4
5# : 17.5~20.9
6# : 21.0~26.9
7# : 27.0~34.9
8# : 35.0~

Gear position change depending on the pedal RPM

1# : 0~70(Keep),71~ (Gear 2# Shift)
2# : 0~49(Gear 1#),50~70(Keep),71~(Gear3#)
3# : 0~54(Gear 2#),55~75(Keep),76~(Gear4#)
4# : 0~54(Gear 3#),55~80(Keep),81~(Gear5#)
5# : 0~59(Gear 4#),60~80(Keep),81~(Gear6#)
6# : 0~64(Gear 5#),65~85(Keep),86~(Gear7#)
7# : 0~69(Gear 6#),70~95(Keep),96~(Gear8#)
8# : 0~74(Gear 7#),75~(Keep)

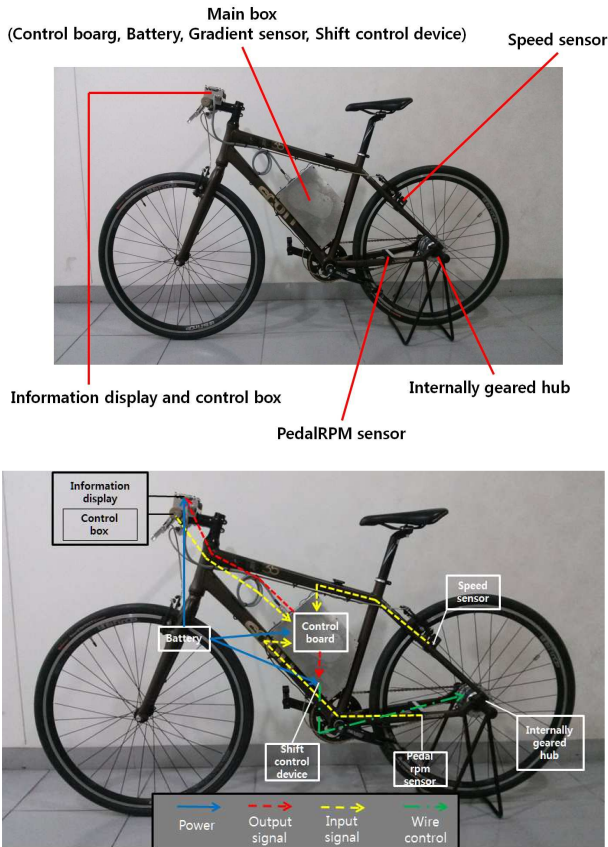


Fig. 3 Automatic transmission of bicycle

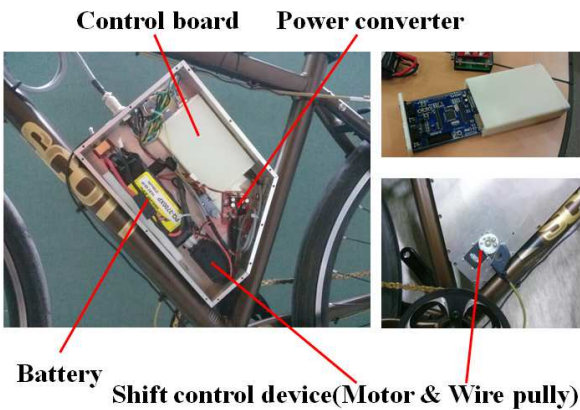


Fig. 4 Picture of Mainbox

배터리는 14.8V, 3700mA 리튬폴리머 충전지를 사용하였다. 모터로 자동변속을 제어하기 위해 변속제어 와이어를 모터의 회전폴리에 연결하였다. 모터는 회전폴리를 좌우로 회전하여 와이어 길이를 변화시켜서 내장기어허브의 변속을 제어한다. 회전폴리를 작동시키는 모터로는 ROBOTIS사의 DYNAMIXEL EX-106+모델을 사용하였다.

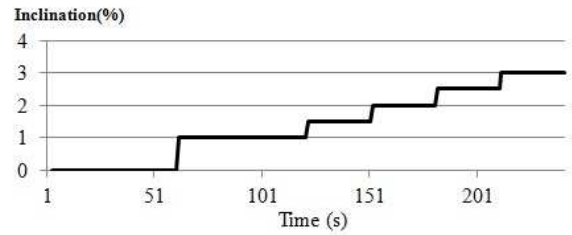


Fig. 5 Inclination of test course 1

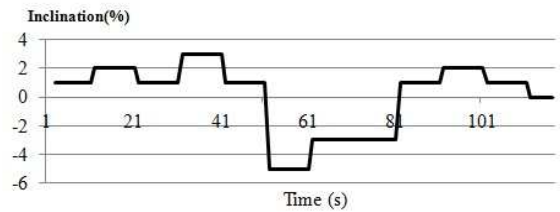


Fig. 6 Inclination of test course 2

5. 실험 및 평가

5.1 실험 주행로 설정

일반적인 자전거 이용 환경으로 서울시의 통근 목적의 이용을 가정하여 두가지 주행로를 실내주행실험을 하였다. 주행로는 선행연구(7)의 통근목적 자전거 주행을 구현하기위해 5% 이내의 경사도와 주행거리 4km 이내로 설정하였다.

Fig. 5의 실험 주행로 1은 오르막 주행로에서 주행부하가 점차 증가하는 상황을 가정하여 이용자의 페달rpm 감소와 증가에 따른 자동변속 주행과 수동변속 주行的 차이를 알아보기 위한 것이다. 경사도 0% 에서 3%로 점진적으로 증가하는 주행로를 4분 동안 주행하는 코스로 설정하였다.

Fig. 6의 실험 주행로 2는 오르막과 내리막이 반복되는 변속이 자주 이루어져야 하는 상황에서 수동변속 주행과 자동변속 주行的 차이를 알아보기 위한 것으로 경사도 범위 -5~3%를 가지는 오르막과 내리막 주行的 10~20초 간격으로 10번 변화하며 1분50초 동안 주행하는 코스로 설정하였다.

5.2 실험 참가자

자전거 자동변속장치의 작동성능을 파악하기 위해 수동변속 주行的 익숙하지 않은 초보이용자와 수동변속 주行的 익숙한 전문이용자의 주행을 비교하기로 하였다. 정기적인 운동을 수행하지 않는 30대 일반인들 중 남성 3인과 여성 1인 등 4명의 초보이용자와 전문이용자 1인 총 5명이 실

Table 5 Participant profiles

Participant	Age	Height (cm)	Weight (kg)
1	31	177	72
2	34	161	49
3	32	165	70
4	35	173	79
5	30	179	82

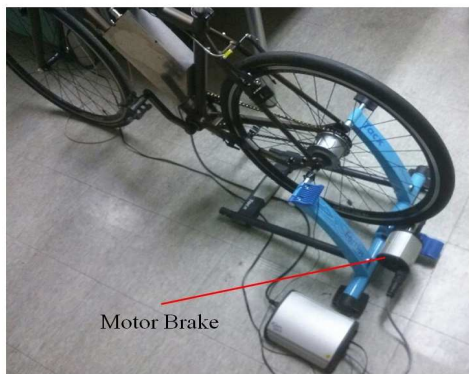


Fig. 7 TACX Fortius multiplayer T1930 bicycle Simulator

험에 참가하였다. 이들은 실험진행과정에 영향을 줄 수 있는 근골격계적 또는 정형학적 문제를 가지고 있지 않았으며 초보이용자 4인은 연간 5회 이하로 자전거를 이용하고 있었다.

5.3 실험 장치와 실험 방법

자전거 자동변속장치의 실내 주행실험을 위해 주행출력 측정이 가능하며 경사도에 따른 주행부하의 재현이 가능한 자전거 주행 시뮬레이터인 TACX사의 Fortius multiplayer T1930 (Fig. 5)을 사용하였고, 자전거의 주행출력, 주행속도, 페달rpm 등을 측정하고 실시간으로 저장 가능한 소프트웨어로 TACX Trainer software 3.0을 이용하였다.

실험 참가자들은 실험주행에 앞서 내측 다리 길이를 측정하여 적정 안장높이로 조정하였다. 안장높이 조정이 완료된 후 5분간 워밍업과 자전거 연습주행을 한 후 실험 주행을 시작하였다. 실험 참가자는 실험 주행로 1번과 2번 두 가지 주행로를 수동변속 주행과 자동변속 주행으로 총 4번에 걸쳐 주행한다. 1번 실험 주행로를 먼저 주행하였고, 수동변속 주행 후 자동변속 주행을 하였다. 참가자들은 자유롭게 주행속도를 유지하



Fig. 8 picture of test riding

되 수동변속 주행과 자동변속 주行的 주행속도를 비슷하게 유지해야 한다는 설명을 듣고 실험에 임하였다. 실험 참가자들은 실험 사이에 충분한 휴식을 취하고 실험을 진행하였다. 실험을 진행하는 동안 1초 간격으로 주행속도와 주행출력, 페달rpm을 측정하여 기록하였다. 실험측정을 시작하는 시점의 실내 온도는 23℃, 상대습도는 56%였다.

5.5 실험 결과

Fig. 9에 실험주행로 1의 주행 결과 중 평균 페달rpm과 측정된 표준편차를 표시하였다.

전문이용자로 분류되는 참가자 1을 제외한 초보이용자들(참가자2, 3, 4, 5)의 평균 페달rpm 범위는 수동변속 주행 49.9~69.9rpm, 자동변속 주행 66.2~70.8rpm으로 나타났으며, 4명 모두 자동변속 주行的 결과가 목표 페달rpm에 더 가까운 것으로 나타났다. 페달rpm의 표준편차도 수동변속 주행 8.3~12.9, 자동변속 주행 4.0~6.5로 자동변속 주행이 더 작은 표준편차를 보인다. 오르막 주행로를 가정한 실험주행로 1의 실험 결과 초보이용자들에게는 수동변속 주행보다 자동변속 주行的 경우에 목표 페달rpm에 가깝게 유지하는 것으로 나타났다.

Fig. 10은 실험 주행로 2의 주행 결과 중 평균 페달rpm과 측정된 표준편차를 표시하였다.

참가자 1을 제외한 초보이용자들의 평균 페달rpm 범위는 수동변속 주행 71.8~85.3rpm, 자동변속 주행 71.8~75.8rpm으로 나타났고, 4명 모두 자동변속 주행 결과가 목표 페달rpm에 더 가까운 것으로 나타났다. 페달rpm의 표준편차는 수동변

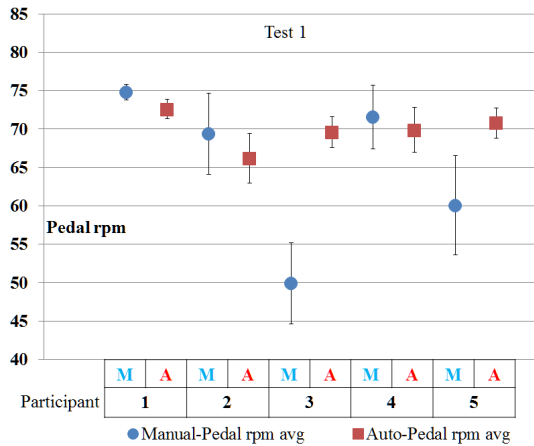


Fig. 9 Result of test course 1

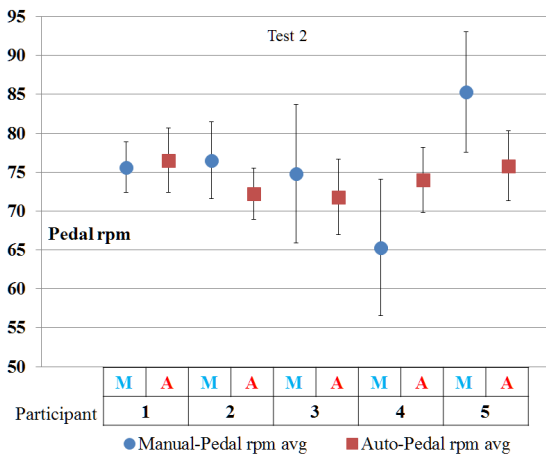


Fig. 10 Result of test course 2

속 주행 9.9~17.8, 자동변속 주행 6.6~9.7로 자동변속 주행의 경우에 더 작은 표준편차를 보였다. 오르막과 내리막이 반복되는 주행상황을 가정 한 실험 주행로 2의 실험 결과 초보이용자에게는 자동변속 주행이 수동변속 주행보다 출력에 알맞은 목표 페달rpm을 유지하는데 효과가 있었다.

하지만 실험 결과 참가자 1은 실험 주행로 1번과 2번에서 수동변속과 자동변속 주행 모두 초보이용자들 보다 목표 페달rpm에 가깝게 유지하였고, 4번의 주행실험에서 측정된 페달rpm의 표준편차도 모두 가장 작게 나타났다.

초보이용자로 분류되는 2, 3, 4, 5번 참가자들은 1번과 2번 주행로의 수동변속 주행 평균 페달rpm은 개인의 습관과 자율선택에 따라 다르게 나타났지만 자동변속 주행에서는 4명의 참가자 모두 출력에 따른 목표 페달rpm에 더 가깝게 유지되었고, 자동변속 주행에서 측정된 페달rpm의 표준편차가 수동변속 주행보다 작게 나타났다.

6. 결론

실험 결과 개발된 자동변속장치를 이용한 주행은 수동변속 주행보다 목표 페달rpm에 근접하게 유지 되었으며 측정된 페달rpm의 표준편차도 자동변속 주행의 경우에 더 작은 것으로 나타났다.

다만 전문이용자의 경우 자동변속 주행보다 자신에게 최적화된 수동변속을 수행하며 주행하는 것이 가능하기 때문에 자동변속장치의 사용보다 수동변속 주행이 더 유리한 것으로 나타났다.

각각의 기어단에서 페달rpm범위를 가지고 페달rpm의 증가와 감소에 따른 자동변속방식은 기존의 속도에 따라 변속하는 방식보다 더 넓은 범위의 이용자가 사용할 수 있었으며, 오르막과 내리막이 반복되는 주행상황에서도 주행 중 페달rpm의 변화와 페달rpm이 측정되지 않는 상황에서는 주행속도에 따라 변속하는 방식으로 목표 페달rpm 가까이 유지하며 주행 할 수 있었다.

실내 주행실험을 통해 목표 페달rpm에 근접하게 유지하며 자동변속 주행 하는 것을 확인했으며, 신체조건이 다른 초보이용자들에게도 효과가 있었다. 자전거 자동변속장치를 사용하여 초보이용자들이 자전거 이용을 쉽게 할 수 있는 가능성을 확인 할 수 있었다. 개발된 자동변속장치는 초보이용자가 이용할 때 목표 페달rpm을 유지하는데 수동변속 주행보다 효과가 있었다.

참고문헌

- (1) Cho, K. H., Kim, S. H., Choi, S. H., Lee, S. H. and Park, I. W., 2010, "An Automatic Gear Shifting System of a Bicycle," *The Korean Institute of Power Electronics, Autumn*, pp. 296~297.
- (2) Chien H. C. and Tseng, C. H., 2004, "An Automatic Transmission for Bicycles: a Simulation," *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 33, pp.123~132.
- (3) Neptune, R. R. and Hull, M. L., 1999, "A Theoretical Analysis of Preferred Pedaling Rate Selection in Endurance Cycling," *Journal of Biomechanics*, Vol. 32, pp. 409~415.
- (4) Tiwari, P. S., Gite, L. P., Pandey, M. M. and Shrivastava, A. K., 2011, "Pedal Power for Occupational Activities: Effect of Power Output and Pedalling Rate on Physiological Responses,"

- International Journal of Industrial Ergonomics*,
Vol. 41, pp. 261~267.
- (5) Wilson, D. G., 2004, "*Bicycling Science*," MIT
press, Cambridge, Massachusetts.
- (6) Fujii, N., 2009, "*The Science of Road Bikes*,"
Lbigmedia, Seoul, Korea.
- (7) Kim, Y. J., Lee, K. W. and Ahn, K. H., 2008,
"A Study for Impact of Regional Variable on
Bicycle Commuting - Focused on the Case of 25
Autonomous Districts Seoul -," *Journal of UDIK*,
Vol. 9, No. 1, pp. 19~34.