

# Fuzzy 제어기 기반의 무체인 파워 보조 자전거 개발

## Development of a Fuzzy Control Based Chainless PAS Bicycle

정희성\* · 김관형\*\*\* · 이형기\*

Hoi-Seong Jeong\* · Gwan-Hyung Kim\*\* · Hyung-Ki Lee\*

\* 부경대학교 제어계측공학과

\*\* 동명대학교 컴퓨터공학과

### 요 약

본 논문은 친환경 교통수단인 일반적인 체인형 자전거(Bicycle)를 대신할 수 있는 무체인(Chainless) 지능형 파워 보조 시스템(Power Assistant System)을 설계하여 자전거 운전상태에 맞추어 필요한 동력을 지원할 수 있는 전기자전거 모델을 제안 하고자 한다. 무체인 지능형 파워 보조 시스템의 답력 센서(sensor)를 통하여 자전거의 운전상태를 지능적으로 파악할 수 있는 퍼지제어 알고리즘을 설계하고, 자전거 운전상태에 대한 파워 보조 시스템의 보조 동력을 제어하도록 하였다. 본 논문에서는 사람의 답력에만 의존하는 일반 자전거 시스템에 보조동력을 제공하는 무체인 지능형 전기자전거 모델을 설계하여 제시하였다.

**키워드** : 무체인 전기자전거, 퍼지 제어기, 헬리컬 기어, 토션바

### Abstract

This paper proposes a model for a chainless power assister system(PAS) that can provide the required power based upon operational status by designing a chainless electric bicycle that can be substituted for a general chain type bicycle and which is also an environmentally friendly means of transportation. This paper designed a fuzzy control algorithm that can intelligently examine operational status through the stopping force sensor of a chainless intelligently auxiliary power system it and also have the power of an auxiliary power system to be controlled by the vehicle's operational status. This paper designed an intelligent electric bicycle that provides auxiliary power to a general bicycle system relying only upon the stepping force of a human and systems to provide auxiliary power to the intelligent chainless bicycle model designing presented.

**Key Words** : Chainless Electric Bicycle, Fuzzy Controller, Helical Gear, Torsion Bar

## 1. 서 론

최근 친환경 녹색성장에 대한 관심이 높아지면서 친환경 교통수단인 전기자동차(electric car) 및 전기자전거(electric bicycle)의 활용에 대하여 관심이 높아지고 있다. 한국, 일본 및 기타 외국의 경우에도 대중교통시설과 연계된 자전거 도로의 확보와 공공자전거 제도를 운영하여 화석 에너지 절감과 친환경 교통정책을 펼쳐 나가고 있다. 이러한 자전거의 보급은 도심지의 교통체증의 해소와 운전자의 건강 증진에 도움이 되므로 녹색 산업과 연계되어 공공자전거 도로의 확보를 지방 지자체 및 국가적 차원에서 지원하고 있다.[1-2]

일반적으로 자전거의 구조는 크게 조향장치, 구동 및

제동장치, 스포크(spoke) 및 서스펜션, 바퀴, 프레임 등 5가지 구조물로 구분하고 있다. 그리고 자전거의 구동계 측면에서는 지금 널리 사용되고 있는 체인(chain) 방식과 1923년도에 제작된 바 있는 무체인(chainless) 방식으로 나눌 수 있다.[3-7]

무체인 방식의 자전거는 체인이 없이 샤프트(shaft)로 동력을 전달하여 뒷바퀴를 굴리는 방식을 말한다. 이러한 무체인 자전거의 장점은 체인에 의해 발생할 수 있는 여러 가지 문제점(체인의 기름이 옷에 묻는 현상)을 해결 할 수 있다. 그러나 문제점도 존재한다. 평지에서 가벼운 페달링(pedaling)을 통하여 무리없이 운전할 수 있지만, 경사지의 경우에는 기계적 기어(3단)의 한계점과 하중 때문에 등반의 어려움이 존재한다.

자전거 등반 시 발생하는 일반적인 역학(mechanics)적 해석은 경사지에 따라 적절한 기어비가 필요하고 무게가 가벼워야 유리하다고 알려져 있다. 이러한 경사지 등반에 필요한 자전거의 역학적 해석을 통하여 외부에서 토크를 지원할 수 있는 파워보조시스템 (PAS ; Power

Assistant System)을 제공하면 보다 안정적이고 편리하게 주행할 수 있는 자전거 운전시스템이 될 수 있다.

접수일자: 2011년 11월 7일

심사(수정)일자: 2012년 1월 9일

게재확정일자 : 2012년 1월 10일

\* 교신저자

감사의 글 : 본 연구는 “지방과학연구단지 육성산업 R&D 역량강화 지원자금으로 연구되었음”

[8-9]

이러한 파워보조시스템(PAS) 설계를 위한 선결과제는 답력(페달링을 할 때 발에 의해 가해지는 힘)을 측정할 수 있는 센서에 있다. 여기서 답력 센서의 센서값은 자전거 페달링 시 발생하는 부하토크에 해당된다. 파워보조시스템은 측정된 부하토크를 통하여 적절한 보조동력을 제공하도록 설계하였다. 파워보조시스템을 갖춘 자전거는 평지 또는 경사지를 포함하여 페달링 시 발생하는 모든 부하토크에 대하여 지능적으로 필요한 보조동력을 제공하여 운전자에게 편리성을 제공할 수 있다. [10-11]

본 논문에서는 페달링 시 발생하는 부하토크에 대한 계측 부분과 측정된 부하토크와 자전거 운전상태인 자전거 속도를 계측하여 운전자가 원하는 자전거 운전상태를 퍼지 제어기가 추론하여 각 운전상태에 대한 적절한 보조동력을 제공하는 무체인 지능형 자전거 파워보조 시스템을 제시하고자 한다.

## 2. 무체인 파워 보조 시스템 모델

PAS 전기자전거의 핵심은 페달링 시에 페달 크랭크에 발생하는 답력을 계측하여 구동부에 보조동력을 인가하는 방식이다. 이러한 제어방식을 그림으로 표현하면 그림 1과 같이 표현할 수 있다.

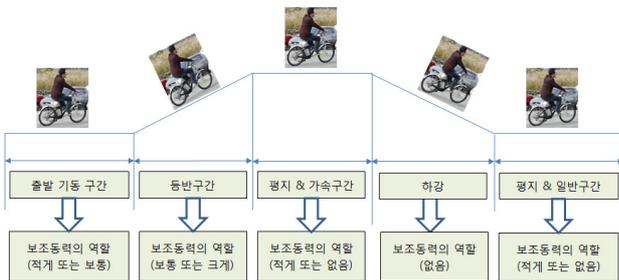


그림 1. 페달링과 보조동력과의 관계

Fig. 1 The relationship between pedaling and auxiliary power.

페달링 답력과 구간 영역에 대한 보조동력의 역할은 그림 1과 같이 출발 기동 구간, 등반구간, 평지&가속구간의 경우에 필요하다고 볼 수 있다. 본 논문에서 제안하고자 하는 퍼지제어기의 역할은 보조동력을 필요로 하는 대표적인 4가지 구간으로 한정하여 시뮬레이션을 수행하고 실험 데이터를 제시하고자 한다. 또한, 페달링할 때 측정할 수 있는 답력값과 주행 시 측정할 수 있는 현재 자전거의 운전상태와의 조합을 통하여 퍼지제어기의 근사 추론법을 활용하여 바퀴에 필요한 보조동력을 제공할 수 있는 PAS 자전거시스템을 제시하고자 한다.

퍼지제어 기반의 무체인(chainless) PAS를 구현하기 위하여 본 논문에서는 답력 계측용 토션바를 설계하여 운전자의 답력을 계측하였다. 즉, 페달링을 통하여 발생하는 답력은 헬리컬 기어(helical gear)를 통하여 뒷바퀴로 동력을 전달하게 된다. 이때 동력을 전달하는 매개체는 토션바를 통하여 동력을 전달하게 된다. 이때

토션바에 발생하는 토크는 토션바의 양 끝부분에 의하여 뒤틀림(torsion)이 발생하게 된다. 다시 말해 토션바의 한쪽은 운전자의 답력에 의해 강한 토크가 발생하며, 다른 한쪽은 등반구간이나 가속구간에서 발생하는 부하(load)에 의하여 뒤틀림이 발생하게 되어 이러한 뒤틀림을 계측하여 운전자가 요구하는 운전상태를 판단하여 퍼지제어기의 제어동작을 수행하도록 설계하였다.

이렇게 측정된 토션바의 토크값과 자전거의 속도값을 퍼지제어기의 입력으로 사용하여 운전자가 원하는 자전거상태를 추론하여 필요한 보조동력을 제공하도록 퍼지제어기를 설계하였다.

무체인 PAS의 특성은 토션바의 특성에 의해 결정된다. 토션바의 원리는 토션바의 양끝 사이에 발생하는 비틀림 전압에 기인한다. 이 비틀림 전압의 변위는 답력에 의한 기준변위와 부하에 의해 발생하는 토션바의 뒤틀림에 의해 발생하는 기준 변위와의 차이값에 의하여 결정된다. 이러한 차이값에 해당하는 비틀림 토크값을 센서로 검출하는 방식이다.

토션바에서 발생하는 비틀림 토크값을 통하여 등반구간이나 가속구간에 해당하는 답력의 상승현상을 계측하여 필요한 보조동력을 제공하는 퍼지제어 기반 PAS 시스템 구조를 그림 2와 같이 나타내었다.

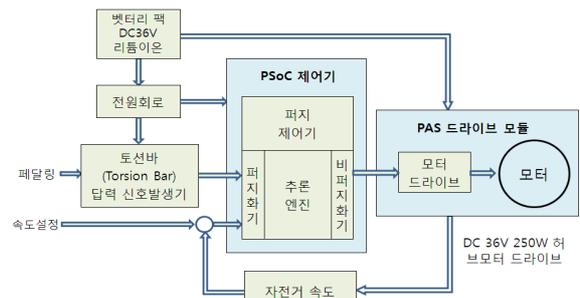


그림 2. 퍼지제어기를 이용한 파워 보조 자전거의 시스템 구조

Fig. 2 The system architecture of power assisted bicycles using fuzzy controller.

그림 2에서 자전거의 속도는 자전거의 바퀴에 체결된 엔코더(encoder) 펄스에 대하여 PSoC 내부의 타이머(timer)를 이용하여 계측하였다.

## 3. 퍼지제어기 설계

PAS용 퍼지제어기를 설계하기 위하여 답력에 대한 토크센서의 계측값을 언어적 변수로 표현하고, PAS의 출력값에 대한 언어적 변수를 표 1과 같이 정의하였다.

표 1을 바탕으로 자전거 페달의 답력과 자전거 속도에 따라 자전거의 운전상태를 결정할 수 있다. 이러한 언어적 표현을 통하여 제어규칙 9개에 해당하는 운전상태를 자유롭게 선택 할 수 있다. 표 1에 제시한 바와 같이 자전거의 현재 속도도 중요하지만 운전자가 원하는 자전거의 운전상태를 반영하는 토션바의 비틀림에 대한 토크값을 통하여 등반구간이나 가속구간을 판단할 수 있는 점이 중요한 정보가 된다는 것을 알 수 있다.

표 1. 퍼지 언어적 변수와 규칙집합

Table 1. Fuzzy linguistic valuables and rule sets.

No.	현재의 답력	자전거 속도	운전상태
1	약한 답력	느림	느린 가속
2	약한 답력	보통	보통 가속
3	약한 답력	빠름	급 가속
4	보통 답력	느림	보통 가속
5	보통 답력	보통	보통 가속
6	보통 답력	빠름	급 가속
7	강한 답력	느림	급 가속
8	강한 답력	보통	급 가속
9	강한 답력	빠름	급 가속

표1에서 퍼지제어기의 규칙을 살펴보면 등반구간과 가속구간에 해당되는 퍼지제어기의 규칙은 7, 8, 9번 규칙으로 판단할 수 있으며 현재 자전거의 속도 보다는 현재의 답력에 의존도가 높다는 것을 알 수 있다. 즉, 등반구간에서 답력이 크에도 불구하고 속도가 느려지는 경우에 해당하는 7번 규칙은 퍼지제어기의 판단에 의한 운전상태는 급가속 구간으로 판단하여 PAS의 보조동력을 크게 높게 하여야 한다는 것을 알 수 있다.

표 1의 퍼지제어의 입력에 해당하는 언어적 변수의 소속함수(membership function)를 그림 3과 같이 정의하였다. 페달의 답력에 대한 입력범위는 0~10[V]으로 하였고, 자전거 속도에 대한 입력 범위는 0~10[m/sec]로 설정하였으며, PAS 출력에 대한 제어량의 범위는 0~10[V]으로 하여 시뮬레이션 하였다. 그림 3은 두 입력(답력의 고·저, 현재 자전거 속도)에 대한 소속함수와 PAS의 출력에 대한 소속함수를 Matlab Fuzzy Toolbox를 이용하여 표현하였다.

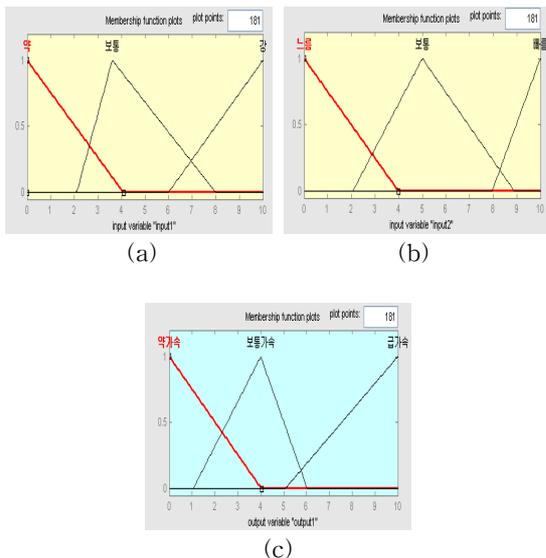


그림 3. (a) 답력 입력 소속함수, (b) 자전거 속도 입력 소속함수, (c) PAS 출력 소속함수

Fig. 3 (a) Pedal input membership function, (b) Bicycle velocity input membership function, (c) PAS output membership function

그림 3의 소속함수는 일반적인 삼각함수(triangular function)를 사용 하였으며, 입력력 소속함수를 통하여 27개의 제어규칙이 만들어 지지만 표 1의 제어규칙을 고려하여 합당한 9개의 제어규칙을 사용하였다. 특히, 보통 답력에 해당하는 소속함수의 형태는 2~4[V]에 해당하는 작은 변화에 대하여도 답력의 상태를 민감하게 하도록 하기 위하여 비대칭형으로 설계하였으며, 반복적인 시뮬레이션을 통하여 선정하였다.

그림 4는 PAS의 입출력에 대한 퍼지제어기의 제어 평면을 제시하였다.

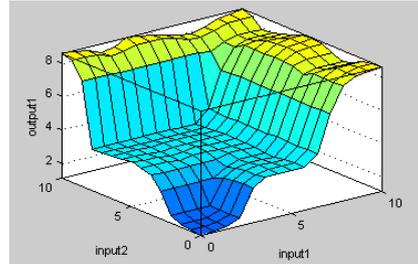


그림 4. 자전거 운전상태에 대한 PAS 제어 평면  
Fig. 4 The PAS control plane on bicycle driving status.

그림 4의 입력1(input1)은 자전거 답력 입력이며, 입력이 0인 경우에는 페달을 밟지 않은 상태를 의미하고, 10의 경우는 페달을 최대한 강하게 밟을 때의 답력을 의미한다. 입력2(input2)는 현재 자전거 속도에 대한 입력으로 0의 경우는 자전거가 정지 한 상태를 의미하고, 10의 경우는 일반 주행용 자전거를 이용한 도로 운전으로 보았을 때 평균 40~50[km/h]로 가정한 값이다.

본 논문의 시뮬레이션 조건은 자전거 운전상태와 자전거 등반환경을 고려하여 자전거 페달의 답력값은 5로 선정하였으며, 자전거 운전구간인 등반구간에 대하여 20~25[km/h]를 대상으로 시뮬레이션 하였다.

## 4. 시뮬레이션 및 실험

### 4.1 제어기 시뮬레이션

PAS 퍼지제어기를 구현하기 위하여 간략화된 자전거 모델과 PAS 시스템의 모터 방정식을 결합한 3차형 전달함수를 적용하였으며, 시뮬레이션은 Matlab의 Simulink를 사용하였다. 그림 5에서 시뮬레이션에 사용된 PAS용 퍼지 제어기 블록다이어그램을 나타내었다.

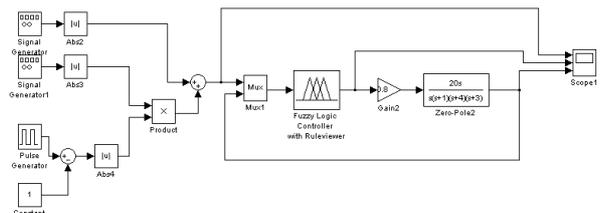


그림 5. 퍼지 제어기 블록다이어그램  
Fig. 5 Fuzzy controller block diagram.

본 논문의 시뮬레이션에 사용된 퍼지 규칙집합은 표 1을 기초로 하여 자전거의 운전상태를 3단계로 판단하여 PAS가 보상해야할 보상량을 산정하였고, 추론방법은 Mamdani 추론기법을 사용하였다. 퍼지제어기의 추론과정은 그림 6에 제시하였다.

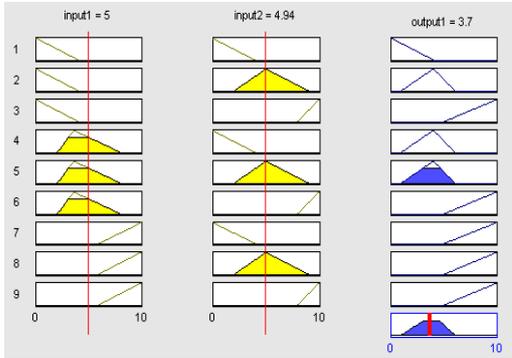


그림 6. 퍼지제어기 추론 과정

Fig. 6 Reasoning process of fuzzy controller.

그림 6의 시뮬레이션에서 입력1은 퍼지 언어적 변수인 보통 답력이라는 판단을 할 수 있으며, 입력2는 자전거의 속도로서 4.94(V)의 레벨을 확인할 수 있으며 추론결과는 3.7(V)로서 보통 가속의 영역에 있다는 것을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었다.

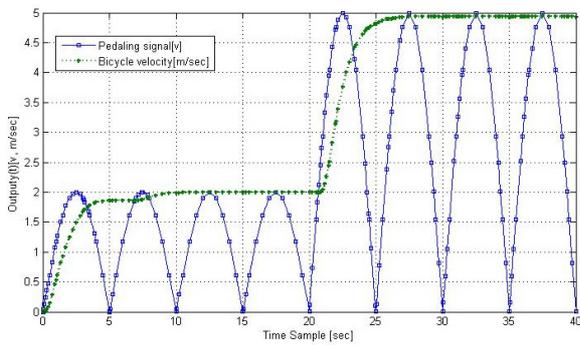


그림 7. 답력신호와 자전거 속도

Fig. 7 Pedaling signal and Bicycle velocity

그림 7의 실선은 자전거 시스템에 대한 페달의 답력을 나타내며, 점선은 주어진 답력에 대한 퍼지제어기 기반의 PAS의 보상량을 통하여 자전거에 일정한 속도를 추종할 수 있다는 것을 시뮬레이션을 통하여 제시하였다.

그림 7에서 답력신호는 페달링으로 인한 토션바의 비틀림에 의한 계측값으로 표현할 수 있다. 이러한 비틀림 각에 대한 출력값이 답력에 의해 전달되는 토크값에 해당된다. 또한, 답력에 대한 토크값의 정의는 피크값이 2[V]인 경우에는 약한 페달의 입력으로 정의되고, 피크치가 5[V] 경우에는 중간 페달링 입력으로 가정하였다. 최대 답력의 경우는 본 시뮬레이션에서 10[V]로 정의하였다. 그림 7의 점선은 퍼지제어기의 판단에 의해 운전자 답력에 의한 PAS 보조동력을 나타내며 그림과 같이 응답특성이 안정해 지는 결과를 확인할 수 있으며,

시뮬레이션의 결과로부터 퍼지제어기를 사용함으로써 보다 지능적인 PAS 제어를 설계 할 수 있다는 것을 확인하였다.

#### 4.2 제어기 하드웨어 제작 및 실험

본 논문에 사용한 마이크로프로세서는 CY8C29466-24PXI를 이용하였으며, 사용된 회로도도 그림 8과 같다. 그림 8에서 센서 드라이브 단을 통하여 입력된 토크 값에 대하여 PSoC 기반의 퍼지 제어기를 통하여 제어량을 출력한다. 출력된 제어량은 다시 LM3914를 통하여 D1~D10의 LED를 점등 하도록 하여 이는 BLDC의 속도 제어를 위한 전류로서 수광부를 통하여 BLDC 모터의 전류를 제어하도록 설계하였다.

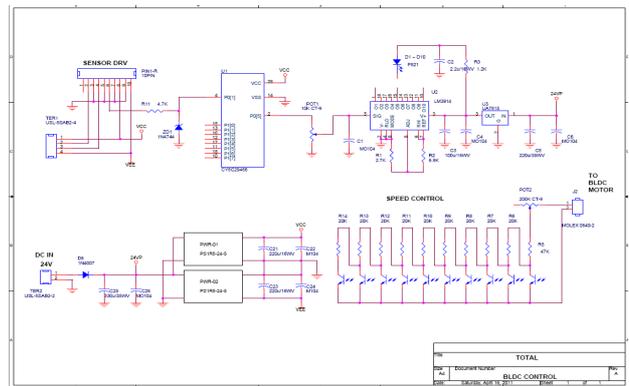


그림 8. 답력 신호제어기 회로도

Fig. 8 Pedaling signal controller schematic.

그림 9는 본 논문의 실험을 위하여 제작한 퍼지 기반 PAS 제어기로, 사용한 PSoC은 통신을 위한 UART 블록, 엔코더 입력을 통하여 속도를 계산하는 타이머 블록과 아날로그 블록이 있으며, 32K의 플래쉬(Flash) 메모리가 있어 퍼지 제어기 알고리즘을 C-언어로 구현하였다.

자전거 속도를 구하기 위하여 PSoC 내부의 타이머를 활용하여 외부 인터럽트(interrupt)를 통하여 하나의 펄스 시간을 계측하였으며, 계측된 값을 속도로 환산하여 사용하였다.

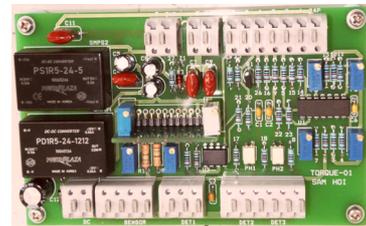


그림 9. PSoC 기반의 퍼지제어기

Fig. 9 The PCB of fuzzy controller based on PSoC.

그림 10은 본 논문의 실험에 사용된 무채인 PAS의 실험 모델을 제시하였다. 실험을 위하여 사용된 배터리는 Lithium-Ion 배터리(공칭전압36V/10Ah)를 이용하였으며, PAS 용 구동 모터는 BLDC 모터로 250[W] 급을 사용하였다.



그림 10. 무체인 PAS 실험모델

Fig. 10 Chainless power assisted bicycle experiment model

그림 11은 무체인 동력 전달 장치와 결합된 PAS를 제시하였다.



그림 11. 무체인 동력 전달 장치

Fig. 11 Chainless power transmitter device.

그림 11의 무체인 동력 전달 장치의 내부를 분해하여 내부의 헬리컬 기어 구조를 그림 12와 같이 나타내었다.



그림 12. 무체인 동력 전달 장치의 내부 구조

Fig. 12 The internal structure of chainless power transmit device.

그림 13은 본 논문의 실험에 사용된 토크 센서인 토션바를 통하여 계측된 답력을 제시하였다. 실험은 뒷바퀴에 대하여 평지에 해당하는 일반적인 부하를 주었을 때의 토크센서의 추력파형이다. ch1은 토크센서의 출력전압을 나타내고, ch2는 퍼지제어기에 의하여 제공되는 동력의 추가분을 나타내었다. ch1의 피크치는 2.72[V]와 ch2는 3.02[V]임을 확인할 수 있었다. ch2 PAS 출력파형 1.1~3.02[V]을 통하여 추력을 제공하였음을 알 수 있다.

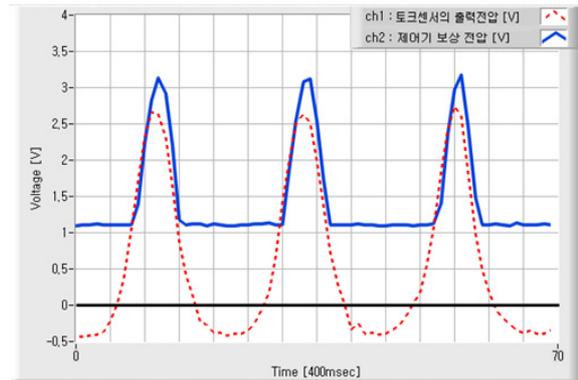


그림 13. 중간 부하시 토크센서 출력

Fig. 13. The output of torque sensor (middle load )

그림 14는 경사 경사지에 해당하는 최대 부하 토크를 가했을 때 토크센서의 추력파형을 제시하였다. 이러한 실험의 결과로 ch1 피크치는 3.16[V]로 답력을 의미하며, ch2는 3.58[V]를 확인할 수 있었다. ch2 PAS 출력파형 0.8~3.58[V]을 통하여 추력을 제공하였음을 알 수 있다.

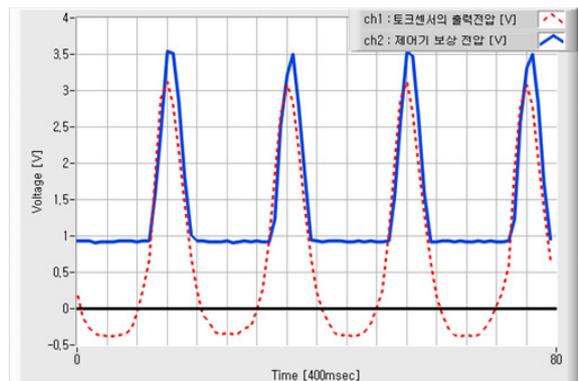


그림 14. 최대 부하시 토크센서 출력

Fig. 14 The output of torque sensor(maximum load)

그림 13과 그림 14를 통하여 토크센서의 변화에 따라 퍼지제어기의 파워 보상은 자전거 운전시 페달링을 통하여 토크 변화를 계측하여 토션바의 토크센서의 출력값으로 확인할 수 있었다.

그림 15는 무체인 기반의 동력전달 장치를 활용한 토션바의 토크센서에 대한 신호를 계측한 것이다. 계측 결과에서 0이하의 그래프 영역은 평균적인 토션바의 토크센서의 값이 음수값을 나타내므로 자전거 운전환경은 내리막 경사로 판단 할 수 있으며, 양수값이 커지면 커질수록 경사가 높아져 페달링을 통한 답력이 상승했다는 것을 확인할 수 있었다. 계측에 사용된 샘플링 주파수는 20Hz로 하였다.

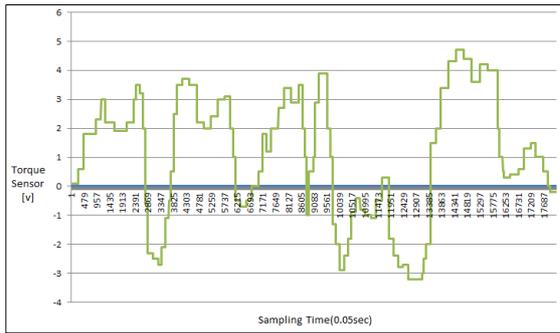


그림 15. 페달링에 따른 토크센스  
Fig. 15 The torque sensor by pedaling

그림 16은 답력에 대한 토크센서 값에 대하여 퍼지 제어기를 통하여 주어진 답력을 보상할 수 있도록 답력과 PAS의 보조파워가 동기화하여 운전된다는 것을 확인할 수 있었다.

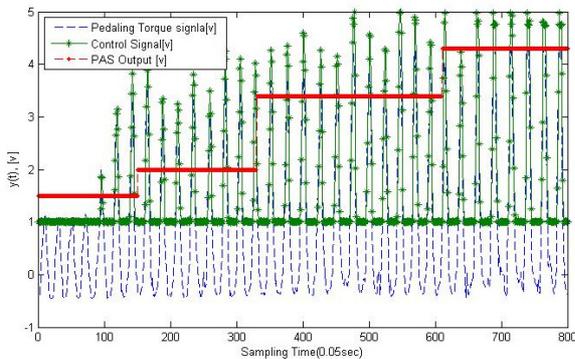


그림 16. 답력 변화와 토크센서 변화분에 대한 제어기 보상출력  
Fig. 16 The torque sensor by the pedal changes and compensated controller output

## 5. 결론

본 논문은 지능형 퍼지제어기를 통하여 무체인 동력 전달 방식을 통하여 경사지 운전 시 발생할 수 있는 답력에 대하여 전기적 모터를 이용하여 보조할 수 있는 퍼지제어 기반의 지능형 PAS를 설계하였다.

설계된 PAS 제어 알고리즘은 퍼지제어 알고리즘을 이용하여 설계하였으며, 시뮬레이션을 통하여 시스템의 안정적인 응답을 확인하여 적용 가능성을 확인하였다.

시뮬레이션을 통하여 검증된 퍼지제어 알고리즘은 사람의 답력에만 의존하는 자전거시스템에 보조동력을 제공하는 지능형 PAS 기반의 자전거를 설계하여 지원할 수 있는 무체인 기반의 지능형 자전거를 실험을 통하여 확인하였다.

향후 다양한 제어기 알고리즘과 더욱 정밀한 토크 센서를 개발하여 보다 지능적인 무체인 기반의 PAS를 설계하여 보조동력기반의 자전거시스템에 대한 상용화를 위하여 연구를 진행 해 나갈 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김성훈, 임삼수, 함운철, “무인자전거의 자율주행 제어”, *한국퍼지 및 지능시스템학회 2004년도 춘계 학술대회 학술발표논문집*, 제14권 제1호, pp. 446-449, 2004.4.
- [2] 공정식, 백승엽, “인휠형 스마트 휠제어를 위한 힘 보조 제어기 설계”, *한국지능시스템학회 논문지*, 제 21권 제1호, pp. 80-85, 2011.2.
- [3] D. G. Wilson, J. M. Papadopoulos, “Bicycling Science 3rd”, The MIT Press, 2004.
- [4] F. J. W. Whipple, “The stability of the motion of a bicycle”, *Quart. J. Pure Appl. Math.* 30. 312-348, 1899.
- [5] K. J. Astrom, R. E. Klein, A. Lennartsson, “Bicycle Dynamics and Control”, *IEEE Control systems Magazine*, 2005.
- [6] Sangchul Han, Jongkil Han, Woonchul Ham, “Control algorithm for stabilization of tilt angle of unmanned electric bicycle”, *ICASE: The institute of Control, Automation and System Engineers, KOREA* Vol. 3, September, 2001.
- [7] G. R. R. Routh, “The motion of a bicycle”, *The Messenger of Mathematics*, vol. 28, pp. 151-169, 1899.
- [8] 공정식, 이보희, 이용혁, 최홍호, “모터 토크 추정을 통한 능동형 보행보조기의 차량 제어 알고리즘 구현”, *한국지능시스템학회 논문지*, 제20권 제2호, pp. 159-319, 2010.4.
- [9] 송준길, 신재철, 이종원, “자전거 주행시 경사 안정성에 대한 실험적 분석”, *한국소음진동학회 춘계 학술대회논문집*, 2002.
- [10] R. S. Sharp, S. Evangelou, and D.J.N. Limebeer, “Advances in the modeling of motorcycle dynamics”, *Multibody Syst. Dynam.*, Vol 12, No. 3, pp. 251-283, 2004.
- [11] Garshelis, Ivan J, Aleksionis, Jonas A, Jones Christopher A, Rotay Robert M, “Development of a Magnetoelastic Torque Transducer for Automotive Transmission Applications” SAE Paper No. 970605.

## 저 자 소 개



정희성 (Hoi-Seong Jeong)

2008년 부경대학교 제어계측공학과  
공학석사

2008년~현재 동 대학원 제어계측공학과  
박사과정

관심분야 : 유체구조역학, 적응퍼지제어, 최적제어, 센서공학

Phone : 070-8233-8377

E-mail : hea44442002@naver.com



**김 관 형 (Gwan-Hyung Kim)**

2001년 한국해양대학교 전자통신공학과 공학박사

2000년~ 현재 동명대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : 최적제어, 인공지능, 임베디드시스템 설계, 신호처리, 영상처리

Phone : 010-4576-8266

E-mail : [kimgh69@nate.com](mailto:kimgh69@nate.com)



**이 형 기 (Hyung-Ki Lee)**

1985년 동아대학교 대학원 전자공학과 공학박사

1980~현재 부경대학교 제어계측공학과 교수

관심분야 : 전력전자, 제어공학

Phone : 011-874-6325

E-mail : [lhk@pknu.ac.kr](mailto:lhk@pknu.ac.kr)