

자전거 주행제어에 관한 연구

김준수* · 이준희** · 김관형*** · 이형기**

*한국폴리텍VII대학 전자학과

**부경대학교 제어계측공학과

***동명대학교 컴퓨터공학과

A study on a Bicycle drive Control

Jun-Su Kim* · Jun-Hui Yi** · Gwan-Hyung Kim** · Hyung-Ki Lee*

*Dept. of Electronics Eng., Korea Polytechnic VII College

**Dept. of Control & Instrumentation, Pukyong National Univ.

***Dept. of Computer Eng., Tongmyung Univ.

E-mail : kimgh69@nate.com

요 약

최근 친환경 생활이 강조되는 오늘날, 자전거(bicycle) 이용자 수가 급격히 늘어나고 있다. 때문에 2륜 자전거의 무인화 및 다양한 기구학적 재해석과 구조학적 재해석을 시도하고 있으며 공학적으로 활발한 연구가 진행되고 있다.

본 논문은 복잡한 2륜 자전거의 복잡한 동역학 방정식을 분석한 결과 인버터 펜듈럼 모델과 유사한 점을 수학적 전개를 통하여 알 수 있었다. 이렇게 근사화된 방정식 모델을 바탕으로 비선형 제어 알고리즘을 통하여 비선형 제어를 설계하여 2륜 자전거의 주행 안정성에 대한 진행속도와 조향각(steering angle) 제어에 대한 상관관계에 대한 연구를 시뮬레이션을 통하여 결과를 분석하고자 한다. 이러한 분석을 통한 2륜 자전거의 자세제어를 통하여 기타 로봇의 자세제어 및 다양한 시스템에 적용 가능성을 제시하고자 한다.

키워드

Bicycle, Drive Controller, Dynamic Equation, Inverter Pendulum

1. 서 론

현대인들은 건강에 대한 관심이 높아지고 있으며, 현대인의 건강과 경제적 부담을 줄일 수 있는 친환경 교통수단인 자전거에 관한 관심이 증가하고 있다. 현재 정부에서도 여러 가지 시책을 내면서 자전거 도로 확보에 많은 예산을 투자하고 있다. 무엇보다도 중요한 이득은 자전거 사용자에게 만족할만한 운동량과 여과활동 수단으로도 사용할 수 있다는 점이다.[1]

그러나 자전거는 두 바퀴로 주행을 하므로 동역학적 불안정성 때문에 운전자의 작은 부주의에도 큰 사고로 연결될 수 있는 대표적인 불안정한 시스템이다. 이러한 불안정 단점을 극복하기 위해서, 자전거에 작용하는 역학관계를 통하여 자전거의 동특성을 분석하고 있다.[2][3]

본 연구에서는 자전거 핸들각(steering angle)과 자체 기울기 사이의 관계를 동역학 방정식을 해석하여 간단한 제어를 설계하여 자전거의 동특성에 대한 결과를 제시하고자 한다.

II. 자전거 운동 방정식

자전거의 운동방정식 해석이 어려운 이유는 자전거의 운전 특성상 외부 환경과 운전자에 의한 영향이 서로 상호작용을 하고 있기 때문에 동역학적 운동 방정식에 대한 해석이 어렵기 때문이다. 그러나 대부분의 연구는 이러한 복잡도를 배제하고 자전거의 기본적인 균형과 조향 문제를 연구하는 모델로 Astrom의 모델을 활용하고 있다.

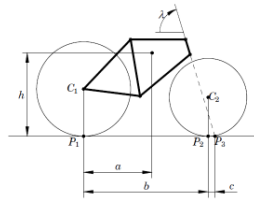


그림 1. 일반적인 자전거 모델

그림 1의 휠베이스는 b , head angle은 λ , 트레일(trail)은 c 로 정의 하였으며, P_1, P_2 는 지면과 바퀴들의 접점이고 점 P_3 은 연장된 조행축의 지면과의 교차점이다.

본 논문에서는 이러한 복잡한 자전거 운동 방정식 모델을 단순화를 위해 다음과 같은 전체 조건을 두었다. 첫째, 자전거의 주행속도는 일정하다고 가정하였다. 둘째, 주행 중 자전거의 바퀴와 지표면 사이에 미끄러짐이 없다고 가정하였다. 그리고 앞바퀴가 핸들(handle)의 바로 아래에 달려있다고 가정하였다. 이러한 조건들을 바탕으로 자전거의 운동방정식은 바퀴와 지표면 간 기하학에 바탕을 둔 정역학 방정식과 자전거 자체 기울기에 대한 동역학 방정식의 합으로 이루어진 비선형 방정식으로 도출된다.[1] 여기서 핸들각과 자체 기울기 각의 미소 변위에 대한 자전거 미분 방정식을 단순화하여 식(1)과 같이 정리할 수 있다.

$$(I_1 + mh^2)\ddot{\theta} - mgh\theta = -\frac{mh}{b}(av_r\delta + v_r^2\delta) \quad (1)$$

- I_1 : 자전거의 진행방향으로 작용하는 관성 [kgm^2]
- m : 자전거의 질량 [kg]
- h : 자전거의 높이 [m]
- a : 자전거의 무게 중심과 뒷바퀴와의 거리 [m]
- b : 자전거의 바퀴축간거리 [m]
- v_r : 자전거의 속도 [m/s]
- θ : 자전거의 자체 기울기 [rad]
- δ : 자전거의 핸들각 [rad]

식(1)에 대하여 라플라스 변환을 통하여 식(2)와 같이 자전거 핸들각과 자전거의 자체 기울기에 대한 전달함수를 유도할 수 있다.

$$\frac{\theta(s)}{\delta(s)} = \frac{-\frac{mhv_r}{b}(as + v_r)}{(I_1 + mh^2)s^2 - mgh} \quad (2)$$

III. 자전거 주행 제어 시스템 설계

본 논문은 식(2)의 자전거 방정식을 플랜트 방정식으로 하여 고전 제어기법인 진상 지상 보상기를 설계하였다. 제어기 설계를 위한 시뮬레이션 툴은 Matlab Simlink를 이용하여 설계하였다.

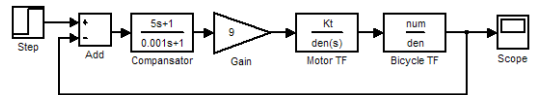


그림 2. 시뮬레이션을 위한 Matlab Simlink

IV. 실험 및 고찰

본 논문의 시뮬레이션을 위하여 파라메타는 아래와 같이 정의하였다.

- I_1 : $3.28 [kgm^2]$
- h : $77 [cm]$
- b : $95 [cm]$
- g : $9.18 [m/s^2]$
- m : $80 [kg]$
- a : $47.5 [cm]$
- v_r : $5 [m/s]$

그림 3은 주행 시스템의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 고전적인 제어방법을 통해서 보상된 시스템의 스텝응답이 보상전의 불안정한 시스템을 안정하게 개선된 것을 확인할 수 있다.

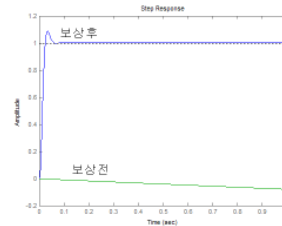


그림 3. 자전거 주행시스템 시뮬레이션 결과

V. 결 론

본 논문은 실제 자전거와 운전자를 고려한 시뮬레이션은 아니지만 간략화된 자전거 모델에 대한 운동 방정식 모델은 일반적인 인버터 펜들럼 모델과 유사하다는 것을 확인하였으며, 향후 더욱 개선된 자전거 모델링을 통하여 Fuzzy 제어기 및 신경회로망 제어 기법을 통하여 더욱 향상된 성능의 주행시스템 설계할 계획이다.

참고문헌

- [1] Astrom, K.J. et al. Bicycle Dynamics and control. IEEE Control Systems Magazine. 25 (4). 26-47. 2005
- [2] Karnopp, D. Vehicle Stability. Marcel Dekker. USA. 2004
- [3] Tewari, K. S. Modern Control Design with Matlab and Simulink. John Wiley & sons. 2002