

폴리 및 전자클러치를 이용한 유무인 전기자동차용 수동 및 자동조향장치

Manual and Automatic Steering System Using Pulley and Electrical Clutch for Manned and Unmanned Electric Vehicle

이용준 · 유영재[†]

Yongjun Lee and Youngjae Ryoo[†]

목포대학교 제어로봇공학과

요 약

본 논문에서는 유인과 무인주행이 가능한 전기자동차용 수동 및 자동 조향장치를 제안한다. 기존의 엔진방식의 자동차에 사용되는 자동 조향시스템인 EPS, MDPS는 주행 중에 과부하시엔 핸들 잠김 현상이 발생하는 문제점이 있어 유무인 전기자동차에 적용하는 것은 한계가 있다. 제안하는 수동 및 자동 조향장치는 전자클러치와 폴리를 이용함으로써 수동과 자동변환이 가능하도록 조향 메커니즘을 설계하였다. 제안한 조향장치의 성능을 실험하기 위해 실험용 전기자동차를 제작하고 조향성능을 실험하였다. 실험을 통해 제안하는 수동 및 자동 조향장치는 유무인 전기자동차에 유용함을 확인하였다.

키워드 : 수동 및 자동조향, 유무인 주행, 전기자동차

Abstract

In this paper, a manual and automatic steering system for electric vehicles capable of manned and unmanned driving is proposed. The automatic steering systems, EPS, MDPS, used in conventional engine based car includes the problem of handle lock phenomenon while driving of overloading, therefore it has a drawback to apply to manned and unmanned electric vehicles. By using electronic clutch and pulleys, the proposed manual and automatic steering mechanism was designed so that it is possible to convert from manual to automatic steering mode. To experiment the performance of the proposed steering system, we made an experimental setup of an electric vehicle. We confirmed that the proposed manual and automatic steering system was useful for manned and unmanned electric vehicles.

Key Words : manual and automatic steering , manned and unmanned driving, electric vehicle.

1. 서 론

최근 자동차의 무인주행기술과 배터리기술이 빠르게 발전하면서 유무인 전기자동차 개발에 대한 관심이 증가하고 있다. 기술 발전을 제외하고도 유가상승과 에너지고갈, 공해문제가 심각해지면서 관련 업종에서는 유무인 전기자동차에 대한 연구와 개발이 빠르게 진행되고 있다. 또한 유무인 전기자동차에는 기존의 엔진을 사용하는 자동차와는 다른 부품들과 메커니즘이 사용되기 때문에 자동차 부품 업체들도 유무인 전기자동차에서 사용할 수 있는 부품들의 개발에 뛰어들고 있다[1].

유무인 전기자동차는 사람이 탑승할 경우 직접 핸들을 조작하여 원하는 목적지까지 이동을 해야 한다. 또한

사람이 탑승하지 않을 경우에는 자동차 스스로 목적지까지 이동을 해야 한다. 따라서 유무인 전기자동차가 유인 주행을 할 경우는 수동 조향장치가, 무인주행을 할 경우에는 자동 조향장치가 필요하다. 즉 수동조향과 자동조향의 전환이 가능한 조향장치가 필요하게 된다.

엔진 자동차는 기계식 조향장치 및 유압식 파워조향장치가 많이 사용되었다. 최근 자동주차가 가능한 자동차의 경우 전기모터를 이용한 전동식 파워조향장치 EPS(Electronic Power Steering), MDPS(Motor Driving Power Steering)가 유압장치를 대신하여 적용되고 있다.

EPS는 유인 주행 시 운전자의 조향을 보조해주는 역할을 담당한다. 하지만 EPS는 시스템 자체를 보호하기 위한 자체보호시스템으로 인하여 과열 등의 원인에 의해 핸들 잠김 현상이라는 문제점을 가지고 있다. 자동차가 운전 중에 핸들이 잠기는 현상은 매우 위험한 상황을 발생시킨다[2].

기존의 엔진을 사용하는 자동차들은 대부분이 엔진의 동력과 유압을 사용하여 핸들을 조작한다. 하지만 유무인 전기자동차는 배터리와 모터를 사용하여 움직이기 때문에 조향 메커니즘의 변화가 필요하다[3-6].

접수일자: 2012년 7월 2일

심사(수정)일자: 2012년 10월 15일

게재확정일자 : 2012년 10월 16일

[†] 교신 저자

본 논문은 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업에서 지원하여 연구하였음.

따라서 본 논문에서는 기존 조향장치를 유무인 주행 전기자동차에 적용할 때 문제점을 해결한 수동 및 자동 조향 메커니즘과 제어기의 설계를 제안한다[3,4].

제안하는 조향 메커니즘은 풀리와 전자클러치를 응용한 새로운 구조의 수동 및 자동 겸용 조향장치이다. 조향축과 조향모터축에 풀리를 장착하여 벨트로 연결하고 조향모터로 조향축을 동작시킨다. 조향모터와 조향모터풀리 사이에 전자클러치를 장착하고 전자클러치가 동작하면 조향모터의 동력이 조향축에 전달되어 전기자동차가 무인주행을 할 경우 자동 조향을 할 수 있다.

제안하는 자동 조향 메커니즘을 적용하여 실험용 전기자동차를 제작하였다[6]. 실험용 전기자동차는 자체 기반 무인주행을 적용하여 실제 자동모드 성능을 실험하였다[7,8,9].

2장에서는 제안하는 수동 및 자동 조향장치의 구조에 대해 기술한다. 3장에서는 제안하는 수동 및 자동 조향장치의 메커니즘과 제어기의 설계에 대하여 서술한다. 4장에서는 개발한 수동 및 자동 조향장치의 실험을 통해 조향장치의 성능과 유용성을 입증한다.

2. 제안하는 수동 및 자동 조향장치

본 논문에서 제안하는 전자 클러치를 이용한 수동 및 자동 조향 장치의 구성은 그림 1과 같다. BLDC모터에 전자클러치를 연결하고 전자 클러치와 조향 축은 풀리와 벨트를 통해 연결된다. BLDC모터에 전압이 인가되고 제어 신호가 전달되면 동력이 풀리와 벨트를 통하여 조향 축에 전달되도록 구성하였다.

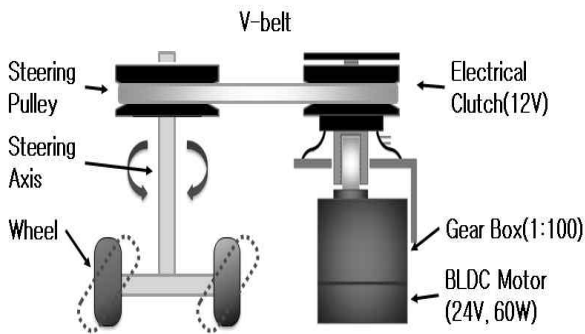


그림 1. 제안하는 수동 및 자동 조향 메커니즘의 구성도
Fig. 1. Structure of Proposed Manual and Automatic Steering Mechanism

조향 메커니즘에 전자 클러치를 적용함으로써 수동 및 자동 모드 변환을 자유롭게 할 수 있다. 전자 클러치의 전원을 제어하여 간단하게 자동조향모드와 수동조향모드를 변환 할 수 있다. 자동조향모드 시에는 자동조향 제어기가 BLDC 모터를 구동하여 차량의 조향을 제어하고, 수동모드 시에는 핸들을 이용하여 차량의 조향 제어가 가능하다.

제안하는 조향장치가 적합한 성능을 갖도록 하기 위해서 차량 사양에 맞는 메커니즘의 설계와 전자클러치와 풀리를 고려한 제어기의 설계하였다.

3. 전자클러치를 이용한 자동조향장치의 설계

3.1 자동조향장치 메커니즘의 설계

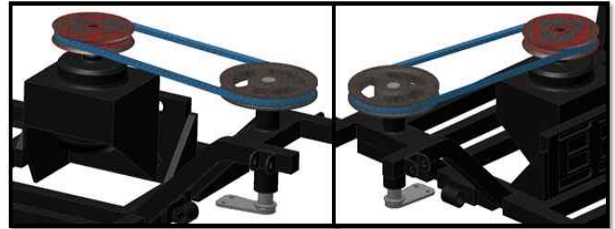


그림 2. 전자클러치와 풀리를 이용한 조향 메커니즘의 3D 설계.
Fig. 2. 3D CAD Design of Steering Mechanism Using Electrical Clutch and Pulley.

그림 2와 같이 3D CAD를 이용함으로써 차량의 사양에 적합한지 분석 평가하여 조향메커니즘을 설계할 수 있다. 전자클러치, BLDC모터, 풀리, 벨트, 조향 축 등을 실측하고 시뮬레이션을 통해 조향메커니즘을 최종 설계되었다.

3.2 자동조향장치의 제어기 설계

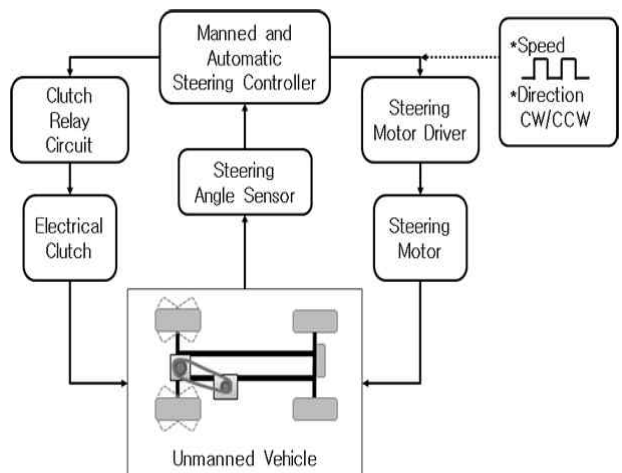


그림 3. 수동 및 자동 조향 장치의 제어 블럭도
Fig. 3. Control Block Diagram of Manual and Automatic Steering System

본 논문에서 제안하는 조향 메커니즘인 자동 조향장치의 제어 블럭도는 그림 3과 같다. 수동 및 자동 조향제어기(Manned and Automatic Steering System)에서 수동모드 또는 자동모드를 선택하게 되면 Clutch Relay Circuit를 통해 전자 클러치의 동작이 조절된다. 자동조향모드가 설정되면 조향제어기에서 BLDC Motor Drive로 PWM 및 Direction의 조향제어명령을 전달한다. 조향모터의 동력은 전자클러치와 풀리 및 벨트를 통해 앞바퀴의 조향각을 변화시키고 조향각 센서(Steering Angle Sensor)로 현재의 조향각을 피드백한다.

수동 조향모드는 자동 모드와는 반대로 전자 클러치에 인가시키지 않고 핸들을 이용하여 앞바퀴의 조향을 제어하게 된다.

4. 자동조향장치의 실험

4.1 실험용 전기자동차의 제작

제안하는 수동/자동 조향장치의 실험을 위해 실험용 유무인 전기자동차를 그림 4와 같이 설계 및 제작하였다. 플랫폼의 차체는 길이 1410mm × 폭 630mm × 높이 600mm의 크기를 갖으며, 최대 탑승 무게인 150kg을 지탱할 수 있고, 회전반경 1.5m이 가능하도록 설계하였다. 24V BLDC모터를 조향모터, 전자클러치, 폴리, 벨트를 이용하여 조향시스템을 구성하였다. 자동조향 추종 실험을 위해 차량의 앞에 MPS(Magnetic Position Sensor)를 장착하였다.

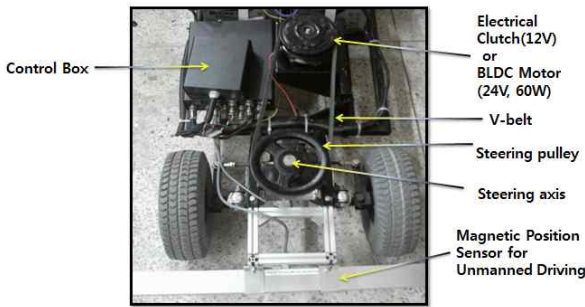


그림 4. 제작된 실험용 유무인전기자동차.

Fig. 4. Developed Manned and Unmanned Electrical Vehicle.

4.2 자동조향용 모터의 특성실험

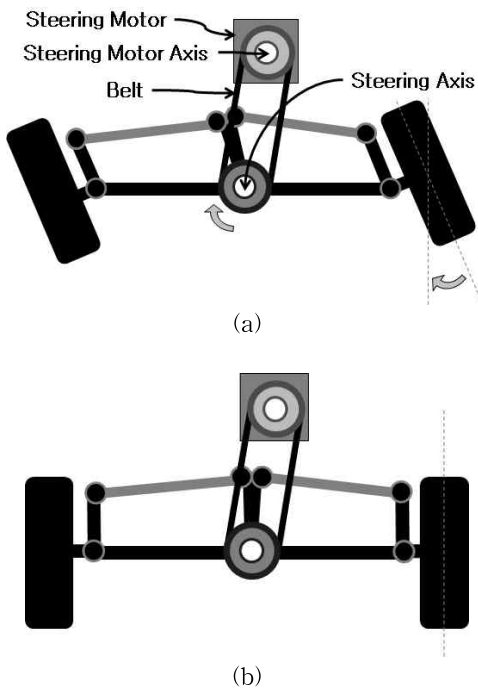


그림 5. 자동 조향장치의 실험조건 : (a) 초기 조향각위치 (b) 목표치 조향각 위치.

Fig. 5. Experimental Condition : (a) Initial Steering Angle Position (b) Target Steering Angle Position.

개발된 유무인 전기자동차용 수동 및 자동 조향장치의 동작 특성 실험을 실시하였다. 자동조향장치의 입력 전압값에 따른 조향각의 동작 실험을 실시하고 데이터를 분석하였다.

자동조향장치의 동작 특성 곡선을 구하기 위하여 입력 전압값을 증가시키며 모터를 구동시키고 전기자동차의 조향각이 -30°에서 0°까지 움직이는 시간을 계측하여 자동조향장치 구동에 따른 전기자동차의 조향 회전 각속도를 계산하였다.

조향각속도를 평가하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$w = 30^\circ \times \pi / 180^\circ / ST \quad (1)$$

이때 ω 는 조향각속도, ST는 조향각이 목표치에 도달하는데 걸리는 시간(Steering Time)이다.

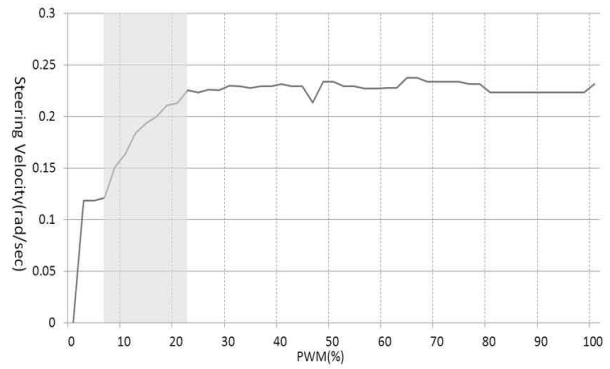


그림 6. 자동조향장치 특성실험 결과

Fig. 6. Experimental Result of Characteristic of Steering System

그림 6은 자동조향장치의 특성실험결과를 나타낸다. PWM(%)은 조향모터 드라이버에 입력되는 전압크기를 나타낸다. Steering Velocity는 전기자동차의 조향메커니즘에서 조향축이 회전하는 각속도를 나타낸다.

특성실험 결과를 보면 입력전압 PWM에 따른 출력 조향각속도가 선형적이지 않음을 알 수 있다.

일반적인 BLDC 모터의 특성곡선은 입력전압에 대해 선형적 속도특성을 보이는 것이 일반적이다. 반면 BLDC모터가 적용된 유무인 전기자동차의 자동조향장치는 입력전압에 대한 조향시스템의 회전각속도는 그림 6과 같이 비선형적인 특성을 보이고 있다.

이는 조향메커니즘을 구성하는 전자클러치와 폴리의 기계적인 동작특성으로 인하여 비선형적인 특성이 나타나는 것으로 예상 할 수 있다. BLDC 모터의 동력은 전자클러치와 벨트를 통해 조향축으로 전달된다. 전자클러치는 전원이 인가되면 디스크의 마찰을 통해 동력을 전달하는 장치이다. 디스크의 성능에 따라 전달되는 동력의 손실이 발생한다. 또한 모터축 폴리와 조향축 폴리를 연결하는 벨트의 장력으로 인해 전달되는 동력의 손실이 발생한다. 따라서 이와 같이 비선형적인 입출력 특성을 가진 시스템을 고려한 제어기의 설계가 요구된다.

4.3 자동조향용 제어기의 실험

조향장치의 비선형적인 특성을 고려하여 자동조향용 제

여기를 설계하였다. 그림 7은 보상기(Compensator)와 PD 제어기가 결합된 제어 블록도를 나타낸다.

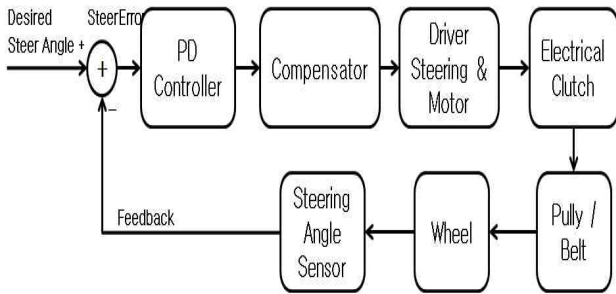
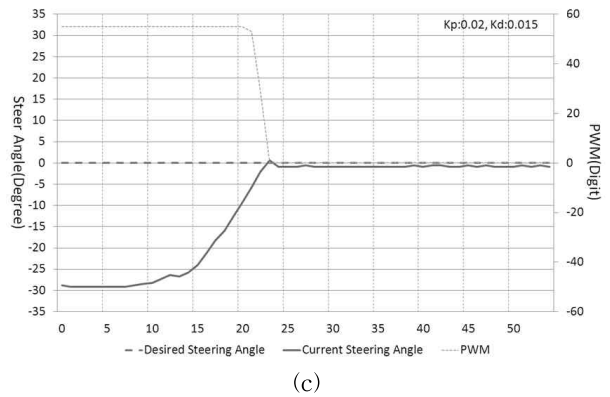


그림 7. 자동조향장치 제어 블록도

Fig. 7. Control Block Diagram of Automatic Steering System

제어과정을 살펴보면, 원하는 조향각(Desired Steering Angle)값을 입력하면 제어기 및 보상기를 통해 조향 모터가 동작한다. 보상기는 조향모터의 최소동작전원을 보상해 준다. 조향 모터의 동력은 전자클러치와 풀리와 벨트를 통해 앞바퀴의 조향각을 회전시킨다. 조향축에 조향각 센서(Steering Angle Sensor)를 장착하여 현재의 조향각을 Feedback 받아 정확한 조향제어에 반영한다.

그림 8은 자동조향제어기의 조향실험 결과를 나타낸다. Kp값은 0.02이고 Kd값은 0.005, 0.01, 0.015로 변화시키며 조향각 제어 실험을 하였다. 초기 조향각이 -30°이고 원하는 조향각을 0°으로 입력할 때 현재의 조향각이 0°까지의 변화를 측정하였다. (a) (b) (c) 실험 결과를 살펴보면 원하는 조향각까지 제어가 이루어짐을 확인 할 수 있다.



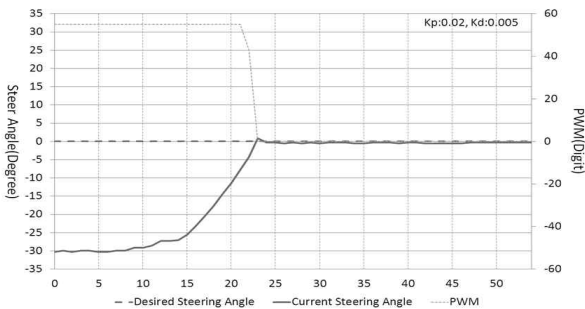
(c)

그림 8. PD파라미터에 따른 자동조향 실험 결과. (Kp:0.02) : (a) Kd : 0.005 (b) Kd : 0.01 (c) Kd : 0.015

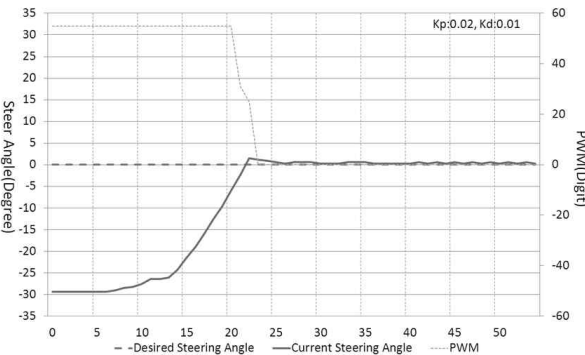
Fig. 8. Experimental Result of Automatic Steering According to PD Parameters : (a) Kd : 0.005 (b) Kd : 0.01 (c) Kd : 0.015

4.4 수동 및 자동조향 실험

개발된 자동조향장치를 장착한 전기자동차의 동작 실험을 실시하였다. 무선 리모컨을 이용하여 개발된 수동/자동 조향장치의 수동 조향 실험을 실시하였다. 또한 MPS의 입력에 따른 자동조향 실험을 실시하였다. 그리고 마그네틱 경로를 따라 무인주행실험을 실시한 다음 조향각 데이터를 분석하여 수동/자동 조향장치가 동작함을 확인하였다.



(a)



(b)



(a)



(b)

그림 9. 리모컨을 이용한 수동 조향 실험 : (a) 우회전 (b) 좌회전.
Fig. 9. Manual Steering Test Using Remote Controller : (a) Right Turning (b) Left Turning.

그림 9는 리모컨을 이용한 수동 조향 실험이다. 리모컨을 이용해 전기자동차의 조향이 이루어짐을 확인하였다.

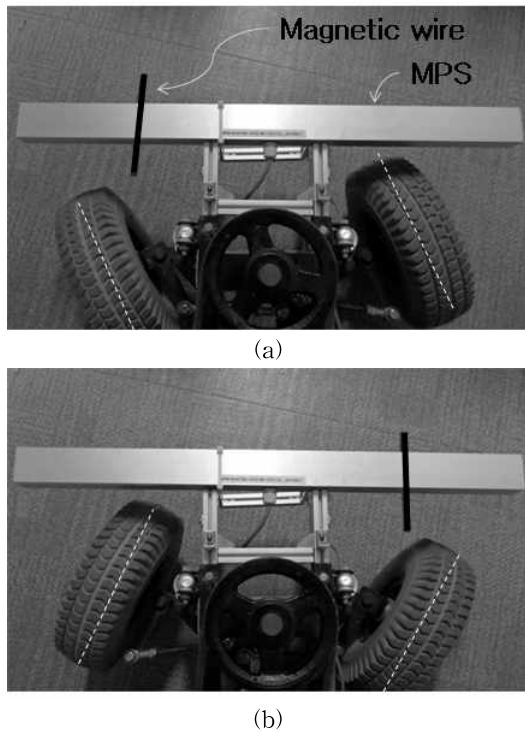


그림 10. MGS(Magnetic Guidance System)를 이용한 자동 조향 실험 : (a) MGS를 이용한 좌회전 (b) MGS를 이용한 우회전
 Fig. 10. Automated Steering Test using MGS : (a) Left Turning Using MGS (b) Right Turning Using MGS

그림 10은 자계안내시스템(MGS : Magnetic Guidance System)를 이용한 전기자동차의 자동조향을 실험을 나타낸다. MGS의 입력에 따라 전기자동차의 조향이 이루어짐을 확인하였다.

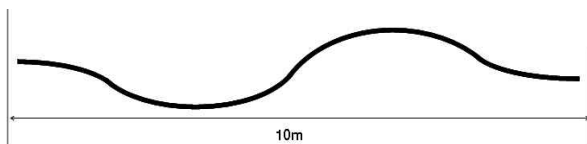


그림 11. 자동 조향 추종 실험 환경.
 Fig. 11. Environment of Automatic Steering Test.

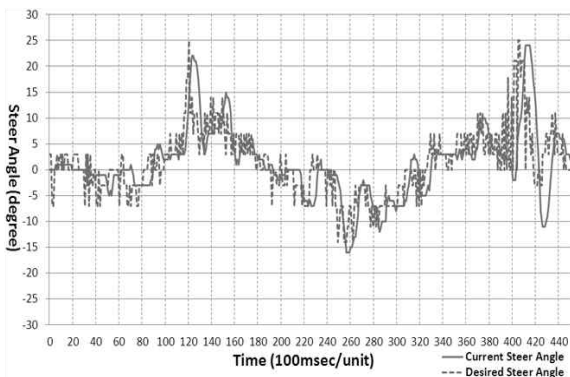


그림 12. 자동 조향 추종 실험 결과 데이터.
 Fig. 12. Result of Automatic Steering Test.

자동조향 전기자동차의 조향 실험을 위해 그림11과 같이 마그네틱 와이어를 이용하여 곡선경로를 구성하였다.

그림 12는 자동조향 전기자동차에 자계경로안내장치(MGS)를 이용하여 자동조향실험을 실시하였다. 자계경로(Magnetic Path)는 MGS에 의해 측정되고 원하는 조향각(Desired Steering Angle)으로 변환되어 자동 조향제어기에 전달된다. 자동조향제어기에 의해 차량의 조향이 이루어지고 조향각 센서를 통해 현재의 조향각(Current Steering Angle)이 계측된다.

실험결과에 따르면 전자클러치와 폴리를 이용한 자동조향장치를 적용하여 전기자동차의 조향이 이루어짐을 확인할 수 있다. 하지만 현재의 조향각이 원하는 조향각보다 약간의 지연이 발생함을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 전자클러치와 폴리를 이용한 수동 및 자동 조향이 가능한 장치를 제안하였다. 설계한 수동 및 자동 조향장치의 성능을 시험하기 위해서 실험용 자계기반 전기자동차를 제작하였다. 자동조향장치 특성 실험 및 해석을 바탕으로 제어를 설계한 후 수동 및 자동 조향 실험을 실시하였다. 자계경로 추종 실험을 통해 개발한 수동/자동 조향장치가 유용함을 확인하였다. 기존 자동조향 시스템에 비해 조향모터의 동력을 물리적으로 분리시킴으로써 핸들잡김 현상의 문제점의 해결할 수 있다. 향후 조향제어에 지연이 발생하는 부분의 보안을 위한 알고리즘 개선과 기존 자동조향 시스템과의 실험을 통한 성능비교가 필요하다.

References

- [1] Dong-Guen Kim, "A Strategy on National R&D about Green Car," *The Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 2010 no. 11, pp. 3056-3059, 2010.
- [2] Dongwoo Kang, SungChul Go, Hyunjong Park, and Hojun LeeJu Lee, "Improvement of Characteristics of Surfaced Permanent-Magnet Synchronous Motor for Using MDPS," *The Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 11, pp. 1609-1612, 2010.
- [3] Dae-yeong Lim and Young-Jae Ryoo, "Unmanned Driving of Robotic Vehicle Using Magnetic Marker," *Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 18 no. 6, pp. 775-780, 2008.
- [4] Dae-yeong Lim and Young-Jae Ryoo, "Development of Steering Actuator for Unmanned Vehicle Based on Magnetic Marker," *Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 19 no. 3, pp. 375-380, 2009.
- [5] Dae-yeong Kim, Soon-Gil Park, Yong-Jun Lee, Dae-Yeong Lim, Young-Jae Ryoo, "Development of Farm-Aid-Robot Platform," *KACC 2009, BEXCO, Busan, Sep.*, 2009.
- [6] Chang-Jin Seo, Hwang-Kyu Yang, "A Study on Vehicle Tracking System for Intelligent Transport System," *Korean Institute of Intelligent Systems*,

vol. 14 no. 1, pp. 63-68, 2004.

- [7] Young-Jae Ryoo, "Introduction to Robicle(Robotic Vehicle) with Robotic Intelligence and Vehicular Mobility," *SCIS & ISIS 2008*, pp. 1538-1539, 2008.
- [8] Dae-Young Lim, Young-Jae Ryoo, Jang-Hyun Park, Hyong-Yeol Yang, Ju-Sang Lee, "Neural Network Mapping of Magnet Based Position Sensing System for Autonomous Robotic Vehicle," *Lecture Notes in Computer Science 4432 : Adaptive and Natural Computing Algorithms*, pp. 730-737, Springer, 2007.
- [9] Geun-Mo Kim, Young-Jae Ryoo, "Development of autonomous system using magnetic position meter," *Korean Institute of Intelligent Systems*, pp. 343-347, vol. 17 no. 3, 2007.



유영재(Young J. Ryoo)

2000년~현재 : 목포대학교 제어로봇공
학과 교수
2010년~2011년 : 미국 버지니아텍 교환
교수

관심분야 : 지능형 로봇, 미래형 차량, 로봇형 차량
Phone : 061-450-2754
E-mail : yjryoo@mokpo.ac.kr

저 자 소 개



이용준(Yong-jun Lee)

2004년 : 목포대학교 제어시스템공학과
졸업. 2010년 동 대학원 석사
2010년~현재 : 동 대학원 전기공학과
제어시스템전공 박사과
정

관심분야 : 지능로봇, 자율주행차량
Phone : 010-4149-0910
E-mail : yongjun@mokpo.ac.kr