

전동식 조향 칼럼 장치의 전자 제어장치 및 오류 검출 알고리즘 개발에 관한 연구

선우명호*, 이용국**, 이재인**

(* 한양대학교 자동차공학과, ** 한양대학교 전기공학과)

A Study on the Development of an Electronic Control Unit and the Fault Detection Algorithm for a Motor Driven Steering Column

Myoungho Sunwoo*, Yongkook Lee**, Jaein Lee**

(* Dept. of Automotive Engineering, Hanyang Univ., ** Dept. of Electrical Engineering, Hanyang

Abstract - Global competition of automotive market and affordable prices of electronic components become the major reason that automotive industries rapidly employ a large number of electric and electronic systems to improve vehicle performance and to meet various regulations such as emission, fuel efficiency, and safety. Especially, the provision of a motor-driven steering column (MDSC) for luxury vehicle is getting popular for drivers' convenience. In this study, an MDSC is developed, which provides several intelligent features such as the manual operation for tilting and telescoping the steering wheel, and the save/recall operation for three different steering wheel positions. In addition, the fault detection algorithm is developed.

1. 서 론

생활 수준의 향상과 자동차의 성능 향상으로 기존의 단순 운송 수단으로서의 자동차에 대한 인식이 서서히 변화하고 있다. 이에 기존의 안전성 및 주행성뿐만 아니라 차량의 주거성 및 운전 편의성에 대한 소비자의 요구가 높아지고 있다.[3]

이러한 요구 사항을 만족시키는 편의 장치 중 조향 휠의 위치를 운전자의 체형 및 운전 스타일에 따라 조절할 수 있는 전동식 조향장치에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이 논문은 이러한 전동식 조향장치의 전자제어 시스템과 시스템의 각종 오류를 검출하는 오류 검출 알고리즘의 개발을 목적으로 하고 있다.

먼저 구성되어 있는 전동식 조향장치의 위치센서와 운전자의 스위치 조작을 입력으로 직류 모터를 제어할 수 있는 전자제어 장치를 개발하여, 동시에 전동식 조향장치를 모델링하고 이를 바탕으로 액츄에이터 및 센서의 오류를 검출하는 오류 검출 알고리즘을 개발한다.

2. 본 론

2.1 MDSC의 구조와 기능

1) 구조

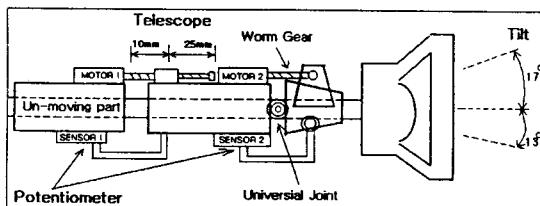


Fig. 1 MDSC의 기계적 구조

Fig. 1은 이 조향장치의 기계적인 구조이다. Fig. 1에 서와 같이 MDSC는 2개의 DC 모터와 웜 기어를 사용하

여 텔레스코프(Telescope) 동작과 틸트(Tilt) 동작을 수행하게 된다. 조향 장치의 동작 범위는 시계 확보 및 충돌시 안정성을 위하여 기준점을 중심으로 위로 25mm부터 아래로 10mm의 범위로 텔레스코프 동작을 수행하며, 틸트 동작은 위로 17°부터 아래로 13°의 범위로 움직이도록 설계되었다. 그리고, 이러한 움직임은 선형 가변저항형의 위치센서를 사용하여 감지된다.

2) 기능

MDSC의 전자 제어 장치가 제공하게 될 필수 기능은 다음과 같다.

가) 수동 조작

간단한 키 조작으로 조향 휠의 틸트와 텔레스코프를 손쉽게 조절할 수 있어야 한다.

나) 원하는 위치의 저장 및 복귀

수동 조작으로 조정된 조향 휠의 위치를 저장할 수 있고, 그 위치로 복귀할 수 있어야 한다.

다) 송차차시 작동

운전자가 점화 키(Ignition Key)를 온(ON)위치로 돌리면 송차하여 운전하려는 의사가 있는 것으로 판단하여 조향장치를 하차하기 전에 사용되고 있던 위치로 복귀시킨다. 또한 운전자가 점화 키를 액세사리(ACC)위치로 돌리면 운전자가 하차하려는 것으로 판단하여 조향장치를 뒤로 빼서 운전자의 하차를 용이하게 한다.

2.2 전자제어장치의 하드웨어

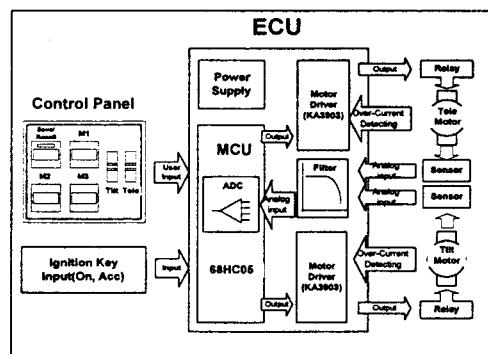


Fig. 2 전자제어장치의 하드웨어 개략도

Fig. 2는 전자제어장치의 하드웨어 개략도이며 이를 상세히 살펴보면 다음과 같다.

1) 마이크로 컨트롤러 유니트 (MCU)

전자제어장치의 MCU로는 Motorola사의 68HC05를 사용하였다. 68HC05는 8bit의 중앙 처리 장치(CPU), 각종 메모리, 아날로그/디지털 변환기와 입출력 포트로 이루어져 있다.

2) Motor Driver

모터 구동을 위하여 삼성 전자의 DC 모터 구동 칩인 KA3903을 사용하였다.

마이크로 컨트롤러에서 모터 구동 신호를 출력하면 모터 구동 칩인 KA3903에서 레일레이를 구동하고 이에 따라 모터가 동작하게 된다.

모터에 과전류가 흐르는 것을 방지하기 위하여 모터에 직렬로 센서저항을 연결하고 전압을 측정하여 과전류를 방지하였다. 또한 KA3903의 전원 입력 단자에는 18.6V의 항복 전압을 가지는 제너 다이오드(Zener Diode)가 내부에 장착되어 있어서 과전압에 의한 소자의 손상을 막아주며, 출력 단자에도 제너 다이오드가 장착되어 있어, 외부 레일레이에 의해서 발생하는 유도성 차단(Inductive switch-off) 전압을 막아준다.

3) 신호입력부

제어장치의 입력 신호는 크게 조작판에서 들어오는 디지털 신호와 조향 휠의 위치를 판단하기 위한 위치센서의 아날로그 신호로 나누어진다. 디지털 입력에는 Passive 필터를, 아날로그 입력에는 능동 필터를 사용하였다.

4) 전원 공급부

전자 제어 시스템에 쓰이는 전원은 5V와 12V 두 가지이며, 다이오드를 사용한 보호회로를 설계하고, 이를 전원 공급부에 구현하여 역방향 전압에 의한 손상을 방지하였다.

2.3 전자제어장치의 소프트웨어

설계 사양에 제시된 기능들을 수행하기 위하여 필요한 기능들을 각 부분으로 모듈화 하여 구현하고, 이 모듈을 바탕으로 전체의 프로그램을 구성하였다.

1) Main Procedure

운전자가 점화키를 ON위치로 하면 전자제어 시스템에 전원이 공급되고 프로그램이 실행된다. 그리고, 운전자의 스위치 입력을 받아서 입력에 해당하는 Sub-Procedure를 수행시킨다.

2) Sub-Procedure

서브 프로시저(Subprocedure)는 메인 프로시저로부터 호출을 받아 그에 해당하는 역할을 수행한다.

2.4 오류 검출 알고리즘

시스템의 오류를 검출하기 위해서 우선 시스템을 모델링하였고, 이를 바탕으로 시스템에서 발생 가능한 오류가 시스템의 출력에 어떠한 영향을 미치는지를 모델링하였다. 다음으로 오류를 정량화한 Residual을 발생시키는 Residual Generator를 설계한다. Residual은 오류가 발생하지 않은 경우에는 0 또는 0과 가까운 작은 값을 가지는 반면 오류가 발생하였을 경우에는 0 보다 큰 값을 가지게 된다. 이러한 Residual을 Threshold와 비교하여 오류가 발생하였는지 여부를 판별하는 Residual Evaluation을 거쳐 오류를 검출한다.

1) 시스템 모델링

MDSC 시스템은 DC 모터와 DC 모터의 회전력을 조향 휠에 전달하기 위한 기어 장치, 그리고 조향 휠의 움직임을 감지하기 위한 선형가변저항형의 위치 센서로 이루어진다. 식 1)은 MDSC 시스템의 모델링 식이다. 식 1)에서 $v_p(t)$ 는 위치센서의 출력값이며 τ_e 는 모터의 시정수이고 T 는 전체 시스템의 시간 지연이다.

$$v_p(t) = k((t - T) - \tau_e + \tau_e^2 \cdot e^{-\frac{(t-T)}{\tau_e}}) \quad \text{식 1)}$$

이러한 모델을 바탕으로 비선형 Regression 법을 이용하여 파라미터를 추정하였으며 Fig. ?1)은 그 결과이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 그라프의 초기에서 상당한 오차가 존재하며 모터가 정지한 후의 모델링은 불가능하다. 또한 제어장치에서 사용한 8-bit MCU에서는 위와 같은 복잡한 수학식을 구현하기가 어렵다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 MCU에서도 수월하게 동작할 수 있는 새로운 모델을 제시한다.(Fig. 4)

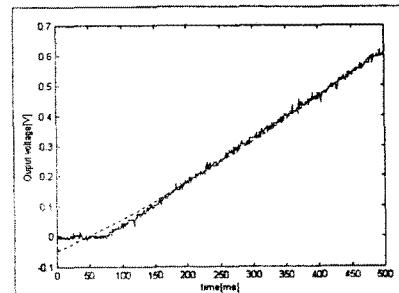


Fig. 3 센서의 실측치와 추정치의 비교
(실선: 실측치, 점선: 추정치)

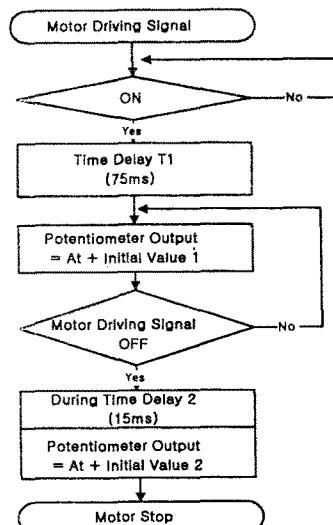


Fig. 4 새로운 모델

2) 오류의 종류 및 모델링

앞에서 제시한 모델을 바탕으로 시스템에서 발생 가능한 오류를 모델링하였다.

가) 위치 오류

i) 위치 센서와 연결된 커넥터의 ground쪽이 빠진 경우: 위치 센서와 시스템을 연결시키는 커넥터에 이상이 생긴 경우이다. 이러한 경우 시스템에 입력되는 위치 센서의 출력은 Fig. 5의 a)와 같이 일정한 상한 값 이상의 값을 가진다.

ii) 위치 센서와 연결된 커넥터의 전원 쪽이 빠진 경우: 위의 경우와 대조되는 경우로써 센서의 출력 값이 하한값 이하의 값을 가지게 된다.(Fig. 5. b)

iii) 위치 센서의 커넥터가 단락된 경우: 커넥터의 두 단자가 단락된 경우는 모터가 정상적으로 작동하더라도 센서의 출력 값은 변하지 않으며 항상 일정한 값(회로도에 의해서 결정된다.)만 출력된다.(Fig. 5. c)

나) 액츄에이터 오류

i) 레일레이나 모터의 권선이 소선되거나 모터와 연결된 커넥터가 빠져서 모터가 동작하지 않을 경우: 레일레이나 모터의 권선이 과전류등에 의해서 소선되거나 연결 커넥터가 빠져서 모터가 동작하지 않을 경우에는 위치 센서의 출력값은 변하지 않으며 초기값을 유지한다.(Fig. 5. d)

ii) 모터와 연결된 커넥터가 헐거워져 모터가 간헐적으로 동작하지 않는 경우: 모터에 전원을 공급하는 커넥

터에 접촉 불량이 발생할 경우 모터는 간헐적으로 그 동작을 멈추게 된다. (Fig.5.e)

이를 바탕으로 각종 오류가 시스템의 출력에 미치는 영향을 모델링하였으며 그 결과는 Fig. 5와 같다.

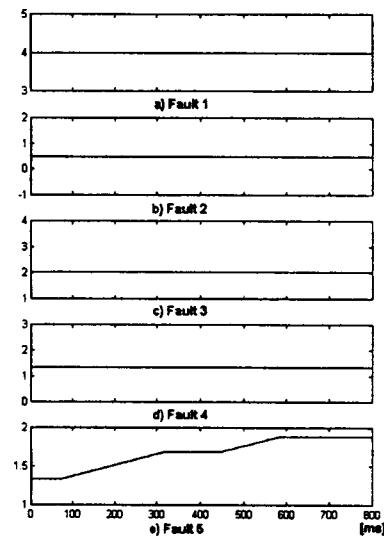


Fig. 5 Fault Modeling 결과

3) Residual 발생기

시스템과 오류의 모델을 바탕으로 Residual Generator를 설계하였다. Fig. 6은 Residual Generator의 구조이다. Fig. 6에서 볼 수 있는 것과 같이 시스템의 모델로부터 추정한 값과 실제 위치 센서에서 측정한 측정치를 상호 비교하여 이를 시스템의 Residual로써 사용한다. Fig. 7과 Fig.8은 앞에서 제현한 오류를 바탕으로 발생한 residual이다.

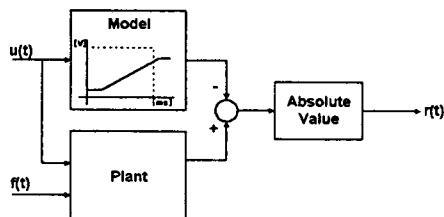


Fig. 6 Residual Generator의 구조

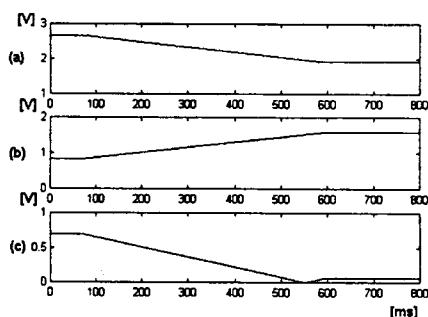


Fig. 7 생성된 Residual (I)

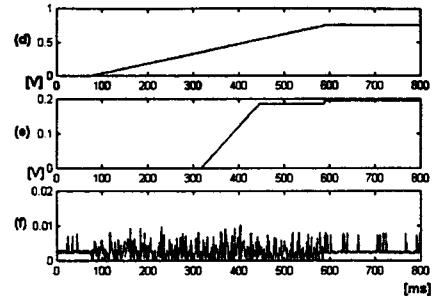


Fig. 8 생성된 Residual (II)
(단, f.는 오류가 발생하지 않은 경우이다.)

4) Residual Evaluation

앞에서 구현한 Residual을 판별하기 위해서 고정 비교치(Fixed threshold)를 이용하여 오류가 발생하였는지를 판별하였다. 비교치는 0.04[V]로 하였다. Fig. 9는 이러한 Residual Evaluation을 바탕으로 오류를 검출한 그림이다. 출력 값이 1 일 때 오류가 발생한 것이며 False Alarm이나 Missed Detection이 발생하지 않음을 알 수 있다.

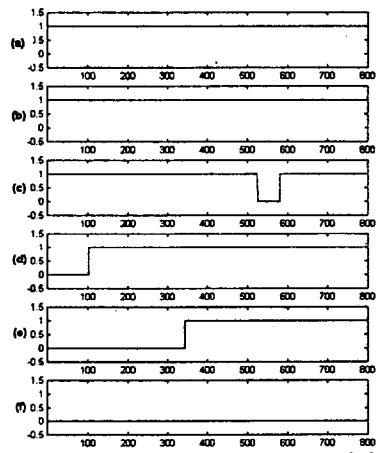


Fig. 9 오류를 검출한 결과

3. 결 론

이 연구를 통하여 전동식 조향장치의 기계적 구조 및 이를 제어하기 위한 전자 제어장치를 설계하였다. 또한 오류를 검출하는 알고리즘을 개발하였다. 본론에서 제시한 오류 검출 알고리즘은 시스템에 부차적인 하드웨어를 첨가하지 않고 제어를 위해 입력받은 데이터를 기초로 시스템의 오류를 효과적으로 검출할 수 있을 뿐만 아니라 그 구조가 간단하여 제어 알고리즘을 구현하기 위해 사용한 마이크로컨트롤러에서 구현할 수 있어 실용성이 뛰어나다.

(참 고 문 헌)

- [1]Paul M. Frank, "Fault Diagnosis in Dynamic Systems Using Analytical and Knowledge-base Redundancy-A Survey and Some New Results", *Automatica*, vol.26, No.3, pp. 459-474, 1990.
- [2]Giorgio Rizzoni and Paul S. Min, "Detection of Sensor Failure in Automotive Engines", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol 40, No 2, May 1991.
- [3]이재인, 선우명호, 이우택, 이용국, "모터 구동식 조향장치의 전자 제어 시스템 개발에 관한 연구", 한국자동차공학회 1997년도 추계학술대회, vol 1, pp 317-322