굴절차량을 위한 전차륜 조향 시스템 전자제어 장치 개발

Development of the All Wheel Steering ECU for Articulated Vehicle

김기정* 정기현* 최경희** 이수호*** 박태원*** 문경호****

Kijeong Kim Kihyun Chung Kyunghee Choi Sooho Lee Taewon Park Kyeongho Moon

ABSTRACT

Since the bi-modal tram is too long so that the traditional steering system controlled only the first axle increases its turning radius, it is not suitable to the domestic road environment. In addition, it become hard to make fine parking with the traditional steering system. To resolve the problem, the bi-modal tram requires an all wheel steering system (AWS) that the second axle is controlled by the first axle's degree and the velocity of vehicle, and the third axle is steered by the articulation angle's degree and the velocity of degree. This paper addresses the factors for the AWS ECU design, the strategies to solve the problems, the core technologies for the implementation, and also the outcomes and analysis of the performance evaluation of implemented system.

1. 개발 개요

생활수준이 높아지고 사회적으로 고령화가 진행되면서 노약자 및 장애자 등의 교통약자들이 이용하기 편리하도록 대중교통수단을 개발할 필요성이 부각되었다. 이러한 요구에 부응하기 위해, 수송량이 버스와 전동차의 중간규모이며, 정밀정차가 가능한 2량 1편성의 저상굴절차량을 개발할 필요성이 있다.

저상굴절차량은 차량의 길이가 길기 때문에, 앞 차륜에 의한 전통적인 조향 방식을 사용할 경우 차량의 회전반경이 커져 국내 도로 여건에 맞지 않게 된다. 그 뿐 아니라, 차량이 정거장에 진입 시 정밀 정차가 어려워지는 문제점이 발생한다. 이로 인해, 1축 차륜과 속도 등의 상태를 바탕으로 3축 차륜을 조향하는 전 차륜 시스템의 개발이 요구되는데, 이러한 시스템의 핵심적인 역할을 하는 전자제어장치인 AWS ECU를 개발하게 되었다.

2. 시스템 구성

저상굴절버스인 Bi-modal Tram에서는 한 축에 대한 유압 시스템을 제어하기 위해, Hydraulic Valve Block을 사용하고 있다. 이 block 내부에는 4개의 Switch valve(Request Hydro Pressure valve), 2 개의 Proportional Valve, 2 개의 수동 밸브,

† 김기정 : 비회원, 아주대학교, 정보통신대학원, 전자공학과
E-mail : lunchtime82@naver.com
TEL : (031)219-2976 FAX : (031)219-1607
* 비회원, 아주대학교, 정보통신대학원, 전자공학과
** 비회원, 아주대학교, 정보통신전문대학원
*** 정회원, 아주대학교, 기계공학과
**** 정회원, 한국철도기술연구원

그리고 압력 센서, LVDT 등의 기타 센서가 있다. AWS ECU는 이 밸브들을 이용해 전체 조향장치 계통을 버스 상황에 따라 제어하여, 유압 actuator의 피스톤을 움직여 축을 조향한다.

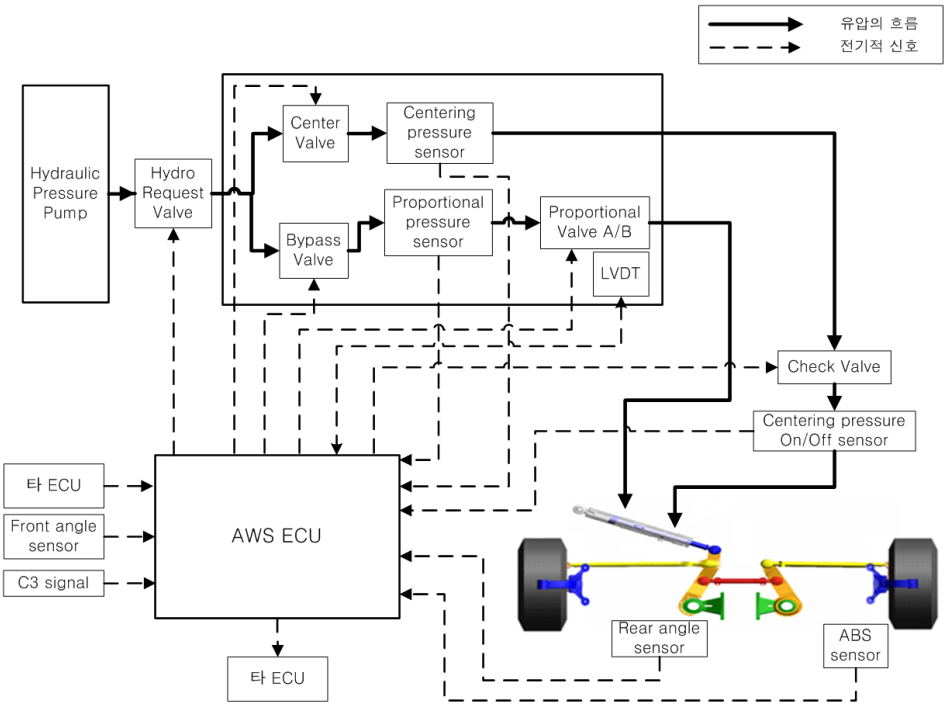

그림1. AWS ECU와 기타 시스템간의 입출력 구조

2.1 시스템 사양

도표 1. 입력 신호의 종류와 사양

Num	Name	Qty	Class	Range
1	Centering pressure sensor	1	Digital	0/24 (V)
2	Manual steering switch	3	Digital	0/24 (V)
3	Front potentiometer	2	Analog	0.2~4.8 (V)
4	Rear potentiometer	2	Analog	0.2~4.8 (V)
5	Proportional pressure sensor	1	Analog	0.5~4.5 (V)
6	Centering pressure sensor	1	Analog	0.5~4.5 (V)
7	ABS sensor	1	Frequency	0~200K (Hz)
8	C3 signal	1	Frequency	0~10K (Hz)
9	기타 신호	4	Digital	0/24 (V)

도표 2. 출력 신호의 종류와 사양

Num	Name	Qty	Class	Range
1	Bypass valve	1	Digital	0/24 (V)
2	Check valve	1	Digital	0/24 (V)
3	Center valve	1	Digital	0/24 (V)
4	Hydro request pressure valve	1	Digital	0/24 (V)
5	Proportional valve	2	Pulse	-
6	LVDT	1	Analog	-
7	기타 신호	7	Digital	0/24 (V)

도표 3. 타 장비와의 통신 종류와 사양

Num	Name	Qty	Class	Range
1	CAN (CAN 2.0A, ISO 11898)	2	Signal	-
2	RS-232	2	Signal	-

3. 시스템 구성

AWS ECU의 기본 구조는 다음과 같다.

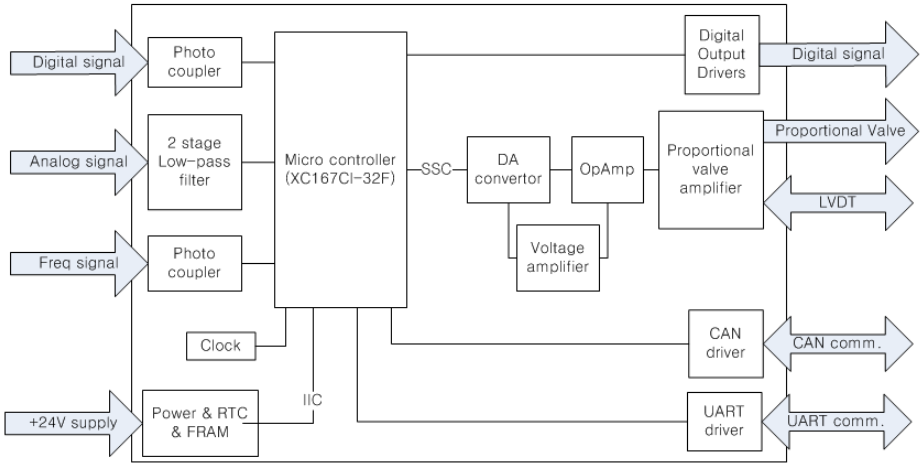

그림2. AWS ECU의 기본 구조

3.1 동작사양

ECU의 정상동작 사양은 도표 4 와 같다.

도표 4. ECU 정상동작 사양

작동 전압	20 ~ 24 V
소비 전류	10 A 미만
동작 온도	-40 ~ 75 °C

3.2 ECU 구성

AWS ECU는 크게 전원부, 입력 처리부, 연산 처리부, 통신부, 출력부로 구성된다. 전원부에서 사용한 제품은 RAMTRON社의 FM31256 제품이다. 이 chip은 Hardware를 구성하는 데 필요한 real time clock과 watchdog timer를 함께 가지고 있으며, 주된 기능은 Detection of power supply fault condition이다. 이것은 외부 전원이 일정 전압 이하로 내려가 전원 공급이 불안정해지면 전압이 정상으로 복귀될 때까지 system reset을 active 상태로 유지하는 기능을 말한다.

입력 처리부는 크게 디지털 입력, 아날로그 입력, 주파수 입력, 이상 세 가지로 나눈다. 디지털 입력부에서 사용한 제품은 PS2701-1 photocoupler 제품이다. 이 photocoupler의 외부는 LED와 연결되어 있으며, 내부에는 수광 소자가 연결되어 있다. 이로 인해 pulse input에 high voltage가 인가되면 photocoupler 내부의 LED에서 빛이 발생하게 되고, 이 빛으로 인해 수광 소자의 transistor가 active되어 Vout으로 Vcc가 출력된다. 이를 이용하

면 회로를 설계하여 외부와 내부 시스템을 전기적으로 분리시킬 수 있으며, 이로 인해 외부에서 발생할 수 있는 noise 등의 전기적 충격으로부터 시스템을 보호할 수 있다. 아날로그 입력부에서는 외부 noise의 영향을 최소화하기 위해 2중의 low-pass filter를 연결하였다. 일반적인 sensor의 update 주기는 1 KHz 이하의 주파수를 가지므로, 첫 번째 입력부분에서 100 KHz, 최종 입력부분에서 1 KHz 이상 주파수 신호를 차단하도록 구현하였다. 주파수 입력부에서 사용한 제품은 디지털 입력부에서 사용한 제품과 동일하다. 하지만 디지털 입력의 전압 범위는 0/24 V임에 비해 주파수 입력의 전압 범위는 0/5 V이므로, 해당 전압이 인가될 때 연산 처리부로 전달될 수 있도록 회로를 적절히 수정하였다.

연산 처리부에서 사용한 제품은 Infineon社의 XC167CI-32F이다. 이 마이크로컨트롤러(MCU)를 40MHz로 동작시켜, 각종 입력에 따라 적절한 출력을 인가하며, ECU 내 기타 chip과 원활한 communication을 할 수 있도록 설계하였다.

그림3. AWS ECU의 기본 구조

통신부로는 저상굴절차량 내부의 기타 ECU와의 네트워크인 CAN 통신부와 AWS ECU의 상태를 확인하거나 중요 parameter의 수정을 위한 RS-232 통신부가 있다. CAN 통신부를 구현하기 위해 사용한 제품은 NXP PCA82C521 CAN driver이다. 이 제품은 MCU에서 나오는 5V TTL level signal을 CAN bus에 맞는 signal로 변환시키는 기능을 수행한다. 또한, CAN driver 앞부분에는 ZJYS81R5-2PL chip을 연결하였는데, 이는 common mode filter로, AWS ECU의 시스템 보호를 위해 추가로 설계하였다. 이 방식으로 두 개의 CAN communication channel을 설계하였으며, 하나의 channel은 타 ECU와의 통신에 사용되고, 다른 하나는 CAN bus의 message 송-수신 상태를 파악하는 데 사용된다. RS-232통신부는 MAX3238 제품을 사용하였다. 이것으로 AWS ECU와 외부 PC와의 통신을 가능하게 한다.

출력부는 크게 디지털 출력부, proportional valve 제어부로 나뉜다. 디지털 출력부에서 사용한 제품은 MMBT2222 transistor이다. 디지털 출력의 경우, 외부 시스템이 인식하는 High 전압이 24V이므로, 5V를 24V로 변환할 수 있는 로직을 설계하였다. 이 회로의 입력에 5V를 인가하면 transistor가 active되어 24V 전압을 외부로 출력하는 구조를 가진다. 차축의 조향은 해당 차축과 연결된 cylinder의 위치에 의해 좌우된다. 이 cylinder의 좌/우 조향에 직접적인 역할을 하는 valve는 proportional valve이며, 이 valve의 제어 module로 bosch社의 0811405119 amplifier 제품을 사용하였다. 이 amplifier는 전압의 크기를 이용해 유압 실린더가 움직이는 속도를 조절하며, 전압의 극성으로 유압 실린더가 움직이는 방향을 결정한다. 이 amplifier의 입력은 -10V ~ 10V의 범위를 갖는다. 이 amplifier를 제어하기 위해서는 DA convertor가 필요하다. 설계한 AWS ECU의 MCU인 XC167CI-32는 DA convertor의 기능을 수행하지 못하므로, DAC7811, OPA2277U, 그리고 DCH010512D 제품을 이용해 DA convertor를 구현하였다. 구현한 DA convertor 모

듈과 MCU와의 통신은 3-wired serial interface를 사용한다. 이러한 과정으로 구현된 proportional valve 제어부는, 연산 처리부와 연동되어 PID 제어 방식으로 axle을 요구하는 각으로 조향한다.

3.3 중요 알고리즘 구성

그림 4는 AWS ECU의 개략적인 Flow를 보여준다. AWS ECU의 logic은 크게 4 부분으로 구성된다.

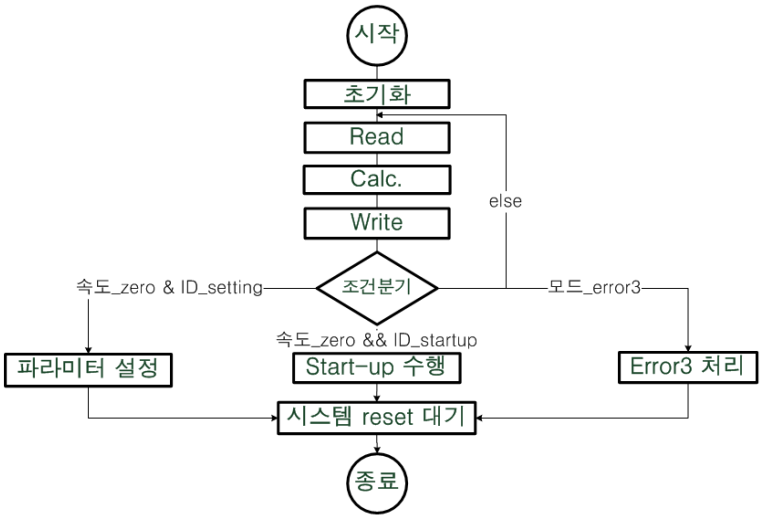

그림4. AWS ECU의 개략적인 Flow

시스템의 초기화가 이루어지면, AWS ECU는 차량 속도와 전륜 조향각을 바탕으로 후륜을 조향하고 error 여부를 확인한다. 차속이 0 Km/h이고 외부 PC로부터 UART interrupt를 통해 setting ID가 들어온 경우, 조향 알고리즘의 성능을 좌우하는 parameter를 설정하는 mode로 진입하여 RS-232 통신을 통해 ECU 외부에서 설정할 수 있도록 한다. 차속이 0 Km/h이고 startup ID가 들어온 경우에는 전/후륜의 최대/최소 조향각, 그리고 중앙 위치를 결정하는 parameter를 설정하도록 하며, ECU 동작 중에 critical한 error(Error3)를 발견할 경우, error 처리를 수행하도록 한다.

저상굴절차량의 회전 시 발생하는 swing-out을 최소화하기 위해, 차량이 움직이고 있으며 전륜 조향각이 -5° ~ 5° 의 범위를 벗어나기 시작하면, 전륜 조향각과 차속에 의해 계산된 desired angle을 후륜 조향각에 바로 적용하지 않고 일정 시간만큼 delay를 주어 점차로 증가시키는 방법을 사용하였다. 또한, 후륜 조향각을 원하는 만큼 제어하기 위하여 PID 제어를 이용하였다.

4. 시험 평가

위 방법을 통해 구현한 AWS ECU의 성능 검증을 위하여 Simulink Software를 사용하였다. 그림 7은 2축과 3축의 AWS ECU에 대한 시험 결과를 보여주고 있다.

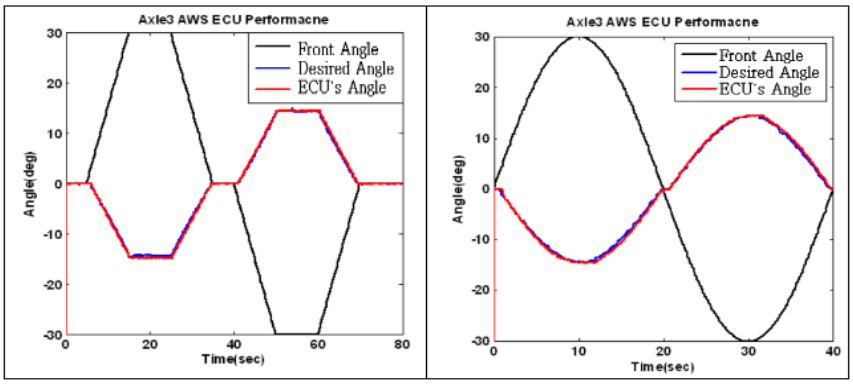

그림5. AWS ECU 실험 결과

그림 5에서 알 수 있듯이, 전륜 조향각을 의미하는 Ramp 입력과 Sine wave 입력에 대해 요구되는 ECU의 성능과 실제 테스트 수행시의 성능이 일치함을 확인할 수 있다.

5. 결 론

전차륜 조향 시스템 전자제어장치(AWS ECU)는 저상굴절차량의 주행 시 회전반경을 작게 하고 정거장 진입 시 정밀 정차가 가능하도록 앞 차륜과 속도 등의 상태를 바탕으로 해당 차륜을 제어하는 시스템이다.

본 논문에서는 AWS ECU의 hardware 및 software 설계 사양에 대하여 고찰-기술하였다. 또한 Simulink software를 통한 신뢰성 시험을 통해 시스템이 요구사항에 맞게 동작함을 검증할 수 있었다.

향후 과제로, Fail-Safe 기능의 추가를 통한 ECU의 안전성 확보, CANopen을 이용한 기타 ECU와의 통신, 그리고 실제 차량에 장착 후 주행 테스트를 통한 최종 테스트 등을 실시할 예정이다.

참고문헌

1. Daehyun Kum, Joonwoo Son, Senbong Lee, "Automated Testing for an Automotive Embedded System", KSAE SPRING CONFERENCE PROCEEDING, 2006
2. 박기흥, 이수진, 조영준, 서영식, “TCS ECU를 위한 Hardware-in-the-loop 시뮬레이션 시스템 개발”, 한국자동차공학회 2003년 춘계학술대회논문집 2호, 2003.5
3. 이수호, 박태원, 문경호, 전용호, 이정식, 김덕기, “전차륜 조향 장치를 장착한 굴절궤도 차량의 주행특성에 관한 연구”, 한국철도학회논문집 제10권 제4호, 2007.8
4. 이수호, 문경호, 박태원, 김기정, 최성훈, 김영모, “저상굴절버스 조향시스템 전자제어장치의 테스트플랫폼 구축에 관한 연구”, 한국철도학회 2008년도 춘계학술대회논문집, 2008.6
5. 조창연, 이수호, 문경호, 박태원, 정기현, 최경희, “저상 굴절차량 조향 시스템 전자제어장치 테스트 플랫폼 구축”, 한국철도학회 2007년도 추계학술대회논문집, 2007.11
6. Keil, http://www.keil.com/
7. Infineon, http://www.infineon.com/
8. Simulink, http://www.mathworks.com/products/simulink/