

저상 굴절차량 조향 시스템 전자제어장치 테스트 플랫폼 구축

Building the Test Platform for All Wheel Steering Control System of Bi-Modal Tram

조창연* 이수호*** 문경호**** 박태원*** 정기현* 최경희**
Jo, Chang-Yeon Lee, Soo-Ho Moon, Kyung-Ho Park, Tae-Won Chung, Ki-Hyun Choi, Kyung-Hee

ABSTRACT

Recently, embedded systems role as control systems instead of mechanical control systems in many parts of vehicles. In cases that embedded systems are used controlling the electric signal, it is important to secure the reliability of a software within embedded systems. In this paper, the test platform for securing the reliability and real-time characteristic of the embedded system that controls electric signal of All Wheel Steering Control System in a Bi-modal tram is proposed. The platform is built on a HIL (Hardware In the Loop) architecture. Through the HIL platform, various vehicle conditions, driver activities and environment conditions can be successfully tested without actual driving, hence improving the reliability of the embedded system for the All Wheel Steering Control System.

1. 서론

최근 들어 임베디드 시스템이 차량의 많은 부분에서 기계적인 제어 시스템을 대신해 그 역할을 수행하고 있다. 기계적인 제어 시스템을 대신해 임베디드 시스템을 사용하면, 차량의 중량이 감소하고 하나의 시스템으로 다양한 제어 동작을 수행할 수 있다는 장점을 가질 수 있다. 하지만 임베디드 시스템을 사용해서 전자 신호를 제어하는 경우, 제어가 정상적으로 이루어졌는지를 기계적으로 보장하기 어렵기 때문에 제어를 수행하는 임베디드 시스템에 내장되어 있는 소프트웨어의 신뢰성이 매우 중요하게 된다.

이 논문에서, 우리는 저상 굴절차량의 조향 시스템을 제어하기 위한 전자제어장치의 신뢰성과 실시간성을 테스트하기 위한 테스트 플랫폼 구조를 제안한다. 테스트 플랫폼은 HIL(Hardware In the Loop)구조를 바탕으로 설계된다. HILS기법은 수치적으로 모델링이 어려운 비선형성을 갖는 구성요소를 실제 하드웨어로 구현함으로써 수학적 모델과 하드웨어가 혼합된 페루프 시스템을 구성하여 실시간 시뮬레이션 하는 기법을 말한다. [ESP ECU를 위한 HILS 시스템에 관한 연구] HIL 플랫폼을 통해 다양한 차량의 상태와 운전자의 행동 그리고 차량의 주행환경을 실제로 주행하지 않고도 성공적으로 테스트 할 수 있고, 따라서 이를 통해 저상 굴절차량 조향 시스템 전자 제어장치의 신뢰성을 높일 수 있다.

* 아주대학교, 전자공학과 대학원
E-mail : iprinceps@ajou.ac.kr
TEL : (031)219-2976 FAX : (031)219-1607
** 아주대학교, 정보통신전문 대학원
*** 아주대학교, 기계공학과 대학원
**** 한국 철도 기술 연구원

2. 저상 굴절 차량 제원

본 연구에서 신뢰성을 테스트하고자 하는 전자 제어 장치가 사용될 저상 굴절 차량을 Figure 1에서 보여주고 있다.

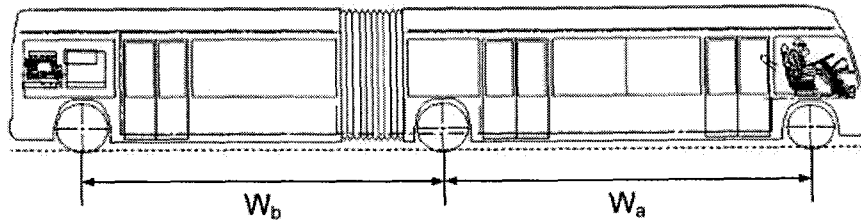


Fig. 1 Bi-modal Tram

Table. 1 Wheel Base

		Bi-modal Tram
축거 (mm)	W_a	7710
	W_b	7575

저상 굴절 차량은 지하철과 시내버스가 가지는 장점(수송량, 편의성, 정시성, 경제성)을 갖춘 새로운 도시 교통 시스템으로 지하철이나 시내버스가 운용될 수 없는 구간에서 운용이 검토되고 있다.[1] 저상 굴절 차량은 시내버스와 같은 외형에 지하철과 같은 운용시스템으로 구성된다. 즉, 굴절 시내버스와 같은 2량 1편성이고, 고무 타이어, 현가장치, 조향장치를 장착하고 있으며 지하철처럼 정시성을 가진다.

저상 굴절 차량은 교통 약자를 배려하여 차체 높이가 낮은 특성을 가지고 있으며 이를 위하여 각 차축에는 더블 위시본 형식의 독립현가장치가 사용 된다 [1,2 -> 2.3]. 저상 굴절 차량의 최대 축거는 일반 버스보다 약 2~2.3m정도 길다. 따라서 저상 굴절 차량에 일반적인 2WS(2-wheel Steering)가 적용된다면 긴 축거로 인해 차량의 회전 반경이 커진다.[3] 이런 점은 교차로와 같이 곡률 반경이 작은 도로가 많은 시내 도로의 경우 주행에 위험 요인이 될 수 있다. 또한, 굴절궤도 차량이 운전자의 수동 운전에 의해 정류장 정차나 주차를 할 때, 큰 회전 반경으로 인해 차량 조작의 어려움이 발생할 수 있다. 따라서 저상 굴절 차량의 안전한 선회를 위해 전차륜 조향 장치(All-wheel Steering, AWS)가 사용되었으며, 증가한 차량의 전장과 축거, 차체 굴절 특성에 의해 요구되는 조향 성능을 충족시키기 위하여 AWS System을 통합 제어하는 알고리즘이 개발되었다 [3].

3. 저상 굴절 차량 조향 시스템 전자 제어 장치

국내에서 운행되는 대부분의 승용, 상용 차량은 전륜 2WS 조향 방식을 채택하고 있고, 일부 외국 차량에서 4WS 조향 방식이 적용되고 있다. AWS방식은 긴 축거를 가진 다량 편성 차량에서 안전한 차량 선회를 위해 적용되고 있다.

조향 시스템 제어를 위한 AWS 모듈은 Figure 2와 같이 8비트 마이컴을 사용한 임베디드 시스템으로 구현되어 있다. 저상 굴절 차량에서는 Figure 3와 같이 구성되어 차량 조향을 제어한다.

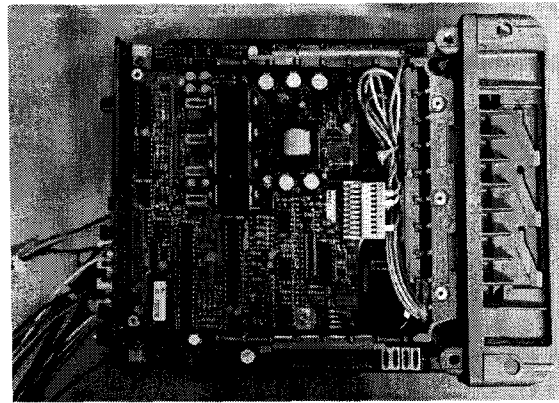


Fig 2. AWS Module

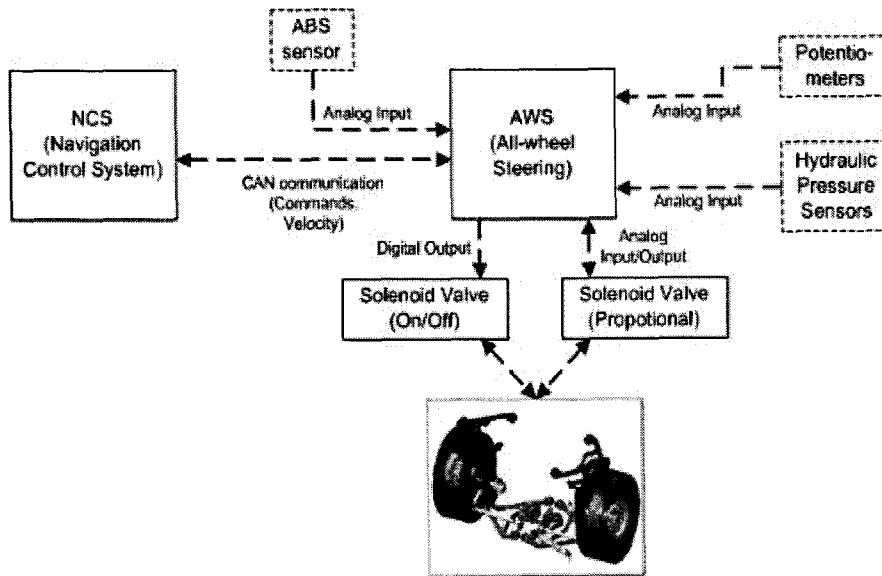


Fig. 3 저상 굴절 차량에서의 AWS 연결도

AWS 모듈은 크게 두 가지 모드로 동작을 구분할 수 있다. 하나는 Navigation Control System(NCS)가 도로에 설치된 센서들로부터 도로의 형태를 파악해서 AWS 모듈에게 어느 방향으로 몇 도만큼 조향을 해야할 지 결정해서 명령을 내리는 AUTO모드이고 다른 하나는 NCS의 개입없이 AWS 모듈이 운전자 핸들 조향각을 직접 입력 받고 NCS와 직접 연결된 센서로부터 차체간 굴절각, 차체 운행 속도, 구동축 회전 속도등을 종합해서 스스로 조향각을 결정하는 MANUAL모드이다. 따라서 AWS 모듈을 테스트하기 위해서는 AWS 모듈이 차량에서 동작하는 것과 같은 환경에서 동작할 수 있도록 테스트 플랫폼을 구축해야 한다. 즉, AWS 모듈이 조향각을 결정하는데 있어 필요로 하는 모든 입출력을 파악한 후, 구축된 테스트 플랫폼에서 정확한 입력을 주고 그에 따른 모듈의 출력을 확인해야 한다.

임베디드 시스템에서 사용되는 입출력은 크게 디지털과 아날로그 방식으로 구분할 수 있으며, 디지털 방식에는 사각파 입력, Binary, 그리고 CAN이나 UART같은 통신 채널이 있다. 아날로그 방식은 전압 방식과 전류 방식으로 구분할 수 있다.

3.1 AWS 모듈 아날로그 입출력 분석

임베디드 시스템에서 사용되는 아날로그 입력은 주로 외부 정보를 전달하는 센서 입력에 사용된다. 본 연구의 대상이 되는 AWS 모듈은 다음과 같이 총 6개의 아날로그 입력을 사용하고 있다.

Table 2. AWS 모듈의 아날로그 입력 핀

Connector Pin #	Pin Name	Description
15	AI3 HA1	Potentiometer A Input
16	AI4 HA2	Potentiometer B Input
13	TRACK A	Potentiometer TRACK A Input
14	TRACK B	Potentiometer TRACK B Input
17	P-SENSOR PROP. CIRQ	Proportional valve Pressure Sensor Input
18	P-SENSOR CENT. CIRQ	Centering circuit Pressure Sensor Input

Potentiometer A/B Input과 Potentiometer TRACK A/B Input는 차축의 조향각과 차량 굴절부분의 굴절각을 나타내는 각도 센서로서 움직이는 부분의 현재 절대 위치를 +0.5V에서 +4.5V사이의 전압으로 알려준다. Proportional valve Pressure Sensor와 Centering circuit Pressure Sensor는 각각 Propotional valve와 Centering unit의 유압 절대 압력 값을 +0.5V에서 +4.5V사이의 전압으로 나타낸다.

아날로그 출력으로는 솔레노이드 밸브의 위치를 피드백받기 위한 AC/AC LVDT를 제어하는 삼각파 출력이 있다. 10KHz의 주파수로 +10V이상의 진폭을 가지는 삼각파 신호를 LVDT에 입력으로 주고, 출력으로 나오는 파형과 입력 파형의 진폭차이를 계산하여 현재 솔레노이드 밸브의 위치정보를 알려준다.

Table 3. AWS 모듈의 아날로그 출력 핀

Connector Pin #	Pin Name	Description
1	LVDT VSS	LVDT VSS
2	LVDT SIGNAL	LVDT 삼각파 입력
8	LVDT GND	LVDT Ground

3.2 사각파 입출력 분석

사각파를 사용해서 정보를 알려주는 방법으로는 주파수를 변경하는 방법과 Duty rate를 사용하는 방법이 있다. 속도에 대한 정보를 전달하는 속도 센서는 주로 주파수를 변경하는 방법으로 정보를 전달한다. AWS 모듈은 이런 속도 센서 입력을 두 개를 가지고 있다.

Table 4. AWS 모듈의 사각파 입력 핀

Connector Pin #	Pin Name	Description
28	ABS-SENSOR 2+	차량 주행 속도
37	C3 SIGNAL	차축 회전 속도

사각과 출력은 AWS 모듈 밖으로 출력되지는 않지만, 솔레노이드 밸브를 구동하기 위한 전류를 제어하는데 사용된다.

3.3 CAN, UART 통신 채널 분석

CAN통신은 직렬 방식으로 데이터를 송수신하는 통신 방식으로 버스 구조로 여러 장치들 간 통신을 제공할 수 있다. AWS 모듈은 CAN Bus를 250Kbps의 속도로 사용하고 있으며, CANopen 프로토콜의 일부를 통신 규약으로 사용하고 있다. CANopen 프로토콜은 몇몇 주기적인 메시지를 가지는데, 이 메시지들의 주기는 100ms이지만 125ms까지 허용가능하다고 AWS 모듈 스펙에 정의되어 있다.

Table 5. AWS 모듈의 CAN 통신 규격

Protocol	Basic CANopen과 호환 Baudrate negotiation은 사용하지 않음 NMT startup procedure를 사용하지 않음 첫 번째 SYNC 메시지가 트리거 역할
Speed	250 kbit/sec
Node ID	11 bit ID만 사용가능
Synchronization	CANopen SYNC 메시지 사용

AWS 모듈은 CAN 통신을 통해 NCS로부터 각종 명령 및 정보를 전달받는데 사용한다. UART통신 채널은 AWS 모듈의 내부 파라미터를 조정하기 위해 컴퓨터와 통신할 때 사용된다.

Table 6. AWS 모듈의 통신 핀

Connector Pin #	Pin Name	Description
11	CAN+	CAN High pin
12	CAN-	CAN Low pin
30	Rxd	UART Receive pin
31	Txd	UART Transmit pin

3.3 디지털 입출력 분석

AWS 모듈은 총 7개의 디지털 출력과 9개의 디지털 입력을 가지고 있다. 각 디지털 입출력은 +24V가 High를 의미한다.

Table 7. AWS 모듈의 디지털 입출력 핀

Connector Pin #	Pin Name	Description
44	NONE FAULT AXLE 3	Digital Input
43	NONE FAULT AXLE 2B	Digital Input
5	AXLE LEFT CONTROL	Digital Input
23	REVERSE SIGNAL	Digital Input
7	AXLE RIGHT	Digital Input

	CONTROL	
24	SPARE	Digital Input
25	MANUAL STEERING SENSOR	Digital Input
9	SPARE	Digital Input
27	SYSTEM READY	Digital Input
32	BYPASS VALVE	Digital Output
53	KINK ANGLE WARNING	Digital Output
50	CENTER VALVE	Digital Output
51	REQUEST HYDRO PRESSURE	Digital Output
54	NONE PRIO0 FAULT	Digital Output
47	NO RELEASE DOOR2	Digital Output
45	ME READY TO START	Digital Output

4. 저상 굴절 차량 조향 시스템 전자 제어 장치 테스트 플랫폼 구현

Figure 4는 HILS의 개략도이며 HILS는 크게 세 부분으로 구성된다. 유압 장치 액츄에이터, AWS 모듈, 데이터 수집과 차량 시뮬레이션을 위한 컴퓨터로 구성된다.

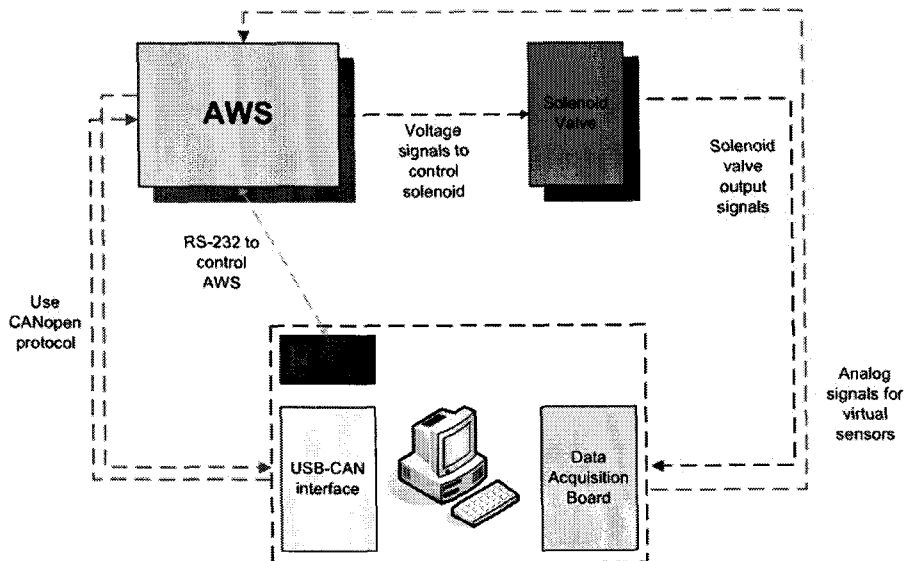


Fig.4 HIL system for AWS Module Testing

차량이 주행하고 있는 상태와 동일한 동작환경은 개발된 수학적 차량 모델을 통해 컴퓨터에서 실시간으로 계산된다. 계산된 결과를 토대로 컴퓨터는 적절한 명령 및 센서 값을 AWS 모듈에 전달한다. 명령은 CAN(Controller Area Network)을 이용해서 전달하고, 센서 값들은 DAQ(Data Acquisition Board)를 통해 AWS 모듈에 직접 전달된다. AWS 모듈은 컴퓨터로부터 받은 정보와 명령을 기반으로 조향각을 계산한다. 계산된 결과는 유압을 제어하기 위한 솔레노이드 밸브 제어 출력으로 나타난다. 컴퓨터는 AWS 모듈의 출력을 10msec이하의 주기로 가져와 오라클과 비교 후 정상 동작 유무를

판단한다.

4.1 CAN 통신

AWS 모듈이 CAN 통신을 사용해서 차량의 다른 부분과 정보를 교환하기 때문에, 실차 환경과 동일한 환경에서 AWS 모듈을 테스트하기 위해서는 CAN 통신을 시뮬레이션 할 수 있는 환경이 필요하게 된다. 일반적인 컴퓨터는 CAN 통신을 하기 위한 인터페이스를 가지고 있지 않기 때문에 추가적인 장치를 컴퓨터에 추가해야 한다. 본 연구에서는 Kvaser USBcan II (HS/HS)장비를 사용해서 환경을 구축하였다.

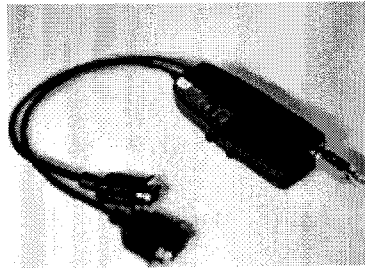


Fig.5 USBcan-II interface

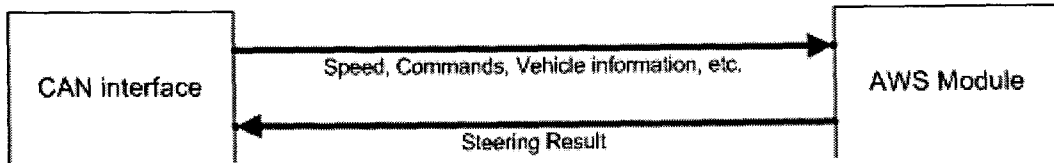


Fig.6 AWS Module과 CAN interface간 메시지

CAN 통신을 통해 교환되는 정보는 CANopen 프로토콜 규약을 따른다. 따라서 올바른 CAN message를 전달하기 위해서는 CANopen 프로토콜 규약을 정확히 따르는 message를 컴퓨터에서 만들어 전송해야 하며 AWS 모듈의 동작 결과로 컴퓨터가 수신하는 message도 CANopen 프로토콜 규약에 따라 분석해야 한다. CANopen 프로토콜 스택을 사용하여 컴퓨터에서 CANopen 프로토콜 규약에 맞는 message를 전송하고 분석할 수 있도록 환경을 구성하였다. 구성된 환경을 사용해서 CANopen SYNC 메시지(ID:0x80)을 전송한 결과를 CANKing 프로그램을 사용해서 캡처한 결과는 다음과 같다.

Seq. No.	CAN ID	DL	D0	D1	D2	D3	D4
1	128	8	0	0	0	0	0
2	765	8	78	80	84	144	0
3	764	8	228	216	218	220	222
4	509	8	3	80	0	0	196
5	508	8	128	0	0	196	6
6	128	8	0	0	0	0	0
7	765	8	78	80	84	144	0
8	764	8	228	216	218	220	222
9	509	8	3	80	0	0	196
10	508	8	128	0	0	196	6
11	128	8	0	0	0	0	0
12	765	8	78	80	84	144	0
13	764	8	228	216	218	220	222
14	509	8	3	80	0	0	196
15	508	8	128	0	0	196	6
16	128	8	0	0	0	0	0
17	765	8	78	80	84	144	0
18	764	8	228	216	218	220	222
19	509	8	3	80	0	0	196
20	508	8	128	0	0	196	6
21	128	8	0	0	0	0	0
22	765	8	78	80	84	144	0
23	764	8	228	216	218	220	222

Fig.7 CANopen 메시지 캡처 화면

4.2 센서

AWS 모듈은 전압형태로 정보를 전달하는 압력 센서와 각도 센서 입력, 주기적인 클럭 신호 형태로 정보를 전달하는 속도 센서 입력을 필요로 한다. 이런 센서 입력은 모두 National Instrument의 DAQ(Data Acquisition Board) - PCI6713를 사용해서 구현되었다.

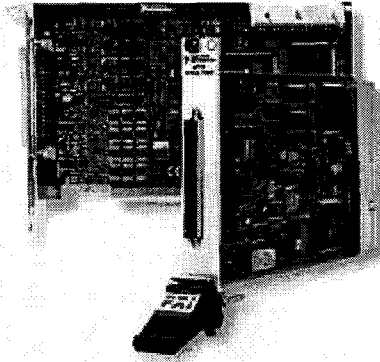


Fig.8 NI PCI 6734 DAQ board

PCI 6713은 2개의 증가/감소 카운터/타이머를 가지고 있어 자유롭게 주기 신호를 생성할 수 있어 속도 센서 값을 전달할 수 있으며 8개의 아날로그 출력을 통해 0V ~ +10V까지의 전압을 생성할 수 있기 때문에 AWS모듈에 인가하고자 하는 주행상황에 맞는 센서 값을 정확히 인가할 수 있다. 인가된 전압에 따른 센서 값은 UART 통신을 사용해서 컴퓨터에서 확인할 수 있다.

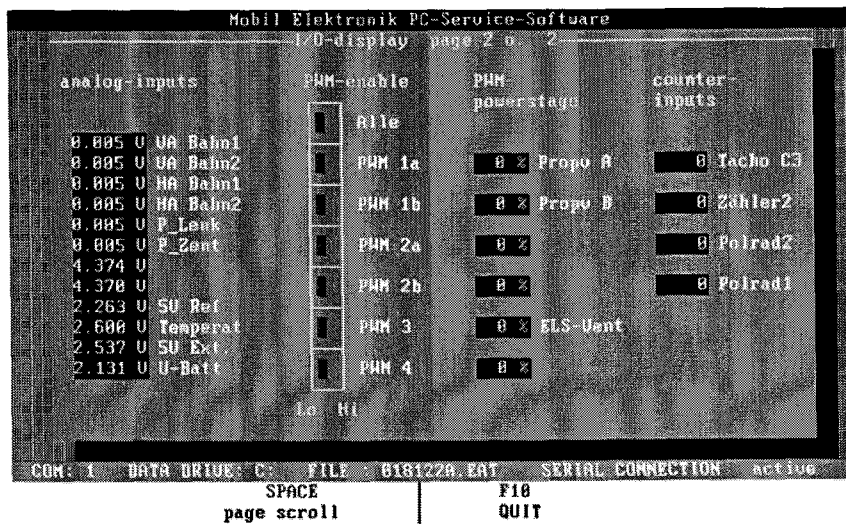


Fig.9 아날로그 입력 확인 화면

4.3 디지털 입출력

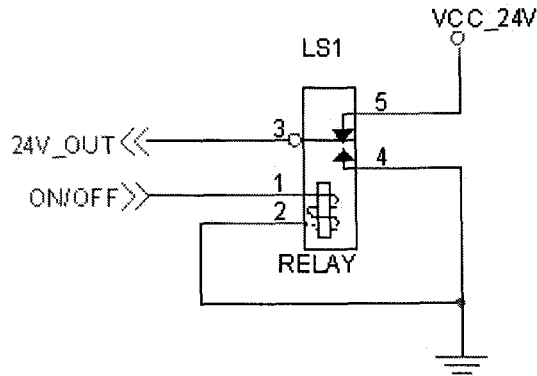


Fig.10 Additional logic for +24V Digital I/O

디지털 입출력 또한 NI PCI 6713을 사용해서 구현되었다. 하지만, AWS 모듈에서 사용되는 디지털 입출력은 +24V가 “1”로 인식되기 때문에 +10V가 출력한계인 DAQ board로는 “1”을 생성할 수 없다. 따라서 릴레이를 이용한 간단한 회로를 DAQ board 앞단에 추가하여 +24V 디지털 입출력 환경을 구성하였다. 구성된 회로를 통해 들어오는 입력도 아날로그의 경우처럼 컴퓨터에서 확인이 가능하다.

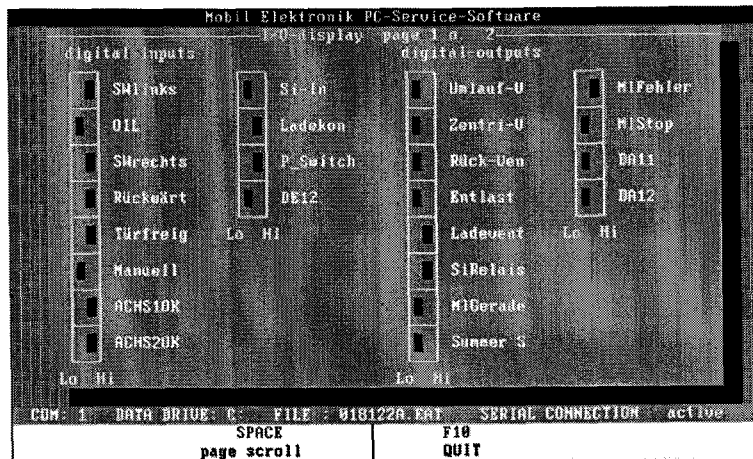


Fig.11 디지털 입출력 확인 화면

5. 결론

본 연구에서는 실제 차량이 가지고 있는 센서 및 각종 통신을 분석하여 AWS 모듈이 실제 주행환경과 완전히 동일한 환경에서 동작하도록 테스트 플랫폼을 구축하였다. 센서값을 변경하기 위해 실제로 외부환경을 변화시키는 것이 아니라 직접 AWS 모듈에 입력되는 값을 조절함으로써 보다 유연하고 다양한 경우들을 테스트할 수 있었다. 또한 추후 개발될 한국형 저상 굴절 차량의 조향 장치 제어 시스템의 테스트가 가능하도록 확장성을 갖춘 테스트 플랫폼을 구축하였다. 앞으로 Figure 12와 같이 테스트 플랫폼에 실제 유압 액츄에이터를 추가하여 실차 환경에 더욱 가까운 테스트 환경을 구축할 예정이며, 테스트 결과를 토대로 한국형 저상 굴절 차량에 적합한 조향 장치 제어 시스템을 개발할 것이다.

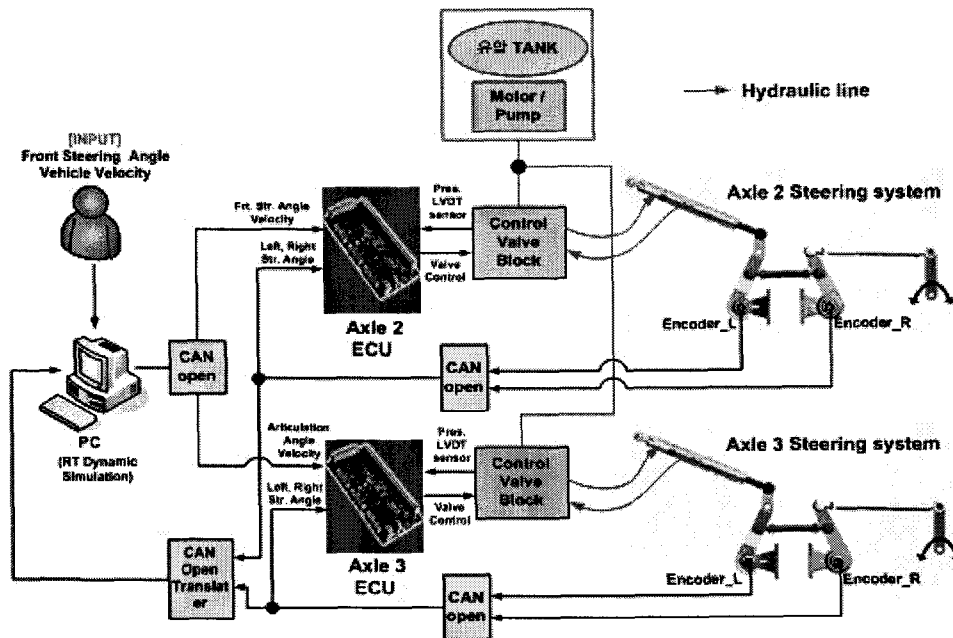


Fig.12 테스트 플랫폼 블록 다이어그램

참고문헌

1. 목재균, 임정환, 조세현, "신에너지 Bimodal 저상굴절차량 기술 개발", 대한기계학회, 기계저널 제45권 제12호, 2005.12, pp.46~49
2. 문경호, 목재균, 장세기, 박우성, "굴절차량의 전 차륜 조향 시스템 적용에 관한 검토", 한국철도학회 2006년도 춘계학술대회논문집, 2006.5, pp.1~6
3. 이수호, 문경호, 전용호, 박태원, 이정식, 김덕기, "전차륜 조향 장치를 장착한 굴절궤도 차량의 주행특성에 관한 연구", 한국철도학회 논문집 제10권 제4호, 2007. 8, pp. 444~450
4. Thomas D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Dynamics", SAE, 199210. ADAMS 2003 User Manual, MSC. Software Corporation, USA, 2003