

# 저상굴절버스의 전 차륜 조향 시스템 ECU 개발에 대한 연구

김 기 정<sup>†</sup> · 이 수 호<sup>\*\*</sup> · 정 기 현<sup>\*\*\*</sup> · 최 경 희<sup>\*\*\*\*</sup> · 박 태 원<sup>\*\*\*\*\*</sup> · 문 경 호<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## 요 약

삶의 질이 높아지고 고령화 사회가 시작되면서, 사회적 약자들이 사용하기 쉬운 교통수단의 개발의 필요성이 증대되고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위해, 한국철도기술연구원에서 주관하여 저상굴절버스(Bi-modal Tram)의 개발을 시작하게 되었다. 이 저상굴절버스는 버스와 같은 높은 접근성의 특징을 가져야 할 뿐만 아니라, 지하철과 같이 차체가 낮아야 하며, 휠체어나 승객의 발이 승강장과 차량 사이 틈에 끼지 않도록 정확한 주차가 이루어져야 한다. 하지만 저상굴절차량의 길이가 길어, 이러한 요건을 맞추기 위해서는 전 차륜 조향 시스템이 개발·장착되어야 한다. 전 차륜 조향 시스템이 장착된 저상굴절차량은 1축 차륜이 조향될 뿐 아니라, 1축 조향각 또는 굴절각과 속도 등의 상태에 따라 2축과 3축 차륜이 조향되는 특징을 가지고 있다. 본 연구에서는 전 차륜 조향장치의 개발 과정을 다룬다.

키워드 : 전 차륜 조향, 전자제어장치, 회전 반경, 유압시스템, 조향장치, 저상굴절버스

## A Study of Development of All Wheel Steering ECU in Bi-modal Tram

Kijeong Kim<sup>†</sup> · Sooho Lee<sup>\*\*</sup> · Kihyun Chung<sup>\*\*\*</sup> · Kyunghee Choi<sup>\*\*\*\*</sup> · Taewon Park<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Kyeongho Moon<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

As standard of living is higher and aging society is coming, it is needed to develop transportation that is easy to use for weak person. To comply with the demands, it is started to make Bi-modal Tram that is on KRRI(Korea Railroad Research Institute)'s hands. This tram has to have good accessibility like bus, be low level from ground like subway, and park accurately so wheel chair's or passenger's foot can't fall into the gap. But Bi-modal Tram have long length, so it need development of All Wheel Steering System. The Bi-modal Tram that have all wheel steering system steer not only the first axle but also the second and third axle from the first axle or articulation angle, and velocity, and so on. At this study, we discuss AWS ECU's development process.

Keywords : All Wheel Steering, ECU, Swing Out, Hydraulic System, Steering System, Bi-modal Tram

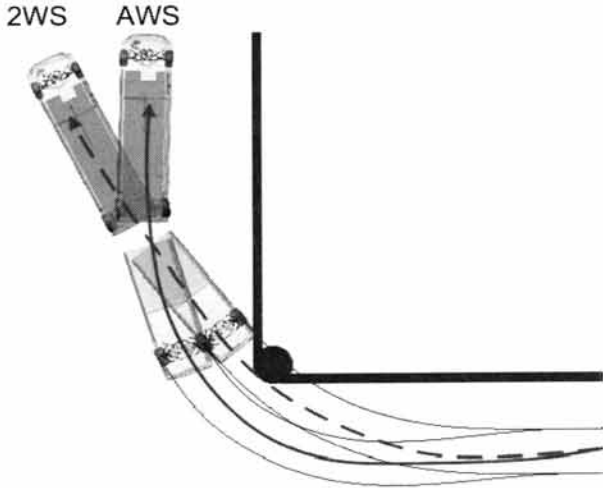
### 1. 서 론

차량에 대한 안전성, 편의성 등에 대한 요구가 높아짐에 따라, 최근 국내에서도 차량에 전자제어장치(Electronic Control Unit)를 부착하여 성능을 높이는 기술이 개발되고 있다. 이에 LPG 엔진의 bypass injector를 제어하기 위한 ECU 개발[1], 전기 자동차에서 배터리 열관리 제어 및 배터리 에너지 잔존량 제어를 하는 ECU 개발[2], 보다 안전한

에어백(air bag)의 적용을 위해, 좌석의 압력을 이용한 승객 분류 장치 개발[3], 에어 스프링과 가변 댐퍼를 동시에 제어함으로써, 조종 안정성 및 승차감 향상을 꾀하는 ECU 개발 [4] 등 다양한 부분에서 적용되고 있다.

이 중 조향장치에 대한 연구 역시 활발히 진행 중이다. 4WD 시스템의 전자제어장치 개발[5], 전륜 조향장치의 독립제어를 통해 안정된 조향을 가능하게 하는 ECU 개발[6], 과도한 조향각을 감소시킴으로써 차량 전복을 방지하는 AFS ECU 개발[7], 모터를 구동하여 조향력을 보조하는 Rack Assist MDPS ECU 개발[8], 조향비를 가변하거나 유사시 능동적으로 액추에이터를 제어해 주는 조향장치 개발 [9] 등이 좋은 예이다. 하지만 대부분이 전륜 조향장치에 대한 연구이거나 ABS 시스템의 일부분으로서 후륜 조향을 하는 경우이다. DC 모터를 사용하여 후륜을 제어하는 지능형 후륜 조향장치 개발 사례가 있지만, 이는 전통식 제어방법이기 때문에 토크의 한계로 중대형 차량에 적용이 불가능하

※ 본 연구는 국가교통핵심기술개발사업에서 지원된 신에너지 저상굴절차량 개발 과제 의 일환으로 수행되었습니다.  
† 준 회 원 : 아주대학교 일반대학원 전자공학과 석사과정  
\*\* 정 회 원 : BTS 테크놀로지스(주) 책임연구원  
\*\*\* 정 회 원 : 아주대학교 전자공학부 교수  
\*\*\*\* 정 회 원 : 아주대학교 정보통신전문대학원 교수  
\*\*\*\*\* 정 회 원 : 아주대학교 기계공학부 교수  
\*\*\*\*\* 정 회 원 : 한국철도기술연구원 선임연구원  
논문접수 : 2009년 5월 20일  
수정일 : 1차 2009년 10월 7일, 2차 2009년 11월 2일  
심사완료 : 2009년 11월 2일



(그림 1) Bi-modal Tram

다는 단점이 있다.

본 논문에서는 Bi-modal Tram(저상굴절차량)의 전 차륜 조향장치 개발에 대해 다룬다. 저상굴절차량은 차량의 길이가 길기 때문에 앞 차륜에 의한 조향방식만을 사용할 경우, 차량의 회전 반경이 커져 국내 도로 여건에서 주행이 용이하지 않을 뿐 아니라, 정밀 정차가 어려운 단점을 가진다. 따라서 앞 차륜뿐만 아니라 2축 차륜과 3축 차륜을 포함한 전차륜 조향 시스템의 개발이 요구되는데, 이러한 시스템의 핵심 역할을 하는 전자제어장치가 전 차륜 조향장치이다. 유압식 제어장치를 사용, 1축 차륜과 속도 등의 상태를 바탕으로 2축 차륜을 제어하거나, 차량의 굴절각과 속도 등의 상태를 바탕으로 3축 차륜을 조향하는 전자제어장치에 대해 설명하고, 시스템의 성능 검증을 실시하였다.

2장에서는 전 차륜 조향 시스템의 필요성과 후륜 조향각 산출 방법, 개발한 전 차륜 조향장치의 Hardware 및 Software의 구조, 그리고 시험 평가 방법 및 결과에 관해 설명하였으며, 3장에서는 본 연구에 관한 평가와 향후 연구 진행방향에 대해 기술하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 전 차륜 조향 시스템의 필요성

저상굴절차량은 2량 3차축으로 구성되어 있으며, 1차축으로부터 2차축 사이의 길이는 7710 mm, 2차축과 3차축 사이는 7575 mm의 길이를 가진다. 이와 같이 차량의 길이가 긴 저상굴절차량은, 차량의 길이가 긴 특성으로 인해 일반 버스보다 많은 인원을 수용할 수 있어 지하철 등과 연계하는 교통수단으로 사용하기 용이한 강점을 가진다. 하지만, 저상굴절차량이 일반 차량과 같은 전륜 조향(First axle steering) 방식을 사용할 경우, 차량의 관성 회전 현상(Swing out)이 커져 교차로와 같은 곡률 반경이 작은 시내 도로에서 좌/우 회전 주행, T형 코스 주행, 평행 주/정차 등을 수행하기 어려운 문제가 발생하는데, 이를 보완하기 위해서는 전 차륜

조향방식을 사용해야 한다.

전 차륜 조향방식은 운전자의 핸들 조작에 의해 조향되는 1차축의 조향각과 차속 등을 바탕으로 2차축의 조향각을 결정하며, 1량과 2량의 링크 역할을 하는 굴절축의 조향각과 차속에 의해 3차축을 조향하는 방식을 말한다. 이를 적용하면, 일반 주행 뿐 아니라 정류장 정차 시, 차량 주차 시 탁월한 운전 조작 향상 효과를 가져 온다.

전 차륜 조향방식을 적용하기 위해서는 2축/3축 차륜을 조향하도록 하는 실린더, 디지털 신호 또는 PWM 신호 등을 통해 실린더를 제어할 수 있도록 하는 솔레노이드 밸브 블록, 시스템에 일정한 유압이 유지되도록 하는 유압 펌프, 각 차륜의 조향각을 전기신호로 변환시켜 주는 조향각 센서(potentiometer), 차속을 주파수 신호로 바꾸어 주는 속도 센서, 각종 신호를 바탕으로 2축/3축 차륜의 최적 조향각을 결정, 해당 차륜이 원하는 각도로 유지되도록 솔레노이드 밸브 블록을 제어하는 전자제어장치(ECU) 등으로 구성된다. 본 논문에서는, 전 차륜 조향시스템의 핵심 부품인 전 차륜 조향 시스템 전자제어장치(AWS ECU)의 설계 및 구현, 이를 통해 도출된 하드웨어 및 소프트웨어의 중요 이유 그리고 고 테스트를 통한 성능 평가 결과를 기술한다.

### 2.2 AWS를 위한 후륜 조향각 산출

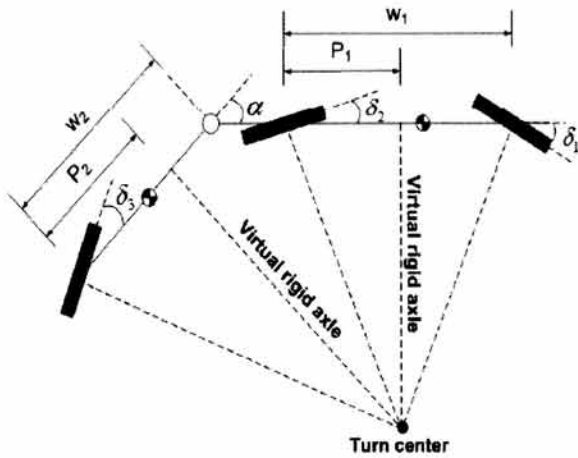
전 차륜 조향 시스템의 가장 중요한 기능은 전륜의 조향 방향과 후륜의 조향 방향이 반대로 제어되는 상황(역위상 모드)에서의 정확한 후륜 조향각(2축 또는 3축 조향각을 의미한다.) 제어이다. 이는 차량의 회전 주행 시, 후륜의 주행 위치와 전륜의 주행 위치를 최대한 같도록 하여 원활한 주행이 이루어지도록 한다. 이 알고리즘을 구현하기 위해 굴절차량의 자전거 모델을 도식화하고, 이를 통해 1축 조향각 또는 굴절각에 따라 요구되는 후륜 조향각을 도출하였다 [10]. 도식화한 자전거 모델과 조향각 계산을 위한 파라미터 값은 <표 1>과 같다.

(그림 2)의 모델을 이용하여 도출한 요구 후륜 조향각은

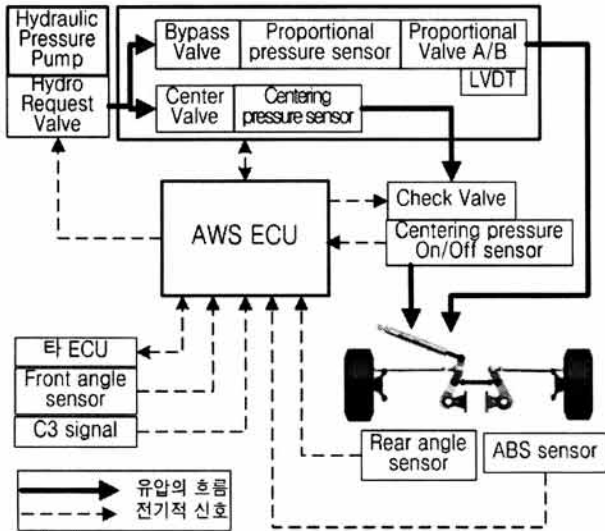
$$\delta_2 = -\tan^{-1}\left(\frac{P_1 \times \tan \delta_1}{\omega_1 - P_1}\right) \quad (1)$$

<표 1> Parameters of bicycle model

	Description	Value(mm)
$\omega_1$	Wheel base between axle1 and axle2	7700
$\omega_2$	Wheel base between articulation point and axle3	6385
$P_1$	Distance between body1 virtual rigid axle and axle2	2300
$P_2$	Distance between body2 virtual rigid axle and axle3	2000



(그림 2) Bicycle Model



(그림 3) In-Out Structure of AWS System

$$\delta_3 = -\tan^{-1}\left(\frac{P_2 \times \tan \alpha}{\omega_2 - P_2}\right) \quad (2)$$

가 된다.

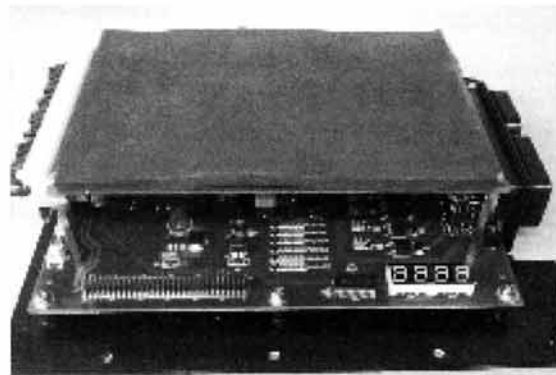
하지만 차량의 속도가 높을수록 후륜 조향으로 인한 차량 회전반경(Swing out)의 영향이 작아지며, 오히려 고속 주행 시 후륜 조향으로 인해 차량이 전복될 위험이 커지게 된다. 이를 해결하기 위해 차량 속도가 30 km/h 이상인 경우 후륜 조향이 적절히 감쇄되어 이루어지도록 시스템을 구축해야 한다.

또한 전륜 조향각(1축 조향각 또는 굴절각을 의미한다)이 0° 위치에서 크게 벗어나지 않은 각도로 조향되면, 후륜 조향각을 0° 위치에 고정시키는 방법, 차량 출발 시 스윙아웃이 커지는 현상을 최소화하기 위해 차량이 일정 거리만큼 주행할 때까지 점차로 후륜 조향각을 증가시키는 방법 등으로 차량의 안전성과 시스템의 효율성을 증가시켜야 한다.

### 2.3 AWS ECU Hardware 구성

저상굴절차량에서는 한 축에 대한 유압시스템을 제어하기 위해, 4 개의 스위치 밸브(Request hydro pressure valve, Center valve, Bypass valve, Check valve), 2 개의 비례제어밸브, 2개의 수동밸브, 그리고 압력 센서, LVDT 등의 기타 센서가 장착된다. 이 밸브들을 이용해 AWS ECU는 전체 계통을 버스의 상황에 따라 제어하고, 유압 액추에이터의 피스톤을 움직이며 축을 조향한다.

AWS ECU는 20~24 V의 작동 전압, 10 A 미만의 소비 전류, -40~75°C의 동작사양을 가진다. 하드웨어 구조로는 크게 전원부, 입력처리부, 연산처리부, 통신부, 출력부로 구성된다.



(그림 4) AWS ECU Hardware

#### 2.3.1 전원부

전원부에서는 외부 전원이 일정 전압 이하로 내려가 전원 공급이 불안해지면 전압이 정상으로 복귀할 때까지 시스템 리셋을 활성화하는 기능을 구현한다. 이때 사용한 소자에는 실시간 클럭(Real Time Clock)과 FeRAM(Ferroelectric RAM) 등의 기능이 포함되어 있는데, 이 모듈과의 통신은 IIC 통신으로 한다.

#### 2.3.2 입력 처리부

입력 처리부는 크게 디지털 입력, 아날로그 입력, 주파수 입력, 이상 세 가지로 나눈다.

디지털 입력부에는 포토커플러(photo coupler)를 이용하였다. 포토커플러의 외부는 LED와 연결되어 있고, 내부에는 수광 소자가 연결되어 있어, 입력 단에 24 V의 전압이 인가 되면 포토커플러 내부의 LED에서 빛을 발생하게 되고, 이 빛으로 인해 수광 소자의 트랜지스터가 동작되어 Vout 으로 5 V가 출력된다. 이를 이용하면 회로를 설계하여 외부와 내부 시스템을 전기적으로 분리시킬 수 있으며, 이로 인해 외부에서 발생할 수 있는 노이즈 등의 전기적 충격으로부터 시스템을 보호할 수 있다.

아날로그 입력부에서는 외부 노이즈의 영향을 최소화하기 위해 2중의 저역 통과 필터를 연결하였다. 일반적인 센서의 업데이트 주기는 1 KHz 이하의 주파수를 가지므로, 첫 번

째 입력 단에서 100 KHz, 최종 입력 단에서 1 KHz 이상 주파수 신호를 차단하도록 구현하였다.

주파수 입력부에서도 포토커플러를 사용하였다. 하지만 디지털 입력의 전압 범위는 0~5 V이므로, 전압이 인가될 때 연산 처리부로 적절한 값이 전달될 수 있도록 포토커플러 입력단의 저항 값과 저항 배열을 수정하였다.

### 2.3.3 연산 처리부

연산 처리부에서는 Infineon 사의 XC167CI 마이크로컨트롤러(MCU)를 사용하였다. 이 마이크로컨트롤러를 40 MHz 클럭 주파수로 동작시켜, 각종 입력에 따라 적절한 출력을 인가하며, ECU 내의 기타 칩과 원활한 통신을 할 수 있도록 설계하였다.

### 2.3.4 통신부

통신부로는 저장굴절차량 내부 기타 ECU와의 네트워크를 위한 CAN 통신부와 ECU의 상태를 확인하거나 중요 파라미터의 수정을 위한 UART 통신부가 있다.

CAN 통신부의 출력단에는 커먼 모드 필터(Common mode filter)를 추가하였다. 이 필터는 외부의 전기적 신호로부터 ECU의 시스템을 보호한다. 이 방식으로 두 개의 CAN 통신 채널을 설계하였으며, 하나의 채널은 타 ECU와의 통신에 사용하고 다른 하나는 CAN 버스의 메시지 송/수신 상태를 파악하는데 사용한다.

UART 통신부는 ECU와 외부 PC와의 통신을 가능하게 하여, UART로 연결된 PC를 이용해 ECU의 중요 파라미터 수정, 시스템 동작 시 각 입/출력 상태 확인을 가능하게 한다.

### 2.3.5 출력부

출력부는 크게 디지털 출력부, 비례제어밸브 제어부로 나뉜다.

디지털 출력의 경우, 외부 시스템이 받아들이는 최대 전압이 24 V이므로, 5 V를 24 V로 변환할 수 있는 로직을 설계하였다. 이 회로의 입력에 5 V를 인가하면 트랜지스터가 동작하여 24 V 전압을 외부로 출력하는 구조를 가진다.

차축의 조향은 해당 차축과 연결된 실린더의 위치에 의해 좌우된다. 이 실린더의 좌/우 조향에 직접적인 역할을 하는 밸브는 비례제어밸브인데, 이 밸브는 Bosch 사의 0811405119 증폭기(Amplifier)를 사용하였다. 이 증폭기는 전압의 크기를 이용해 유압 실린더가 움직이는 속도를 조절하며, 전압의 극성으로 유압 실린더가 움직이는 방향을 결정한다. 이 보드의 입력은 -10~10 V의 범위를 갖는다. 이 증폭기를 제어하기 위해서는 디지털-아날로그 컨버터가 필요하다. 설계한 AWS ECU의 MCU는 DA 컨버터의 기능을 수행하지 못하므로, DAC 칩, OP amp, 그리고 전압증폭소자를 이용해 디지털-아날로그 컨버터 모듈을 구현하였다. 구현한 디지털-아날로그 컨버터 모듈과 MCU와의 통신은 3-wired serial interface를 사용한다. 이러한 과정으로 구현된 비례제어밸브 제어부는 연산 처리부와 연동되어, PID 제어 방식으로 후륜

축의 조향각을 제어한다.

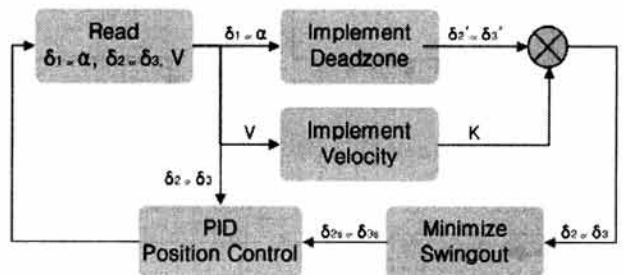
### 2.4 AWS ECU software 구성

시스템의 초기화가 이루어지면, AWS ECU는 차량 속도와 전륜 조향각 또는 굴절각을 바탕으로 후륜 축을 조향하고 에러 발생 여부를 확인한다.

차속이 0 Km/h이고 외부 PC로부터 UART 인터럽트를 통해 파라미터 설정 키가 입력된 경우, 알고리즘의 성능을 좌우하는 여러 파라미터들을 설정하는 모드로 진입하여 UART 통신을 통해 ECU 외부에서 설정할 수 있도록 한다.

차속이 0 Km/h이고 허용 조향각 설정 키가 입력된 경우에는 일련의 절차를 통해 전륜/후륜의 최대/최소 조향각과 중앙위치(0°)를 결정하는 파라미터를 설정할 수 있도록 하며, 시스템 동작 중 위험성이 높은 에러가 발생한 경우 후륜 조향각을 중앙 위치로 고정시키는 기능을 수행하도록 한다.

위와 같은 상황이 발생하지 않는 경우에는, (그림 5)와 같이 전륜 조향각과 속도를 바탕으로 1차적인 후륜 조향각을 산출하고, 스윙아웃 최소화 알고리즘을 거쳐 최종적인 후방축 조향각을 결정하며, PID 제어를 통해 정확한 후방축 조향을 실시하는 과정을 되풀이한다.



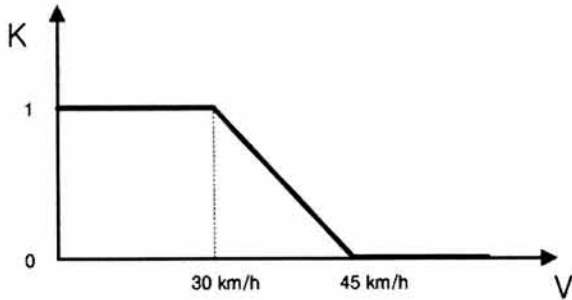
(그림 5) AWS ECU's Main Software Flow

#### 2.4.1 전륜 조향각과 속도에 따른 후륜 조향각 산출

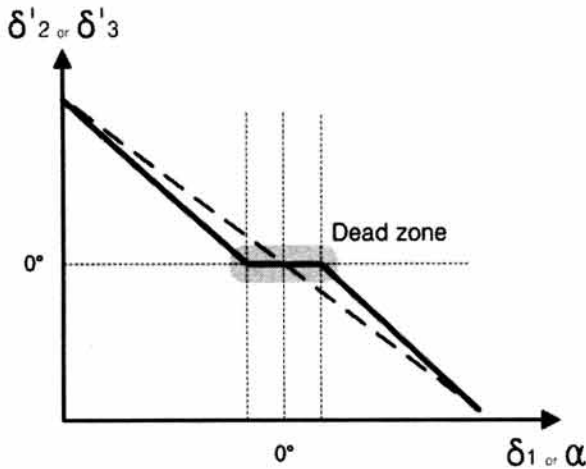
(그림 6)은 차량의 속도에 대한 가중치  $K$  산출에 관한 그래프이며, (그림 7)은 1축 조향각 또는 굴절각에 따른 2축 또는 3축의 요구조향각 산출에 관한 그래프이다. 이 그래프에서 적용된 Dead zone은 0°를 기점으로 조향하지 않는 좌/우 구간을 두어, 중앙 위치로의 조향 시 안정적인 제어를 위해서 사용된다. 2축 또는 3축의 1차 요구조향각은 이 각각의 결과를 곱하여 결정한다.

2축에서는 1축 조향각이  $\pm 5^\circ$  범위 내에서 움직일 때 2축 차륜이 조향되지 않아야 한다. 이것은 운전자의 의도하지 않은 작은 조향각 또는 작은 조향각 오차에 대해서 후륜이 조향되지 않도록 하기 위해서이다. 또한, Adams를 통한 시뮬레이션 수행 결과, 차속 30 Km/h까지 2축 조향각은 1축 조향각 대비 약 47%를 조향해야 하며, 30 Km/h부터 45 Km/h까지 후륜 조향각은 비례적으로 줄게 되어 45 Km/h 이상의 속도에서 후륜은 조향되지 않고 0°를 유지해야 차량이 효율적으로 주행할 수 있음을 확인하였다.

3축의 경우는 굴절각이  $\pm 2^\circ$  범위 내에서 움직일 때 조향



(그림 6) Determine velocity variable



(그림 7) Determine desired rear angle from front angle

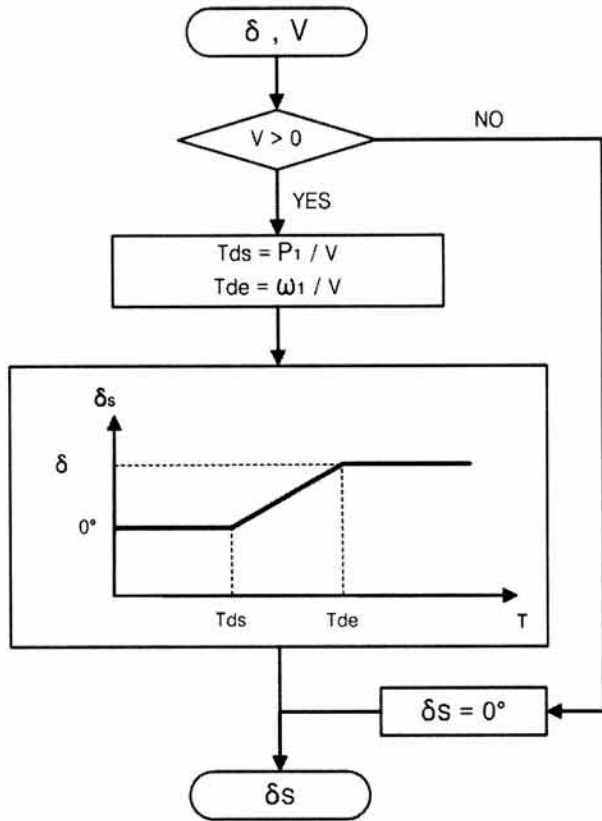
되지 않아야 한다. 이는 1축 조향각에 비해 의도되지 않는 작은 조향각의 크기가 작기 때문이다. 또한 3축 조향각은 굴절각 대비 50%를 조향해야 하며, 조향각이 비례적으로 줄게 되는 속도 범위는 2축 차량의 경우와 같아야 한다.

2.4.2 스윙아웃 최소화 알고리즘

저상굴절차량은 안전하고 정확한 곡진 주행을 위해, 차량이 움직이고 있으며 1축 조향각의 경우 ±5° 범위를, 굴절각의 경우 ±2° 범위를 벗어나기 시작하는 시점에서는 일정 시간의 지연을 가진 후 전륜 조향각과 차속에 의해 계산된 목표 조향각까지 점차로 증가시켜 가면서 후륜을 조향해야 한다. 이를 위해 (그림 8)의 알고리즘을 적용하였다.

차속이 0 Km/h보다 크고, 전륜 조향각이 특정 범위 안에 존재하며, 후방축 조향시작 조건변수( $T_{ds}$ )가 0인 경우 스윙아웃 최소화 알고리즘이 시작된다.

이 알고리즘에 최초로 진입한 경우(후방축 조향시작 조건변수가 0인 경우) 후방축 조향시작 조건변수가 1, 후방축 조향종료 조건변수( $T_{de}$ )가 0이 되도록 하며 타이머를 시작한다. 스윙아웃 최소화 알고리즘을 시작하면, 먼저 차속을 이용해 후방축 조향각을 움직이기 시작하는 시간(후방축 조향시작 시간)과 목표 조향각까지 도달해야 하는 시간(스윙아웃 종료시간)을 결정한다.



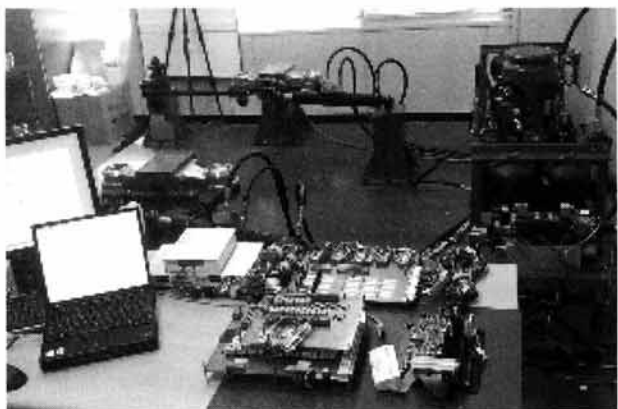
(그림 8) Swing out minimizing algorithm

을 종료시간)을 결정한다.

알고리즘에 진입하면, 타이머로부터 현재시간을 확인한다. 현재 시간이 후방축 조향 시작시간보다 작은 경우, 후방축 조향각은 0°가 된다. 현재 시간이 후방축 조향시작시간보다 크고 스윙아웃 종료시간보다 작은 경우, 후방축 조향각은 다음과 같다.

$$\delta_s = \delta * (T - T_{ds}) / (T_{de} - T_{ds}) \quad (3)$$

현재 시간이 스윙아웃 종료시간보다 큰 경우, 후방축 조



(그림 9) Hardware In the Loop System about AWS ECU

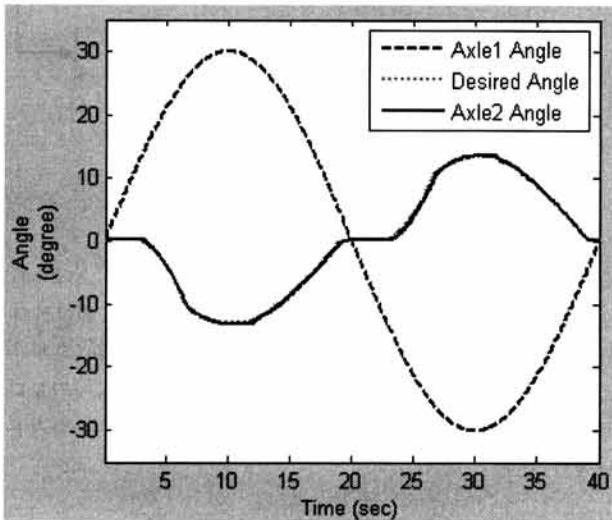
향종료 조건변수는 1, 후방축 조향시작 조건변수는 0으로 하여 알고리즘을 빠져나간다.

알고리즘을 빠져나간 후, 전륜 조향각의 경우  $\pm 5^\circ$  사이, 굴절각의 경우  $\pm 2^\circ$  사이에 있게 되면, 후방축 조향종료 조건변수를 0으로 하여, 다시 알고리즘에 들어갈 수 있는 조건을 갖추도록 한다.

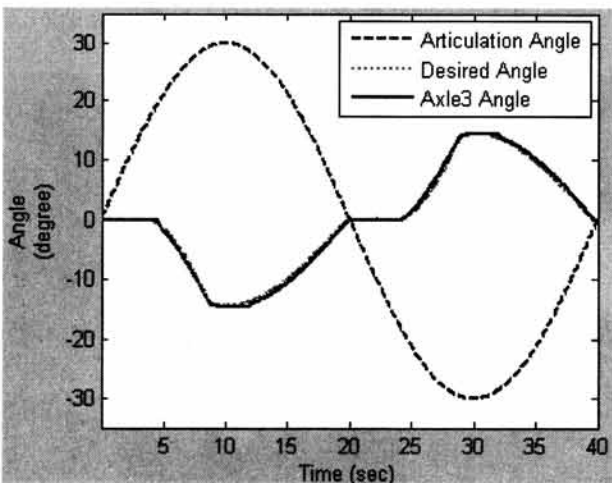
2.5 시험 평가

구현한 AWS ECU의 성능 검증을 실시하였다. 본 연구의 성능 검증은 속도와 전륜 조향각, 그리고 스윙아웃 최소화 알고리즘에 의해 움직여야 하는 2축/3축 조향각과 실제 테스트 결과 값을 비교하는 방식으로 확인하였다.

(그림 10)은 2축, (그림 11)은 3축에 대한 AWS ECU의 성능 시험 결과를 보여준다. 실험 방법으로는 Simulink 소프트웨어를 이용하여 사인 파형(Sine wave)의 전륜 조향각 입력에 대해 요구되는 ECU의 후륜 조향각과 실제 테스트



(그림 10) Axle2 performance test



(그림 11) Axle3 performance test

수행 시 결과를 비교하는 방식을 취했다.

실험 결과, 2축으로 적용한 ECU의 경우 이론적 요구 조향각 대비 한국형 ECU의 오차는 동작 각  $13.55^\circ$ 일 때, 오차 각  $0.2^\circ$ 로 약 1.44%의 오차를 가지며, 3축으로 설정한 ECU의 경우, 동작 각  $14.36^\circ$ 일 때 오차 각  $0.3^\circ$ 로 약 2.09%의 오차를 가져 시스템의 성능에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

또한, 저상 굴절 차량에 장착하여 주행실험을 수행한 결과 요구된 조건에서 2/3축 차륜이 조향되어, 차량의 회전반경이 획기적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

전 차륜 조향 시스템은 저상굴절차량인 Bi-modal Tram의 곡선 주행 시 회전반경을 최소화하고, 정밀 주/정차가 가능하도록 구현한 시스템이다. 본 논문에서는 전 차륜 조향 시스템에서 중요한 요소인 AWS ECU의 하드웨어와 중요 알고리즘 구현에 대해 언급하였고, 구현한 AWS ECU에 대한 시험 평가를 실시하였다. HILS를 통한 실험과 실장 테스트 결과, 이론적 요구 조향각 대비 허용 오차 이내로 조향이 이루어져, 요구사항에 맞게 ECU 개발이 수행된 것을 확인하였다.

향후, 안전성 측면을 고려한 Fail-Safe 기능과 CANopen 프로토콜을 통한 자동 주행기능을 추가시킬 예정이며, 다양한 조건 하에서 주행 테스트를 실시하여 저상굴절차량의 기타 장비 또는 ECU와 연동, 전 차륜 조향장치가 정상적으로 구동하는지의 여부를 확인할 예정에 있다.

참 고 문 헌

- [1] Myeongho Sunwoo, Hansub sim, Kangyune Lee, "Design and development of an ECU anti its air-fuel ratio control scheme for an LPG engine with a bypass injector," Vehicle Electronics Conference Proceedings, IEEE International (IVEC '99), pp.508-513, 1999.
- [2] Hyunseok Park, Bonwoong Kym, Taehong Eom, Hu Rak Choi, Changyul Choe, "BMS ECU Development & Monitoring for Hybrid Electric Vehicle," Symposium Proceedings, KSAE, pp.38-42, 2005.
- [3] K. B. CHANG, C. K. LEE, G. T. PARK, "DEVELOPMENT OF OCCUPANT CLASSIFICATION SYSTEM BASED ON DISTRIBUTED SYSTEM INTERFACE," International journal of automotive technology Proceedings, KSAE, pp.195-199, 2006.
- [4] Byoung-Ho Jun, Byung-Gon Kim, Joon Sakong, Young-Sup Han, Byoung-Sang Lee, "Development of 4 Corner Air-suspension ECU," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.2182-2186, 2007.
- [5] Mincheol Jung, Hyeongcheol Lee, "Development of general purpose electronic control unit (ECU) for four wheel drive

- (4WD) control system," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.1315-1320, 2005.
- [6] MinHoi Koo, Kokun Kim, Juhnsu Whang, Suckchan Yoon, Hosik Kim, "ECU Development of LH/RH Independent Steer-by-Wire System," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.1231-1236, 2005.
- [7] Sihyoung Lee, Keunje Noh, Jaehoon Lee, Kihong Park, Seung-Jin H대, "A study of AFS Controller Design for Rollover Prevention Performance Improvement of SUV," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.2257-2262, 2007.
- [8] Kiheon Kim, Changjun Kim, Hyunsoo Sin, Changsoo Han, "Development of R-MDPS Control Algorithm Using HILS," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.800-805, 2007.
- [9] Younghoon Cho, Sungkyu Je, Seokchan Yun, "Development for Automotive Active Front Steering System," Conference Proceedings, KIPE, pp.280-282, 2008.
- [10] Soo-Ho Lee, Kyung-Ho Moon, Young-Ho Jeon, Tae-Won Park, Jung-Shik Lee, Duk-Gie Kim, "A Study on the Dynamic Characteristics of the Bi-modal Tram with All-Wheel-Steering System," Transaction of KSR, Vol.10, No.4, pp.444-450, 2007.
- [11] Soo-Ho Lee, Kyeong-Ho Moon, Tae-Won Park, Ki-Jeong Kim, Sung-Hun Choi, Young-Mo Kim, "A Study on a Test Platform for AWS(All Wheel Steering) ECU(Electronic Control Unit) of the Bi-modal Tram," Spring Conference Proceedings, KSR, pp.1037-1045, 2008.
- [12] Sooho Lee, Taewon Park, Kijeong Kim, Kihyun Chung, Kyunghee Choi, Kyeongho Moon, "The Evaluation of Dynamic Performance of Vehicle adopted All Wheel Steering System using Hardware In-the-Loop Simulation," Fall Conference Proceedings, KSR, pp.1717-1725, 2008.
- [13] Duane R. Piilar, Eric E. Braun, "All-Wheel Steering System for Heavy Truck Applications," Transaction of SAE, vol.104, No.2, pp.811-823, 1995.
- [14] Bischof. H, Donhauser. B, Meder. K, "The ECU of a rear wheel steering system," Eighth International Conference Proceedings, Automotive Electronics, pp.208-213, 1991.



**김 기 정**

e-mail : lunchtime82@naver.com  
 2007년 아주대학교 전자공학부(학사)  
 2009년~현 재 아주대학교 전자공학과 석사과정  
 관심분야: 임베디드 시스템, HILS, 임베디드 시스템 테스트 등

**이 수 호**



e-mail : ssonaudo@empal.com  
 2003년 아주대학교 기계공학부(학사)  
 2005년 아주대학교 대학원 기계공학과(공학석사)  
 2009년 아주대학교 대학원 기계공학과(공학박사)

2009년~현 재 BTS 테크놀로지스(주) 책임연구원  
 관심분야: 임베디드 시스템 테스트, HILS, 차량 동역학 등

**정 기 현**



e-mail : khchung@ajou.ac.kr  
 1984년 서강대학교 전자공학과(학사)  
 1988년 미국 Illinois주립대 EECS(석사)  
 1990년 미국 Purdue대학 전기전자공학부(박사)  
 1991년~1992년 현대반도체 연구소

1993년~현 재 아주대학교 전자공학부 교수  
 관심분야: 컴퓨터구조, VLSI 설계, 멀티미디어 및 실시간 시스템 등

**최 경 희**



e-mail : khchoi@ajou.ac.kr  
 1976년 서울대학교 수학교육과(학사)  
 1979년 프랑스 그랑테콜 Enseiht대학(석사)  
 1982년 프랑스 Paul Sabatier대학 정보공학부(박사)  
 1982년~현 재 아주대학교 정보통신전문대학원 교수

관심분야: 운영 체제, 분산시스템, 실시간 및 멀티미디어시스템 등

**박 태 원**



e-mail : park@ajou.ac.kr  
 1977년 서울대학교 기계설계학과(석사)  
 1981년 University of Iowa 기계공학과(공학석사)  
 1984년 University of Iowa 기계공학과(공학박사)

1983년~1990년 Computer Aided Design Software Inc. Director  
 1986년~1990년 University of Iowa Guest Lecturer  
 1990년~현 재 아주대학교 기계공학부 교수  
 관심분야: 다물체 동역학, 차량 동역학, 제어 등



## 문 경 호

e-mail : khmoon@krii.re.kr

1994년 아주대학교 기계공학부(학사)

1996년 아주대학교 대학원 기계공학과(공학석사)

2009년 아주대학교 대학원 기계공학과(공학박사)

1996년~현 재 한국철도기술연구원 선임연구원

관심분야: 제어계측, 소음진동, 차량 동역학 등