

바이모달 트램의 거동을 요구사항으로 고려한 전차륜 조향 시스템 테스트에 관한 연구

A Study on the AWS (All Wheel Steering) ECU Test considering Requirement for Behavior of Bi-modal Tram

이진희† 박태원* 이수호** 정기현*** 최경희*** 문경호****
Lee, Jin-Hee Park, Tae-Won Lee, Soo-Ho Jung, Ki-Hyun Choi, Kyung-Hee Moon, Kyeong-Ho

ABSTRACT

In this paper, AWS ECU test method, which is considering behavior of a Bi-modal tram, is described. In order to evaluate the performance of an electronic automotive ECU, the method which combines HILS (Hardware In the Loop Simulation) and RBT (Requirement Based Testing) is introduced. HILS is the method to predict the behavior of a vehicle adopting an ECU. The behavior of a Bi-modal tram can be analyzed by using the vehicle dynamic model. Requirement Based Testing compare the outputs of a real system with a virtual electronic unit (oracle) which created by the requirements. Rear axles of the Bi-modal tram are independently controlled by two AWS ECU. Especially, swing out can happen when an articulated vehicle is operated in the curved road. Therefore dynamic behaviour of a Bi-modal tram is considered at this situation. Through this study, the reliability of ECU can be verified economically and safely using the proposed test method before conducting the track test.

1. 서 론

국내의 자동차 산업의 발전과 함께 안전하고 효율적인 운송수단의 개발에 전 세계의 이목이 집중되고 있다. 이러한 운송수단의 발전은 전자제어장치 (ECU, Electronic Control Unit)를 적용하면서부터 가속화 되어 현재는 차량의 모든 부분에 대하여 전자제어장치를 통한 정밀제어가 이루어지고 있다. 이렇듯 차량에 적용되는 전자제어장치의 역할과 비중이 높아짐에 따라 이와 관련된 하드웨어 및 소프트웨어 테스트의 중요성 또한 대두되고 있다. 전자제어장치의 다각적인 테스트는 제품 생산에 있어서의 비용을 절감함은 물론 후에 야기될 수 있는 문제를 최소화 하여 제품의 신뢰성을 확보할 수 있다.

최근에는 전자제어장치를 효율적으로 테스트하기 위한 방법으로 HILS가 주로 사용되고 있다. 그 예로 Antilock Brake System (ABS) [1], Brake By Wire (BBW) [2]와 같이 차량의 안전에 직접적인 영향을 미치는 전자제어 장치는 HILS를 이용하여 검증되고 있다. HILS는 동적 특성을 파악하고자 하는 부분을 하드웨어로 구현하고 그 밖의 구성 요소는 차량 동역학적 모델을 이용한 가상환경으로 구현하여 하드웨어로 구현된 부분을 테스트한다. 실차 테스트를 수행하기 전 HILS를 이용하여 안전하고 효율적인 방법으로 전자제어장치를 구현할 수 있다. 하지만 HILS는 차량의 동적 거동을 예측하고 전자제어장치의 제어 알고리즘에 대한 부분적인 평가는 가능하지만 전자제어장치의 신뢰성에 관한 평가는 극히 제한적이다. 다시 말해, 전자제어장치가 불특정

† 책임저자 : 학생회원, 아주대학교, 기계공학부 대학원, 석사과정
E-mail : park@ajou.ac.kr

TEL : (031)219-2524 FAX : (031)219-1965

* 정회원, 아주대학교, 기계공학부, 정교수

** 정회원, 아주대학교, 기계공학부 대학원, 박사과정

*** 비회원, 아주대학교 정보통신대학, 정교수

**** 정회원, 철도기술연구원, 선임 연구원

한 어떠한 상황에서도 요구사항에 부합하는 출력을 가질 수 있는지는 알 수 없다.

차량에 적용되는 각종 전자제어장치는 임베디드 시스템 (Embedded System)으로, 이는 특수한 기능만을 가지며, 특정 요구사항 (Requirement)에 부합하는 미리 정의된 작업(Task) 만을 수행하는 시스템을 말한다. 이러한 시스템이 정해진 요구사항을 만족하는지를 테스트하기 위하여 요구사항 기반 테스트 (RBT)을 하였다[3-5]. 요구사항 기반 테스트는 실제 전자 제어장치의 요구사항을 기반으로 테스트가 수행되며, 정의된 요구 사항으로부터 가상의 전자제어장치인 오라클 (Oracle)이 생성되어 실제 전자제어장치와 동일한 조건의 입력을 받고 출력을 비교함으로써, 전자제어장치를 검증하게 된다. 요구사항 기반 테스트와는 다른 방식의 테스트로 모델 기반의 전자제어시스템 테스트가 있다. 이는 신호 생성기, 수학 연산자를 이용하여 제어기의 설계 및 평가를 보다 쉽게 수행할 수 있다. 하지만 모델 기반의 전자제어시스템 테스트는 그 대상인 전자제어장치의 내부 로직을 정확히 알아야만 한다는 결정적인 단점이 있다. 이에 반해 요구사항 기반 테스트는 전자제어장치 내부는 블랙 박스로 표현하고 단지 입, 출력의 관계로만 시스템을 정의한다. “어떠한 입력에 대해 어떠한 출력이 나와야 한다.”는 요구사항으로 시스템을 정의하기 때문에 보다 간결하게 정의할 수 있고, 그 의미 또한 명확하다[5].

임베디드 시스템인 차량용 전자제어장치의 입, 출력은 주로 센서에 의해서 측정된 현재 차량의 상태에 대한 작동되는 액츄에이터의 응답으로 나타난다. 여기서 시스템의 입력은 차량의 거동에 대한 입력이며 출력 역시 차량의 거동으로 표현되기 때문에 전자제어장치에 대한 요구사항 기반 테스트는 차량 전체의 거동에 관한 테스트로 확장된다. 이는 전자제어장치와 차량 거동에 대한 신뢰성 검증을 동시에 수행할 수 있는 것으로, 보다 효율적인 테스트가 기대된다. 여기서 앞서 언급한 차량 동적 거동을 예측할 수 있는 HILS를 접목하면 차량의 동적 거동과 전자제어장치를 동시에 테스트할 수 있다.

본 논문에서는 이 방법을 이용하여 굴절 차량의 거동에 대한 테스트를 수행하고 적용되는 전자제어장치의 신뢰성을 검증을 시도한다[6]. 테스트의 대상인 굴절 차량은 차체가 2량으로 구성되어 있으며 3개의 축을 통해 전 차륜 조향을 한다. 굴절차량의 거동의 요구 조건으로 한계 경로 이탈거리 (Swing out)를 설정하였다. 굴절 차량의 거동을 예측하기 위해 동역학적 차량 모델이 개발되었고, RBT에 접목 시켜 전 차륜 조향 전자제어장치를 장착한 굴절 차량의 거동에 대한 테스트가 수행되었다. 시스템에 요구사항으로 이탈 거리가 설정되고 테스트의 대상은 2대의 ECU를 포함하는 굴절 차량 전체가 된다. 이와 같은 방식으로 차량과 전자제어장치에 대한 종합적인 테스트를 수행하였다.

2. 임베디드 시스템의 요구사항 기반 테스트

요구사항 기반 테스트는 임베디드 시스템의 요구사항을 근거로 제품의 정확성과 신뢰성을 테스트하는 방법으로서 발전을 거듭해온 테스트 방법 중 하나이다. 전자제어장치의 테스트를 위해서는 R-bench를 사용한다. R-bench는 유저에 따라 그 의미가 애매모호해질 수 있는 요구사항을 보다 정확하고 객관적으로 이해할 수 있도록 작성 하고 그 밖에도 작성된 요구사항을 보유 및 수동 및 자동으로 테스트 케이스를 생성하여 테스트하기 위해 만들어진 틀이다. 대상이 되는 임베디드 시스템을 R-bench에서는 SUT (System Under Test)라고 하며, 시스템의 요구사항을 기반으로 생성된 가상의 전자제어장치 오라클과 동시에 동일한 조건하에서 테스트가 수행되게 된다. 오라클은 시스템의 요구사항을 관리할 수 있는 관리 도구로부터 생성될 수 있다. 그림1은 R-bench의 구조이다.

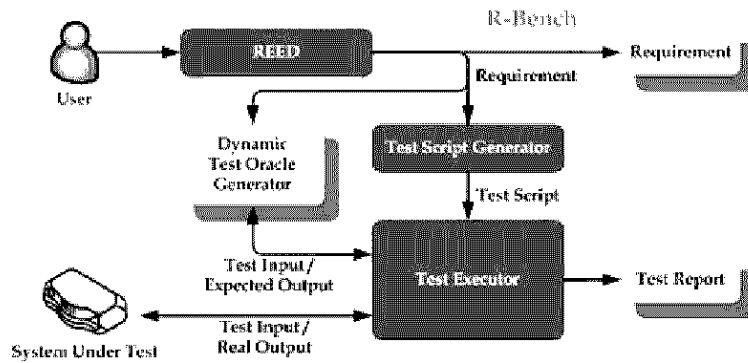


그림1. R-bench의 구조

R-bench는 크게 REED (REquirement EDitor), 테스트 스크립트 생성기 (TSG, Test Script Generator) 그리고 테스트 수행기 (TE, Test Executor)로 구성된다. REED는 Graphical Representation 기법을 통해 요구사항을 다이어그램을 사용하여 작성하고 관리한다. 자연어가 아닌 다이어그램으로 요구사항을 작성하기 때문에 발생할 수 있는 해석과정에서의 오류를 차단할 수 있다. REED를 통해 생성된 요구사항은 실제 제품과 같은 기능을 가진 오라클을 생성하게 된다. 오라클은 테스트 하고자 하는 임베디드 시스템의 특징을 정확히 반영하기 때문에 실제 제품과의 테스트 결과를 비교하여 제품이 요구사항에 맞게 제작되었는지 검증한다. 테스트 스크립트 생성기는 요구사항을 기반으로 테스트 케이스를 자동생성하며, 이 테스트 케이스를 바탕으로 R-bench의 자동 테스트 수행기가 실행할 수 있는 테스트 스크립트를 생성한다. 마지막으로 테스트 수행기는 테스트 스크립트로 해석한 SUT의 입력을 생성하여 실제로 SUT에 주입한다. 그리고 이로 인해 발생하는 출력을 오라클의 출력과 비교, 테스트 결과를 생성한다.

3. 굴절 차량의 전 차륜 조향 (AWS, All Wheel Steering) 시스템

그림2는 굴절 차량에 적용된 AWS 시스템의 계략도이다. 굴절 차량은 차체 2량이 연결되어 있으며 3개의 축을 가지고 있다. AWS 시스템의 목적은 선회 시 긴 차량의 길이로 인한 불리한 조건을 개선하고 보다 최적화된 선회 궤적으로 주행하기 위함에 있다. 그림2에서 볼 수 있듯이 ECU는 2축과 3축에 각각 적용되고 있다. 차량이 선회를 하기 위한 최초 조향각은 1축에서 운전자에 의해 생성되며, 더불어 두 차체 간의 위치 관계에 의한 굴절각이 측정된다. 그와 동시에 2축과 3축은 최적화된 선회 반경을 만족하기 위해 유압 시스템에 의해 제어 되는데 2축은 1축의 조향각과 차속, 3축은 굴절각과 차속에 의한 함수로 각각 독립적으로 제어된다. 2축과 3축은 유압 시스템을 공유하고 있으며, ECU는 1축 조향각 혹은 굴절각 및 속도 외에도 각축의 현재 조향각, 유압 시스템의 밸브의 위치를 입력 받아 종합적으로 조향 시스템을 제어한다.

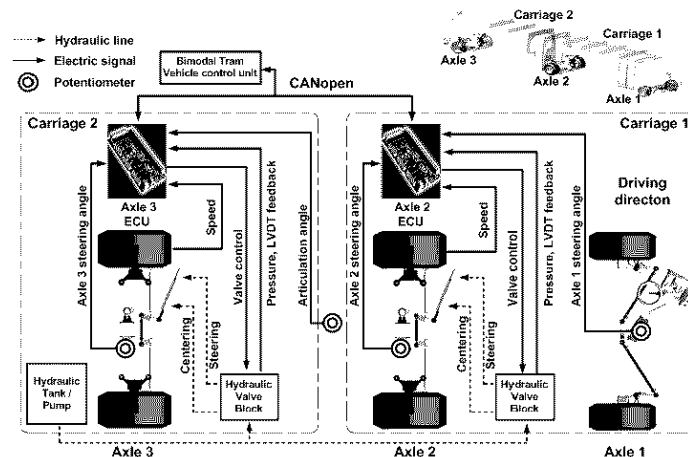


그림2. 굴절차량의 전 차륜 조향 시스템

3.1 굴절 차량의 수학적 모델

AWS ECU를 포함한 굴절차량의 HILS 시스템에서 차량의 수학적 모델은 차체간 굴절각을 포함한 차량의 거동을 묘사할 수 있어야 한다. HILS 시스템에 적용되는 차량 모델은 굴절차량의 거동을 포현할 수 있는 단순화된 수학적 모델을 사용하였다. 이 모델은 다물체 동역학 모델과 비교되어 신뢰성을 검증하였다[7]. 그림3은 굴절차량의 단순화된 수학적 차량 모델을 보여주고 있다. 그림3에서 δ_i 는 각 축의 조향각, α 는 굴절각, β 는 앞 차체의 회전각, w_i 는 축간거리, P_i 는 각 축의 중심점의 좌표를 뜻하며, 변수에 '이 추가된 것은 차량이 선회하면서 t초 후에 변화된 값들이다. 굴절차량 각 축의 중심은 다음과 같이 표현된다.

$$P'_i = P_i + s_i \begin{bmatrix} \cos \eta_i \\ \sin \eta_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$P'_\alpha = P'_2 + \frac{b}{w_1} (P'_2 + P'_1) \quad (2)$$

여기서, $P_i = [x_i \ y_i]^T$, $\eta_i = [\delta_i + \beta]$, $i=1 \sim 3$

$\eta_i = [\delta_1 + \beta, \delta_2 + \beta, \delta_3 + \alpha + \beta]^T$ 그리고, $P_\alpha = [x_\alpha \ y_\alpha]^T$ 이다.

s_1 은 다시 $s_1 = vt$ 로 나타낼 수 있다. 그리고 S_2, S_3 은 다시 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s_2 = \{ \{ (x'_1 - x_2) \cos \eta_2 + (y'_1 - y_2) \sin \eta_2 \} - \sqrt{w_1^2 - \{ (x'_1 - x_2) \sin \eta_2 - (y'_1 - y_2) \cos \eta_2 \}^2} \} \quad (3)$$

$$s_3 = \{ \{ (x'_\alpha - x_3) \cos \eta_3 + (y'_\alpha - y_3) \sin \eta_3 \} - \sqrt{w_2^2 - \{ (x'_\alpha - x_3) \sin \eta_3 - (y'_\alpha - y_3) \cos \eta_3 \}^2} \} \quad (4)$$

식 (1)~(4)에서 굴절차량의 각 축 좌표 (P'_i, P'_α)를 계산할 수 있다. 굴절차량의 자체간의 굴절각은 다음과 같이 표현된다.

$$\alpha' = \tan^{-1} \left(\frac{y'_\alpha - y'_3}{x'_\alpha - x'_3} \right) - \beta' \quad (5)$$

여기서, $\beta' = \tan^{-1} \left(\frac{y'_1 - y'_2}{x'_1 - x'_2} \right)$ 이다.

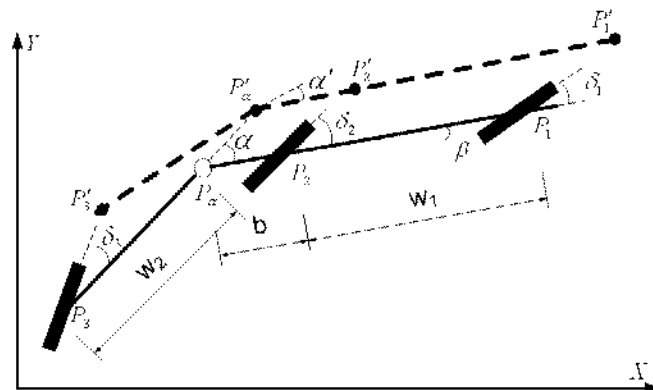


그림3. 굴절차량의 자전거 모델

이 과정을 통해 각축의 조향각과 회전각 등을 통해 선회하는 굴절차량의 현재의 굴절각을 구하고 각축의 중심점이 지나가는 선회 경로를 산출할 수 있다.

4. 굴절차량의 요구사항 기반 테스트

본 논문에서 제시한 AWS ECU에 대한 요구사항 기반 테스트는 그림4와 같은 형태로 수행된다. 테스트의 대상은 2, 3축 두 대의 AWS ECU와 굴절차량의 수학적 모델을 포함한 차량 전체가 된다. 각각의 ECU 및 액츄에이터는 SUT가 되고 시스템의 요구사항은 각각의 ECU에 대하여 존재한다. 그림4와 같이 테스트를 수행할 경우 단순히 하나의 AWS ECU에 대한 테스트를 포함할 뿐만 아니라, 차량 거동의 요구사항에 대한 테스트도 가능하기 때문에 하나의 도구를 이용해 차량에 부착된 다 수의 전자제어장치를 테스트 할 수 있는 강점을 가지게 된다. SUT를 굴절 차량 전체로 간주 할 때 시스템의 입력은 운전자에 의한 1축 조향각과 차량 속도가 된다. 시스템의 입력은 테스트 스크립트 생성기에서 지정된 조건으로 생성된다. 테스트 수행기에서는 테스트 스크립트에서 출력된 1축 조향각과 차량 속도 정보를 앞서 언급된 차량 모델에 입력하고 차량 모델에서는 굴절각을 계산하게 된다. 2축 AWS ECU로는 1축 조향각과 차량 속도가 입력되고, 3축 AWS ECU로는 굴절각과 차량 속도가 입력되어 유압 액츄에이터가 작동하게 된다. 액츄에이터의 출력은 2축과 3축의 조향각을 의미하고, 이것은 다시 굴절 차량의 수학적 모델로 입력되어 차량의 거동을 변화시킨다. 위와 같은 과정이 반복됨으로써 AWS ECU를 포함한 굴절 차량 전체의 선회거동을 분석할 수 있게 된다. 이는 일반적인 요구사항 기반 테스트와는 달리 단순히 요구사항을 하나의 전자제어장치와 오라클에 인가하여 두 시스템의 출력을 비교하는 것뿐만이 아니라 두 대의 전자제어장치에 대한 출력과 그것에 의해 변화하는 수학적 모델의 거동을 다시 입력받음으로써 전자제어장치와 차량에 대한 종합적인 테스트가 가능하게 되는 것이다.

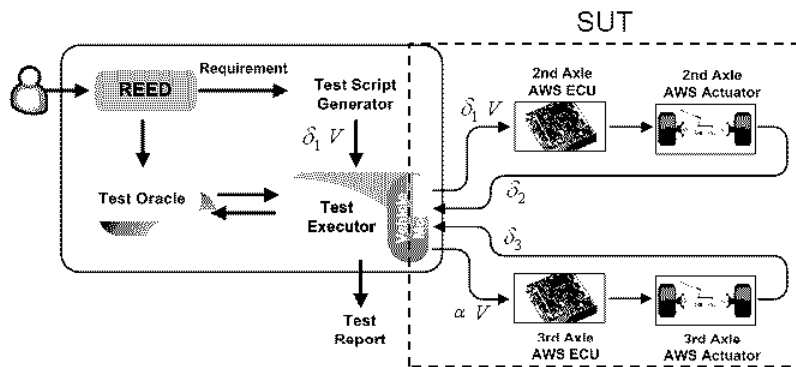


그림4. 굴절차량에서의 요구사항 기반 테스트

4.1 굴절차량의 AWS 시스템의 요구사항

테스트를 위한 요구 사항으로 차량 거동에 대한 요구 사항과 AWS 시스템에 대한 요구사항을 설정하였다. 차량 거동에 대한 요구 사항은 한계 경로 이탈 거리(Swing out)를 설정하였다. Swing out은 굴절차량이 선회할 때, 그림5에서 보는 바와 같이 차량의 후미에서 선회 방향과 반대 방향으로 경로를 이탈하는 거리를 의미한다. 주로, AWS 시스템을 장착한 굴절 차량에서 발생하는 것으로, 주행 하는 차선을 이탈할 수 있기 때문에 도로의 폭이 상대적으로 좁은 국내의 여건 상 옆 차선을 침범할 수 있다. 따라서 Swing out은 차량의 안전을 위해 최소화 시킬 필요가 있다.

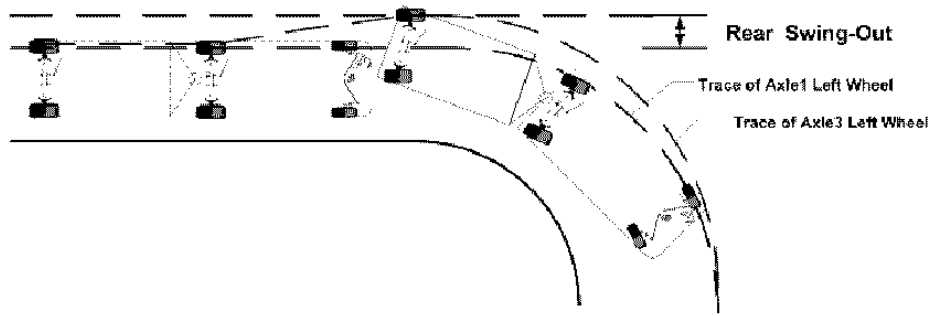


그림5. Swing out의 정의

AWS 시스템에 대한 요구 사항은 그림4와 같은 테스트과정에서 수행하는 요구 사항과 같은 개념이다. 즉, 2축에 대하여 예를 들면 AWS 시스템에서의 요구사항이란, 2축의 조향각이 현재 결정되어져있는 1축 조향각과 차량 속도에 대하여 어떠한 값이 나와야 하는지를 뜻한다. 비슷한 의미로 3축 AWS 시스템의 요구사항은 차량의 굴절각과 차량 속도에 대하여 결정되는 3축의 조향각을 뜻한다.

이상과 같은 시스템 요구 사항은 RBED에서 다이어그램으로 표현할 수 있다. 시스템의 입력 조건은 1축 조향각, 차량속도, 굴절각으로 정의되었고, 여기서 굴절각은 차량의 수학적 모델에서 연산된 값을 사용한다. 시스템의 출력 값은 Swing out과 2, 3축의 조향각이다. Swing out은 최대값을 정의하였고, 이 값보다 작은 값이 나와야 테스트를 통과할 수 있다. AWS 시스템의 요구 사항인 2, 3축 조향각은 입력 조건으로부터 ECU Algorithm 1, 2에 의해 결정된다. 그림6에서는 1축 ECU 알고리즘을 보여주고 있다. AWS ECU에 대한 테스트 수행 시 시스템의 출력이 ECU 알고리즘을 만족하는지를 비교하게 된다. 그림6은 2축의 ECU의 요구사항으로 1축 조향각과 차량 속도에 대한 함수로 2축 조향각이 어떤 값이 나와야 하는지를 정의한다. RBED에서는 이와 같이 요구사항을 다이어그램으로 표현한다.

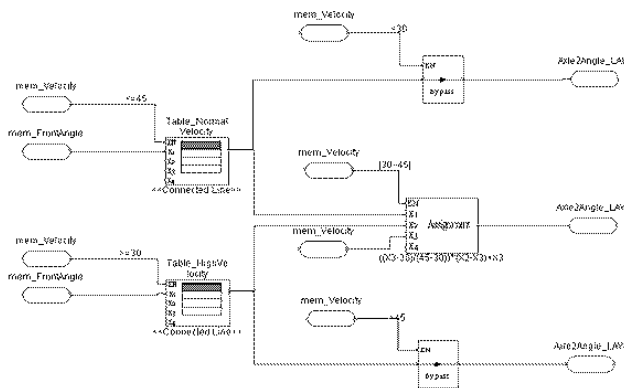


그림6. 2축 ECU의 요구사항 다이어그램

4.2 굴절차량과 AWS 시스템의 테스트 스크립트

시스템에 대한 테스트 진행은 테스트 스크립트의 명령으로 진행된다. 테스트 수행기는 스크립트의 명령을 테스트 오라클과 SUT에 동시에 부여하고, 각각의 출력을 비교하게 된다. 테스트 스크립트는 문법적 규칙을 가지고 있고, 스크립트 생성기에서 수동으로 혹은 요구사항으로부터 자동으로 생성될 수도 있다. 수동모드를 이용하면 테스터는 시스템에 대하여 원하는 테스트를 실행할 수 있다. 본 연구에서 사용한 스크립트의 명령어는 도표 1과 같다. 그림6은 AWS 시스템을 포함한 굴절차량의 테스트에 사용된 스크립트를 보여주고 있다.

시스템에 대한 입력은 앞서 언급된 바와 같이 전륜 조향각과 차량 속도만 부여된다. 테스트 스크립트에 의한 시스템 입력을 간단히 요약하면 다음과 같다.

- a. 차량속도 10km/h 입력 - Velocity.write(10)
- b. 2초 후 전륜 조향각 10° 입력 - FrontAngle.write(10)
- c. 0.5초 후 전륜 조향각 20° 입력 - FrontAngle.write(20)
- d. 0.5초 후 전륜 조향각 30° 입력 - FrontAngle.write(30)

도표 1. 테스트 스크립트 명령어

Operatin	Description
Par/Par_end	Par가 나오면 Par_end가 나올 때까지 모든 operation은 동시입력으로 처리한다.
Object write(value)	Object에 value 값을 write한다.
Wait(value)	테스트 수행기는 Value(msec)동안 대기한다.
Check()	SUT와 오라클의 값을 비교한다.

```

Test Script - VDTTesting1_swingout
14  par_end;
15  wait (2000);
16  check();
17
18  par
19  Velocity.write(10);
20  par_end;
21  wait (2000);
22  check();
23
24
25  FrontAngle.write(10);
26  wait (500);
27  check();
28  FrontAngle.write(20);
29  wait (500);
30  check();

```

그림7. 테스트 스크립트의 예

5. 요구사항 기반 테스트의 수행

그림8은 본 연구에서 테스트를 수행한 시험 장치를 보여주고 있다. 앞에서 정의된 시스템 요구사항과 테스트 스크립트를 수행하는 테스트 수행기(TE) 및 굴절 차량의 수학적 모델은 그림8에서 PC내부에 구성되어있다. 그림4에서 나타낸 바와 같이 굴절 차량의 전체 선회거동을 예측하기 위해서 2, 3축의 AWS 시스템이 모두 포함되어야 한다. 그림8에서 실제 차량과 유사하게 2, 3축의 AWS ECU 및 유압 시스템이 HILS로 구현되어 있는 것을 확인할 수 있다.

도표 2. R-bench를 이용한 테스트 결과

Entry Name	SUT Value	Oracle Value
Rear Swing out	348.462	500
Axle2Angle	14.5619	13.75
Axle3Angle	18.276	18.1079

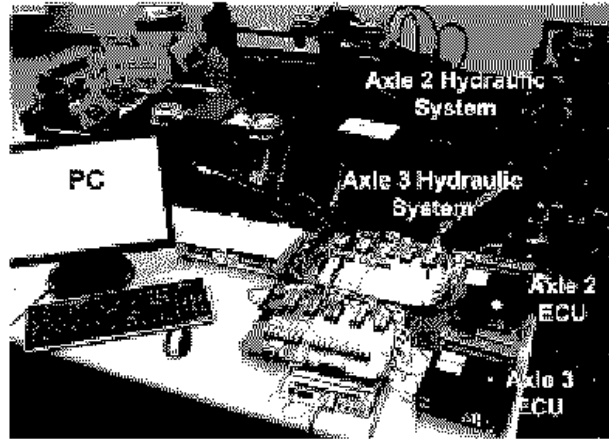


그림8. AWS 시스템 하드웨어 구성

테스트 수행기에서 진행된 굴절차량의 거동 및 AWS 시스템에 대한 테스트 결과를 확인하였다. 테스트 스크립트는 4절에서 언급된 것과 동일하고, Swing out, 2축 조향각, 3축 조향각에 대한 SUT와 테스트 오라클의 결과를 비교하였다. 그 결과로 도표2와 같이 Swing out의 경우 테스트 오라클은 최대값 500mm, SUT 값은 348.462mm로써 굴절 차량이 규정된 Swing out 값 이하로 주행함을 확인할 수 있다. 테스트가 진행되는 동안 수학적 모델의 연산에 의한 차량 선회 궤적은 그림9와 같다. 그림9의 계산 결과와 테스트 수행기의 결과가 동일함을 확인할 수 있다.

2축과 3축의 조향각의 경우 테스트 오라클의 결과와 SUT가 오차 범위 내에서 유사함을 확인할 수 있다. 테스트 입력 조건인 1축 조향각과 시스템 응답인 2, 3축 조향각을 그림10에서 확인할 수 있다. 그림에서 굴절각(Articulation angle)은 굴절 차량의 수학적 모델에 의해 연산된 값으로 차량의 거동에 영향을 줄 뿐만 아니라 3축 AWS ECU 작동을 위한 입력 값으로 다시 사용된다.

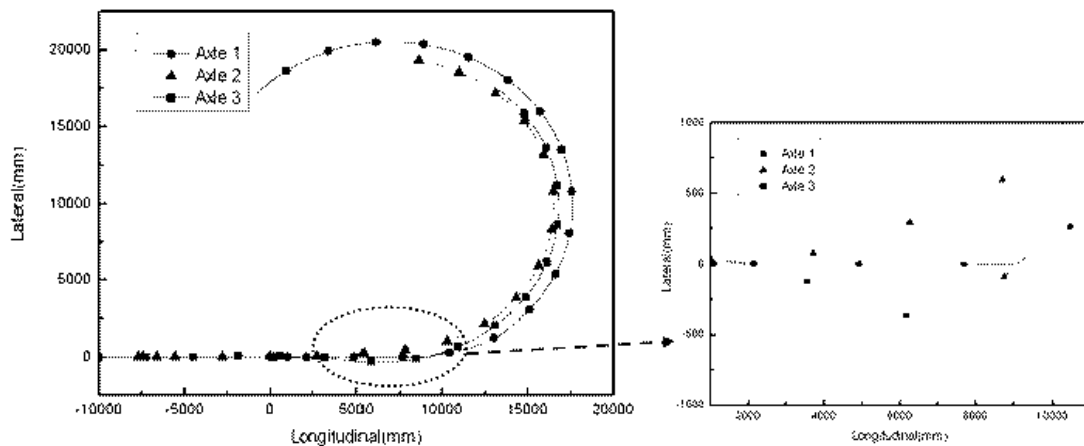


그림9. 굴절차량의 각 축 선회궤적 및 Swing out

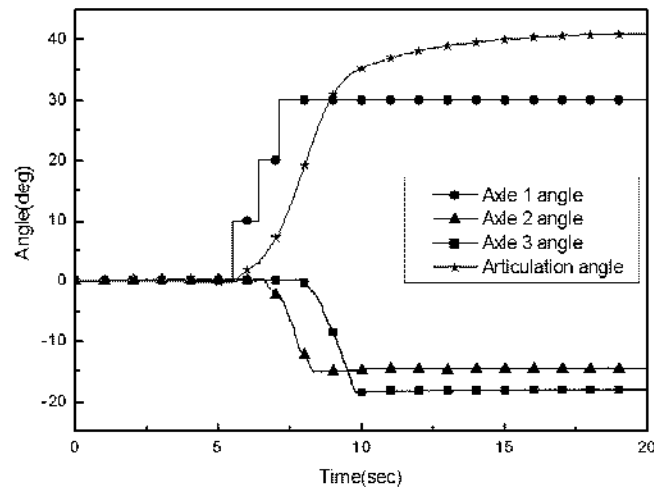


그림10. 테스트 입력(1축)에 대한 AWS 시스템의 출력(2, 3축)

6. 결 론

본 연구에서는 굴절차량의 AWS ECU와 HILS를 대상으로 요구사항 기반 테스트를 수행하였다. 차량용 전자제어장치를 테스트하기 위한 요구사항으로 일반적인 입, 출력 신호의 관계가 아닌 차량의 동적 거동을 고려하였으며 이를 토대로 차량 전체 시스템을 하나의 테스트 대상으로 적용할 수 있었다. 요구사항 기반 테스트를 하기 위한 도구로는 R-bench를 사용하였고 이를 통해 새로운 방식의 차량용 임베디드 시스템의 테스트 방법을 제안할 수 있었다. 특히, AWS 시스템의 두 대의 ECU를 동시에 테스트하고 차량의 거동은 수학적 모델을 이용하여 테스트함으로써 차량의 전자제어장치와 동적 거동에 대한 종합적이고 다각적인 테스트를 시도할 수 있었다. 그 예로 굴절 차량의 선회 시 발생할 수 있는 Swing out에 대한 테스트를 수행하였으며, 테스트 결과를 토대로 이러한 방식이 실제 시스템에 대하여도 성립됨을 입증하였다. 본 연구를 통하여 차량용 임베디드 시스템의 요구사항 기반 테스트에 대한 일반적인 방법에서 확장하여 전자제어장치 뿐만이 아닌 시스템 전체에 대한 테스트를 수행할 수 있었다. 향후에 이 방법이 서로 다른 기능을 가진 전자제어 장치를 포함한 시스템의 종합적이고 효율적인 테스트로 적용될 수 있으며, 더 발전된 방법론 개발에 초석을 다질 수 있을 것이라 기대된다.

참고문헌

1. J-M. Cho, D-H. Hwang, K-C. Lee, and J-W. Jeon, (2001), "Design and Implementation of HILS System for ABS ECU of Commercial Vehicles", IBBS. ISIB 2001, pp.1272-1277.
2. D-G. Hong, I-Y. Hwang, P-J. Yoon, and K-S. Huh, (2008), "Development of a Vehicle Stability Control System Using Brake-by-Wire Actuators", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 130, 011008-1-9.
3. John R. Wagner, "Failure Mode Testing Tool Set for Automotive Electronic Controllers", IBBS Transactions on Vehicular Technology, Vol. 43, No. 1, pp.156-163.
4. S-W. Jung, K-H. Choi, and K-H. Jung, (2008), "Scheduling of Test Executor For Automatic Embedded System Testing", KISS, KCC 2008, Vol. 35, No. 1(B), pp. 119-123.
5. J-S. Oh, H-S. Lee, H-S. Park, J-B. Kim, K-H. Choi, and K-H. Jung, (2008), "A Single Requirement Modeling with Graphical Language for Embedded System", The KIPS

Transaction-D, Vol. 15-D, No. 4, pp. 505-512.

6. S-H. Lee, K-H. Moon, T-W. Park, and Y-H. Jeon, (2007), "A Study on the Dynamic Characteristics of the Bi-modal Tram with All-Wheel-Steering System", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 10, No. 4, pp. 438-443.
7. S-H. Lee, K-J. Kim, K-H. Moon, S-H. Choi, and T-W. Park, (2008), "The dynamic characteristic analysis of the bi-modal tram using the test platform of all wheel steering ECU", XXII International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, ICTAM2008, CD(1), pp.290-290.