

ABS 와 TCS 를 위한 HIL 시뮬레이터 개발에 관한 연구

이한주*, 박윤기*, 서명원**

Development of Hardware-in-the-loop Simulator for ABS/TCS

Han Ju Lee*, Yoon Ki Park*, Myung Won Suh**

ABSTRACT

The prevalence of microprocessor-based controllers in automotive systems has greatly increased the need for tools which can be used to validate and test control systems over their full range of operation. The objective of this paper is to develop a real time simulator of an anti-lock braking system and traction control system by the methodology of using hardware-in-the-loop simulation based on a personal computer. By use of this simulator, the analyses of commercial electronic control units and components for ABS/TCS were performed successfully. The simulator of this research can be applied to development of more advanced control system(such as vehicle dynamic control system) and other automotive systems.

Key Words : Anti lock brake system (ABS), Traction control system (TCS), Hardware-in-the-loop (HIL), Real time simulator (실시간 시뮬레이터), ECU (전자제어장치), HCU (유압제어장치)

1. 서론

ABS(anti-lock brake system)는 주행중인 차량이 급제동 하거나 눈길 등의 노면 악조건 상태에서의 제동시 발생하는 차량의 운전 불능 상태와 제동거리 증가를 미연에 방지하여 최적의 제동상황을 유지하게 하는 차량 안전 장치이며, TCS(traction control system)는 차량의 여분 출력을 제어하는 구동력 제어 장치로 눈길 등의 노면에서 가속성 및 선회 안정성을 향상시키는 차량 안전 장치이다. 이러한 안전 장치들의 개발을 위해서는 다양한 노면조건과 운전조건, 그리고 초기 차량 상태 등을 조성하여 실차 시험을 수행하여야 하는데, 이러한 조건을 갖춘 실차 시험을 수행하기 위해서는 많은

시간과 연구비의 투자가 필요하게 된다. 따라서 대부분의 연구기관들이 안전 장치 개발에 시뮬레이션이라는 방법을 사용하여 효율적이고 경제적인 연구를 수행하고 있으며, 최근에는 HIL(hardware-in-the-loop) 시뮬레이션이 각광을 받고 있다.

ABS/TCS 는 이미 많은 상용차에 장착되어 실용화된 상태이다. 현재 좀 더 향상된 시스템 개발을 위해서 많은 연구가 수행되고 있으며, 이러한 연구 과정에서 실시간 HIL 시뮬레이션 방법이 많이 사용되고 있다. Deborah(1) 등은 DEC VAX station II 에 5 자유도의 차량모델을 이용한 실시간 시뮬레이터를 개발하였고, Helmut(2) 등은 VAX 컴퓨터보다 훨씬 작은 크기의 컴퓨터인 트랜스퓨터를 이용하여 실시간 시뮬레이터를 개발하였다. 또

* 성균관대학교 대학원 기계공학부

** 성균관대학교 기계공학부

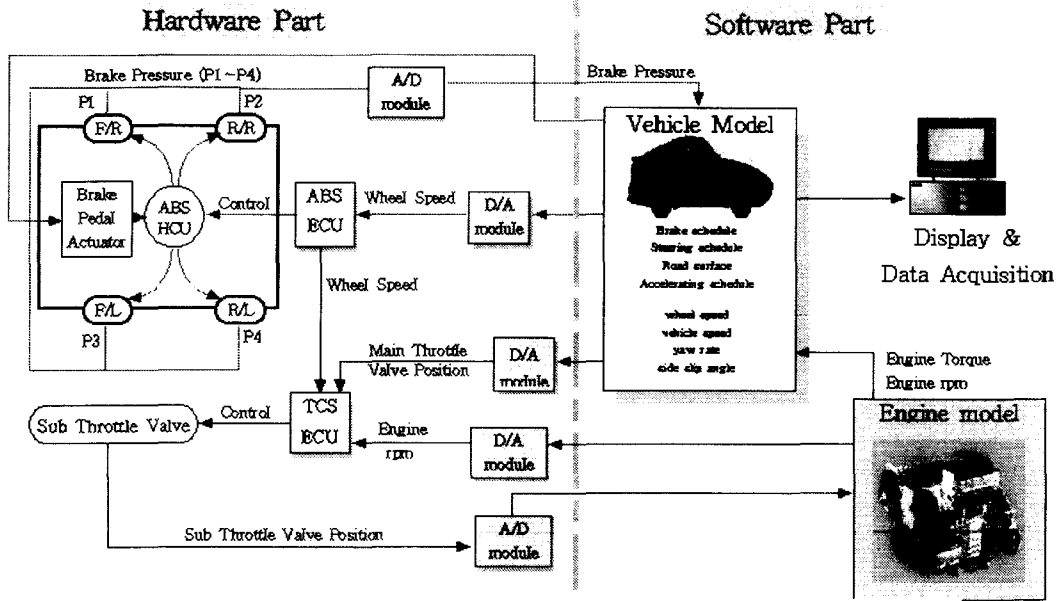


Fig. 1 Configuration of ABS/TCS HIL simulator

한 Sailer 와 Essers(3)는 트랜스퓨터를 이용하여 3 차원 동역학 비선형 해석을 할 수 있는 실시간 시뮬레이터를 개발하였으며, Bach(4)는 PC 를 이용하여 ABS 시뮬레이터를 개발하였다. 이렇게 PC 를 기반으로 하여 HIL 시뮬레이터를 개발하면 비전문가도 사용하기 쉽고, 실험장치의 이동성이 우수하며, 실험자에게 익숙한 그래픽 환경과 OS(operation system)를 조성할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 ABS/TCS 시뮬레이션을 수행하기 위한 PC 를 기반으로 한 실시간 ABS/TCS HIL 시뮬레이터를 개발하고자 한다. 또한 차량 및 타이어 모델과 엔진 모델을 바탕으로 실제 유압장치와 스톱 밸브 등을 서브루틴으로 한 실시간 시뮬레이션을 수행하여, ABS/TCS ECU 및 각 구성품의 성능 특성을 분석한다.

2. ABS/TCS HIL 시뮬레이터의 구성

시뮬레이터는 기본적으로 소프트웨어 루프에 하드웨어를 추가하여 하나의 완성된 루프를 이루게 하는 HIL 방법을 적용하였으며, ABS 시뮬레이션과 TCS 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 구성하였다.

Fig.1 은 ABS/TCS 시뮬레이터의 구성을 나타낸 것으로, 크게 하드웨어부와 소프트웨어부로 나눌

수 있다. 하드웨어부는 실차의 브레이크 장치 (coventional brake system ; CBS), 유압 장치(hydraulic control unit ; HCU), ABS ECU(electronic control unit), TCS ECU, 브레이크를 모사한 브레이크 액츄에이터(brake actuator), 보조 스톱 밸브 어셈블리, 신호처리장치, 차륜속도 시뮬레이터, 디스플레이 장치 등으로 구성된다. 소프트웨어부는 차량동역학 모델과 엔진모델, 그리고 다양한 시나리오를 포함하고 있는 제동 스케줄, 가속 스케줄, 스티어링 스케줄, 노면 조건 등으로 구성된다. 본 장에서는 시뮬레이터의 구성을 각 구성품 별로 설명하고 그 구성 원리에 대해 서술하고자 한다.

2.1 하드웨어부

(1) 유압장치

ABS 유압장치는 기존의 브레이크 장치에 추가 장착하는 add-on 방식이 주로 사용되고 있으며, 마스터 실린더의 출력단과 각 차륜 실린더의 입력단 사이에 장착됨으로써 각 브레이크 실린더의 압력을 증가, 감소 혹은 유지하는 목적으로 사용된다. 유압장치는 압력을 제어하는 각 채널당 1 개의 솔레노이드 밸브(solenoid valve)와 플로우 콘트롤 밸브(flow control valve)를 사용하는 sol-flow 방식과 각 채널당 2 개의 솔레노이드 밸브를 사용하는 sol-sol 타입으로 나누어진다.

본 연구의 시뮬레이터는 sol-flow 방식과 sol-

sol 방식 모두를 장착하여 실험할 수 있고 유압장치의 특성 또한 분석할 수 있도록 설계되었다.

(2) ECU

차량모델에 의하여 계산된 차륜속도는 차륜속도 시뮬레이터에 의해 차륜속도 신호로 변환되어 ABS ECU에 입력되고, ECU는 이를 바탕으로 ABS 제어를 하게 된다. 또한 ABS ECU는 정현파의 속도 신호를 입력받아 구형파로 TCS ECU에 전달하는 기능도 하고 있다. TCS ECU는 ABS ECU를 거친 각 차륜속도 신호, 메인 스로틀과 보조 스로틀 밸브 신호, 그리고 엔진 회전수 등을 바탕으로 TCS 제어를 수행한다.

ABS ECU는 여러 가지 진단로직을 포함하고 있는데 안전부품인 제동장치의 특성상 진단로직은 매우 까다롭다. 초기 진단 항목으로는 각 배선의 단락, 저항검사, 배터리 전압검사 등이 있고 운전 중 진단항목으로 모터 펌프 검사, 에어 잭 불량검사, 차륜속도 점프검사 등이 있다.

(3) 브레이크 액츄에이터

실제 차량의 ABS 제어시 운전자는 계속해서 브레이크 페달을 밟고 있는데 이러한 과정을 모사하기 위해 공압 실린더를 이용하였다. 공압실린더로 마스터 실린더에 하중을 가함으로써 실제 브레이크력을 모사하도록 하였다. 공압실린더에서 브레이크 페달에 가해진 압력은 부스터의 진공펌프에 의해 높아지고 마스터 실린더의 압력을 상승시킨다.

(4) 보조 스로틀 밸브 어셈블리

흡입 공기량을 제어하는 TCS의 경우 운전자의 가속 의지와 독립적으로 흡입 공기량을 조절할 필요성이 있는데, 본 연구에서는 메인 스로틀 밸브와 보조 스로틀 밸브가 직렬로 연결된 구조의 시스템을 사용하였다. 보조 스로틀 밸브 어셈블리는 TCS ECU에 의해 제어되어 노면 조건에 일치하는 최적의 구동력을 낼 수 있도록 엔진의 흡입 공기량을 조절한다.

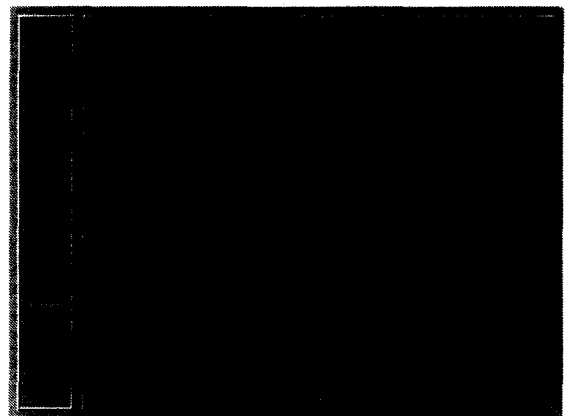
(5) 신호처리 장치

신호처리 장치는 압력센서, 증폭기, A/D (analog/digital), D/A (digital/analog) 변환기를 포함한다. 압력센서는 각 차륜에 걸리는 브레이크 압력과 마스터 실린더의 압력을 측정하기 위해 스트레인 게이지 형태로 총 8 개를 사용하였다. 압력센서는 총 8 개를 사용하였는데, 각 차륜의 실린더 입력부에 1 개씩 부착하였고 마스터 실린더 출력부

에 2 개를 부착하였으며 후륜좌우의 프로포셔닝 밸브 이전에 1 개씩을 부착하였다. 압력센서에 의하여 측정된 신호는 증폭기를 통과한 후 A/D 변환기를 통하여 PC에 입력된다. 보조 스로틀 밸브의 개폐 신호는 A/D 변환기를 통하여 PC에 입력되며 엔진 회전수 신호와 메인 스로틀 밸브 신호는 D/A 변환기를 통하여 PC에서 TCS ECU로 입력된다.

(6) 차륜속도 시뮬레이터

본 연구의 차륜속도 시뮬레이터는 소프트웨어에 의해 제어되는 하드웨어 보드로써 4 개 차륜의 속도를 실험자가 원하는 대로 ABS ECU에 입력할 수 있도록 고안하였다. 차륜속도 시뮬레이터는 ECU의 고장진단을 고려하여 출력저항을 임의로 변환할 수 있도록 가변저항을 포함하고 있으며 시



(a) ABS



(b) TCS

Fig. 2 Display of ABS/TCS simulation

간에 따라 주파수와 진폭을 동시에 프로그래밍 할 수 있도록 설계되었다. 차륜속도 시뮬레이터는 차량의 동역학 모델에서 계산된 차륜속도를 하나로 그 신호로 변환하여 ECU에 입력하는 역할을 한다.

(7) 디스플레이 장치

본 연구의 디스플레이 장치는 입·출력 변수를 그래프로 나타낸다. Fig.2는 입·출력 변수를 나타내는 그래프로써 ABS/TCS 시뮬레이션의 수행과 함께 실시간으로 출력되어 실험자가 실시간으로 데이터를 확인할 수 있다. 데이터 화면은 4개의 그래프로 구성되는데 Fig.2(a)는 ABS 시뮬레이션의 경우로 차체속도와 각 차륜의 속도를 나타내는 그래프, 각 차륜 및 마스터 실린더의 압력을 나타내는 그래프, 각 차륜의 슬립율을 그래프 및 각 차륜의 마찰력을 나타내는 그래프로 구성된다. Fig.2(b)는 TCS 시뮬레이션의 경우로 차체속도와 각 차륜의 속도를 나타내는 그래프, 메인 스로틀과 보조 스로틀의 개폐를 나타내는 그래프, 각 차륜의 슬립율을 나타내는 그래프, 그리고 엔진 회전수를 나타내는 그래프로 구성된다.

2.2 소프트웨어부

(1) 제동 스케줄

제동 스케줄은 차량이 시동을 걸고 출발을 해서 일정속도에 도달했을 때, 브레이크를 밟았음을 모사 하거나 압력의 증압기울기를 높이고 낮추는 등 운전자가 실차에서 브레이크를 밟는 과정을 모사 하는 것이다.

(2) 가속 스케줄

가속 스케줄은 운전자가 차량의 시동을 걸고 정지 상태에서 가속 페달을 밟아 가속과 동시에 메인 스로틀 밸브가 열려 엔진 출력이 증가하는 과정을 모사하는 것이다.

(3) 스티어링 스케줄

스티어링 스케줄은 차량이 곡선 주행로를 선회할 때 핸들을 돌리거나 제동시 차량이 원하지 않는 방향으로 회전을 할 때 운전자의 반응을 모사 하는 것이다.

(4) 노면 조건

노면 조건은 아스팔트길, 빗길, 눈길 등의 노면을 타이어와 노면바닥 사이의 마찰계수를 이용하여 모사 한다. 아스팔트길과 같은 노면은 고 마찰노면(High- μ), 빗길과 같은 노면은 중 마찰노면

(medium- μ), 눈길과 같은 노면은 저 마찰노면(low- μ)이다. 또한 차륜의 왼쪽과 오른쪽의 마찰계수가 다른 노면은 비대칭 마찰노면(split- μ)이고 차량의 제동중 마찰계수가 바뀌는 노면은 점프 마찰노면(jump- μ)이다.

(5) 차량동역학 모델

차량의 동특성을 해석하기 위해 김태기(5)에 의해 개발된 종방향, 횡방향, 차량 수직축 방향 회전 운동(yaw), 차량 종축 방향 회전운동(roll) 및 각 차륜의 회전운동에 대한 8자유도 차량 동역학 모델을 사용하였다. 이 모델은 제동과 가속시 전륜과 후륜에 걸리는 하중이동과 스티어링시에 발생하는 좌우의 하중이동을 고려하였으며 현가계는 고려하지 않았다. 종방향운동은 타이어에서 발생하는 차체의 종방향 힘성분과 공기저항력을 이용하여 계산하였고 횡방향운동은 타이어에서 발생하는 차체의 횡방향 힘성분과 공기저항력을 이용하여 계산하였다. 요우잉운동은 질량관성모멘트, 종방향성분의 힘 및 횡방향성분의 힘의 평형관계로부터 차체의 무게중심에서 발생하는 모멘트를 이용하여 산출하였다. 타이어모델은 차량의 비선형성을 증가시키는 가장 중요한 인자들 중 하나인데 본 연구에서는 타이어와 지면사이의 마찰력을 슬립율과 슬립각으로 표현하는 Dugoff(6)의 모델을 이용하였다.

차량 동역학 모델에서는 제동시 브레이크 압력을 입력받아 차량의 동역학적 변화를 연산하고, 가속시에는 엔진 출력을 입력받아 차량의 동역학적 변화를 연산하여 ABS ECU에 입력하도록 구성 되어 있다.

(5) 엔진 모델

흡입공기량에 따른 엔진의 출력상태를 결정하기 위해 실차의 엔진 맵을 사용하여 엔진 모델을 구성하였다. 스로틀 밸브의 개폐에 따라 엔진 회전수와 엔진 토크가 변화하도록 구성하였으며, 엔진 모델을 통해 얻어진 데이터는 차량 동역학 모델에 입력되어 차량의 동역학적 변화를 연산할 수 있도록 하였다.

3. 실시간 ABS/TCS 시뮬레이션

구성된 시뮬레이터는 586급 컴퓨터 이상의 기종에서 실시간 시뮬레이션이 가능한 것으로 분석되어 586급 컴퓨터를 사용하였다. 실시간 시뮬레

이션을 수행하기 위해 컴퓨터의 차량동역학 모델에서 계산된 차륜속도를 ECU에 출력하는 주기는 상용 ECU의 내부 로직 순환 주기보다 짧아야 한다. 상용 ECU가 차륜속도를 측정하는 주기는 10ms로 측정되었다. ABS 시뮬레이션의 경우 입출력 모듈이 TCS 시뮬레이션의 경우보다 복잡하기 때문에 내부 로직 순환 주기가 좀 더 길게 측정되었다. ABS 시뮬레이션의 경우 486급 컴퓨터에서 차량동역학 해석과 입출력 장치를 구동하는데 소요되는 주기는 50ms였으므로 상용 ECU의 내부 로직 순환 주기보다 길지만, 586급 컴퓨터에서의 순환주기는 4ms로써 상용 ECU의 순환주기보다 2.5배 짧으므로 실시간 시뮬레이션을 수행하기에 적합하였다. TCS 시뮬레이션의 경우는 ABS 시뮬레이션의 경우보다 순환주기가 짧았다.

3.1 ABS 시뮬레이션 방법

상용 ABS ECU를 사용한 ABS 시뮬레이션의 과정을 서술하면 다음과 같다.

- (1) 노면 조건(Low- μ , Medium- μ , High- μ , Split- μ), 제동 스케줄, 조향 스케줄 등의 초기 조건을 설정한다.
- (2) 전원을 켜다. 전원은 12V의 자동차용 배터리를 이용하였으며 전원을 켜는 것은 차량의 시동을 거는 것을 모사하는 것이다. ABS ECU는 상품마다 차이가 있으나 기본 진단하는 시간은 3초 내이다.
- (3) 차륜속도 시뮬레이터를 이용하여 차륜속도를 증가시키는데 본 연구에서 사용된 ABS ECU는 차륜속도 6~7km/h에서 모터 전압과 모터펄스 검사를 수행한다. 차량의 속도를 상승시킨 후 일정속도를 유지한다.
- (4) 공압실린더가 마스터 실린더의 압력을 상승시킴으로써 브레이크 밟는 것을 모사한다.
- (5) 압력센서가 4바퀴의 상승된 압력을 측정하고 측정된 압력은 차량동역학 모델에 입력되어 4바퀴의 새로운 차륜속도가 산출된다.
- (6) 산출된 차륜속도는 차륜속도 시뮬레이터를 이용하여 실제자동차의 차륜속도신호와 유사한 형태의 신호로 ABS ECU에 입력되고 ABS ECU는 입력된 신호로부터 ABS 제어를 수행한다.

ABS 시뮬레이션은 (5)~(6)과정을 차속이

0km/h가 될 때까지 반복한다. 또한 차량 동적 거동을 나타내는 변수인 차체속도, 차륜속도, 차륜 실린더의 압력 및 슬립율 등을 그래픽으로 보여주는 차량 디스플레이는 실시간으로 출력되고 각 변수 값들은 컴퓨터에 저장된다.

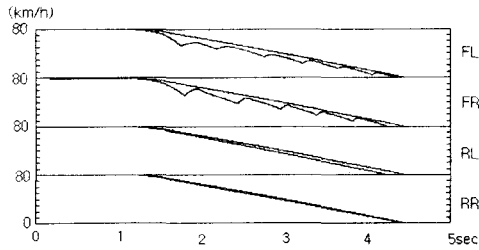
3.2 ABS 시뮬레이션

실제 차량의 상용 ECU를 이용하여 실시간 ABS 시뮬레이션을 수행하였다. 노면을 고마찰노면, 저마찰노면 및 비대칭노면(Split- μ)으로 설정하고 각 노면에서의 제동 개시 차체속도를 80km/h로 유지한 후 실행하였다.

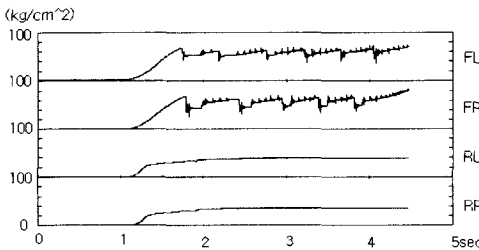
Fig.3은 ABS 시뮬레이션 결과로써 고마찰노면의 경우 80km/h에서 제동한 결과이다. Fig.3(a)는 후륜우측, 후륜좌측, 전륜우측, 전륜좌측의 차륜속도와 차체속도를 나타낸 것이며, Fig.3(b)는 각 차륜실린더 압력을 나타낸 것이다. 또한 Fig.3(c)는 각 차륜의 슬립율을 나타낸 것이다.

차륜 속도가 80km/h를 유지하다 1초후에 제동을 시작하여 차륜 실린더 압력이 증가하자 차륜속도가 급격히 낮아지며 ECU는 감압을 수행하고 있다. 압력의 감압기울기는 급격하며 일정 압력을 유지한 후에 다시 증압을 수행하였다. 증압의 형태는 계단식이었고 제어를 수행하면서 전륜의 압력은 40~60kg/mm²에서 유지되었고 후륜의 압력은 30~45kg/mm²에서 유지되었다. 전체 제동시간은 압력이 증압 되는 시점에서부터 차륜속도가 0km/h가 되는 시점까지 3.2초였다. 차체속도가 10km/h 부근에 도달하였을 때 압력을 증가시켜 슬립율이 크게 증가되는데 본 연구에서 사용한 ECU는 10km/h 이하에서 ABS 제어를 수행하지 않고 무조건 증압 하여 차체속도를 0km/h로 되도록 하는 것이 확인되었다.

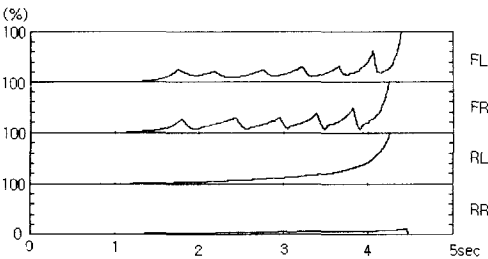
우측차륜의 노면은 저마찰 노면이고 좌측차륜의 노면은 고마찰노면인 비대칭노면의 경우, 80km/h에서 제동한 결과를 Fig.4에 나타내었다. 실험결과로부터 제어방식이 전륜의 경우 독립제어이고 후륜의 경우 select-low 방식임을 확인할 수 있었다. 차륜 실린더 압력곡선에서 전륜의 압력은 각각 독립적으로 증감압되고 있으나 후륜의 압력은 저마찰노면의 압력을 기준으로 동일하게 증감압 되었다.



(a) Velocity

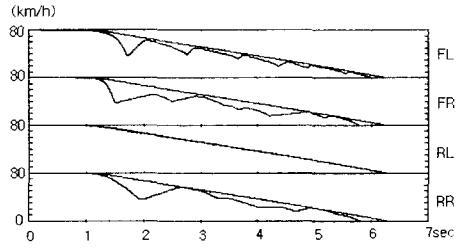


(b) Pressure

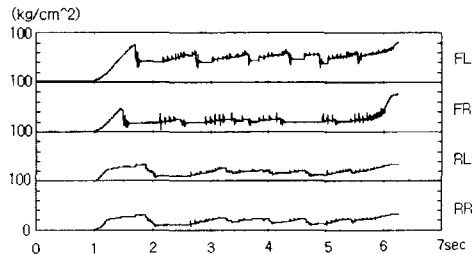


(c) Slip ratio

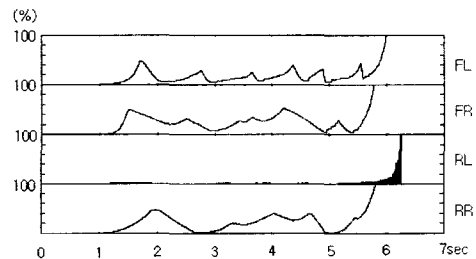
Fig. 3 Test result of ABS simulation (High - μ)



(a) Velocity



(b) Pressure



(c) Slip ratio

Fig. 4 Test result of ABS simulation (split - μ)

3.3 TCS 시뮬레이션 방법

TCS 시뮬레이션의 과정을 서술하면 다음과 같다.

- (1) 노면 조건(균일 노면, 불균일 노면), 가속 스케줄, 조향 스케줄 등의 초기조건을 설정한다.
- (2) 전원을 켜다. 이 역시 ABS 시뮬레이션과 마찬가지로 차량의 시동을 모사하는 것이다.
- (3) 초기 조건으로부터 변환된 엔진 회전수와 메인 스로틀 밸브 개폐각, 차륜 속도 등이 A/D 변환 모듈과 차륜속도 시뮬레이터로부터 TCS ECU 에 입력된다.
- (4) 입력 신호를 바탕으로 TCS ECU 가 보조

스로틀 밸브를 작동하며, 이 때의 보조 스로틀 밸브 개폐각이 엔진 모델에 입력된다.

- (5) 엔진 모델에서는 보조 스로틀 개폐에 따른 새로운 엔진 상태가 계산되어 차량동역학 모델에 입력되고, 그에 따른 새로운 차륜 속도가 산출된다.
- (6) 산출된 차륜 속도는 차륜속도 시뮬레이터를 이용하여 TCS ECU 에 입력되고, 엔진 모델에 의해 산출된 엔진 회전수도 TCS ECU 에 입력된다. 입력된 신호를 바탕으로 TCS 제어를 수행한다.

TCS 시뮬레이션은 (4)~(6)과정을 엔진 회전수가 6500rpm 이 될 때까지 반복한다. 이 경우에도 차량 동적 거동을 나타내는 변수인 차체속도, 차

륜속도, 메인 스로틀과 보조 스로틀 개폐각 및 슬립율과 엔진 회전수를 그래픽으로 보여주는 차량 디스플레이가 실시간으로 출력되고 각 변수 값들은 컴퓨터에 저장된다.

3.4 TCS 시뮬레이션

실제 차량의 상용 ECU를 이용하여 실시간 TCS 시뮬레이션을 수행하였다. 노면을 균일 노면과 불균일 노면으로 설정하고 각 노면에서 메인 스로틀 밸브를 완전 열림 상태로 유지한 후 가속하였다. 균일 노면의 경우는 네 차륜이 놓여 있는 노면의 마찰계수가 모두 같은 경우이고, 불균일 노면의 경우는 같지 않은 경우이다.

Fig.5는 균일 노면에 대한 TCS 시뮬레이션 결과로써 저마찰 노면위에서 차량이 출발하는 경우이다. Fig.5(a)는 차량의 속도와 구동륜의 속도를 차량속도로 변환하여 함께 나타낸 것이며, Fig.5(b)는 이때의 보조 스로틀 밸브의 개폐각을 나타낸 것이다. 가속후 구동륜과 차량의 속도차가 크게 발생하며, 출발 1초후에 보조 스로틀 밸브가 제어됨에 따라 구동륜과 차량의 속도차가 줄어들어 적절한 슬립영역에서 TCS 제어가 이루어지게 된다.

Fig.6은 불균일 노면에 대한 TCS 시뮬레이션 결과로써 차량의 좌측은 고마찰 노면위에, 차량의 우측은 저마찰 노면위에 있는 우측 구동륜이 차량과 큰 속도차를 보이거나 고마찰 노면위

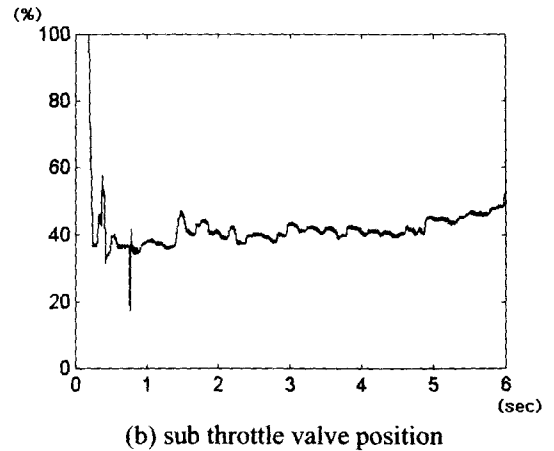
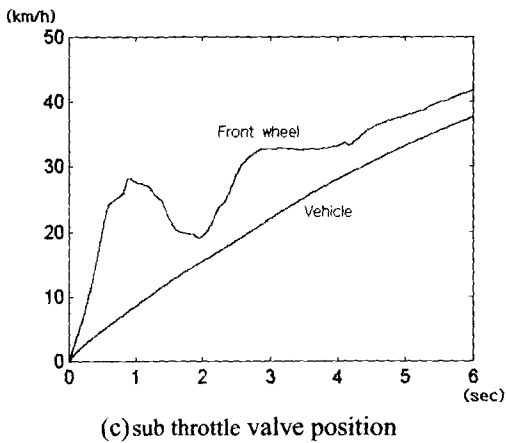
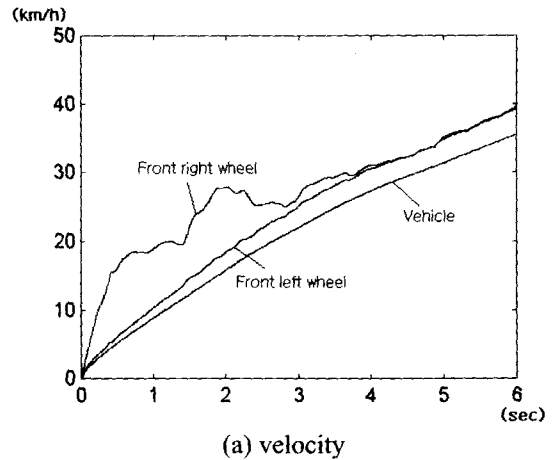
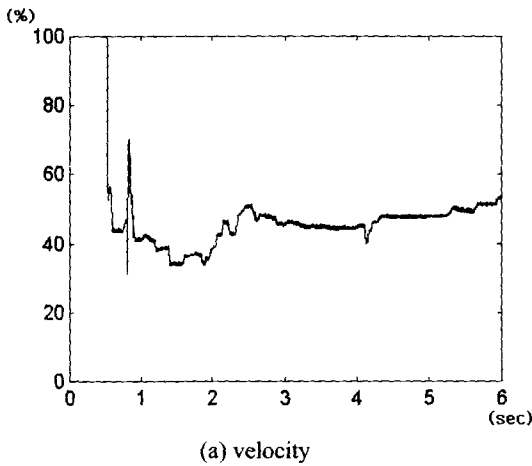


Fig. 5 Test result of TCS simulation uniform road condition (low- μ)

Fig. 6 Test result of TCS simulation irregular road condition (split- μ)

에 있는 좌측 구동륜은 적절한 슬립율을 가지고 차량 가속을 이루고 있다. 엔진의 흡입공기량을 조절하는 TCS의 경우 차량의 조향 안정성을 위하여 좌우의 구동력을 동등하게 만드는 제어 경향을 보이며, 그에 따라 출발 후 4 초에는 구동륜 좌우의 속도가 거의 같게 된다. 이는 조향 안정성을 위하여 고마찰 노면에서 발생하는 여분의 구동력을 저마찰 노면에 맞추어 포기하는 것이며, 브레이크 제어 방식의 TCS를 혼합하여 사용할 경우 고마찰 노면의 여분 구동력을 활용할 수 있을 것으로 보인다.

4. 결론

최근 들어 차량 성능의 최적화를 위해 슈퍼컴과 마이크로 프로세서를 이용한 다양한 차량시뮬레이션 방법이 개발되고 있다. 본 연구에서는 개인용 컴퓨터를 이용하여 경제적인 규모로 차량 안전장치인 ABS와 TCS에 대한 실시간 시뮬레이션이 가능하도록 하였으며, 개발된 ABS/TCS 시뮬레이터는 실시간 시뮬레이션방법의 하나인 HIL 방법을 이용하였다. 개발된 시뮬레이터는 제어

로직의 개발과 진단 로직의 개발에 유용하게 사용될 수 있으며, 향후 차량동역학 모델과 하드웨어의 보완을 통하여 VDC(vehicle dynamic control)와 같은 첨단 차량 제어 시스템 개발에도 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 논문은 한국과학재단 산하 성균관대학교 산업설비 안전성평가 연구센터의 연구비지원으로 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Deborah Kempf, Loren Bonderson, Leren Slafer, "Real Time Simulation for Application to ABS Development," SAE paper 870336, 1987.
2. Helmut Fennel, Sascha Mahr, Rüdiger Schleysing, "Transputer-Based Real-Time Simulation - A High Performance Tool for ABS and TCS Development," SAE paper 920643, 1992.
3. Ulrich Sailer, Ulf Essers, "Real-Time Simulation of Trucks for Hardware-in-the-Loop Applications," SAE paper 942297, 1994.
4. Th.Bach, "Echtzeitsimulation in der Fahrzeug-ABS-Entwicklung auf Personal Computer Basis," VDI 6th International Congress 'Measurement and Testing Techniques in the Automotive Industry', 1992.
5. 김태기, "VDC 장착 차량의 거동 특성에 관한 연구," 성균관대학교 석사학위 논문, pp. 22-32, 1997.
6. H.Dugoff, P.S.Fancher, L.Segel, "An Analysis of Tire Traction Properties and Their Influence on Vehicle Dynamic Performance," SAE paper 700377, 1970.