

TCS를 위한 HIL 시뮬레이터 개발에 관한 연구

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

서명원*, 이한주**, 박윤기***
Myungwon Suh, Hanju Lee, Yoonki Park

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 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 TCS were performed successfully. The simulator of this research can be applied to development of more advanced control systems(such as vehicle dynamics control system) and other automotive systems.

주요기술용어 : Traction control system(TCS), Antilock brake system(ABS), Hardware-in-the-loop(HIL), Real time simulator(실시간 시뮬레이터), ECU(전자 제어장치)

1. 서론

자동차의 증가와 더불어 급증하고 있는 교통사고는 국내는 물론 해외의 자동차 선진국에도 커다란 사회문제를 야기하고 있고, 이에 대응하는 안전기술은 자동차 연구 개발에 핵심기술로 부각되고 있다(1). 70년대 이후 급속한 전자제어 기술의 발달과

더불어 개발된 ABS(anti-lock brake system)와 TCS(traction control system) 등은 대표적인 안전 기술의 한 예이다.

ABS는 주행 중인 차량이 급제동하거나 눈길 등의 노면 악조건 상태에서의 제동시 발생하는 차량의 운전 불능 상태를 미연에 방지하여 최적의 제동상태를 유지하게 하는 차량 안전 장치이며, TCS는 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 상

* 정희원, 성균관대학교 기계공학부

** 성균관대학교 대학원

*** 정희원, 성균관대학교 대학원

태 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.

기존의 소프트웨어 시뮬레이션 알고리즘에서 비선형성이 심하거나 해석하기 어려운 부분을 실제 하드웨어로 대체하여 시뮬레이션을 수행하는 HIL 방법을 복잡한 시스템 제어인자의 조절과 다양한 노면조건이나 환경을 조성해야 하는 TCS 시뮬레이션에 적용하면, 실제상황과 유사한 실험을 수행함으로써 실차 시험횟수를 줄일 수 있고 균일한 조건의 반복실험을 가능하게 하여 시험의 질을 대폭 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

TCS는 이미 많은 승용차에 장착되어 실용화된 상태이다. 좀더 향상된 시스템 개발을 위해서 많은 연구가 수행되고 있으며 (2)(3)(4)(5), 이러한 연구 과정에서 실시간 HIL 시뮬레이션 방법이 사용되고 있다. 차량 안전장치 중 ABS 개발에 실시간 HIL 시뮬레이션이 많이 사용되어 왔으며, 국내의 연구를 살펴보면, 서명원(6) 등은 PC를 기본으로 한 ABS HIL 시뮬레이터를 개발하고, 이지선(7) 등은 DSP보드를 사용한 ABS HIL 시뮬레이터를 개발하였으며, 송재복(8) 등은 엔진 및 자동변속기, 스톱 밸브 구동부를 하드웨어로 사용하여 TCS의 HIL을 구현한 바 있다. 국외의 경우, Deborah(9) 등은 DEC VAX station II에 5 자유도의 차량모델을 이용한 실시간 시뮬레이터를 개발하였고, Helmut(10) 등은 VAX 컴퓨터보다 훨씬 작은 크기의 컴퓨터인 트랜스퓨터를 이용하여 실시간 시뮬레

이터를 개발하였다. 또한, Sailer와 Essers(11)는 트랜스퓨터를 이용하여 3차원 동역학 비선형 해석을 할 수 있는 실시간 시뮬레이터를 개발하였으며, Bach(12)는 PC를 이용하여 ABS 시뮬레이터를 개발하였다. 비전문가도 사용하기 쉽고, 실험장치의 이동성이 우수하며, 실험자에게 익숙한 그래픽 환경과 OS를 조성하여 보다 사용자 편의성이 향상된 시스템도 Michaels(13)에 의해 발표되었다.

본 연구에서는 TCS를 위한 시뮬레이터를 개발하고자 한다. PC를 기반으로 하여 TCS 구성품만의 시뮬레이션을 위한 시뮬레이터 I 과 TCS와 차량과 엔진의 관계를 고려하여 HIL방법을 사용한 시뮬레이터 II를 개발하고자 한다. 시뮬레이터 I 은 TCS 구성품의 성능 분석을 목표로 하고, 시뮬레이터 II는 차량 타이어 및 엔진의 해석 모델을 바탕으로 실제 차량의 스톱 밸브 등을 서브루틴으로 한 실시간 시뮬레이션을 수행하여, ECU 및 각 구성품의 차량 상태에서의 성능 분석을 목표로 한다. 개발된 시뮬레이터는 향후 TCS 개발시의 육성 Tool로 사용할 수 있도록 한다.

Fig. 1에는 완성된 시뮬레이터의 모습이 나타나 있다.

2. 시뮬레이터 I: 단품 분석용 시뮬레이터

TCS HIL 시뮬레이터 구성에 앞서 TCS 구성품의 성능을 분석할 수 있는 단품 분석용 시뮬레이터를 구성하였다. 특히 TCS 구성품 중에서는 TCS ECU와 보조 스톱 밸브가 TCS의 성능을 좌우하기 때문에 이들의 성능을 중점적으로 분석하였다. 단품 분석용 시뮬레이터의 구성도가 Fig. 2에 나타나 있으며, 단품 분석용 시뮬레이터는 ABS ECU, TCS ECU, 주 스톱 밸브 센서, 보조

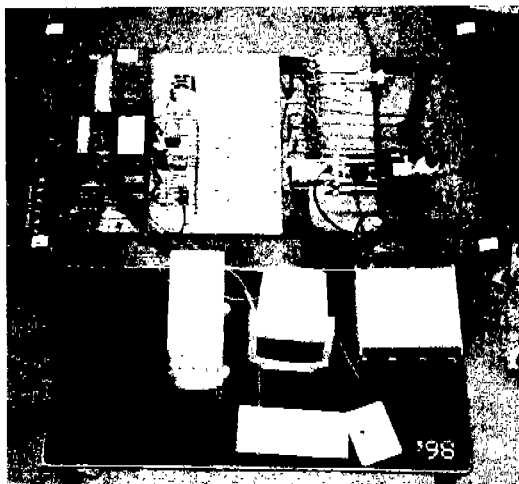


Fig.1 TCS HIL Simulator

스로틀 밸브 어셈블리, 신호처리 장치, 차륜 속도 시뮬레이터, 운영 프로그램, 데이터 저장 프로그램 등으로 구성되어 있다. 각 구성품들의 기능은 시뮬레이터Ⅱ인 TCS HIL 시뮬레이터의 구성에서 자세히 서술하고, 본 장에서는 단품 분석용 시뮬레이터의 구성 원리에 대하여 서술하고자 한다.

단품 분석을 위한 시뮬레이터의 기본 구성원리는 다음과 같다. 실험자가 임의로 TCS ECU에 차륜속도신호와 엔진 회전수 신호, 그리고 주 스로틀 밸브 신호를 입력하여, 그 때의 TCS 제어반응을 분석하는 것이다. 먼저 실험자가 운전조건과 노면조건을 고려하여 각 차륜속도와 엔진회전수, 주 스로틀 밸브 개도 신호를 결정하면, PC 내의 운영 프로그램으로부터 TCS ECU에 차륜 속도 신호와 엔진 회전수 신호, 주 스로틀 개도 신호가 입력된다. 이 때 차륜속도 신호는 차륜 속도 시뮬레이터로부터 차륜속도 가감에 따라 전압과 주파수가 변화하는 정현파로 출력되어 ABS ECU를 거쳐 TCS ECU에 입력된다. 엔진회전수는 엔진 회전수의 가감에 따라 주파수가 변화하는 구형파로 A/D변환기를 거쳐 TCS ECU에

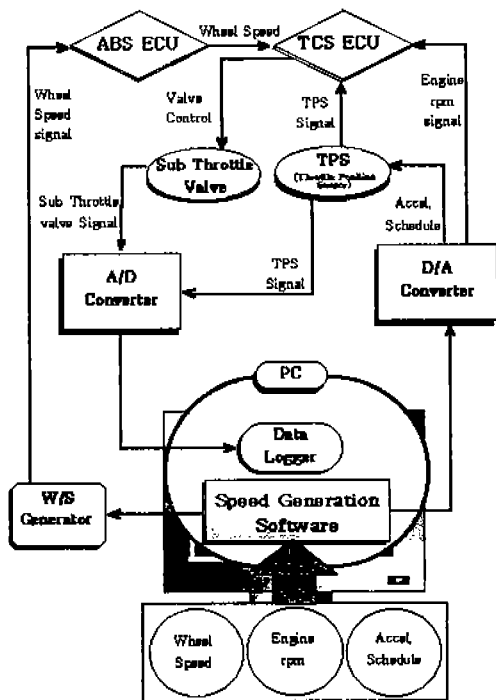


Fig 2. Configuration of Simulator I : Component Simulator

입력된다. 주 스로틀 밸브 개도 신호는 실제 주 스로틀 밸브 센서를 통하여 주 스로틀 밸브의 개도에 따라 0~5V의 전압이 TCS ECU에 입력된다. 본 논문에서는 주 스로틀을 wide open 상태로 고정시켰다. TCS ECU는 세 입력신호를 바탕으로 보조 스로틀 밸브를 제어하게 되며, 이 때의 보조 스로틀 밸브 개도 신호를 컴퓨터에 저장하여 TCS 성능 분석에 사용한다.

3. 시뮬레이터 I 의 실행 : 단품 분석을 위한 시뮬레이션

단품 분석용 시뮬레이터를 구성한 후, TCS 구성품들의 성능 분석을 위한 시뮬레이션을 수행하였다.

3.1 단품 분석 시뮬레이션 방법

TCS의 성능분석은 차량이 출발, 주행, 선회하는 상황을 모사하여 그에 맞는 신호를 TCS ECU에 입력하여 수행하였다. 또한, 엔진 회전수의 영향과 차량 가속 시간의 차이에 대한 영향도 분석하였다. 본 시뮬레이터의 경우 전륜을 구동륜으로 하였으며, 차량의 속도를 나타내는 비구동륜을 후륜으로 하였다. 먼저 차량의 출발시는 차량이 정지한 상태에서 가속하여 전륜과 후륜에 속도차가 발생하는 경우이고, 차량 주행시는 차량이 일정속도로 주행하다가 가속하여 전륜과 후륜에 속도차가 발생하는 경우이다. 차량 선회시는 주행 중인 차량이 전륜조향각 $1^{\circ} \sim 39^{\circ}$ 로 선회하는 경우이다. 엔진회전수의 영향은 차륜의 속도변화 없이 엔진 출력만 변화시킨 경우이고, 차량 가속 시간의 영향은 차량 가속 시간을 변화시켜 가며 그 때의 TCS ECU 반응을 분석한 경우이다.

3.2 단품 분석 시뮬레이션 결과

차량 출발시의 경우 전륜과 후륜의 속도차가 약 21km/h가 되었을 때 보조스로틀 밸브가 작동하였다. Fig. 3은 전륜의 속도를 0 → 50km/h, 후륜의 속도를 0 → 5km/h로 결정하여 차륜속도 시뮬레이터로 생성하여 TCS ECU에 입력하였을 때, 입력신호와 그 때의 보조스로틀 밸브 작동 경향을 나타낸 그림이다. 위 그림은 ECU에 입력되는 전륜과 후륜의 차륜속도 신호를 나타낸 것이고, 아래 그림은 보조스로틀 밸브의 개도 신호를 나타낸 그림이다. 차륜속도 신호는 속도가 증가함에 따라 진폭과 주파수가 동시에 증가하는 신호이며, 보조스로틀 밸브 신호는 완전히 열렸을 때 4.2V의 신호를 출력하고, 완전히 닫혔을 때는 0.8V의 신호를 출력하는 신호이다. 이 경우에는 전륜이 약 24.5km/h가 되었을 때, 전륜과 후륜은 약 21km/h의 속도차가 발생하고 이 순간 보조스로틀 밸브가 닫혀 TCS 제어가 이루어진다.

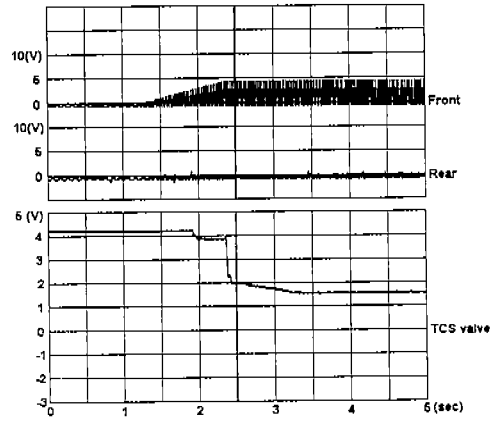


Fig. 3 Simulation Result of Simulation I
: ECU TEST (starting)

차량 주행시의 경우 정속 주행 중인 차량이 차량속도와 엔진회전수의 변화에 따라 TCS제어가 이루어지기 위한 전륜과 후륜의 임계 속도차를 분석하였는데, 그 결과가 Fig. 4에 나타나 있다. 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80km/h에 대하여 각각 엔진 회전수를 1000~6000rpm까지 1000rpm씩 증가하며 시뮬레이션을 한 결과, 차량의 속도가 커짐에 따라 전륜과 후륜 사이의 속도차가 현저히 작아지는 경향을 보이며, 엔진회전수의 영향도 작아진다. 저속인 10km/h의 차량 속도에서는 전륜과 후륜의 TCS 작동 임계 속도차가 약 25km/h 정도였으나, 80km/h의 고속의 경우에는 약 5km/h 전후의 값을 나타내었다. 또, 20km/h에서의 엔진회전수에 의한 전륜과 후륜 사이의 작동 임계 속도차 분포는 80km/h일 때의 2.9km/h에 비해 15.6km/h의 차이를 보여 저속영역에서의 엔진회전수의 영향이 크게 나타났다. 차량선회시는 TCS ECU가 후륜의 좌우차륜 속도차로 차량의 선회 정도를 판단하기 때문에, 후륜의 좌우차륜에 전륜조향에 맞는 속도차를 입력하여 TCS ECU로 하여금 차량이 선회하고 있다고 판단하

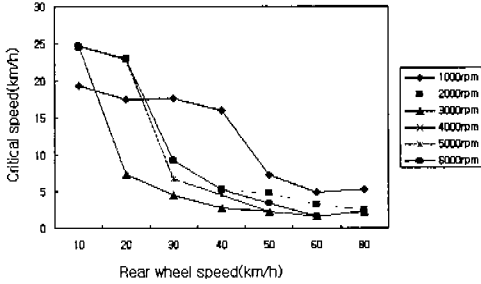


Fig 4. Simulation Result of Simulation I : ECU Test (constant speed)

게 하였다. 10km/h와 20km/h의 경우는 최대 전륜조향인 39° 를 입력하여도 TCS가 작동하지 않았으며, 30km/h의 경우는 전륜조향이 30.26° 이상이 될 때 TCS가 작동하였다. 40km/h의 경우는 19.3°, 60km/h의 경우는 8.12°, 80km/h의 경우는 6.58° 이상의 전륜조향이 있을 때 TCS가 작동하였다.

본 시뮬레이터에 사용된 TCS는 차량의 속도가 3.5km/h가 안 되는 경우에는 작동하지 않았다. 이러한 현상은 저속의 차량 상태에서 엔진의 흡입공기량을 줄일 경우, 시동이 꺼지는 수가 있기 때문에 저속의 경우 슬립율보다는 차량 상태에 더 중점을 두고 제어하는 것으로 판단된다.

엔진회전수의 영향을 분석한 결과, 엔진회전수의 변화에 따라 TCS의 작동 한계에 영향을 미치긴 했으나 그 변화가 미미하였다.

차량 가속시간의 영향 분석 결과, 차량 가속시간 변화는 TCS 작동에 아무런 영향을 미치지 못하였다.

4. 시뮬레이터 II : TCS HIL 시뮬레이터

단품 분석용 시뮬레이터를 구성하여

TCS 구성품의 성능을 분석한 후, 이를 바탕으로 하여 실제 TCS 장착 차량을 모사한 TCS HIL 시뮬레이터를 구성하였다. 실제 차량을 모사하기 위해서 시뮬레이터는 기본적으로 소프트웨어 루프에 하드웨어를 추가하여 하나의 완성된 루프를 이루게 하는 HIL 방법을 적용하였으며, Fig. 5에 TCS HIL 시뮬레이터의 구성도가 나타나 있다. 시뮬레이터는 크게 하드웨어부와 소프트웨어부 및 하드웨어부와 소프트웨어부 사이의 입출력부로 나눌 수 있다. 하드웨어부는 ABS ECU(electronic control unit), TCS ECU, 보조 스톱 밸브 어셈블리, 신호처리장치, 차륜속도 시뮬레이터(wheel speed simulator), 디스플레이 장치(display unit) 등으로 구성된다. ABS ECU가 필요한 이유는 본 시뮬레이터에서 TCS ECU가 ABS ECU를 통과한 속도신호를 입력받기 때문이다. 따라서 ABS ECU는 제어로직으로서의 기능이 아니라 단순히 속도신호 전달 기능으로만 시뮬레이터에 사용되고 있다. 소프트웨어부는 차량동역학 모델과 엔진 모델, 그리고 다양한 시나리오를 포함하고 있는 가속 스케줄, 스티어링 스케줄, 노면 조건 등으로 구성된다. 입출력부는 하드웨어부와 소프트웨어부를 연결시켜 주는 A/D(Analog/Digital) 변환기와 D/A(Digital/Analog) 변환기로 구성된다.

본 장에서는 시뮬레이터의 구성을 각 구성품 별로 설명하고, 그 구성 원리에 대해서술하고자 한다.

4.1 하드웨어부

TCS 시뮬레이터의 하드웨어부는 ABS ECU, TCS ECU, 보조스톱 밸브 어셈블리, 신호처리 장치, 차륜속도 시뮬레이터, 디스플레이 장치 등으로 구성된다. ABS ECU, TCS ECU, 보조스톱 밸브 어셈블리는 2000cc급 승용차의 부품을 사용하였

Hardware Part

Software Part

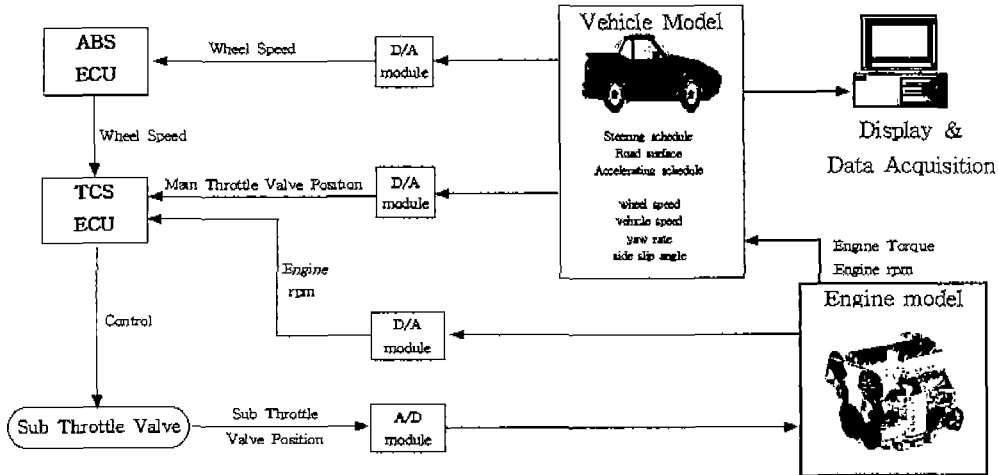


Fig. 5 Configuration of Simulator II : TCS HIL Simulator

다.

(1) ABS ECU

시뮬레이터는 차량모델에 의하여 계산된 차륜속도를 차륜속도 시뮬레이터로 모사하여 실제 차량의 차륜속도 센서 신호의 형태로 ABS ECU에 입력하고, ABS ECU는 이 속도 신호를 구형파의 형태로 TCS ECU에 전달하는 기능을 하고 있다.

(2) TCS ECU

본 시뮬레이터는 상용 TCS ECU를 사용하여 입력신호들인 각 차륜속도 신호, 주 스톱롤과 보조 스톱롤 밸브 신호, 엔진 회전수 등을 바탕으로 TCS 제어를 수행한다. 또한 ECU는 안전 장치 특성상 초기진단 로직과 운전 중 진단로직 등 여러 가지 진단 로직을 포함하고 있어, 차량의 정상작동 여부를 수시로 진단하는 기능도 하고 있다.

(3) 보조 스톱롤 밸브 어셈블리

흡입 공기량을 제어하는 TCS의 경우 운전자의 가속 의지와 독립적으로 흡입 공기

량을 조절할 필요성이 있는데, 주 스톱롤 밸브와 보조 스톱롤 밸브가 직렬로 연결된 구조의 시스템을 사용하면 가능하다. 보조 스톱롤 밸브 어셈블리는 TCS ECU에 의해 제어되어 노면조건에 일치하는 최적의 구동력을 낼 수 있도록 엔진의 흡입 공기량을 조절한다.

(4) 신호처리 장치

신호처리 장치는 A/D 변환기와 D/A 변환기를 나타낸다. 보조스톱롤 밸브의 개도 신호는 닫혔을 때 0.8V에서 열렸을 때 4.2V까지의 전압으로 출력되는데, 이 신호는 A/D 변환기를 통하여 디지털 신호로 PC에 입력한다. 엔진회전수 신호는 PC에서 연산된 값이 D/A 변환기를 통하여 엔진회전수에 따라 주파수가 변화하는 형태의 아날로그 신호로 TCS ECU에 입력된다. 주 스톱롤 밸브 개도 신호는 PC에서의 값이 D/A변환기를 통하여 0~5V의 전압신호로 변환되어 TCS ECU에 입력된다.

(5) 차륜속도 시뮬레이터

차륜속도 시뮬레이터는 소프트웨어에 의해 제어되는 하드웨어 보드로서 4개 차륜의 속도를 실험자가 원하는 대로 ABS ECU에 입력할 수 있도록 고안하였다. 차륜속도 시뮬레이터는 ABS ECU의 고장진단을 고려하여 출력저항을 임의로 변환할 수 있도록 가변저항을 포함하고 있으며, 시간에 따라 주파수와 진폭을 동시에 프로그래밍할 수 있도록 설계되었다. 차륜속도 시뮬레이터는 차량의 동역학 모델에서 계산된 차륜속도를 아나로그 신호로 변환하여 ABS ECU에 입력하는 역할을 한다. ABS ECU에 입력된 차륜속도 신호는 구형파의 형태로 TCS ECU에 입력되어, TCS 제어시 차량 상태 판단에 이용된다.

(6) 디스플레이 장치

디스플레이 장치는 입·출력 변수를 그래프로 나타낸다. Fig. 6는 입·출력 변수를 나타내는 그래프로써 TCS 시뮬레이션의 수행과 함께 실시간으로 출력되어 실험자가 실시간으로 데이터를 확인할 수 있다. 데이터 화면은 4개의 그래프로 구성되는데, 왼쪽 상단의 그래프로부터 시계방향으로 차체속도와 각 차륜의 속도를 나타내는 그래프, 주 스톱들과 보조 스톱들의 개도를 나타내는 그래프, 엔진 회전수를 나타내는

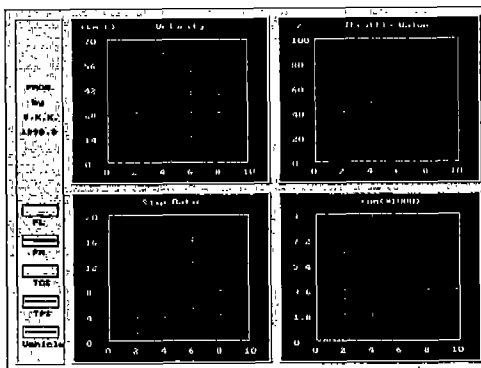


Fig. 6 Display of Simulator II

그래프, 그리고 각 차륜의 슬립율을 나타내는 그래프가 그것이다.

4.2 소프트웨어부

TCS 시뮬레이터의 소프트웨어부는 운전 조건 데이터, 차량과 엔진 모델 및 입력력 데이터로 구성된다.

(1) 가속 스케줄

가속 스케줄은 운전자가 차량의 시동을 걸고 정지 상태에서 가속 페달을 밟아 주 스톱을 밸브가 열려 엔진 출력이 증가하는 과정을 모사하는 것이다.

(2) 스티어링 스케줄

스티어링 스케줄은 차량이 곡선 주행로를 선회할 때 핸들을 돌리거나 주행 도중 차량이 원하지 않는 방향으로 회전을 할 때 운전자의 반응을 모사하는 것이다.

(3) 노면 조건

노면 조건은 아스팔트길, 빗길, 눈길 등의 노면을 타이어와 노면 사이의 마찰계수를 이용하여 모사한다. 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)이다.

(4) 차량동역학 모델

차량의 동특성을 해석하기 위해 김태기(14)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 가속시 전륜과 후륜에 걸리는 하중이동과 스티어링시에 발생하는 좌우의 하중이동을 고려하였으며, 현가계는 고려하지 않았다. 종방향 운동은 타이어에서 발생하는 차체의 종방향 힘성분과 공기 저항력을 이용하여 계산하였고, 횡방향 운동은 타이어에서 발생하는 차체의 횡방향

힘성분과 공기저항력을 이용하여 계산하였다. 요잉 운동은 질량관성모멘트, 종방향 성분의 힘 및 횡방향 성분의 힘의 평형 관계로부터 차체의 무게중심에서 발생하는 모멘트를 이용하여 산출하였다. 타이어모델은 차량의 비선형성을 증가시키는 가장 중요한 인자들 중 하나인데, 본 연구에서는 타이어와 노면사이의 마찰력을 슬립율과 슬립각으로 표현하는 Dugoff(15)의 모델을 이용하였다.

차량 동역학 모델에서는 가속시의 엔진 출력을 입력받아 차량의 동역학적 변화를 연산하여 최종 각 차륜의 속도를 ABS ECU에 입력하도록 구성되어 있다. 엔진모델에서 엔진의 회전수와 토크가 계산되고, 변속기의 1단 기어에 대한 토크변화가 이루어지며, 타이어모델에서의 계산 결과에 따라 차량 가속 능력이 결정된다. 차량 가속 능력은 차량 동역학 연산 과정을 통하여 각 차륜의 속도로 변환되고, 각 차륜의 속도에 의해 차량의 동역학적 변화가 결정된다.

(5) 엔진 모델

흡입공기량에 따른 엔진의 출력상태를 결정하기 위해 실차의 엔진 맵을 사용하여 엔진 모델을 구성하였으며, 사용된 엔진 모델은 Fig. 7과 같다. 엔진 모델에 스로틀

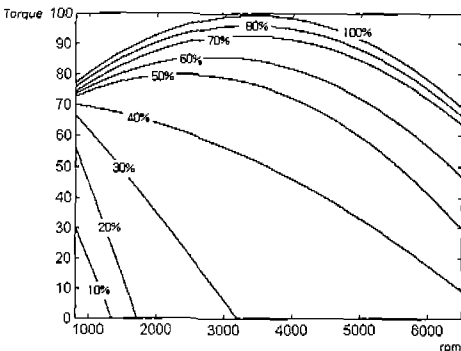


Fig. 7 Engine Map

밸브 작동시점과 실제 엔진 토크의 변화시점간의 시간지연은 고려하지 않았다. 주 스로틀 밸브는 wide open 상태로 고정시켰으므로 엔진에 흡기되는 공기량은 보조 스로틀 밸브의 개도에 따라 엔진 회전수와 엔진 토크가 변화하도록 구성하였으며, 엔진 모델을 통해 얻어진 데이터는 차량 동역학 모델에 입력되어 차량의 동역학적 변화를 연산할 수 있도록 하였다.

4.3 시뮬레이터의 구성원리

TCS 시뮬레이터의 구성 원리는 다음과 같다. 실험자가 운전조건과 노면조건 등의 초기조건을 설정하고 시뮬레이터를 작동시키면, 가속 스케줄에 의한 주 스로틀 밸브 신호가 차량동역학 모델과 TCS ECU에 입력되어 차량 가속이 시작된다. 차량의 상태는 차륜속도 신호로 ABS ECU에 입력되며, ABS ECU는 입력된 차륜 속도 신호를 TCS ECU에 전달한다. 또한, 그 때의 엔진 회전수 신호와 주 스로틀 밸브 신호가 TCS ECU에 입력된다. TCS ECU는 입력된 차륜 속도 신호, 엔진 회전수 신호, 주 스로틀 밸브 신호를 바탕으로 적절한 제어 판단을 하여 보조 스로틀 밸브의 개도를 제어한다. 이 때의 밸브 개폐 정도를 엔진 모델에 입력하여 새로운 엔진 출력 연산이 이루어진다. 연산된 엔진 출력 데이터는 차량동역학 모델에 입력되어 새로운 차량 상태가 차륜 속도 신호로 생성된다. 이 새로운 차륜 속도 신호와 엔진 출력 데이터가 TCS ECU에 다시 입력되어 보조 스로틀 밸브의 제어가 이루어지는 과정이 반복 수행됨으로써 TCS 시뮬레이션이 이루어진다.

5. 시뮬레이터 II의 실행 : TCS HIL 시뮬레이션

실시간 TCS 시뮬레이션은 586급 컴퓨터 이상의 기종에서 실시간 시뮬레이션이 가

능한 것으로 분석되어 586급 컴퓨터를 사용하였다. 실시간 시뮬레이션을 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. 486급 컴퓨터에서 차량동역학 해석과 입출력 장치를 구동하는 데 소요되는 주기는 25ms였으므로 상용 ECU의 내부 로직 순환 주기보다 길지만, 586급 컴퓨터에서의 순환주기는 2ms로써 상용 ECU의 순환 주기보다 짧으므로 586급 컴퓨터로 실시간 시뮬레이션을 수행하였다.

5.1 TCS HIL 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. 전원은 12V의 자동차용 배터리를 이용하였으며, 이는 차량의 시동을 모사하는 것이다.

(3) 초기 조건으로부터 변환된 엔진 회전수와 주 스토틀 밸브 개폐각, 차륜 속도 등을 A/D 변환 모듈과 차륜속도 시뮬레이터로부터 TCS ECU에 입력한다. 이 때, 차륜속도는 ABS ECU를 거쳐 입력된다.

(4) 입력 신호로부터 TCS ECU는 보조 스토틀 밸브를 제어하며, 이 때의 보조 스토틀 밸브 개도가 엔진 모델에 입력된다.

(5) 엔진 모델에서는 보조 스토틀 밸브 개도에 따른 새로운 엔진 상태가 산출되며, 산출 결과인 엔진 출력 데이터는 차량동역학 모델에 입력되어 새로운 차륜 속도를 산출된다.

(6) 산출된 차륜 속도는 차륜속도 시뮬레이터를 통하여 실제 차량의 차륜속도신호

와 유사한 형태의 신호로 TCS ECU에 입력되고, 엔진 모델에 의해 산출된 엔진 회전수도 TCS ECU에 입력된다. 입력된 신호를 바탕으로 TCS 제어를 수행된다.

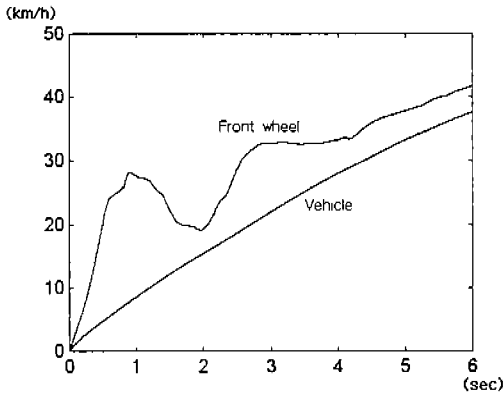
시뮬레이션은 (4)~(6)과정을 엔진 회전수가 6500rpm이 될 때까지 반복한다. 이 때 차량 동적 거동을 나타내는 변수인 차체속도, 차륜속도, 주 스토틀과 보조 스토틀 개도 및 슬립율과 엔진 회전수를 그래픽으로 보여주는 차량 디스플레이가 실시간으로 출력되고, 각 변수 값들은 컴퓨터에 저장된다.

5.2 TCS HIL 시뮬레이션 결과

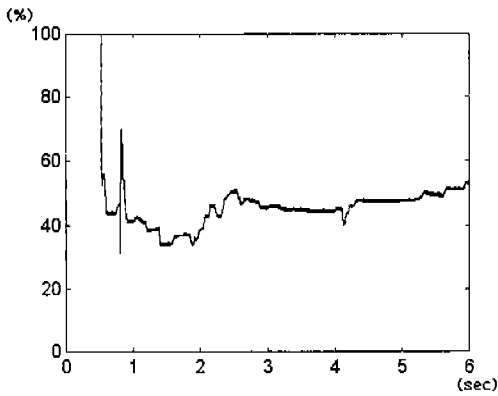
실제 차량의 상용 ECU를 이용하여 실시간 TCS 시뮬레이션을 수행하였다. 노면을 균일 노면과 불균일 노면으로 설정하고 각 노면에서 주 스토틀 밸브를 완전 열림 상태로 유지한 후 가속하였다. 균일 노면의 경우 네 차륜이 놓여 있는 노면의 마찰계수가 모두 같은 경우이고, 불균일 노면의 경우는 같지 않은 경우이다.

Fig. 8은 균일 노면에 대한 TCS 시뮬레이션 결과로서 저마찰 노면 위에서 차량이 출발하는 경우이다. Fig. 8(a)는 차량의 속도와 구동륜의 속도를 차량속도로 변환하여 함께 나타낸 것이며, Fig. 8(b)는 이때의 보조 스토틀 밸브의 개도를 나타낸 것이다. 가속후 구동륜과 차량의 속도차크게 발생하며, 출발 1초 후에 보조 스토틀 밸브의 제어에 따라 구동륜과 차량의 속도차가 줄어들어 적절한 슬립영역에서 TCS 제어가 이루어지게 된다.

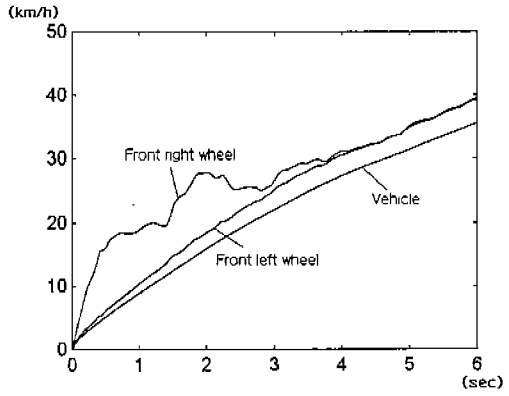
Fig. 9은 불균일 노면에 대한 TCS 시뮬레이션 결과로서 차량의 좌측은 고마찰 노면 위에, 차량의 우측은 저마찰 노면 위에서 차량이 출발하는 경우이다. 출발 후 저마찰 노면 위에 있는 우측 구동륜이 차량과 큰 속도차를 보이나, 고마찰 노면 위에 있는 좌측 구동륜은 적절한 슬립율을 가지



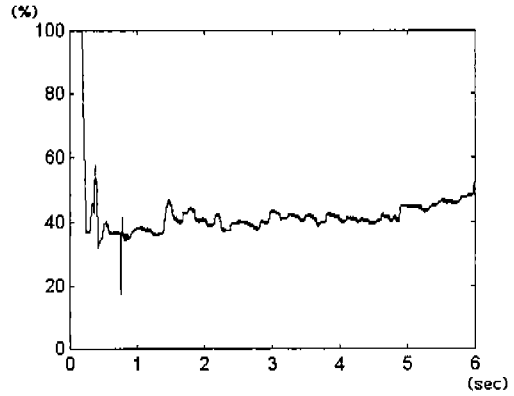
(a) Velocity



(b) sub throttle valve position



(a) Velocity



(b) sub throttle valve position

Fig. 8 Simulator Result of Simulator II
: uniform road condition (low- μ)

Fig. 9 Simulator Result of Simulator II
: irregular road condition (split- μ)

고 차량 가속을 이루고 있다. 엔진의 흡입 공기량을 조절하는 TCS의 경우 차량의 조향 안정성을 위하여 좌우의 구동력을 동등하게 만드는 제어 경향을 보이며, 그에 따라 출발 후 4초에는 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.

Fig. 8과 Fig. 9의 시뮬레이션을 잘 살펴

보면 다음과 같은 차이점을 알 수 있다. Fig. 8 시뮬레이션의 경우와 같이 구동륜이 10km/h일 때, 전륜의 속도가 약 30km/h로 rpm 1000일때의 임계치 시험 결과와 유사함을 알수있으나, Fig. 9의 시뮬레이션 경우와 같이 좌우속도가 다르게 입력될 경우 임계치 시험과 약간 다르게 나타남을 알 수 있다. 이러한 현상은 좌우속도가 다를 때 ECU의 제어는 좌우속도가 같을 때와 다르게 나타남을 알 수 있다.

4. 결 론

최근 들어 차량 성능의 최적화를 위해

슈퍼컴과 마이크로 프로세서를 이용한 다양한 차량시뮬레이션 방법이 개발되고 있다. 본 연구에서는 개인용 컴퓨터를 이용하여 경제적인 규모로 차량 안전장치인 TCS에 대한 실시간 시뮬레이션이 가능하도록 하였으며, 개발된 TCS 시뮬레이터는 실시간 시뮬레이션 방법의 하나인 HIL 방법을 이용하였다. 시뮬레이터 I에서는 TCS 시뮬레이터의 구성품의 성능을 분석할 수 있는 시뮬레이터를 구성하여 TCS 시뮬레이터를 구성하고 있는 구성품, 특히 TCS ECU에 대하여 중점적으로 분석하였다. 시뮬레이터 II에서는 시뮬레이터 I의 분석 결과를 바탕으로 TCS HIL 시뮬레이터를 구성하고 TCS 장착 차량의 주행 성능 분석 시뮬레이션을 수행하여 TCS 장착 차량의 거동 특성 연구와 차량 장착 상태에서의 각 구성품의 특성분석을 수행하였다.

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

후 기

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

참 고 문 헌

1. E. Gohring, "Electronic Traction Control System ASR and its Integration in the Anti-Lock Braking Systems ABS to Form a Safety System "ABS/ASR" for Commercial Vehicles", SAE paper 881137, 1988.
2. Kiyotaka Ise, K. Fujita, Y. Inoue, S. Masutomi, "The "Lexus" Traction Control (TRAC) System", SAE paper 900212, 1990.
3. Erwin Petersen, Karl-Heinz Hesse, Harald Kaess, Klaus Lindemann, "A New ABS with Integral Automatic Traction Control for Air-Braked Trucks and Buses", SAE paper 902210, 1990.
4. Toru Iwata, Terukiyo Murakami, Minoru Tamura, "Development and Analysis of New Traction Control System with Rear Viscous LSD", SAE paper 910700, 1991.
5. Hiroshi Igata, Kiyoyuki Uchida, Takayoshi Nakatomi, Kousuke Komatsuzaki, "Development of New Control Methods to Improve Response of Throttle Type Traction Control System", SAE paper 920608, 1992.
6. 서명원, 김석민, 정재현, 석창성, 김영진, 이선일, 이재천, "ABS를 위한 HIL 시뮬레이터 개발", 한국자동차공학회 논문집, 제6권, 제2호, NO. 98370037, 1998.
7. 이지선, 류제하, "자동차 능동 브레이크 제어를 위한 HIL시스템 개발", 한국자동차공학회 1997년 추계학술대회, NO. 97380373, 1997.
8. 송재복, 홍동우, "스로틀 조절 방식에 기초한 TCS 슬립 제어 시스템의 HWILS 구현", 한국자동차공학회 논문집, 제6권, 제3호, NO. 98370051, 1998.
9. Deborah Kempf, Loren Bonderson, Leren Slafer, "Real Time Simulation for Application to ABS Development", SAE paper 870336, 1987.
10. Helmut Fennel, Sascha Mahr, Rüdiger Schleysing, "Transputer-Based Real-Time Simulation - A High Performance Tool

- for ABS and TCS Development”, SAE paper 920643.
11. Ulrich Sailer, Ulf Essers, “Real-Time Simulation of Trucks for Hardware-in-the-Loop Applications”, SAE paper 942297, 1994.
 12. 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.
 13. Larry Michaels, “The Use of a Graphical Modeling Environment for Real-Time Hardware-in-the-Loop Simulation of Automotive ABS Systems”, SAE paper 930507, 1993.
 14. 김태기, “VDC 장착 차량의 거동 특성에 관한 연구”, 성균관대학교 석사학위논문, 1997.
 15. H.Dugoff, P.S.Fancher, L.Segel, “An Analysis of Tire Traction Properties and Their Influence on Vehicle Dynamic Performance”, SAE paper 700377, 1970.