

상용차용 ABS ECU 개발을 위한 HILS 시스템 설계 및 구현

황 돈 하\* · 조 정 목\* · 심 우 용\* · 박 도 영\* · 김 용 주\* · 조 중 선\*\*  
 한국전기연구원 메카트로닉스연구그룹\* · 창원대학교 제어계측공학과\*\*

Implementation and Design of HILS for Development of the ABS ECU  
 for Commercial Vehicle

D-H Hwang\* · J-M Cho\* · W-J Sim\* · D-Y Park\* · Y-J Kim\* · J-S Joh\*\*  
 Mechatronics Research Group, KERI\* · Changwon National Univ.\*\*

**Abstract** - ABS(Antilock Brake System) prevents the wheels from "locking" and improve "steering" during braking. Currently, safety and environmental issues are a major concern in the automotive industry. ABS has become the vital brake system. HILS(Hardware In-the-Loop Simulation) is an effective tool for design, performance evaluation and test of developed vehicle subsystems such as ABS, suspension, and steering systems.

This paper describes a HILS model for an ABS/ASR application. Also the design and implementation of HILS system for development of the ABS ECU(Electronic Control Unit) for commercial vehicle are presented.

1. 서 론

ABS(Antilock Brake System)/ASR(Acceleration Slip Regulation) 시스템은 주행중인 차량이 제동할 때 바퀴의 잠김현상(wheel locking)을 방지하여 제동 효율과 조향성을 개선하고, 차량이 가속할 때 바퀴의 슬립현상(wheel slip)을 방지하여 추진력을 향상시키는 장치이다.

주행중인 차량의 안전성에 심각한 영향을 주는 ABS/ASR 시스템은 개발하는 과정에서 다양한 노면조건과 운전조건, 그리고 초기조건 등을 설정하여 실차시험을 통해 ECU(Electronic Control Unit)의 성능시험이 수행되어야 한다. 그러나 ABS의 실차시험은 비용이 과다하게 소요되고, 실제 상황에서 존재하는 중요한 변화에 대한 시험에 있어서 항상 동일한 시험의 반복이 불가능하고, 짧은 개발기간을 통해 완벽하게 시험을 마친 제어를 개발한다는 것은 대단히 어려운 현실이다.

HILS(Hardware In-the-Loop Simulation) 기법은 항공기 및 자동차와 같이 시스템 구조가 복잡하고, 실제 동작환경을 완벽하게 구축하는 것이 어려운 시스템에 있어서 실차시험을 수행하는 대신 사용되는 포괄적이고 경제적인 시뮬레이션 기법이다[1-3]. 이러한 HILS 기법을 차량의 ABS/ASR 시스템 개발에 도입함으로써 실차시험의 횟수를 줄일 수 있고, 균일한 조건으로 반복 시험을 가능하게 하여 시험의 효율성을 향상시킬 수 있다.

현재 국내의 ABS관련 기술은 승용차의 경우 많은 연구를 통해 국산화되어 제품을 생산하고 있으나, 상용차의 경우에는 ABS 기술연구가 미비하여 유럽으로부터의 수입에 전적으로 의존하고 있는 상황이다[4]. 또한, 국내에서 생산되고 있는 상용차의 경우, ABS 장치가 의무화되어 상용차용 ABS/ASR 시스템의 국산화 개발이 시급히 요구되고 있다.

본 논문에서는 상용차용 ABS/ASR 시스템의 ECU 개발을 위한 HILS 시스템 설계 및 구현 방법을 제안한다. 제안한 HILS 시스템의 실제 하드웨어는 성능분석을 위한 ECU와 Full-Air Brake용 ABS/ASR 시스템

으로 구성하였으며, 14자유도의 상용차 동역학 모델을 구성하였고, 이 모델을 실시간으로 연산하기 위한 프로세서 보드로서는 알파칩(alpha-chip) 프로세서 보드를 사용하였다.

2. 시스템 구성

2.1 상용차용 ABS/ASR 시스템

2.1.1 ABS/ASR 시스템의 개요

눈길과 같이 미끄러운 노면에서 주행하는 차량에 제동을 가하면, 바퀴는 제동력에 의해 정지하지만 차량은 관성의 법칙에 의해 계속 노면을 미끄러지면서 진행하게 된다. 이와 같이 바퀴는 완전히 멈추었으나 차체는 계속 미끄러지면서 진행하게 되는 현상을 바퀴의 잠김현상이라 한다. 이렇게 바퀴의 잠김현상이 발생하게 되면 바퀴와 노면사이의 제동 마찰계수(brake friction coefficient)가 감소하여 제동거리가 길어짐은 물론 횡방향 마찰계수(lateral friction coefficient)가 크게 감소하여 조향성도 상실하게 된다. ABS/ASR 시스템은 그림 1과 같은 특성을 갖는 제동 마찰계수와 횡방향 마찰계수가 최적이 되도록 바퀴의 제동력을 조절함으로써 제동거리를 단축하고 조향성을 제공하게 된다.

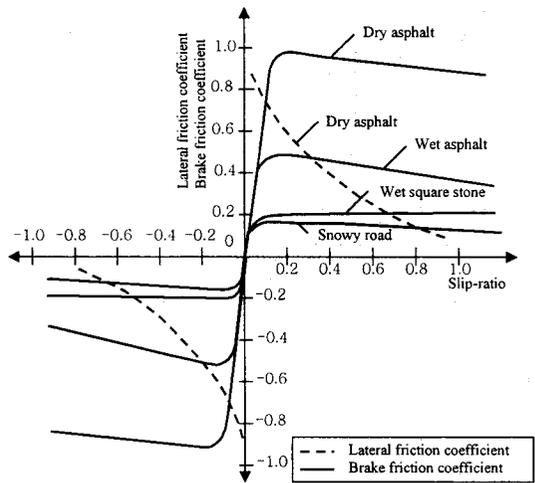


그림 1. 제동 마찰계수와 횡방향 마찰계수

2.1.2 상용차용 ABS/ASR 시스템의 구성

상용차용 ABS/ASR 시스템은 제동시스템의 종류에 따라 Full-Air Brake용 ABS/ASR 시스템과 Air Over Hydraulic Brake용 ABS/ASR 시스템으로 구분된다. 국내에서 생산되는 상용차(대형버스)의 경우에는 대부분 Full-Air Brake용 ABS/ASR 시스템이 장

착되어 생산되고 있으며, 본 논문에서도 Full-Air Brake용 ABS/ASR 시스템을 대상으로 한 HILS 시스템을 구축하였다.

ABS/ASR 시스템의 주요 구성부품으로는 펄스링(pulse ring), 차륜 속도센서(wheel speed sensor), PCV (Pressure Control Valve), ASR 밸브, 그리고 ECU가 있다.

Full-Air Brake용 ABS/ASR 시스템을 차량모델에 포함시키기 위해서는 공압시스템과 솔레노이드 밸브에 대한 모델링이 반드시 필요하다. 그러나, 공압시스템과 솔레노이드 밸브의 비선형적인 특성으로 인해 수학적 모델링이 어렵기 때문에 본 연구에서는 Full-Air Brake용 ABS/ASR 시스템을 실제 차량의 하드웨어와 동일한 형태로 HILS 시스템에 포함시켰다.

## 2.2 차량 동역학 모델

ABS HILS 시스템의 시뮬레이션을 수행하기 위해 실시간으로 해석되는 차량 모델로서 시뮬레이션의 신뢰성을 보장하기 위하여 정확한 수학적 모델이 필요하다.

차량의 제동시 또는 선회시 종방향 및 횡방향 등의 운동특성을 정확히 분석하기 위하여 14자유도의 차량 동역학 모델링을 구성하였다. 차량을 그림 2에서와 같이 3개의 강체로 구성되어 있다는 가정을 통하여 차체인 스프링 질량은 종 방향, 횡 방향, 수직 방향의 3자유도 병진운동과 롤링(rolling), 피칭(pitching), 요잉(yawing) 운동의 3자유도 회전운동으로써 6자유도를 가지며, 전후의 차축을 나타내는 언스프링 질량은 각각 수직운동과 롤링운동의 4자유도, 그리고 4개 바퀴의 회전운동 4자유도 등의 총 14자유도 차량모델을 구성하였다.

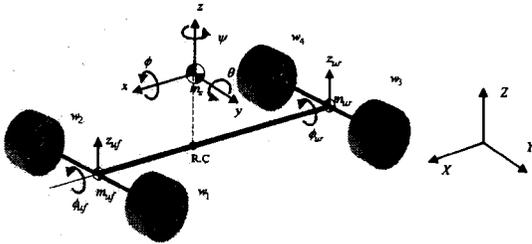


그림 2. 14자유도 차량모델

## 2.3 차륜속도 시뮬레이터

ABS ECU는 차륜속도를 기본입력으로 하여 ABS 제어 알고리즘에 따라 제어신호를 출력한다. 차륜속도 시뮬레이터는 ABS ECU에 입력되는 차륜속도 신호를 실제의 신호와 비슷하게 구현하는 장치로서, 차량모델로부터 얻어지는 차륜속도 값을 ECU에 입력시키는 방법에 따라 두 가지로 구분된다.

첫 번째 방법은 차륜속도 시뮬레이터용 하드웨어를 제작하여 차량모델의 실시간 해석으로부터 차륜속도를 입력받아 ECU로 차륜속도 신호를 입력하는 방법으로서, 차륜신호의 보다 정확한 구현이 가능하지만 별도의 하드웨어를 제작해야 하는 단점이 있다. 두 번째 방법은 소프트웨어로 차륜속도 시뮬레이터를 구현하는 방법으로서, 첫 번째 방법에 비해 쉽게 차륜속도를 구현할 수 있지만, 정확도가 떨어지는 단점을 갖게 된다.

본 연구에서 차륜속도 시뮬레이터는 Matlab/Simulink를 이용하여 구현하였으며, 각각의 차륜속도 20, 80, 120, 200 [km/h]의 속도에 대해 그림 3과 같은 출력파형을 얻었다.

## 2.4 시뮬레이션 시스템

ABS HILS 시스템에서 시뮬레이션 시스템은 차량모

델을 실시간으로 해석하고, 차륜속도 시뮬레이터를 구현하도록 구성되어 있다. 차량모델의 실시간 해석을 통하여 각 차륜의 속도를 구하고, 이 차륜속도를 차륜속도 시뮬레이터에서 입력받아 실제 차륜 속도센서 출력신호와 동일한 형태의 신호를 출력하도록 한다.

본 연구에서는 시뮬레이션 시스템으로 dSPACE사의 DSP 프로세서 보드(DS1003)와 알파칩 프로세서 보드(DS1004), 그리고 I/O 보드(DS2201)를 이용하여 구성하였다. DSP 프로세서 보드를 이용하여 I/O 및 차륜속도 시뮬레이터를 구성하였고, 알파칩 프로세서 보드를 이용하여 차량모델을 실시간으로 해석가능 하도록 하였다.

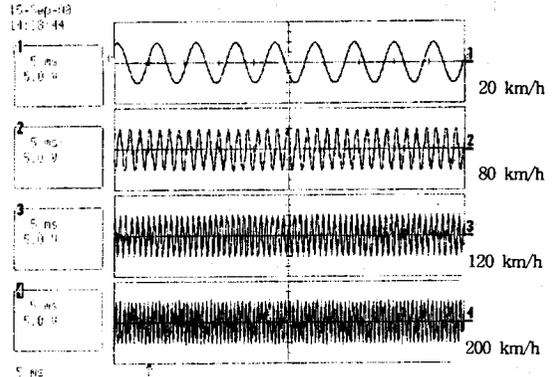


그림 3. 차륜속도 Simulator의 실제 출력신호

## 2.5 ABS HILS 시스템 설계 및 구축

본 연구에서 개발한 ABS HILS 시스템은 운전자를 포함한 MILS(Man In-the-Loop Simulation) 시스템으로의 확장을 고려하여 그림 4와 같이 차량 시뮬레이션 루프를 구성하였다. 운전자가 제동동작을 시작하면 시뮬레이션 시스템은 압력센서로부터 제동력을 입력받아 실시간으로 차량모델을 해석한 뒤 차륜속도 신호를 ABS ECU로 입력시키며, ABS ECU는 제어 알고리즘에 따라 제어모드를 결정하여 PCV를 제어함으로써 휠 실린더의 제동력을 조절하여 ABS 기능을 수행하게 된다.

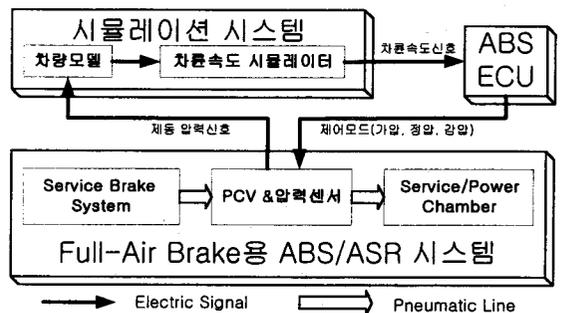


그림 4. HILS 시스템의 기본구성

### 2.5.1 ABS HILS 시스템의 Hardware

ABS HILS 시스템의 하드웨어에는 그림 5와 같이 ECU, Host PC, 시뮬레이션 시스템, I/O Interface, 그리고 실제 제동장치로 구성되어 있다.

Host PC에서는 차량의 동역학 모델링, 시뮬레이션 실시간 코드 생성, 시뮬레이션 시스템으로 실시간 코드 다운로드, 그리고 실시간 시뮬레이션 데이터의 수집, 저장, 분석 및 모니터링하는 역할을 담당한다. 시뮬레이션 시스템은 실시간 시뮬레이션의 수행이 가능하도록 dSPACE

사의 DSP 프로세서 보드와 알파칩 프로세서 보드를 사용하여 구성하였다.

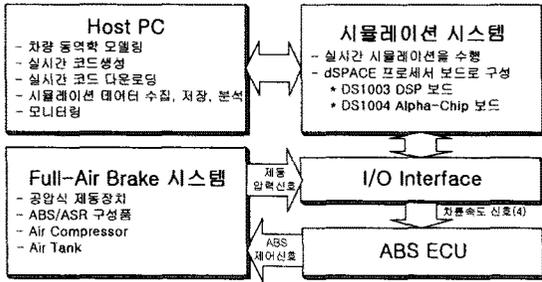


그림 5. ABS HILS 시스템의 H/W 구성

### 2.5.2 ABS HILS 시스템의 Software

ABS HILS 시스템의 소프트웨어 부분은 Matlab/Simulink와 dSPACE사의 소프트웨어인 ControlDesk Package를 이용하여 구성하였다. Matlab에서는 Simulink를 이용하여 그림 6과 같이 차량을 모델링하였으며, RTW(Real-Time Workshop)을 이용하여 차량모델에 대한 실시간 코드를 생성하였다. ControlDesk에서는 RTI(Real-Time Interface)를 이용하여 실시간 코드를 dSPACE 하드웨어로 다운로드하고, Cockpit을 이용하여 그림 7과 같은 Instrument Panel을 구성하여 실시간 변수 수정, 데이터 모니터링, 그리고 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 하였다.

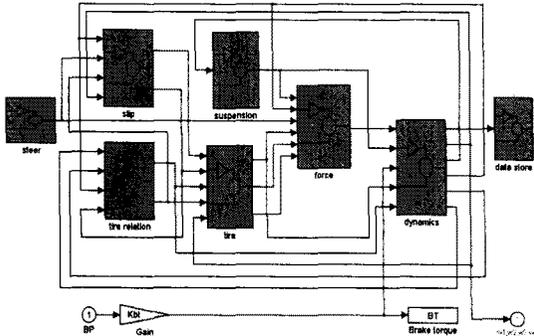


그림 6. Simulink를 이용한 차량모델

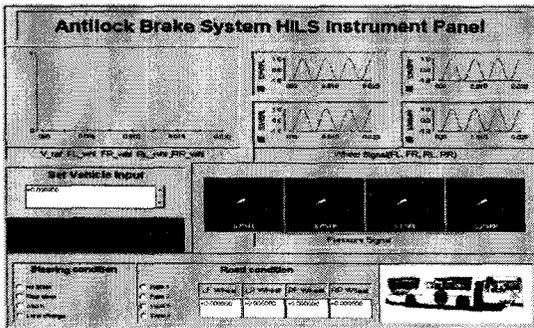


그림 7. ABS HILS Instrument Panel

### 2.5.3 HILS 시스템 구축

그림 8은 본 연구에서 실제 구축한 HILS 시스템을 나타내고 있다. Full-Air Brake용 ABS/ASR 시스템의 PCV와 Power/Service Chamber 사이의 공압라인

의 연결은 실물과 같은 사양으로 제작을 하여 실제 제동 동작에서의 ABS 동작이 가능하도록 구현하였으며, 제동 동작에서 사용되는 공압은 외부 컴프레서(Air Compressor)에 의해 공급되고, 제동력은 Power/Service Chamber에 가해지는 공압을 압력센서로 측정하여 계산하도록 하였다.

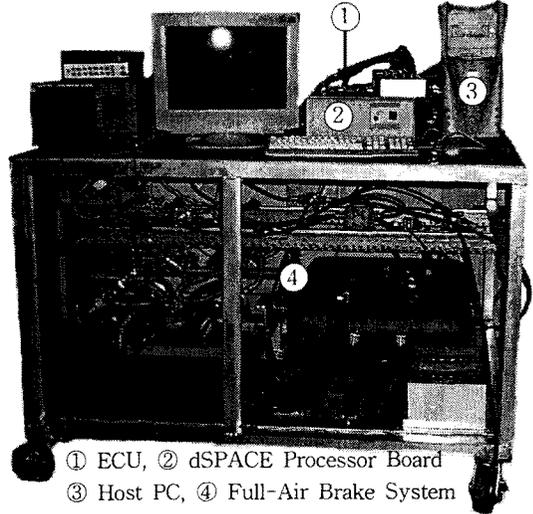


그림 8. ABS HILS System

## 3. 결 론

본 논문에서는 국내에서의 연구개발이 저조한 상용차용 ABS ECU 개발을 위한 ABS HILS 시스템의 설계 및 구현 방법을 제시하였다.

실제의 대형 버스용 Full-Air Brake 시스템을 HILS에 포함시켜 운전자의 제동동작에 따라 차량거동 및 ABS 시스템의 특성을 실시간으로 해석 가능하도록 하였다. 14자유도 차량 동역학을 실시간 해석하기 위하여 고성능 알파칩 프로세서 보드를 사용하였으며, 차륜속도 시뮬레이터는 Matlab/Simulink를 이용하여 구현하였다. 또한, Cockpit을 이용한 Instrument Panel로서 시뮬레이션 결과 모니터링 및 실시간 변수설정이 가능하도록 하였다.

향후 차륜속도 시뮬레이터를 DSP 프로세서 보드로 별도 제작할 예정이며, 구축된 HILS 시스템을 이용하여 자체 개발한 ECU의 성능분석과 함께 최적 제어 알고리즘 개발에 대한 연구를 수행할 예정이다.

본 연구는 민군겸용기술사업(Dual Use Technology Program) 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] D. Kempf, L. Bonderson, and L. Slafer, "Real Time Simulation for Application to ABS Development", SAE Paper No. 870336, 1987.
- [2] MW Suh, et al., "Hardware In-the-Loop Simulation for ABS", SAE Paper No. 980244, 1998.
- [3] F. Svaricek, "Automatic Valuation and Verification of ABS Controllers by Using a Hardware In-the-Loop Simulation", SAE Paper No. 980241, 1998.
- [4] 조정목 외 5명, "상용차용 ABS ECU의 성능분석을 위한 HILS 시스템 구축", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2564-2566, 2000. 7.