

전자제어식 미끄럼 방지 제동장치의 제어기 설계에 관한 연구

하연철 · 조정목 · 신병철 · 황돈하 · 박도영 · 김용주  
한국전기연구소 산업전기연구단 메카트로닉스연구그룹

A Study on the Design of Electronic Control Unit for Antilock Brake System

Yeon-Chul Ha, Jeong-Mok Cho, Byung-Chul Shin, Don-Ha Hwang, Doh-Young Park, Yong-Joo Kim  
Mechatronics Research Group, Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

**Abstract** - ABS(Antilock Brake System) prevents the wheels from "locking" and improve "handling" during braking. Currently, safety and environmental issues are a major concern in the automotive industry. ABS has become the vital brake system. ABS is composed of sensors for wheel speed, a pressure modulator for controlling the brake pressures in the wheel brake cylinders, and an electronic control unit(ECU) which evaluates the signals from the wheel speed sensors and converts these to commands to control the pressure of modulator. In this paper, ECU developed for commercial vehicles is described. Detection of wheel slip, control algorithms of ABS, and diagnosis method of ECU are presented.

1. 서 론

미끄럼 방지 제동장치(Antilock Brake System ; ABS)는 바퀴의 잠김현상을 최소화하고, 바퀴와 노면사이의 견인력이 최대가 되도록 바퀴의 슬립율(slip ratio)을 조절함으로써 차량의 제동거리를 향상시키고 위험물을 피할 수 있는 조향성을 제공하여 차량의 안전성을 보장해 준다. ABS는 1900년대 초 철도차량에 적용된 것이 그 시초이며, 1940년대에는 항공기의 착륙시 제동과정에서 발생하는 위험성을 감소시키기 위한 수단으로 개발되어 장착되었다. 차량의 제동장치에 ABS가 적용된 것은 철도차량과 항공기에 비해서 다소 늦은 1950년대 중반 미국의 Ford사가 그 시초이다.

국내에서 소형 차량의 ABS 연구는 지난 수년동안 활발히 진행되어 국산화되었지만, 대형 차량을 대상으로 한 ABS 기술은 아직 초보적인 단계에 머물고 있다. 상용차(commercial vehicle)에 대한 ABS 장착이 의무화되면서 국내 자동차 업계는 외국 선진업체의 ABS 시스템을 도입 장착하고 있어, 이에 따른 막대한 비용을 지출하고 있다. 또한, ABS는 첨단기술의 복합체로서 외국의 각 사는 노하우(know-how)에 대해 엄격한 관리와 산업재산권 제도를 통해 기술적 권리를 확보하고 있기 때문에 대형 차량에 대한 ABS 연구가 불가피한 실정이다.

본 논문에서는 상용차용 ABS 시스템의 국산화를 위해, 대형 버스(bus)에 장착할 목적으로 개발한 새로운 ABS 제어기를 제안한다. 자동차 전용의 87C196KT 마이크로 프로세서 2개를 채용한 ABS의 전자제어장치(Electronic Control Unit ; ECU)를 설계 제작하였고, 바퀴의 미끄러짐 검출, ABS 밸브의 제어 알고리즘, ECU의 자기진단 방법 등의 연구결과를 제시한다.

2. 상용차용 ABS System

2.1 ABS의 개요

ABS는 주행중인 차량이 급제동할 때 또는 눈길 등의

극한 노면조건에서 제동시에 발생하는 바퀴의 잠김현상(wheel locking)을 방지함으로써 제동효율과 조향성을 향상시키는 차량의 안전장치이다. ABS는 제동시에 바퀴의 허브(hub)에 장착되어 있는 바퀴 속도검출 센서(wheel speed sensor)가 차량 내부의 ECU로 바퀴의 회전속도 정보를 전송하면, 타이어나 노면간의 마찰력을 적절히 유지할 수 있도록 압력조절 밸브(Pressure Control Valve ; PCV)를 제어하게 된다. 이러한 ABS 동작으로 조향 안정성 향상, 방향 안정성 향상, 제동거리 감소 및 타이어의 고른 마모 등의 효과를 기대할 수 있다.

2.2 Electronic Control Unit (ECU)

ABS의 ECU는 그림 1과 같이 구성되어 있고, 바퀴 속도검출 센서단은 각각의 바퀴에 장착되어 있는 4개의 속도센서로부터 바퀴속도에 비례하는 주파수의 AC 전압을 입력받는다. 입력받은 AC 전압을 구형파로 변환하여, ECU단의 마이크로 프로세서로 입력시켜 각각의 주파수에 비례하는 바퀴속도를 계산하고, 계산된 4개의 바퀴속도를 이용하여 차량의 기준속도(reference speed)를 추정한다. ECU는 추정된 차량속도와 각각의 바퀴속도로부터 슬립율을 계산한 뒤, ABS 알고리즘에 따라 PCV 내부에 있는 솔레노이드 밸브(solenoid valve)에 2~5 [A]의 동작 전류신호를 보내게 된다.

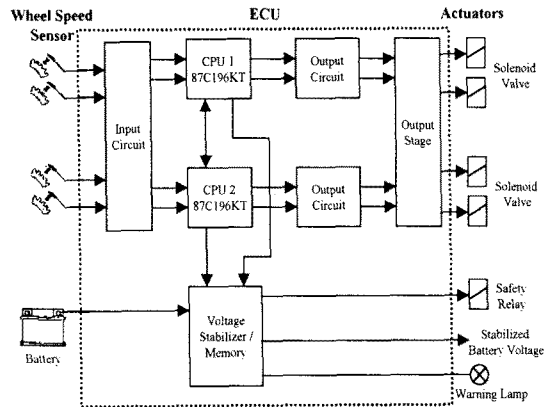


그림 1. ECU의 Block Diagram

2.3 ECU의 구성

본 연구에서 개발한 ECU는 한 장의 PCB로 설계, 제작하였고, SMD(Surface Mounted Device) 기술을 사용하였다. 제어기는 그림 1과 같이 병렬로 동작하는 2개의 마이크로 프로세서(87C196KT)로 구성되어 상호간의 기능을 비교 확인하는 기능을 수행토록 하였다. 또한, ECU는 바퀴 속도센서로부터 출력되는 신호를 마이크로 프로세서가 인식할 수 있는 신호로 변환하는 일

력 인터페이스 부분과, 마이크로 프로세서의 미소신호를 파워트랜지스터로 전력을 증폭하여 액추에이터에 공급하는 출력 인터페이스 회로, 배터리로부터 전원을 입력받아 각각의 회로에 전원을 공급하는 전원회로, 안정적인 전원상태인지를 감시하는 진단회로 등으로 구성하였다. 그림 2에서는 본 연구에서 실제 제작한 ECU의 내부 모습을 나타내고 있다.

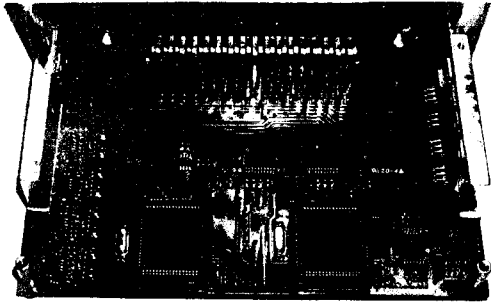


그림 2. 제작한 ECU의 내부사진

### 2.3.1 입력 인터페이스

바퀴 속도센서에서 발생하는 정현파 신호는 속도에 따라서 주파수와 진폭이 변동한다. 따라서 입력신호를 마이크로 프로세서에서 사용할 수 있도록 하기 위해서 50%의 Duty를 가진 구형파로 변환시키고, 일정한 전압범위를 벗어나는 신호는 Clipping하여 통과대역이 아닌 주파수에 대해서는 차단시키도록 입력 인터페이스 회로를 설계하였다.

### 2.3.2 마이크로 프로세서

마이크로 프로세서는 ECU의 심장부로서, 바퀴 속도센서로부터 속도정보를 입력받아 각각의 바퀴속도를 계산하고, 기준속도를 추정 한 뒤, 바퀴속도와 기준속도를 이용하여 슬립율을 계산하는 기능을 담당하고, 바퀴잡김을 방지하도록 ABS 제어 알고리즘에 따라 PCV를 제어하여 브레이크 압력을 조절하는 기능을 하게 된다. 그리고 ABS 동작전과 동작후의 자기진단 기능을 수행한다. 본 연구에서는 자동차 전용으로 개발된 Intel사의 CHMOS 16-bit 마이크로 프로세서인 87C196KT를 채용하였다.

### 2.3.3 출력 인터페이스

출력 인터페이스 회로는 상용차의 공압식 밸브를 작동하기 위한 부분으로서, 마이크로 프로세서의 출력신호에 따라 릴레이(relay) 및 솔레노이드 밸브를 구동하는 회로이다. 릴레이에 전달되는 과도한 전류를 제한하는 보호회로, 출력회로의 문제점을 진단할 수 있는 부가적인 진단회로 등으로 구성하였다.

## 3. 제어 알고리즘

### 3.1 개요

차량의 제동시에 요구되는 성능은 최대한 제동거리, 횡방향 안정성, 조향능력 등이 있지만, 이러한 성능을 모두 극대화하는 것은 불가능하다. 그러나 가장 큰 제동방향 마찰계수를 갖는 지점에서 슬립율이 유지된다면 횡방향 안정성과 조향성을 향상시킬 수 있다. 따라서 일반적으로 ABS 시스템에서는 최대의 제동방향 마찰계수를 갖도록 슬립율을 제어하는 방식을 사용하고 있다. 최적의 슬립을 유지를 위해서는 빠른 처리능력을 갖는 전자제어가 필요하고, 정교한 제어 알고리즘의 구성이 요구된다.

### 3.2 제어 소프트웨어 Flowchart

그림 3은 본 연구에서 제안하는 ABS 제어 알고리즘의 주요 기능을 제어 흐름도로 표현한 것이다. 최초에 하드웨어적인 초기화가 이루어지고, 그 후 주 프로그램이 시작되어 소프트웨어적인 초기화가 이루어진다. 그리고 ABS의 전체적인 고장유무를 검사하여 ABS 기능의 적용여부를 결정한다. ABS 기능이 적용되면 바퀴속도와 차량속도를 산출하는 "Wheel Speed"서브루틴, 바퀴상태를 파악하여 밸브 제어명령을 생성하는 "State Analysis" 서브루틴, 그리고 "State Analysis"에서 생성된 명령을 실제 솔레노이드 밸브의 제어신호로 변환하는 "Valve Operation" 서브루틴을 순차적으로 호출한다. 이러한 과정이 끝난 후, 차량의 상태를 파악하는 "Vehicle Property" 서브루틴이 호출되고, 이 과정에서 생성된 데이터들을 저장하고 일정한 시간간격(약 5ms)으로 주 프로그램의 기능을 반복하게 된다.

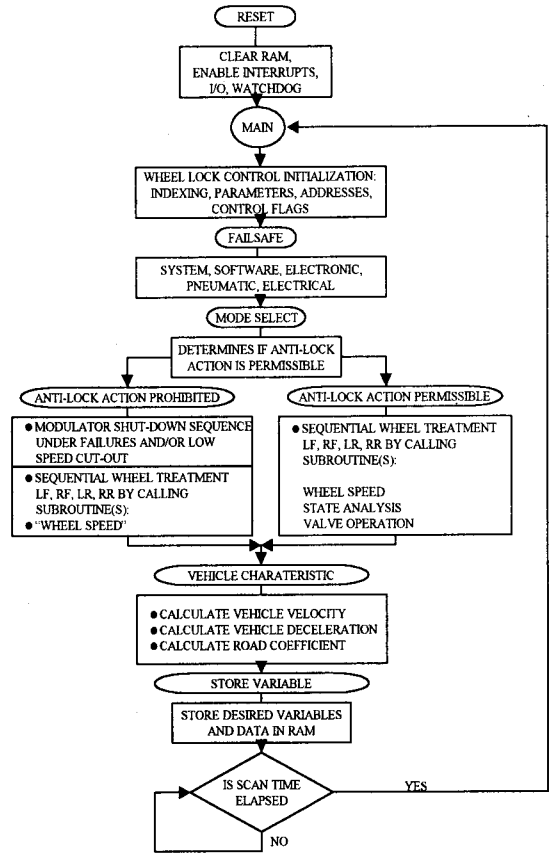


그림 3. ABS 제어 흐름도

### 3.3 바퀴속도와 차량속도 계산방법

바퀴속도는 센서를 통해 입력된 정현파를 변환시킨 구형파 신호의 펄스주기를 측정함으로써 산출이 가능하다. 그리고, ABS 제어에 사용되는 차량속도의 정확한 검출을 위해서는 고가의 차체 가속도 센서가 필요하지만, 경제성의 문제 때문에 별도의 센서를 취부하지 않고, 일반적으로 바퀴속도, 차량의 가감속도 및 기타 제어변수를 이용하여 차량속도를 추정하는 방식을 채택하고 있다. 본 연구에서 이용한 속도 산출방법은 평균주기 측정방식으로서 펄스의 최초 입력된 시점과 마지막 시점간의 시간차를 입력된 펄스의 갯수로 나누어서 구한 펄스의 평균주기로 속도를 추정한다.

### 3.4 바퀴상태 분석

바퀴잠김의 판단은 식 (1)과 같이 바퀴속도와 차량속도의 관계로 표현되는 슬립율(slip rate)과 제어기 설계자에 의해 미리 설정된 슬립 한계치(slip threshold)와의 비교에 의해 이루어진다.

$$\lambda = \left( \frac{V_{vehicle} - V_{wheel}}{V_{vehicle}} \right) \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

여기서,  $\lambda$ 는 슬립율,  $V_{vehicle}$ 은 차량속도, 그리고  $V_{wheel}$ 은 바퀴속도를 나타낸다.

만약 바퀴잠김이 발생하면, ECU는 바퀴잠김을 방지하기 위한 제어 알고리즘에 따라 슬레노이드 밸브를 제어함으로써 브레이크 압력을 조절하게 된다. 이때 출력되는 압력의 상태는 슬립 한계치, 바퀴의 가속유무, 그리고 브레이크 압력의 가감상태에 따라 4가지 모드로 구분된다.

그림 4는 ABS 밸브 제어 알고리즘을 나타낸다. 그림에서 State 1은 바퀴가 감속하는 상태이면서 감압모드인 경우로서 바퀴잠김 발생 초기에 해당하고, 슬립율이 슬립 한계치 이하일 동안 가압상태를 유지한다. State 2는 바퀴가 감속하는 상태이면서 감압모드인 경우로 바퀴잠김을 방지하기 위해 빠른 감압상태로 변화게 된다. State 3은 바퀴가 가속하는 상태이면서 감압모드인 경우이며, 이때는 슬립율, 슬립한계치, 그리고 바퀴의 가속여부에 따라 "감압의 지속", "빠른 가압" 또는 "느린 가압" 중에서 하나가 선택되어진다. 마지막으로 State 4는 바퀴가 가속하는 상태이면서 감압모드가 아닌 경우로서 실질적으로 브레이크 압력이 회복되고 바퀴속도의 회복이 이루어지는 단계이다. 노면상태, 휠슬립, 차량속도, 바퀴가속도에 의해 "가압의 지속 또는 느린 가압", "가압의 시작", "빠른 가압에서 느린 가압으로의 변화" 또는 그 반대의 동작" 중의 하나가 선택된다.

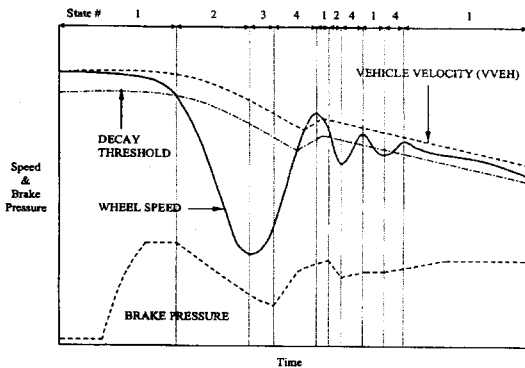


그림 4. ABS 제어 알고리즘

### 3.5 밸브제어

PCV 동작을 위한 제어신호는 압력의 차단, 유지, 감소, 증가로 구분되며 각각 브레이크 압력을 조절한다. 증가와 감소에서는 하나의 신호상태가 지속됨으로서 발생할 수 있는 시스템 장애에 대비하여 최대 적용시간을 설정한다. 그림 5는 본 연구에서 제작한 ECU에 신호발생기(function generator)로 100~200 Hz 주파수범위의 AC 200 mV 전압을 입력했을 때의 밸브 동작신호를 보여 주고 있다. 그림 5에서 Channel 1은 압력유지 밸브(inlet)의 동작파형을 나타내고 있고, Channel 2는 압력배출 밸브(outlet)의 동작파형을 나타낸다. 압력유지 밸브와 압력배출 밸브가 모두 "ON"이면 "가압", 압력유지 밸브와 압력배출 밸브가 모두 "OFF"이면 "감압", 그리고 압력유지 밸브가 "ON" 이고 압력배출 밸브가 "OFF" 이면 유지의 상태를 나타낸다.

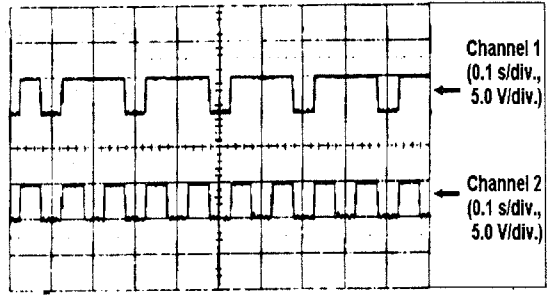


그림 5. Pressure Control Valve의 동작 신호

### 3.6 자기진단 시스템

자기진단(self-diagnosis) 시스템은 초기 점화 스위치가 "ON" 되었을 때, 그리고 운전중 수시로 ABS 시스템 구성요소의 동작여부를 자동으로 감시하는 기능을 수행한다. 만약 오류 발생이 검출되면, 오류데이터는 메모리에 저장되며, ABS 경고등을 점등시켜 운전자에게 ABS 시스템에 오류가 발생했음을 알려준다. 초기 점화 스위치가 "ON" 되었을 때 24 V의 배터리 전원이 동작 전압 영역에 있는 지를 확인하고, 회로에 공급되는 전압이 5 V인지를 확인한다. ECU 구성요소의 오동작 여부를 확인하고, PCV를 구동시키는 슬레노이드 입력단의 전류를 확인하여 마이크로 프로세서와 PCV 사이의 단락을 점검한다. 그리고 운전중에도 자기진단은 이러한 항목들에 대하여 계속적으로 이루어진다.

## 4. 결 론.

본 연구에서는 상용차용 전자제어식 미끄럼 방지 제동장치를 위한 ECU를 독자적으로 개발하였고, 새로운 제어 알고리즘을 제안하였다. 제작된 ECU는 2개의 마이크로 프로세서를 중심으로 4개의 바퀴 속도센서로부터의 입력신호를 이용하여 바퀴속도를 계산하고, 차량의 속도를 추정하여, 제어 알고리즘에 의해 PCV를 구동하도록 제작하였다. 또한, 각각의 마이크로 프로세서를 서로 감시하고, 자기진단 시스템을 동작시켜 ECU의 이상유무를 판단하도록 하였다. ABS는 차량의 제동시 안정성에 심각한 영향을 미칠 수 있으므로 향후 구축된 HILS(Hardware In-the-Loop Simulation) 시스템을 이용한 ECU의 성능분석과 함께 최적의 제어 알고리즘 개발 연구가 수행될 예정이다.

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

### (참 고 문 헌)

- (1) Masahiro Asano, "Furthering the Evolution of Function and Performance for ABS System", SAE Paper, No.980236, 1998
- (2) E.Siebert and et al, *Automotive Brake Systems*, BOSCH, Aug. 1995
- (3) N. Rittmannsberger, "Antilock Braking System and Traction Control", Proceedings of the International Congress on Transportation Electronics, pp. 195-202, 1988.
- (4) Reiner Emig, H. Goebels and J. Schramm, "Antilock Braking System(ABS) for Commercial Vehicles - Status 1990 and Future Prospects", Proceedings of the International Congress on Transportation Electronics, pp. 515-523, 1990.