

상용차용 ABS의 ECU 설계 및 제어 알고리즘에 관한 연구

이 기 창* · 김문섭 · 전정우 · 황돈하 · 박도영 · 김용주
한국전기연구소 산업전기연구단 메카트로닉스연구그룹

A Study on the design of ABS ECU for a commercial vehicle(BUS)
and its control algorithm

Ki-Chang Lee · Moon-Sup Kim · Jung-Woo Jeon · Don-Ha Hwang · Doh-Young Park · Yong-Joo Kim
Mechatronics Research Group, Korea Electrotechnology Research Institute(KERI)

Abstract - ABS(Anti-lock Braking System) is a device which prevents the lock-up of car wheels during emergency braking. It helps to maintain the steerability since the tire-road slip is controlled in an acceptable range. By maintaining the maximal frictional force during braking, ABS can reduce the braking distance.

Recently, ABS is accepted as a standard equipment in vehicles, especially in commercial vehicles(bus and trucks). Commercial vehicles mostly use pneumatic pressure for braking.

In this paper, ECU(Electronic Control Unit) for the anti-lock braking system of a commercial vehicle which is equipped with a full-air brake system and its control algorithms are presented.

바퀴 속도센서(wheel speed sensor)로부터 속도를 읽어들이어 공압제어 알고리즘에 따라 PCV를 ON, OFF시켜 휠 실린더에 공급되는 공압을 조절함으로써 바퀴와 노면간의 마찰력을 적절히 유지시켜 바퀴 미끄러짐을 방지한다. 이러한 ABS 작동을 통하여 조향 안정성 및 방향 안정성의 향상, 제동거리 감소, 그리고 타이어의 고른 마모 등의 효과를 기대할 수 있다.

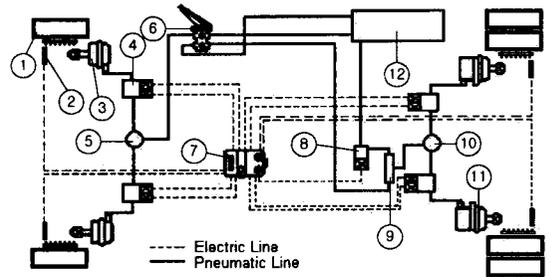


그림 1. Full Air Brake용 ABS 구성도

- ① Pulse Ring, ② Speed Sensor, ③ Power Chamber,
- ④ PCV, ⑤ Quick Release Valve, ⑥ Brake Pedal,
- ⑦ ECU, ⑧ ASR Valve, ⑨ 2-Way Valve, ⑩ Relay Valve,
- ⑪ Service Chamber, ⑫ Brake Tank

1. 서 론

ABS(Anti-lock Brake System)는 차량의 급제동 시 바퀴의 잠김현상(wheel locking)을 방지하여 바퀴와 노면사이의 마찰력을 최대 유지시킴으로서 제동거리 단축과 조향성 향상을 위한 차량 안전장치이다.

현재 ABS는 거대 자본과 우수한 기술력을 가진 Bosch, Bendix 등의 일부업체가 기술을 독점하고 있는 상황이고, 국내에서는 지난 수년동안 연구가 활발히 진행되어 승용 소형차량을 중심으로 국산화 단계에 이르렀지만, 상용 대형차량을 대상으로 한 ABS 기술은 아직 초보적인 수준에 머물러 있다. 더욱이 상용차(commercial vehicle)의 ABS 장착이 의무화되면서 국내 자동차 업계는 외국 선진업체의 ABS 시스템을 전량 수입하여 장착해야 할 실정으로서 상용차에 대한 ABS 시스템의 국산화 개발 연구가 크게 요구되고 있다.

본 논문에서는 상용차용 ABS 시스템의 국산화 개발을 위해, 공압식 제동 시스템을 채용하고 있는 대형 버스에 장착할 목적으로 개발중인 ABS ECU 및 새로운 ABS 제어 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 차체속도의 추정, 바퀴의 미끄러짐 검출, PCV(Pressure Control Valve)의 ON, OFF를 통한 공압 제어 알고리즘, 자기진단 기능 등을 포함한다.

2. 상용차용 ABS 시스템

상용차용 제동시스템은 공압(pneumatic pressure)만을 사용한 공압식 제동시스템(full-air brake system)과 공압과 유압(hydraulic pressure)을 사용한 공압-유압식 제동시스템(air over hydraulic brake system)으로 구분된다. 공압식 제동시스템을 사용하는 상용차의 ABS 시스템은 그림 1과 같이 바퀴속도 검출센서, ECU, 공압 계통 밸브, 그리고 PCV 등으로 구성된다.

동작 메카니즘은 ECU가 바퀴의 허브(hub)에 장착된

3. 상용차용 ABS ECU 및 제어 알고리즘

3.1 ABS ECU의 설계

ABS ECU는 그림 2와 같이 바퀴속도 입력단, 마이크로 프로세서, 그리고 출력단 등으로 구성하였다.

입력단은 각 바퀴에 장착된 속도센서로부터 바퀴 회전속도에 비례하는 주파수의 정현파 전압을 입력받는다. 입력전압의 노이즈를 제거하기 위하여 적절한 차단 주파수를 가진 LPF(Low-Pass Filter)를 설계하고, OP Amp.로 구성된 ZCD(Zero-Crossing Detector)를 통해 구형파로 변환시킨다.

마이크로 프로세서는 입력단으로부터 입력된 구형파의 에지트리거(edge trigger)를 계수함으로써 각 바퀴의 속도를 계산하고, 차체속도를 추정하고, 바퀴속도와 차체속도를 이용하여 바퀴의 슬립 및 가속도를 계산하며, 바퀴 잠김을 방지하기 위한 ABS 제어 알고리즘에 따라 PCV를 제어하여 브레이크 압력을 조절하는 기능을 담당한다.

출력단은 차량 제동력을 제어하기 위하여 PCV를 작동시키고, ABS 동작과 관련된 각종 램프 및 스위치를 동작시키기 위한 부분으로서, 마이크로 프로세서의 출력 제어신호에 따라 릴레이(relay) 및 솔레노이드 밸브(solenoid valve)를 구동하는 MOSFET 스위치로 구성하였다. 또한, 출력단은 릴레이에 전달되는 과도한 전류를 제한하는 보호회로, MOSFET의 단락사고와 같은

문제점을 진단할 수 있는 추가적인 진단회로 등으로 구성하였다.

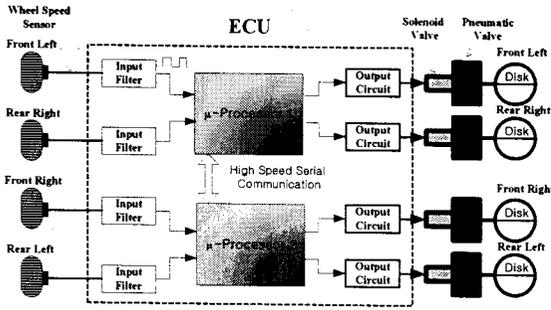


그림 2 ABS ECU의 구성도

본 연구에서 개발한 ECU는 SMD(Surface Mounted Device) 기술을 사용하여 한 장의 PCB로 컴팩트하게 설계·제작하였다. 제어기는 병렬로 동작하는 2개의 마이크로 프로세서로 구성하여 바퀴속도 정보의 공유와 상호간의 기능을 비교 확인할 수 있는 장점이 있다. 또한, 바퀴속도 계산, 차량속도 추정, 슬립 및 가속도 계산, 그리고 PCV 제어를 위해 2바퀴씩 각 마이크로 프로세서가 담당하게 함으로써, 다소 느린 16-bit 칩을 사용하더라도 연산폭주 없이 제어가 가능하도록 하였다.

그림 3은 본 연구에서 실제 제작한 ABS ECU의 Layout을 나타내고 있다. ECU는 배터리 전압에서 안정적인 전압을 얻기 위한 DC-DC 컨버터단, 입력 필터단, PCV 구동용 MOSFET, ABS 경고등 및 ASR 지시등을 구동하기 위한 스위치 소자, 그리고 외부 EEPROM 등으로 구성되어 있다.

ABS ECU는 이동중인 차량에 직접 장착되므로 진동, 소음 및 전자기적 잡음의 영향을 받기 쉽다. 본 연구에서는 내부 메모리와 고속 직렬통신을 사용하여 프로그램 및 데이터 공유에 필요한 외부메모리를 제거하였고, 진단 목적의 EEPROM은 기존의 병렬방식보다 적은 신호선을 가지는 직렬통신 방식을 사용함으로써, 잡음에 강한 안정적인 ABS ECU 시스템을 구축하였다.

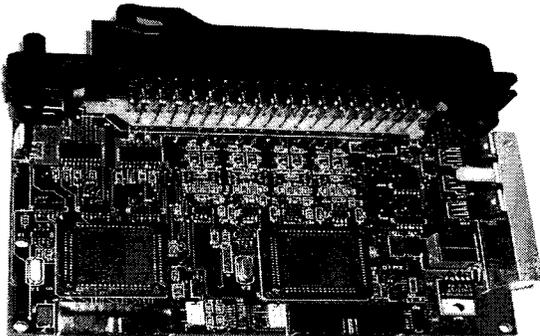


그림 3. ECU Layout

3.2. ABS 제어 알고리즘

3.2.1 ABS의 제어 목표

차량의 급제동시 제동장치에 요구되는 성능은 제동거리 확보 뿐만 아니라 횡방향 안정성 향상, 조향능력 유지 등이 필수적이다. 실제 차량의 진행방향 마찰계수와 횡방향 마찰계수 특성은 미끄러짐에 대해 현저히 다른 특성을 나타내므로 요구조건들을 모두 극대화하는 것은 불가능하다. 따라서 제안하는 시스템은 차량의 슬립값을 최대 제동 마찰계수에 해당하는 슬립값보다 약간 작게

유지함으로써 진행방향의 제동특성에 중점을 두는 동시에, 횡방향 안정성 및 조향능력 유지기능을 확보하도록 하였다.

3.2.2 ABS 제어의 흐름

본 논문에서 제안하는 ABS 제어 알고리즘의 주요 기능을 그림 4의 제어 흐름도로 나타내었다. 배터리로부터 전원이 공급되어 ECU가 기동하게 되면, 최초 파라미터 초기화가 수행되고, EEPROM에 저장된 고장진단 코드를 통하여 초기 진단항목에 대한 시스템 이상유무를 확인한다. 이때 ABS 시스템이 정상적으로 동작한다면 바퀴속도 및 가속도, 차체속도와 슬립을 순서에 따라 계산하고, 각 바퀴의 가속도 및 슬립영역을 결정한다. ECU는 각 바퀴의 가속도 및 슬립영역의 변화를 감시하여 만약 가속도 및 슬립영역의 변화가 발생하면 공압 모듈레이터를 구성하고 있는 솔레노이드 밸브의 제어신호를 출력함으로써 실제적인 브레이크 압력제어를 수행한다. 상호 대각으로 위치한 바퀴의 슬립제어를 담당하는 마이크로 프로세서는 고속 동기 직렬통신(synchronous serial communication)을 통하여 각 바퀴에 대한 정보와 진단코드를 공유함으로써 고장을 대비하여 이중화구조로 구현하였다.

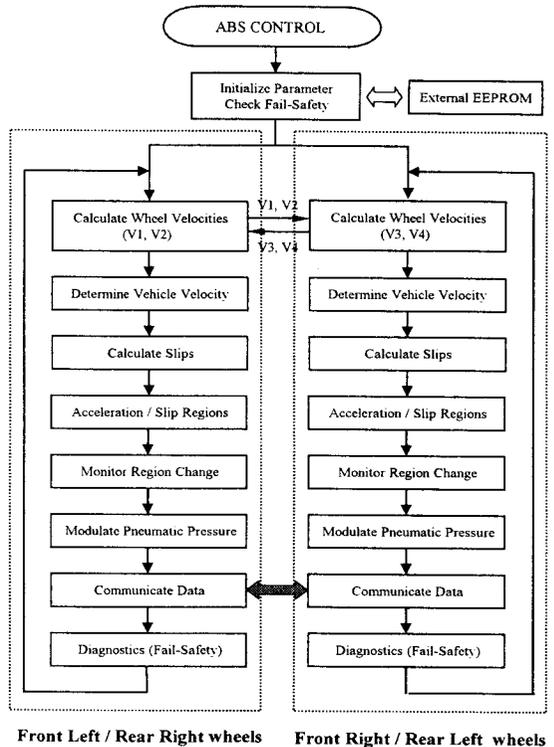


그림 4. ABS 제어 흐름도

3.2.3 바퀴속도와 차량속도 계산방법

제동중인 차량을 바퀴의 잠김없이 최단거리 내에 제동시키기 위해서는 정확한 바퀴속도, 가속도, 그리고 차체속도의 추정이 필요하다. 각 바퀴의 속도는 바퀴 속도센서를 통해 입력된 정현파를 변환시킨 구형파 신호의 펄스주기를 측정함으로써 산출한다. 바퀴속도는 정확한 펄스주기를 측정하기 위해 5 [msec]마다 입력된 펄스들의 평균주기를 구하는 평균주기방식을 사용하였다. 바퀴속도 산출은 공압을 포함하는 제동시스템의 응답시간을 고려하고, 잦은 미분 계산에 의해 발생하는 불필요한 진동 및 시간 지연을 최소화하기 위하여 바퀴속도 연산주

기의 4~5배에 해당하는 약 25 [msec]마다 수행하였다. ABS 제어의 기준이 되는 차체속도를 구하기 위하여 별도의 가속도 센서를 사용하는 방법대신 바퀴속도를 이용하여 추정하였다. 본 연구에서는 차체가 제동중일 경우 슬립이 발생하지 않는 바퀴의 속도가 차체속도와 같다는 성질을 이용하여, 4개의 바퀴속도 중 최대값을 차체속도로 추정하여 사용하였다. 이 알고리즘은 4개 바퀴 모두에서 동시에 슬립이 발생하는 극한 상황에서는 정확한 추정이 어렵다는 단점이 있지만, 실제 모든 바퀴가 동시에 잠길 가능성은 극히 미약하고, 만약 4개 바퀴 모두 잠기는 상황이 생기더라도 이전 차체속도 및 바퀴가속도를 이용해 극복할 수 있는 간단하지만 효과적인 알고리즘이다.

3.2.4 제동압력 제어 알고리즘

상용차용 ABS는 공압식 제동시스템을 사용하며, 압력 유지밸브(inlet valve)와 압력 배출밸브(outlet valve)의 2개의 솔레노이드 밸브로 구성된 PCV를 통하여 차량의 제동압력을 제어한다. 제동압력은 2개의 솔레노이드 밸브의 ON, OFF에 따라 증압(increase), 유지(hold), 감압(decrease), 그리고 PWM 증압(increase-hold)의 네 가지 압력모드로 제어된다

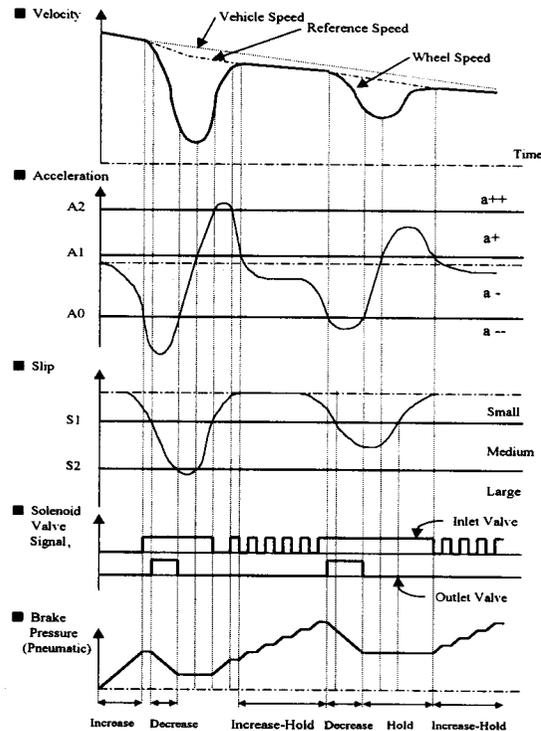


그림 5. 영역결정 및 제동압력 제어

만약 제동중 바퀴 잠김현상이 발생하면, ECU는 가속도영역과 슬립영역의 변화를 감시하여 바퀴 잠김현상을 검출하고, 각 상태에 해당하는 압력모드로 변환함으로써 ABS 기능을 수행하게 된다. 제어대상인 바퀴잠김은 노면상태, 차체속도, 미끄러짐의 정도 등에 따라 불규칙적으로 발생하는 비선형 특성을 갖기 때문에, 일반적인 선형시스템의 제어가 설계와 달리 비교적 단순한 형태의 규칙을 세분화하여 적용하였다.

그림 5에 나타낸 바와 같이 제동시 차량의 바퀴가속도와 슬립은 각각 4단계와 3단계의 영역으로 구분된다. 영역의 경계값인 A0, A1, A2 및 S1, S2 히스테리시스

(hysteresis) 특성을 가지는 값으로서, 반복적인 실험을 통해 결정해야 한다. 차량제동시 일반적으로 가속도의 변화가 Slip의 변화보다 앞서므로 본 논문에서는 슬립에 의한 제어보다 가속도에 의한 제어에 우선 순위를 두었다. 슬립에 의한 제어는 가속도에 의한 제어의 일부분을 보조하거나 가속도 연산에 실패한 경우, 또는 느린 가속도 변화에 의해 잠김검지에 실패했을 때 사용된다. 이렇게 함으로써 보다 빠른 응답속도를 얻는 동시에 슬립검지 범위를 확장하는 효과를 얻는다.

차량의 정상제동시 발생하는 안정영역은 가속도 'a-' 영역과 슬립 'Small'영역으로서, 이 경우에는 이전 제어모드를 계속 유지한다. 하지만, 안정영역으로의 수렴이 아닌 기타영역으로의 천이가 발생하게 되면, 그 천이에 해당하는 압력모드가 선택되어 다음 천이가 발생할 때까지 지속된다. 결과적으로 그림 5의 제동압력 곡선은 제어에 의해 제동중인 차량의 바퀴가속도 및 슬립의 영역변화에 따라 변화하는제동 압력을 나타내고 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 상용차용 ABS ECU를 독자적으로 개발하였다. 제작한 ECU는 2개의 16-bit 마이크로 프로세서를 사용하여 앞·뒤 바퀴를 대각형태로 2바퀴씩 독립적으로 제어하게 하였고, 각 바퀴의 속도 및 추정된 차체의 속도정보를 공유함으로써 상호 감시하게 하고, 자기진단 기능을 수반함으로써 ABS 동작의 이상유무를 판단하게 하여 보다 안정적인 시스템을 구축하였다.

제어 알고리즘으로 4개의 바퀴 속도센서로부터의 입력신호를 이용하여 바퀴속도를 계산하고, 차량의 속도를 추정하였으며, 압력조절 밸브 제어를 위하여 바퀴가속도 및 슬립을 각각 4영역, 3영역으로 나누어 영역변화에 따라 밸브 제어모드를 달리함으로써, 보다 빠른 응답특성과 함께 제어의 신뢰성을 보장하였다. 또한, 영역의 경계치는 히스테리시스 특성을 갖도록 함으로써, 제동압력의 불필요한 진동이 억제되도록 제어하였다.

ABS는 차량의 제동시 안정성에 심각한 영향을 미칠 수 있으므로 구축되어 있는 HILS(Hardware In-the-Loop Simulation) 시스템을 이용하여 ECU의 성능 분석과 함께 최적의 제어 알고리즘 개발 연구가 수행되고 있으며, 향후 실차 테스트를 통하여 ECU를 보다 신뢰할 수 있도록 개발할 예정이다.

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

(참 고 문 헌)

- [1] Reiner Emig, et al., "Anti-lock Braking System (ABS) for Commercial Vehicles - Status 1990 and Future Prospects", Proceedings of the International Congress on Transportation Electronics, pp. 515-523, 1990.
- [2] Masahiro Asano, "Furthering the Evolution of Function and Performance for ABS System", SAE Paper, No.980236, 1998.
- [3] E. Siegert, et al., Automotive Brake Systems, BOSCH, Aug. 1995.
- [4] N. Rittmannsberger, "Antilock Braking System and Traction Control", Proceedings of the International Congress on Transportation Electronics, pp. 195-202, 1988.
- [5] 하연철 외 5명, "전자제어식 미끄럼방지 제동장치의 제어기 설계에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.2564-2566, 2000.7.