

차량 조향 제어

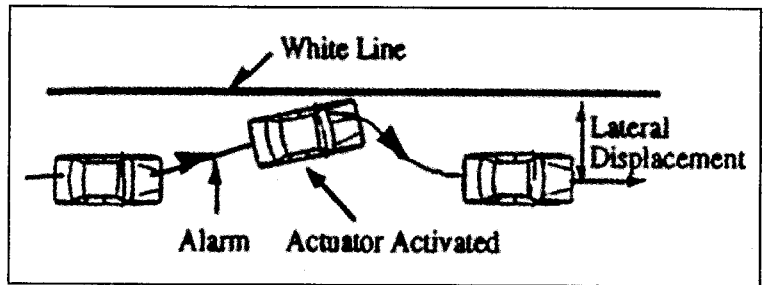
허 건 수 교수 · 한양대학교 기계공학부

1. 횡방향 제어 (lateral control)의 소개

횡방향 제어(lateral control)는 조향 제어(steering control)라고 언급하기도 하며 그 의미는 차량이 곡선 또는 직선도로를 주행시 도로의 횡방향 위치를 이탈하지 않고 주행하도록 제어하는 것이라고 할 수 있다.

이러한 횡방향 제어와 앞차와의 간격을 제어하는 종방향 제어(longitudinal control)가 결합되어 또는 통합 운영되어 무인 자율주행 차량이 구성된다.

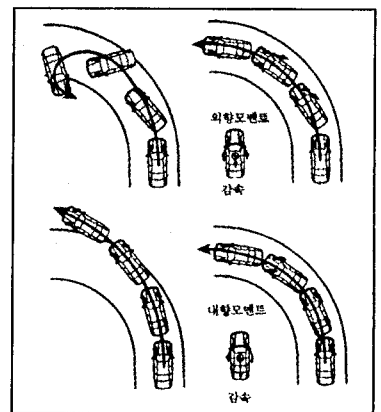
횡방향 제어 시스템은 운전자의 조향 조작을 도와주는 보조 조향 시스템과 무인 자율주행 차량에서 사용되는 자율조향 시스템이 있다. 보조 조향 시스템은 운전자가 주된 조향 명령을 내리지 만 운전자의 실수나 졸음 등의 이



〈그림 1〉 차선이탈방지 시스템



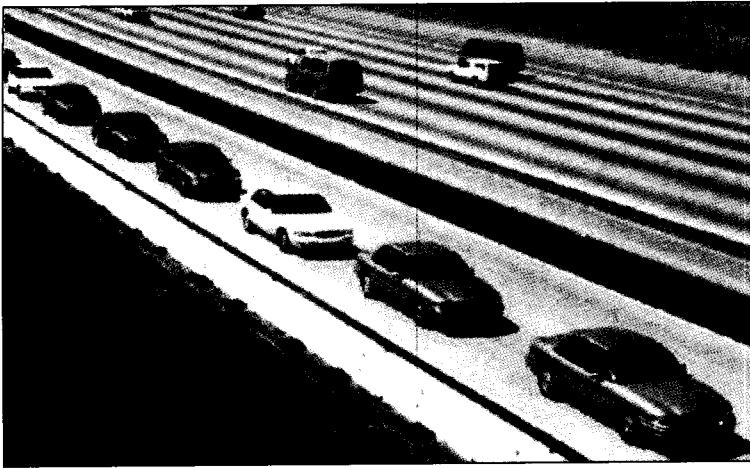
〈그림 2〉 4륜 조향 시스템



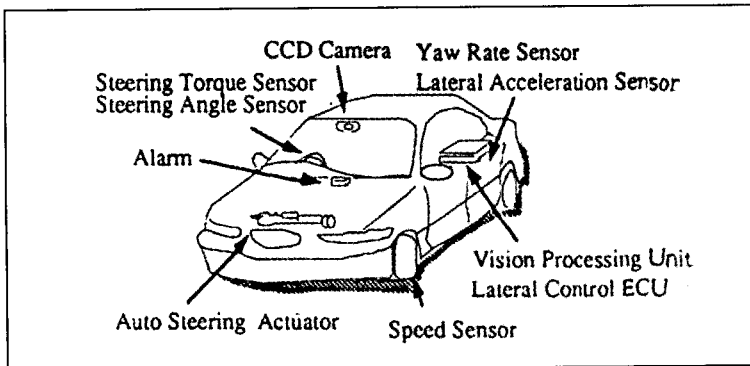
〈그림 3〉 요우 모멘트 제어 시스템

유로 심각한 위험이 임박했을 때 이를 방지하는 보조 역할을 하게

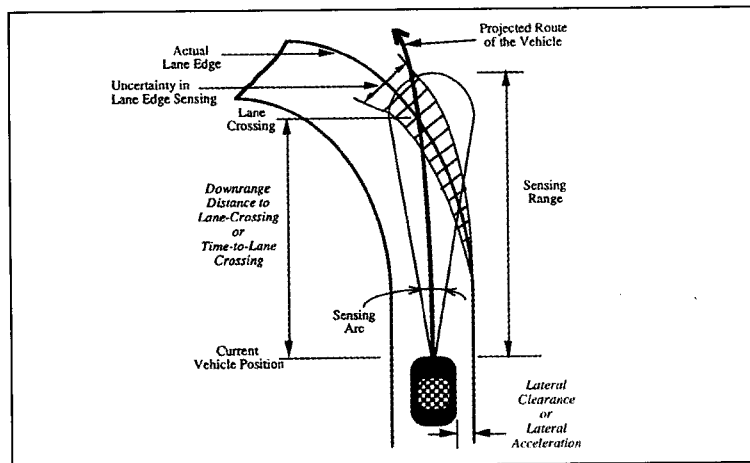
된다. 또한 운전자는 정상적으로 조향을 하고 있는데 도로의 상태



〈그림 4〉 자율주행 차량 시스템



〈그림 5〉 MAZDA 차선이탈방지 시스템



〈그림 6〉 U. Michigan 차선이탈방지 시스템

와 차량의 상태에 따라 정상적인 횡운동이 일어나지 않을 때도 이상을 감지하고 운전자의 의도대로 운행되도록 하는 것도 포함된다. 목적이나 방법 등에 따라 그림 1과 같은 차선 이탈 방지 시스템, 그림 2와 같은 4륜 조향 시스템, 그리고 그림 3과 같은 요우 모멘트 제어(또는 스핀 제어)등을 들 수 있겠다.

무인 자율 조향 시스템은 차량 스스로 도로의 형상 또는 차선을 따라 그림 4와 같이 주행하도록 제어하여야 한다. 차선에 대한 차량의 횡방향 상대 위치를 알아내기 위하여는 도로에 자기 유도선이나 자석과 같은 차선 표점을 별도로 매설하고 이를 측정하는 방법과 도로 위의 흰 차선을 vision sensor 등으로 감지하는 방법이 있다. 이들의 특징과 장단점은 자동차공학회지 98년 12월호에 특집 기고된 바 있다.

2. 학계의 횡방향 제어 (lateral control)의 연구 동향

● 차선 이탈 경고 및 방지 시스템
Isomoto 등은 운전자의 잘못된 조향으로 발생하는 사고를 방지하기 위해 차선이탈시 경고음을 발생하고 또한 능동적으로 조향각을 제어함으로써 차선을 이탈하지 않도록 하는 시스템을 그림 5와 같이 개발하였다. 차선을 인

식하기 위해 CCD camera의 visual data와 2차 fitting을 이용하였으며, 요우잉속도 센서, 횡가속도 센서, 휠속도 센서 및 조향각 센서를 토대로 차량 운동을 예측하여 이에 따른 차선 이탈 여부를 판단한다. 조향각을 제어하기 위하여 안정도를 고려한 비례 제어기를 사용하며 servo valve가 장착된 유압 액츄에이터 장치를 이용하고 실시간 HILS를 활용하여 설계하였다.

Ulsay 등은 차량이 도로를 이탈할 때 이를 미리 예측하여 운전자에게 경고해주고 일정 시간 내에 운전자의 반응이 없을 때 능동적으로 요우잉 모멘트를 제어하여 차선 이탈을 능동적으로 방지하는 시스템을 그림 6과 같이 개발하였다. 2개의 CCD camera를 이용하여 도로의 형상을 근거리와 원거리로 나누어 추정하고 앞으로의 차량 궤적을 예측하여 차량이 차선을 이탈할 때까지 예상되는 시간을 나타내는 TLC값을 계산한다. 이 TLC값이 예를 들어 2초 이내면 운전자에게 경고 메시지를 보내고 더 나아가 1초 이내면 후륜의 제동력을 조절하여 차선 이탈을 방지하는 방향으로 요우 모멘트를 생성시켜주는 시스템이다.

Sato 등은 운전자의 조향 조작을 돕기 위한 시스템으로 차선 이탈시 경고음과 동시에 torque jerk

를 조향 휠에 가해주며 더 나아가 필요시에는 조향 휠에 토오크를 가해서 차량이 차선의 중앙으로 위치하도록 해준다. 차선 이탈을 센싱하기 위해 CCD camera를 사용하고 Target driving course와 predicted driving course와의 비교를 통해 경고음을 발생하며 조향 휠에 토오크를 가하기 위해 모터를 액츄에이터로 사용한다.

● 무인 자율 차선 추종

Fenton 등은 highway automation을 위한 선도적 연구를 OHIO 주립대학에서부터 수행하였는데 차량의 횡방향 이탈 변위가 중심에서부터 0이 되도록 차량의 전륜 조향각을 제어하는 시스템을 개발하였다. 차선 중심에 매설된 자기 유도 wire를 토대로 횡방향 변위를 측정하고 제어를 위한 상태 변수는 관측기를 이용해 추정하며 최적제어 등 여러가지 제어 알고리즘을 사용하여 무인 자율 주행이 되도록 하였다.

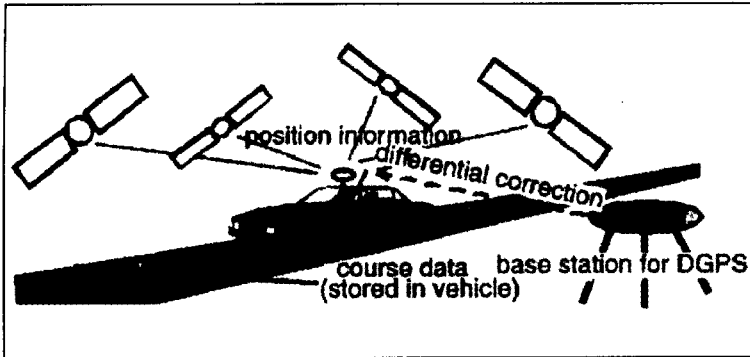
무인 자율 주행 차량에 대한 학구적 연구는 현재로 미국의 버클리 대학을 중심으로 한 PATH program에서 가장 심도 있게 연구하고 있다. 특히 횡방향 제어를 위해서 일정간격으로 차선의 중앙에 매설된 자석 표점을 이용하여 여러 가지 차선 추종 제어를 연구해 왔다. 측정된 자석 표점으로부터 도로의 곡률을 계산하고

이를 토대로 FSLQ 제어, Sliding mode 제어 Fuzzy logic 제어 등을 적용해 왔다. 최근에는 차량의 무인 자율 주행을 위하여 횡방향 제어와 종방향 제어를 통합하여 운영하는 방법을 연구 발표하였는데, 측정된 또는 추정된 차간 거리와 횡측 변위를 토대로 전륜 조향각과 엔진 토크를 Sliding mode 제어기로 제어하는 것을 제안하고 있다. 또 앞·뒤 차량의 충돌로 인해 방향성을 상실했을 때 도로를 이탈하지 않고 주행하는 등의 Fail-safe 연구를 수행하고 있다.

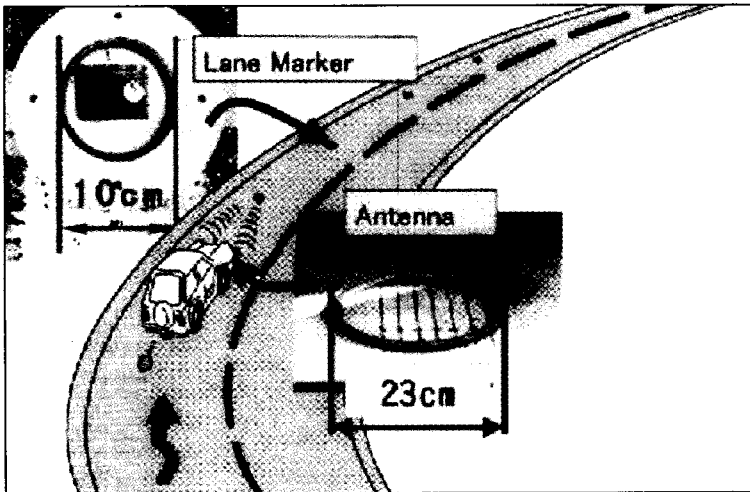
이상의 횡방향 제어는 자석 표점을 토대로 하였는데 도로의 하부 구조 건설 및 유지 등의 문제로 최근에는 vision sensor등을 활용하는 동향을 보이고 있다.

일본에서도 ASV(Advanced Safety Vehicle) 프로젝트로 운전자에게의 정보 제공, 주행 차량의 제어 및 운전자 지원 그리고 완전 자율 주행으로 나뉘어져 연구 개발하고 있다.

특히 횡방향 제어의 한 예로 동경 대학에서는 그림 7과 같이 DGPS(Differential Global Positioning System)의 차량위치 정보를 이용하여 차량이 도로를 이탈하지 않고 주행하도록 전륜을 제어하는 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션과 실험을 수행하였다.



<그림 7> 동경대 차선추종 시스템



<그림 8> 일본 ceri 차선추종 시스템

측정 변수는 DGPS로부터 얻은 차량 절대위치와 차량에 부착된 센서로부터 얻은 차량속도, 요우잉 속도이며 이를 사용하여 칼만 필터를 이용해 현재 차량의 절대위치와 heading angle을 추정하고 이를 제어기의 입력 변수로 사용하여 preview-feedback 제어를 설계하였다.

또한 Hayashi 등은 그림 8과 같이 전자석 안내 표점을 매설하

여 차량에 도로에 대한 정보도 제공하고 또 이에 따라 차선 추종을 하는 방식을 제안한 바 있다.

국내의 학계에서도 무인 자율주행 차량에 관련된 횡방향 제어가 꾸준히 연구되고 있다.

고려대·포항 공대 등에서 횡방향 제어를 위하여 vision 센서와 Neural Network, fuzzy logic 등을 활용하여 실험한 바 있고, 그 밖의 여러 대학 등에서 관

련된 연구를 활발히 수행하고 있다.

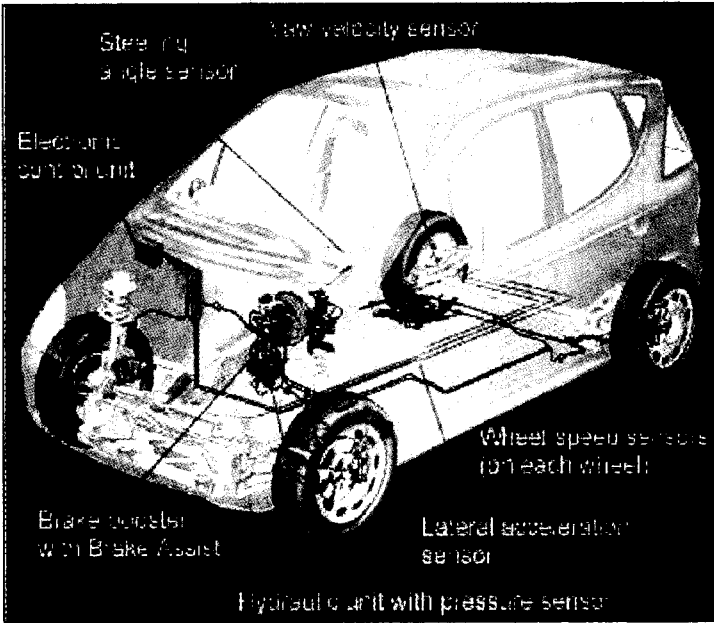
● 요우 모멘트 제어 및 4륜 조향 제어

Matsumoto 등은 빙판이나 저마찰계수 노면에서 차량의 조향시 발생하는 spin 상태를 줄이기 위해 각 바퀴의 제동력을 분배 시킴으로 차량의 보상 요우모멘트를 발생시켜 차량 자세를 바로 잡는 시스템을 개발하였다.

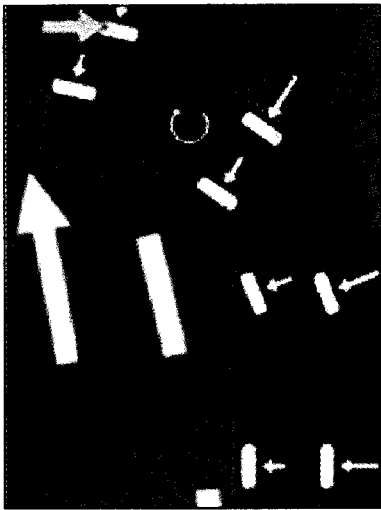
조향각 센서와 속도 센서로부터 요우잉속도를 계산하고 이를 토대로 앞, 뒤 바퀴의 differential pressure를 제어함으로써 spin 운동과 반대의 모멘트를 발생시켜 차량 안정성을 향상시킨다. Nagai 등은 요우 모멘트 제어를 위해 후륜 조향을 이용하였으며 yaw rate와 side-slip angle을 동시에 제어하여 안정성을 확보할 수 있다고 보고하였다.

Alleyne 등은 미끄러운 노면에서 차량의 조향시 횡방향 운동의 안정성을 증가하기 위해 전, 후륜의 조향각과 4바퀴의 구동 또는 제동 토크를 제어하여 횡방향 변위와 요우잉속도의 오차가 최소가 되는 시스템을 개발하였다.

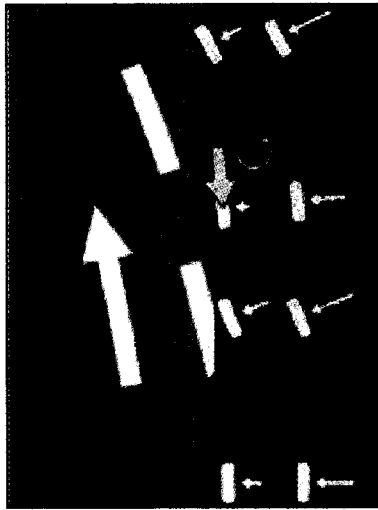
2자유도 모델을 사용하여 최적 제어기와 Model reference 제어기를 설계하였고, 측정 변수는 차량 횡가속도, 요우각, 요우잉속도 등을 사용하였으며 소형 실



〈그림 9〉 Mercedes-Benz의 ESP 시스템



〈그림 10a〉 ESP 시스템의 성능



〈그림 10b〉 ESP 시스템의 성능

험 차량에서 실차 실험을 수행하였다.

4륜 조향에 관하여는 일본의 자동차 회사들과 학계에서 활발히 연구해 왔으며 많은 논문들이 관

련 학회에 발표되어 있다. 목적으로는 Side-slip angle의 최소화, 앞에서 연구된 요우잉 운동 제어, 그리고 강인성 및 안정성 향상 등을 들 수 있으며 능동 현가 장치

와의 연계성 등도 많이 연구되고 있다. 국내에서도 한국 항공대, 한국 과학 기술원, 한양대 등에서 관련 기술을 연구해오고 있다.

3. 자동차 회사의 횡방향 제어 시스템 개발

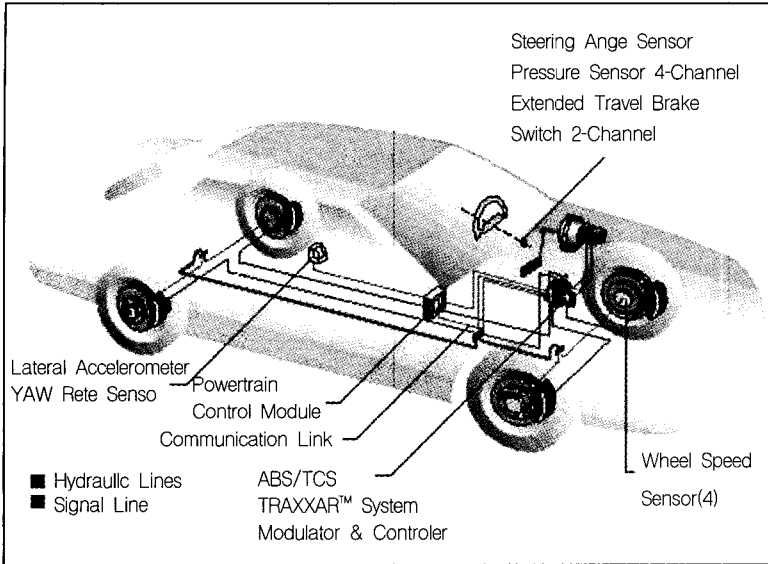
자동차 회사들은 거의 포화된 시장에서 새로운 구매 의욕을 불러일으키기 위해 첨단화, 지능화를 통한 안정성 확보와 환경 친화적인 차세대 차량 제어 기술 연구에 열중하고 있다.

특히 횡방향 제어에 관련하여 미국의 GM Delphi와 Ford, 유럽의 Mercedes-Benz, 그리고 일본의 Toyota와 Honda 등의 회사에서 안전도 증대를 목표로 한 횡방향 제어 시스템들을 개발하여 일부 장착 판매하고 있다.

독일의 Bosch회사에서 개발하여 보급하는 ESP(Electronic Stability Program) 시스템은 현재 Mercedes 등의 8개 자동차 회사에 공급되어 16개 모델에 장착 판매되고 있다.

한 예로 Mercedes-Benz의 A-class에 장착된 ESP 시스템이 그림 9에 도시되어 있다.

중요한 센싱 변수로는 요우잉 속도, 제동 압력, 조향각, 횡가속도, 차량속도 그리고 바퀴 회전속도 등이며 20 msec마다 계속 모니터링되고 있다. 그리고 이 측정



〈그림 11〉 Delphi의 TraXXar 시스템

된 변수 값들은 56KB의 메모리를 갖는 2대의 컴퓨터에서 처리되어 이미 저장되어 있는 정상상태 값들과 비교된다.

Spin-out과 같은 징후가 보이면 즉시 각각 바퀴의 제동력과 엔진 출력을 조절하여 미끄러운 길, 얼음길, 험지 등에서도 조향성을 상실하지 않도록 한다. 그림 10a에서 보듯이 왼쪽으로 급히 조향시 oversteer현상에 의해 스펀되려고 할 때 ESP 시스템은 오른쪽 후륜에 제동력을 가해 정상으로 회복시키고 그림 10b에서는 understeer현상에 의해 바깥으로 미끄러져 갈 때 ESP는 왼쪽 후륜에 제동력을 가해 차선 안으로 밀어 넣게 된다.

미국의 Delphi사에서 안전도 증대를 위한 횡방향 제어 시스템

인 TraXXar™을 개발하였다. 즉 운전자가 의도하는 대로 차가 조향되지 않는 순간 TraXXar™ 시스템은 안쪽 바퀴에 제동력을 가해 의도한 만큼 조향되도록 운전자를 보호하는 시스템이다. TraXXar™ 시스템의 구성은 그림 11과 같고 기존의 ABS/TCS 시스템들에 횡가속도 센서, 요우잉속도 센서 등을 첨가하여 운전자의 조향 명령에 따라 정상적인 횡운동 및 요우잉이 일어나는지 판단하고 이에 따른 조절을 하게 된다.

또한 Delphi사에서는 주차시의 급격한 조향과 고속 조향시의 안전도 및 조향성 증대를 위한 4WS 시스템을 개발하고 Steer-by-wire 개념으로 그림 12와 같이 구성하였다.

국내의 자동차회사들에서도 횡방향 제어에 관련하여 꾸준히 연구해 오고 있으며 작년 ITS 국내 대회에서 현대자동차 회사 등에 의해 실현된 바 있다.

4. 문제점 및 미래의 횡방향 제어

일부 자동차 회사들이 안전도 증대 및 조향성 향상을 위하여 개발한 횡방향 제어 시스템들이 고객들에게 어느 정도 인정을 받고 있다. 그러나 이 시점에서 지적해야 하는 점은 이러한 능동 안전도 시스템들이 곧 자동차 사고의 완전 방지가 아니라는 것이다.

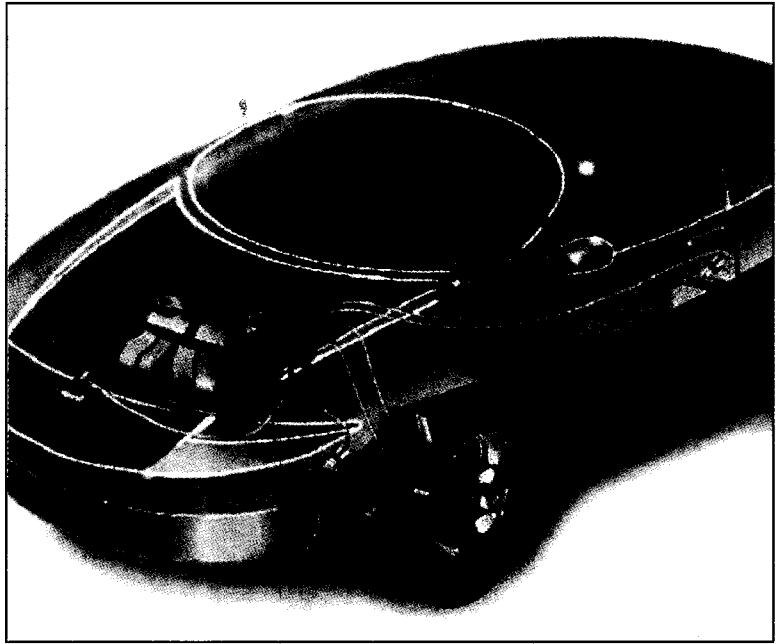
차량 제동에 관련한 능동 안전도 시스템으로서 ABS 시스템의 예를 들어 보자. 1970년대에 개발된 이래, 1997년에는 미국에서 시판된 새차의 60% 그리고 새 트럭들의 90%에 ABS 시스템이 장착되고 있다. 그러나 미국의 교통안전국 보고에 따르면 ABS 시스템이 본격적으로 장착된 1994~1995년에 차량의 충돌이나 뒤집힘으로 인한 단독차량 사고가 40% 정도 증가 했다고 한다.

이는 운전자들이 ABS 시스템에 적응하는데 상당한 시간이 걸리고 또 적응한 운전자들은 과신하여 난폭 운전을 할 수 있다는 것을 보이고 있다. 따라서 횡방향 제어 시스템도 이러한 운전자의

성향을 잘 고려해야 할 것이다.

한 예로 금년 6월에 발표된 외국 자료에 따르면 미국과 일본의 자동차 회사들이 공동으로 운전자의 의도를 정확히 판단하는 "Smart Car"를 개발하고 있다고 한다. 이전의 연구와 다른 점으로 Smart Car는 운전자가 회전을 하려는지, 차선을 바꾸려는지, 가속 또는 감속을 하려는지 아니면 추월을 하려는지 그 의도를 알아내고 이 의도가 위험할 경우 경고와 함께 보조 제어를 하는 것이다. 미국 MIT 대학의 Simulator 실험 결과에 따르면 운전자의 의도를 12초 정도 앞서서 예상하는데 95% 정도의 정확도를 보였다고 한다.

이 방법은 탑승한 운전자의 개별적인 성향을 미리 모니터링하



〈그림 12〉 Delphi의 4륜 조향 시스템

여 일련의 예비동작들이 어떤 의도 하에서 이루어지는지 분석한 data를 이용하고 있으며 운전자

들의 위험한 상황을 미리 예측하고 방지할 수 있다고 한다.

〈허건수교수 : khuh2@email.hanyang.ac.kr〉