

차량 지능화 주행 제어 시스템

이 경 수

한양대학교 기계공학부

1. 서론

자동차는 현대인들의 생활에 필수적인 요소 중의 하나가 되었으며, 그 기능도 단순한 운송 수단에서 주거 및 업무 공간으로 확대되는 추세에 있다. 현재 자동차 분야에서의 핵심 기술과제는 환경분야와 능동 안전 (Vehicle Active Safety) 및 지능화 (Intelligent Vehicle) 관련 기술이라 할 수 있다. 환경분야에서는 고갈되어 가는 화석 연료를 대체하고 장기적으로 지구의 환경을 보존하는 대체연료시스템의 개발과 자동차의 폐차 시에 가능한 한 많은 재료를 재사용 할 수 있도록 하는 리사이클링 기술 개발이 활발하게 연구 개발되고 있다. 능동 안전 및 지능화 관련 기술은 1980년대 이후 센서 및 전자제어기(Micro-processor) 및 제어기술의 급속한 발전과 더불어 활발하게 연구 개발되었으며, 서서히 실용화 제품이 나타나고 있다. 차량의 지능화는 운전자의 역할을 일부 또는 전부 대신 할 수 있는 시스템 기술을 자동차에 사용하여, 운전자에게 좀더 편리한 운전이 가능하게 하고 운전 부담을 줄여주고 (Driver Assistant), 운전자가 적절한 판단 또는 적절한 운전 조작을 하지 못하는 경우에는 적절한 제어기능을 수행하여 자동차의 안전을 향상시키고(Active Safety), 자동차가 항상 최적의 조건으로 작동하도록 함으로써 연비를 향상시키거나 오염 물질의 배출을 최소화하는 (Environment-friendly) 효과 등을 얻을 수 있다. 이 같은 차량의 지능화를 위해서는 차량 및 주행 상황을 감지하는 센서기술, 센서 신호로부터 적절한 판단을 내리는 제어기술, 엔진/브레이크/조향휠 등을 작동시키는 액츄에이터기술, 정보통신 기술 등이 필요하다.

지능화 교통시스템 (ITS, Intelligent Transportation Systems)은 21세기 자동차 기술분야 중에서 가장 급속하게 성장할 분야가 될 것으로 예측되고 있다. 지능화 교통시스템은 차량 항행 시스템 (Car Navigation Systems), 자동화 고속도로 (Automated Highways), 지능화 주행 (Intelligent Cruise Controls) 시스템, 교통감시 및 관리 (Traffic Monitoring and Management), 체계화된 교통 시설 (Organised Transport Infrastructure)

등 다양한 기술을 포함하며, 지능화 차량 기술은 지능화 교통시스템 (ITS) 의 실현에 필요한 핵심 기술 중의 하나라 할 수 있다.

1997년 미국 교통부 (The US Department of Transportation)와 미국 ITS협회 (The Intelligent Transportation Society of America)의 보고서에 따르면 1996년부터 2015년 까지 미국에서만 ITS 관련하여 4,200억 달러의 시장이 형성될 것으로 예측되고 있다. 최근에 일본의 연구보고서는 ITS를 통하여 향후 10년간 치명적인 교통사고의 15% 정도를 줄이는 것이 가능하며, 향후 30년 안에 교통 사고를 반으로 줄일 수 있을 것으로 예측하고 있다. 또한 연비 및 오염물질 배출에서도 유사한 효과를 얻을 수 있는데, 향후 30년 이내에 연비는 15%정도 향상시킬 수 있고, 이산화탄소는 15%, 질소화합물(Nox)은 30%정도 줄일 수 있을 것으로 예측하고 있다.

지능화 차량 관련 기술로 전세계의 모든 자동차회사에서 연구 개발되고있고, 이미 상용화되었거나 가까운 시일에 상용화될 예정인 제품이 지능화 주행 시스템 (Intelligent Cruise Control Systems, ICC) 과 정지/서행 주행 시스템 (Stop-and-Go Cruise Control Systems, SGS)이다.

ICC의 경우에는 유럽에서는 이미 상용화되었으며 미국의 경우에는 시스템 개발은 완료하였으나 까다로운 규제 및 사고에 대한 책임 문제 등으로 상용화는 지연되고 있다. Ford는 유럽에서는 1999년부터 ICC를 판매하고 있으나 미국에서는 판매하지 않고 있다. 독일의 벤츠(Benz)는 2001년에 미국 수출차량에 ICC를 장착하여 판매할 예정으로 있으며, 일본의 도요다(Toyota)는 2002년에 미국에 판매예정으로 있다. 국내의 자동차 업체들도 지능화 주행 시스템의 독자 개발 연구를 진행하고 있다.

ICC의 경우에는 40 km/h 이상의 주행 속도에서 사용되며, 그 이하의 속도에서는 정지/서행 주행 시스템(SGS) 이 사용된다. 두 시스템은 기본적으로 같은 센서/제어기/액츄에이터로 구성될 수 있으며, 다만 주행상황에 따라 제어 알고리즘만 달라지게 된다. ICC의 경우에는 고속에서 작동하고 안전거리가 10m 이상이나, 정지/서행 시스템의 경우는 저속으로

주행하고 안전거리가 짧고 정확한 거리제어가 필요하므로 ICC 보다 정밀하게 제어되는 것이 필요하고, 상대적으로 빠른 제어 액츄에이터가 필요하다.

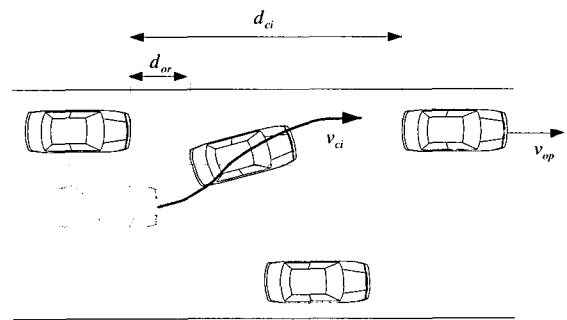
2. 지능화 주행 (ICC) 및 정지/서행 주행 시스템 (SGS)

주행제어시스템(Cruise Control System)은 운전자가 설정해놓은 속도로 자동차가 주행하도록 엔진을 제어하여 운전자가 장시간 운전하는 경우에 운전자의 부담을 줄여주는 시스템이다. 그러나 일반적인 주행 제어시스템은 교통량이 증가하고 도로가 혼잡해짐에 따라 운전자에 의해 설정된 속도로 정속 주행하는 것이 점점 힘들어지게 되고 그 효율 가치가 점점 줄어들고 있다. 지능화 주행 시스템 (ICC) 은 기존의 주행제어시스템에 차량 감지 센서를 추가하여 주행 중 전방에 저속의 차량이 나타나면 안전거리를 유지하면서 앞 차량의 속도로 감속하여 주행하고 앞 차량이 설정속도 이상으로 주행하거나 전방에 차량이 없어지면 다시 설정속도로 주행하는 한 단계 발전된 지능화 차량 시스템이라 할 수 있다. 정지/서행 주행 시스템(SGS)은 차량이 저속으로 주행하면서 정지, 서행을 반복하는 경우 앞 차량과의 안전거리를 유지하면서 자동으로 앞 차량을 따라가는 자동주행 시스템이다.

지능화 주행제어시스템(ICC 및 SGS)은 가속, 감속, 정지, 차량간 거리유지 등 단순, 반복적인 운전조작이 필요한 상황에서 운전자의 운전부담을 덜어주는 것을 목적으로한다. ICC 의 경우는 앞차량과의 거리 제어기능이 주요기능이며, SGS 의 경우는 훨씬 다양한 상황에 대한 제어기능을 필요로 한다. SGS 에 필요한 기능은 다음과 같다[2].

- 1) 앞차와의 안전 거리 유지
- 2) 전방차량이 감속하는 경우 같이 감속하고, 필요한 경우 완전히 정지
- 3) 정지한 차량이 전방에 있는 경우 최소한의 거리를 유지하며 정지
- 4) 전방 차량이 출발하는 경우 안전 거리를 유지하며 출발
- 5) 전방에 차량이 없는 경우는 설정속도로 가속 및 정속 유지
- 6) 경사도로에서 정지
- 7) 끼어드는 차량에 대해 적절한 안전 거리 유지
- 8) 운전자가 차선을 변경하는 경우 적절한 거리 및 속도 제어
- 9) 주행제어시스템의 제어성능을 벗어나는 한계상황이 발생하는 경우 운전자에게 알리는 기능
- 10) 운전자에 의해 브레이크가 작동되는 경우 제어기 정지
- 11) 운전자의 선택에 따른 차간거리 조절기능

그림 1 은 지능화 차량제어시스템이 고려해야하는 차선변경차량이 있는 경우의 주행 상황의 예를 보여주고 있다. 앞차량과 안전거리(d_{ci})를 유지하고 주행하는 중에 옆 차선의 차량이 끼어드는 경우(그림 1 (a)) 끼어드는 차량(v_{ci})의 속도와 차간거리에 따라 적절히 차속을 제어해야 한다. 앞 차량(First preceding vehicle)이 차선을 바꾸어 빠져나가는 경우(그림 1 (b))에는 새로운 앞차량(Second preceding vehicle)과의 상대거리를 유지하도록 가속하거나, 앞 차량이 설정속도 이상의 속도로 주행할 경우에는 설정속도로 주행하도록 제어한다. 거리 또는 속도제어를 위한 차량제어기법은 3절에서 설명한다.



(a) Situation of cut-in

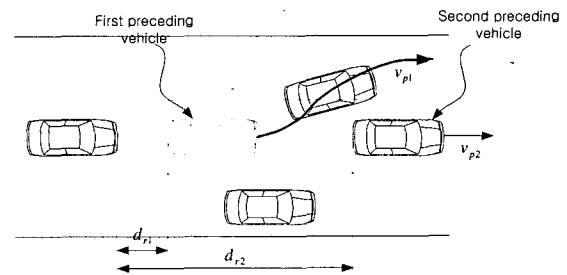


그림 1. (b) Situation of cut-out.

2.1 주행제어시스템의 구성

그림 2 은 지능화 주행 제어시스템을 보여주고 있으며, 그림 3는 지능화 주행 제어시스템의 구성의 한 예를 보여주고 있다. 기존의 차량에 운전자가 목표속도와 차간거리를 설정하는 운전자 인터페이스 부분과 주행 전방의 차량을 감지하는 레이더센서(Radar), 센서에 의해 측정된 신호를 바탕으로 적절한 제어알고리즘에 따라 엔진 및 브레이크 제어입력을 결정하는 제어기(Controller), 제어기의 제어입력에 따라 엔진 및 브레이크를 작동시키는 엔진/브레이크 액츄에이터(Throttle/Brake Actuators)가 추가되어 차량의 진행방향의 속도 및 앞차와의 상대거리를 제어하게된다. 이와 같은 지능화 주행 시스템은 운전자의 감지, 판단, 운전조작을 대체하는 기능을 갖으며, 교통량이 많은 도로에서 운전자의 운전을 대

신하여 줌으로써 운전 편의성을 크게 향상시킬 수 있고, 혼잡한 도로에서 최적의 상태로 차량이 주행 되도록 엔진 및 브레이크를 제어함으로써 숙련되지 않은 운전자의 운전조작으로 인한 과도한 연료소모 및 공해 물질 배출을 억제하는 효과도 얻을 수 있다. 우리 나라와 같이 고속도로나 일반도로에서 교통 정체가 심한 경우에 운전자의 운전 부담을 크게 줄일 수 있는 편리하고 효과적인 시스템이 될 것이다.

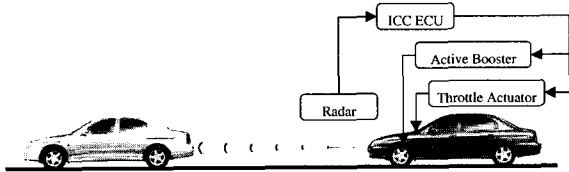


그림 2. An Intelligent Vehicle Cruise Control System.

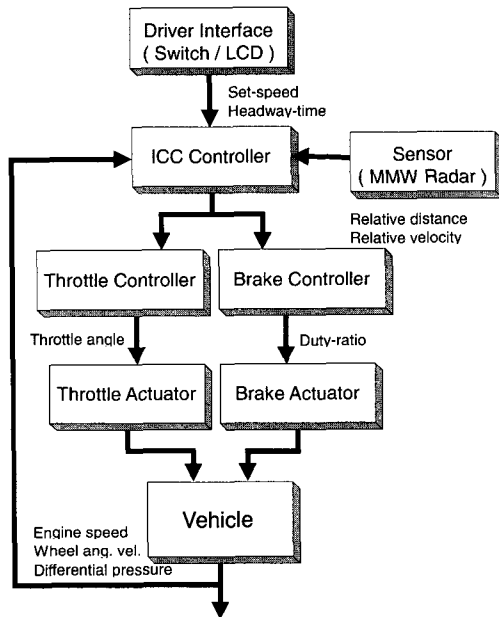


그림 3. Configuration of an Intelligent Vehicle Cruise Control System.

2.2 센서 및 액츄에이터

그림 4은 지능화 차량 주행제어시스템에 사용된 센서(mm Wave Radar Sensor), 브레이크 액츄에이터, 엔진 스로틀 액츄에이터를 보여주고 있다. 전방차량 또는 장애물 감지 센서로는 레이저 레이더 (Laser Radar) 또는 밀리파 레이더(mm Wave Radar) 등이 사용되는데 레이저 레이더는 안개, 우천시등 기상조건에 매우 민감하여 짙은 안개시에는 측정가능거리가 대폭 감소하며 센서부의 오물 부착에도 매우 민감한 것이 단점이다. 밀리파 레이더는 안개, 우천시등의 기상조건에 거의 영향을 받지 않으며 대상물의 표면 형상이나 색 등의 영향을 거의 받지 않는다[1]. 이러

한 장점 때문에 차량용 센서로는 밀리파 레이더가 더 적합한 것으로 판단되고 있다.

엔진의 출력을 제어하는 스로틀 액츄에이터는 DC 모터나 스텝모터가 사용된다. 그림 4에 나타나있는 스로틀 액츄에이터는 스텝모터를 사용한 경우이며, 스로틀 밸브에 풀리(Pulley)를 추가로 설치하여 케이블로 연결하여 스로틀 각을 제어하는 방식이다. 시스템이 동작중이 아닐 때는 운전자가 밟는 만큼 스로틀 밸브가 열리며 시스템이 동작중일 때는 스텝모터에 의해 스로틀 밸브가 제어된다.

브레이크의 압력제어는 브레이크 매스터실린더 (Master Cylinder)압력을 유압으로 직접 제어하는 유압식, DC 모터 또는 유압제어밸브를 사용하여 휠의 캘리퍼압력을 직접제어하는 방식, 진공 부스터 (Vacuum Booster)의 차압(Differential Pressure)을 제어하는 방식 등이 사용되고 있다. 그림 4에 보여진 브레이크 액츄에이터는 솔레노이드 밸브를 사용하여

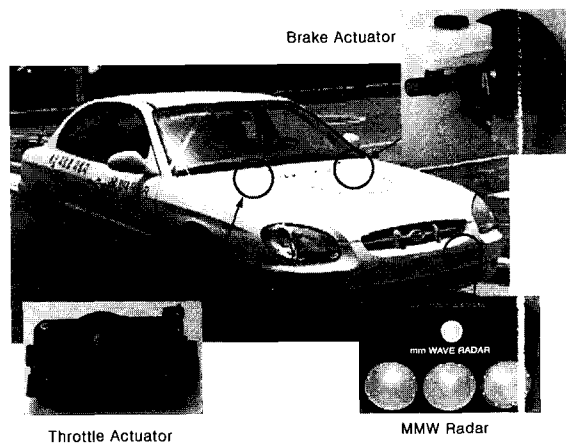


그림 4. mm Wave Radar Sensor, Throttle Actuator and Brake Actuator.

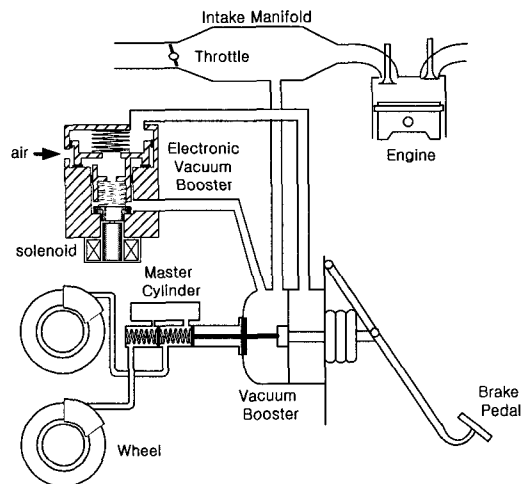


그림 5. Schematic of an Electronic Vacuum Booster.

진공부스터의 유로를 제어하여 차압을 제어하는 전자제어 진공부스터 (Electronic Vacuum Booster, EVB) 이다. Fig. 5는 EVB의 구성도를 보여주고 있다. 솔레노이드 밸브에 가해지는 PWM 신호의 듀티율(Duty Ratio)에 따라 진공부스터의 차압이 형성되는 방식이며, 형성된 차압은 브레이크의 마스터 실린더에 힘을 가하여 제동력을 발생시킨다. EVB는 진공 부스터에 차압을 발생시키기 위해 엔진의 흡기 매니폴드(Intake Manifold)의 진공을 사용한다.

3. 지능화 주행 시스템의 제어기법

차량의 주행제어기법은 1980년대 중반부터 다양한 방법이 연구되었다[3-12]. 차량시스템의 선형 모델을 이용하여 최적제어를 적용하거나, PID 제어를 적용한 경우, 차량 엔진의 비선형 모델을 고려한 슬라이딩모드 제어기법(sliding mode control), 차량모델을 사용하지 않고 차간거리와 속도에 따라 가속 또는 감속을 결정하는 퍼지제어기법(fuzzy control), 슬라이딩모드제어와 퍼지제어의 장점을 결합한 퍼지-슬라이딩 제어, 차량의 주행환경의 변화에 따라 제어이득을 변화시키는 적응제어나 게인 스케줄링(gain scheduling) 등 다양한 제어기법이 연구되었다. 최근에는 주행제어시스템의 운전제어가 운전자가 편안하게 느끼고, 운전자의 운전 방식과 가능한 한 가깝게 할 수 있는 제어기법 (human-centered control)을 통하여 driver acceptance를 향상시키는 제어기법, 숙련된 운전자가 운전하는 방식과 같이 주위차량의 주행을 고려하여 차량을 제어하는 제어기법, 여러 대의 자동주행 차량이 주행하는 경우, 각각의 차량제어시스템의 영향에 의하여 발생할 수 있는 불안정성을 제거하고 모든 자동주행 차량의 주행 안정성을 보장하는 차량 제어기법 등이 연구되고 있다. 주행제어시스템은 운전자의 조작이 가해지면 제어알고리즘은 작동하지 않고 운전자의 조작을 따르도록 설계되며, 운전자의 운전방식과 제어기의 제어입력과의 간섭이 최소화되도록 제어알고리즘을 설계하는 것이 중요하다. 지능화 차량제어시스템의 제어에서 중요한 것은 운전자가 편안하게 느낄 수 있고, 숙련된 운전자가 운전하는 것과 같은 제어성능을 제공하는 것인데, 이를 위해서는 엔진-변속기를 포함하는 동력전달계(powertrain) 및 제동시스템(brake)의 동역학적 특성을 고려하고, 도로경사의 변화, 노면 마찰력의 변화, 차량의 특성 변화 등 다양한 주행상황의 변화에 대처하여 제어 알고리즘을 적응(adaptation)시키고, 운전자의 운전 취향에 맞도록 제어게인을 변화시켜주는 것이 필요하다. 단순한 차량모델을 사용하여 개발된 제어기법은 차량시스템의 특성을 충분히 반영

하지 못하기 때문에 숙련된 운전자가 운전하는 것과 같은 성능조건을 만족시키기 어렵다.

이 글에서는 차량모델과 동력전달계 (powertrain) 및 제동시스템 (brake)의 동역학적 특성을 고려한 제어기법을 소개한다.

3.1 차량 모델

그림 6은 차량 모델을 보여주고 있다.

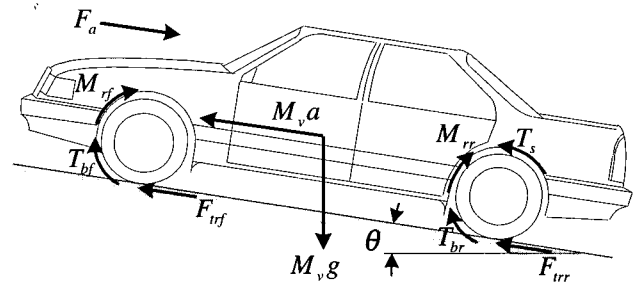


그림 6. Vehicle model.

차속의 상태 방정식은 다음과 같고,

$$M_v \dot{v} = F_{trf} + F_{trr} - F_L \quad (1)$$

F_{trr} 와 F_{trf} 는 구동륜과 피동륜의 구동력이고 F_a 는 공기저항력, θ 는 도로 경사각도, M_v 는 차량의 총무게, M_r 은 구름저항이다. 여기서 F_L 은 주행부하로써 경사부하, 공기부하, 그리고 구름저항에 대한 부하를 모두 포함하는 값이다.

구동륜과 피동륜 휠의 각속도 상태 방정식은 식 (2)와 같고,

$$\begin{aligned} J_{wr} \dot{\omega}_{wr} &= T_s - r_r F_{trr} - T_{br} \\ J_{wf} \dot{\omega}_{wf} &= -r_f F_{trf} - T_{bf} \end{aligned} \quad (2)$$

r_f, r_r 는 전륜/후륜의 반지름, J_{wr} 와 J_{wf} 는 각각의 휠의 관성, T_{br}, T_{bf} 는 각각 바퀴의 제동력을 나타낸다.

3.2 ICC 제어

그림 7은 전체적인 ICC제어 시스템의 구조를 보여주고 있다. ICC는 운전자가 설정한 속도를 유지하도록 제어하다가 앞차량이 발견되면 헤드웨이 차간거리를 유지하도록 스로틀 또는 브레이크를 제어하게 된다.

3.2.1 목표 감가속도 설계

거리 제어시에는 현재의 상황에서의 목표 감가속도를 계산하기 위해서 앞 차량과의 상대속도, 상대거리 그리고 내 차 속도를 피드백하여 최적의 감가속도를 설정한다. 먼저 상태변수를 식(3)과 같이 정

의하고 상태 방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$x_1 = d_r - t_h v_{cc}, \quad x_2 = v_r \quad (3)$$

$$u = a_{cc}, \quad w = a_p \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -t_h \\ -1 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} w \quad (5)$$

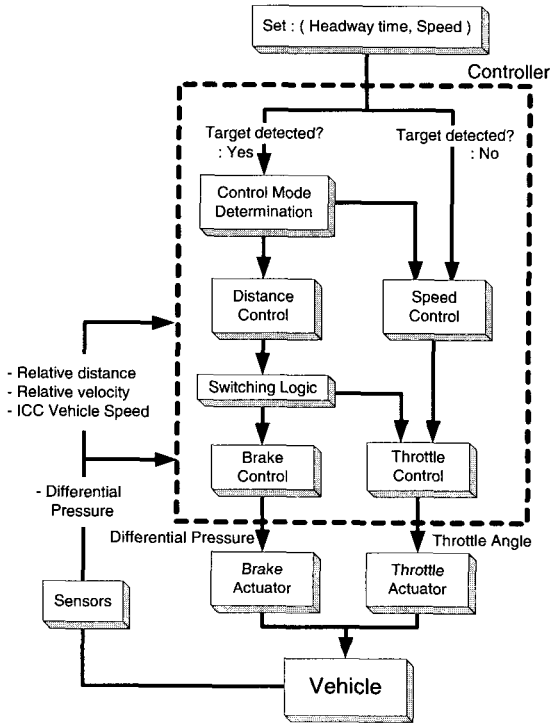


그림 7. Schematic of ICC system.

다음과 같은 성능 지수(Performance Index)를 정의하고 속도,거리오차와 내 차의 감/가속도를 최소화 하도록 제어입력 u 를 결정하게 된다.

$$J = \int [x_1^2 + \rho_1 x_2^2 + \rho_2 u^2] dt \quad (6)$$

여기서, d_r 은 상대거리, t_h 는 헤드웨이 거리, v_{cc} 는 내 차속, v_r 은 상대속도, a_{cc} 는 내차의 감가속도를 나타낸다.

$$u = -Kx = -k_1(d_r - t_h v_{cc}) - k_2 v_r \quad (7)$$

속도제어시에는 아래식과 같이 설정속도 v_{set} 과 내 차속의 차이에 비례이득을 곱하여 감가속도를 계산한다.

$$u = -k \cdot x_1 = -k \cdot (v_{set} - v_{cc}) \quad (8)$$

이로부터 최적 계인을 구하여 감/가속도를 구하고, 최대 감/가속도의 한계를 두고 이를 추종하도록 2차

필터를 사용하였다. 이와 같은 감/가속도 계산과정을 그림 8에 요약하여 나타내었다.

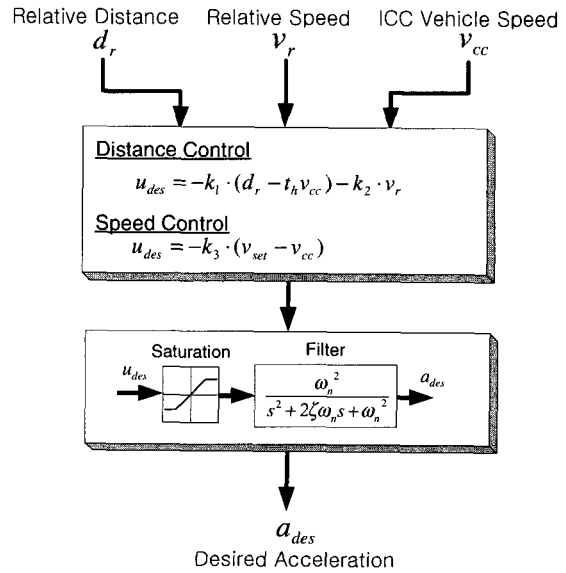


그림 8. Calculation of Desired Acceleration.

3.2.2 쓰로틀 제어(Throttle control)

쓰로틀 제어는 ICC 시작시, 현재 속도를 유지하다가 운전자가 목표속도를 설정하였을 때 설정속도를 추종하도록 한다. 이를 위해 현재 상황에서의 목표 가속도가 계산되어지고 이를 추종하도록 차량동역학에 기반한 쓰로틀 각 계산과 가속도 오차에 따른 PI 제어를 하였다. 이에 대한 개략도를 그림 9에 나타내었다.

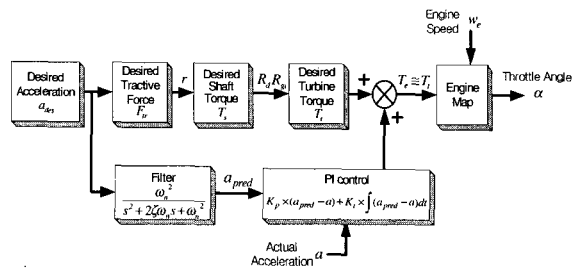


그림 9. Throttle Control.

3.2.3 브레이크 제어(Brake Control)

쓰로틀 제어(Throttle control)만으로 목표 감속도(Desired deceleration)가 추종되지 못한 경우, 브레이크 제어가 필요하게 된다. 먼저, 앞에서 구해진 목표 감속도를 추종하도록 차량과 휠의 동역학으로부터 브레이크 토크를 정의한다.

이 목표 차압을 추종하도록 Feedforward+PID 제어를 통해 듀티율을 다음과 같이 계산하였다.

$$u = P_f \times P_{d,des} + P \times (P_{d,des} - P_d) + I \times \int (P_{d,des} - P_d) dt + D \times (\dot{P}_{d,des} - \dot{P}_d) \quad (9)$$

브레이크 제어에 관한 전체적인 개략도를 그림 10에 나타내었다.

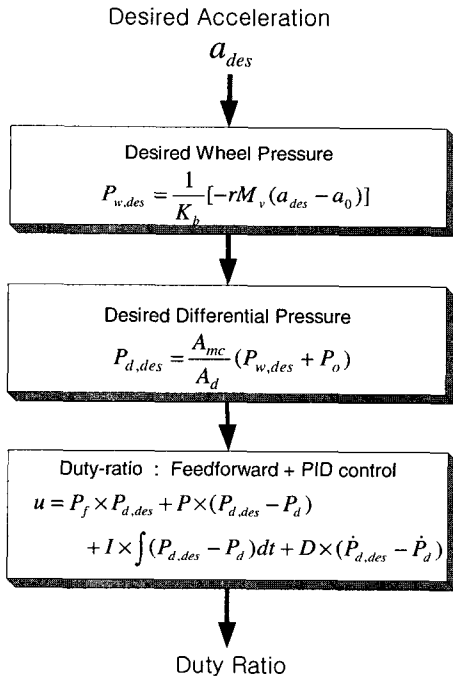


그림 10. Brake Control.

3.3 정지/서행 순항 제어 알고리즘

이전의 대부분의 차량 추종에 관한 연구는 변속기(transmission)의 토크 컨버터(torque converter)가 잠겨 있거나(lock) 혹은 토크 컨버터의 속도비가 무시할

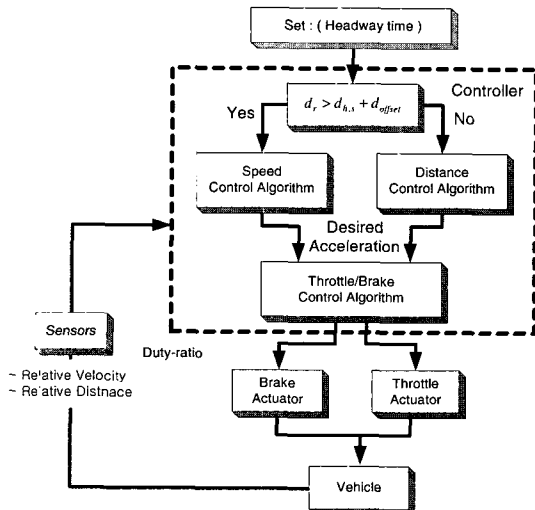


그림 11. Schematic of Stop and Go system.

수 있는 것으로 가정되었고 그 결과 토크 컨버터의 특성은 제어 문제의 관점에서 고려되지 않았다. 차량이 큰 속도에서 주행하는 지능형 순항 제어의 경우 그 가정이 유효할 지라도 정지/서행 순항 제어의 경우에는 적용되지 않는다. 토크 컨버터가 정지/서행 주행 상황에서 중요한 역할을 하므로 스로틀/브레이크 제어기법의 개발에 있어서 고려되어야만 한다. 그림 11은 정지/서행 순항 제어 알고리즘을 보여준다.

제어 알고리즘은 속도와 거리 제어 알고리즘과 결합된 스로틀/브레이크 제어 기법으로 이루어져 있다. 선행 차량과의 상대거리와 상대속도, 그리고 사전에 선택된 속도가 제어기에 입력된다. 헤드웨이 거리와 선행차량과의 거리의 비교는 다음과 같이 속도 제어와 거리 제어 사이에서 제어 형태를 결정하는데 이용된다.

If $d_r > d_{h,s} + d_{offset}$, then "speed control"
Else, then "distance control"

여기서 d_r 은 차량간 상대거리, $d_{h,s}$ 는 조정된 헤드웨이 거리, d_{offset} 은 오프셋 거리이다. 헤드웨이 거리에 차량 제동 거리에서 타이어-노면 마찰과 운전자의 주행 경향을 영향을 포함시키기 위하여 조정된 헤드웨이 거리, $d_{h,s}$ 는 다음과 같다.

$$d_{h,s} = f(\mu) \cdot q(driver) \cdot d_h \quad (10)$$

$$d_h = v_p t_h + d_0 \quad (11)$$

여기서 $f(\cdot)$ 는 마찰 조정 함수, μ 는 타이어-노면 마찰 계수, $q(\cdot)$ 는 운전자 조정 함수, v_p 는 선행차량의 속도, t_h 는 헤드웨이 시간, 그리고 d_0 는 헤드웨이 오프셋이다. 운전자 조정 함수는 운전자의 영향을 제한하도록 $q_{min} < q(\cdot) < q_{max}$ 의 범위안에 구속되어야 한다. 마찰 조정 함수는 다음의 각각의 선행 함수의 형태로 표시된다.

$$f(\mu) = \begin{cases} f(\mu_{min}) & \text{if } \mu \leq \mu_{min} \\ f(\mu_{min}) + \frac{f(\mu_{norm}) - f(\mu_{min})}{\mu_{norm} - \mu_{min}} (\mu - \mu_{min}) & \text{if } \mu_{min} < \mu < \mu_{norm} \\ f(\mu_{norm}) & \text{if } \mu \leq \mu_{norm} \end{cases} \quad (12)$$

여기서 μ_{norm} 은 일반적인 마찰계수이며 μ_{min} 은 최소 마찰 계수이다. $f(\mu_{norm})=1$ 로 설정할 수 있으며 $\mu_{norm}, \mu_{min}, f(\mu_{min})$ 은 조정 함수를 위해 조정될 수 있는 변수들이다. 마찰 조정 함수는 타이어-노면 마찰 계수의 추정된 값을 이용하여 계산된다.

3.3.1 목표가속도 설계

- 속도 제어(Speed Control)

상대거리를 거리 offset이 더하여진 안전거리와 비교하여 큰 경우는 거리제어가 아닌 속도를 추종할

수 있는 속도제어를 택한다. 이는 일반적인 운전자의 운전성향을 고려하여 적용한 것으로서 선행차량의 초기 상대거리가 안전거리보다 큰 경우 급속하게 가속하는 현상을 방지한다. 이 때 추종하도록 제어 되는 설정속도는 선행차량의 속도보다 속도offset만큼 큰 값으로 결정한다.

$$a_{des} = K(v_{set} - v_{controlled}) \quad (13)$$

$$v_{set} = v_p + v_{offset} \quad (14)$$

여기서 K 는 비례 게인(Proportional gain)이고 v_{offset} 은 offset 속도를 의미한다.

• 거리 제어(Distance Control)

상태변수를 식(15)과 같이 결정하고 상태 방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$x_1 = d_{h,s} - d_r, \quad x_2 = v_r \quad (15)$$

$$u = a_{cc}, \quad w = a_p \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} t_h \\ 1 \end{bmatrix} w \quad (17)$$

여기서 $d_{h,s}$ 는 조정된 헤드웨이 거리, d_r 은 상대거리, v_r 은 상대속도, v_{cc} 는 제어되는 차량의 속도, a_{cc} 는 제어되는 차량의 감가속도를 나타낸다.

다음과 같은 성능 지수(Performance Index)를 정의할 수 있고,

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt \quad (18)$$

$$Q = \begin{bmatrix} \rho_1 & 0 \\ 0 & \rho_2 \end{bmatrix}, \quad R = [r] \quad (19)$$

여기서 ρ_1, ρ_2, r 은 성능과 승차감사이에서 상호보완적으로 선택된다.

이 성능지수로부터 속도, 거리오차와 내차의 감가속도를 최소화하도록 최적 게인 k_1, k_2 를 구하고 다음의 제어입력 u , 즉 최적의 감가속도를 결정하게 된다.

$$u = -Kx = -k_1(d_{h,s} - d_r) - k_2 v_r \quad (20)$$

승차감을 해치는 너무 큰 가속도를 피하기 위하여 다음과 같은 포화함수(saturation function)과 2차 필터(second order filter)를 사용하여 목표 가속도, a_{des} 를 얻는다.

$$\frac{a_{des}}{u_{sat}} = \frac{\omega^2}{s^2 + 2\zeta \cdot \omega \cdot s + \omega^2} \quad (21)$$

$$u_{sat} = sat(u) = \begin{cases} u_{max} & \text{if } u \geq u_{max} \\ u & \text{if } u_{min} < u < u_{max} \\ u_{min} & \text{if } u \leq u_{min} \end{cases} \quad (22)$$

여기서 안락한 승차감을 제공하고 차량을 감가속하는 동안 자동 변속기의 킥다운(kick-down) 현상을 방지하기 위하여 u_{min}, u_{max} 를 설정하는 것이 필요하다.

3.3.2 쓰로틀 제어(Throttle control)

선행차량의 저속 주행 시 속도정보를 이용하여 적절한 안전거리를 유지하도록 자차의 속도를 제어한다. 그림 12은 쓰로틀 제어에 대한 개략도이다.

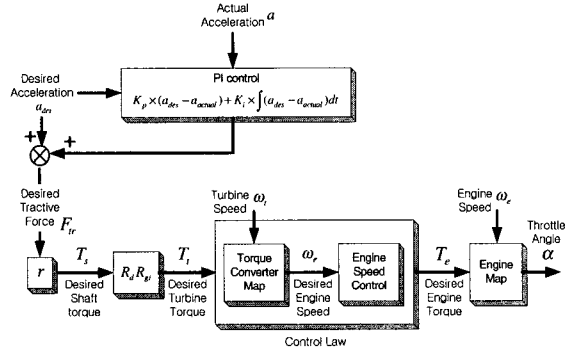


그림 12. Throttle Control.

3.3.3 브레이크 제어(Brake Control)

브레이크 토크는 목표 가속도를 추종하는데 엔진만으로는 제동이 충분하지 않을 때 적용된다. 주어진 차량의 속도를 위한 목표가속도가 쓰로틀/브레이크 전환선(switching line)보다 작을 때, 즉 브레이크 제어 영역일 때 목표 제동 토크가 다음과 같은 차량 동력학적인 함수로부터 계산된다.

피드포워드와 PID (proportional-integral-derivative) 제어가 EVB압력을 제어하기 위하여 사용된다.

$$u = g^{-1}(p_{d,des}) + P \cdot (p_{d,des} - p_d) + I \cdot \int (p_{d,des} - p_d) dt + D \cdot (\dot{p}_{d,des} - \dot{p}_d) \quad (23)$$

여기서 u 는 EVB 솔레노이드(solenoid) 밸브에 적용되는 듀티 입력을, p_d 는 EVB 차압을, P, I, D 는 게인값을 의미하고, $g(\cdot)$ 는 EVB 솔레노이드 밸브에 적용되는 듀티(duty) 입력과 EVB 차압의 안정 상태 값 사이의 관계를 나타내는 함수이다.

$$p_d = g(u) \quad (24)$$

4. 결론

지능화 차량 주행 제어기법은 1980년대 중반부터 활발하게 연구되었으며, 다양한 제어기법에 대한 연구가 이루어졌다. 최근에는 주행제어시스템의 운전 제어가 운전자가 편안하게 느끼고, 운전자의 운전 방식과 가능한 한 가깝게 할 수 있는 제어기법

(human-centered control)을 통하여 driver acceptance를 향상시키는 제어기법, 숙련된 운전자가 운전하는 방식과 같이 주위차량의 주행을 고려하여 차량을 제어하는 제어기법, 여러 대의 자동주행 차량이 주행하는 경우, 각각의 차량제어시스템의 영향에 의하여 발생할 수 있는 불안정성을 제거하고 모든 자동주행 차량의 주행 안정성을 보장하는 차량 제어기법 등이 연구되고 있다. 주행제어시스템은 운전자의 조작이 가해지면 제어알고리즘은 작동하지않고 운전자의 조작을 따르도록 설계되며, 운전자의 운전방식과 제어기의 제어입력과의 간섭이 최소화되도록 제어알고리즘을 설계하는 것이 중요하다.

지능화 차량제어시스템의 제어에서 중요한 것은 운전자가 편안하게 느낄 수 있고, 숙련된 운전자가 운전하는 것과 같은 제어성능을 제공하는 것인데, 이를 위해서는 엔진-변속기를 포함하는 동력전달계(powertrain) 및 제동시스템(brake)의 동역학적 특성을 고려하고, 도로경사의 변화, 노면 마찰력의 변화, 차량의 특성 변화 등 다양한 주행상황의 변화에 대처하여 제어 알고리즘을 적응(adaptation)시키고, 운전자의 운전 취향에 맞도록 제어게인을 변화시켜주는 것이 필요하다.

ICC 와 정지/서행 주행 제어시스템은 교통흐름을 원활하게 하여 교통 체증을 감소시키고, 사고를 상당 부분 줄이는 효과를 제공할 수 있다. ICC와 정지/서행 주행시스템은 차량의 운전 편의성 및 안전을 한 차원 높은 시스템으로 볼 수 있으며 향후 충돌경보 및 회피 시스템과 통합되어 발전될 것으로 예측되고 있다.

1990년대 중반 이후 국내에서도 지능화 차량제어에 관한 연구가 많이 이루어 지고있다. 국내의 연구는 해외의 경우와 달리 산, 학, 연의 조직적 연구라기보다는 개별적이고 산발적인 연구에 그치는 경향이 많아 이미 제품화 단계에 이른 해외의 경우보다 연구가 뒤쳐져 있으며, 핵심 기술의 독자 개발 및 기술 축적에 어려움을 갖고있다. 따라서, 지속적으로 지능화 차량 제어시스템 및 부품, 제어기술에 관한 연구를 추진하고 기반 기술을 축적하고 고급연구인력을 장기적으로 양성하는 것이 필요하다. 또한 산, 학, 연 핵심인력의 연구 역량 결집 및 정보 공유 및 확산이 필요하다. 21세기 국가 지능화교통시스템(Intelligent Transportation Systems)의 실현에도 자동차 지능주행제어시스템 기술은 핵심 기술이므로 ITS 와 연관하여 자동차기술 및 도로 교통기술을 통합하여

추진하는 선진 도로-자동차 시스템에 대한 연구도 필요하다.

참고문헌

- [1] 장경영, 박종웅, “고안전도 차량을 위한 외부 환경인식 센서” 대한기계학회 2001년도 동역학 및 제어부문 동계 워크숍 논문집, pp. 153-158.
- [2] Dr. Paul Venhovens, Dr. Karl Naab, Bartono Adiprasito. “Stop and Go Cruise Control”, Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress, June 12-15, 2000, Seoul, Korea, paper no. F20001396.
- [3] Goudy, R. and Andrews, S. “Brake Control Strategy for Optimized Safety and Comfort,” 5th World Congress on ITS, Seoul, Korea, October 1998.
- [4] Maciucia, D.B. “Nonlinear Robust Control with Application to Brake Control for Automated Highway Systems.” Ph.D. Thesis, University of California at Berkeley, Berkeley, CA, 1997.
- [5] H. Winner, S.Wittie. “Adaptive Cruise Control System Aspects and Development Trends.” SAE Transactions, Paper no. 961010.
- [6] A.Hoess, W.Hosp, R.Doerfler. “Longitudinal Autonomous Vehicle Control Utilizing Access to Electronic Throttle Control, Automatic Transmission and Brakes.” SAE Transactions, Paper no. 961009.
- [7] Yi, K., Lee, S., “Modeling and Control of an Electronic-Vacuum Booster for Vehicle-to-Vehicle Distance Control”, AVEC 2000, 5th International Symposium on Advanced Vehicle Control, August 22-24, 2000, Ann Arbor, Michigan, AVEC #29.
- [8] Prestl, W., “The BMW Active Cruise Control ACC”, SAE paper no. 20000344.
- [9] 이동현, 장광수, “슬라이딩 모드를 이용한 차량 간격 자동 제어 알고리즘에 관한 연구”. 한국자동차공학회 논문집 8권 2호, pp92-101,2000.
- [10] Inoue, N., Nishida, M. and Washino, S., “A Robust Cruise control System Using the Disturbance Observer”, SAE Transactions, Paper no. 930771.
- [11] Fujita, Y., Akuzawa, K., and Sato, M. “Radar Brake System.” In 1995 Annual Meeting of ITS America, vol. 1, pp.95-101, Washington D.C., March 1995.
- [12] Sei-Bum Choi, Peter Devlin. “Throttle and Brake Combined Control for Intelligent Vehicle Highway Systems.” SAE Transactions, Paper no. 951897.

이 경 수

제어 · 자동화 · 시스템공학회지 제2권 제2호 P. 41~56참조.