

신경망을 이용한 엔진/브레이크 통합 VDC 시스템에 관한 연구

A Study on the Engine/Brake integrated VDC System using Neural Network

지 강 훈, 정 광 영, 김 성 관*
(Kang-Hoon Ji, Kwang-young Jeong, and Sung-Gaun Kim)

Abstract : This paper presents a engine/brake integrated VDC(Vehicle Dynamic Control) system using neural network algorithm methods for wheel slip and yaw rate control. For stable performance of vehicle, not only is the lateral motion control(wheel slip control) important but the yaw motion control of the vehicle is crucial. The proposed NNPI(Neural Network Proportional-Integral) controller operates at throttle angle to improve the performance of wheel slip. Also, the suggested NNPID controller performs at brake system to improve steering performance. The proposed controller consists of multi-hidden layer neural network structure and PID control strategy for self-learning of gain scheduling. Computer Simulation have been performed to verify the proposed neural network based control scheme of 17 dof vehicle dynamic model which is implemented in MATLAB Simulink.

Keywords : VDC(Vehicle Control System), neural network, engine-based TCS, vehicle dynamics

I. 서론

차량이 미끄러운 노면 위에서 가속하게 되는 경우, 휠의 슬립은 구동력을 감소 시키고 차량의 불안정성을 증가시키게 된다. 또한 갑작스런 선회 시 차량은 안정성을 잃게 되고 조향 불능에 빠지게 된다. 차량의 주행 안정성에 관한 개발 목표 중 하나는 일반 운전자들이 예측하지 못하거나 예측하더라도 신속하게 대응하지 못하여 발생하는 차량의 불안정한 거동을 능동제어 하여 차량의 안정성을 확보하는 것이다. 이러한 주행안정성을 위한 장치들은 전자 제어 기술의 발달과 더불어 크게 발전하였다[1].

대표적인 장치로는 제동 시 바퀴 잠김을 억제하여 제동거리를 단축하거나 제동 시에도 조향성을 확보하는 ABS(Anti-Brake System), 구동시 바퀴의 스핀을 방지하여 가속 성능을 향상 시키는 장치인 TCS(Traction Control System), 차량에 능동 조향을 가하여 횡방향 운동을 제어하는 VDC(Vehicle Dynamics Control)가 있다.

종방향으로 주행 안정성을 제어하는 ABS와 TCS 중 TCS는 출력 토크를 제어하는 방식과 브레이크에 의한 제동토크를 제어하는 방식이 있다. 브레이크 제어 방식 TCS는 좌우 구동륜의 독립된 제어를 통해서 비대칭 노면에 대처할 수 있고 응답속도가 빠른 장점을 가지고 있지만, 고속 주행시에 작동하면 승차감에 나쁜 영향을 줄 수 있고, 브레이크 패드의 과도한 마모 등을 유발하게 되는 단점이 있다. 또한, 유일한 저마찰 노면에서 헌팅(hunting) 현상에 의해서 안정성이 저하되는 경우가 발생되기도 한다. 반면 엔진 방식 TCS는 응답속도가 다소 느리지만, 고속 주행 시에도 무리 없이 작

동할 수 있는 장점이 있다. 엔진 TCS 엔진 제어 방식이란 엔진에서 발생하는 출력토크를 직접적으로 제어하는 방식으로, 스로틀 밸브 개도의 조절, 연료분사량 조절 등이 있다. 특히, 전륜구동(FWD: Front Wheel Drive) 차량에 있어서는 빠른 스로틀 밸브 차단으로써도 차량의 종방향 제어가 충분하다[2,4].

차량이 연속적인 커브길에 너무 빠른 속도로 진입하거나 빠르게 달리는 도로에서 갑자기 장애물이 나타날 때 또는 달리는 상태에서 앞차를 앞지르기 할 경우 운전자는 급작스러운 조향을 하게 된다. 이때 차량은 불안정해지면서 조향이 불능상태가 된다. VDC란 이것을 상쇄시키는 방향으로 제동력을 가하거나 구동력을 실어줌으로써 조향에 대해서 횡력의 지연을 줄이고 차량의 조향을 확보하는 시스템이다.

종방향 제어를 위한 엔진 TCS에서 Song[2]은 엔진맵에 기초한 엔진제어 TCS 슬립제어 알고리즘을 연구 하였고, Park[3]은 엔진방식 TCS와 브레이크 TCS를 통합한 모델을 제시 하였다. 횡방향 제어를 위한 VDC에서 Hong[4]은 퍼지 논리를 이용하여 차량의 횡 슬립을 제어하였고, Chung[5]은 슬라이딩 제어를 이용하여 차량안정성을 제어하였다. You[6]는 게인 스케줄링을 이용하여 요율 제어를 설계하여 제동력을 분배하였다.

기존 VDC시스템 연구에서는 엔진 TCS의 장점에도 불구하고 이에 대한 연구가 부족하였다. 따라서 본 연구는 브레이크 패드의 마모와 소음을 줄이는 장점을 가진 엔진/브레이크 VDC를 그 대상으로 한다. 즉, 기존 엔진 TCS의 비선형성에 대한 응답의 단점을 보완하며 엔진 스로틀 개도를 제어함으로써 차량의 종방향 안정성을 확보하고 횡방향은 브레이크 제어를 통해 안정성을 확보한다.

그런데 파워트레인 부분까지 고려한 차량 동역학 시스템은 더욱 더 복잡하고 비선형성을 많이 내포하게 된다. 또한 도로 표면 상태와 조향 조건 등의 외란으로 차량의 동특성이 변화하는 경우에는 제어기의 파라미터를 재조정을 해야 하는 어려움이 있기 때문에 지능제어가 요구되고 있다.

따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위해 비선형성에 강한

* 책임저자(Corresponding Author)

논문집수 : 2007. 1. 25., 채택확정 : 2007. 2. 17.

지강훈, 정광영, 김성관 : 공주대학교 기계자동차공학부

(khji@tms.co.kr/kyjeong@kongju.ac.kr/kimsg@kongju.ac.kr)

※ 본 연구는 충남 자동차·부품산업 인력양성사업(NURI)의 산학공동연구비와 2단계 BK21 미래형 고안전 자동차부품설계 및 제어사업팀의 지원에 의하여 연구되었음.

신경망 알고리즘을 이용하여 NNPI와 NNPID 제어기법을 제시하였다.

II장에서는 차량모델과 엔진모델에 대한 간략한 소개를 하고, III장에서는 TCS와 VDC제어기 개념과 로직에 대해 살펴보고 IV장에서는 시뮬레이션을 통하여 제어기를 검증하였다. V장에서는 본 논문에 대한 결론을 서술하였다.

II. 차량 시스템

엔진에서 발생된 토크는 동력전달장치를 통하여 바퀴로 전달되며 차량의 안정성을 확보하기 위하여 ABS 혹은 TCS에 의하여 제어된다. 이러한 동적 특성을 기술하기 위해서는 전체 차량 모델뿐만 아니라 엔진모델이 요구된다[7].

1. 차량 모델

차량 모델은 3차원 공간상의 강체로 스프링상 질량(sprung mass)의 회전과 병진 운동의 6자유도, 4개의 현가장치 변위에 대한 4자유도, 각 바퀴의 회전운동 4자유도, 조향 축 1자유도, 앞 바퀴 휠의 조향 회전 운동의 2자유도로 이루어진 총 17 자유도로 구성되어 있다(그림 1 참조).

기구동역학 관점에서 위에서 기술한 차량 모델은 독립현가인 경우 차체와 휠은 차체의 z축 방향으로 병진조인트로 연결된 모델이며, 차축식 현가인 경우 차축 중심과 차체가 차체의 z축 방향 병진 조인트로 연결되어있고, 차축의 롤 센터에 추가로 차체의 x축 방향으로 회전 조인트가 연결된 모델이다.

일반좌표로 차체의 6개의 직교 좌표와 스프링하 질량(unsprung mass)의 상태변위 4개로 정의하고, 속도변환기법에 의하여 체계적으로 운동방정식을 유도 하였다.

차체와 4개의 휠의 직교좌표계의 속도를 차체의 고정좌표계 성분으로 표시하면

$$\dot{Y} = [\dot{r}_b^T, \dot{r}_{w/b}^T, \dot{r}_{w1}^T, \dot{r}_{w2}^T, \dot{r}_{w3}^T, \dot{r}_{w4}^T]^T \quad (1)$$

그림 2에서 r_b 는 절대 좌표계에 대한 차체 중심 좌표계이고, $r_{w/b}$ 는 차체 중심 좌표계에 대한 휠 좌표계이며, r_{wi} 는 절대좌표계에 대한 휠의 좌표계이다. 절대좌표계의 속도벡터는 다음과 같다.

$$\dot{Z} = [\dot{r}_b^T, \dot{r}_{w/b}^T, \dot{q}_1, \dot{q}_2, \dot{q}_3, \dot{q}_4]^T \quad (2)$$

(2)에서 q_i 는 현가장치 변위이다. 절대좌표계의 속도와 가속도로부터 직교좌표계의 속도와 가속도를 계산하는 관계식은 다음과 같이 유도된다.

$$\dot{Y} = B\dot{Z} \quad (3)$$

$$\ddot{Y} = B\ddot{Z} + C\dot{Z} \quad (4)$$

여기서 B와 C는 속도변환 행렬이다. 변분운동방정식 (variational Eq. of motion)은 다음과 같다.

$$\delta Y^T (M\ddot{Y} - Q) = 0 \quad (5)$$

이를 이용하여 운동방정식을 유도하면 다음과 같다.

$$\bar{M}\ddot{Z} = f \quad (6)$$

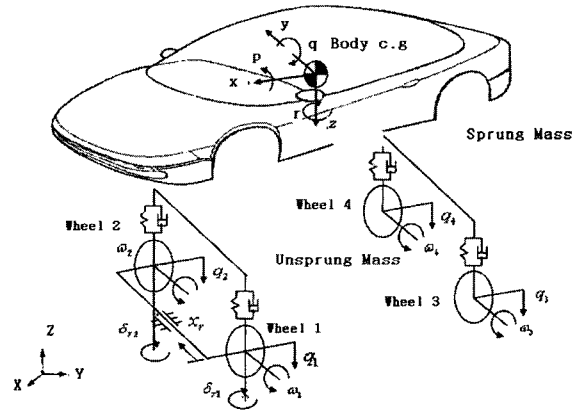


그림 1. 차량 17 자유도 모델.
Fig. 1. Vehicle 17 degree of freedom.

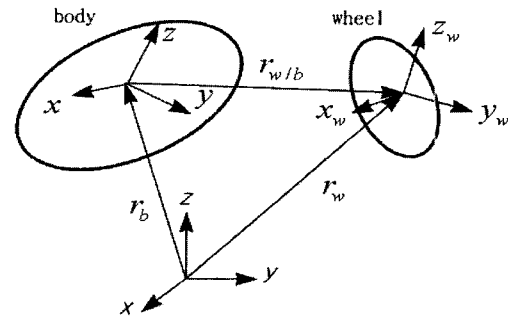


그림 2. 차체와 휠의 상대좌표계.
Fig. 2. Relative motion of wheel with respect to car body.

$$\begin{bmatrix} M1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ M2 & M6 & 0 & 0 & 0 \\ M3 & 0 & M7 & 0 & 0 \\ M4 & 0 & 0 & M8 & 0 \\ M5 & 0 & 0 & 0 & M9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Y} \\ \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \\ F4 \\ F5 \end{bmatrix} \quad (7)$$

F 벡터에는 타이어에 작용하는 힘, 서스펜션에 작용하는 힘, 중력이 포함된다. 중요한 변수인 타이어 슬립각과 슬립율은 타이어 접지 포인트의 속도를 통해 구한다[8,9].

2. 엔진모델

엔진모델은 엔진, 토크 컨버터, 자동변속기로 구성되어있다. 운전자의 입력각에 따라 엔진 토크가 출력하고 토크 컨버터와 자동변속기를 차례로 거쳐 구동토크를 출력한다.

쓰로틀 각은 운전자의 엑셀페달 입력각에 대해 선형적인 관계를 가진다. 엔진모델은 다음과 같은 식을 가진다.

$$I_{ei}\dot{N}_e = T_e - T_i \quad (8)$$

토크 컨버터는 엔진에서 나온 토크를 변속기로 전달하는 역할을 하며, 차량 주행 중에 부드러운 변속을 가능하게 한다. 다음 식은 토크 컨버터 모델 식이다.

$$T_i = \frac{N_e^2}{K^2} \quad (9)$$

$$T_t = R_t T_i \quad (10)$$

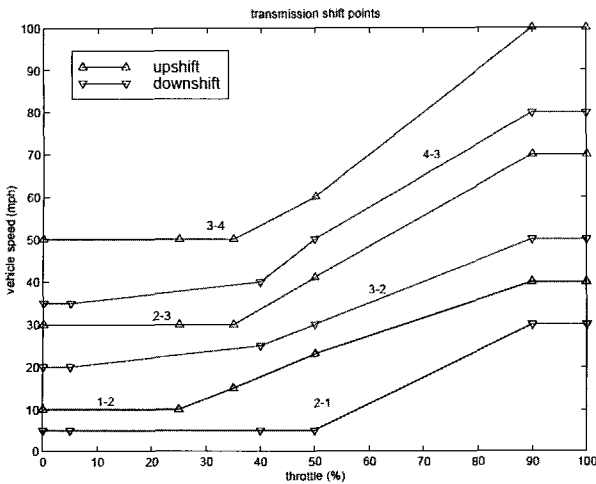


그림 3. 자동변속기 변속 로직.
Fig. 3. Automatic transmission shift logic map[10].

자동 변속기는 스로틀 각과 출력 축 회전속도에 따라 변속 시점을 결정한다. 그림 3은 본 논문에서 사용된 자동변속기 변속 로직이다.

III. 제어기

1. 2자유도 참조 모델

차량 동역학 제어기의 설계에 필요한 기준 입력을 구하기 위한 기본 모델로써 2자유도 선형모델을 사용하였다. 2자유도 선형 모델은 간단하면서도 비교적 정확한 차량의 횡방향 운동을 정의 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

그림 4은 2자유도 모델을 도시하고 있으며, (11)은 2자유도 모델에 대한 상태 방정식이다.

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} \frac{C_f + C_r}{mV} & -1 - \frac{C_f l_f - C_r l_r}{mV^2} \\ \frac{C_f l_f - C_r l_r}{I_z} & -\frac{C_f l_f^2 + C_r l_r^2}{I_z V} \end{pmatrix} \mathbf{x} + \begin{pmatrix} \frac{C_f}{mV} \\ \frac{C_f l_f}{I_z} \end{pmatrix} \mathbf{u} \quad (11)$$

(11)에서 차량이 정상 원 선회를 한다고 가정할 때 중심점의 옆 미끄러짐 각과 요 각속도가 일정하게 된다. 즉 정상상태의 조건, $\dot{\mathbf{x}} = [\dot{\beta} \ \dot{\gamma}]$ 은 0이 되고 (11)에 정상상태 조건을 대입하게 되면 (12)를 얻을 수 있다.

$$\beta = \begin{pmatrix} 1 - \frac{m l_f}{2l l_r C_r} V^2 \\ 1 - \frac{m l_f C_f - l_r C_r}{2l^2 C_f C_r} V^2 \end{pmatrix} \frac{l_r}{l} \delta_f$$

$$\gamma = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 - \frac{m l_f C_f - l_r C_r}{2l^2 C_f C_r} V^2 \end{pmatrix} \frac{V}{l} \delta_f \quad (12)$$

(12)에서 구하여진 옆 미끄러짐 각과 요 각속도는 차량의 참조 요 각속도를 구하는데 사용된다[11].

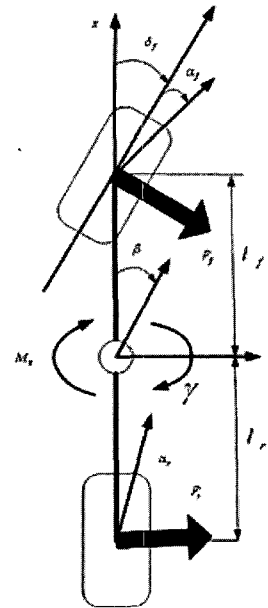


그림 4. 2자유도 참조 모델.
Fig. 4. 2 DOF vehicle model.

2. 엔진 TCS

2.1 TCS 기본원리

차량의 구동륜에 구동토크가 전달되면 노면과 타이어의 접촉면에서 마찰력에 의해 구동토크가 발생된다. 일반 아스팔트와 같이 마찰계수가 큰 노면에서는 엔진으로부터 발생하는 동력에 의해 차량의 최대 기속도가 결정되지만, 빗길, 눈길 및 빙판길에서는 저 마찰력으로 최대 기속도가 제한된다.

저 마찰 노면에서는 타이어와 노면의 마찰계수에 해당하는 엔진토크만이 유효 구동토크가 되며, 그 이상의 엔진토크는 구동륜의 회전속도를 급격하게 증가시키는데 사용된다.

엔진 TCS는 엔진의 출력 토크를 제어하여 최대 구동력 계수에 해당하는 슬립율(slip ratio)을 유지함으로써 TCS 성능을 발휘하는 시스템이다. 이 때, 엔진 출력의 조절은 스로틀 밸브 개도의 조절 방식으로 하였다. 제어 시스템은 구동륜의 속도와 차량의 속도를 입력으로, 스로틀 개도를 출력으로 구성하였다.

구동륜의 미끄러짐을 나타내는 슬립율은 구동륜 속도에 대한 구동륜 속도와 차량 속도와의 차이로 다음과 같이 정의한다.

$$\lambda = \frac{V_w - V_v}{V_w} \quad (13)$$

여기서, λ 는 슬립율, V_w 는 휠의 속도, V_v 는 차량 속도를 각각 나타낸다.

목표 슬립율은 저 마찰 노면에서 최대 구동력을 얻을 수 있는 슬립율로서 노면의 조건이나 타이어의 종류에 따라 조금씩 차이가 있지만, 대략 0.1~0.2정도 하며, 본 논문에서는 목표 슬립율을 0.2로 하였다[12,13].

2.2 차량의 종방향 운동 제어법칙

목표 슬립율 λ^* 가 정해지면 목표 휠 속도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_w^* = \frac{V_v}{1-\lambda^*} \tag{14}$$

목표 휠 속도와 실제 휠 속도차이인 속도 오차 $e = V_w^* - V_w$ 를 최소화하는 쓰로틀 개도 값을 PI 제어기를 사용하여 산출한다.

PI 제어 로직은 다음과 같이 주어 진다[14].

$$\theta(t) = \theta(t-1) + (K_p + K_I)e(t) - K_p e(t-1) \tag{15}$$

본 논문에서는 제어게인 K_p 와 K_I 를 신경망을 이용하여 학습을 통하여 구한다. 이 때 신경망을 통한 제어 게인 값은 도로표면 상태와 차량상태에 따라 계속 변화하여 상황에 맞는 게인값으로 업데이트 된다. 그림 5는 전체적인 제어 시스템의 블록선도이다.

2.3 신경망 PI(NNPI) 제어기 설계

일반적으로 PI 제어기는 선형제어기로써 구현하기가 쉬우면 구조가 간단하고 어느 정도 강인성을 잘 보장하는 것으로 잘 알려져 있다. 그러나 플랜트가 비선형을 많이 내포하거나 외란 등으로 플랜트의 동특성이 변화하는 경우에는 제어기의 파라미터를 재조정해야 하는 어려움이 있다. 즉, 적응성이 요구되는 제어시스템의 동작점에서는 충분한 제어성능을 발휘하지 못한다[15].

이러한 문제점을 보완하기 위해 신경회로망을 이용하여 PI 제어기의 파라미터를 자기동조방식(self-tuner)으로 산출하게 된다.

그림 6은 본 논문에서 제안된 NNPI 제어 시스템의 블록선도이다. $r(t)$ 는 참조 값으로 차량의 목표 속도를, $y(t)$ 는 차량의 출력값인 휠의 속도이다.

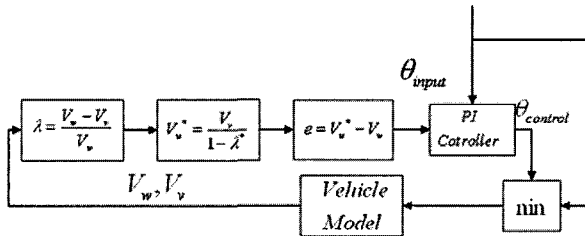


그림 5. 엔진 TCS제어 블록 선도.
Fig. 5. Engine TCS control block diagram.

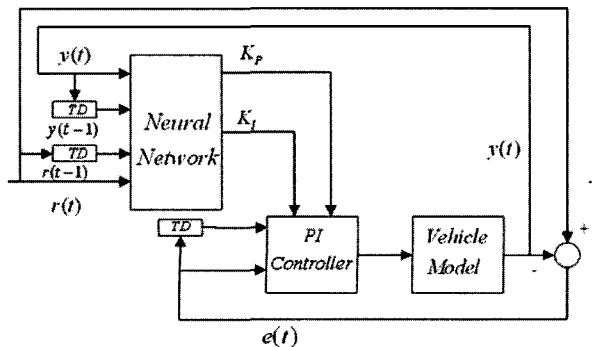


그림 6. NNPI 제어 구조.
Fig. 6. Overall structure of NNPI controller.

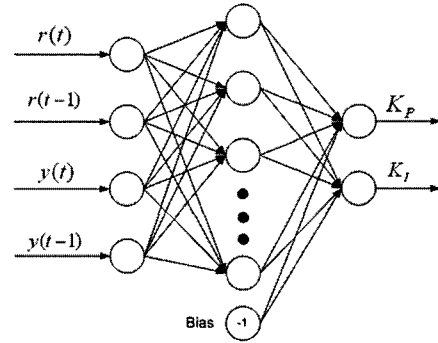


그림 7. 신경망 구조.
Fig. 7. Structure of neural network.

그림 7은 신경망 구조를 나타내고 있다. 여기서 신경망 학습은 모멘텀 오차 역전파 학습 알고리즘 (momentum back-propagation)[16]이 이용되었다. 입력 벡터는 목표값과 출력값이며, 출력 벡터는 PI 파라미터로 구성되어있다.

최경경사법에 의해 출력층과 은닉층의 가중치는 (16), (17)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta W_{jk}(t) = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{jk}} + \varepsilon \Delta W_{jk}(t-1) \tag{16}$$

$$\Delta W_{ij}(t) = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ij}} + \varepsilon \Delta W_{ij}(t-1) \tag{17}$$

여기서, η 는 학습률이고 ε 는 모멘텀 상수이다.

출력층의 오차 신호는 (18)와 같다.

$$\delta_k = -\frac{\partial E}{\partial net_k} \tag{18}$$

여기서,

$$net_k = \sum_j W_{ij} O_j + \theta_k$$

연쇄법칙(chain rule)을 사용하여 은닉층과 출력층의 가중치를 변경한다.

$$\Delta W_{jk}(t+1) = \eta \delta_k O_j + \varepsilon \Delta W_{jk}(t) \tag{19}$$

총 은닉층(hidden layer)의 개수는 8개로 하였으며 학습율은 0.5, 학습횟수는 300번 학습을 시켰다.

3. VDC 설계

3.1 VDC 기본원리

차량의 횡방향 운동의 특성은 흔히 조종안정성이라고 불리어진다. 조종성과 안정성을 동시에 확보해야하는 것이 설계자 뿐 아니라 운전자들의 바람이나 설계측면에서는 양립이 어려운 관계이다. 차량은 선회주행 중 차체의 횡 슬립각과 요 각속도가 발생하는데 횡 슬립각은 차량의 안정성과 요 각속도는 조종성과 연관이 있다. 차체의 횡 슬립각이 커지게 되면 타이어의 슬립각도 커지게 되고 타이어의 선회력은 포화상태가 되어 조향 입력에 의해 차량을 더 이상 제어하지 못하게 된다. 그리고 요 각속도는 운전자의 조향의지를 반영하고 있는 상태변수로서 조종성과 연관이 있지만 (11)에서

보여지듯이 횡 슬립각과 연성이 되어있다. 즉 운전자가 조향 입력을 가하면 요 각속도가 발생하는 동시에 횡 슬립각도 발생하게 된다. 이러한 차량의 특성을 이용하여 운전자의 조향 입력 없이 요 각속도와 횡 슬립각을 제어하기 위한 것이 능동제어이다.

VDC 장치는 기본적으로 언더스티어나 오버스티어를 감소시키거나 없애기 위하여 설계되었다. 기준 요 각속도 보다 작은 값을 가지는 요 각속도가 발생하면 전륜이 후륜만큼 선회 하지 않게 되고 이를 언더스티어라고 한다. 반대로 기준 요 각속도 보다 큰 요 각속도가 발생하면 후륜이 전륜 만큼 효율적인 선회를 못하게 되는 오버스티어가 발생한다. 오버스티어는 후륜의 슬립각이 전륜보다 크고 차체의 스핀으로 인해 차량의 후미가 전방을 넘어서려는 현상을 말한다. 반대로 언더스티어는 전륜의 슬립각이 후륜보다 크고 운전자의 조향입력에도 불구하고 차량은 직진하려는 경향을 띠는 현상이다[5].

3.2 차량의 횡방향 운동 제어법칙

VDC 시스템은 차량 장착 센서를 통해 얻어진 차량운동량(actual vehicle motion)과 운전자가 원하는 차량의 궤적을 나타내는 기준 차량 모델보다 실제 차량운동량이 크거나 적은 경우 적절한 차륜을 제어함으로써 차량의 안정성을 확보한다. 차량 장착 센서에서 측정된 요 각속도와 차량 동역학에 의해서 결정되는 운전자에 해당하는 참조 요 각속도를 비교하여 차량의 언더스티어와 오버스티어를 결정한다. 차량이 후륜에서 먼저 타이어와 노면 사이의 접착한계에 도달했을 때 오버스티어가 나타나므로 전륜의 제동장치를 제어 함으로써 전륜에 의해 발생하는 선회모멘트를 줄여준다. 반대로 전륜에서 먼저 타이어와 노면의 접착 한계에 도달하여 언더스티어 현상이 발생했을 경우 후륜을 제어하여 차량이 원하는 궤적으로 운동하게 한다. 노면마찰계수 변화 시에는 심한 오버스티어 현상이 나타날 수 있는데 여기서는 선회 속도와 요구 선회 속도의 차이가 규정된 값 이상의 변화율로 증가할 때 전륜 바깥쪽 바퀴 이외에 후륜 바깥쪽 바퀴도 제어함으로써 차량 안정성을 확보한다.

각 차륜에서의 횡 방향 중 방향 힘은 그 크기의 증감이 서로 밀접하게 연관되어 있다. 제동력을 발생시키거나 감소시키는 경우 횡력의 증감이 발생하여 원하는 요 모멘트 생성에 영향을 끼치게 된다. 따라서 제동력을 발생시켜 요 모멘트 생성하는 경우 그림 8에서와 같이 최적 제동륜을 결정할 수

$\gamma_{act} - \gamma_{ref} > 0$		$\gamma_{act} - \gamma_{ref} < 0$		$\gamma_{act} - \gamma_{ref} = 0$
$\delta \geq 0$	$\delta < 0$	$\delta \geq 0$	$\delta < 0$	any δ

□ Reference Vehicle □ Plant Vehicle

그림 8. 제어 계획.
Fig. 8. Control scheme.

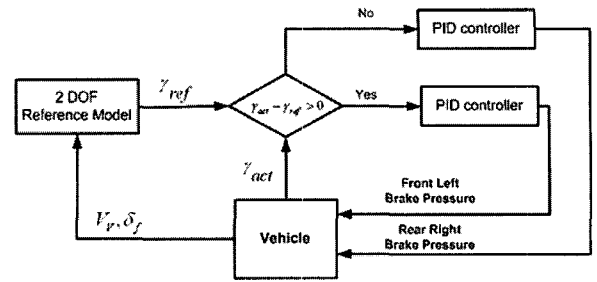


그림 9. 브레이크 VDC 제어 블록 선도.
Fig. 9. Brake VDC control block diagram.

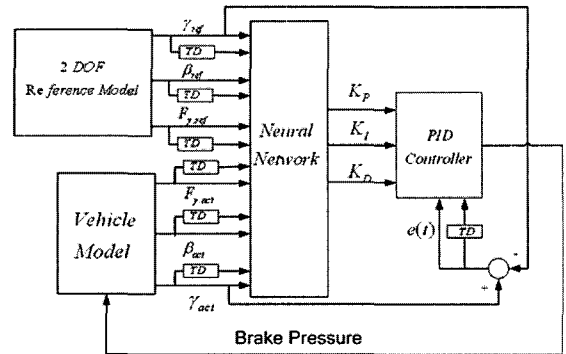


그림 10. NNPID 제어 구조.
Fig. 10. Overall structure of NNPID controller.

있다. 이를 통하여, 언더스티어시의 최적 제동륜은 선회내측 후륜, 오버스티어시의 최적 구동륜은 선회 외측 전륜임을 확인 할 수 있다[11].

앞의 내용을 바탕으로 그림 9는 brake VDC control block diagram을 나타낸다. 참조 모델의 요 각속도(yaw rate)와 차량의 요 각속도값을 비교하여 차량의 제동이 필요한 차륜을 결정 한 후 NNPID 제어기를 거쳐 차량의 브레이크 압력값을 결정한다.

3.3 신경회로망 PID 제어기 설계

브레이크 VDC에서는 PID제어기를 이용하여 제어기를 설계하였다. PID 제어 로직은 다음과 같이 주어 진다.

$$u(n) = u(n-1) + K_P(e(n) - e(n-1)) + K_I e(n) + K_D(e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)) \quad (20)$$

2자유도 참조모델의 참조 요각속도와 참조 횡 슬립각 참조 횡력과 비제어 차량의 요각속도와 횡 슬립각, 횡력을 입력값으로 모멘텀 오류 역전과 알고리즘을 사용하여 신경망을 교육하였다. PID제어의 게인값이 출력값이다. 은닉층의 개수는 20개, 학습율은 0.01값을 입력하여 오프라인 교육을 하였다.

IV. 시뮬레이션

1. 직진시 제어차량과 비제어 차량

1.1 비제어 차량

도로표면의 마찰계수가 0.2인 빙판길에서 차선 변경시 그림 11과 같은 쓰로틀 입력값을 주어 제어기가 없는 상태에서 시뮬레이션을 하였다.

가속 페달을 밟으면 가속 정도에 따라 쓰로틀 밸브 각도가 정해진다. 그림 11은 갑작스런 사용자 입력을 나타내고 있다.

미끄러운 노면에서 과도한 가속 페달 입력이 가해지면 바퀴가 헛돌아 엔진 출력 낭비 및 운전 안정성 악화가 발생한다. 균일한 빙판 노면에서 급가속 입력에 대한 TCS 미장착 차량의 속도는 그림 12와 같이 나타난다. 처음 입력 구간에서 속도차가 적게 나타나는 것을 볼 수 있으며 갑작스런 입력을 주어졌을 때 휠의 속도와 차량의 속도차가 많이 나는

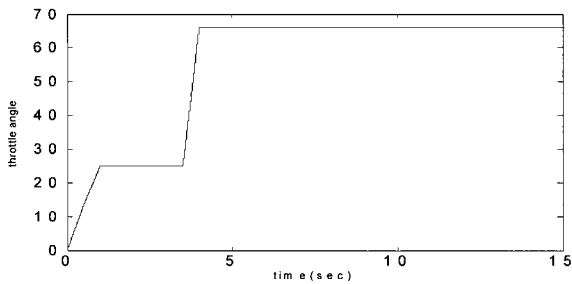


그림 11. 쓰로틀 밸브 개도 입력.
Fig. 11. Throttle angle input.

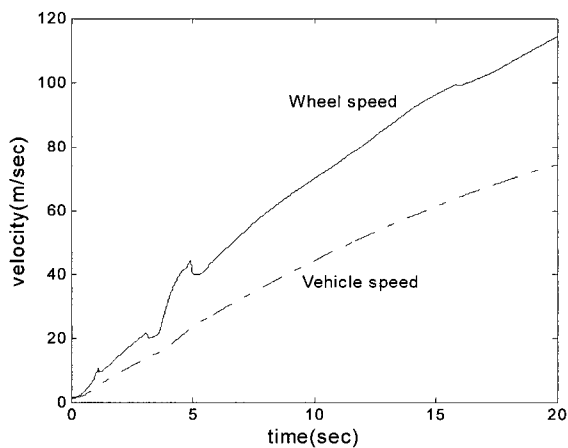


그림 12. 미 장착 TCS 차량의 차량속도와 휠 속도.
Fig. 12. Forward driving without TCS.

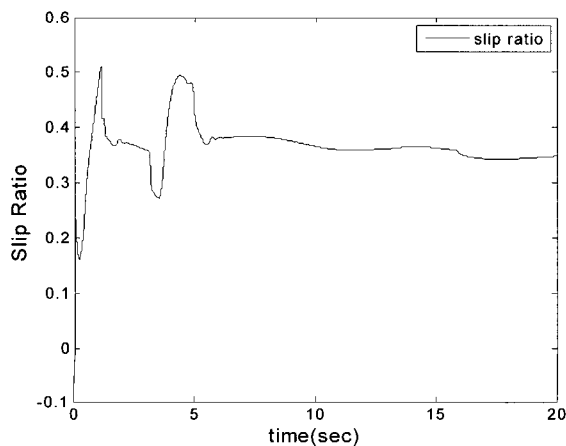


그림 13. 미 장착 TCS 차량의 슬립율.
Fig. 13. Slip ratio without TCS.

것을 확인 할 수 있다. 이 때의 슬립율이 그림 13에 나타나 있듯이 최대 0.5 정도의 슬립율을 확인 할 수 있다.

1.2 NNPI 제어차량

본 논문에서 제안한 NNPI(Neural Network PI)제어기를 통한 결과는 다음과 같다. 목표 슬립율은 0.2로 하여 시뮬레이션 하였다. 그림 14와 15는 빙판 노면 주행시 NNPI 제어기를 적용한 결과이다. 슬립율이 0.1~0.2로 수렴되며, 차량속도의 증가에 따라 목표하는 휠의 속도로 추종함을 확인 할 수 있다. 목표하는 속도를 추종함에 따라 종방향으로 차의 미끄러짐은 적어져 구동륜이 헛돌지 않고 가속성을 더 좋게 한다. TCS 기능은 필요에 따라 on/off 기능을 가지고 있다. on 상태에서는 목표 슬립율을 추종한다.

2. 선회시 제어차량과 비제어 차량

엔진 TCS와 브레이크 VDC를 장착한 차량에서의 횡 방향 제어는 스텝조향(차량선회)경우와 차선변경 조향입력인 상황에서 각각 시뮬레이션 하였다.

2.1 스텝 조향

도로 마찰 계수는 마른 도로의 아스팔트는 0.8, 빗길은 0.3, 빙판길은 0.2이다.

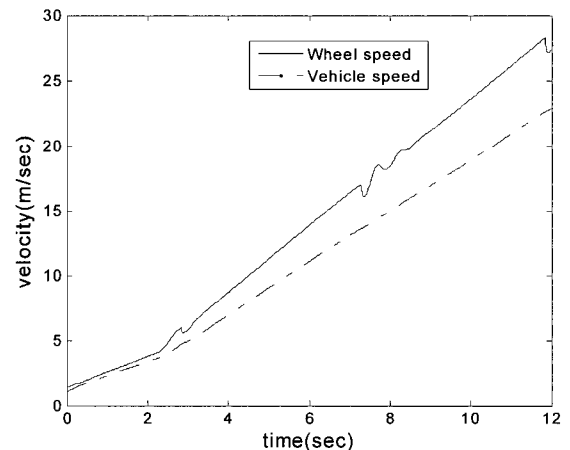


그림 14. TCS 제어시 차량의 속도와 휠 속도.
Fig. 14. Forward driving with TCS.

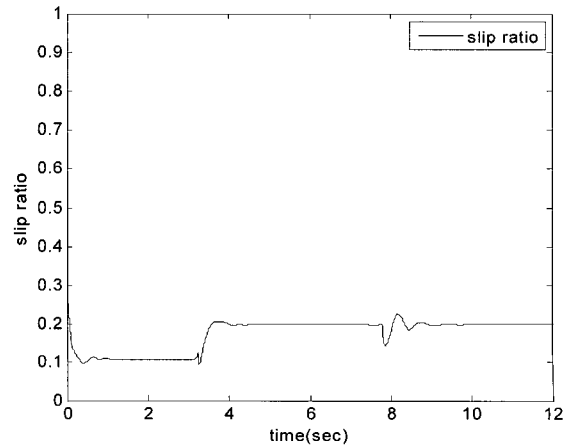


그림 15. TCS 제어시 차량의 슬립율.
Fig. 15. Slip ratio with TCS.

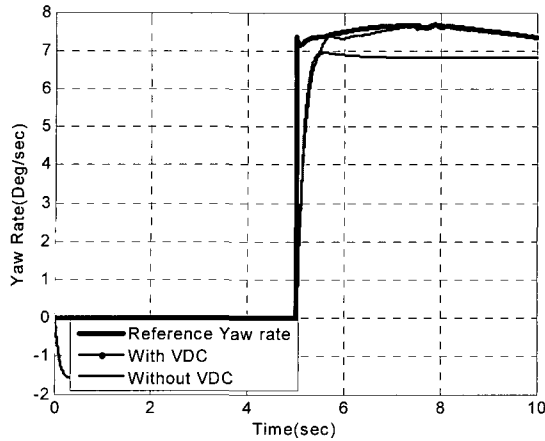


그림 16. 스텝조향 시 VDC 성능.
Fig. 16. Step input with VDC.

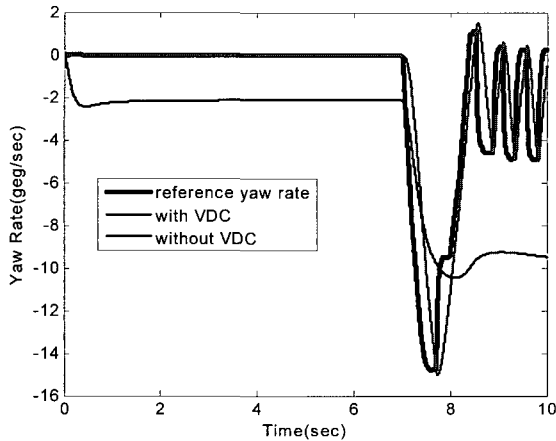


그림 17. 차선변경 시 VDC 성능.
Fig. 17. Lane change with VDC.

그림 16은 스텝 조향시 미끄러운 도로 표면에서의 VDC 성능을 검증하였다.

도로 표면의 마찰 계수가 0.3인 상황에서 시뮬레이션 한 결과이다. 스텝조향은 J-turn이라고도 하며 갑작스런 조향을 줌으로써 차량이 계속 선회하는 것이다. 제어기 없는 경우 차량은 부족조향 경향을 보이고 있다. 도로 표면이 미끄러워 원하는 조향 대로 조향이 되지 않음을 나타낸다. NNPID 제어기를 통한 VDC 성능은 참조 모델의 요 각속도를 추종하는 것을 그림 16에서 확인 할 수 있다.

2.2 차선 변경 조향 (lane change)

주행중 차량이 장애물을 만났거나 갑작스런 차선 변경 시 시뮬레이션 결과를 그림 17에서 보이고 있다.

조향 입력은 안전한 차선 변경이 아닌 갑작스런 조향을 입력값으로 하였다.

도로표면이 0.3인 미끄러운 도로표면 상태이다.

비제어 차량의 경우 갑작스런 차선 변경을 할 경우 다시 자리로 돌아오지 못하고 그림과 같이 횡 방향으로 불안정성을 보이는 것을 확인 할 수 있다.

NNPID로 제어시 참조모델의 요 각속도도 잘 추종하는 것을 확인 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 17자유도 차량 모델과 엔진모델을 통합하여 더욱 자세하고 정확한 차량모델을 구현하였다. 또한 도로의 상태가 좋지 않을 때 차량 안정성과 조향성을 향상시키기 위해서 브레이크 압력 제어와 엔진의 쓰로틀 개도를 제어할 수 있는 NNPI, NNPID 제어기를 제안 하였다. 그 타당성을 검증하기 위해서 선회 및 차선 변경 등의 주행 시나리오를 시뮬레이션 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기존 엔진 TCS 모델의 PI 제어기에서 차량 동특성 변화에 따른 개인 파라미터 값을 업데이트 하기 위해 신경망을 이용한 NNPI 제어기를 제안 하였다. 제안한 NNPI를 이용한 TCS 제어에서 목표 슬립율과 목표 속도에 도달하는 것을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.
- 2) 비선형성이 강한 브레이크 제어를 신경망을 이용한 NNPID 제어기를 제안 하였다. 제안된 제어기를 이용하여 악조건인 도로 상황이면서 과도한 조향입력에 대하여 참조 모델을 추종함으로써 제어기의 성능을 검증 하였다.

참고문헌

- [1] Y. Jung "A study on integration about the active roll control and electronic stability program," *MS Thesis*, Graduate school of Automotive Engineering Kookmin University, 2004.
- [2] J. Song and B. Kim "Development of engine control based TCS slip control algorithm using engine map," *Journal of The Korean Society of Mechanical Engineers*, vol. 22, no. 2, pp. 428-436, 1998.
- [3] 박종현, 김찬영 "선회시 차량의 주행 안정성을 위한 최적의 구동차륜 슬립제어" *자동차공학회논문집*, 제 5 권, 제 4 호, pp. 190-198, 1997.
- [4] 홍대건, 윤팔주, 강현진, 황인용, 허건수 "휠 슬립 제어 시스템 기반의 차량안전성 제어" *한국자동차공학회, 추계학술대회*, pp. 903-908, 2005.
- [5] 정태영, 하정수, 김정태, 이경수, 이장무 "차량 안정성 제어시스템의 슬라이딩 제어기 개발," *한국자동차공학회, 춘계학술대회*, pp. 577-582, 2003.
- [6] 유승한, 조준상, 유승진, 한진오, 이교일 "개인 스케줄링을 이용한 건설 차량 횡 안정성 제어," *한국자동차공학회, 추계학술대회*, pp. 896-902, 2005.
- [7] H. Chang, J. Song, B. Kim, and S. Kim "Simulation-based development of engine/brake integrated TCS control logic," *Trans. Of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 7, no. 4, pp. 148-159, 1996.
- [8] E. J. Haug, *Intermediate Dynamics*, Prentice-Hall, 1992.
- [9] ADI Application Report, *Real-Time Seventeen-Degree-of-Freedom Motor Vehicle Simulation*, 1990.
- [10] The MathWorksinc., *Using Simulink and Stateflow in Automotive Applications*.
- [11] K. Park and S. Heo "Development of HILS system for VDC," *Trans. Of the korean society of automotive engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 184-191, 2003.
- [12] S. S. Kim and H. K. Jung "A method of vehicle dynamics modeling and analysis suitable for vehicle test and development process" *fall conference of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 2, pp. 816-822, 1998.

[13] B. Boning, R. Folke, and K. Franzke, "Traction control(ASR) using fuel-injection suppression a cost effective method of engine-torque control" SAE paper 920641, 1992.

[14] Seborg and Edgar *Process dynamics and control*, John Wiley & Sons, pp. 614-618, 1989.

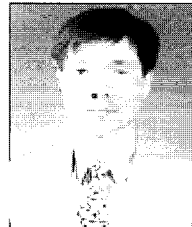
[15] J. Suh, J. Lee, Y. Lee, and K. Lee "An automatic teavel control of a container crane using neural network predective PID control technique" *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, vol. 22, no. 1, pp. 61-72, 2005.

[16] The MathWorksinc., *Neural Network Toolbox*.



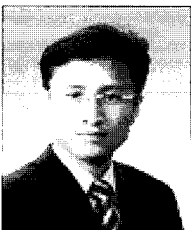
지 강 훈

2005년 공주대학교 기계공학과 졸업.
2005년 공주대학교 기계공학과 석사 과정 재학중.



정 광 영

1980년 서울대학교 기계공학(공학사).
1982년 KAIST 기계공학(공학석사). 1991년 University of Iowa 기계공학(공학박사).
1993년~현재 공주대학교 기계자동차공학부 교수. 관심분야는 자동제어, 다물체동역학.



김 성 관

1992년 KAIST 기계공학(공학사). 1995년 KAIST 자동화 및 설계공학(공학석사). 2003년 GIST 기전공학(공학박사).
2005년~현재 공주대학교 기계자동차공학부 교수. 관심분야는 지능제어, 지능형기전시스템.