
능동 휠 토크 제어시스템 설계를 위한 제동력 · 구동력 배분제어에 관한연구

박중현*·김순호*

A Study on Braking and Driving Force Distribute Control for Active Traction Control System

Jung-hyen Park* · Soon-ho Kim*

요 약

차량 안정성에 관한연구는 전자제어시스템의 발달과 더불어 급속한 발전을 이룩하였다. 이러한 장치들은 ABS, TCS등이 있고, 현재 활발히 연구되고, 실용화 단계에 있는 VDC이 있다. 그러나 이러한 장치들은 제동력이나 엔진 토크의 감소로 제어되므로 운전자의 의지와는 상관이 없는 차량의 운동이 발생하게 된다. 본 논문에서는 ATC의 동적성능 해석을 수행 하였다.

Abstract

A study on the vehicle stability is discussed. In the field of the studies the electronic control systems help overcoming the limit of improvement in vehicle performance with the methods above. Driving stability is mainly incorporated with the later motion of a vehicle generated by the driver's steering input. Recently VDC system has been studied in order to improve the active stability. This VDC system uses the active braking force. This paper propose the ATC that uses driving force. This paper compared VDC with ATC through an experiment.

키워드

ATC(능동휠토크제어시스템), VDC(차량안정성제어프로그램), 요우각속도, 횡미끄럼각

I. 서 론

차량의 선회는 스티어링휠의 조작에 의해 타이어와 노면에서 발생하는 선회력에 의해 결정되고 이러한 선회력에 의해 요우모멘트가 발생한다. 선회력 외에 요우모멘트를 발생시킬 수 있는 장치로 제동력을 이용하는 VDC(Vehicle Dynamics Control)가 개발 되었다. [1]

VDC는 기존의 제동장치(CBS, ABS;차량을 감속

또는 정지 시키는 역할)에서 발전하여 차량의 이상거동이 발생할 때 조향각 센서(SAS:Steering angle sensor), 요우각속도 · 횡력센서 등의 여러 센서에 의해 감지되어 제동력 배분장치 EBD(Electronic Braking force Distribute)에 의해 각 휠에 독립된 제동력을 가해 요우모멘트를 제어하여 안정된 주행을 도와준다. [2]

이러한 VDC의 단점으로는 제동력에 의한 차량의 성능저하와 운전자의 원하지 않는 제동 등의 운전자에

게 위화감을 주는 점 등이 있다.

요우모멘트를 발생시킬 수 있는 다른 원리로는 구동력의 발생에 의한 것이 있다. 본 연구에서 제안하는 ATC는 VDC와 더불어 선회 시 차량의 운동을 보다 안정적으로 할 수 있게 하는 장치이다.

VDC에서 각 휠의 제동력의 차이로 선회력을 발생시켰다면, ATC는 구동 시에는 구동력을 제동 시에는 제동력을 각 휠에 전달 할 수 있게 하는 장치로 기존 VDC의 단점을 보완하고 각 휠을 독립제어 함으로써 차량의 운동을 보다 안정적으로 할 수 있게 하는 장치이다.

본 논문에서는 이러한 ATC의 설계를 위한 차량의 동적 성능에 관한 연구를 수행하였다.

고속으로 주행하는 차량이 조향과 동시에 가·감속을 하는 경우, 관련된 변수로는 종방향 및 횡방향의 속도변화, 요우잉 등을 들 수 있으며, 이 변수들은 타이어 특성, 차량의 중량, 제동력, 구동력, 조향각등에 따른 동역학적 관계식들로 표현 할 수 있다.

본 연구는 위와 같이 각 휠의 독립제어 하여, 자동차의 고속선회 시 보다 탁월한 성능을 발휘 할 수 있는 ATC의 개발을 실현하고자 하기 위함이다.

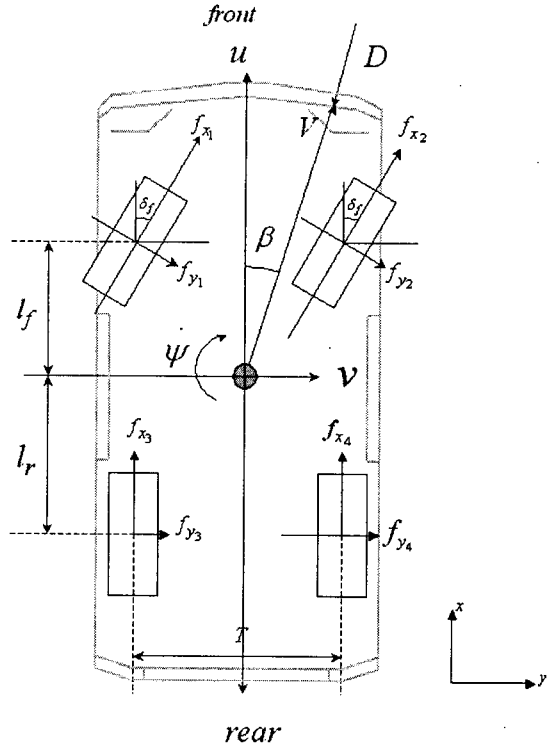


그림 1. 차량 모델
Fig. 1 Vehicle model

II. 차량의 모델과 운동방정식

차량의 선회운동 시 동특성을 해석하기 위해 종방향, 횡방향, 차량의 수직축방향 회전운동(요우잉) 및 각 차륜의 회전운동에 대한 7자유도 차량모델을 수립하였다. 본 연구에서 구성한 차량의 수학적 모델을 Fig. 1을 통해 나타내었다. [3]-[4]

2.1. 종방향 운동

차량의 종 방향 관계식은 다음과 같다.

$$m(\dot{u} - v\dot{\psi}) = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 - D\cos\beta \quad (1)$$

이때,

$$D = \frac{1}{2} \rho C_d A V^2$$

여기서, u 는 종방향 속도, v 는 횡방향 속도, $\dot{\psi}$ 는 요

우잉방향 속도이며 D 는 공기 저항, D 는 차량속도, ρ 는 공기밀도, C_d 는 공기저항계수, A 는 투영면적 그리고 β 는 횡 미끄럼각을 나타낸다. m 은 차량의 질량이고, l_f , l_r 은 차량 무게중심에서 전축과 후축 사이의 거리이며, T 는 차량의 윤거이다. 아래첨자 1, 2, 3, 4는 각각 전륜 좌측, 전륜 우측, 후륜 좌측, 후륜 우측을 뜻하며, 아래첨자 x , y 는 x 방향 축, y 방향 축, 차량의 종방향과 횡방향을 뜻한다. δ_f 는 전륜 조향각으로 본 연구에서는 좌측과 우측에 동일한 조향입력을 가하였으므로 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} X_1 &= (f_{x1} - R_1)\cos\delta_f - f_{y1}\sin\delta_f \\ X_2 &= (f_{x2} - R_2)\cos\delta_f - f_{y2}\sin\delta_f \\ X_3 &= f_{x3} - R_3 \\ X_4 &= f_{x4} - R_4 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, f_x 는 타이어에 발생하는 구동력과 제동력을 포함하는 힘이고, f_y 는 타이어의 미끄럼각과 비례하는 힘을 발생시키는 단순한 타이어 모델이다. R_i 는 각 타이어에 발생하는 구름 저항력으로 그 크기는 모두 같고 합은 R 이라 가정한다.

2.2. 횡방향 운동

차량의 횡방향 운동 관계식은 다음과 같다.

$$m(\dot{v} + u\dot{\psi}) = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 - D\sin\beta \quad (3)$$

여기서, Y 는 타이어에서 발생하는 차체의 횡 방향 힘의 성분으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Y_1 &= (f_{x_1} - R_1)\sin\delta_f + f_{y_1}\cos\delta_f \\ Y_2 &= (f_{x_2} - R_2)\sin\delta_f + f_{y_2}\cos\delta_f \\ Y_3 &= f_{y_3} \\ Y_4 &= f_{y_4} \end{aligned} \quad (4)$$

2.3. 요우잉 운동

차량의 요우잉방향 관계식은 다음과 같다.

$$I_z\ddot{\psi} = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \quad (5)$$

여기서, I_z 는 z 축 주위의 Moment of Inertia이며, N_i 는 타이어에서 발생하는 종방향 성분의 힘과 횡방향 성분의 힘에 의해 차체의 무게중심에서 발생하는 모멘트를 나타낸다.

$$\begin{aligned} N_1 &= l_f \cdot Y_1 + \frac{T}{2} \cdot X_1 \\ N_2 &= l_f \cdot Y_2 - \frac{T}{2} \cdot X_2 \\ N_3 &= -l_f \cdot Y_3 + \frac{T}{2} \cdot X_3 \\ N_4 &= -l_f \cdot Y_4 - \frac{T}{2} \cdot X_4 \end{aligned} \quad (6)$$

2.4. 타이어 모델

차량의 거동을 해석하는데 있어서 타이어는 매우 중요한 부분을 차지한다. 차량을 감속 및 가속 시키는 역할을 하는 것은 엔진출력이 절대적이지만, 엔진출력이 동력전달장치를 거쳐 구동륜으로 출력되어 노면으로 구동력을 전달하는 차량 동역학에서는 타이어와 노면 사이의 점착상태가 매우 중요하다. 타이어는 차량 시스템의 비선형성을 증가시키는 가장 중요한 인자들중 하나이며, 타이어에서 발생한 힘이 차량의 운동을 발생시키므로 차량의 주행궤적을 예측하고, 동적 거동을 해석하는데 있어서 중요한 역할을 한다. 또한 타이어는 차량의 하중을 지지하고 불규칙한 노면 입력에 대해 충격을 흡수하며, 주행 시에는 구동력과 제동력, 선회력 등을 발생시키게 된다. 따라서 차량의 운동을 변화 시키는 것은 지면으로부터 타이어에 작용하는 힘이므로, 차량의 거동을 해석하는데 있어 이에 대한 모델을 수립하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 타이어의 힘을 슬립률과 슬립각으로 표현하는 H. Dugoff에 의해 제안된 모델을 이용하였으며, 식(7)과 같이 표현된다. [5]-[6]

$$\begin{aligned} F_x &= \frac{C_i \cdot \lambda}{1 - \lambda} f(s) \\ F_y &= \frac{C_\alpha \cdot \tan\alpha}{1 - \lambda} f(s) \\ f(s) &= S(2 - S) \quad \text{if } S < 1 \\ &= 1 \quad \text{if } S > 1 \\ S &= \frac{\mu_0 W \cdot (1 - \epsilon_r V_t \sqrt{\lambda^2 + \tan^2\alpha})(1 - \lambda)}{2\sqrt{C_i^2 \lambda^2 + C_\alpha^2 \tan^2\alpha}} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서, S 는 슬립각과 슬립률을 고려한 타이어의 전체적인 슬라이딩을 의미하는 무차원 계수이며, μ_0 는 타이어와 노면간의 마찰계수이다. ϵ_r 는 속도의 영향을 표현 하는 노면의 점착감소계수, C_i 는 타이어의 직진 강성계수, C_α 는 타이어의 코너링 강성계수, λ 는 슬립률을 의미한다. V_t 는 타이어 속도, W 는 바퀴가 받는 수직하중, α 는 각 타이어에서 발생하는 미끄럼 각이다.

III. 시뮬레이션

앞의 2장에서 얻어진 식을 근거로 하여 실험을 하였다. 조향각의 크기는 좌·우륵이 같다고 가정하였고, 시간에 따른 조향입력을 Fig. 2에 나타내는 것과 같이 입력하고 제동력·구동력을 다르게 하여 선회하는 상황을 설정하였고, 각 상황에서의 2WS, VDC, ATC시스템을 비교분석 하여 Fig. 3과 Fig. 4와 같은 횡미끄럼각, 요우각속도를 도출하였다. 실험에 필요한 데이터는 Table 1에 나타내었다.

표 1. 차량 데이터
Table. 1 Vehicle data

m	Vehicle weight	1280 (kg)
l_f	Wheel base (front)	1.203 (m)
l_r	Wheel base (rear)	1.217 (m)
T	Tread	1.33 (m)
I_z	Moment of Inertia a z axis	2500 (kgm ²)
I_x	Moment of Inertia a x axis	750 (kgm ²)
C_i	Longitudinal stiffness	52526 (N)
C_a	Cornering stiffness	29000 (N/rad)
ρ	air density	1.27
C_d	coefficient of air resistance	0.32

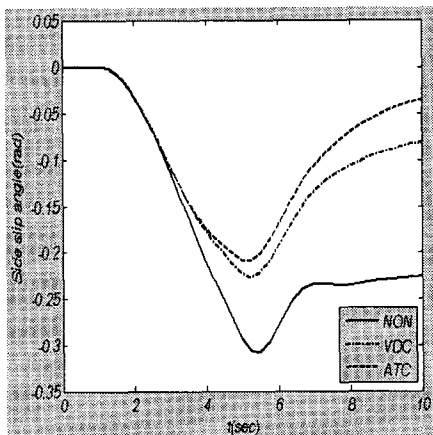


그림 5. 횡 미끄럼 각
Fig. 3 Side slip angle

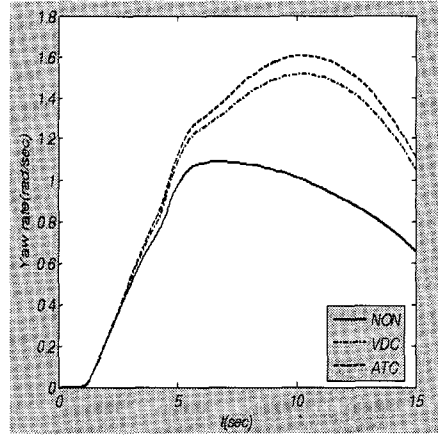


그림 6. 요우 레이트
Fig. 4 Yaw rate

실험결과 Fig.1과 같은 조향입력이 가해지는 구간을 차량이 고속으로 통과 할 때 제어가 없는 차량의 경우 큰 사이드 슬립각을 보이면서 요우각속도는 VDC, ATC차량에 비해 상당히 작은 것을 볼 수 있다. 즉, 아무런 제어도 가해지지 않는 일반 차량은 운전자가 원하는 선회력을 확보하지 못하고, 차량의 거동도 불안정해져서 고속주행 시에는 위험한 상황을 연출 할 수 있다. VDC, ATC차량은 Fig. 3과 Fig. 4의 차량궤적에서 볼 수 있듯이 Fig. 2의 조향각과 비슷한 궤적을 그리면서 차량이 이동하는 것을 볼 수 있다. 따라서 VDC, ATC차량은 운전자의 진행의도와 비슷하게 모두 진행 하는 것을 볼 수 있지만, ATC차량이 VDC차량에 비해 적은 횡 미끄럼각을 보이면서 큰 선회력을 확보 할 수 있다는 것을 실험을 통해 알 수 있었다. 차량의 거동이 안정적임을 알 수가 있다. 따라서 제동력제어에 의해 선회력을 발생하는 VDC보다는 구동력제어에 의하여 선회력을 발생 시키는 ATC가 더욱 안정적인 차량의 주행을 할 수 있게 한다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문의 연구내용은 차량의 종방향, 횡방향, 차량 수직축방향 회전운동 및 각 차륵의 회전운동에 대한 7 자유도 차량모델을 제시하였고, 좌우바퀴의 제동력배

분과 구동력배분으로 선회 시의 차량거동을 비교하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

본 논문에서 제시한 각 휠의 독립제어를 적용한 차량의 고속주행 시 횡미끄럼각과 요우모멘트제어에서 제어를 하지 않은 차량보다는 제동력을 이용한 제어(VDC), 구동력을 이용한 제어(ATC)의 차량의 궤적이 운전자의 의지대로 이동하고 더욱 안정된 운동을 하는 것으로 확인 되었다. 그리고 ATC가 VDC보다 더욱 안정적인 거동을 한다는 것을 실험을 통하여 알 수 있었다.

현재 내연기관차량에서는 구조적인 문제나 제조원가의 상승 등으로 ATC보편화의 기대는 어렵지만 앞으로 차량신기술(X-by-wire)이나, 전기자동차의 대중화 시대가 도래 하게 되면, 차량의 횡미끄럼각과 요우모멘트 제어 장치인 ATC는 많은 수요가 요구 될 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] A. V. Zanten, R. Erhart, "The Vehicle Dynamics Control System of Bosch," ABS TCS VDC Where will the technology lead us, SAE PT. 57, pp. 497-514 1996.

[2] Lee Jae Cheon, "A Vehicle Dynamics Model and Algorithm for Integrated Braking Torque and Steering Control," Kemyung University Bull. I. I. S, Vol. 21 1998.

[3] Yokendo ltd., "Vehicle Dynamics and Control," JSME Press, Chapter. 2-3, pp. 6-105 1999.

[4] J. Y. Kim, K. G. Kye, K. S. Park, K. S. Huh, K. Y. Chang, J. E. Oh, "Dynamic Performance Analysis for

4WD/4WS Electric driven Vehicles," Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 4, No.2 pp. 209-220 1996.

[5] H. Dugoff, P. S. fancher, L. Segl, "An Analysis of Tire Traction Properties and Their Influence on Vehicle Dynamic Performance," SAE Transactions, pp. 341-366, SAE Paper 700377 1970.

[6] T. K. Kim, Y. K. Park, M. W. Suh, "A Study on the Performance Characteristics of the VDC Vehicle," SAE Vol. 7, No. 9, pp. 146-157 1999.

저자약력

박중현(Jung-Hyen Park)



부산대학교 생산기계공학과 공학사
고배대학교 시스템공학과 공학석사
고배대학교 시스템공학과 공학박사
2001년~현재 신라대학교 조교수

※ 관심분야 : 최적제어, 강인성제어, 최적설계

김순호(Soon-Ho Kim)



동아대학교 금속공학과 공학사
부산대학교 재료공학과 공학석사
부산대학교 재료공학과 공학박사
1998년~현재 신라대학교 부교수

※ 관심분야 : 기계재료역학, 차량제어, 최적설계