

능동 후륜조타와 요우 모멘트의 협조제어에 관한 연구

A Study on Integrated Control System Design of Active Rear Wheel Steering and Yaw-Moment Control Systems

박중현 · 박재욱

J. H. Park and J. W. Pak

Key Words : ABS(잠김 방지 제동장치), ARS(능동후륜조타 4WS), ESP(요우잉모멘트제어 차량안정성프로그램), Yaw Rate(요우잉 각속도), Side Slip Angle(횡 미끄럼각)

Abstract : Conventionally, 2WS is used for vehicle steering, which can only steering front wheel. In case of trying to high speed lane change or cornering through this kind of vehicle equipped 2WS, it may occur much of Yaw moment. On the other hand, 4WS makes decreasing of Yawing Moment, outstandingly, so it is possible to support vehicle movement stable. And conventional ABS and TCS can only possible to control the longitudinal movement of braking equipment and drive which can only available to control of longitudinal direction. There after new braking system ESP was developed, which controls both of longitudinal and lateral, with adding of the function of controlling Active Yaw Moment. On this paper, we show about not only designing of improved braking and steering system through establishing of the integrated control system design of 4WS and ESP but also designing of the system contribute to precautions for advanced vehicle stability problem.

1. 서 론

과거 자동차는 엔진의 출력증강과 자동차의 속도 향상에 대해 많은 연구가 이루어 졌고, 또한 많은 발전을 이루어 냈다. 앞으로 자동차 연구에 있어서는 대체연료·친 환경 자동차의 개발, 탑승자의 안전과 승차감 및 주행안정성 향상에 많은 연구와 투자가 필요하다.

차량의 운동은 일반적으로 제동(Braking), 조향(Steering), 안정성(Stability)의 3가지로 구분할 수 있다. 이를 위한 장치로는 ABS, TCS, ESP, 4WS, 4WD 등 많은 첨단 장치들이 연구 개발되고 있다. 이러한 장치들은 기계 유압 장치들과 각종 센서들로 구성 되어진다¹⁾.

4WS는 기존의 2WS와 달리 차량의 4륜 모두가 조향 되는 장치를 말하는데 주행 중 차량의 요우각속도(yaw rate)를 감지 및 제어하여 요우

모멘트(yaw moment)를 줄여 차량이 고속 운동 시 주행 안정성을 높일 수 있는 조향 장치의 첨단 기술이다. 요우각속도 및 횡력센서에서 요우각속도 및 횡력을 감지해 후륜의 능동적인 조향으로 차량은 안정된 거동을 할 수 있게 된다. ABS, TCS의 장치가 차량의 종방향 운동만을 제어 했다고 하면, ESP는 차량의 횡방향 운동까지 제어할 수 있는 주행 및 제동 안정성을 향상시킬 수 있는 첨단 장치이다. 과도한 조향 입력이나 슬립이 일어나 차량의 요우잉이 심해져서 차량의 운동이 불안정해지면, 조향각 센서(SAS:Steering angle sensor), 요우각속도, 횡력센서에 의해 감지되어 제동력 배분장치(EBD:Electronic Braking force Distribute)에 의해 각 휠에 독립된 제동력을 가해 요우 모멘트를 제어하여 안정된 주행을 도와준다^{2,3)}.

이 두 장치의 통합제어 방법으로는 1차적으로 4WS에 의한 자세제어, 2차적으로 ESP의 요우모멘트제어를 사용하였다. 4WS에 의한 1차적인 자세제어로 스테빌리티 한계점을 넓히고 2차적으로 ESP의 요우모멘트제어를 사용하여 차량은 운전자의 조작의지대로 운동가능 하게 되어 안

접수일 : 2004년 10월 16일
박중현(책임저자) : 신라대학교 자동차기계공학과
E-mail : sky@silla.ac.kr Tel. 051-999-5727
박재욱 : 신라대학교대학원 첨단기술공학전공

정적인 거동을 할 수 있게 된다.

본 논문에서는 4WS와 ESP장착 차량의 동적 성능에 관한 연구와 차량이 불안정 영역으로의 주행 시 안정영역으로의 거동으로 할 수 있게 하는 제어로직 개발을 수행하였다. 고속으로 주행하는 차량이 조향과 동시에 가, 감속을 하는 경우 관련된 변수로는 종방향 및 횡방향의 속도 변화, 요우잉, 롤링 등을 들 수 있으며, 이 변수들은 타이어 특성, 현가장치, 차량의 중량, 제동력, 조향각등에 따른 동역학적 관계식들로 표현할 수 있다.

본 연구는 위와 같은 제동 및 조향의 첨단 장치들을 통합적으로 제어하여, 자동차의 고속선회 시 보다 탁월한 성능을 발휘 할 수 있는 시스템을 고안하기 위함이다.

2. 차량의 모델과 운동방정식

차량의 정상상태 및 비정상상태 운동 시 동특성을 해석하기 위해 종방향, 횡방향, 차량 종축, 횡축, 수직축방향 회전운동(요우잉, 롤링) 및 각 차륜의 회전운동에 대한 8자유도 차량모델을 수립하였다^{4,5)}.

본 논문에서는 타 유사논문과 달리 조향각, 횡 미끄럼각(side slip angle)을 미소로 두지 않음으로써 보다 정확하고 세밀한 차량운동의 해석까지 가능하게 하였다. 본 연구에서 구성한 차량의 수학적 모델을 Fig. 1을 통해 나타내었다.

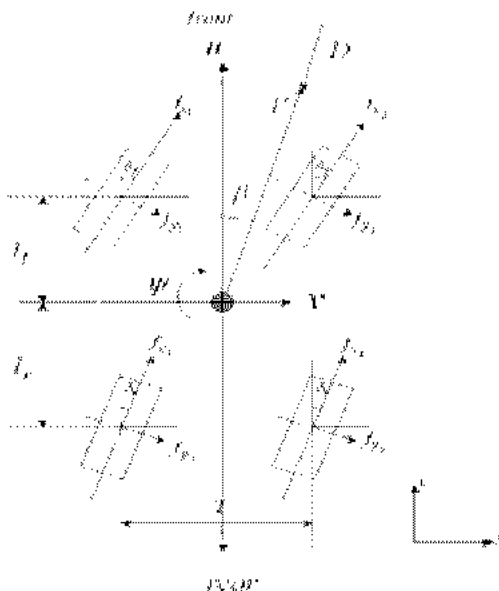


Fig. 1 Vehicle model

2.1 종방향 운동

4WS차량의 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 요우잉방향 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 윤거 이다. 아래첨자 1, 2, 3, 4는 각각 전륜 좌측, 전륜 우측, 후륜 좌측, 후륜 우측을 뜻하며, 아래 첨자 x , y 는 x 방향, y 방향 즉, 차량의 종방향과 횡방향을 뜻한다. δ_f , δ_r 은 전, 후륜 조향각으로 본 연구에서는 좌측과 우측 동일한 조향 입력을 가하였다. X 는 타이어에서 발생하는 차체의 종방향 성분으로 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} X_1 &= (f_{x_1} - R_1) \cos\delta_f - f_{y_1} \sin\delta_f \\ X_2 &= (f_{x_2} - R_2) \cos\delta_f - f_{y_2} \sin\delta_f \\ X_3 &= (f_{x_3} - R_3) \cos\delta_r - f_{y_3} \sin\delta_r \\ X_4 &= (f_{x_4} - R_4) \cos\delta_r - f_{y_4} \sin\delta_r \end{aligned} \quad (2)$$

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.

식(2)를 식(1)에 대입하여 정리하면, 식(3)과 같은 종 방향 운동방정식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{u} &= \frac{1}{m} (f_{x_1} + f_{x_2} - \frac{R}{2}) \cos\delta_f - \frac{1}{m} (f_{y_1} + f_{y_2}) \sin\delta_f \\ &+ \frac{1}{m} (f_{x_3} + f_{x_4} - \frac{R}{2}) \cos\delta_r - \frac{1}{m} (f_{y_3} + f_{y_4}) \sin\delta_r \\ &+ v\dot{\psi} - \frac{1}{m} D\cos\beta \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 횡방향 운동

4WS의 횡방향 운동 관계식은 다음과 같다.

$$m(\dot{v} + u\dot{\psi}) = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 - D\sin\beta \quad (4)$$

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

$$\begin{aligned} Y_1 &= (f_{x_1} - R_1)\sin\delta_f + f_{y_1}\cos\delta_f \\ Y_2 &= (f_{x_2} - R_2)\sin\delta_f + f_{y_2}\cos\delta_f \\ Y_3 &= (f_{x_3} - R_3)\sin\delta_r + f_{y_3}\cos\delta_r \\ Y_4 &= (f_{x_4} - R_4)\sin\delta_r + f_{y_4}\cos\delta_r \end{aligned} \quad (5)$$

식(5)를 식(4)에 대입하여 정리하면, 식(6)과 같은 횡방향 운동방정식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{v} &= \frac{1}{m}(f_{x_1} + f_{x_2} - \frac{R}{2})\sin\delta_f + \frac{1}{m}(f_{y_1} + f_{y_2})\cos\delta_f \\ &\quad + \frac{1}{m}(f_{x_3} + f_{x_4} - \frac{R}{2})\sin\delta_r + \frac{1}{m}(f_{y_3} + f_{y_4})\cos\delta_r \\ &\quad - u\dot{\psi} - \frac{1}{m}D\sin\beta \end{aligned} \quad (6)$$

2.3 요우잉 운동

4WS의 요우잉방향 관계식은 다음과 같다.

$$I_z\ddot{\psi} = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \quad (7)$$

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.

$$\begin{aligned} N_1 &= l_f \cdot Y_1 + \frac{T}{2} \cdot X_1 \\ N_2 &= l_f \cdot Y_2 - \frac{T}{2} \cdot X_2 \\ N_3 &= -l_r \cdot Y_3 + \frac{T}{2} \cdot X_3 \\ N_4 &= -l_r \cdot Y_4 - \frac{T}{2} \cdot X_4 \end{aligned} \quad (8)$$

식(2), (5)를 식(8)에 대입하고, 다시 식(7)에 대입하여 정리하면, 식(9)와 같은 요우잉 운동방정식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \ddot{\psi} &= \frac{l_f}{I_z}(f_{x_1} + f_{x_2} - \frac{R}{2})\sin\delta_f + \frac{l_f}{I_z}(f_{y_1} + f_{y_2})\cos\delta_f \\ &\quad + \frac{T}{2I_z}(f_{x_1} - f_{x_2})\cos\delta_f - \frac{T}{2I_z}(f_{y_1} - f_{y_2})\sin\delta_f \\ &\quad - \frac{l_r}{I_z}(f_{x_3} + f_{x_4} - \frac{R}{2})\sin\delta_r - \frac{l_r}{I_z}(f_{y_3} + f_{y_4})\cos\delta_r \\ &\quad + \frac{T}{2I_z}(f_{x_3} - f_{x_4})\cos\delta_r - \frac{T}{2I_z}(f_{y_3} - f_{y_4})\sin\delta_r \end{aligned} \quad (9)$$

2.4 롤링 운동

Fig. 2에서 차량의 Rolling운동방정식을 식(10)과 같이 구할 수 있다.



Fig. 2 Roll motion

$$\begin{aligned} \ddot{\phi} &= -\frac{1}{I_x}K_{f_s}\phi - \frac{1}{I_x}C_{f_s}\dot{\phi} - \frac{1}{I_x}K_{r_s}\phi - \frac{1}{I_x}C_{r_s}\dot{\phi} \\ &\quad + \frac{1}{I_x}m_s g e \sin\phi - \frac{1}{I_x}m_s e(\dot{v} + u\dot{\psi}) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, I_x 는 x 축 주위의 Moment of Inertia이고 K_{f_s} , K_{r_s} , C_{f_s} , C_{r_s} 는 앞, 뒤 바퀴 서스펜션의 롤강성과 롤댐핑을 나타낸다. 그리고, ϕ 는 롤각, e 는 차량의 무게중심과 롤 중심 사이의 거리, m_s 는 차량의 현가질량을 나타낸다.

2.5 휠 및 타이어 모델과 운동방정식

타이어는 차량의 비선형을 증가시키는 중요한 인자들 중 하나이며 타이어에서 발생한 힘이 차체의 운동을 발생시킴으로써 차량의 주행을 예측할 수 있다. 특히 슬립률 변화에 따른 타이어와 노면사이의 마찰계수가 다르기 때문에 본 연구에서는 타이어의 힘을 슬립률과 슬립각으로 표현하는 H. Dugoff에 의해 제안된 모델을 이용하였다⁶⁾.

3. 4WS-ESP 통합제어 알고리즘 구성

차량의 거동을 안정적으로 제어하기 위한 제어변수 값으로 요우각속도와 횡 미끄럼각을 설정하여 차량의 궤도 이탈을 방지할 수 있는 제어 알고리즘을 구성하였다^{7,8)}.

본 연구에서는 4WS-ESP협조제어 시스템의 구현을 위한 물리적 개념을 제시하고, 향후 유사한 ESP시스템 연구의 토대를 마련한, A.V. Zanten과 R.Erhardt의 연구내용과 전문 조항각

에 비례하는 후륜 조향각을 설정하는 방식(후륜 조향 동역학모델 및 제어로직 개발)을 바탕으로 제어 알고리즘을 구성하였다. 즉, 운전자의 의지를 판단하는 차량 입력값으로 부터 운전자가 원하는 차량거동을 파악하고 이를 차량운동으로 구현하기 위해 차량의 요우각속도와 횡 미끄럼각을 제어변수로 설정하였다. 이들 제어 변수 값들의 목표치를 계산하고, 알고리즘에서 이 목표값을 실제 차량이 구현할 수 있도록 슬립률에 따라 변하는 타이어 횡력을 이용하며, 이때 고정된 슬립률 값에 대해서만 제어하는 기존의 ABS와는 달리 원하는 제어변수 값(요우각속도, 횡 미끄럼각)을 구현하기 위해 다양한 범위의 슬립률 값을 이용할 수 있도록 하였다.

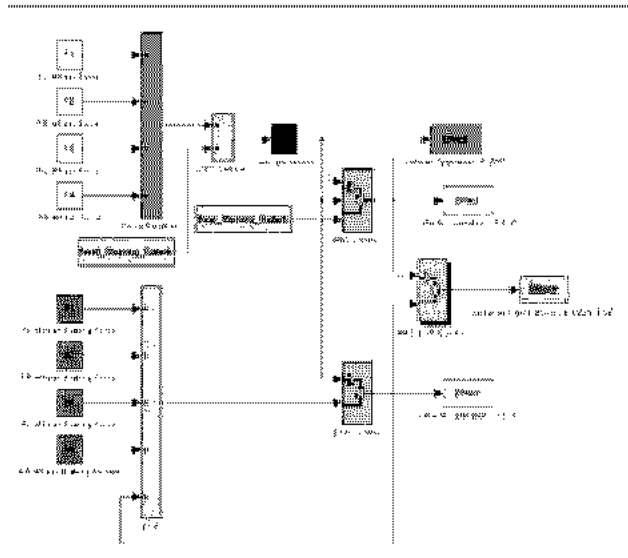


Fig. 3 Block diagram

4WS ESP협조제어 모델은 두 가지 제어블록으로 구성된다. 첫번째 제어 블록에서는 제어 알고리즘에 따라 목표 요우각속도를 설정하고 이 값을 실제 요우각속도와 비교하여 목표 요우각속도를 추종하기 위해 요구되는 요우모멘트를 결정한다. 다음으로 구해진 요우모멘트 값에 따라 슬립각과 슬립률 변화량의 관계식으로 표현되는 타이어 종·횡방향 변화량을 이용해 요구 슬립률 변화량을 구하게 되며 이 값을 초기 슬립률에 더함으로써 목표 슬립률을 구할 수 있다. 두번째 제어블록에서는 위에서 결정된 목표 슬립률 값과 실제 차륜의 슬립률 값과의 차이에 따라 브레이크압력의 증·감압 및 후륜 조향각의 크기를 변화시켜 차륜의 슬립률을 제어하게

되며 최종적으로 차륜의 변화된 슬립률 값에 따라 차량의 거동이 목표값을 추종하도록 하였다.

본 논문에서 목표 요우각속도는 식(11)과 같이 구하였다.

$$\psi_{no} = \frac{u \cdot \delta_f}{(l_f + l_r) \cdot \left(1 + \frac{u^2}{V_{ch}^2}\right)} \quad (11)$$

여기서, V_{ch} 는 차량의 특성 속도를 나타낸다.

4. 시뮬레이션

앞의 2장에서 얻어진 식을 근거로 MATLAB Ver. 7.0 (The Math Works, Inc)의 Simulink 6.0을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 여기서는 차량이 80km/h(22.2m/s)이상의 고속운동에서 시뮬레이션을 하였다. 또한 각 시스템의 차이를 확연히 알 수 있게 하기 위해 160km/h(44.4m/s)까지 가속 즉, 가속조건에서의 실험을 하였다. 그리고, 조향각의 크기는 좌, 우륜이 같다고 가정하였고, 4WS는 전, 후륜의 동 위상 조향만 하게 하였다. 시간에 따른 조향 입력을 다르게 하여 차선변경, 돌발상황을 설정 하였고, 각 상황에서의 2WS, 4WS, ESP, 4WS-ESP협조제어 시스템의 차량궤적, 요우각속도, 횡 미끄럼각, 롤각을 비교 분석하였다. 시뮬레이션에 필요한 데이터는 표1에 나타내었다.

Table. 1 Vehicle data

m	Vehicle weight	1280 (kg)
l_f, l_r	Wheelbase	2.42 (m)
T	Tread	1.33 (m)
I_z	Moment of Inertia of a z axis	2500 (kgm ²)
I_x	Moment of Inertia of a x axis	750 (kgm ²)
C_i	Longitudinal stiffness	52526 (N)
C_o	Cornering stiffness	2900 (N/rad)

4.1 차선변경

여기서는, 차량이 고속에서 차선변경시의 동 특성을 비교하였다. 차선변경시에는 국내 일반 고속도로 폭(3.6m)을 기준으로 실험하였다.

Fig. 4의 차량 궤적을 보면, 고속에서 2WS차량은 스피어아웃을 일으켜 궤도를 이탈 하는 것을 알 수 있고, 4WS-ESP장착차량은 후륜 조향각

과 브레이킹 포스를 조절하여 궤도 이탈은 방지할 수 있으나, 4WS차량은 언더스티어 현상, ESP차량은 고속운동에서의 속도만큼의 큰 브레이킹 포스가 요구되기 때문에 오히려 위험한 상황을 연출할 수 있고 운전자에게 위화감을 조성시킬 수 있으며, 정확한 궤도를 추종하고 있지는 않는다는 것을 알 수 있다.

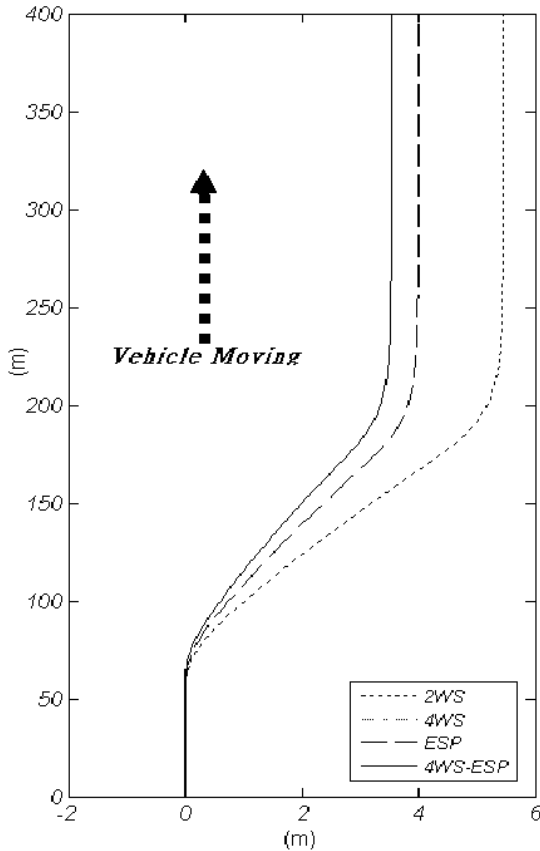


Fig. 4 Vehicle path

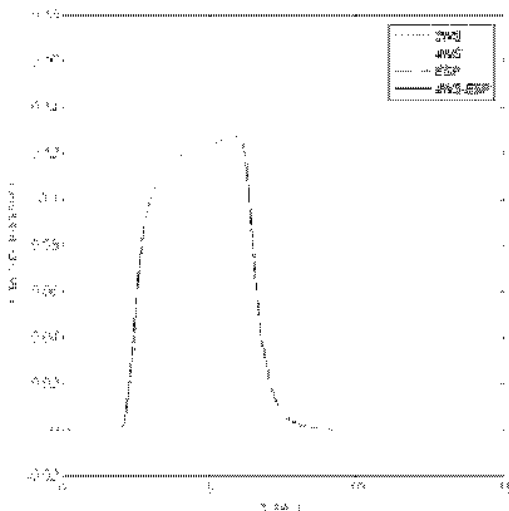


Fig. 5 Yaw rate

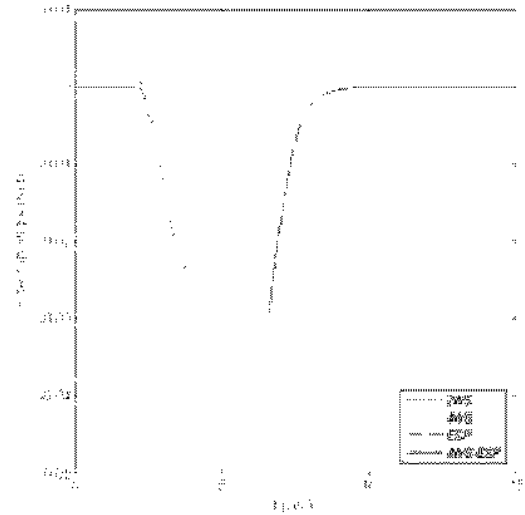


Fig. 6 Side slip angle

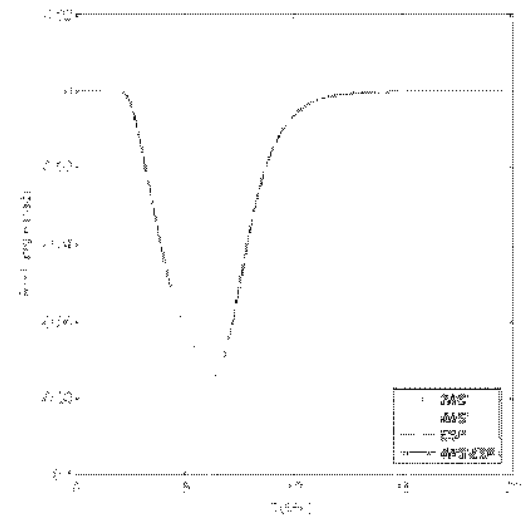


Fig. 7 Roll angle

4.2 돌발상황

돌발상황은 차량의 고속 주행 중 갑자기 장애물을 발견하고 피하는 상황을 설정한 것이다. 급격한 조향 입력을 설정하기 위해 2초 내에 조향이 종료되는 상황에서 차량의 이동궤적을 측정하였다.

Fig. 8의 차량 궤적을 보면, 고속에서 돌발상황 시에 2WS차량과 ESP차량은 스피나아웃을 일으켜 궤도를 벗어나고 있음을 볼 수 있다. 급격한 조향입력에 의해 차량의 횡 미끄럼각이 증가하여 차량이 궤도에서 점점 벗어남을 볼 수 있다. 4WS차량은 횡 미끄럼각은 다른 장치들보다 현저히 낮게 나왔지만 언더스티어 현상으로 장애물을 미처 피하지 못하는 것을 볼 수 있다. 4WS ESP 장착차량은 언더스티어와 오버스티

어의 조절로 정확한 궤도를 주행하는 것을 볼 수 있으며 돌발상황의 탈출 시에도 시작할 때의 궤도를 다시 추종하여 안정적인 특성을 보인다.

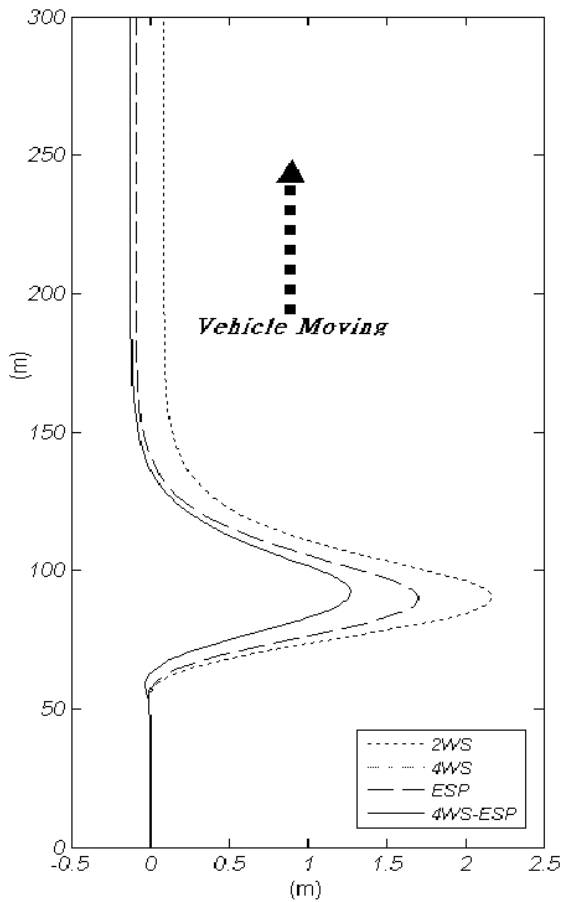


Fig. 8 Vehicle path

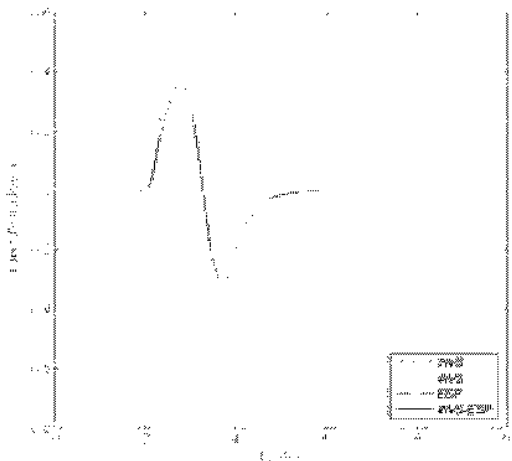


Fig. 9 Yaw rate

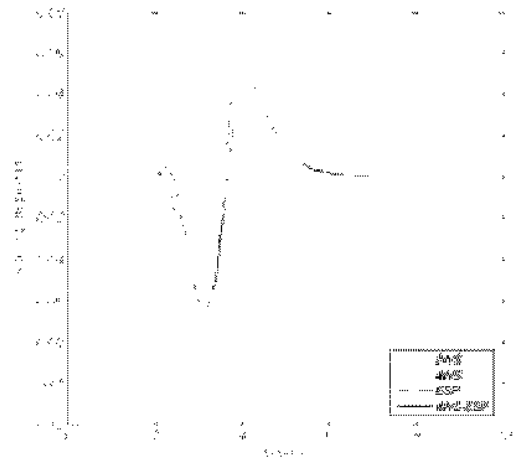


Fig. 10 Side slip angle

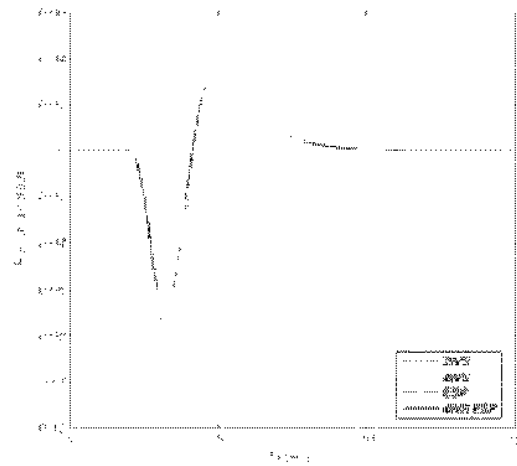


Fig. 11 Roll angle

5. 결 론

본 논문의 연구내용은 차량의 종방향, 횡방향, 차량 종축, 횡축, 수직 축 방향 회전운동 및 각 차륜의 회전운동에 대한 8자유도 차량모델을 제시하였고, 본 모델을 해석하기위해 MATLAB Ver. 7.0 (The Math Works, Inc)의 Simulink 6.0을 이용한 시뮬레이션 툴을 개발하였다. 이 툴을 근거로 하여 5장의 시뮬레이션 상황에서의 제어방법의 효과와 차이점을 비교 실험 하여 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

5장에서 보는 바와 같이 일반 2WS차량보다는 4WS, ESP차량의 안정성이나 차량의 이동궤적의 결과가 안정적으로 보여졌다. 그리고 그보다 4WS ESP의 협조 제어 시스템에 의한 결과는 전반적으로 향상된 성능을 발휘함을 알 수

있었다.

4WS차량은 고속에서의 조향 시 언더스티어 현상이 강하게 나타났으며 조향 시 차량의 응답이 늦은 경향을 알 수 있었고, 후륜 조향의 특성상 발생하는 언더스티어 경향 때문에 운전자가 진행하고자 하는 것 보다 회전반경이 줄어들어 민첩한 조향을 하기가 힘들다는 단점을 알 수 있었다. 그리고 ESP차량은 그 응답이 너무 빨라 오버스티어 현상을 초래 할 수 있다는 결과를 알 수 있었고, 운전자가 원하지 않는 브레이킹 포스에 의한 제어로 운전자에게 위화감을 느낄 수 있는 단점을 알 수 있었다. 4WS차량과 ESP차량도 조향 입력을 변화시키거나 브레이크 압력을 증, 감압 시켜 4WS-ESP차량과 같은 궤적을 나타낼 수는 있다. 그러나 이러한 조작 방법들은 고속상황에서 요우각속도나 횡 미끄럼각, 롤각이 안정영역에서 벗어나 더 위험한 상황을 초래하게 된다.

본 연구에서 볼 수 있듯이 종전에 개발되어오고 있던 4WS와 ESP는 각각의 장점들을 수행하고 있었지만 고속선회에 대한 단점들이 확인이 들어났다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 4WS와 ESP의 통합적인 시스템 즉, 조향과 제동을 협조적으로 제어하여, 차량의 고속운동 시에도 차량은 안정성을 유지하면서, 운전자에게는 어떠한 위화감도 조성시키지 않고, 운전자의 의지대로 조작 가능한 차량 제어시스템을 구축하였다.

차량의 안전성에 관한 연구는 계속 이루어지고 있다. 무엇보다 먼저 생각되어야 할 부분이 바로 운전자가 원하는 차량의 움직임에 아무런 위화감을 느끼지 않으면서 조작할 수 있는 것이다. 운전자의 뜻대로만 차량이 움직여진다면 사고는 일어나지 않을 뿐더러 운전자도 편안하고 안정된 주행을 할 수 있게 될 것이다. 이러한 것을 수행할 수 있게 하기위해 차량의 여러 시스템의 장점들을 협조 및 통합제어 하여 보다 안정적인 주행을 할 수 있는 시스템의 개발이 우리의 과제이다.

앞으로는 조향장치와 제동장치의 협조제어 뿐만 아니라 탑승자의 승차감을 높일 수 있는 현가장치를 접목하여 제동 조향 현가의 통합화로 보다 향상된 주행 안정성을 만들어내는 것이 과제이다. 그리고 더 나아가 각 바퀴의 구동력

을 독립적으로 제어 가능하게 장치 등 차량의 전반적인 새시장치의 통합 제어화 및 모듈화를 구축하여, 차량의 종합적인 성능 향상에 기여할 수 있는 연구가 필요하다.

참고 문헌

1. Lee Jae Cheon, 1998, "A Vehicle Dynamics Model and Algorithm for Integrated Braking Torque and Steering Control", Kemyung University Bull. I. I. S, Vol. 21-2.
2. A. V.Zanten and R. Erhart, 1996, "The Vehicle Dynamics Control System of Bosch", In"ABS- TCS-VDC Where will the technology lead us", SAE PT-57, pp. 497~514.
3. 車両システムのダイナミクスと制御, 1999, 社団法人 日本機械学会編, 養賢堂.
4. J. Y. Kim, K. G. Kye, K. S. Park, K. S. Huh, K. Y. Chang and J. E. Oh, 1996, "Dynamic Performance Analysis for 4WD/4WS Electric-driven Vehicles", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 4, No. 2, pp. 209~220.
5. J. H. Park and W. S. Ahn, 1999, " H_{∞} Yaw-Moment Control with Brake for Improving Driving Performance and Stability" Proceedings of the 1999 IEEE/ASME Intimation Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 19-23, Atlanta, USA.
6. H. Dugoff, P. S. fancher, L. Segl, 1970, "An Analysis of Tire Traction Properties and Their Influence on Vehicle Dynamic Performance" SAE Transactions, 79 : pp. 341~366, SAE-Paper 700377.
7. T. K. Kim, Y. K. Park and M. W. Suh, 1997, "A study on the Performance Characteristics of the VDC Vehicle", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 7, No. 9, pp. 146~157.
8. J. H. Park and C. Y. Kim, 1997, "Optimal Wheel Slip Control for Vehicle Stability During Cornering", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 5, No. 4, pp. 190~198.