

● 연구 논문

충돌회피를 위한 극한 운전시 자동차의 동적안정성 해석

김 성 필*·백 운 경**

Dynamic Stability Analysis of A Vehicle in Limit Driving for Crash Avoidance

S. P. Kim* and W. K. Baek**

Key Words : Limit Driving(극한운전), Instability(불안정성), Crash Avoidance(충돌회피),
Tire Saturation(타이어 하중포화), Lane Change(차선변경), Phase Plane
Plot(상태평면도)

Abstract

In this study, vehicle directional stability is investigated for limit driving for crash avoidance maneuver using a full vehicle dynamic model. The model was analytically validated using typical step steering and lane change simulation. Limit driving condition for the vehicle model was quoted from research results of references. It was demonstrated that instable vehicle motion was caused by not only road conditions but also driving conditions. Also, the simulation showed that braking combined with steering caused very hazardous situation in crash avoidance maneuver. Finally, phase plane plot approach was used to evaluate the dynamic instability.

1. 서 론

자동차의 동적안정성은 자동차 설계시에 고려하여야 할 중요한 요소의 하나이다. 특히 장애물 회피를 위한 급작스러운 운전시에는 자동차의 동적안정성의 확보가 대단히 중요하며 이는 자동차의 동적안정성 평가에 중요한 수단이 될 수 있다. 최근 자동차의 사고원인 분석을 통한 자료를 사

용하여 자동차의 동적안정성을 설계에 고려하기 위한 연구가 이루어지고 있다¹⁻²⁾. 사고에 대한 통계분석을 기초로 자동차 무게중심의 높이, 윤거비(track width ratio) 등의 자동차특성을 사용하여 전복안정계수(rollover stability factor), 전복성향(rollover propensity) 등의 동적안정성에 대한 객관적인 척도를 구하기 위한 연구도 이루어지고 있다³⁾.

* 부경대학교 대학원

** 부경대학교 자동차공학과

자동차의 동적안정성은 크게 나누어 자동차의 진행방향의 안정성과 횡방향의 안정성으로 나눌 수 있으며 자동차에 대한 극한운전(조향 및 제동) 시 주행방향에 대한 안정성의 상실로 인한 spinout 또는 plowout, 또는 측방향의 안정성의 상실로 인한 rollover 등의 사고를 유발할 수 있다.

자동차의 주행방향 및 측방향의 동적거동은 롤링, 요잉 및 측방향 가속도 등 여러 가지 요소의 상호작용으로 나타난다. 이 상호작용은 대단히 복잡하며, 특히 타이어의 하중포화현상에 의한 극단적인 비선형성은 자동차의 동적거동 해석을 더욱 복잡하게 만든다.

최근, 자동차의 동적안정성 해석을 위하여 선형 또는 비선형의 컴퓨터모델을 이용한 시뮬레이션 결과가 많이 발표되고 있으며^{4, 6)}, 장애물회피를 위한 극한운전시의 동적안정성 해석을 위해 단순화된 전용모델을 이용한 연구도 이루어지고 있다⁷⁻⁸⁾. 그러나 자동차사시의 모든 운동요소를 포함한 전체차량모델을 이용한 안정성해석은 드물다.

자동차의 동적안정성에 관한 컴퓨터시뮬레이션은 신뢰성 있는 안정성해석 결과를 얻기 위해서 시뮬레이션의 타당성 검증이 필수적이며 이 타당성 검증은 될 수 있는 한 광범위한 영역에서 실시되어야 한다. 컴퓨터시뮬레이션 결과에 대한 완전한 의미에서의 타당성 검증은 자동차 동역학모델 파라메타의 실측, 시험장에서의 실차 주행시험, 그리고 컴퓨터에 의한 동역학모델 및 시뮬레이션에 대한 해석적인 검증이 포함된 종합적인 비교분석에 관한 연구도 이루어지고 있다^{9, 10)}. 한편, 실차주행시험은 시간이 많이 소요되고 실차시험에 의한 측정치도 오차에 의한 통계적 분포를 가지고 있기 때문에 컴퓨터모델 및 시뮬레이션 과정 및 결과에 대한 해석적인 검증방법도 제시되었다¹¹⁾.

본 연구에서는 자동차의 동적안정성 평가를 위한 척도로서 운전자가 장애물 회피를 위한 극한운전(조향 및 제동)을 할 때의 자동차의 동적거동을 해석하기 위해 전체차량(full vehicle)의 3차원 컴퓨터모델을 이용한 시뮬레이션을 행하였으며, 특히 자동차의 진행방향에 대한 동적안정성과 관

련한 각종 동적파라메타들을 분석 연구하였다.

2. 이론적 배경

자동차의 동적안정성은 자동차의 동적특성 및 운전환경에 대한 포괄적인 이해를 요구하는 복잡한 문제이다. 자동차가 동적안정성을 상실하게 되는 기본적인 운전입력 조건은 조향 및 제동이며 이러한 입력에 대한 자동차의 과도응답 특성이 자동차의 동적안정성 해석에 있어 중요한 요소가 된다.

조향입력후 정상상태의 주행방향 운동을 회복할 때까지의 시간동안에 자동차는 과도적인 조향특성을 보인다. 과도적인 조향반응을 해석하기 위해서는 자동차의 관성을 고려해야 한다. 선회시 자동차는 병진운동과 동시에 회전운동을 한다. 자동차의 조향특성을 해석하기 위해 흔히 Fig. 1과 같은 단순화된 모델이 사용된다¹²⁾.

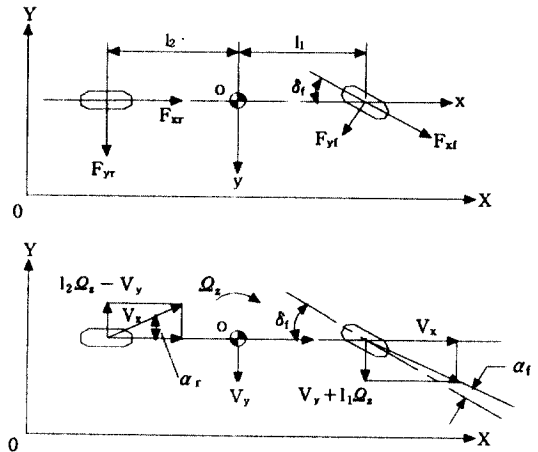


Fig. 1 Simplified vehicle model for transient steering motion

그리하여 측면방향 운동과 요잉운동을 포함한 2자유도 운동방정식으로 표현될 수 있다. 또한, 제동에 의한 요잉운동을 간단히 해석하는데는 Fig. 2와 같은 모델이 사용될 수 있다¹³⁾. Fig. 2에서 외란에 의해 무게중심에 대해 측력 F_y 가 생

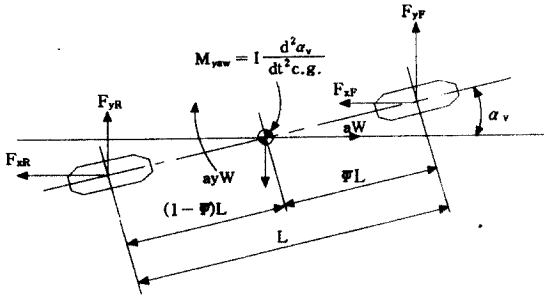


Fig. 2 Simplified model for vehicle braking motion

기면 타이어에 그 반력으로 F_{yF} 및 F_{yR} 가 발생한다. 전후타이어에 측력을 일으키는데 필요한 슬립 각도는 α_v 로서 같다고 가정한다. 전후타이어의 측력이 무게중심을 중심으로 하는 모멘트를 일으킨다. 모멘트와 x-y축 방향 힘들의 동적평형을 취하면 요잉운동에 대한 1 자유도 운동방정식이 된다.

보다 정확한 자동차의 동적안정성 해석은 이와 같은 단순한 모델에 의해서가 아니라 차량특성 및 운전환경에 대한 포괄적인 시뮬레이션이 요구된다. 그 방법으로서 컴퓨터에 의한 자동차의 동역학모델을 이용한 시뮬레이션 결과로부터 단순화된 해석결과를 도출하는 것이다. 즉, 시뮬레이션에서 나타나는 상태변수들 사이의 함수관계를 해석함

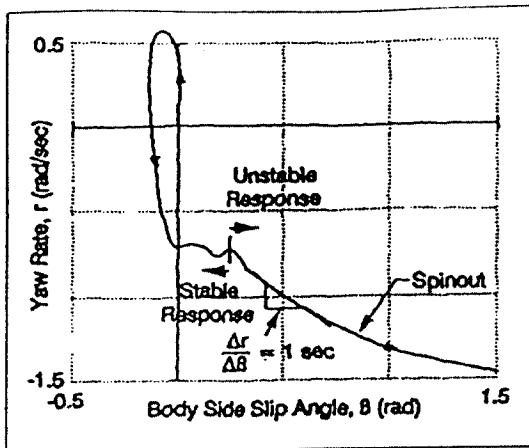


Fig. 3 Directional stability phase plane trajectories(reproduced from ref. 8)

으로써 안정성을 판별하는 자료로 삼아야 한다.

Fig. 3에서는 자동차의 차체슬립각과 요우레이트를 사용하여 진행방향의 안정성 및 불안정성에 대한 상태평면도(phase plane plot)를 보인다⁸⁾. 초기에는 궤적이 원점을 중심으로 안정적으로 움직이다가 임의의 순간부터 과도적으로 두 상태변수가 모두 발산하는 것을 보여주고 있다. 발산하는 순간은 자동차의 조향각 및 조향각속도의 크기, 차량속도 등의 운전조건과 타이어슬립각 등의 차량특성에 관계된다.

임의의 슬립각 β 를 가지는 상태에서 시작하는 방향 발산에 관한 식은 다음과 같다.

$$\beta - \beta_0 = \Delta\beta = ae^{-t/\tau} \quad (1)$$

여기에서 τ 는 발산에 관련된 시정수이다. 요우레이트 r 은 차체슬립각의 도함수와 대략 같기 때문에 다음과 같이 주어진다.

$$r - r_0 = \Delta r = \frac{d\beta}{dt} = -\frac{a}{\tau} e^{-t/\tau} \quad (2)$$

(1)과 (2)의 비율을 취하면 불안정한 발산을 나타내는 시정수는 다음과 같다.

$$\frac{\Delta\beta}{\Delta r} = -\tau \quad (3)$$

Fig. 3에서의 곡선의 기울기는 (3)에서 표현된 바와 같은 시정수를 의미하며 이 시정수의 값의 절대치가 작을수록 불안정한 상태로 더 급격하게 진행되게 된다.

3. 자동차 동역학모델

본 연구에 사용된 자동차모델은 국내에서 생산되는 중량이 약 14700N이 되는 중형승용차로서 전륜구동(front wheel drive)형이며 현가장치의 앞부분은 맥퍼슨 스트럿형이며 뒷부분은 액슬 빔형이다. 컴퓨터모델을 위해 사용된 차량 파라메타들은 Table 1 및 Fig. 4와 같다. 컴퓨터모델링은 상용 동역학프로그램인 ADAMS를 사용하였으며 동적안정성해석에 중요한 요소의 하나인 타이어 모델로서는 ADAMS/Tire¹⁴⁾를 사용하여 타이어의 각종 실험치를 입력하였다.

Table 1 Vehicle parameter

Vehicle Parameters		Values
Vehicle gross mass		1524 (kg)
Vehicle body mass		1376 (kg)
Track width (Front/Rear)		1457/1440 (mm)
Wheelbase		2649 (mm)
Center of gravity		Distance from the front axle 1148(mm) Distance from the rear axle 1501(mm) Distance from the ground 511(mm)
Spring constant	Front (N/mm)	20.8
	Rear (N/mm)	19.1
Shock absorber Damping coefficient	Front (N·s/mm)	See Fig. 4
	Rear (N·s/mm)	See Fig. 4
Steering ratio		19.2
Tire	Unloaded radius	295 (mm)
	vertical stiffness	206 (N/mm)
	vertical damping	2.06 (N·s/mm)
	Lateral stiffness	50 (N/mm)
	Static friction coefficient(μ_s)	0.85
	Dynamic friction coefficient(μ_k)	0.75
	Rolling resistance coefficient	0.01

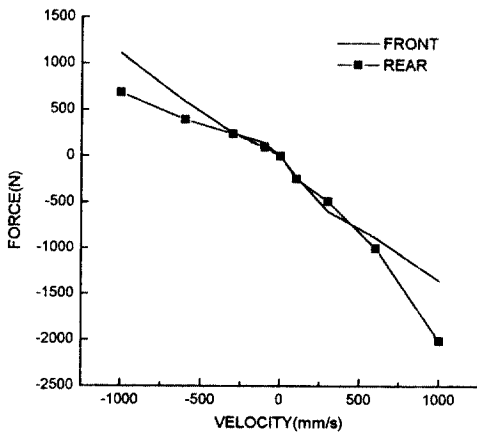


Fig. 4 Shock absorber characteristics

ADAMS를 이용하여 전체차량을 24개의 강체로 모델링하였으며 각 강체를 구속하는 조인트로서 볼조인트 11개, 회전조인트 10개, 병진조인트

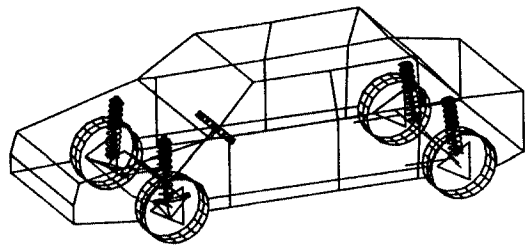


Fig. 5 Vehicle computer model

5개, 유니버설조인트 5개를 사용하였다. 스프링과 댐퍼는 힘요소로 표현하고, 스프링은 선형으로 댐퍼는 비선형으로 표현하였으며 앞쪽의 댐퍼는 너클과 병진조인트로 연결하였고 뒤쪽의 댐퍼는 상하 두 개의 강체로 나누어 병진조인트로 연결하였다. 스티어빌라이저 바는 차체와 하부 컨트롤암 사이에 힘요소로 표현하였고, 토션 바는 액슬을 두 부분으로 나누어 가운데에 힘요소로 표현하였

충돌회피를 위한 극한 운전시 자동차의 동적안정성 해석

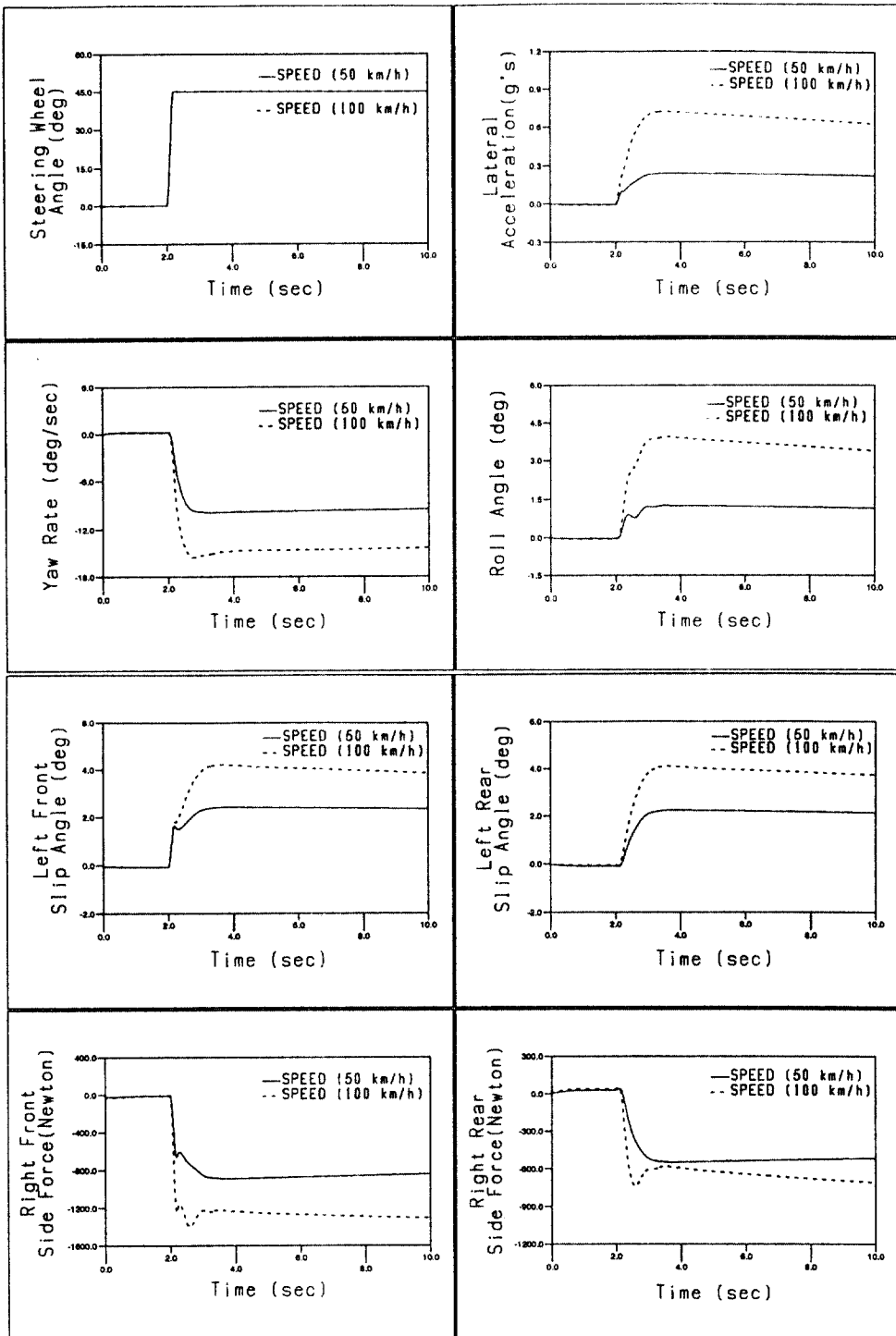


Fig. 6 Step steer simulation

다. 조향장치는 랙과 피니언 형을 적용하고 운전 대의 회전운동을 랙의 병진운동으로 바꾸어주는 커플러를 사용하였다. 제동장치는 바퀴에 토오크를 적용하여 묘사하였다. 최종적인 컴퓨터모델은 Fig. 5와 같이 표현되며 총 자유도는 14 자유도를 가지고 있다.

4. 자동차 동역학모델의 검증

동역학모델에 대한 타당성검증의 목적은 시뮬레이션 결과에 대한 신뢰성을 높이기 위한 것이다. 본 연구에서는 자동차 동역학모델과 시뮬레이션에서의 입출력파라메타에 대하여 해석적인 타당성 검증을 하였다. 이를 위해 스텝조향입력(step steer input), 단일차선변경(single lane change), 이차선변경(two lane change), 이중차선변경(double lane change) 등의 시뮬레이션을 수행하였다. 주행방향과 측방향에 대한 시뮬레이션 파라메타는 요우레이트(yaw rate), 횡가속도(lateral acceleration), 롤각(roll angle), 타이어슬립각(tire slip angle), 타이어측력(tire side force) 등이 포함된다.

주어진 스텝조향입력에 대해 자동차는 초기에 과도적인 반응을 거쳐 정상적인 선회를 하게 된다. Fig. 6에서는 자동차가 시속 50km 및 100km

속도로 주행하면서 45도의 스텝조향을 할 때의 자동차의 동적응답특성을 보여 준다. 조향입력이 주어지면 타이어측력이 발생하면서 자동차의 선회가 이루어지며 요우레이트와 추가속도가 생기게 된다. Fig. 6에서 조향입력이 주어지면 먼저 앞바퀴의 슬립각이 발생하고 조금의 시간지연 후에 뒷바퀴의 슬립각이 발생한다. 뒷바퀴 슬립각의 지연으로 인하여 뒷바퀴의 측력은 앞바퀴의 측력보다 조금 지연되어 발생하며 이어서 자동차의 선회에 따른 요우레이트와 추가속도가 생긴다. 추가속도는 스프링 상부중량으로 하여금 물가를 발생하게 하고 이로 인해 선회 안쪽으로부터 바깥쪽으로 측방향 하중이동이 이루어져 바깥쪽 바퀴의 수직하중이 안쪽바퀴의 수직하중보다 커지게 된다.

Table 2에서는 자동차가 시속 50km 및 100 km의 속도에서 스텝조향입력을 받은 후 정상상태에 들어갔을 때의 롤각, 요우레이트, 추가속도 및 이들과 바퀴의 수직하중 및 측력을 보여주고 있고 간단한 수식에 대입하여 계산함으로써 시뮬레이션 결과에 대한 타당성검증 결과를 보여준다. 즉, 차속 50km/h로 선회할 때의 요우레이트와 추가속도의 계산치가 시뮬레이션 결과 값과 일치함을 볼 수 있으며, 뉴우톤의 제 2법칙을 이용하여 자동차의 질량과 추가속도의 곱이 바퀴의 측력의 합과 거의 일치함을 보여준다.

Table 2 Steady state dynamic parameter validation

Dynamic Parameters		Values	Calculated value
Vehicle Velocity, U		13.89(m/sec)	$a_y = U \cdot r = 13.89 \times 0.17$ $= 2.36(m/sec)$ $= 0.24 (g's)$
Yaw Rate, r		-9.80(deg/sec)	
Lateral Acc', a_v		0.24(g's)	
Roll Angle, ϕ		1.26(deg)	
Tire Side Force	Left Front, F_{vLF}	-1296.40 (N)	$\Sigma F_y = 3600.66 (N)$ $m \cdot a_y = 1524 \times 2.35$ $3581.4(N)$
	Right Front, F_{vRF}	-888.95 (N)	
	Left Rear, F_{vLR}	-869.44 (N)	
	Right Rear, F_{vRR}	-545.87 (N)	
Tire Normal Force	Left Front, F_{zLF}	-4951.10 (N)	
	Right Front, F_{zRF}	-3198.10 (N)	
	Left Rear, F_{zLR}	-3765.10 (N)	
	Right Rear, F_{zRR}	-2374.80 (N)	

충돌회피를 위한 극한 운전시 자동차의 동적안정성 해석

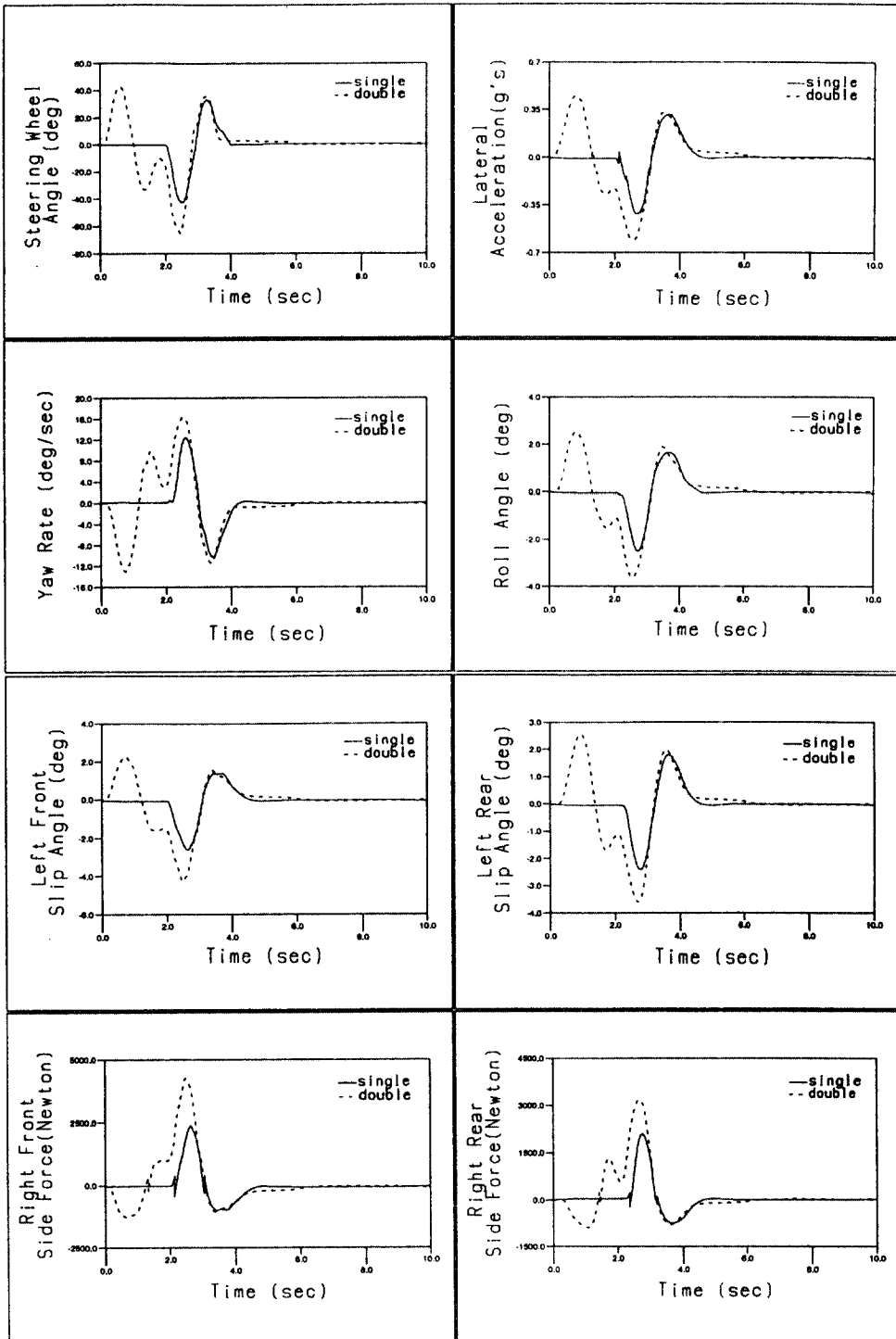


Fig. 7 Single and double lane change simulation

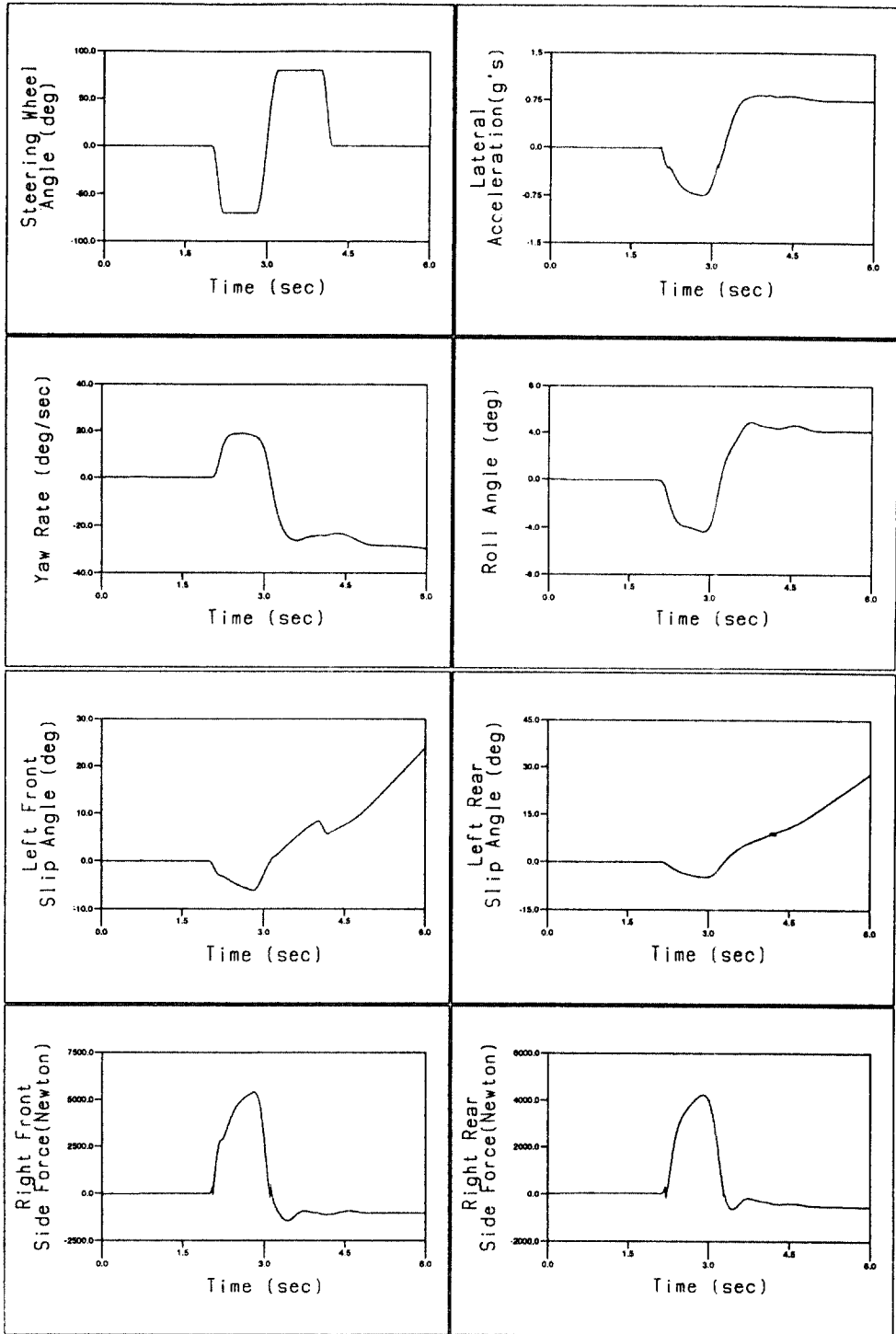


Fig. 8 Two lane change simulation

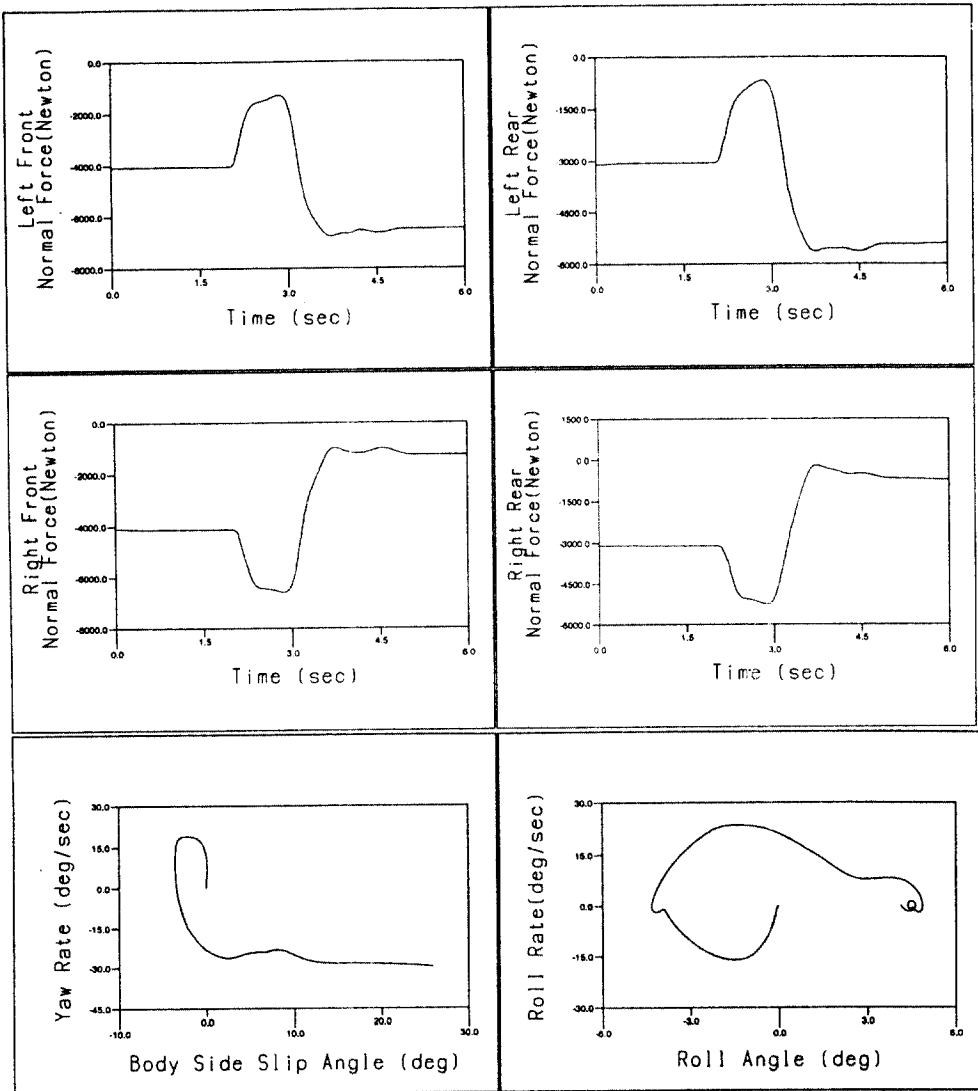


Fig. 9 Instability in two lane change simulation

자동차의 과도적인 조향응답 특성을 관찰하기 위하여 흔히 차선변경 시뮬레이션이 사용된다. Fig. 7에서 실선의 경우는 단일차선변경의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 차속은 100km/h이고 운전대의 입력이 최대 45도 정도일 경우이며 횡가속도가 최대 0.4g 정도이므로 어느 정도로 온건한 차선변경이라고 볼 수 있다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 조향입력 직후에 과도적인 타이어측력이 나타나고 있다. Fig. 8과 Fig. 9에서는 이차선변경(two lane change)을 위한 조향입력에 대한

응답을 보여주고 있는데 조향입력이 단일차선변경과 유사하나 일정시간 최대입력을 유지하는 것이 다른 점이다. 이 경우 특히, Fig. 9의 왼쪽 하단의 요잉운동에 관한 상태평면도(phase plane plot)를 보면 전형적인 spinout를 보인다. 이것은 타이어의 하중포화로 인해 바퀴의 측력계수(side force coefficient)가 0이 됨으로써 진행방향의 안정성이 상실되게 되어 spinout이 일어나는 것이다. 이러한 극한적인 시뮬레이션이 가능하게 되면 타이어힘의 포화에 대한 타이어시뮬레이션이

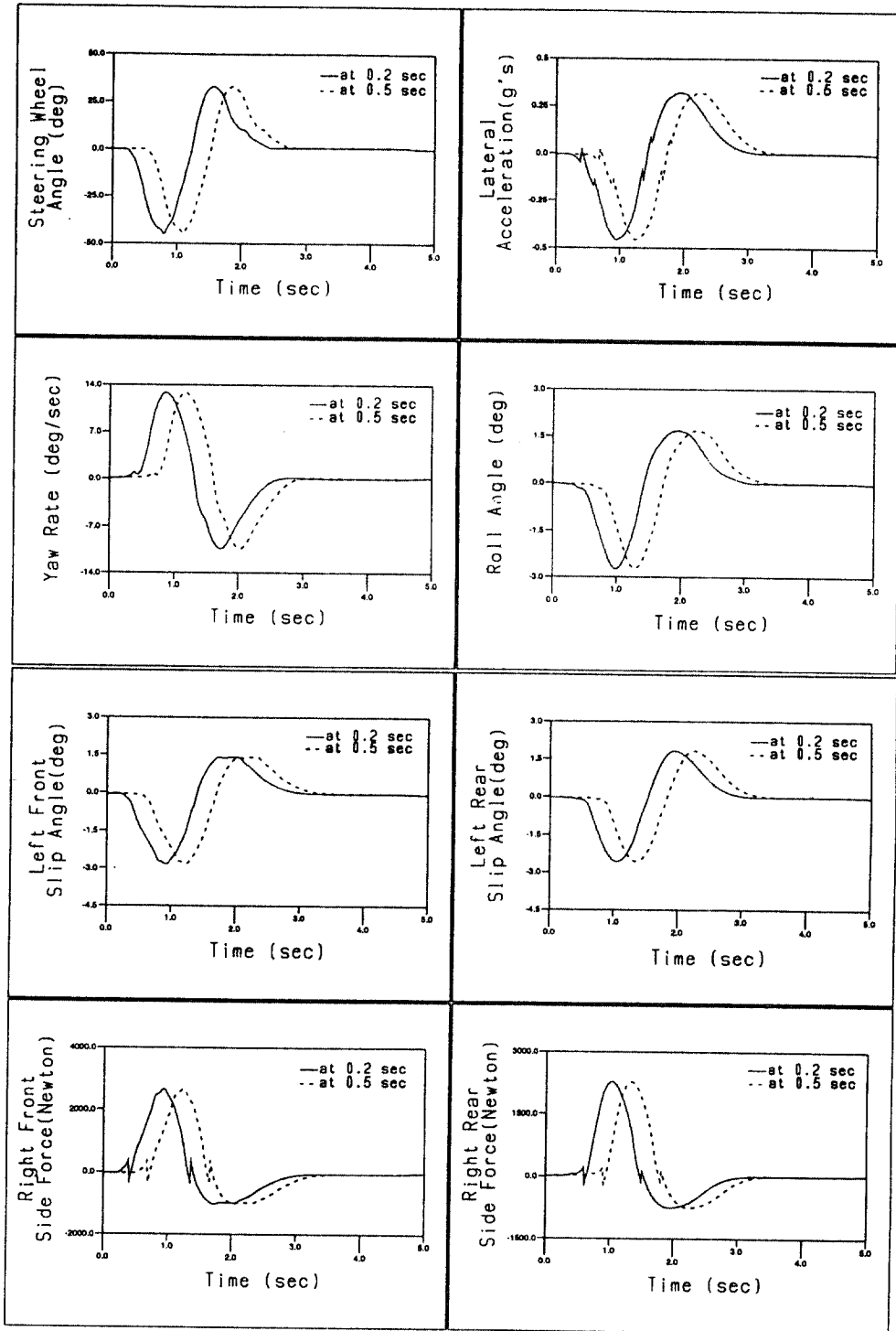


Fig. 10 Obstacle avoidance simulation with steering at 0.2 and 0.5 second

가능해야 한다. Fig. 7에서 점선의 경우는 이중차선변경을 보여주고 있다. 이 경우에는 추월차선으로 변경 직후와 주행차선으로 복귀직후에 타이어의 측력의 과도적인 변화를 보여준다.

5. 극한운전 해석

타당성이 검증된 동역학모델을 사용하여 동적안정성 상실을 유발하는 극한운전 조건에 대한 시뮬레이션이 가능하다. 진행방향 및 횡방향에 대한 동적안정성이 상실될 때 spinout이나 rollover를 유발할 수 있다. 이 두가지 경우는 모두 타이어측력의 영향을 받는다. Spinout은 앞타이어가 일정 크기의 측력을 가지고 있고 뒷타이어가 접지력 한계를 초

과할 때 일어나며 spinout은 rollover를 동반하기도 한다. 극한운전 조건시의 동역학은 타이어 포화현상이 주행조건과 상호작용하여 극히 비선형적으로 된다. 그러므로 컴퓨터 시뮬레이션으로부터의 해는 조향, 제동, 및 가속을 포함한 운전입력 조건에 크게 의존한다. 예를 들면 스텝조향입력에서는 전복되지 않는 자동차라도 순간적으로 반대방향의 조향입력이 과도하게 이어지는 차선변경을 하는 조향입력에서는 전복되는 경우가 있다. 이 경우는 반대방향의 조향입력이 롤운동을 불안정하게 했을 경우이다. 이러한 과도운동은 조향각 입력의 크기에 대단히 민감하며 조향각이 일정치를 초과했을 경우에 극적으로 일어날 수 있다.

본 연구에서는 앞에서 검증된 자동차모델을

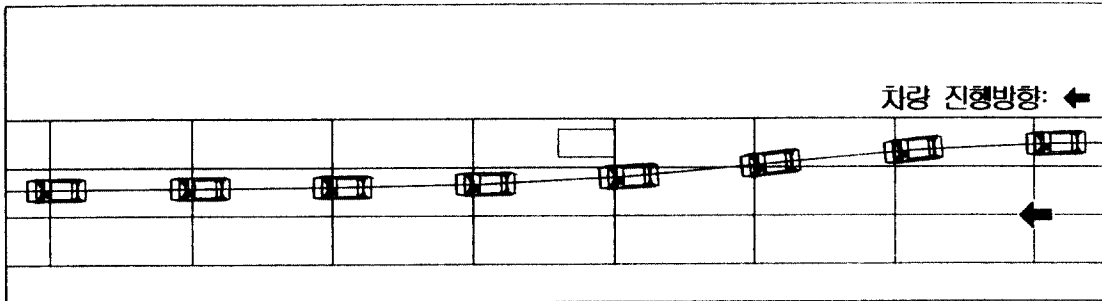


Fig. 11 Vehicle trajectory of obstacle avoidance simulation with steering at 0.2 second

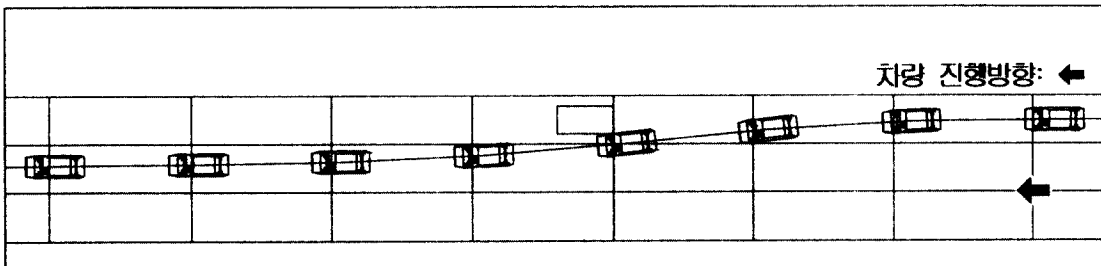


Fig. 12 Vehicle trajectory of obstacle avoidance simulation with steering at 0.5 second

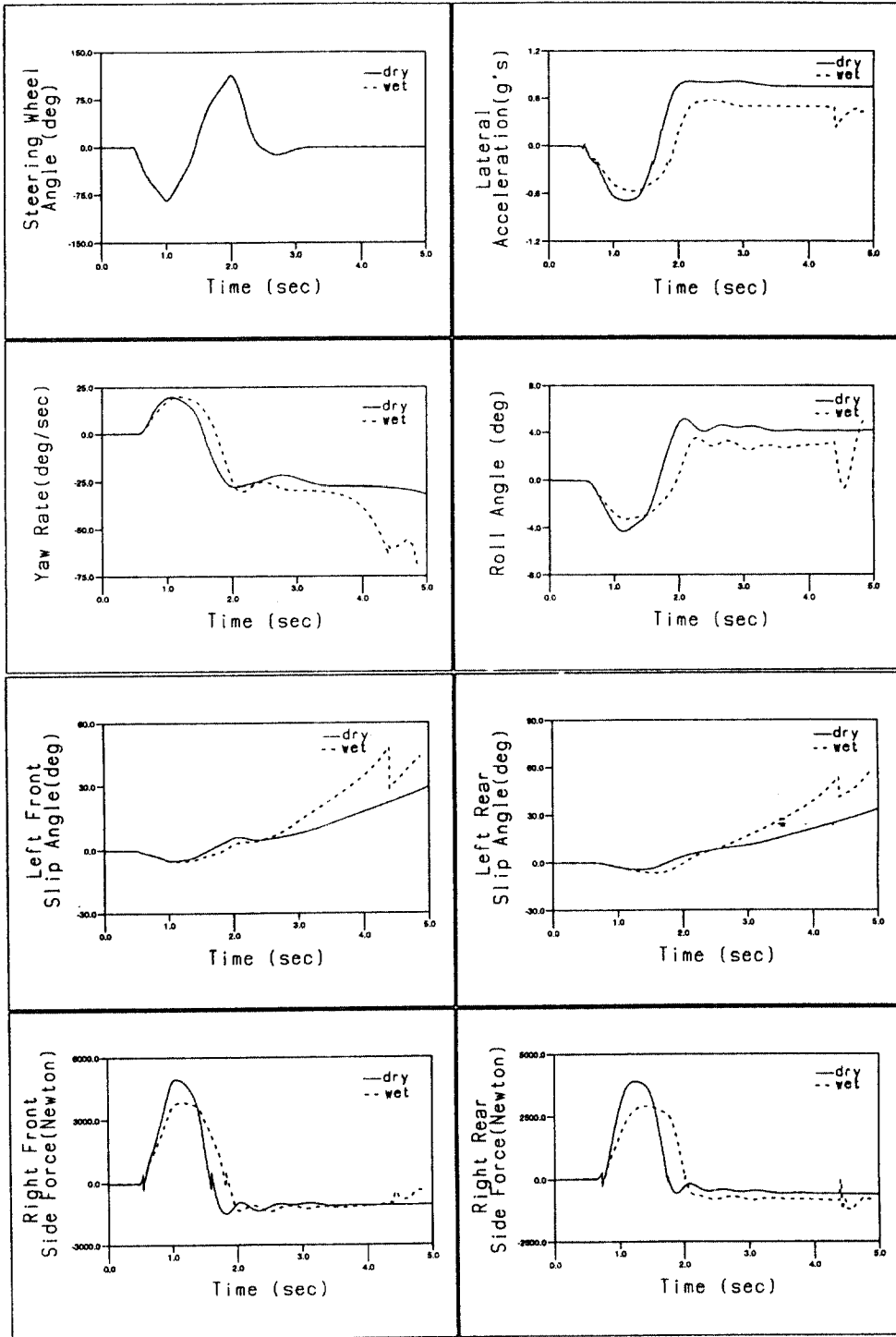


Fig. 13 Excessive steering simulation at 0.5 second on dry road and wet road

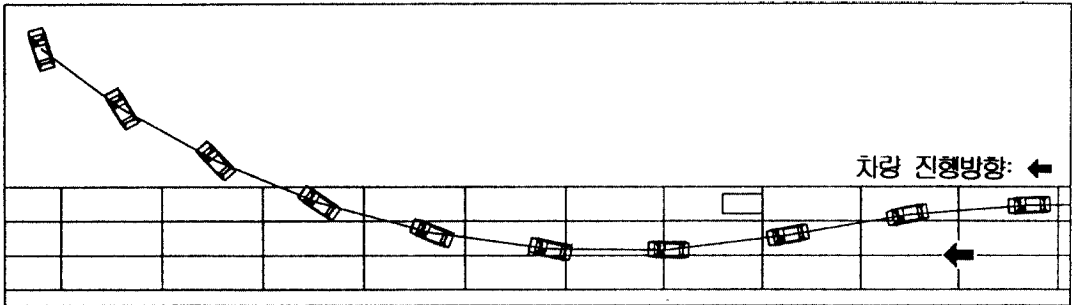


Fig. 14 Vehicle trajectory of excessive steering simulation at 0.5 second on dry road

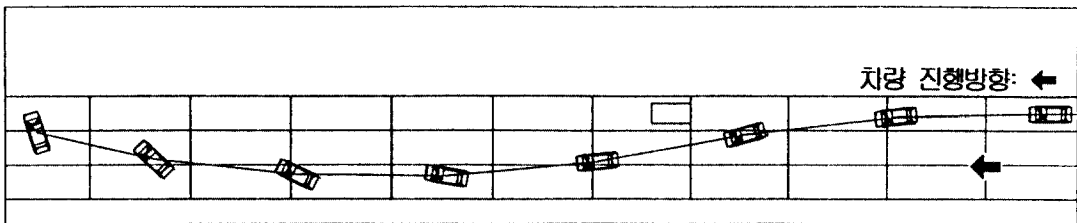


Fig. 15 Vehicle trajectory of excessive steering simulation at 0.5 second on wet road

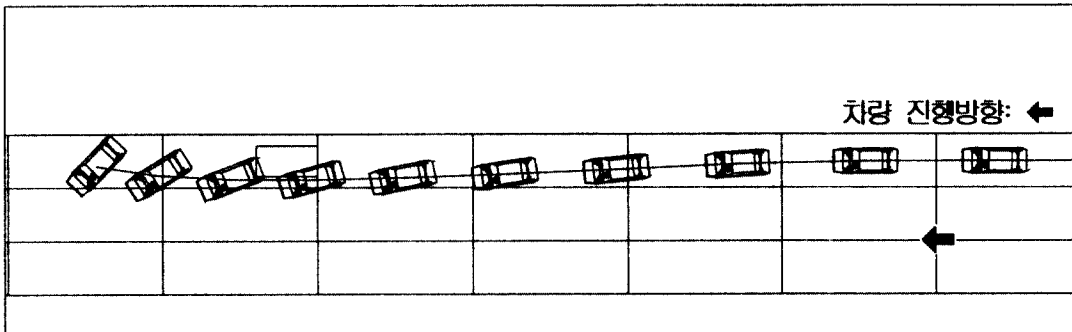


Fig. 16 Vehicle trajectory obstacle avoidance simulation with steering at 0.2 second and braking at 0.82 second

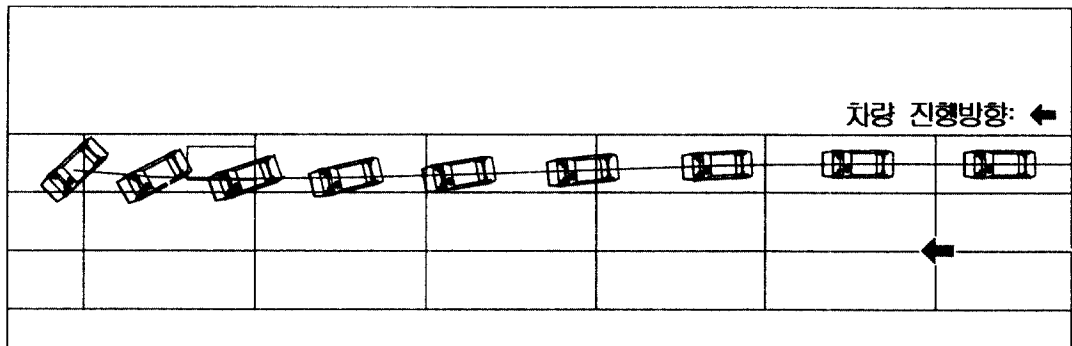


Fig. 17 Vehicle trajectory obstacle avoidance simulation with excessive steering at 0.5 second and braking at 0.82 second

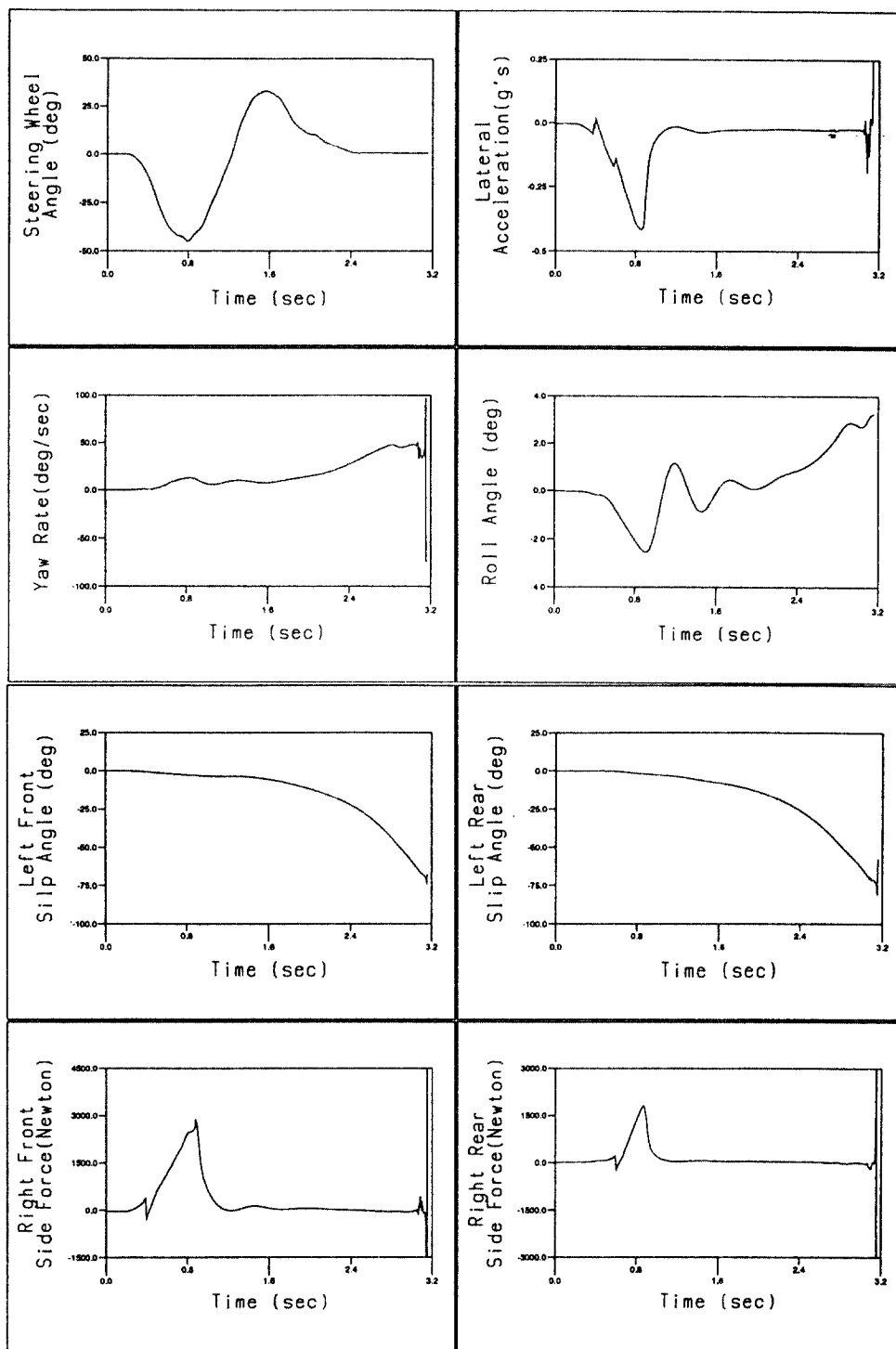


Fig. 18 Obstacle avoidance simulation with steering at 0.2 second and braking at 0.82 second

충돌회피를 위한 극한 운전시 자동차의 동적안정성 해석

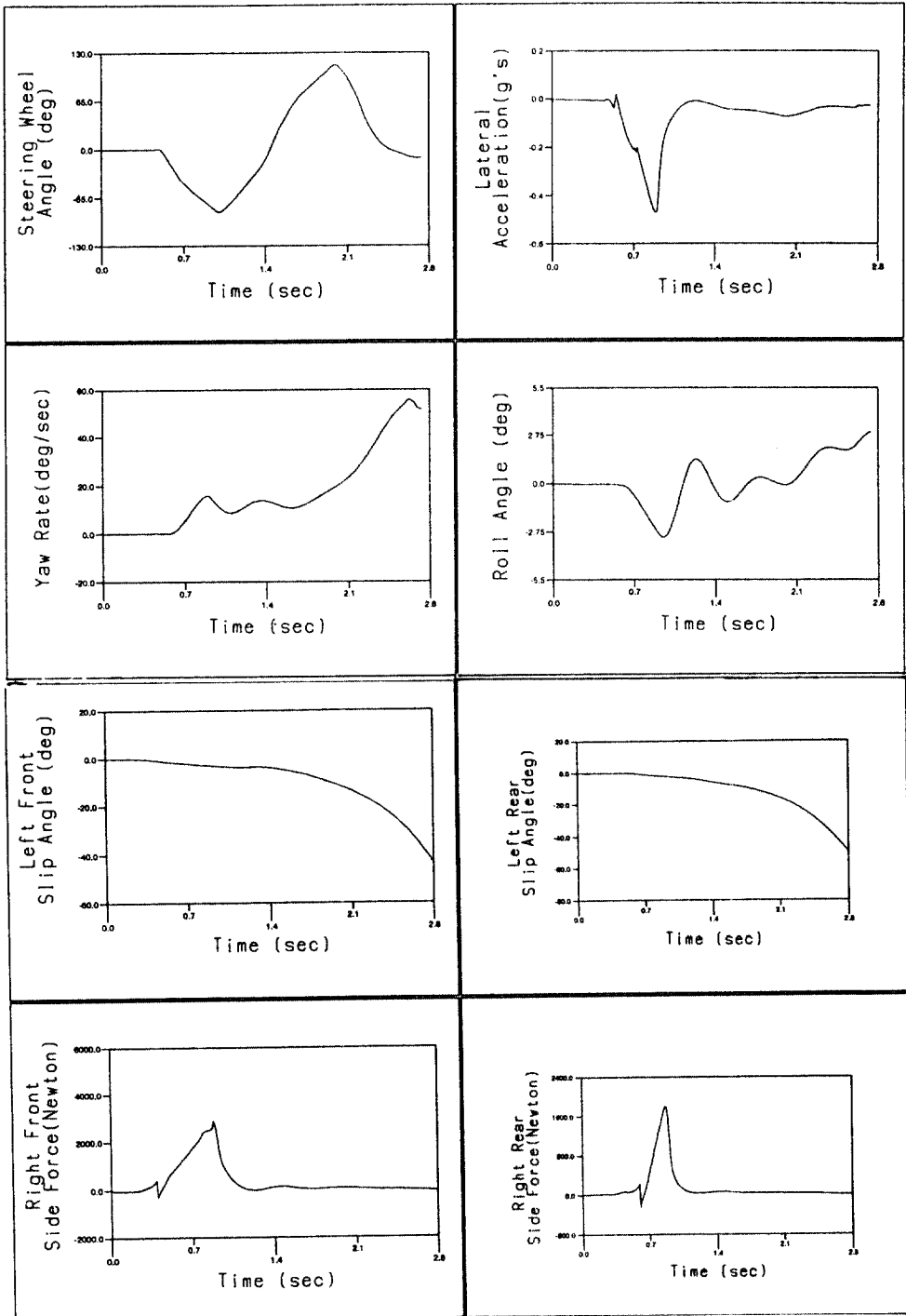


Fig. 19 Obstacle avoidance simulation with excessive steering at 0.5 second and braking at 0.82 second

사용하여 장애물회피 운전시에 사고유발 및 주행 방향의 안정성을 상실할 수 있는 몇 가지의 운전 시나리오에 대해 시뮬레이션을 수행하여 자동차의 동적거동을 분석하였다

도로 상의 장애물을 피하기 위해서 운전자는 자동차의 속도를 바꾸든지 횡적인 위치를 바꾸어야 한다. 운전자가 선택하는 동작은 도로조건, 전방주시거리, 자동차의 조향특성 등 여러 가지 조건에 의해 결정된다. 그 결과는 또한 운전자의 운전환경에 대한 인지도와 결정능력 및 물리적인 반응능력에 좌우된다. 최근까지의 운전자의 장애물 회피 거동에 관한 연구에 의하면^{7,15)}, 대부분의 운전자들은 고속운전 및 근거리 장애물 조건에서는 조향동작만으로 장애물을 피하려고 하였고 어느 정도의 여유가 있는 거리에서는 제동 및 조향을 동시에 적용하였다. Adams¹⁵⁾는 운전시뮬레이터를 이용한 운전자의 운전특성에 관한 연구에서 장애물의 위치를 50m 정도의 거리로 설정하였다. 본 연구에서는 고속도로 상에서 시속 100km로 달리는 자동차가 50m 전방에 위치해 있는 장애물을 피하는 운전시나리오에 대한 동적시뮬레이션을 수행하였다. 실제로 운전자가 졸음운전 또는 시야가 제한을 받을 때 이런 상황이 발생할 수 있다. 이 경우 운전자의 조향거동은 단일차선변경(single lane change)의 형태라고 가정하였고, 운전자가 0.4g 이상의 측방향가속도를 느낄 경우 제동한다고 가정하였다.

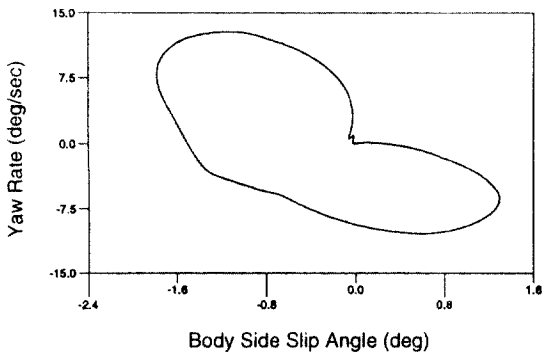


Fig. 20 Stable phase plane plot for yawing motion in crash avoidance maneuver

Fig. 10은 전방 50m에 있는 장애물을 피하기 위하여 각각 0.2초와 조금 늦은 0.5초에 조향을 시작하는 경우인데 전자의 경우 Fig. 11과 같이 성공적으로 장애물을 피한 경우이며 후자의 경우는 Fig. 12와 같이 장애물과 충돌한 경우를 보여준다. 후자의 경우에 장애물을 피하기 위해 급격한 조향을 하게 되면 Fig. 13의 실선과 같이 차체의 사이드슬립이 과도하게 발생하여 Fig. 14와 같이 도로 가장자리로 이탈하게 된다. Fig. 13에서 점선은 빗길아스팔트라고 가정한 경우인데 역시 Fig. 15와 같이 장애물과 충돌되지는 않지만 사이드슬립 대신에 spinout이 일어나는 것을 보여준다.

Fig. 16과 Fig. 18은 0.2초에 조향을 하기 시작하고 횡가속도 0.4g 이상이 되는 순간인 0.82초에 진행방향으로 -0.5g의 크기로 제동을 시작한 경우에 장애물과 충돌하게 되는 경우를 보여준다. 이 경우 장애물이 없다고 가정하면 궁극적으로 spinout과 rollover가 일어나게 됨을 알 수 있다. 따라서 조향만으로써 성공적으로 장애물을 피한 경우와는 달리 제동을 동시에 하게 되면 장애물을 피하기가 어렵다는 시뮬레이션 결과를 보인다. Fig. 17 및 Fig. 19에서는 조금 늦은 0.5초에 급격한 조향을 하고 0.82초에 제동을 한 경우 타이 어측력이 효과적으로 발생하지 않음으로 인하여 역시 장애물을 피할 수 없으며 장애물이 없다고 가정하더라도 궁극적으로 spinout이 발생하게 됨을 알 수 있다.

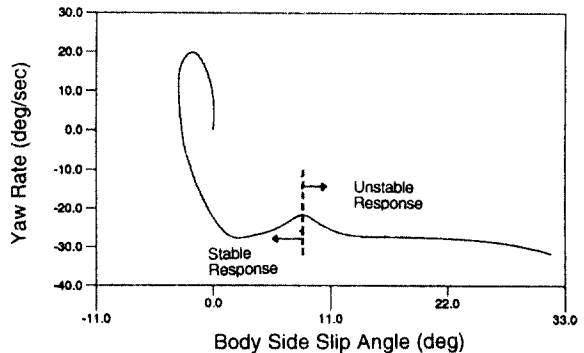


Fig. 21 Unstable phase plane plot for yawing motion in crash avoidance maneuver

앞에서 설명한 Fig. 11과 Fig. 14의 장애물 회피거동에 대해 상태평면도(phase plane plot)를 적용하여 보면 각각 Fig. 20 및 Fig. 21과 같이 된다. Fig. 20은 조향입력으로 무사히 장애물을 회피한 경우에 대한 상태평면도이며 이 경우에는 사이드슬립각과 요우레이트가 안정적으로 원점에 복귀하고 있다. Fig. 21은 과도한 조향을 한 경우 인데 그림에서 보는 바와 같이 어느 순간에 사이드슬립각이 급격히 발산하여 spinout이 일어나고 있음을 보여준다.

6. 결 론

운전자들이 긴급한 상황에서 어떻게 운전하며 자동차는 또한 어떻게 반응하는가에 관한 연구는 안전한 교통환경 조성을 위한 미래의 지능형 자동차의 개발에 대단히 중요한 자료가 된다. 즉, 운전자가 신속하고 물리적인 제동 및 조향을 할 수 없는 상황에서 자동차가 스스로 이것을 지능적으로 인지하여 안전한 주행을 하도록 하는 제어기능의 방향설정에 필요하다.

본 연구에서는 극한운전시의 전형적인 운전시나리오를 가정하여 자동차의 동적응답 및 안정성을 해석하였다. 이에 앞서 자동차 동역학모델의 타당성 검증을 위하여 스텝조향 및 차선변경 등의 시뮬레이션을 통하여 전형적인 조향특성을 검증하였다. 극한적인 운전조건에 대한 시뮬레이션이 가능하기 위해서는 정확한 타이어모델과 타이어측력의 포화현상에 대한 모델링이 가능해야한다. 고속시에 급격한 조향을 하게 되면 차체사이드슬립이 증가하여 사고를 유발할 수 있고 고속시에 장애물을 회피할 경우에는 제동을 동시에 하는 것이 조향만으로 장애물을 피하는 것보다 요우레이트가 급격히 증가하여 동적안정성을 상실하여 spinout가 일어날 수 있음을 보였다. 또한, 상태평면도(phase plane plot)를 이용하여 동적안정성과 불안정성의 판별이 가능함을 보였다. 이때 시정수(time constant)를 이용하면 동적 불안정성에 대한 정도를 규정할 수 있다. 본 논문에서

는 상태평면도⁸⁾를 이용한 차량의 동적안정성해석법을 ADAMS의 후처리과정을 이용하여 3차원 다물체차량모델에 효과적으로 적용할 수 있음을 보였으며 이밖에 각종 동적과라메타를 변경하여 차량의 동적안정성해석을 수행할 수 있다.

본 연구에서는 주로 진행방향의 동적 안정성에 대하여 연구하였고 횡방향의 동적안정성에 대한 연구가 이루어지게 되면 더욱 완벽한 연구가 될 것이다. 또한 자동차 모델에 있어서 운전자 및 타이어에 대한 보다 정확한 모델이 사용되게 되면 더욱 정확한 시뮬레이션이 가능할 것이다. 이러한 연구의 결과는 자동차의 안정성 향상을 위한 설계자료로 사용될 수 있으며 고속도로의 안전대책 수립시에도 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 재정지원으로 수행되었으며 관계자 여러분에게 감사를 드립니다

참 고 문 헌

- 1) Edwards, M.L., "A Database for Crash Avoidance Research", National Highway Traffic Safety Administration, SAE Paper No. 870345, 1987.
- 2) Adams, L.D., "A Review of The Literature on Obstacle Avoidance Maneuvers: Braking versus Steering", The University of Michigan Transportation Research Institute, Technical Report UMTRI-94-19, 1994.
- 3) Harwin, E.A., and H.K. Brewer, "Analysis of the Relationship Between Vehicle Rollover Stability and Rollover Risk Using the NHTSA CARD file Accident Database", Nat'l Highway Traffic Safety Administration, 1987.
- 4) R.Wade Allen, et al, "Characterics

- Influencing Ground Vehicle Vehicle Lateral/Directional Dynamic Stability," SAE Paper No. 910234, 1991.
- 5) Allen, R.W., H.T. Szostak, et al., "Field Testing and Computer Simulation Analysis of Ground Vehicle Dynamic Stability," SAE Paper No. 900127, 1990.
 - 6) Hugo S. Radt, Jr., and Donald J. Van Dis, "Vehicle Handling Responses Using Stability Derivatives", SAE Paper No. 960483, 1996.
 - 7) Xunmao Xia and E.H. Law, "Nonlinear Dynamic Response of Four Wheel Steering Automobiles to Combined Braking and Steering Commands in Collision Avoidance Maneuvers", SAE Paper No. 901731, 1990.
 - 8) R. Wade Allen and Theodore J. Rosenthal, "A Computer Simulation Analysis of Safety Critical Maneuvers for Assessing Ground Vehicle Dynamic Stability", SAE Paper No. 930760, 1993.
 - 9) Gary J. Heydinger, et al., "A Methodology for Validating Vehicle Dynamics Simulations", SAE Paper No. 900128, 1990.
 - 10) Validation of Ground Vehicle Computer Simulations Developed for Dynamics Stability Analysis", SAE Paper No. 920054, 1992.
 - 11) J.E. Bernard and C.L. Clover, "Validation of Computer Simulations of Vehicle Dynamics", SAE Paper No. 940231, 1994.
 - 12) J.Y. Wong, "Theory of Ground Vehicles", John Wiley & Sons, Second Edition, pp. 303~309, 1993.
 - 13) R. Limpert, "Brake Design and Safety", Society of Automotive Engineers, Inc., pp. 279~280, 1992.
 - 14) ADAMS/Tire User's Manual, Mechanical Dynamics Inc., 1989.
 - 15) Lisa D. Adams, Michael J. Flannagan, and Michael Sivak, "Obstacle Avoidance Maneuvers in An Automobile Simulator", The University of Michigan, Transportation Research Institute, Report No. UMTRI-95-3, April 1995.