

후륜 캠버각 변화가 차량 조종성능에 미치는 효과 분석

박성준¹⁾ · 손정현^{*2)}

부경대학교 대학원¹⁾ · 부경대학교 기계공학부²⁾

Analysis of Vehicle Handling Performance due to Camber Angle Change of Rear Wheel

Seongjun Park¹⁾ · Jeonghyun Sohn^{*2)}

¹⁾Graduate school of Mechatronics Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

(Received 24 June 2009 / Accepted 5 October 2009)

Abstract : In this study, a camber angle generating mechanism for rear suspension is suggested. An experimental device is implemented and tested. A full vehicle model with camber angle generating device by using ADAMS/Car is modeled. Rear left wheel and rear right wheel have 5 different camber angles in the simulations, respectively. Step steer and pulse steer simulations are carried out for investigating the effects of vehicle handling performance due to camber angle control of rear suspension. According to the results, the camber angle of rear suspension affects the vehicle handling performance during both simulations. Therefore, when the vehicle makes the right turn or left turn, left and right wheel should have the proper orientation for improving the handling performance, respectively.

Key words : Vehicle handling performance(차량조종안정성), Camber angle(캠버각), Suspension(현가장치), Vehicle dynamics(차량동역학), Kinematic analysis(기구해석)

1. 서론

샤시의 운동성능은 기본적으로 타이어와 노면의 마찰 특성에 의해 결정된다. 여기에 엔진, 구동시스템, 서스펜션, 브레이크 등 각종 샤시 구성 장치와 자체의 강성 등 전체가 잘 조화되어야 비로소 운동 성능이 향상된다. 운전 성능은 크게 조종성과 안정성으로 구분된다. 조종성은 운전자의 뜻대로 진로를 수정할 수 있는 성능이며, 안정성은 노면의 요철, 횡력 등의 외란에 대해 안정된 균형 상태를 유지하는 성능이다. 차량의 조종안정성을 개선하기 위해 지능형 차량에 대한 연구가 많이 수행되고 있으며 특히, ESP(Electronic Stability Program), ECS(Elec-

tronic Control Suspension System), AFS(Adaptive Front-lighting System) 등 능동제어를 통해 차량의 운동 성능을 향상시켜 나가고 있다. 최근에는 현가 기구의 자세를 능동 제어하여 성능을 높이고자 하는 연구가 수행되고 있다. 이상호¹⁾는 AGCS(Active Geometry Control Suspension)시스템을 이용하여 롤 오버 방지 성능 향상을 확인하였다. 곽은석²⁾은 전륜에 캠버각을 생성시킬 수 있는 메커니즘을 제안하였으나, 캠버각 제어가 미치는 조종성능에 대해서는 분석하지 않았다.

전륜 캠버각을 제어할 경우는 기구학적 구조 때문에 토각과 캐스터각이 발생하여 운전자의 조향휠 조작이 다소 부자연스러울 수가 있으므로 추가적인 조치가 필요하다.

*Corresponding author, E-mail: jhsohn@pknu.ac.kr

본 연구에서는 캠버각 제어가 차량의 조종 안정 성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 후륜 현가 장치의 캠버각을 제어 할 수 있는 메커니즘을 제안 하고, 캠버각에 따른 차량의 조종성능을 분석하였다. 본 논문에서는 캠버각 생성 메커니즘을 고안하여, 실제 모형을 제작하였다. ADAMS/ CAR를 이용하여 후륜 현가장치 템플릿을 모델링하였고, 전차 량 모델을 구성하여 캠버각의 변화에 따른 조종 안 정성능을 분석하였다.

2. 캠버각 생성 메커니즘

본 논문에서 고안한 캠버각 생성 메커니즘을 Fig. 1 에 나타내었다. Fig. 2에 전륜 캠버 제어 메커니즘의 기구학적 구성도를 나타냈다. 액추에이터의 병진 모션에 의해 캠버각이 생긴다. 모델은 7개의 물체, 2 개의 병진조인트, 3개의 구면조인트, 2개의 회전조 인트, 1개의 유니버설조인트로 연결되어 있으며, 전 체 자유도는 Table 1과 같이 계산된다.

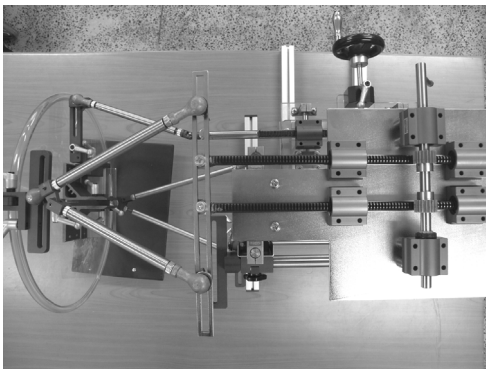


Fig. 1 Camber creating mechanism

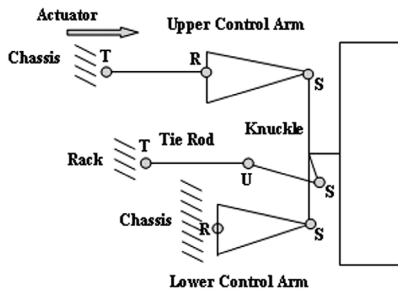


Fig. 2 Kinematic diagram of suspension including camber creating mechanism

Table 1 Calculation of degrees of freedom for front suspension

좌표수	$7\text{bodies} \times 6\text{coordinates/body} = 42\text{coords.}$
구속식	$3\text{spherical} \times 3\text{constraints/joint} = -9\text{ coords.}$ $2\text{translational} \times 5\text{const./joint} = -10\text{ coords.}$ $2\text{revolute} \times 5\text{const./joint} = -10\text{ coords.}$ $1\text{universal} \times 4\text{const./joint} = -4\text{ coords.}$ $1\text{ground} \times -6\text{const./joint} = -6\text{ coords.}$
자유도	3 D.O.F

3. 전차량 모델링

본 논문에서는 후륜 캠버각 변화에 따른 차량 조 종안정성을 분석하기 위해 전차량을 모델링하였다. 전륜 현가장치는 더블위시본 타입이며, 후륜에는 제안된 현가장치가 사용되었다.

후륜 현가장치는 기존 더블위시본 현가장치에, 본 논문에서 제안한 캠버 생성 메커니즘을 적용하 여 Fig. 3과 같이 모델링하였다. Fig. 4에 후륜 서스펜 션 모델의 기구학적 구성도를 나타내었고, 4개의 물 체로 구성되어 있으며, 평면운동을 하므로, 자유도 는 Table 2와 같이 계산된다. 전차량 모델의 자유도 는 59이다.

Table 2 Calculation of degrees of freedom for rear suspension

좌표수	$5\text{bodies} \times 3\text{coords./body} = 15\text{coords.}$
구속식	$1\text{spherical} \times 2\text{const./joint} = -2\text{ coords.}$ $1\text{translational} \times 2\text{const./joint} = -2\text{ coords.}$ $3\text{revolute} \times 2\text{const./joint} = -6\text{ coords.}$ $1\text{ground} \times -3\text{const./joint} = -3\text{ coords.}$
자유도	2 D.O.F

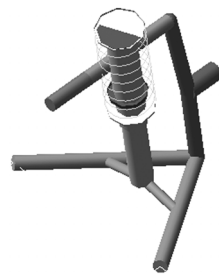


Fig. 3 Rear suspension including camber creating mechanism

4. 전차량 시뮬레이션

4.1 정상원 주행 시뮬레이션

본 논문에서는 좌, 우 후륜이 +10, 0, -10도의 캠버

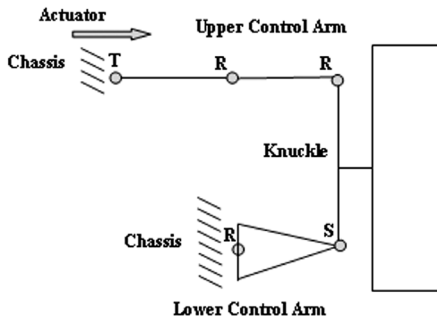


Fig. 4 Kinematic diagram of rear suspension

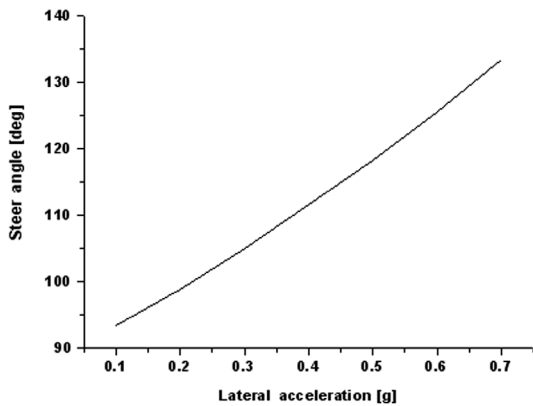


Fig. 5 Steer angle vs lateral acceleration

각을 가질 수 있게 하였다. 차량 모델의 조향 특성을 확인하기 위해 일정 반경법에 의한 정상원 주행 시뮬레이션을 수행하였다. 초기 가속도 0.1g부터 0.7g 까지 횡가속도를 증가시키며 반경 40m의 원을 선회하도록 하였다. Fig. 5는 조향각에 대한 횡가속도의 변화를 나타냈다. 언더스티어 경향을 가짐을 알 수 있다.

4.2 스텝 조향 시뮬레이션

ISO7401의 도로차량 횡방향 과도응답 시험법에 의하면 주행속도 100 km/h를 표준속도로 하고 있다. 이러한 일정속도로 주행하여 정상상태에 도달될 때 횡가속도가 4 m/s^2 이 되도록 한다. 이러한 횡가속도를 주는 반지름을 가진 원 상에서 정상상태 주행을 하여 조향핸들각의 크기를 결정한다. 측정시는 계단 모양으로 가능한 한의 급조타(200 ~ 500 deg/s)가 되도록 조향핸들의 각속도를 일정하게 유지하도

록 주의하여야 한다. 최소의 진폭을 갖고 가장 신속하게 정상상태 운동으로 도달되는가를 판별하게 되며, 정확한 측정을 위하여 좌우 회전방향으로 각각 적어도 3 번 이상씩 주행시험을 한다.³⁾

본 연구에서는 스텝조향에 대하여 차량응답을 분석하였다. 스텝조향의 경우 조향비가 12.6인 차량의 경우에 운전자 조향 핸들각 입력 38° 를 0.15 초 동안 입력하여 우회전 하였고, 각속도는 253 deg/s이다. 정상상태에서의 횡가속도 0.4 G가 되도록 조향핸들 입력을 가한 경우에 나타나는 차량의 응답 특성을 구하였다. 시뮬레이션의 각 측정데이터를 시간영역으로 표시하였다. Table 3에 시뮬레이션 수행시 후륜자세를 표로 정리하였다. 좌륜은 LL,L0,LR 우륜은 RL,R0,RR 각각 세가지의 자세를 가지며, 앞의 이니셜은 Left wheel 과 Right wheel을 의미하고, 뒤의 이니셜은 캠버각이 생긴방향으로 L은 왼쪽, 0은 제로, R은 오른쪽으로 캠버각이 생성되었음을 의미한다. 그리고 LL을 갖는 경우를 Case A, L0를 갖는 경우를 Case B, LR을 갖는 경우를 Case C로 표기하였다.

Table 3 Orientation of rear wheel

	RL	R0	RR
LL	LLRL	LLR0	LLRR
L0	L0RL	L0R0	L0RR
LR	LRRL	LRR0	LRRR

Fig. 6~8에 후륜 캠버각 변화에 따른 횡가속도 응답을 시간 영역에 대하여 나타냈다. 외륜의 캠버각에 상관없이 선회방향으로 내륜 캠버각이 생길수록 차량의 응답특성이 좋게 나타났다. 반면 응답특성이 좋은 경우는 오버슈트가 상대적으로 크게 나타났으며, 정상상태 횡가속도 값은 작게 나타났다. 이는 일반적인 언더스티어성향의 차량에서 나타나는 특성으로 선회방향으로의 캠버각 생성이 언더스티어성향을 강하게 할 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 9~11에 후륜 캠버각 변화에 따른 요각속도 응답을 시간 영역에 대하여 나타냈다. 횡가속도 응답 특성과 마찬가지로 선회 방향으로의 후륜 캠버각 생성이 언더스티어성향을 증가시키는 것을 확인할 수 있었다.

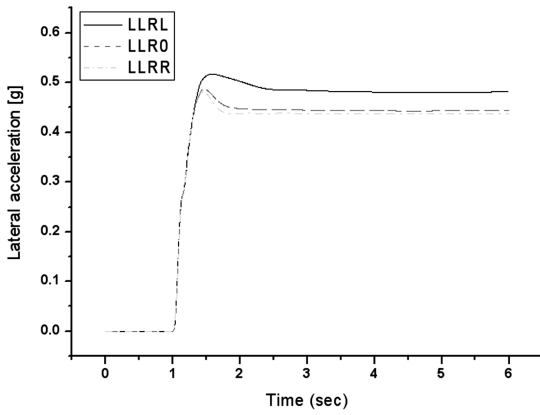


Fig. 6 Lateral acceleration of case A

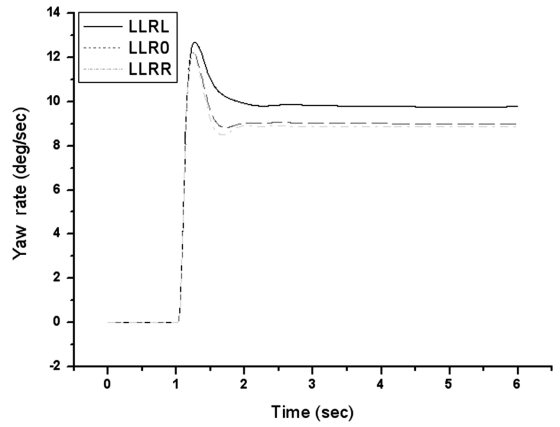


Fig. 9 Angular velocity of case A

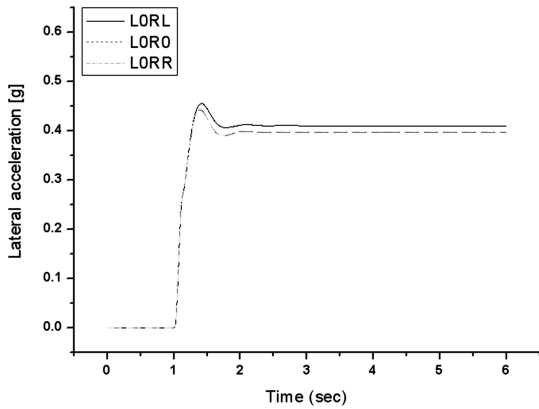


Fig. 7 Lateral acceleration of case B

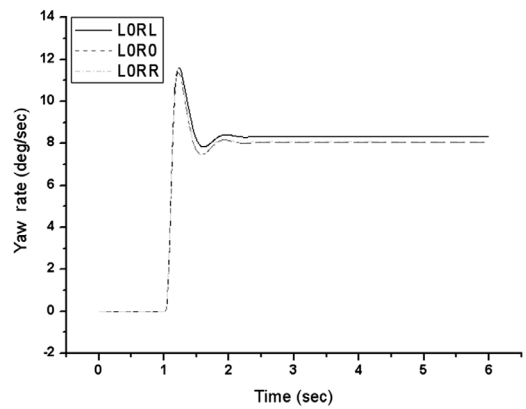


Fig. 10 Angular velocity of case B

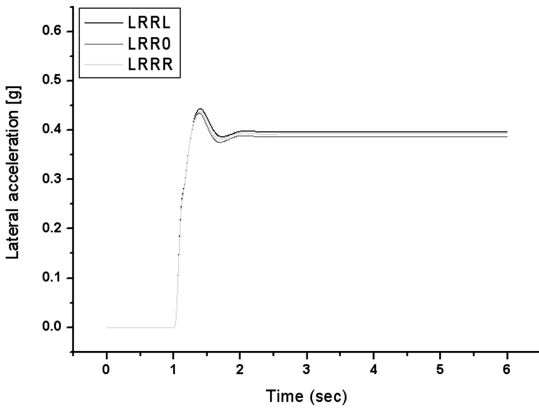


Fig. 8 Lateral acceleration of case C

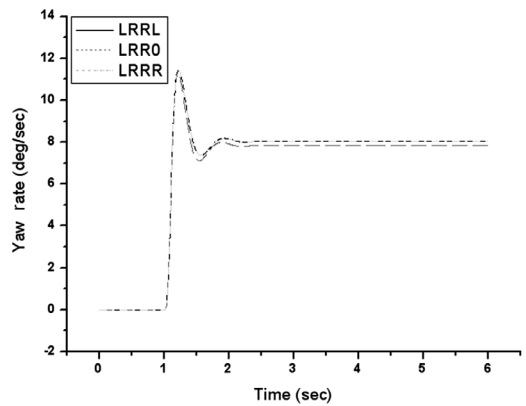


Fig. 11 Angular velocity of case C

4.3 펄스 조향 시뮬레이션

펄스조향의 경우 같은 차량에 대하여 운전자 조향 핸들각 입력 46° 를 0.4 초의 펄스 폭으로 2 초 일

때 입력하여 좌회전 하였다. 시뮬레이션의 각 측정 데이터를 분석 하기위해 4인자법(four parameter evaluation method)이 이용되었다.⁴⁾ 4인자법은 펄스

조향 입력을 가한 차량의 요속도와 횡가속도를 시간 영역에서 구한 후, 이를 주파수 변환하여 요속도 응답이득(a1), 요속도응답진동수(fn), 요속도감쇠비(ζ), 횡가속도응답위상차(ϕ)로서 차량의 조종안정 특성을 파악하는 방법이다. Fig. 12에 0.4초간 펄스 입력시 power spectrum 결과를 나타냈다. 0.1~ 2Hz 구간에서 충분한 값을 가지는 것을 보여주고 있다.⁵⁾

Fig. 13~15에 펄스 조향에 대한 요속도 응답을 나타냈다. Fig. 16~18에 횡가속도 응답을 나타냈다.

펄스 조향에 대한 시간 영역 응답의 FFT로부터 계산된 4 인자 값을 다음의 Table 4에 정리하였고, Fig. 19~21에 Rhombus를 각 Case에 대해 도시하였다.

LORO를 conventional case라고 할 때, 이것과 비교한 각 Case A,B,C의 Rhombus를 보면 fn 값과 ζ 는 값의 변화가 크지 않은 반면에 a1과 ϕ 는 값의 변화가

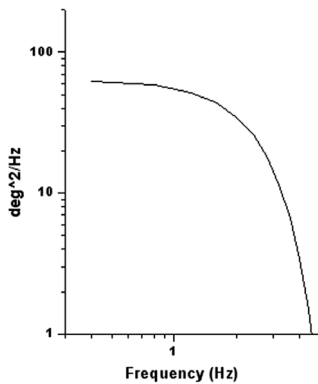


Fig. 12 Power spectrum density of a pulse

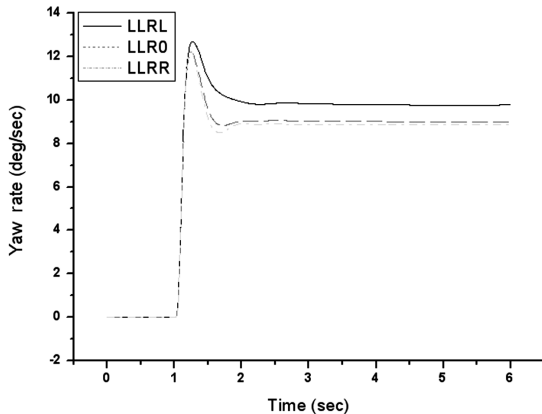


Fig. 13 Angular velocity of case A in pulse simulation

뚜렷함을 보이고 있다. 또한 Rhombus의 치우침이 1사분면과 3사분면 어느쪽으로도 나타나지 않고 있으므로, 차량의 운동성향 변화를 논하기에는 다소 무리가 있다. Fig. 22에서 보면 각 Case 3에서 ϕ 변화가 뚜렷하게 나타났는데, Tetsushi Mimuro는 ϕ 값이

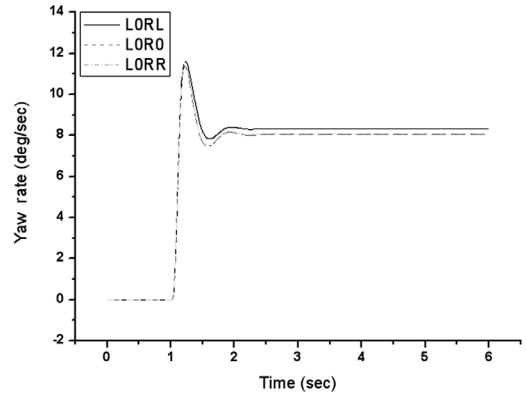


Fig. 14 Angular velocity of case B in pulse simulation

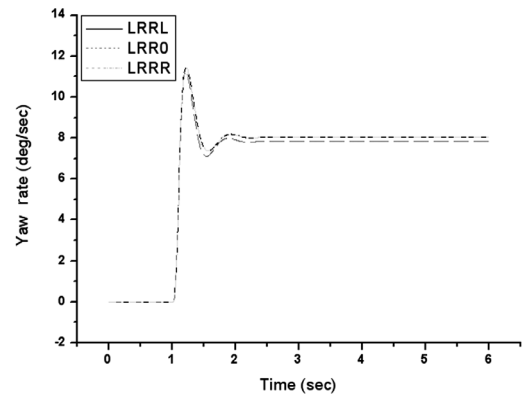


Fig. 15 Angular velocity of case C in pulse simulation

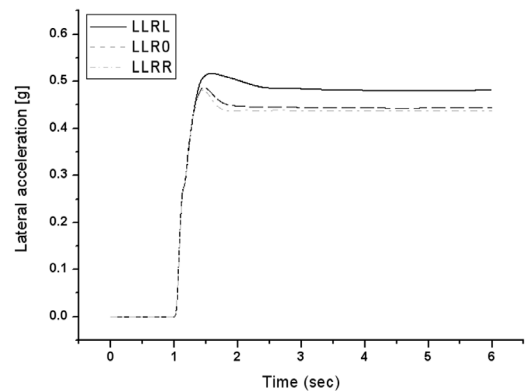


Fig. 16 Lateral acceleration of case A in pulse simulation

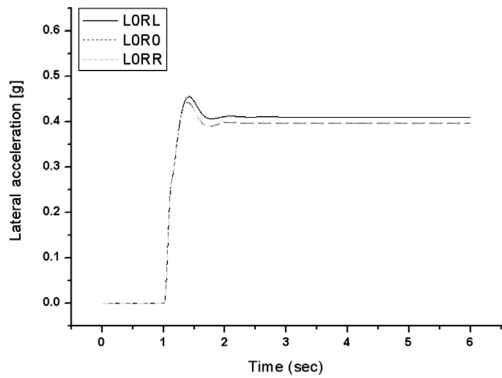


Fig. 17 Lateral acceleration of case B in pulse simulation

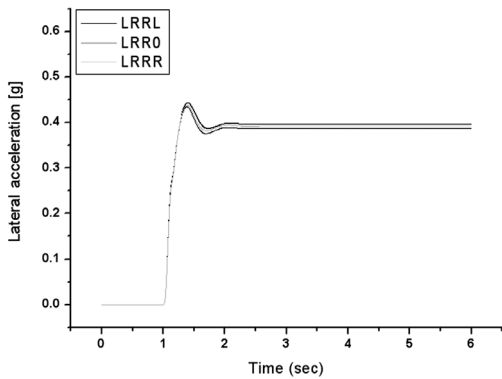


Fig. 18 Lateral acceleration of case C in pulse simulation

Table 4 Normalized value of Four parameters

	a_1	f_n	ζ	ϕ
Case LLRL	0.871	1.598	0.838	12.329
Case LLRO	1.139	1.798	0.835	12.081
Case LLRR	1.908	1.598	0.860	17.219
Case LORL	1.135	1.798	0.785	10.975
Case LORO	1.865	1.798	0.861	11.589
Case LORR	1.376	1.598	0.855	18.137
Case LLRL	1.860	1.798	0.873	12.043
Case LLRO	1.353	1.798	0.833	13.134
Case LLRR	1.030	1.598	0.716	22.002

작을수록 긴급조종응답성이 좋아진다고 하였다.⁵⁾ 그러므로, 이는 내륜에 상관없이 외륜이 선회 반대 방향으로 캠버각을 가질 때 긴급조종응답성(ϕ)이 안 좋게 나타나는 것을 보여준다.

5. 결론

본 연구에서는 캠버각 생성 메커니즘을 갖는 현

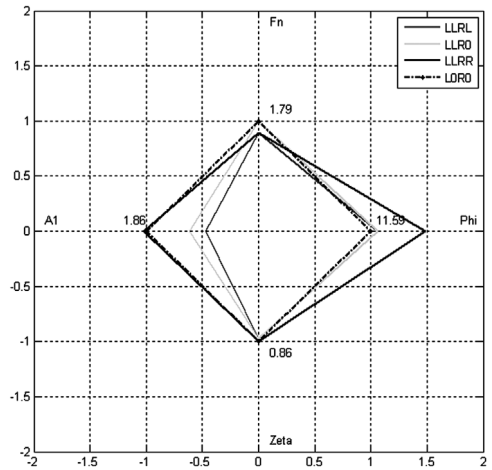


Fig. 19 Rhombus of case A in pulse simulation

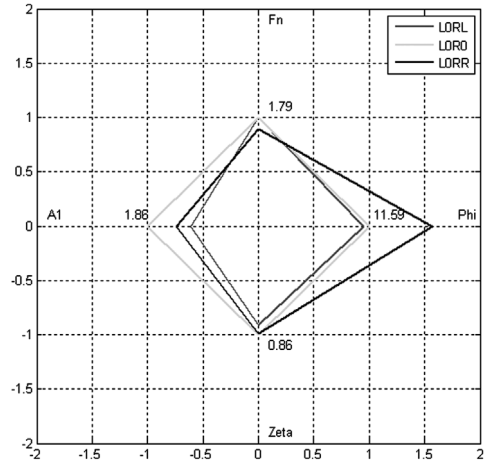


Fig. 20 Rhombus of case B in pulse simulation

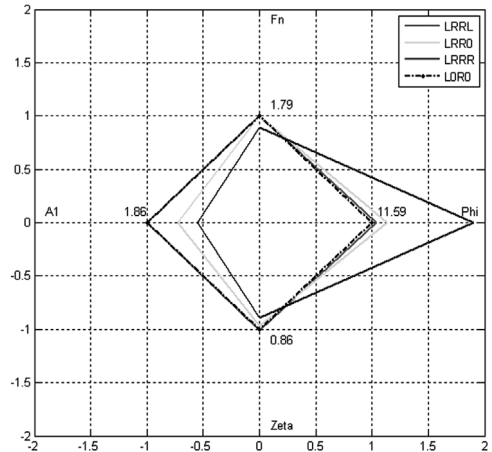


Fig. 21 Rhombus of case C in pulse simulation

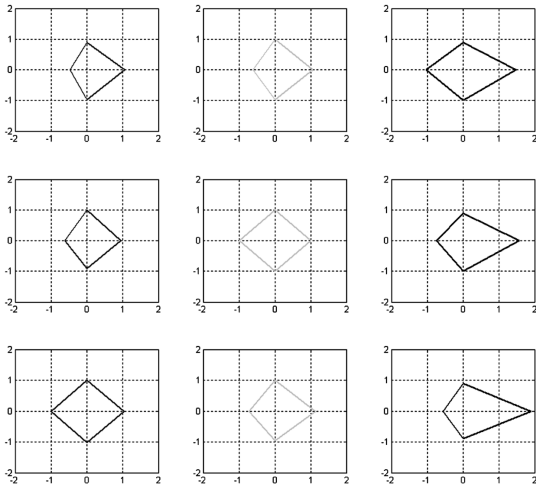


Fig. 22 Rhombus of cases A,B and C

가장치를 고안하여 이를 상용 동역학 해석 프로그램인 ADAMS/CAR 를 이용하여 후륜 서스펜션에 적용하고, 스텝조향 과 펄스조향 시뮬레이션에서의 과도응답 특성을 통해 후륜 캠버각 생성이 조종성에 미치는 효과를 분석하였다.

- 1) 스텝 조향 시뮬레이션에서 선회 방향으로의 캠버각 생성이 차량의 언더스티어성향을 증가시키는 것으로 보였으나, 펄스조향 응답 결과로부터 그 효과가 거의 없는 것으로 판단된다.
- 2) 선회 방향 또는 선회 반대 방향으로의 후륜 캠버각 생성이 조종용이성(a_1)에 대부분 안좋은 영향을 미쳤다. 단, 좌우가 대칭적인 자세일 때는 그렇지 않았다.
- 3) 선회 방향 또는 선회 반대 방향으로의 후륜 캠버

각 생성이 조종응답성(f_n), 조종감쇠성(ζ)에는 거의 영향을 미치지 않았다.

- 4) 각 A,B,C의 3 케이스의 경우로부터 선회 반대 방향으로 후륜의 외륜 캠버각 생성이 긴급 조종응답성(ϕ)을 낮추는데 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

References

- 1) S. Lee, H. Sung, J. Kim, Y. Oh and U. Lee, "Investigation on the SUV Rollover Performance by the AGCS System," Spring Conference Proceedings, KSAE, Vol.2, pp.660-664, 2006.
- 2) E. Kwak, "Analysis and Implementation of a Camber Angle Control Mechanism for Improvement of Vehicle Steering Characteristic," M. S. Thesis, The Korea University, 2007.
- 3) B. K. Cho and S. J. Song, "An Analysis of Vehicle Handling Characteristics with ADAMS," Transaction of KSAE, Vol.4, No.5, pp.109-118, 1996.
- 4) J. Sohn, K. Kim and W. Yoo, "Selection of Toe Geometry and Bushing Stiffness to Improve the Vehicle Handling Characteristics," Transactions of KSAE, Vol.7, No.5, pp.186-193, 1999.
- 5) T. Mimuro, M. Ohsaki, H. Yasunaga and K. Satoh, "Four Parameter Evaluation Method of Lateral Transient Response," SAE 901734, 1990.