

# 전륜 및 후륜 캠버각 변화에 따른 차량 조종성능 효과 분석

박성준<sup>1)</sup> · 손정현<sup>\*2)</sup>

부경대학교 대학원 메카트로닉스공학과<sup>1)</sup> · 부경대학교 기계자동차공학과<sup>2)</sup>

## Effects on Vehicle Handling Performance according to Camber Angle Change of Front and Rear Wheel

Seongjun Park<sup>1)</sup> · Jeonghyun Sohn<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School of Mechatronics Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical & Automotive Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

(Received 16 November 2010 / Accepted 23 May 2011)

**Abstract** : In this study, a camber angle generating mechanism for front and 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. Step steer simulations are carried out for investigating the effects of vehicle handling performance due to camber angle change of front and rear wheel. According to 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 of front and rear suspension 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

사시의 운동성능은 기본적으로 타이어와 노면의 마찰 특성에 의해 결정된다. 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 ESC(Electronic Stability Control)를 CDC(Continuous Damping Control)와 통합 제어하여 조종안정성을 보다 높이는 연구,<sup>1)</sup> AFS(Active Front Steering System)를 이용하여 비대칭마찰 노면에서

제동시 안정성을 높이는 방법<sup>2)</sup>등이 연구되고 있다.

최근에는 현가기구의 자세를 능동 제어하여 성능을 높이고자 하는 연구가 수행되고 있다. AGCS(Active Geometry Control Suspension)시스템<sup>3)</sup>을 이용하여 롤 오버 방지 성능 향상을 확인한 것을 들 수 있다. 한편 전륜에 캠버각을 생성시킬 수 있는 메커니즘이 제안<sup>4)</sup>되기도 하였으나, 캠버각 제어가 미치는 조종성능에 대해서는 분석하지 않았다. 또한 후륜 캠버각 변화가 조종안정성에 미치는 영향<sup>5)</sup>에 관한 연구가 있었지만, 보다 안정되고 향상된 조종성능 개선을 위해서는 전륜 및 후륜의 캠버각을 동시에 제어하는 것이 필요할 수 있다.

본 연구에서는 전륜 캠버각 제어 메커니즘을 고안하고, 전륜 및 후륜 캠버각 제어가 차량의 조종안

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

정성능에 미치는 영향을 분석하였다. 본 논문에서는 캠각 생성 메커니즘을 고안하여, 실제 모형을 제작하였다. ADAMS/ CAR를 이용하여 전륜 및 후륜 현가장치 템플릿을 모델링하고, 전차량 모델을 구성하여 스텝조향 시뮬레이션을 수행하여, 캠각의 변화에 따른 조종 안정 성능을 분석하였다.

## 2. 캠각 생성 메커니즘

차량은 범프, 리바운드시 캠각이 변하며, 범프시 캠버아웃 리바운드시 캠버인이 된다. 선회시 외륜은 범프되며 내륜은 리바운드 된다. 캠각은 크기에 비례하여 캠버서스트(camber thrust)를 생성하며 차량의 선회운동에 관여한다. 본 연구는 선회시 전,후륜 가변캠버기구를 이용하여 캠각을 변화시켰을 때 차량의 응답변화를 관찰한다. 논문에서 고안한 캠각 생성 메커니즘을 Fig. 1에 나타내었다.

피니언 기어를 회전시키면, 피니언과 연결된 랙바가 병진운동을 일으키게 되고, 랙바와 연결된 어퍼암이 병진운동을 하게되면 어퍼암과 연결된 너클이 회전하게 되어 캠각이 생성된다. Fig. 2에 전륜 캠버 제어 메커니즘의 기구학적 구성도를 나타냈다. 캠버가변의 영향을 패시브 모델과 비교하기 위해, 기존 더블위시본 현가 구조에서 어퍼암에 병진 액추에이터를 추가한 형태이다. 모델은 7개의 물체, 2개의 병진조인트, 3개의 구면조인트, 2개의 회전조인트, 1개의 유니버설 조인트로 연결되어 있으며, 전륜 서스펜션의 전체 자유도는 Table 1과 같이 계

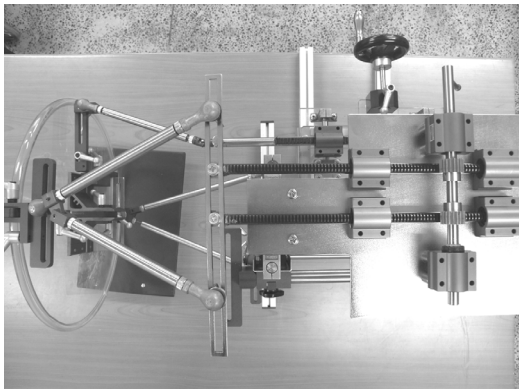


Fig. 1 Camber creating mechanism

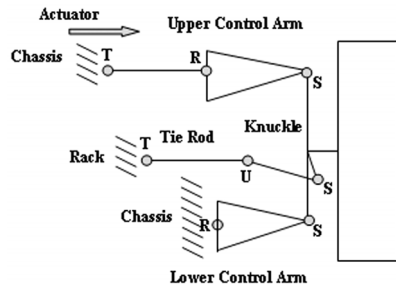


Fig. 2 Kinematic diagram of front suspension including camber creating mechanism

Table 1 Calculation of degrees of freedom for front suspension

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

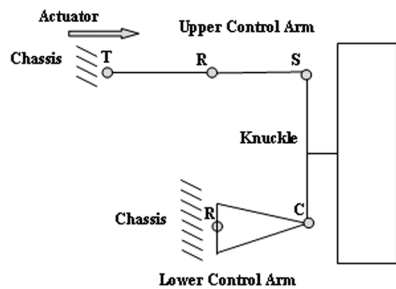


Fig. 3 Kinematic diagram of rear suspension including camber creating mechanism

Table 2 Calculation of degrees of freedom for rear suspension

Coordinates	$5\text{ bodies} \times 6\text{ coordinates/body} = 30\text{ coords.}$
Constraints	$1\text{ spherical} \times 3\text{ constraints/joint} = -3\text{ coords.}$
	$1\text{ translational} \times 5\text{ const./joint} = -5\text{ coords.}$
	$2\text{ revolute} \times 5\text{ const./joint} = -10\text{ coords.}$
	$1\text{ convel} \times 4\text{ const./joint} = -4\text{ coords.}$
	$1\text{ ground} \times -6\text{ const./joint} = -6\text{ coords.}$
Degree of freedom	2 D.o.F

산된다. Fig. 3에는 후륜현가장치의 기구학적 연결도를 도시하였고, Table 2에는 후륜현가장치의 자유도를 나타내었다. Fig. 4는 액추에이터의 변위에 대한 캠각 그래프를 보여준다. 전륜은 0.14 deg/mm 후륜은 0.12 deg/mm의 기울기를 갖는다.

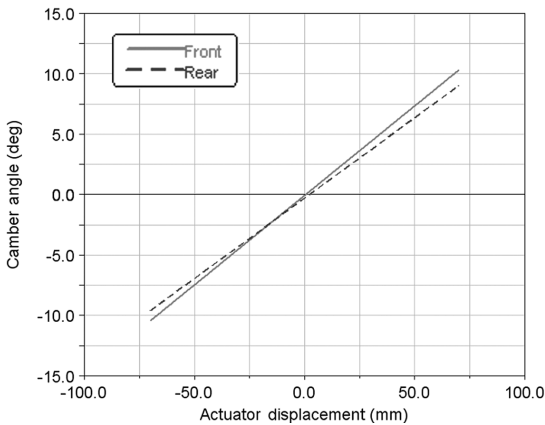


Fig. 4 Camber angle vs actuator displacement

### 3. 전차량 모델링 및 시뮬레이션 조건

#### 3.1 전차량 모델링

본 논문에서는 후륜 캠버각 변화에 따른 차량 조종안정성을 분석하기 위해 전차량을 모델링하였다. 전륜 및 후륜 현가장치는 더블위시본 타입에 캠버 제어기구가 결합되어 있는 형태이다. 전체 자유도는 25이다. ADAMS/Car를 이용하여 전차량을 모델링하였으며, ADAMS/Car에서는 캠버제어 기구 템플릿(template)이 없으므로 본 연구에서는 전륜 캠버 제어기구 및 후륜 캠버 제어기구가 포함된 사용자정의 템플릿(User-defined template)을 개발하여 사용하였다. 조향장치는 랙앤피니언 조향기구를 사용하였으며, 일정 속도를 유지하기 위해 필요한 파워트레인 ADAMS/Car에서 제공하는 템플릿을 사용하여 모델링하였다. 타이어 모델은 Magic/Formula 타이어 모델을 사용하였으며, 타이어 물성치는 승용차 기준 공용 템플릿을 사용하였다. Fig. 5는 본 연구에서 사용한 전차량 모델을 나타낸 것이다.

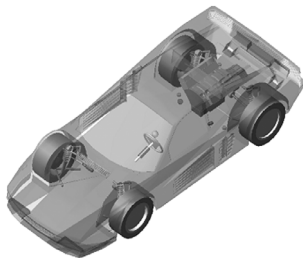


Fig. 5 Full vehicle model

#### 3.2 시뮬레이션 조건

캠버각은 차량 정면에서 보았을 때 차륜의 중심면과 수직선이 이루는 각도를 말하며, Fig. 6에 본 논문에서 사용한 캠버제어 부호규약을 표시하였다. 양의 캠버는 차체 바깥쪽으로 기울어진 각도이며, 음의 캠버는 차체 쪽으로 기울어진 각도이다. FL, FR, RL, RR은 왼쪽전륜, 오른쪽전륜, 왼쪽후륜, 오른쪽후륜을 각각 의미한다. ISO7401의 도로차량 횡방향 과도응답 시험법에 의하면 주행속도 100 km/h를 표준속도로 하고 있으며 횡가속도 응답 0.4g가 나타나도록 하는 조향입력을 하도록 되어있다. 이러한 일정속도로 주행할 때, 스텝조향입력은 두 경우로 나누어 입력하였다. Case A는 횡가속도가 0.4g 일때이며, Case B는 선회 후 피크응답이 지속되는 가속한 상태일 때 캠버 입력이 미치는 영향을 보기 위해 Case A의 두배인 0.8G의 응답이 나타나도록 조향입력을 주었다.

Table 3은 시뮬레이션 조건을 표시한 것이며, 좌측으로 선회하도록 스텝조향 입력을 주어 시뮬레이션을 수행하였다. Table 4는 Case A 조건일 때의 캠버입력 조건을 나타낸 것이며, Table 5는 Case B 조건일 때의 캠버입력 조건을 나타낸 것이다.

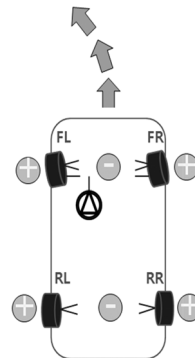


Fig. 6 Steer angle vs lateral acceleration

Table 3 Simulation conditions

	Case A	Case B
Lateral Acc.	4m/s <sup>2</sup>	8m/s <sup>2</sup>
Steering rate	286deg/s	453deg/s
Steering input time	2sec	2sec
Camber input time	At peak response	After 2sec from steering

Table 4 Camber input conditions for Case A

Wheel	Camber angle input(deg)	Input velocity (deg/s)
FL	0.0, 0.3	1.5
RL	0.0, 1.0, 3.0, 4.5	7.5, 10.0, 22.5

Table 5 Camber input conditions for Case B

Wheel	Camber angle input(deg)	Input velocity (deg/s)
FL	0.0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.1, 2.4	6.0
FR	0.0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.1, 2.4	6.0
RL	0.0, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0, 10.5, 12.0, 13.5, 15.0	7.5
RR	0.0, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0, 10.5, 12.0, 13.5, 15.0	7.5

### 4. 시뮬레이션 결과

#### 4.1 Case A 시뮬레이션 결과

Fig. 7과 8은 전륜 캠버각 변화와 후륜 캠버각 변화에 따른 차량 횡 가속도를 각각 나타낸 것이다. FL 0deg와 RL 0deg는 캠버각 입력이 주어지지 않은 경우이다. FL이 양의캠버 입력을 가질 때, 기본 차량에 비해 정상상태 횡가속도가 높게 나타난다. 음의 캠버 입력을 가질 때는 횡가속도가 더 낮게 나타남을 알 수 있다. 과도구간에서의 응답진폭 또한 두드러지게 변화하였는데 RL 및 FL 캠버입력을 통해 기존 모델보다 과도응답을 더 낮추거나 더 크게 만들어 준다. 차이점은 FL 캠버 입력은 정상상태 응답의 크기에 영향을 주면서 과도구간의 응답도 같이 영향을 받도록 하지만, RL 캠버 입력은 과도구간 응답 크기에만 집중되는 것을 보였다. 캠버입력 케이스에 따른 과도응답크기를 Fig. 9에 정량적으로 나타냈다. Fig. 10과 11은 전후륜 캠버각을 동시에 변경시켰을 때의 결과를 나타낸 것이다. Fig. 10에서 FL +0.3deg 입력에 의한 효과로 정상상태 응답특성은 높아졌고, RL -3deg에 의해 과도영역의 응답은 줄어들었다. Fig. 11에서도 FL -0.3deg 입력과 함께 RL -3deg에 의해 과도영역의 응답은 줄어들었다. Fig. 12는 Fig. 11의 각 케이스에 대한 과도응답진폭을 비교하였다. 전륜내륜과 동시에 후륜내륜의 캠버입력에 의해 과도응답이 줄어든 것을 볼 수 있다. Fig. 13은

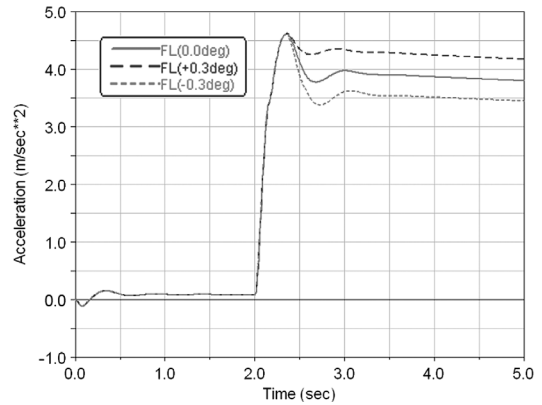


Fig. 7 Lateral acceleration according to camber angle change of FL

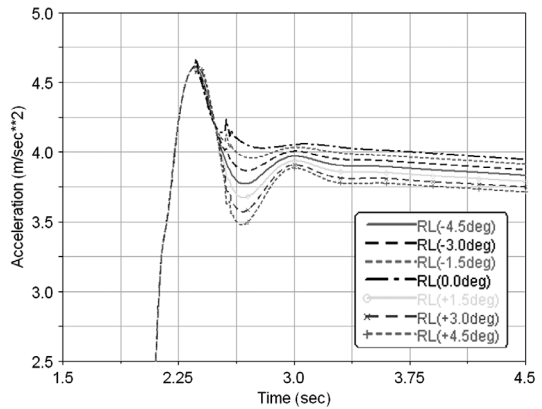


Fig. 8 Lateral acceleration according to camber angle change of RL

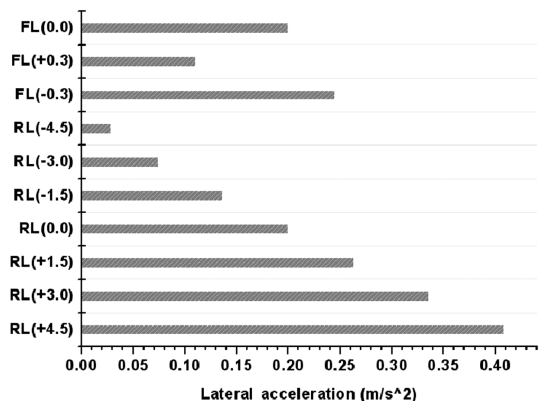


Fig. 9 Transient response amplitude in case of FL and RL input respectively

차체슬립각에 대한 요속도 결과를 보여준다. 작게 퍼지는 응답일수록 차량의 조종안정성이 높다.<sup>6)</sup>

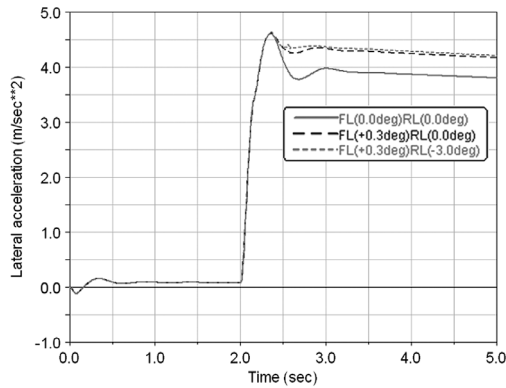


Fig. 10 Lateral acceleration according to FL (+0.3deg) + RL (-3deg) camber input

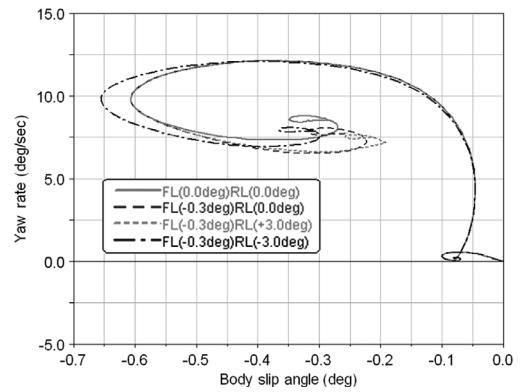


Fig. 13 Yaw rate vs Body slip angle

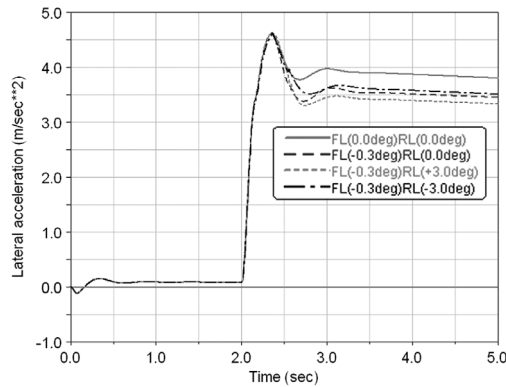


Fig. 11 Lateral acceleration according to FL (-0.3deg) + RL (+3, -3 deg) camber input

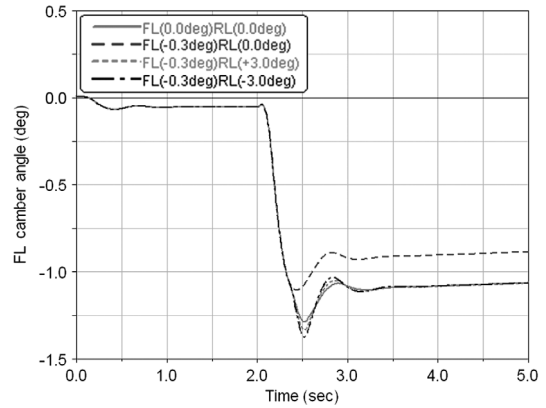


Fig. 14 FL camber angle

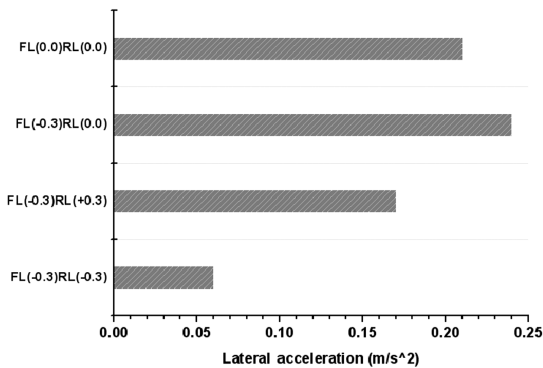


Fig. 12 Transient response amplitude in case of FL with RL input simultaneously

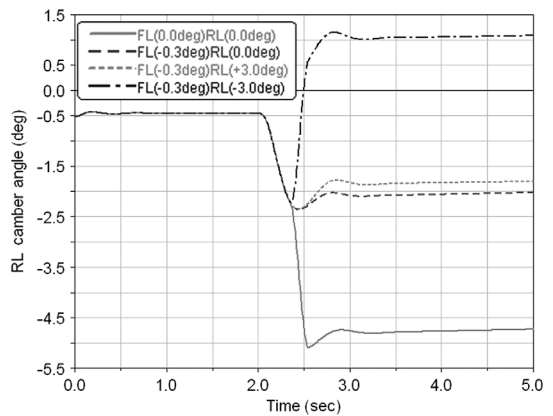


Fig. 15 RL camber angle

FL -0.3deg 입력과 동시에 RL -3deg를 주었을 때 조종안정성이 낮아졌고 RL +3deg를 주면 조종안정성이 높아졌다. Fig. 14와 15는 FL, RL 캠버각 입력을 보여준다.

#### 4.2 Case B 시뮬레이션 결과

Fig. 16은 Case B일 때 FL 캠버 입력에 따른 횡가속도를 나타낸 것이며, Fig. 17은 Case B일 때 RL 캠버 입력에 따른 횡가속도를 도시한 것이다. 응답특

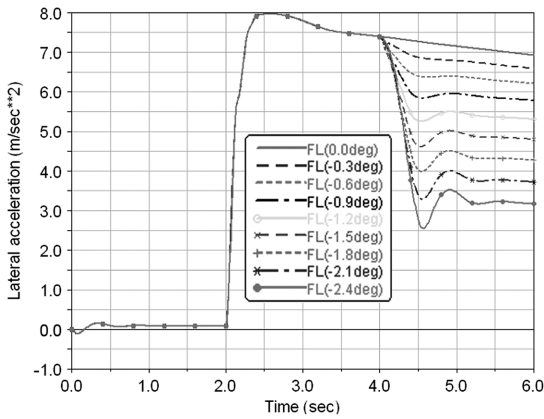


Fig. 16 Lateral acceleration according to FL camber input only-Case B

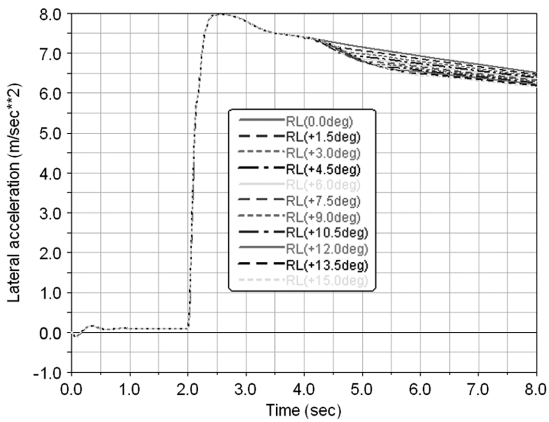


Fig. 17 Lateral acceleration according to RL camber input only-Case B

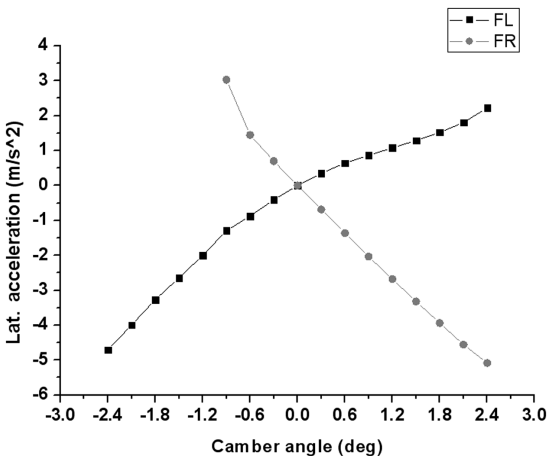


Fig. 18 Lateral acceleration according to FL, FR camber input-Case B

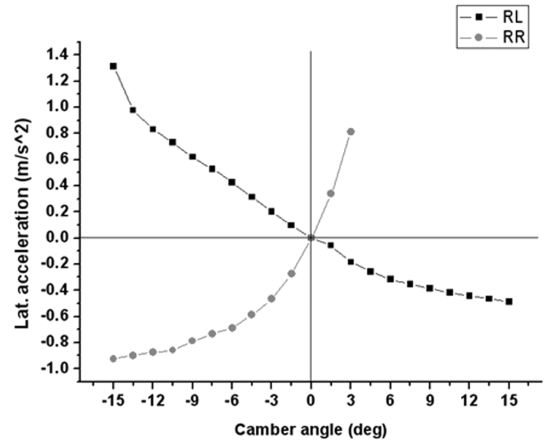


Fig. 19 Lateral acceleration according to RL, RR camber input-Case B

Table 6 Lateral acceleration slope before spin

Camber input wheel	Lat.Acceleration slope ( $m/s^2 \cdot deg$ )
FR	4.7
RR	0.33

성 분석을 통해 캠버입력에 따른 최대 횡가속도변화를 Fig. 18, 19에 각각 도시하였다. 전, 후륜 동일하게 Right 캠버입력에 의한 변화가 Left 캠버입력에 비해 크게 나타나고 있으며 선회시 무게중심이동이 우측으로 작용하였기 때문이다.

Fig. 18을 보면 음의 방향 FR 캠버입력이 0~ -0.9deg 까지만 도시되어 있는데, -0.9deg 보다 큰 경우에는 차량이 선회방향으로 스핀되어졌다.

Fig. 19를 보면 RR 캠버입력 또한 +3deg 보다 크게 되면 차량은 스핀 되어졌다. 각각의 스핀발생시 차이점은 FR, RR캠버입력에 의한 스핀발생 직전 횡가속도 증가율이 다르며 Table 6에 이 값을 나타냈다. 차이가 나는 이유는 FR캠버입력은 스핀인 거동을 만들지만 RR캠버입력은 스핀아웃 거동을 발생시키기 때문이다.

### 5. 결론

본 연구에서는 캠버각 생성 메카니즘을 갖는 현 가장치를 고안하여 이를 상용 동역학 해석 프로그램인 ADAMS/CAR 를 이용하여 전륜 및 후륜 서스펜션에 적용하고, 스택조향 시뮬레이션에서의 과도

응답 특성을 통해 캠버각 생성이 조종성에 미치는 효과를 분석하였다.

- 1) 선회 후 피크 응답에 도달했을 때를 캠버입력시점으로 한 경우에는, 전륜 내륜 캠버입력과 동시에 후륜 내륜 캠버입력시 과도영역 응답을 줄이는 데 효과가 있는 것으로 나왔으며, 선회안정성을 높이는데도 효과가 있는 것으로 나타났다.
- 2) Case B는 조향 입력 후 2초 뒤에 캠버 입력을 주었으며 차량이 선회 후 피크응답이 지속되는 불안정한 상태일 때, 즉 과도한 선회상태일 때 외륜 캠버 입력에 의해 차량이 스핀 될 수 있으므로 이때 휠 캠버 입력을 주는 것은 바람직하지 않은 것으로 분석되었다.

## 후 기

본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.

## References

- 1) K. W. Lee, J. I. Lee, S. K. Oh, J. H. Roh, Y. W. Kim, H. S. Kim, I. D. Kim and J. H. Jang, "A Study of Integrated Chassis Control System with ESC and CDC for Vehicle Stability and Handling Performance Enhancement," Spring Conference Proceedings, KSAE, KSAE09-B0093, 2009.
- 2) R. W. Chung, W. J. Sung and H. Sung, "A Study of Stability Control Algorithm in Split- $\mu$  Braking using Active Front Steering System," Annual Conference Proceedings, KSAE, pp.1245-1250, 2009.
- 3) S. H. Lee, H. Sung, J. W. Kim, Y. H. Oh and U. K. Lee, "Investigation on the SUV Rollover Performance by the AGCS System," Spring Conference Proceedings, KSAE, Vol.II, pp.660-664, 2006.
- 4) E. S. Kwak, Analysis and Implementation of a Camber Angle Control Mechanism for Improvement of Vehicle Steering Characteristic, M. S. Thesis, Korea University, Seoul, 2007.
- 5) S. J. Park and J. H. Sohn, "Analysis of Vehicle Handling Performance due to Camber Angle Change of Rear Wheel," Transactions of KSAE, Vol.18, No.2, pp.67-73, 2010.
- 6) R. W. Allen, H. T. Szostak, T. J. Rosenthal, D. H. Klyde, K. J. Owens and H. Inoue, "Vehicle Dynamic Stability and Rollover," NHTSA Technical Report, No.1628-1, 1992.